

# Perbandingan Efektivitas Cairan Pendingin pada Liquid Cooling System dengan Website Simscale untuk Mengurangi Biaya Produksi dan Operasional

*by* Andrea Songklanaita

---

**Submission date:** 23-Jul-2024 08:45AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2421074773

**File name:** MARS\_-\_VOLUME\_2,\_NO.\_4,\_AGUSTUS\_2024\_hal\_233-243.docx (5.19M)

**Word count:** 2474

**Character count:** 16103



## **Perbandingan Efektivitas Cairan Pendingin pada *Liquid Cooling System* dengan Website *Simscale* untuk Mengurangi Biaya Produksi dan Operasional**

<sup>1</sup>Andrea Songklanaita, <sup>2</sup>Anry Christiano Tambunan, <sup>3</sup>Muhammad Rey Renault <sup>4</sup>Fitra Rizki Alewa, <sup>5</sup>Prasasti Alamsyah, <sup>6</sup>Putra Ramanda, <sup>7</sup>Uvi Desi Fatmawati  
Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia

Kawasan IPSC Sentul, Sukahati, Kec. Citareup, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16180 Korespondensi penulis: [akuandreasongklanaita@gmail.com](mailto:akuandreasongklanaita@gmail.com)

**Abstract.** *The rapid development of technology demands solutions to optimise heat management for electronic components. Through this study, the researchers evaluated the effectiveness of various types of coolants in a liquid cooling system for electrical equipment, especially CPUs. Using design simulations conducted through SolidWorks software, this research aims to optimise the flow rate and selection of coolant type to achieve maximum thermal efficiency and reduce production and operational costs. The simulation results show that water is the most efficient coolant with significant temperature reduction compared to Ethylene Glycol (EG), Propylene Glycol (PG), and silicone oil. Water shows a temperature drop of 11.76°C, while EG and PG show a temperature drop of 8.82°C and 7.35°C respectively and silicone oil shows a temperature drop of 4.9°C. It can be seen from the simulation that water shows the most effective temperature reduction compared to EG, PG, and Silicone Oil.*

**Keywords:** *Cooling Fluid, Thermal Efficiency, Ethylene Glycol, Propylene Glycol, Silicone Oil, Cooling System Design.*

**Abstrak.** Perkembangan pesat teknologi menuntut solusi untuk mengoptimalkan pengelolaan panas untuk komponen elektronik. Peneliti melalui penelitian ini mengevaluasi efektivitas berbagai jenis cairan pendingin dalam sistem cooling liquid untuk peralatan elektro, khususnya CPU. Dengan menggunakan simulasi desain yang dilakukan melalui perangkat lunak SolidWorks, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan laju alir dan pemilihan jenis cairan pendingin untuk mencapai efisiensi termal maksimum dan mengurangi biaya produksi serta operasional. Hasil simulasi menunjukkan bahwa air merupakan cairan pendingin paling efisien dengan penurunan suhu yang signifikan dibandingkan dengan Ethylene Glycol (EG), Propylene Glycol (PG), dan minyak silikon. Air menunjukkan penurunan suhu sebesar 11,76°C, sementara EG dan PG menunjukkan penurunan suhu masing-masing sebesar 8,82°C dan 7,35°C dan minyak silikon menunjukkan penurunan suhu sebesar 4,9°C. Terlihat dari simulasi bahwa air menunjukkan penurunan suhu yang paling efektif dibandingkan EG, PG, dan Minyak Silikon.

**Kata kunci:** Cairan Pendingin, Efisiensi Termal, Ethylene Glycol, Propylene Glycol, Minyak Silikon, Desain Sistem Pendinginan.

