



Ramadhoni D.

SISTEM PENDINGIN KOMPUTER BERBASIS *HYBRID COOLING ENGINE*
COMPUTER COOLING SYSTEM BASED ON *HYBRID COOLING ENGINE*

Shalihuddin Al Fatah
Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
e-mail: edward9177@gmail.com

Intisari: Sistem pendingin komputer dibutuhkan agar komponen-komponen komputer dapat melepaskan energi panas yang terbentuk pada saat komponen tersebut bekerja. Pada penelitian ini, dibuat sebuah sistem pendingin komputer berbasis *hybrid cooling engine* yang merupakan pengembangan dari sistem pendingin berbasis air. Sistem pendingin ini memiliki radiator untuk melepas energi panas pada saat komputer diberi beban penuh. Selain radiator, terdapat modul pendingin termoelektrik yang berguna untuk mendapatkan temperatur air serendah mungkin. Kemudian terdapat sebuah sistem kendali temperatur air yang berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560. Proses pembuatan alat meliputi perakitan mesin pendingin, *wiring* sistem kendali temperatur dan pembuatan algoritma program. Hasil dari pengujian *benchmarking* dengan program Cinebench R15, didapatkan adanya peningkatan kinerja *multi core rendering* sebesar 0,295% tanpa perubahan pengaturan pada BIOS dan temperatur kartu grafis turun sebesar 20,02°C. Selain itu, temperatur air terendah pada sistem pendingin sama dengan temperatur ruangan sehingga sistem pendingin sudah dapat dikatakan memiliki kemampuan di antara sistem pendingin *phase change* dan sistem pendingin berbasis air konvensional.

Kata Kunci: komputer, termoelektrik, radiator, mikrokontroler, Arduino

Abstract: *Computer cooling system is needed in order for the computer components can release heat energy that is formed during its operations. In this study, a computer cooling system based on hybrid cooling engine was developed which is an improved version of a conventional water-based cooling system. This cooling system has a radiator to release heat energy when the computer was given a full load. In addition to radiators, there is a thermoelectric cooling module that is used to get the water temperature as low as possible. Then there is a water temperature control system based on the Arduino Mega 2560 microcontroller. This study includes assembly of cooling machines, temperature control system and software development. The benchmarking test result with the Cinebench R15, there was an increase in the performance of multi core rendering of 0.295% without changes in BIOS settings and the graphics card temperature dropped by 20.02°C. In addition, the lowest water temperature in the cooling system is the same as room temperature so that the cooling system have capabilities between phase change cooling systems and conventional water-based cooling systems.*

Keyword: *computer, thermoelectric, radiator, microcontroller, Arduino*

Notasi dan Singkatan

T_c	=	Temperatur sisi dingin modul termoelektrik (K)
T_h	=	Temperatur sisi panas modul termoelektrik (K)
ΔT	=	Selisih temperatur (K)
ΔT_{max}	=	Selisih temperatur maksimum (K)
Q_c	=	Beban pendinginan (Joule)
m	=	Massa benda (kg)
C	=	Kalor jenis benda (J/kgK)
V_{max}	=	Tegangan listrik maksimum (Volt)
V_{in}	=	Tegangan listrik masuk (Volt)
I_{max}	=	Arus listrik maksimum (Ampere)
I	=	Arus listrik (Ampere)
P_{in}	=	Daya listrik masuk (Watt)
α	=	Koefisien Seebeck (V/K)
θ	=	Hambatan termal (K/W)
R	=	Hambatan listrik (Ω)
q_{Ab}	=	Kalor yang diserap (Watt)
q_{Em}	=	Kalor yang dilepas (Watt)
ρ	=	Massa jenis benda (kg/m^3)
AIO	=	<i>All in One</i>

I. PENDAHULUAN

Teknologi komputer merupakan salah satu bidang yang berkembang pesat saat ini. Perkembangan tersebut meliputi dua sisi yaitu sisi perangkat keras dan perangkat lunak. Pada sisi perangkat lunak yang dikembangkan meliputi penambahan fitur-fitur, tampilan yang lebih menarik serta perbaikan kinerja. Akibat dari pengembangan perangkat lunak, akan cenderung menaikkan kebutuhan sumber daya dari perangkat keras. Oleh karena itu, pengembangan perangkat keras sangat dibutuhkan untuk mengimbangi keadaan tersebut.

