Journal of Golden Generation Engineering
Volume:2, Nomor: 2, (2026), Juli: 418 - 434
Link Publish: https://ejournal.lppnusantara.com/index.php/engineering/article/view/1054
E-ISSN: 3123-2892, Doi: https://doi.org/10.65244/jggengineering.v2i2.1054

Pengaruh Tebal Sirip Terhadap Distribusi Temperature Pada Heatsink Dengan Menggunakan Metode *Steady-State Thermal*

Alvin Rahesta Kurniawan [1*], **Muhamad Safii** [2], **Althesa Androva** [3]
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia, Semarang [1,2,3]
Corresponding Author: kurniawanalvin373@gmail.com

Info Artikel
Submitted: *31 Mei 2026*
Revised : *03 Juni 2026*
Accepted: *26 Juni 2026*
Published: *31 Juli 2026*

Keywords: *CFD, temperature distribution, heatsink, thermal simulation, fin thickness*

Abstract
Heatsinks are a crucial component in electronic device cooling systems to maintain their performance and reliability. Heatsink effectiveness is influenced by geometric parameters, one of which is fin thickness, a factor rarely studied specifically regarding its effect on temperature distribution. This study aims to determine the effect of fin thickness on temperature distribution in heatsinks using CFD thermal simulations. The method used is a numerical simulation based on the Finite Element Method with the Steady-State Thermal module in CFD, varying the fin thickness to 3 mm, 5 mm, and 7 mm in a heatsink model with a fixed number of 7 fins. The simulation results show that increasing fin thickness decreases the maximum temperature, from 52.707°C for the 3 mm variation to 50.794°C for the 7 mm variation, accompanied by a more even temperature distribution. The 7 mm fin thickness variation produces the best thermal performance with the lowest peak temperature and the most homogeneous heat distribution, making it recommended as the optimal fin thickness to support efficient cooling of electronic components.

Kata Kunci: CFD, distribusi temperatur, heatsink, simulasi termal, tebal sirip

Abstrak
Heatsink merupakan komponen penting dalam sistem pendinginan perangkat elektronik untuk menjaga kinerja dan keandalannya. Efektivitas heatsink dipengaruhi oleh parameter geometrisnya, salah satunya tebal sirip, yang masih jarang dikaji secara khusus pengaruhnya terhadap distribusi temperatur. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh tebal sirip terhadap distribusi temperatur pada heatsink menggunakan simulasi termal CFD. Metode yang digunakan adalah simulasi numerik berbasis Finite Element Method dengan modul Steady-State Thermal pada CFD, dengan memvariasikan tebal sirip sebesar 3 mm, 5 mm, dan 7 mm pada model heatsink dengan jumlah sirip tetap sebanyak 7 buah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin tebal sirip, temperatur maksimum semakin menurun, yaitu dari 52,707°C pada variasi 3 mm menjadi 50,794°C pada variasi 7 mm, disertai distribusi temperatur yang semakin merata. Variasi tebal sirip 7 mm menghasilkan performa termal terbaik dengan temperatur puncak terendah dan distribusi panas paling homogen, sehingga dapat direkomendasikan sebagai ketebalan sirip yang lebih optimal untuk mendukung efisiensi pendinginan komponen elektronik.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.
Publisher: Lembaga Penerbit Penelitian Nusantara

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi semakin pesat dirasakan, teknologi elektronika merupakan kunci pada perkembangan teknologi saat ini, sehingga komponen pendukung sistem harus terus dikembangkan (Aldori & Pangestu, 2022). Komponen elektronik seperti prosesor dan chip semakin meningkat performanya, sehingga manajemen termal menjadi aspek krusial untuk menjaga kinerja dan keandalan perangkat (Setiawan et al., 2026). *Heatsink* menjadi salah satu solusi untuk memindahkan kalor dari permukaan panas ke lingkungan sekitar melalui sirip-siripnya (Gaikwad et al., 2023; Nuha et al., 2023)**.** Kinerja *heatsink* sendiri sangat dipengaruhi oleh jenis bahan, bentuk sirip, jumlah sirip, tinggi sirip, jarak antar sirip, serta ketebalan sirip, di mana ketebalan sirip berperan penting karena memengaruhi kemampuan sirip menyalurkan panas sekaligus menentukan berapa banyak sirip yang dapat dipasang pada ukuran heatsink tertentu (Ridho AlHafizh et al., 2026).

Sejumlah penelitian terdahulu telah secara spesifik mengkaji pengaruh tebal sirip terhadap performa termal heatsink, dengan metode dan hasil yang beragam. (Ridho AlHafizh et al., 2026) melakukan simulasi numerik menggunakan modul *Thermal Steady-State* pada SolidWorks Simulation 2024 untuk mengkaji pengaruh ketebalan sirip pada CPU *heatsink* berbahan aluminium 6061-T6 dengan variasi tebal 3 mm, 4 mm, dan 5 mm, yang secara bersamaan mengubah jumlah sirip menjadi 14, 12, dan 10 buah akibat dimensi *heatsink* yang tetap; hasilnya menunjukkan bahwa temperatur maksimum justru meningkat seiring bertambahnya tebal sirip, yaitu dari 30,6°C pada 3 mm menjadi 32,4°C pada 5 mm, karena pengurangan jumlah sirip lebih dominan memengaruhi luas permukaan konvektif dibandingkan penambahan luas penampang konduksi. Temuan yang selaras dilaporkan oleh (Yaseen, 2023) melalui simulasi numerik tiga dimensi menggunakan CFD *Icepak* yang memvariasikan jumlah dan tebal sirip; penelitian ini menemukan bahwa temperatur maksimum, penurunan tekanan, dan resistansi termal menurun seiring bertambahnya jumlah dan tebal sirip, dengan kombinasi optimal pada 15 sirip bertebal 0,25 mm, serta menyimpulkan bahwa jumlah sirip memberikan pengaruh yang lebih dominan dibandingkan tebal sirip. (Hermawansyah et al., 2023) menggunakan simulasi termal Solidworks 2021–2022 untuk membandingkan tiga model *heatsink* berbeda bentuk sirip pada kondisi konveksi alami, dan mendapati bahwa desain sirip persegi menghasilkan temperatur maksimum terendah, sekaligus mencatat bahwa sirip yang lebih tipis memungkinkan lebih banyak sirip terpasang pada dimensi heatsink yang sama sehingga memengaruhi efisiensi perpindahan panas.