## **1. LATAR BELAKANG**

Perkembangan pesat teknologi elektro, mulai dari komputer berperforma tinggi hingga sistem tenaga dan perangkat elektronik dalam berbagai aplikasi industri, menuntut solusi pengelolaan panas yang inovatif dan efektif (Patrick Hossay, 2019). Panas berlebih merupakan salah satu faktor kritis yang dapat mengurangi efisiensi, keandalan, dan umur operasional perangkat elektronik (Dan Gookin, 2020). Oleh karena itu, desain sistem pendinginan yang efisien tidak hanya menjadi kebutuhan tetapi juga tantangan yang harus diatasi oleh para insinyur dan perancang. Tantangan mewujudkan sistem pendingin yang andal, dibutuhkan simulasi dalam desain sistem pendinginan. Pentingnya simulasi dalam desain sistem pendinginan muncul dari kebutuhan untuk memahami dan mengoptimalkan interaksi kompleks antara laju alir cairan pendingin, jenis cairan, dan konfigurasi sistem terhadap pengelolaan panas dalam aplikasi yang beragam.

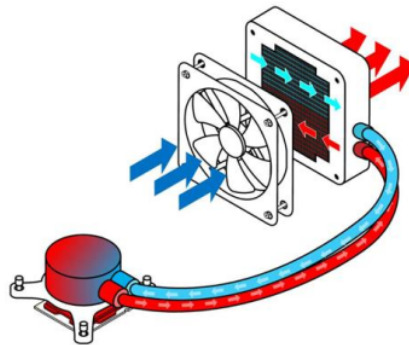
Berbagai aplikasi mungkin memerlukan pendekatan yang berbeda terhadap sistem pendinginan, tergantung pada intensitas panas yang dihasilkan, sensitivitas komponen terhadap panas, dan kondisi operasional (Kaveh Azar, 2020). Sebagai contoh, perangkat elektronik daya tinggi atau sistem yang beroperasi dalam lingkungan ekstrem membutuhkan solusi pendinginan yang tidak hanya efektif tetapi juga disesuaikan untuk menghadapi kondisi spesifik tersebut (Jing Liu, 2022). Karena itu dibutuhkan simulasi yang dapat membantu dalam memilih jenis cairan pendingin yang paling sesuai dengan sifat termal dan kimia yang diinginkan, serta menentukan laju alir yang ideal untuk menghilangkan panas dari komponen secara efektif tanpa menyebabkan kerusakan atau efek samping yang tidak diinginkan. Pendekatan simulasi ini diharapkan tidak hanya meningkatkan kinerja termal tetapi juga berkontribusi pada pengurangan biaya operasional dan produksi. Biaya untuk bahan pendingin, energi untuk sistem pendinginan, dan potensi biaya perbaikan akibat kerusakan panas bisa diminimalkan melalui desain yang dioptimalkan berdasarkan hasil simulasi.

Berdasarkan kebutuhan dan permasalahan tersebut peneliti merancang penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menerapkan simulasi desain sistem cooling liquid pada peralatan elektro dengan fokus pada optimalisasi laju alir dan pemilihan jenis cairan pendingin untuk mencapai efisiensi maksimum. Melalui pendekatan ini, penelitian ini berupaya untuk memberikan wawasan baru dan solusi praktis untuk tantangan desain sistem pendinginan dalam berbagai aplikasi elektro, mendukung inovasi dalam pengembangan produk yang lebih efisien, andal, dan berkelanjutan dari segi energi.

## 2. KAJIAN TEORITIS

### A. *Liquid Cooling System*

Sistem pendingin cair adalah sistem perpindahan panas yang menggunakan cairan pendingin untuk menyerap panas dari prosesor dan komponen komputer lainnya. Cairan pendingin bersirkulasi melalui radiator, di mana panas didinginkan oleh udara sebelum kembali untuk menyerap panas lagi. Sistem ini lebih efisien daripada pendingin udara, cocok untuk mendinginkan prosesor yang di-*overclock* atau komponen performa tinggi. (M. Arif. et al., 2021).