Salah satu pengembangan perangkat keras yaitu dengan mengoptimalkan sistem pendingin. Sistem pendingin dikatakan optimal apabila sistem tersebut mampu meradiasikan seluruh energi panas yang dihasilkan oleh komponen-komponen pada saat komputer bekerja maksimal. Jika sistem pendingin tidak mampu meradiasikan seluruh energi panas yang dihasilkan oleh komponen-komponen komputer maka akan menyebabkan terjadinya panas berlebih (*over heating*). Dampak dari panas berlebih yaitu mempersingkat usia dari komponen-komponen komputer atau bahkan merusak komponen-komponen tersebut.

Saat ini ada dua tipe sistem pendingin yang dapat meradiasikan energi panas dalam jumlah besar yaitu sistem pendingin berbasis air (*water cooling*) dan sistem pendingin aktif berbasis pendingin termoelektrik. Kedua sistem tersebut memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing. Sistem pendingin berbasis air rawan terhadap kebocoran. Kemudian, sistem pendingin aktif berbasis pendingin termoelektrik yang sudah ada saat ini tidak bekerja optimal pada kondisi udara yang lembab.

Pada penelitian ini, akan dibuat sebuah sistem pendingin baru yaitu sistem pendingin berbasis *hybrid cooling engine*. Prinsip kerja sistem pendingin ini yaitu menggabungkan antara sistem pendingin berbasis air dan sistem pendingin aktif berbasis pendingin termoelektrik. Sistem pendingin berbasis *hybrid cooling engine* diharapkan mampu mengurangi kelemahan-kelemahan dari sistem pendingin yang sudah ada saat ini.

II. KAJIAN TEORI

2.1. Komputer Pribadi

Komputer pribadi atau *personal computer* (PC) adalah sebuah komputer yang bersifat serbaguna, harganya terjangkau serta ditujukan untuk pemakaian perorangan (*personal*). Dalam dunia bisnis komputer pribadi sering digunakan sebagai pengolah data, pengetikan, publikasi dan sebagainya. Di lingkungan rumah tangga, komputer pribadi biasanya dimanfaatkan untuk mengakses internet, multimedia, dan kegiatan sehari-hari lain yang membutuhkan komputer. Komputer pribadi dapat berupa desktop, laptop, tablet, serta mini komputer.

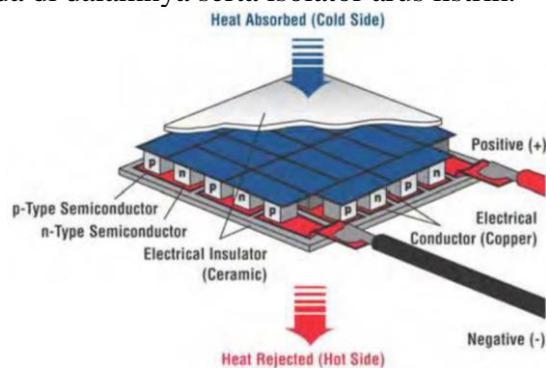


Gambar 2.1. Komputer Pribadi Tipe Desktop

(https://www.computertown.com.au/package_deals/images_large/MAXI-HM.jpg)

2.2. Modul Termoelektrik

Modul termoelektrik yaitu komponen elektronik yang dapat berfungsi sebagai pompa energi panas. Modul termoelektrik terdiri atas beberapa pasang semikonduktor tipe P dan semikonduktor tipe N yang tersambung secara seri dan diapit sepasang lempengan keramik. Lapisan keramik berfungsi sebagai pelindung semikonduktor yang ada di dalamnya serta isolator arus listrik.



Gambar 2.2. Modul Termoelektrik

(<http://www.ijejournal.com/papers/Vol.4-Iss.2/D04022030.pdf>)

1) Prinsip kerja

Semikonduktor tipe N memiliki kelebihan elektron, sedangkan semikonduktor tipe P kekurangan elektron. Ketika beberapa semikonduktor tipe N dan tipe P dikelompokkan secara berpasangan maka akan membentuk sekumpulan termokopel yang terhubung seri secara elektrik dan terhubung paralel secara termal. Termokopel-termokopel tersebut terhubung secara elektrik melalui konduktor tembaga dan terhubung secara termal melalui lapisan keramik.