Selain tebal sirip, sejumlah penelitian turut mengkaji parameter geometris lain yang memengaruhi distribusi temperatur pada *heatsink*. (Kirinčić et al., 2025) melakukan simulasi numerik berbasis metode volume hingga pada CFD *Fluent* yang divalidasi dengan data eksperimen untuk meneliti pengaruh rasio jarak-terhadap-tebal sirip (1,86–4,8) dan rasio tinggi-terhadap-jarak sirip (1,11–7,78) pada *heatsink* pelat pasif, dan menemukan bahwa laju disipasi panas mencapai puncaknya pada rasio jarak-terhadap-tebal sekitar 2,6 yang bersamaan dengan resistansi termal minimum, sementara efisiensi sirip terus menurun seiring bertambahnya kedua rasio tersebut. (Göksu, 2024) melakukan studi numerik terhadap delapan desain *heatsink* pin-fin berpenampang lingkaran, segitiga, persegi, dan heksagonal beserta versi berlubangnya, dan menyimpulkan bahwa pin berpenampang lingkaran paling efisien dari segi resistansi termal (0,29–0,51 K/W), sedangkan pin persegi mencapai nilai Performance Evaluation Criteria (PEC) tertinggi sebesar 1,1872, sehingga menegaskan bahwa efisiensi *heatsink* tidak cukup dinilai hanya dari resistansi termal atau temperatur rata-rata. (Ali & Sabri, 2024) melalui simulasi CFD yang divalidasi secara eksperimental pada saluran persegi mengkaji dua belas konfigurasi sirip solid dan berlubang berbentuk persegi maupun berlian, dan menunjukkan bahwa sirip berlubang berbentuk berlian memberikan efektivitas perpindahan panas tertinggi (1,55) dibandingkan sirip solid (0,8), karena perluasan area kontak dan peningkatan turbulensi aliran. (Ismail et al., 2024) menggunakan simulasi CFD tiga dimensi yang divalidasi secara eksperimental untuk mengkaji sirip pelat dengan berbagai sudut orientasi serta variasi diameter, jumlah baris, dan lebar sirip, dan mendapati bahwa konfigurasi dua baris sirip pelat menghasilkan performa hidrotermal terbaik dengan temperatur maksimum 38,60°C dan penurunan tekanan 44,48 Pa. (Nuha et al., 2023) melakukan simulasi *computational fluid dynamics* untuk membandingkan model sirip *heatsink* konvensional dengan model sirip termodifikasi pada berbagai beban panas, dan menemukan bahwa model termodifikasi menghasilkan koefisien perpindahan panas 2,51%–7,07% lebih tinggi dibandingkan model konvensional.

Kajian mengenai desain sirip juga relevan pada aplikasi spesifik lain. (Yonanda et al., 2025) menggunakan simulasi CFD *Fluent* untuk membandingkan konfigurasi sirip vertikal dan sirip bersegmen pada *heatsink* modul photovoltaic dengan variasi sudut aliran udara 0°–90°, dan mendapati bahwa konfigurasi sirip bersegmen mampu menurunkan temperatur permukaan modul PV hingga 3°C (5,6%) dibandingkan sirip vertikal, serta lebih adaptif terhadap perubahan arah aliran udara. (Safi'i 1a et al., 2025) melakukan kaji numerik menggunakan program *computational fluid dynamics* untuk mengevaluasi *heatsink* sirip

lurus dengan modifikasi alur persegi arah longitudinal dan transversal, dan menemukan bahwa konfigurasi alur longitudinal pada kecepatan aliran fluida 2 m/s menghasilkan performa termal-hidrolik terbaik dengan resistansi termal maksimum 0,673°C/W. (Aldori & Pangestu, 2022) menganalisis perilaku aliran panas pada beberapa desain permukaan *heatsink* menggunakan simulasi CFD pada kondisi temperatur pemanasan 75°C dan temperatur ruang 25°C, dan menemukan bahwa variasi desain sirip menghasilkan perbedaan distribusi panas yang signifikan, dengan salah satu desain mencapai fluks termal tertinggi sebesar 7152 W/m².

Berdasarkan uraian tersebut, terlihat bahwa penelitian terdahulu mengenai pengaruh tebal sirip terhadap distribusi temperatur *heatsink* umumnya dilakukan dengan turut mengubah jumlah sirip (Ridho AlHafizh et al., 2026; Yaseen, 2023) atau menggabungkannya dengan parameter geometris lain seperti jarak dan tinggi sirip (Bastos et al., 2024; Kirinčić et al., 2025), sehingga pengaruh murni tebal sirip terhadap distribusi temperatur pada kondisi jumlah sirip tetap belum banyak diisolasi secara khusus, terutama melalui simulasi *termal steady-state* berbasis CFD. Padahal, sebagaimana dikonfirmasi oleh (Hermawansyah et al., 2023), tebal sirip memiliki keterkaitan langsung dengan luas permukaan efektif dan jumlah sirip yang dapat ditempatkan pada dimensi *heatsink* yang sama, sehingga berpotensi besar memengaruhi kemampuan disipasi panas *heatsink* secara keseluruhan apabila diisolasi dari faktor jumlah sirip. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tebal sirip terhadap distribusi temperatur pada *heatsink* dengan jumlah sirip yang dijaga tetap, melalui simulasi termal menggunakan perangkat lunak CFD, sehingga dapat diperoleh gambaran mengenai ketebalan sirip yang optimal untuk mendukung efisiensi pendinginan komponen elektronik.