**Gambar 1.** *Liquid Cooling System* pada CPU (*Central Processing Unit*)

### B. Jenis Cairan Pendingin dan Sifat Termalnya

Pemilihan jenis cairan pendingin sangat penting dalam sistem pendinginan cair karena setiap cairan memiliki sifat termal yang berbeda, mempengaruhi efisiensi pengelolaan panas (Soltex, 2023). Air yang memiliki konduktivitas termal baik, adalah cairan pendingin yang efektif. Namun, air murni dapat menyebabkan korosi dan endapan, sehingga perlu ditambahkan inhibitor korosi (MH Rahman, et al., 2021).

Ethylene glycol (EG) dan propylene glycol (PG) menurunkan titik beku cairan, cocok untuk lingkungan dingin, meskipun kurang efisien dalam mentransfer panas dan memerlukan pompa kuat karena viskositas tinggi (H Habeeb, et al., 2020). PG memiliki toksisitas lebih rendah dibandingkan EG, menjadikannya pilihan lebih aman (D Shia, et al., 2021).

Minyak silikon, dengan viskositas dan stabilitas termal tinggi, cocok untuk aplikasi yang memerlukan isolasi listrik atau beroperasi pada suhu tinggi, meskipun kapasitas panas spesifik dan konduktivitas termalnya lebih rendah. (R Nishida, et al., 2022). Memahami kelebihan dan keterbatasan masing-masing jenis cairan pendingin membantu

perancang mengembangkan sistem pendinginan yang lebih efektif dan efisien sesuai kebutuhan spesifik aplikasi.

**Tabel 1. Tabel Perbandingan Sifat Termal Cairan Pendingin**

| Jenis Cairan          | Titik Beku | Konduktivitas Termal | Kapasitas Panas |
|-----------------------|------------|----------------------|-----------------|
| Air                   | 0°C        | 0.6 W/mK             | 4.2 kJ/kgK      |
| Ethylene Glycol (EG)  | -15°C      | 0.25 W/mK            | 2.4 kJ/kgK      |
| Propylene Glycol (PG) | -30°C      | 0.22 W/mK            | 2.4 kJ/kgK      |
| Minyak Silikon        | -40°C      | 0.14 W/mK            | 1.5 kJ/kgK      |

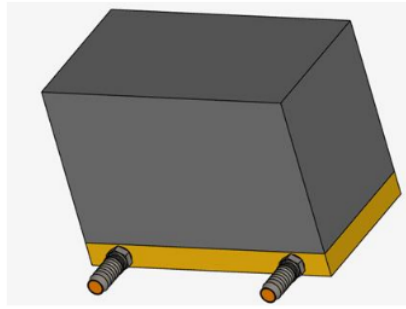
### C. Laju Alir pada Sistem Pendingin

Laju alir dalam sistem pendinginan cairan pada CPU sangat penting untuk efektivitas pendinginan. Laju alir, diukur dalam liter per menit (L/min) atau galon per menit (GPM), menentukan seberapa cepat cairan pendingin mengalir dan menyerap panas dari CPU sebelum membuangnya melalui radiator. Penyesuaian laju alir optimal menjaga suhu operasional CPU, efisiensi energi, dan mengurangi kebisingan operasional (Pardeep Shahi, et al., 2021).

Laju alir tinggi memungkinkan lebih banyak panas diserap dan dibuang cepat, cocok untuk situasi dengan beban kerja berat atau overclocking. Namun, laju alir terlalu tinggi dapat meningkatkan tekanan pada pompa, mempengaruhi umur layanan pompa, dan meningkatkan konsumsi energi. Sebaliknya, laju alir terlalu rendah tidak efektif dalam menghilangkan panas, berpotensi menyebabkan overheating (Muhammad Farhan et.al., 2022).

### D. Liquid Cooling System

Liquid Cooling Pack adalah solusi pendinginan untuk mengelola panas dalam sistem elektronik dan mekanis, terutama dalam komputasi berkinerja tinggi dan aplikasi industri. Sistem ini menggunakan cairan pendingin untuk mentransfer panas lebih efektif daripada metode pendinginan udara tradisional. (Hossay, 2019).