Elektron bergerak dari semikonduktor tipe P ke semikonduktor tipe N melalui konduktor elektrik, kemudian elektron akan berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi dengan menyerap energi panas. Saat elektron akan kembali ke semikonduktor tipe P melalui konduktor elektrik, elektron akan melepaskan energi panas.

2) Parameter-parameter pada modul termoelektrik

a. Beda temperatur (ΔT)

Beda temperatur ada dua macam yaitu beda temperatur aktual dan beda temperatur sistem. Beda temperatur aktual adalah selisih antara temperatur sisi dingin (T_c) dan sisi panas (T_h) modul termoelektrik.

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (2.1)$$

Beda temperatur sistem adalah selisih antara temperatur objek yang didinginkan dan temperatur lingkungan sekitar.

b. Beban pendinginan (Q_c)

Beban pendinginan adalah besarnya energi panas yang harus dilepas oleh sistem agar temperatur sistem konstan pada nilai tertentu. Besarnya beban pendinginan dipengaruhi oleh massa objek yang didinginkan (m), kalor jenis benda (C) dan beda temperatur sistem (ΔT).

$$Q_c = m C \Delta T \quad (2.2)$$

c. Koefisien Seebeck (α)

Ketika modul termoelektrik diberi tegangan listrik maka akan terjadi perbedaan temperatur pada kedua sisinya. Kejadian itu disebut efek Seebeck yang dirumuskan dengan:

$$V_{max} = \alpha T_h \quad (2.3)$$

V_{max} adalah tegangan Seebeck atau tegangan maksimal pada saat terjadi efek Seebeck. Kemudian, α adalah koefisien Seebeck.

d. Hambatan termal (θ)

Hambatan termal modul termoelektrik dapat dirumuskan dengan:

$$\theta = \frac{\Delta T_{max}}{V_{max} I_{max}} \frac{2T_h}{(T_h - \Delta T_{max})} \quad (2.4)$$

ΔT_{max} yaitu beda temperatur maksimal, V_{max} adalah tegangan maksimal dan I_{max} adalah arus maksimal saat T_h stabil pada nilai tertentu. Nilai ΔT_{max} , V_{max} dan I_{max} bisa didapatkan pada *datasheet* modul termoelektrik.

e. Hambatan listrik (R)

Nilai hambatan listrik modul termoelektrik selalu berubah setiap ada perubahan suhu. Oleh karena itu hambatan listrik modul dihitung dengan rumus:

$$R = \frac{V_{max}}{I_{max}} \left(\frac{T_h - \Delta T_{max}}{T_h} \right) \quad (2.5)$$

f. Kalor yang diserap pada sisi dingin (q_{Ab})

Kalor yang diserap modul termoelektrik dihitung menggunakan rumus:

$$q_{Ab} = \alpha IT_c - \frac{\Delta T}{\theta} - \frac{1}{2}I^2R \quad (2.6)$$

I adalah arus listrik pada saat modul termoelektrik beroperasi yang nilainya belum tentu sama dengan I_{max} . Kemudian T_c adalah temperatur sisi dingin dari modul termoelektrik dan ΔT adalah beda temperatur pada saat modul termoelektrik beroperasi. Nilai ΔT juga belum tentu sama dengan ΔT_{max} dari *datasheet*.

g. Kalor yang dilepas pada sisi panas (q_{Em})

Ada beberapa pendekatan untuk mengukur kalor yang dilepas pada sisi panas modul termoelektrik. Pada tugas akhir ini digunakan konsep:

$$q_{Em} = q_{Ab} + P_{in} \quad (2.7)$$

P_{in} yaitu daya yang dimasukkan pada modul termoelektrik yang dirumuskan dengan:

$$P_{in} = V_{in}I \quad (2.8)$$

V_{in} yaitu tegangan yang diberikan pada modul termoelektrik dan I adalah arus listrik pada saat modul tersebut beroperasi.

h. Sistem pengendali temperatur

Sistem pengendali temperatur dibutuhkan agar suhu modul termoelektrik tetap stabil sesuai kebutuhan. Sistem pengendali temperatur yang dipakai yaitu kendali on-off dengan relay dan sistem minimum. Sistem minimum yang digunakan pada penelitian ini adalah Arduino Mega 2560.