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian

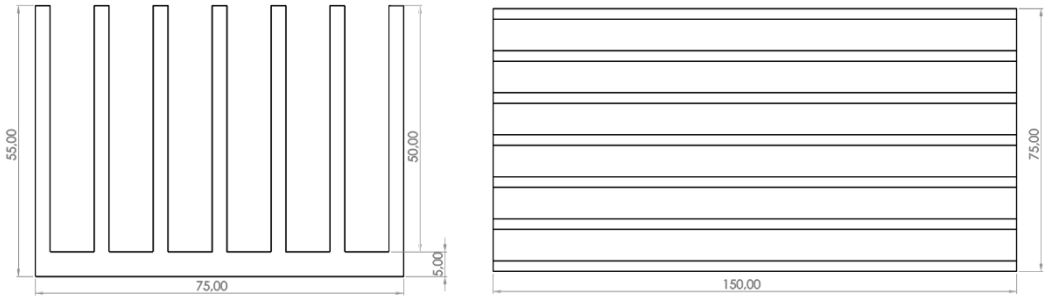
Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak CFD berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Method*) untuk analisis termal (*Steady-State Thermal*). Pendekatan ini dipilih karena mampu memprediksi distribusi temperatur pada geometri heatsink tanpa harus melakukan pengujian eksperimen secara langsung, sehingga lebih efisien dari segi biaya dan waktu penelitian. Simulasi termal berbasis CFD telah banyak digunakan dalam analisis performa heatsink, sebagaimana dilakukan oleh (Aldori & Pangestu, 2022) yang

menganalisis perilaku aliran panas pada berbagai desain permukaan heatsink, serta (Kirinčić et al., 2025; Silva et al., 2021) yang menggunakan simulasi numerik berbasis CFD Fluent untuk mengevaluasi pengaruh parameter geometris terhadap performa termal heatsink.

Model Geomertri

Dalam penelitian ini, digunakan *heatsink* dengan model fins persegi panjang (Nuha et al., 2023). Berdasarkan pada konstruksi yang sederhana, mudahan diproduksi, dan mampu menyediakan jalur efektif pada perpindahan panas dari base plate ke sirip sehingga model ini dipilih. Selain itu, sirip lurus juga berfungsi untuk memperbesar luas bagian atas kontak dengan udara sehingga proses pelepasan panas melalui konveksi bisa berlangsung secara optimal (Safi et al., 2024).

Model *heatsink* dirancang menggunakan *software* SolidWorks 2024. Ukuran panjang 150 mm, tinggi sirip 50 mm, ketebalan base platenya 5 mm, dan jumlah sirip 7 (Safi et al., 2024). Geometri *heatsink* yang digunakan dalam penelitian ini terlihat pada Gambar 1.



(a) **(b)**

Gambar 1. (a) Tampak Depan dan **(b)** Tampak Atas

Penelitian dilakukan dengan variasi ketebalan sirip *heatsink*, yaitu 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. Beragam ketebalan dan jumlah sirip yang digunakan dalam penelitian ini terlihat pada Tabel 2.1.

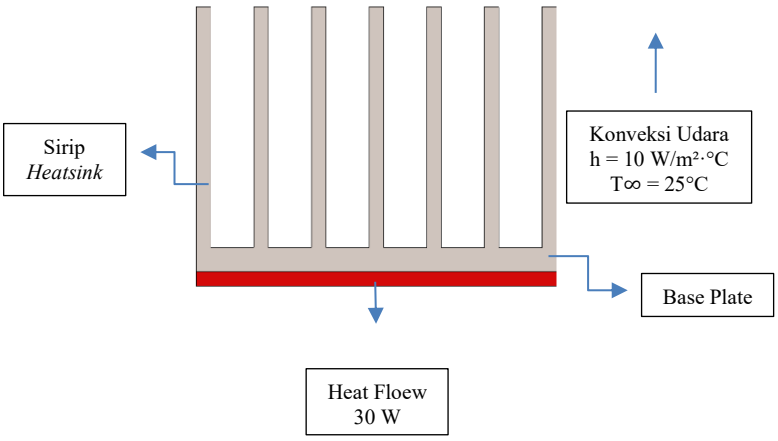
Tabel 2.1 Variasi Ketebalan Sirip Heatsink

Variasi	Tebal Sirip (mm)
1	3
2	5
3	7

Variasi ketebalan sirip tersebut dianalisis untuk mengetahui dampaknya terhadap distribusi suhu pada *heatsink*. Dengan dimensi total dan jumlah sirip yang tetap, variasi ketebalan ini akan mengubah luas permukaan serta ruang antar-sirip, sehingga konfigurasi pendinginan yang paling optimal dapat diidentifikasi.

Domain Komputasi

Sumber panas sebesar 30 watt diberikan ke permukaan bawah *heatsink* yang bersentuhan langsung dengan base plate. Simulasi dilakukan dalam kondisi stabil sehingga distribusi suhu yang diperoleh menunjukkan kondisi yang tetap tidak berubah.



Gambar 2. Domain Komputasi dan Kondisi Batas Simulasi Termal

Pada Gambar 2 menunjukkan area komputasi dan kondisi batas yang digunakan dalam simulasi panas. Sumber panas diletakkan di bagian bawah untuk memberikan panas ke *heatsink* melalui proses konduksi. Panas yang dihasilkan didistribusikan ke sirip-sirip *heatsink* sebelum dibuang ke lingkungan sekitar melalui proses konveksi. Domain komputasi ini menggambarkan proses pemindahan panas yang terjadi pada *Heatsink*, sehingga memudahkan dalam analisis distribusi suhu secara detail dan menyeluruh.

Material *Heatsink*

Pada penelitian ini, Aluminum 6061-T6 dipilih sebagai material utama penyusun struktur sirip dan basis *heatsink*. Karakteristik utama yang menjadi pertimbangan adalah nilai konduktivitas termalnya yang tinggi untuk kelas paduan aluminium standar komersial,

ketahanan mekanis yang sangat baik, serta stabilitas strukturalnya yang optimal selama menerima beban termal. Sifat termal, fisik, dan mekanis dari material Aluminum 6061-T6 yang digunakan sebagai parameter input dalam pemodelan simulasi ini dirangkum dalam Tabel 2.2.