**Gambar 2. *Liquid Cooling Pack***

Komponen utamanya meliputi:

**a. Cairan Pendingin**

Medium cair seperti air, etilen glikol, propilen glikol, dan minyak silikon yang menyerap dan membawa panas.

**b. Water Blocks**

Dipasang pada komponen penghasil panas (CPU, GPU, atau modul daya) untuk menyerap panas.

**c. Pompa**

Mensirkulasikan cairan pendingin melalui sistem.

**d. Radiator**

Melepaskan panas dari cairan pendingin ke udara, sering dilengkapi kipas (Azar, 2020).

**e. Reservoir**

Tangki penyimpanan untuk cairan pendingin yang juga mengeluarkan udara dari sistem.

**f. Pipa**

Menghubungkan komponen-komponen untuk aliran cairan pendingin.

**g. Fittings dan Clamps**

Penghubung dan pengencang untuk sambungan yang bebas bocor.

Proses dimulai dengan water block menyerap panas dari komponen elektronik, lalu cairan pendingin membawa panas ke radiator melalui pipa. Radiator melepaskan panas ke udara dengan bantuan kipas, dan pompa mensirkulasikan cairan yang telah didinginkan kembali ke water block, mengulang siklus ini (Liu, 2022).

18

### 3. METODE PENELITIAN

#### A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis eksperimental dan simulatif dengan pendekatan kuantitatif. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan jenis cairan pendingin dan laju alir dalam sistem pendingin cair. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks untuk menganalisis efektivitas berbagai jenis cairan pendingin dan laju alir pada temperatur. Data hasil simulasi kemudian dianalisis secara kuantitatif untuk menentukan jenis cairan pendingin dan laju alir yang paling efektif dalam mendinginkan.

22

#### B. Objek dan Subjek Penelitian

Objek penelitian adalah simulasi system pendingin cair pada *Liquid Cooling Pack* yang terdiri atas pompa, reservoir, *tubing*, *heatsink*, dan cairan pendingin. Adapun subjek penelitian ini adalah jenis-jenis cairan pendingin yang berupa air, glikol, dan minyak silikon, serta laju alir cairan pendingin.

#### C. Alur Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah di Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Sentul, Bogor dengan alur penelitian sebagai berikut.



Gambar 3. Alur Penelitian

Persiapan simulasi dimulai dengan memilih SolidWorks untuk desain dan analisis sistem pendingin cair. Langkah selanjutnya adalah mendesain model sistem pendingin cair pada Cooling Pad (CP) yang mencakup blok pendingin, radiator, dan pipa sirkulasi. Variabel independen yang diatur meliputi jenis cairan pendingin (air, glikol, minyak silikon) dan laju alir cairan, sementara variabel dependen adalah efisiensi termal, pengelolaan panas, dan kinerja operasional sistem. Simulasi dilakukan dengan mengatur kondisi awal yang sama, menguji variasi jenis cairan pendingin, dan merekam data suhu CPU serta efisiensi pengelolaan panas. Data yang dikumpulkan diolah untuk menghitung rata-rata suhu CPU dan efisiensi termal, lalu hasilnya dibandingkan untuk menentukan kombinasi terbaik. Setiap langkah proses simulasi, termasuk konfigurasi software dan parameter, didokumentasikan, dan data hasil simulasi disimpan secara sistematis. Akhirnya, hasil simulasi dievaluasi untuk menilai keberhasilan desain dan mengidentifikasi area yang memerlukan peningkatan.

#### **D. Metode dan Analisis**

Dalam penelitian simulasi desain sistem pendingin cair pada CPU melibatkan analisis kuantitatif untuk memahami pengaruh variabel independen (jenis cairan pendingin dan laju alir) terhadap variabel dependen (efisiensi termal, pengelolaan panas, dan kinerja operasional). Metode analisis yang digunakan meliputi:

##### **1) Analisis Varians (ANOVA)**

Evaluasi perbedaan signifikan dalam efisiensi termal sistem pendingin dengan jenis cairan dan laju alir yang berbeda, dengan membandingkan rata-rata efisiensi termal antar grup.

