

Perkembangan dunia industri yang pesat telah memasuki era industri 4.0, dimana industri dapat dikelola menggunakan sistem kontrol cerdas. Pelaku industri bersaing dalam inovasi teknologi. Industri otomotif dan elektronik memproduksi komponen dalam bentuk dan ukuran yang ringkas tetapi memiliki kinerja bagus. Akibatnya jumlah panas yang dihasilkan oleh perangkat meningkat dan cenderung tidak terkontrol (*thermal runaway*). Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pendinginan yang efektif dan efisien. Teknik pendinginan tidak langsung dengan cairan fase tunggal dapat dilakukan dengan menggunakan *liquid cooling*. *Minichannel Cold Plate (MCP)* menggunakan air sebagai media pendingin merupakan salah satu cara yang efektif menghilangkan fluks kalor tinggi.

Pada penelitian ini digunakan fasilitas pengujian *serpentine minichannel cold plate* dengan jumlah *channel* 14 buah berukuran 2 (*l*) mm  $\times$  9 (*t*) mm. Area efektif perpindahan kalor 4290 mm<sup>2</sup> dengan daya maksimum *heater* 2100 W. Laju aliran fluida maksimum sebesar 2,5 LPM dengan pengamatan langsung pada fenomena aliran fluida. Adapun variasi laju aliran fluida pada eksperimen ini adalah 0,5, 1,0 dan 1,5 LPM dan daya *heater* 10 – 180 W dengan tiap kenaikan 10 W.

Hasil pengujian menunjukkan untuk laju aliran fluida  $\dot{m}_1$  rata-rata nilai  $h = 1,18$  kW/m<sup>2</sup>.K dan rata-rata *pressure drop* 0,37 bar. Untuk laju aliran fluida  $\dot{m}_2$  rata-rata nilai  $h = 1,16$  kW/m<sup>2</sup>.K dan rata-rata *pressure drop* 0,71 bar. Laju aliran fluida  $\dot{m}_3$  menghasilkan rata-rata nilai  $h = 1,25$  kW/m<sup>2</sup>.K dan rata-rata *pressure drop* 1,16 bar.

Penelitian ini menunjukkan bahwa pada fluks kalor 18,29, 24,39 dan 30,49 kW/m<sup>2</sup>, perubahan laju aliran dari  $\dot{m}_1$  ke  $\dot{m}_2$  dengan nilai rasio koefisien perpindahan kalor terhadap *pressure drop* sebesar 0,56, 0,56 dan 0,58 memiliki nilai rasio yang lebih baik jika dibandingkan dengan perubahan laju aliran dari  $\dot{m}_1$  ke  $\dot{m}_3$  dengan nilai rasio koefisien perpindahan kalor terhadap *pressure drop* sebesar 0,340, 0,327 dan 0,361.

Kata kunci: (*liquid cooling, serpentine minichannel, cold plate, heat sink, thermal performance, pressure drop*)

## ABSTRACT

The rapid development of the industrial world has entered the industrial era 4.0, where the industry runs management using intelligent control systems. Industry players compete in new technological innovations. The automotive and electronics industries produce components in the most compact shapes and sizes yet perform well. As a result, the amount of heat generated by the device increases and tends to be uncontrolled (thermal runaway). Therefore, we need an effective and efficient cooling system. Indirect cooling techniques with single-phase liquid can be done using liquid cooling. Mini-channel Cold Plate (MCP) using water as a cooling medium effectively removes unwanted and high heat flux.

This research used the serpentine mini-channel cold plate test facility with 14 channels  $2 \times 9$  mm in size. The effective heat transfer area was  $60 \times 82$  mm with a maximum power of the heater of 2100 W. The maximum fluid flow rate was 2.5 LPM with direct observation of the fluid flow phenomenon. The variations of liquid flow rate in this experiment were 0.5, 1.0, and 1.5 LPM and heater power 10W to 180 W with each increment of 10 W.

The experiment showed that the fluid flow rate of  $\dot{m}_1$  produced an average  $h$  value of  $1.18 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$  and an average pressure drop of 0.37 bar. The fluid flow rate of  $\dot{m}_2$  had an average  $h$  value of  $1.16 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$ , and an average pressure drop of 0.71 bar. While the fluid flow rate of  $\dot{m}_3$  grew an average  $h$  value of  $1.25 \text{ kW/m}^2\cdot\text{K}$  and the average pressure drop of 1.16 bar.

This study shows that the change in flow rate from  $\dot{m}_1$  to  $\dot{m}_2$  value of 0,56, 0,56 and 0,58 produced a higher ratio of heat transfer coefficient to pressure drop when compared to changes in flow rate from  $\dot{m}_1$  to  $\dot{m}_3$  value of 0,340, 0,327 and 0,361 on heat flux of 18,29, 24,39 dan 30,49  $\text{kW/m}^2$ .

**Keywords:** (liquid cooling, serpentine mini-channel, cold plate, heat sink, thermal performance, pressure drop)