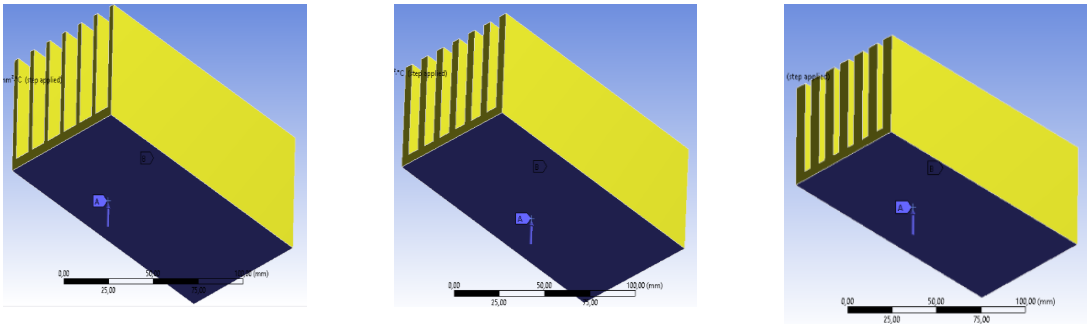
Table 2.2. Properties Material Aluminum 6061-T6

Propertis	**Nilai**
Densitas	2700 kg/m³
Panas spesifik	896 J/kg·K
Konduktivitas termal	167 W/m·K

Berdasarkan data properties material pada Tabel 2.2, Aluminum 6061-T6 memiliki nilai konduktivitas termal sebesar 167 W/m·K dengan kapasitas kalor spesifik mencapai 896 J/kg·K. Nilai konduktivitas termal yang tinggi ini menjamin laju konduksi kalor yang cepat dari sumber panas menuju ke seluruh permukaan sirip *heatsink*. Selain keunggulan termal, densitasnya yang rendah (~2700 kg/m³) memberikan keuntungan berupa bobot *heatsink* yang ringan tanpa mengorbankan kekuatan mekanis struktur secara keseluruhan. Oleh karena itu, pengaplikasian nilai properti fisik Aluminum 6061-T6 secara akurat dalam simulasi ini sangat penting untuk menjamin validitas hasil distribusi suhu yang didapat, sehingga mendekati karakteristik termal pada kondisi pengujian aktual.

Metodologi Simulasi *Thermal*

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* CFD dengan metode *Steady-State Thermal*. Sumber panas sebesar 30 watt diletakan pada permukaan base plate *heatsink*. Seluruh permukaan sirip *heatsink* diberi kondisi konveksi dengan koefisien perpindahan panas 10 W/m²·°C dan suhu lingkungan sebesar 25°C. Simulasi dilakukan untuk setiap variasi ketebalan sirip, sehingga didapatkan distribusi suhu berupa suhu maksimum dan suhu minimum yang digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi kinerja pendinginan heatsink. ariasi ketebalan sirip tersebut dianalisis untuk mengetahui dampaknya terhadap distribusi suhu pada *heatsink*.



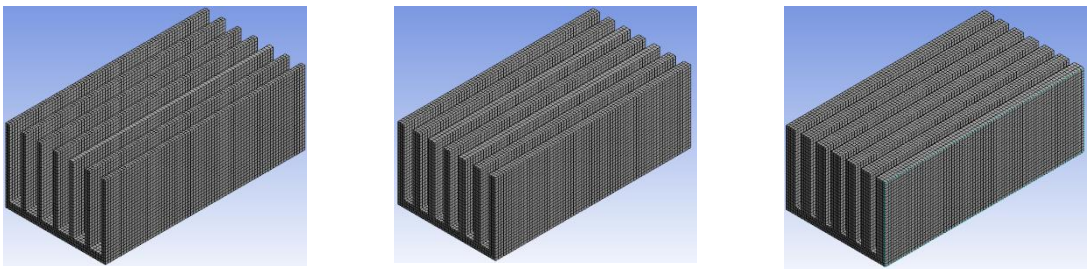
(a) 3 mm **(b)** 5 mm **(c)** 7 mm

Gambar 3. Pemberian Heat Flow dan Convecion Variasi **(a)** 3 mm, **(b)** 5 mm, dan **(c)** 7 mm

Gambar 3 mengilustrasikan mekanisme perpindahan panas *heatsink* melalui proses konduksi, sebelum akhirnya dilepaskan ke udara sekitar melalui proses konveksi pada permukaan sirip-sirip. Demi menjaga keadilan analisis, kondisi batas yang identik diterapkan pada seluruh variasi model guna menguji dampak perubahan ketebalan sirip terhadap efisiensi pendinginan secara akurat. Evaluasi hasil simulasi dilakukan dengan meninjau distribusi suhu serta nilai temperatur maksimum dan minimum dari tiap variasi. Desain *heatsink* yang dinilai paling efektif adalah variasi yang mampu menghasilkan suhu maksimum terendah dengan penyebaran panas yang paling merata.

Mesh dan Uji Independen *Mesh*

Geometri tersebut di-*mesh* menggunakan CFD Meshing dengan menerapkan operasi body sizing (Silva et al., 2021). Proses meshing dengan *element size* sebesar 2 terlihat pada gambar 4.



(a) 3 mm **(b)** 5 mm **(c)** 7 mm

Gambar 4. Hasil *Meshing* Variasi **(a)** 3 mm, **(b)** 5 mm, dan **(c)** 7 mm

Uji independensi *mesh* dilakukan guna menjamin bahwa hasil simulasi telah konvergen dan bebas dari pengaruh kerapatan grid. Beberapa variasi kuantitas elemen dan node dibandingkan secara bertahap hingga nilai temperatur yang diperoleh mencapai kondisi relatif stabil.