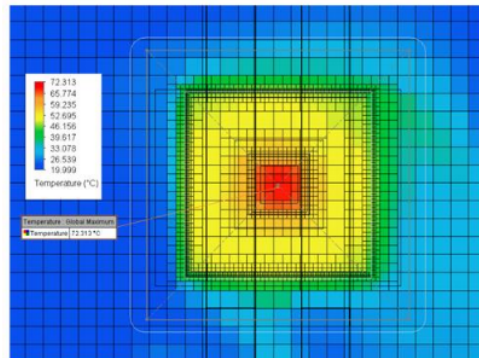
##### **2) Uji Hipotesis**

Menguji hipotesis yang dikembangkan dari tinjauan pustaka, seperti "jenis cairan pendingin tertentu menghasilkan efisiensi termal lebih tinggi", dengan membandingkan grup-grup cairan pendingin dan laju alir dalam uji ANOVA untuk menentukan perbedaan signifikan.



#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

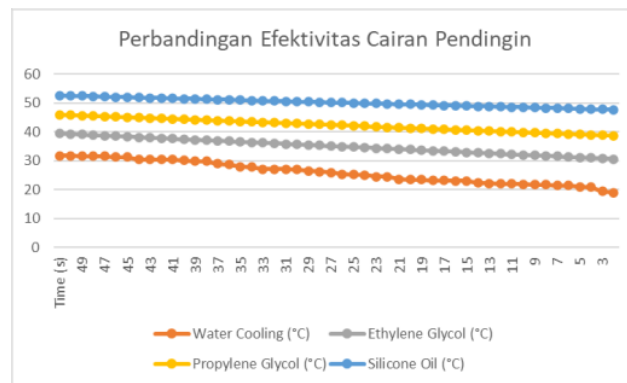
##### A. Hasil dengan Air Cooling Liquid



**Gambar 4.** Hasil Simulasi Pendinginan Hanya dengan Kipas Angin

Pada Gambar 4, terdapat skala warna yang menunjukkan rentang suhu dari 19.999°C hingga 72.313°C. Skala ini menggunakan gradasi warna, dengan warna merah mewakili suhu tertinggi (72.313°C) dan warna biru mewakili suhu terendah (19.999°C). Penggunaan alat pendingin elektronik tanpa menggunakan cairan, hanya melalui aliran angin yang diputar masih kurang efektif, di mana suhu tertinggi yang didapatkan hingga 72.313°C.

##### Hasil dengan Pendingin Berbahan Cairan



**Gambar 5.** Perbandingan Efektifitas Cairan Air, EG, PG, dan Minyak Silikon

Dalam simulasi, kipas angin menghasilkan suhu puncak CPU sebesar 72,313°C. Namun, pendinginan menggunakan air jauh lebih efektif dengan suhu tertinggi hanya mencapai 31,75°C yang kemudian turun drastis menjadi 19,01°C. Ethylene Glycol menurunkan suhu CPU dari 39,44°C menjadi 30,61°C dalam 50 detik, sedangkan Propylene Glycol mengurangi suhu dari 46°C menjadi 38,65°C dalam waktu yang

sama. Minyak silikon, meskipun stabil pada suhu tinggi, menunjukkan efisiensi pendinginan terendah dengan suhu CPU turun dari 52,60°C menjadi 47,69°C dalam periode yang sama. Penelitian ini menyoroti bahwa air merupakan pilihan terbaik dalam mempercepat pendinginan CPU, diikuti oleh EG dan PG yang juga efektif meskipun dengan hasil yang sedikit lebih rendah. Minyak silikon, meskipun memiliki stabilitas termal yang baik, menunjukkan kinerja pendinginan yang kurang memuaskan dibandingkan cairan pendingin lainnya. Hasil data perbandingan penurunan suhu antar cairan pendinginan <sup>21</sup> dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2. Tabel Hasil Pendinginan dengan Jenis Cairan yang Berbeda**

| Time (s) | Water Cooling (°C) | Ethylene Glycol (°C) | Propylene Glycol (°C) | Silicone Oil (°C) |
|----------|--------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| 50       | 31.75497778        | 39.437               | 46.006                | 52.595            |
| 40       | 30.38397263        | 37.637               | 44.506                | 51.595            |
| 30       | 27.09710162        | 35.837               | 43.006                | 50.595            |
| 20       | 23.54995431        | 34.037               | 41.506                | 49.595            |
| 10       | 21.95809967        | 32.237               | 40.006                | 48.595            |
| 1        | 19.01839057        | 30.617               | 38.656                | 47.695            |