Arduino Mega 2560 adalah sistem minimum berbasis mikrokontroler ATmega2560. Sistem minimum ini memiliki 54 pin input/output digital (15 pin diantaranya memiliki fungsi PWM), 16 pin input analog, 4 pasang pin komunikasi serial, osilator kristal 16 MHz, serta konektor USB. Arduino Mega 2560 beroperasi pada tegangan 5 Volt dan arus 20 mA pada setiap konektor *input/output*.



Gambar 2.3. Arduino Mega 2560

(<https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>)

Kemudian untuk mengetahui temperatur dari air yang mengalir pada sistem pendingin digunakan sensor suhu Dallas 18B20. Dallas 18B20 adalah IC sensor suhu digital yang memiliki keluaran suhu dalam derajat celsius dengan resolusi 9 sampai 12 bit. Sensor ini dapat berfungsi tanpa menyambungkan sumber tegangan pada pin Vcc, karena sifatnya yang dapat mengambil sumber tegangan dari pin data (DQ).

Sensor suhu Dallas 18B20 memiliki akurasi 0,5°C pada suhu -10°C sampai +85°C. Sensor tersebut beroperasi pada -55°C sampai +125°C. Sensor Dallas 18B20 dihubungkan ke mikrokontroler dengan sebuah resistor *pull up* sebesar 4,7kΩ antara pin Vcc dan DQ.



Gambar 2.4. Sensor Suhu Dallas 18B20
(<http://i.ebayimg.com/images/i/131116100991-0-1/s-11000.jpg>)

III. METODOLOGI

3.1. Proses Pembuatan Alat

1) Proses perakitan mesin pendingin

Mesin pendingin yang digunakan terdiri atas 4 komponen yaitu modul pendingin termoelektrik, sebuah *heatsink* lengkap dengan sepasang kipas, sebuah *water block* dan sebuah radiator 120mm. Modul pendingin termoelektrik yang dipilih yaitu TEC1-12706. Modul termoelektrik tersebut dipilih dengan mempertimbangkan ukuran *heatsink* yang ditentukan melalui eksperimen yang sudah dilakukan sebelumnya.

Sisi panas modul pendingin termoelektrik dipasang menghadap ke *heatsink* kemudian sisi dingin menghadap ke *water block*. *Water block* terbuat dari bahan tembaga dengan sirip-sirip pada bagian dalam akan mempermudah proses pendinginan air. Mesin pendingin pada sistem pendingin komputer berbasis *hybrid cooling engine* berjumlah 2 buah karena beban pendingin mencapai 380W aktual dengan konfigurasi standar.

Kedua mesin pendingin, pompa, *water block* dan radiator yang berada di dalam komputer dihubungkan dengan selang silikon. Selang silikon dipilih karena pemasangan yang relatif mudah dan elastis sehingga mudah dibengkokkan.

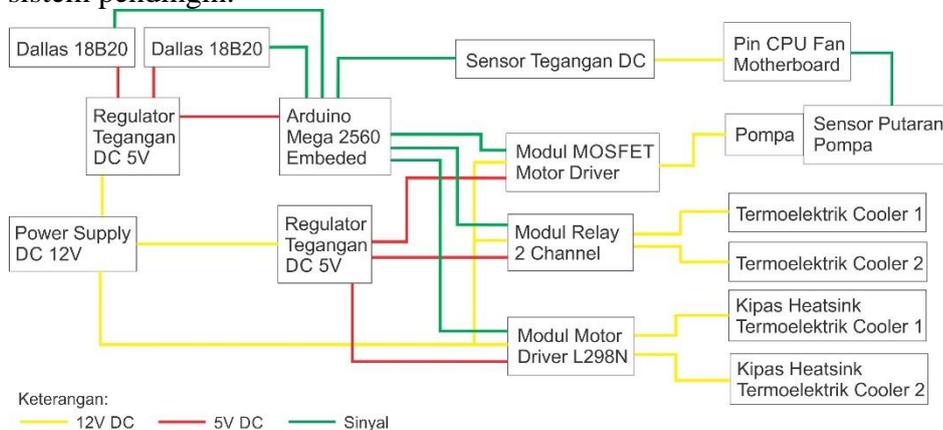


Gambar 3.1. Mesin Pendingin dan Pompa

2) Wiring sistem pengendali temperatur

Sistem pengendali temperatur terdiri atas beberapa sensor, modul motor *driver* dan modul relay. Sensor yang dipakai yaitu dua sensor suhu dan sensor tegangan DC. Dua sensor suhu disambungkan ke pin digital mikrokontroler untuk mengukur suhu lingkungan dan suhu output sistem yang berupa air yang sudah didinginkan. Sensor tegangan DC akan mengukur perubahan tegangan DC dari pin CPU fan motherboard.