Tabel 2.3. Jumlah Node dan Elemen pada Berbagai Variasi tebal sirip

Variasi	Node	Elemen	Temperature	Error
3 mm	186744	33825	25°C	-
5 mm	232194	45075	25°C	2,27%
7 mm	293930	60300	25°C	1,39%

Berdasarkan Tabel 2.3, Variasi ketebalan sirip secara langsung memengaruhi karakteristik pembagian mesh pada masing-masing model. Hal ini terlihat dari perbedaan jumlah node dan elemen, di mana ketebalan 3 mm menghasilkan 186.744 node dan 33.825 elemen, ketebalan 5 mm menghasilkan 232.194 node dan 45.075 elemen, serta ketebalan 7 mm menghasilkan 293.930 node dan 60.300 elemen. Berdasarkan uji independensi *mesh*, tingkat kerapatan elemen yang digunakan telah memadai karena variasi ukuran grid tersebut tidak lagi memengaruhi distribusi suhu secara signifikan. Dengan demikian, konfigurasi *mesh* pada seluruh variasi telah memenuhi kriteria analisis termal karena mampu menjamin konvergensi serta akurasi hasil simulasi.

Set-Up Simulasi

Tahap *set-up* simulasi melibatkan pendefinisian kondisi batas (*boundary conditions*) yang akan diimplementasikan pada model *heatsink* sebelum proses kalkulasi dimulai. Penetapan parameter ini harus dilakukan secara akurat karena bertindak sebagai acuan utama bagi *solver* CFD dalam memproyeksikan distribusi suhu di seluruh domain simulasi. Kesalahan dalam menentukan kondisi batas dapat mengakibatkan hasil perhitungan numerik menjadi tidak valid.

Proses *set-up* diperlukan untuk menerapkan kondisi batas (*boundary conditions*) pada desain *heatsink.* Akurasi dalam penentuan kondisi batas ini sangat krusial, sebab parameter tersebut menjadi basis data bagi *solver* CFD untuk menghitung dan memetakan persebaran temperatur di setiap bagian domain simulasi.

Pada simulasi ini, kondisi batas yang dugunakan bisa dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Parameter Simulasi

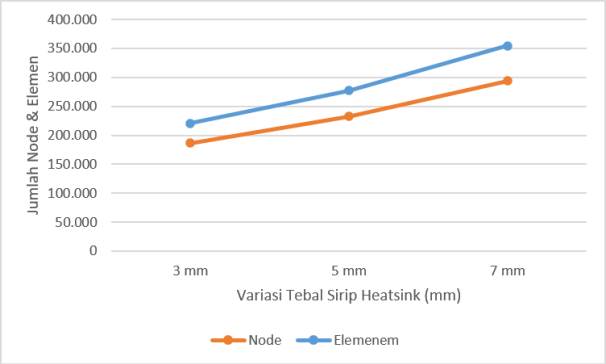
Parameter	Nilai
Heat Flow	30 W
Ambient Temperature	25°C
Koefisien Konveksi	10 W/m²·°C
Tipe Analisis	*Steady-State Thermal*

Parameter heat flow sebesar 30 W pada Tabel 2.4 merepresentasikan beban panas yang dihasilkan oleh komponen elektronik yang harus didisipasikan oleh *heatsink*. Ambient temperature sebesar 25°C digunakan sebagai acuan suhu lingkungan sekitar *heatsink* pada kondisi ruangan normal, sedangkan koefisien konveksi sebesar 10 W/m²·°C menggambarkan perpindahan panas secara konveksi alami antara permukaan sirip *heatsink* dengan udara di sekitarnya. Jenis analisis yang digunakan adalah *steady-state thermal*, karena penelitian ini berfokus pada kondisi distribusi suhu yang telah stabil atau tidak lagi berubah terhadap waktu, sehingga hasil simulasi dapat merepresentasikan kondisi kesetimbangan termal pada *heatsink.*

Variasi ketebalan sirip tersebut dianalisis untuk mengetahui dampaknya terhadap distribusi suhu pada *heatsink*. Dengan dimensi total dan jumlah sirip yang tetap, variasi ketebalan ini akan mengubah luas permukaan sirip yang bersentuhan dengan udara, sehingga turut memengaruhi laju perpindahan panas secara konveksi dari *heatsink* ke lingkungan sekitarnya. Semakin tebal sirip, luas permukaan konveksi yang dihasilkan akan semakin besar, namun jumlah sirip yang dapat disusun pada dimensi total yang sama akan berkurang, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut untuk menentukan ketebalan sirip yang memberikan distribusi suhu paling optimal.

Validasi dan Pengolahan Data

Validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa simulasi memenuhi kriteria analisis termal dan mampu menghasilkan data yang konsisten. Proses validasi ini diterapkan melalui uji *independensi mesh* dengan membandingkan nilai temperatur maksimum pada berbagai tingkat kerapatan elemen. *Mesh* yang dipilih adalah konfigurasi yang menghasilkan perubahan suhu minimal meskipun jumlah elemen terus ditingkatkan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa hasil simulasi telah mencapai tahap konvergen dan tidak lagi bergantung pada ukuran *mesh*.