## <sup>16</sup> 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pendinginan menggunakan air menunjukkan efektivitas yang sangat baik dengan suhu maksimum yang turun drastis dari 31,75°C menjadi 19,01°C dalam waktu 50 detik. Ethylene Glycol berhasil menurunkan suhu CPU dari 39,44°C menjadi 30,61°C dalam waktu yang sama dan Propylene Glycol juga mengurangi suhu CPU dari 46°C menjadi 38,65°C dalam kurun waktu 50 detik.

## DAFTAR REFERENSI

- Azar, K. (2020). Optimasi Pendinginan dalam Sistem Industri. London: Industrial Cooling Journal.
- Azar, K. (2020). Thermal Measurements in Electronics Cooling. United States: CRC Press.
- Gookin, D. (2020). Android For Dummies. United States: Wiley.
- Gookin, D. (2020). Sistem Pendinginan Elektronik. San Francisco: Electronic Cooling Press.
- <sup>6</sup> Habeeb, H., Mohan, A., Norani, N., Azman, M., & Abdullah, M. H. H. (2020). Analysis of engine radiator performance at different coolant concentrations and radiator materials. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(6), 2277-3878.
- <sup>7</sup> Hadipour, A., Zargarabadi, M. R., & Rashidi, S. (2021). An efficient pulsed-spray water cooling system for photovoltaic panels: Experimental study and cost analysis. *Renewable Energy*, 164, 867-875. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.055>
- <sup>3</sup> Harun, M. A., & Che Sidik, N. A. (2020). A Review on Development of Liquid Cooling System for Central Processing Unit (CPU). *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 78(2), 98–113. <https://doi.org/10.37934/arfmts.78.2.98113>
- <sup>15</sup> Hossay, P. (2019). Automotive Innovation: The Science and Engineering Behind Cutting-Edge Automotive Technology. United States: CRC Press.
- Hossay, P. (2019). Teknologi Elektro dan Pengelolaan Panas. New York: Tech Publications.
- <sup>20</sup> Liu, J. (2022). Advanced Liquid Metal Cooling For Chip, Device And System. Singapore: World Scientific Publishing Company.
- Liu, J. (2022). Pendinginan untuk Perangkat Elektronik Daya Tinggi. Beijing: High-Performance Electronics Publishing.
- <sup>13</sup> Muhammad, F., Amjad, M., Tahir, Z. U. R., Anwar, Z., <sup>12</sup> Arslan, M., Mujtaba, A., Riaz, F., Imran, S., Razzaq, L., Ali, M., Filho, E. P. B., & Du, X. (2022). Design and analysis of liquid cooling plates for different flow channel configurations. *Thermal Science*, 26(2 Part B), 1463-1475.
- <sup>2</sup> Naduvilakath-Mohammed, F. M., Jenkins, R., Byrne, G., Robinson, A. J. (2023). Closed loop liquid cooling of high-powered CPUs: A case study on cooling performance and energy optimization. *Case Studies in Thermal Engineering*, 50, 103472. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103472>
- <sup>11</sup> Nath, P. D., & Islam, M. A. (2020). Investigation on the Performance Test on Liquid Cooling System for CPU of Desktop Computer Cost Effective Enhancement. Khulna, Bangladesh: International Conference on Mechanical, Industrial, and Energy Engineering.
- <sup>14</sup> Nishida, R., Zhong, J., & Shinshi, T. (2022). Forced liquid cooling of piezoelectric stack actuator utilizing silicone oil. *Precision Engineering*, 75, 120-128.