Modul motor *driver* bertugas mengendalikan kerja pompa dan kipas pendingin termoelektrik. Kemudian modul relay akan mengatur modul termoelektrik yang harus menyala berdasarkan nilai dari sensor tegangan dan sensor suhu. Sensor putaran yang ada di dalam pompa akan mengirimkan sinyal ke pin CPU fan pada motherboard sehingga motherboard dapat mengetahui kinerja dari sistem pendingin.



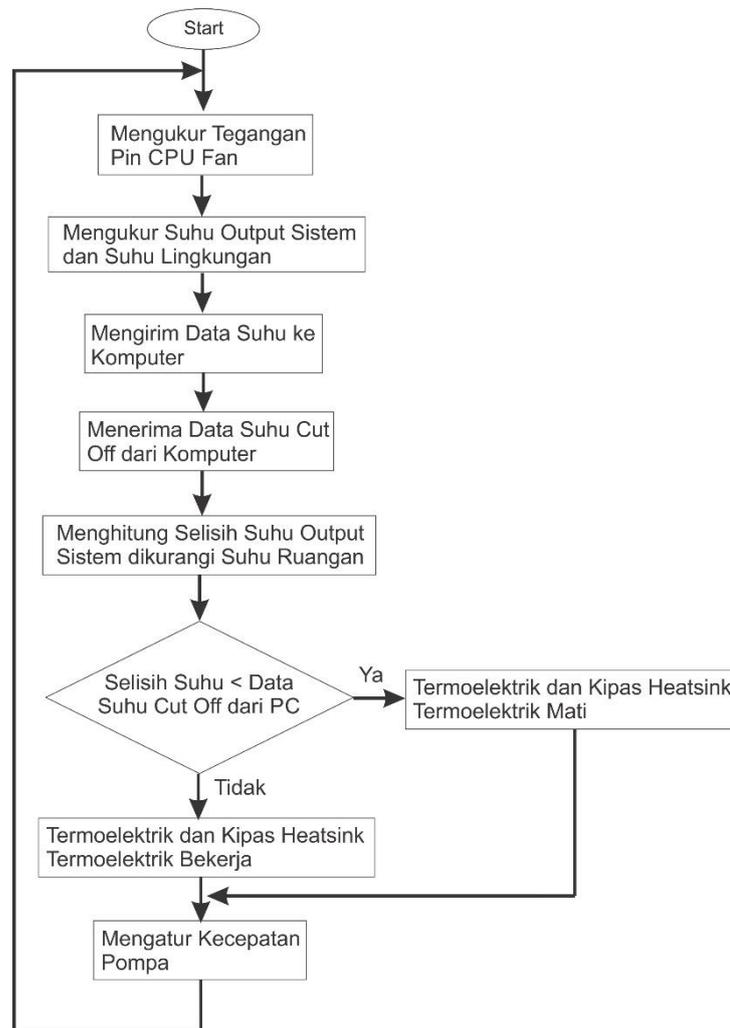
Gambar 3.2. Wiring Sistem Pengendali Temperatur

3) Pembuatan algoritma program

Pada saat program pertama kali dijalankan sensor tegangan akan membaca level tegangan keluaran pin CPU fan motherboard. Setelah itu, mikrokontroler akan menerima data besarnya tegangan dalam bentuk nilai dari 0 sampai 1023. Kemudian nilai itu akan dikonversi menjadi nilai 0 sampai 255 untuk mengatur kecepatan pompa.

Sensor suhu pertama akan mengukur suhu lingkungan dan sensor suhu kedua akan mengukur suhu keluaran sistem berupa air yang sudah didinginkan. Selanjutnya, mikrokontroler akan menghitung nilai beda suhu dari suhu keluaran sistem dikurangi dengan suhu lingkungan. Kemudian mikrokontroler akan mengatur kerja termoelektrik dan kipas *heatsink* termoelektrik berdasarkan nilai beda suhu dan kecepatan pompa.