Gambar 5. Jumlah Node dan Elemen Setiap Variasi Heatsink

Pasca vallidasi model, simulasi dijalankan pada setiap variasi ketebalan sirip *heatsink*, yang meliputi ukuran 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. Output dari simulasi ini mencakup data temperatur maksimum (*maximum temperature*) dan minimum (*minimum temperature*) pada komponen *heatsink*. Selanjutnya, guna menganalisis karakteristik distribusi panas yang terjadi, perhitungan selisih suhu dilakukan dengan mengacu pada Persamaan (1) (Ridho AlHafizh et al., 2026).

$$\Delta T = T_{max} - T_{min} \quad (1)$$

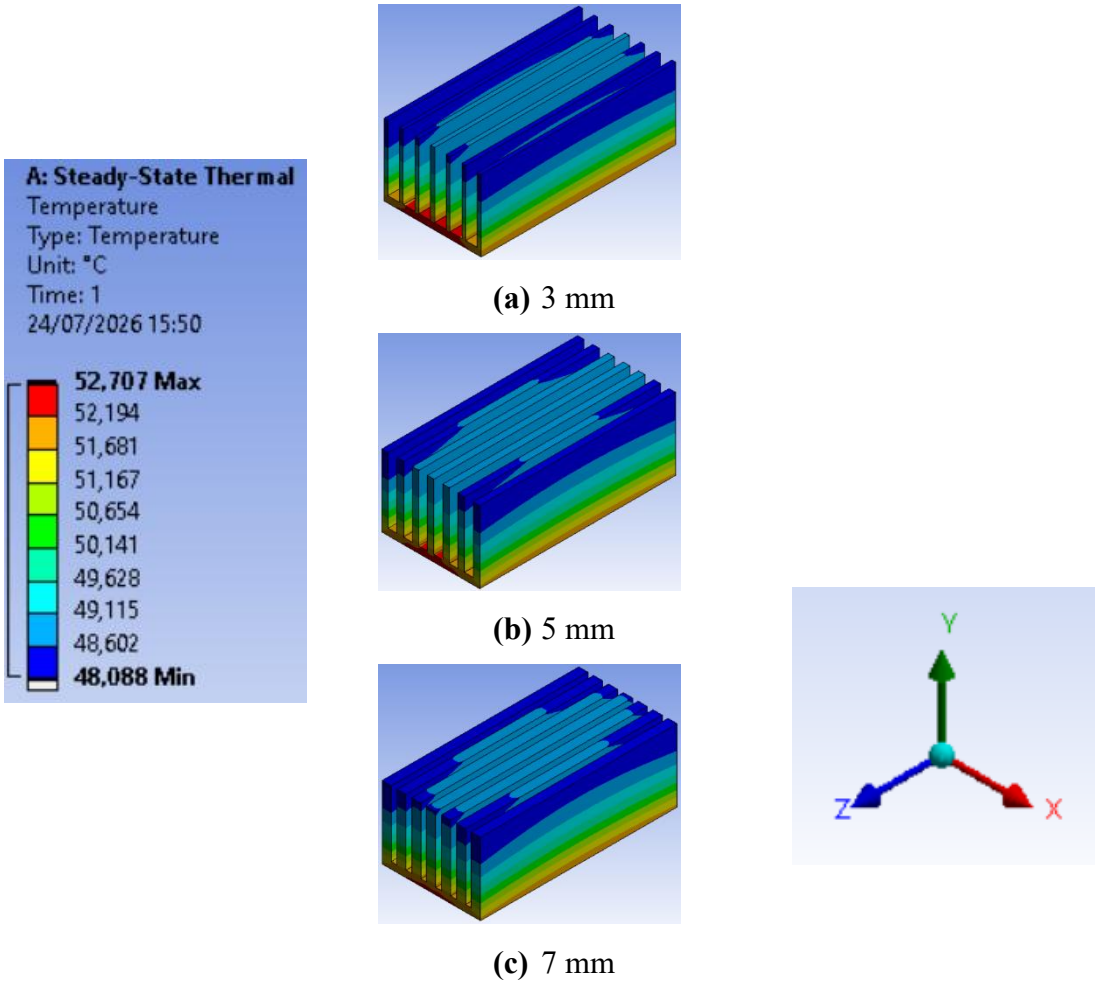
Hasil simulasi kemudian disajikan dalam bentuk plot kontur distribusi suhu, tabel, serta grafik untuk mempermudah proses analisis. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan nilai temperatur maksimum, temperatur minimum, dan selisih suhu dari setiap variasi ketebalan sirip. Konfigurasi *heatsink* yang menghasilkan suhu maksimum terendah dinilai memiliki performa pendinginan paling optimal. Penilaian ini didasarkan pada kondisi operasi dengan beban kalor sebesar 30 Watt, koefisien perpindahan panas konveksi sebesar 10 W/m²·°C, dan temperatur lingkungan 25°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Termal

Simulasi dilakukan menggunakan modul *Steady-State Thermal* CFD dengan memvariasikan ketebalan sirip *heatsink* sebesar 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. Sementara parameter lain seperti daya panas 30 W, koefisien perpindahan panas konveksi 10 W/m²·°C, suhu lingkungan 25°C, ukuran *heatsink*, dan bahan tetap tidak berubah agar pengaruh

ketebalan sirip dapat diamati secara jelas dan adil, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2 , Tabel 2.2 dan Tabel 2.4.



(a) 3 mm

(b) 5 mm

(c) 7 mm

Gambar 6. Kontur Distribusi Suhu Pada Ketebalan **(a)** 3mm, **(b)** 5mm, dan **(c)** 7 mm

Dari hasil simulasi secara visual pada Gambar 6, warna merah merupakan representasi temperatur tertinggi yang terkonsentrasi di sekitar sumber panas pada base plate, sedangkan warna hijau hingga biru menggambarkan temperatur yang lebih rendah yang tersebar menuju ujung sirip. Pada variasi ketebalan 3 mm (Gambar 6a), area berwarna merah dan kuning tampak lebih dominan dan menyebar hingga ke bagian tengah sirip, yang menandakan panas masih terkonsentrasi akibat resistansi termal konduksi yang tinggi. Pada variasi 5 mm (Gambar 6b), area berwarna merah mulai menyempit dan bergeser lebih dekat ke base plate, sementara warna hijau kebiruan mulai mendominasi bagian tengah hingga ujung sirip. Pada variasi 7 mm (Gambar 6c), area panas berwarna merah dan kuning tampak paling sempit dan hanya terkonsentrasi di sekitar sumber panas, sedangkan sebagian besar permukaan sirip

