

## INTISARI

Perkembangan perangkat elektronik mendorong kebutuhan akan chip berperforma tinggi, namun menghasilkan akumulasi panas berlebih yang dapat memicu kegagalan perangkat akibat *thermo-mechanical stress*. Oleh karena itu, diperlukan metode manajemen termal yang efisien. Salah satu metode yang menjanjikan adalah *pool boiling* karena mampu menghilangkan panas besar pada suhu *wall superheat* rendah. Penelitian ini mengkaji pengaruh modifikasi permukaan tembaga dengan struktur *microchannel* dan pemberian getaran ultrasonik untuk meningkatkan perpindahan panas pada *pool boiling*. Pendekatan dilakukan secara pasif melalui rekayasa permukaan untuk menambah situs nukleasi dan aktif melalui aktuasi getaran *ultrasonic* untuk memperbaiki dinamika fluida. Penelitian dilakukan dengan menggunakan permukaan *microchannel* dan getaran yang diberikan menggunakan *ultrasonic transducer* pada frekuensi 20, 30, dan 40 kHz dengan bentuk gelombang *sinusoidal* dan *square*.

Pengujian menggunakan *aquadest* dan elemen pemanas tembaga yang dilengkapi *thermocouple* untuk mencatat suhu. Data digunakan untuk menghitung *heat flux*, *wall superheat*, dan *heat transfer coefficient* (HTC). Permukaan *microchannel* terbukti meningkatkan densitas situs nukleasi dan mempercepat pembentukan gelembung yang menyebabkan fenomena *hook back*. Getaran ultrasonik meningkatkan efek *acoustic streaming* dan *microconvection* sehingga mendukung pelepasan gelembung. Gelombang *sinusoidal* menunjukkan kinerja perpindahan panas lebih baik dari *square*, dengan penurunan *wall superheat* hingga 2°C.

Performa termal terbaik secara keseluruhan ditemukan pada pengujian gelombang *sinusoidal* frekuensi 20 kHz pada permukaan *microchannel* yang mampu menghasilkan HTC tertinggi sebesar 103,70 kW/m<sup>2</sup> (°C) pada nilai *heat flux* 799,36 kW/m<sup>2</sup> dan suhu 107,71°C. Temuan ini menunjukkan bahwa frekuensi 20 kHz *sinusoidal* mampu meningkatkan efisiensi perpindahan panas secara paling optimal, ditinjau dari kombinasi rendahnya suhu dinding, tingginya HTC, dan kestabilan *boiling*.

**Kata Kunci:** *pool boiling*, HTC, *heat flux*, *microchannel*, getaran ultrasonik.

## ABSTRACT

The miniaturization of electronic devices drives the development of high-performance chips, but it also leads to excessive heat accumulation, which can trigger device failure due to thermo-mechanical stress. Therefore, an efficient thermal management method is required. One promising method is pool boiling, as it can dissipate a large amount of heat at a relatively low wall superheat.

This study investigates the effect of copper surface modification using microcavity–microchannel structures combined with ultrasonic vibration to enhance heat transfer performance in pool boiling. The approach involves passive enhancement through surface engineering to increase nucleation site density and active enhancement through ultrasonic excitation to improve fluid dynamics. The experiment used a microchannel surface with vibration produced by an ultrasonic transducer at frequencies of 20, 30, and 40 kHz with both sinusoidal and square waveforms.

The experiments used aquadest and a cylindrical copper heating element equipped with thermocouples to record temperature. The temperature data were used to calculate heat flux, wall superheat, and heat transfer coefficient (HTC). The microcavity surface significantly increased nucleation site density and accelerated bubble formation, resulting in a hook back phenomenon. Ultrasonic vibration enhanced acoustic streaming and microconvection, thereby supporting more efficient bubble release. Sinusoidal waves demonstrated better heat transfer performance than square waves.

The integration of a microchannel surface with a 20 kHz sinusoidal waveform yielded the most significant enhancement in thermal performance across the experimental matrix. This configuration achieved a peak heat transfer coefficient (HTC) of 103.70 kW/m<sup>2</sup>·°C, achieved at a heat flux of 799.36 kW/m<sup>2</sup> and a surface temperature of 107.71°C. These results suggest that the 20 kHz sinusoidal frequency facilitates the most optimal heat transfer efficiency, characterized by a synergistic combination of reduced wall superheat, enhanced HTC, and robust boiling stability.

**Keywords:** pool boiling, HTC, heat flux, microchannel, ultrasonic vibration