Data suhu ruangan, suhu air dan besarnya tegangan pin CPU fan pada motherboard dapat dipantau melalui program yang dijalankan pada komputer. Selain itu, suhu *cut off* sistem pendingin juga dapat diatur melalui program tersebut. Sehingga, pengguna memiliki kendali untuk mengatur intensitas pendinginan pada komputer.



Gambar 3.3. Diagram Alir Program Sistem Kendali

IV. HASIL PENELITIAN

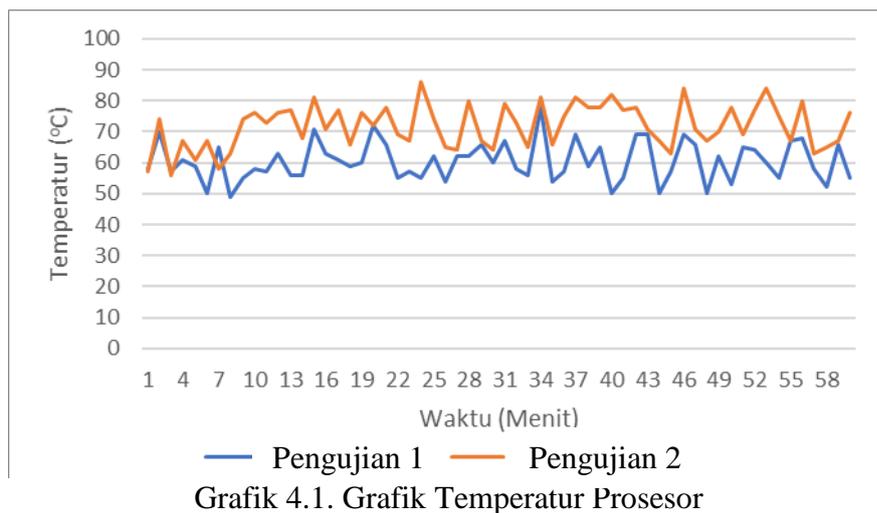
4.1. Hasil Pengujian

Untuk menguji sistem pendingin dilakukan melalui 2 macam tes yaitu tes *benchmarking* dan tes stabilitas. Masing-masing tes dilakukan dengan sistem pendingin komputer berbasis *hybrid cooling engine* serta sistem *All-In-One (AIO) water cooler* untuk prosesor dan *heatsink* MSI Twin Frozr untuk kartu grafis sebagai data pembandingan. Tes *benchmarking* dilakukan menggunakan program ROG CPU-Z, Bioshock Infinite Benchmarking Utility, Cinebench R15 dan Unigine Superposition. Prosedur tes *benchmarking* dilakukan secara berurutan menggunakan 4 program yang sudah disebutkan, kemudian tes tersebut diulangi sebanyak 3 kali dengan jeda 5 menit pada setiap tes.

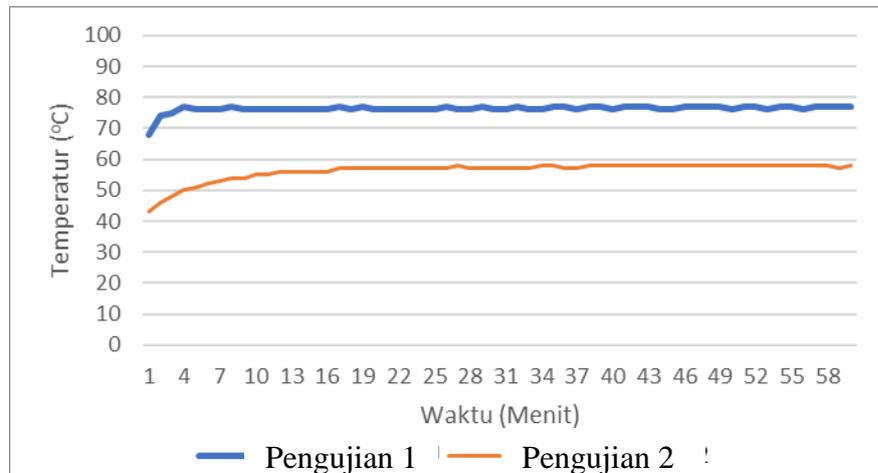
No.	Program (Pengaturan)	Parameter	Hasil tes rata-rata	
			AIO dan heatsink	Hybrid cooling engine
1	ROG CPU-Z (Multi Thread)	Skor	2827	2764
2	Bioshock Infinite Benchmarking Utility (Ultra with Depth of Field)	FPS rata-rata	126,663	126,797
3	Cinebench R15 (Multicore)	Skor	967,667	975
4	Unigine Superposition (1080p medium)	Skor	8643,333	8657,333
		FPS rata-rata	64,65	64,757
		Temperatur minimum (°C)	38,333	40,67
		Temperatur maksimum (°C)	76	57