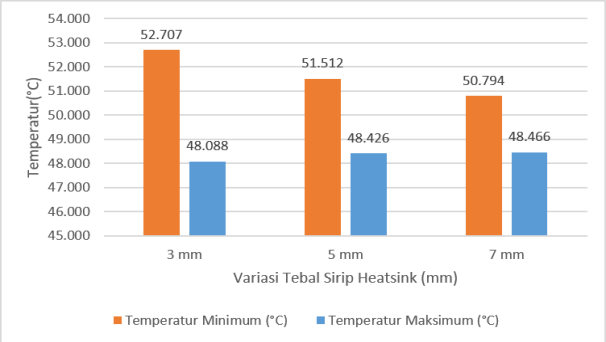
didominasi warna hijau kebiruan yang mengindikasikan temperatur yang lebih rendah dan lebih merata. Perbedaan pola sebaran warna pada ketiga variasi tersebut secara visual menunjukkan bahwa semakin tebal sirip, semakin cepat panas terdistribusi dari base plate menuju ujung sirip, sehingga gradien temperatur pada permukaan *heatsink* menjadi semakin kecil.

Hasil simulasi suhu untuk setiap variasi ketebalan sirip *heatsink* dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Hasil Simulasi Temperatur Heatsink

Variasi (mm)	Maksimum (°C)	Minimum (°C)
3	52,707	48,088
5	51,512	48,426
7	50,794	48,466

Agar memudahkan membandingkan hasil simulasi pada setiap variasi ketebalan sirip, untuk data di Tabel 3.1 kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik, seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 7. Diagram Perbandingan Distribusi Temperatur Maksimum dan Minimum

Berdasarkan grafik pada Gambar 7, terlihat bahwa nilai temperatur maksimum mengalami penurunan yang konsisten seiring bertambahnya ketebalan sirip, yaitu dari 52,707°C pada variasi 3 mm, menjadi 51,512°C pada variasi 5 mm, dan 50,794°C pada variasi 7 mm. Sebaliknya, nilai temperatur minimum justru mengalami sedikit peningkatan pada setiap penambahan ketebalan sirip, yaitu 48,088°C, 48,426°C, dan 48,466°C berturut-turut untuk variasi 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. Kecenderungan ini menyebabkan rentang antara

temperatur maksimum dan minimum semakin mengecil, yaitu dari 4,619°C pada variasi 3 mm menjadi 2,328°C pada variasi 7 mm, yang mengindikasikan bahwa distribusi temperatur pada permukaan *heatsink* semakin merata seiring bertambahnya ketebalan sirip. Grafik ini memperjelas bahwa variasi ketebalan 7 mm menghasilkan performa termal terbaik di antara ketiga variasi yang diuji, karena mampu menekan temperatur puncak sekaligus meminimalkan gradien temperatur pada seluruh permukaan *heatsink*.

Efek Ketebalan Sirip *Heatsink*

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan tebal sirip dari 3 mm menjadi 7 mm secara konsisten menurunkan temperatur maksimum sekaligus meratakan distribusi temperatur pada permukaan *heatsink*. Hal ini terjadi karena sirip yang lebih tebal memiliki luas penampang lintang yang lebih besar sehingga resistansi termal konduksi sepanjang sirip mengecil, membuat panas menyebar lebih cepat dan merata menuju ujung sirip tanpa menumpuk di dekat sumber panas. Temuan ini sejalan dengan (Bastos et al., 2024) yang menyatakan bahwa tebal dan tinggi sirip merupakan parameter kunci dalam optimasi disipasi termal *heatsink*.

Hasil ini berbeda dengan (Hermawansyah et al., 2023) yang menyebutkan sirip lebih tipis justru lebih efisien karena jumlah sirip yang bisa ditambahkan lebih banyak sehingga luas permukaan konvektif totalnya lebih besar. Perbedaan ini wajar karena pada penelitian ini jumlah sirip dijaga tetap 7 buah, sehingga penambahan tebal sirip hanya menambah luas penampang konduksi tanpa mengubah luas permukaan konvektif — menegaskan bahwa pengaruh tebal sirip sangat bergantung pada apakah jumlah sirip dibuat tetap atau ikut berubah, sebagaimana diindikasikan (Kirinčić et al., 2025).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi termal menggunakan CFD *Steady-State Thermal* dengan variasi tebal sirip 3 mm, 5 mm, dan 7 mm pada *heatsink* dengan jumlah sirip tetap sebanyak 7 buah, dapat disimpulkan bahwa tebal sirip berpengaruh signifikan terhadap distribusi temperatur pada heatsink. Semakin tebal sirip, temperatur maksimum semakin menurun, yaitu dari 52,707°C pada variasi 3 mm menjadi 50,794°C pada variasi 7 mm, sekaligus menghasilkan distribusi temperatur yang lebih merata, ditandai dengan mengecilnya rentang antara temperatur maksimum dan minimum dari 4,619°C menjadi 2,328°C. Dari ketiga variasi yang diuji, tebal sirip 7 mm menunjukkan performa termal terbaik dengan temperatur

puncak terendah dan distribusi panas paling homogen, sehingga dapat direkomendasikan sebagai ketebalan sirip yang lebih optimal untuk mendukung efisiensi pendinginan komponen elektronik pada konfigurasi heatsink serupa. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji variasi tebal sirip yang lebih luas serta mempertimbangkan perubahan jumlah sirip secara bersamaan, agar diperoleh gambaran optimasi geometri *heatsink* yang lebih komprehensif.

Ketebalan sirip *heatsink* memengaruhi kapasitas konduksi termal sekaligus hambatan terhadap aliran fluida di sekitarnya. Ketebalan sirip yang ekstrem—baik terlalu tipis maupun terlalu tebal—akan membatasi optimalisasi sistem pendingin. Dari sudut pandang termal, sirip yang tebal memang mempercepat hantaran panas dari basis ke ujung sirip, namun membatasi jumlah sirip yang dapat dimuat dalam ruang terbatas. Sebaliknya, sirip yang lebih tipis memungkinkan penambahan densitas sirip untuk memperluas area kontak dengan udara, yang efektif menurunkan resistansi termal. Kendati demikian, sirip yang terlampau tebal justru menurunkan efisiensi pendinginan karena penambahan massa sirip tidak sebanding dengan performa pelepasan panas secara konveksi.

