

INTISARI

Manajemen termal pada sistem dengan densitas *heat flux* tinggi menjadi isu penting dalam pengembangan teknologi perpindahan dua fasa, khususnya pada proses *pool boiling*. Penelitian ini secara eksperimental mengkaji pengaruh modifikasi permukaan pasif berupa struktur *microchannel-microcavity* serta penambahan aktuasi getaran ultrasonik terhadap performa perpindahan kalor pada *pool boiling* menggunakan benda uji tembaga dan *aquades* sebagai fluida kerja pada tekanan atmosferik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa permukaan termodifikasi mampu meningkatkan performa *pool boiling* secara signifikan dibandingkan permukaan halus, yang ditunjukkan oleh *heat flux* maksimum sebesar 802,791 kW/m² dengan ΔT_{excess} sebesar 6,211 °C dan nilai *Heat Transfer Coefficient* (HTC) sebesar 129,251 kW/m²·K, sedangkan pada permukaan halus diperoleh *heat flux* maksimum sebesar 772,253 kW/m² dengan ΔT_{excess} sebesar 15,062 °C dan HTC maksimum sebesar 51,268 kW/m²·K. Peningkatan performa ini dikaitkan dengan bertambahnya jumlah *nucleation sites* akibat struktur mikro yang memfasilitasi pembentukan dan pelepasan gelembung uap. Namun demikian, penambahan aktuasi getaran ultrasonik pada penelitian ini tidak menunjukkan peningkatan performa yang konsisten, melainkan terjadi kecenderungan penurunan nilai HTC seiring bertambahnya jumlah pengambilan data, dengan penurunan terbesar pada daya 700 W sebesar 41,038% untuk permukaan halus dan 33,986% untuk permukaan termodifikasi. Fenomena penurunan performa ini diindikasikan kuat dipengaruhi oleh *surface aging* berupa oksidasi permukaan tembaga yang dipercepat oleh temperatur operasi tinggi, durasi pengujian yang lama, serta keberadaan oksigen terlarut akibat penggunaan fluida kerja secara bergantian. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa modifikasi permukaan *microchannel-microcavity* secara efektif meningkatkan performa *pool boiling*, namun keberhasilan penerapan aktuasi getaran ultrasonik sangat bergantung pada kondisi permukaan dan stabilitas karakteristik material selama proses pengujian.

Kata Kunci : *Pool boiling*, *microchannel-microcavity*, modifikasi permukaan, koefisien perpindahan kalor, getaran ultrasonik, *surface aging*, oksidasi permukaan.

ABSTRACT

Thermal management of systems subjected to high heat flux remains a critical challenge in the development of two-phase heat transfer technologies, particularly in pool boiling applications. This study experimentally investigates the effects of passive surface modification using a microchannel–microcavity structure and the addition of ultrasonic vibration actuation on pool boiling heat transfer performance using copper test surfaces and distilled water as the working fluid under atmospheric pressure. The results indicate that the modified surface significantly enhances pool boiling performance compared to a smooth surface, achieving a maximum heat flux of 802.791 kW/m² with a wall superheat of 6.211 °C and a maximum heat transfer coefficient (HTC) of 129.251 kW/m²·K, whereas the smooth surface exhibits a maximum heat flux of 772.253 kW/m² with a wall superheat of 15.062 °C and a maximum HTC of 51.268 kW/m²·K. This enhancement is attributed to the increased availability of nucleation sites provided by the microstructured surface, which facilitates bubble generation and departure. However, the application of ultrasonic vibration did not result in a consistent improvement in heat transfer performance; instead, a gradual degradation of HTC was observed with increasing data acquisition cycles. The largest performance degradation occurred at a heating power of 700 W, with HTC reductions of 41.038% for the smooth surface and 33.986% for the modified surface. This degradation is strongly associated with surface aging in the form of copper oxidation, which is accelerated by high operating temperatures, long experimental durations, and the presence of dissolved oxygen due to alternating use of the working fluid. Overall, the study confirms the effectiveness of microchannel–microcavity surface modification in enhancing pool boiling heat transfer, while highlighting that the effectiveness of ultrasonic actuation is highly dependent on surface condition stability during prolonged operation.

Keywords: Pool boiling, microchannel–microcavity, surface modification, heat transfer coefficient, ultrasonic vibration, surface aging, copper oxidation.