Tabel 4.1. Hasil Tes *Benchmarking*

Tes yang kedua adalah tes stabilitas dengan prosedur selama satu jam komputer diberi beban dengan program Unigine Valley dan program Corsair Link 4 untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan. Tes stabilitas ini juga dilakukan dengan dua macam sistem pendingin seperti pada tes *benchmarking*.



Grafik 4.1. Grafik Temperatur Prosesor



Grafik 4.2. Grafik Temperatur Kartu Grafis

4.2. Jumlah Energi Panas yang Dilepas oleh Sistem Pendingin

Jumlah energi panas yang dilepas oleh sistem pendingin adalah jumlah energi panas yang dilepas oleh 2 *engine module* dan sebuah radiator. Pada *engine module* terdapat modul termoelektrik sehingga sebelum menghitung jumlah energi panas yang dilepas, perlu dihitung nilai koefisien Seebeck, hambatan termal, hambatan listrik, daya masuk ke modul termoelektrik serta energi panas yang diserap dari air.

Untuk menghitung nilai koefisien Seebeck, hambatan termal dan hambatan listrik digunakan nilai T_h dari *datasheet* saat nilai tersebut 50°C atau 323K.

$$\alpha = \frac{V_{max}}{T_h} \quad (2.3)$$

$$\alpha = \frac{16,4}{323}$$

$$\alpha = 0,0508 \text{ V/K}$$

$$\theta = \frac{\Delta T_{max}}{V_{max} I_{max}} \frac{2T_h}{(T_h - \Delta T_{max})} \quad (2.4)$$

$$\theta = \frac{75}{(16,4 \times 6,4) (323 - 75)}$$

$$\theta = 1,8613 \text{ K/W}$$

$$R = \frac{V_{max}}{I_{max}} \left(\frac{T_h - \Delta T_{max}}{T_h} \right) \quad (2.5)$$

$$R = \frac{16,4}{6,4} \left(\frac{323 - 75}{323} \right)$$

$$R = 1,9675 \Omega$$

Selanjutnya yaitu menghitung daya masuk ke modul termoelektrik (P_{in}) dan energi panas yang diserap dari air (q_{Ab}). Nilai P_{in} dan q_{Ab} dikalikan 2 karena ada dua buah *engine module*. Untuk menghitung daya masuk ke modul termoelektrik digunakan nilai arus listrik dan tegangan listrik pada saat modul termoelektrik beroperasi. Sedangkan, nilai ΔT dan T_c untuk menghitung jumlah energi panas yang diserap dari air digunakan nilai dari hasil pengukuran langsung.

$$P_{in} = (V_{in} I) \times 2 \quad (2.8)$$

$$P_{in} = 11,7 \times 3,7$$

$$P_{in} = 86,58 \text{ W}$$

$$q_{Ab} = (\alpha IT_c - \frac{\Delta T}{\theta} - \frac{1}{2} I^2 R) \times 2 \quad (2.6)$$

$$q_{Ab} = ((0,0508 \times 3,7 \times 315) - (\frac{-3}{1,8613}) - (\frac{1}{2} \times 3,7^2 \times 1,9675)) \times 2$$

$$q_{Ab} = 94,7033 \text{ W}$$

Kemudian, jumlah energi panas yang dilepas oleh kedua *engine module* yaitu:

$$q_{Em} = P_{in} + q_{Ab} \quad (2.7)$$

$$q_{Em} = 86,58 + 94,7033$$

$$q_{Em} = 181,2833 \text{ W}$$

Untuk menghitung jumlah energi panas yang dilepas oleh radiator digunakan asumsi yaitu debit air dari pompa 100ml per detik. Kemudian nilai ΔT diukur dari selisih suhu air masuk dan air yang keluar dari radiator. Nilai massa jenis air yang dipakai 998,6 kg/m³ dan kalor jenis air 4183 kJ/kgK.