- <sup>9</sup>  
Ouchi, M., et al. (2012). Thermal management systems for data centers with liquid cooling technique of CPU. In *13th InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems* (pp. 790-798). San Diego, CA, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITHERM.2012.6231507>
- <sup>8</sup>  
Rahman, M. H., Warneke, H., Webbert, H., Rodriguez, J., Austin, E., Tokunaga, K., ... & Menezes, P. L. (2021). Water-based lubricants: Development, properties, and performances. *Lubricants*, 9(8), 73. <https://doi.org/10.3390/lubricants9080073>
- <sup>4</sup>  
Shahi, P., Saini, S., Bansode, P., & Agonafer, D. (2021). A comparative study of energy savings in a liquid-cooled server by dynamic control of coolant flow rate at server level. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 11(4), 616-624.
- <sup>5</sup>  
Shia, D., Yang, J., Sivapalan, S., Soeung, R., & Amoah-Kusi, C. (2021). Corrosion study on single-phase liquid cooling cold plates with inhibited propylene glycol/water coolant for data centers. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 143(11), 111012.
- Soltex, Inc. (2023). Liquid Cooling Theory and Application in System Design. United States.

# Perbandingan Efektivitas Cairan Pendingin pada Liquid Cooling System dengan Website Simscale untuk Mengurangi Biaya Produksi dan Operasional

## ORIGINALITY REPORT

20%

SIMILARITY INDEX

19%

INTERNET SOURCES

13%

PUBLICATIONS

15%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1

[journal.artei.or.id](http://journal.artei.or.id)

Internet Source

2%

2

Submitted to American InterContinental University

Student Paper

2%

3

[www.akademiabaru.com](http://www.akademiabaru.com)

Internet Source

2%

4

Submitted to Ecole Hoteliere de Lausanne

Student Paper

1%

5

[lup.lub.lu.se](http://lup.lub.lu.se)

Internet Source

1%

6

Submitted to Cranfield University

Student Paper

1%

7

[repository.uaeh.edu.mx](http://repository.uaeh.edu.mx)

Internet Source

1%

8

[www.biorxiv.org](http://www.biorxiv.org)

Internet Source

1%

|    |                                                                                                                                                                           |      |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 9  | link.springer.com<br>Internet Source                                                                                                                                      | 1 %  |
| 10 | Submitted to Universitas Sebelas Maret<br>Student Paper                                                                                                                   | 1 %  |
| 11 | www.researchgate.net<br>Internet Source                                                                                                                                   | 1 %  |
| 12 | Submitted to University of Central England in Birmingham<br>Student Paper                                                                                                 | 1 %  |
| 13 | www.mdpi.com<br>Internet Source                                                                                                                                           | 1 %  |
| 14 | Sydney A. Giannuzzi, Tate Myers, Seth Pietrowski, Jeffrey L. Kauffman. "Limitations on Piezoelectric-Based Valve Actuators", AIAA SCITECH 2024 Forum, 2024<br>Publication | 1 %  |
| 15 | Submitted to Embry Riddle Aeronautical University<br>Student Paper                                                                                                        | 1 %  |
| 16 | core.ac.uk<br>Internet Source                                                                                                                                             | 1 %  |
| 17 | ejournal.gunadarma.ac.id<br>Internet Source                                                                                                                               | <1 % |
| 18 | 123dok.com<br>Internet Source                                                                                                                                             | <1 % |

19

[etd.lib.metu.edu.tr](http://etd.lib.metu.edu.tr)

Internet Source

&lt;1 %

20

[m.huxiu.com](http://m.huxiu.com)

Internet Source

&lt;1 %

21

[adoc.pub](http://adoc.pub)

Internet Source

&lt;1 %

22

[docplayer.info](http://docplayer.info)

Internet Source

&lt;1 %

23

[www.hindawi.com](http://www.hindawi.com)

Internet Source

&lt;1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off