

## INTISARI

Manajemen termal pada perangkat elektronik berdaya tinggi merupakan tantangan krusial yang menuntut solusi pendinginan yang lebih efisien daripada metode konvensional. Penelitian ini secara eksperimental menyelidiki peningkatan performa perpindahan kalor pada metode *pool boiling* melalui efek sinergis antara modifikasi permukaan dan aktuasi getaran ultrasonik. Eksperimen dilakukan pada permukaan tembaga halus dan permukaan yang dimodifikasi dengan struktur *microchannel-microcavity* (kedalaman 0,7 mm) menggunakan *aquadest* sebagai fluida kerja pada tekanan atmosfer. Getaran ultrasonik dengan frekuensi 0, 20, 30, dan 40 kHz serta bentuk gelombang sinusoidal dan persegi diterapkan untuk mengevaluasi dampaknya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi antara permukaan *microchannel-microcavity* dan aktuasi getaran sinusoidal 30 kHz menghasilkan peningkatan performa termal yang paling signifikan. Koefisien perpindahan kalor (HTC) maksimum mencapai 864 kW/m<sup>2</sup>°C pada *wall superheat* yang sangat rendah yaitu 1°C. Nilai ini merepresentasikan peningkatan performa lebih dari 17 kali lipat dibandingkan dengan permukaan halus tanpa getaran (HTC maks. 49,77 kW/m<sup>2</sup>·°C). Temuan ini mengonfirmasi adanya efek sinergis yang kuat antara morfologi permukaan dan aktuasi getaran pada frekuensi optimal, yang secara drastis meningkatkan dinamika pelepasan gelembung dan efisiensi perpindahan panas. Kontribusi penelitian ini menawarkan sebuah jalur desain yang menjanjikan untuk pengembangan sistem pendinginan dua fasa efisien untuk aplikasi elektronik generasi mendatang.

Kata Kunci: *Pool Boiling*, HTC, fluks kalor, Getaran Ultrasonik, *Microchannel-Microcavity*, Modifikasi Permukaan.

## ABSTRACT

Thermal management of high-power-density electronics presents a critical challenge, demanding cooling solutions more effective than conventional methods. This study experimentally investigates the enhancement of pool boiling heat transfer through the synergistic effect of surface modification and ultrasonic vibration actuation. Experiments were conducted on both smooth copper surfaces and surfaces modified with *microchannel-microcavity* structures (0.7 mm depth) using deionized water as the working fluid at atmospheric pressure. Ultrasonic vibrations at frequencies of 0, 20, 30, and 40 kHz, with both sinusoidal and square waveforms, were applied to evaluate their impact. The results demonstrate that the combination of the *microchannel-microcavity* surface and 30 kHz sinusoidal vibration actuation yields the most significant thermal performance enhancement. A maximum Heat Transfer Coefficient (HTC) of 864 kW/m<sup>2</sup>·°C was achieved at an exceptionally low wall superheat of 1.13 °C. This value represents a more than 15-fold performance increase compared to the smooth surface without vibration (max. HTC of 49.77 kW/m<sup>2</sup>·°C). This finding confirms a strong synergistic effect between surface engineering and acoustic excitation at an optimal resonant frequency, which drastically improves bubble departure dynamics and heat transfer efficiency. This research offers a promising design pathway for the development of efficient two-phase cooling systems for next-generation electronic applications.

Keyword: Pool Boiling, Heat Transfer Coefficient, Ultrasonic Vibration, Microchannel-Microcavity, Surface Modification.