$$Q = m C \Delta T \quad (2.2)$$

$$Q = \rho V C \Delta T$$

$$Q = 998,6 \times 10^{-4} \times 4183 (314,8 - 313,8)$$

$$Q = 417,7144 \text{ W}$$

Jadi, jumlah energi panas yang dilepas oleh sistem pendingin adalah 598,9977 W.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Sistem pendingin komputer berbasis *hybrid cooling engine* adalah pengembangan dari sistem pendingin komputer berbasis air. Sistem pendingin tersebut mengkombinasikan pendingin termoelektrik dan radiator sebagai komponen pendingin. Pendingin termoelektrik digunakan untuk mendapatkan temperatur air serendah mungkin sedangkan radiator digunakan untuk membuang energi panas dari air saat komputer diberi beban penuh.
- 2) Ada dua macam pengujian sistem pendingin komputer berbasis *hybrid cooling engine* yaitu pengujian *benchmarking* dan pengujian stabilitas. Pengujian tersebut bertujuan untuk membandingkan sistem pendingin yang sudah dibuat dengan sistem pendingin berbasis AIO *watercooler* pada prosesor dan *heatsink* pada kartu grafis.
- 3) Dari hasil pengujian *benchmarking* didapatkan kenaikan kinerja rata-rata sebesar 0,295% tanpa ada perubahan pada pengaturan BIOS. Kemudian dari hasil pengujian tersebut juga didapatkan penurunan kinerja *multi threading* sebesar 2,23% yang disebabkan oleh kenaikan temperatur pada prosesor. Pada pengujian stabilitas didapatkan data penurunan temperatur rata-rata pada kartu grafis sebesar 20,02°C. Kemudian pada temperatur prosesor didapatkan kenaikan data temperatur rata-rata sebesar 11,48°C. Kenaikan temperatur tersebut disebabkan oleh bahan pelapis pada *water block* prosesor yang kurang baik untuk menghantarkan energi panas.

REFERENSI

- Andrianto, Heri. 2015. Pemrograman Mikrokontroler AVR ATmega16 Menggunakan Bahasa C (CodeVisionAVR). Bandung: Penerbit Informatika.
- Anonim. 2014. Pengenalan, Permasalahan dan Penanganan Hardware Komputer. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Franz Louie Chua, Brandon Ohara, Rachel Reid, Bernadette Tong. 2013. *Quikchill: thermoelectric water cooler*. https://scholarcommons.scu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1011&context=mec_senior. Diakses pada hari Senin 6 Agustus 2018 pukul 06:55 WIB.
- Jatin Patel, Matik Patel, Jigar Patel, Himanshu Modi. *Improvement in the COP of Thermoelectric Cooler*. International Journal of Scientific & Technology Research. Volume 5. Issue 5. Mei 2016.
- Prof. N. B. Totala, Prof. V.P. Desai, Rahul K. N. Singh, Debarshi Gangopadhyay, Mohd. Salman Mohd. Yaqub, Nikhil Sharad Jane. *Study and Fabrication of Thermoelectric Air Cooling and Heating System*. International Journal of Engineering Inventions. Volume 4. Issue 2. Agustus 2014.
- Syafrizal Daulay, Melwin. 2007. Mengenal Hardware-Software & Pengelolaan Instalasi Komputer. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Tri Ayodha Ajiwiguna, Rio Nugroho, Abrar Ismardi. 2017. *Method for Thermoelectric Cooler Utilization using Manufacturer's Technical Information*. <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5028060?class=pdf>. Diakses pada hari Minggu 30 September 2018 pukul 14:42 WIB.
- <http://peltiermodules.com/peltier.datasheet/TEC1-12706.pdf>. Diakses pada hari Jumat 3 Agustus 2018 pukul 07:01 WIB.
- <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>. Diakses pada hari Jumat 3 Agustus 2018 pukul 07:04 WIB.
- <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>. Diakses pada hari Kamis 17 Mei 2018 pukul 11:12 WIB.