Dimensi ketebalan sirip *heatsink* memiliki dampak signifikan terhadap karakteristik hidrolik aliran fluida di sekitarnya. Ketika jarak antar pusat sirip konstan, penggunaan sirip yang lebih tebal akan mempersempit saluran udara. Akibatnya, hambatan terhadap aliran fluida melonjak dan memicu kenaikan penurunan tekanan (*pressure drop*). Penyempitan celah ini juga memaksa kecepatan udara meningkat pada laju debit yang sama, yang sekaligus memperbesar gesekan hidrolik di sepanjang permukaan. Oleh karena itu, penentuan ketebalan sirip yang ideal sangat krusial untuk meminimalkan hambatan angin tanpa memicu turbulensi berlebih yang dapat membebani kinerja kipas pendingin..

DAFTAR PUSTAKA

Aldori, Y. R., & Pangestu, R. (2022). Analisa Perilaku Aliran Panas Pada Permukaan Desain Heatsink Dengan Menggunakan Software ANSYS. *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, *1*(2). https://doi.org/10.56862/irajtma.v1i2.24

Ali, A., & Sabri, A. (2024). Effect of Perforated Pin Fin on Thermal Performance of a Rectangular Channel in Forced Convection. In *Journal of Information Systems Engineering and Management* (Vol. 2025, Number 35s). https://www.jisem-journal.com/

Bastos, L., Marques, Â., Vale, B., Freitas, R., Silva, S., Portinha, A., Bernardo, P., Dias, G., & Carneiro, F. (2024). NUMERICAL ANALYSIS OF POLYMERIC HEATSINKS. *37th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS 2024*, *3*, 1729–1740. https://doi.org/10.52202/077185-0148

Gaikwad, A., Sathe, A., & Sanap, S. (2023). A design approach for thermal enhancement in heat sinks using different types of fins: A review. *Frontiers in Thermal Engineering*, *2*. https://doi.org/10.3389/fther.2022.980985

Göksu, T. T. (2024). Investigation of pin and perforated heatsink cooling efficiency and temperature distribution. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *149*(12), 6517–6529. https://doi.org/10.1007/s10973-024-13078-8

Hermawansyah, A., Kurniawan, A., Win, S. L. Y., Qosim, N., Biki, S. B., & Wiyono, A. (2023). Efficiency comparison of fin heatsink models using solidworks thermal analysis. *Journal of Engineering Researcher and Lecturer*, *2*(2), 43–49. https://doi.org/10.58712/jerel.v2i2.84

Ismail, M., Manasrah, A., Ali, A. M., & Abedalaziz, M. (2024). Hydrothermal performance of a heat sink using Plate-fins: Experimental and numerical investigations. *International Journal of Thermofluids*, *23*. https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100813

Kirinčić, M., Fadiga, T., & Delač, B. (2025). Influence of Fin Spacing and Fin Height in Passive Heat Sinks: Numerical Analysis with Experimental Comparison. *Applied Sciences (Switzerland)*, *15*(21). https://doi.org/10.3390/app152111410

Nuha, W., Nuha, A. R., & Ikhlas, M. (2023). PENGARUH MODIFIKASI GEOMETRI FINS TERHADAP PERFORMA TERMAL HEATSINK VERTIKAL. *Journal Teknik Mesin, Elektro, Informatika, Kelautan Dan Sains*, *3*(2). https://doi.org/10.30598/metiks.2023.3.2.29-35

Ridho AlHafizh, M., Safi, M., Androva, A., Sidodadi Timur No, J., Karang Tempel, K., Semarang Timur, K., Semarang, K., & Tengah Kode Pos, J. (2026). *PENGARUH KETEBALAN HEATSINK TERHADAP DISTRIBUSI SUHU PADA CPU MENGGUNAKAN CFD*. *10*(1).

Safi, M., Sinaga, N., Priangkoso, T., Digdoyo, A., Teknik Mesin, J., & Teknik dan Ilmu Komputer, F. (1321). Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236. 4 Jurusan

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Politeknik Maritim Negeri Indonesia. In *Semarang. Jl. Pawiyatan Luhur I, Bendan Duwur* (Vol. 50275, Number 3). Kayu Putih.

Safi'i 1a, M., Sinaga, N., Febriandyono, M. F., Jannah, W., Muhammad, R., Suheri, S., & Nugroho, A. (2025). KAJI NUMERIK MODIFIKASI HEAT SINK SIRIP LURUS DENGAN ALUR PERSEGI UNTUK KEBAIKAN PERPINDAHAN PANAS. *Jurnal CRANKSHAFT*, *8*(4).

Setiawan, D., Priyanto, A., Ma'arif, S., & Putra, O. R. (2026). Optimization of CPU Heatsink Design, A Simulation-Based Study on Temperature Distribution with Different Fin Number. In *Creative Research in Engineering |ISSN* (Vol. 6, Number 1).

Silva, E. C., Sampaio, Á. M., & Pontes, A. J. (2021). Evaluation of active heat sinks design under forced convection—effect of geometric and boundary parameters. *Materials*, *14*(8). https://doi.org/10.3390/ma14082041

Yaseen, S. J. (2023). Numerical study of the fluid flow and heat transfer in a finned heat sink using Ansys Icepak. *Open Engineering*, *13*(1). https://doi.org/10.1515/eng-2022-0440

Yonanda, A., Aziz, Q., Amrizal, A., Irsyad, M., Riszal, A., & Harmen, H. (2025). Evaluasi Termal Heatsink dengan Variasi Arah Aliran pada Sirip Vertikal dan Sirip Bersegmen untuk Pendinginan Pasif Photovoltaic. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, *14*(2). https://doi.org/10.24127/trb.v14i2.4549