UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengaruh Variasi Frekuensi Ultrasonik Terhadap Peningkatan Perpindahan Panas Pool Boiling pada Permukaan Tembaga Halus dan Microchannel dengan Microcavity
Muhammad Rifky Fajar Nugraha, Dr. Eng. Ir. Adhika Widyaparaga, S.T., M. Biomed. E.; Dr. Ir. I Made Miasa, S.T., M
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Peningkatan kebutuhan pelepasan kalor pada sistem termal berfluks kalor tinggi mendorong pengembangan teknologi perpindahan panas dua fasa, khususnya pada proses *pool boiling*. Penelitian ini secara eksperimental mengkaji pengaruh variasi frekuensi ultrasonik terhadap karakteristik perpindahan panas *pool boiling* pada permukaan tembaga *smooth* dan *microchannel-microcavity*. Pengujian dilakukan menggunakan aquades pada tekanan atmosfer dengan variasi permukaan halus dan *microchannel-microcavity* dengan jarak antar alur 500 µm dan 1000 µm serta kedalaman *microcavity* 300 µm. Variasi frekuensi ultrasonik yang digunakan adalah 0, 20, 30, dan 40 kHz, sedangkan parameter yang dianalisis meliputi karakteristik *boiling curve*, *heat flux*, dan *heat transfer coefficient* (HTC). Kondisi 0 kHz digunakan sebagai kondisi pembanding tanpa pemberian getaran ultrasonik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa permukaan *microchannel-microcavity* memberikan karakteristik perpindahan panas yang lebih baik dibandingkan permukaan *smooth*, terutama pada jarak antar alur 500 µm. Pada kondisi 0 kHz, permukaan 500 µm menghasilkan *heat flux* maksimum sebesar 955,54 kW/m² pada *excess temperature* 10,94 °C, sedangkan permukaan 1000 µm menghasilkan 939,13 kW/m² pada 18,51 °C dan permukaan *smooth* menghasilkan 967,39 kW/m² pada 21,30 °C. Meskipun permukaan *smooth* menghasilkan *heat flux* maksimum yang lebih tinggi, nilai tersebut dicapai pada *excess temperature* yang lebih besar. Berdasarkan posisi kurva pendidihan, permukaan 500 µm menunjukkan karakteristik perpindahan panas terbaik. Pada permukaan 500 µm, nilai HTC maksimum berturut-turut sebesar 87,33; 79,51; 79,08; dan 78,04 kW/m²·K pada frekuensi 0, 20, 30, dan 40 kHz. Sementara itu, pada permukaan 1000 µm, nilai HTC maksimum sebesar 50,75; 52,19; 52,73; dan 51,57 kW/m²·K pada frekuensi yang sama. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengaruh frekuensi ultrasonik tidak bersifat monoton dan bergantung pada karakteristik permukaan. Pada permukaan 500 µm, kondisi tanpa ultrasonik menghasilkan HTC tertinggi, sedangkan pada permukaan 1000 µm nilai HTC tertinggi diperoleh pada frekuensi 30 kHz, yaitu sebesar 52,73 kW/m²·K. Secara keseluruhan, permukaan 500 µm menghasilkan HTC maksimum lebih tinggi dibandingkan permukaan *smooth* pada kondisi 0 kHz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi permukaan *microchannel-microcavity* mampu meningkatkan performa *pool boiling*, sedangkan pemberian frekuensi ultrasonik belum menghasilkan peningkatan perpindahan panas yang konsisten pada seluruh konfigurasi permukaan. Perbedaan respons tersebut menunjukkan bahwa efektivitas agitasi ultrasonik dipengaruhi oleh interaksi antara frekuensi yang diberikan dan karakteristik mikrostruktur permukaan.

Kata Kunci: *pool boiling*, *microchannel-microcavity*, frekuensi ultrasonik, *heat flux*, *heat transfer coefficient*.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengaruh Variasi Frekuensi Ultrasonik Terhadap Peningkatan Perpindahan Panas Pool Boiling pada Permukaan Tembaga Halus dan Microchannel dengan Microcavity
Muhammad Rifky Fajar Nugraha, Dr. Eng. Ir. Adhika Widyaparaga, S.T., M. Biomed. E.; Dr. Ir. I Made Miasa, S.T., M
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

The increasing demand for heat dissipation in high-heat-flux thermal systems encourages the development of two-phase heat transfer technologies, particularly in pool boiling processes. This study experimentally investigates the effect of ultrasonic frequency variation on the heat transfer characteristics of pool boiling on smooth copper and microchannel-microcavity surfaces. The experiments were conducted using distilled water under atmospheric pressure with smooth and microchannel-microcavity surfaces having channel spacings of 500 μm and 1000 μm and a microcavity depth of 300 μm. The ultrasonic frequencies used were 0, 20, 30, and 40 kHz, while the analyzed parameters included the characteristics of the boiling curve, heat flux, and heat transfer coefficient (HTC). The 0 kHz condition was used as a reference condition without ultrasonic vibration. The results show that the microchannel-microcavity surfaces provide better heat transfer characteristics than the smooth surface, particularly at a channel spacing of 500 μm. At 0 kHz, the 500 μm surface produces a maximum heat flux of 955.54 kW/m² at an excess temperature of 10.94 °C, while the 1000 μm surface produces 939.13 kW/m² at 18.51 °C and the smooth surface produces 967.39 kW/m² at 21.30 °C. Although the smooth surface produces a higher maximum heat flux, this value is achieved at a higher excess temperature. Based on the position of the boiling curves, the 500 μm surface demonstrates the best heat transfer characteristics. For the 500 μm surface, the maximum HTC values are 87.33, 79.51, 79.08, and 78.04 kW/m²·K at frequencies of 0, 20, 30, and 40 kHz, respectively. Meanwhile, for the 1000 μm surface, the maximum HTC values are 50.75, 52.19, 52.73, and 51.57 kW/m²·K at the same frequencies. These results indicate that the effect of ultrasonic frequency is non-monotonic and depends on the surface characteristics. For the 500 μm surface, the condition without ultrasonic vibration produces the highest HTC, whereas for the 1000 μm surface, the highest HTC is obtained at a frequency of 30 kHz, with a value of 52.73 kW/m²·K. Overall, the 500 μm surface produces a higher maximum HTC than the smooth surface under the 0 kHz condition. The results show that microchannel-microcavity surface modification can improve pool boiling performance, while the application of ultrasonic frequency does not produce a consistent enhancement in heat transfer across all surface configurations. This difference in response indicates that the effectiveness of ultrasonic actuation is influenced by the interaction between the applied frequency and the characteristics of the surface microstructure.

Keywords: *pool boiling, microchannel-microcavity, ultrasonic frequency, heat flux, heat transfer coefficient.*