

BAB V

PENUTUP

Bab ini menyajikan rangkuman temuan-temuan kunci yang diperoleh dari hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya. Selain itu, bab ini juga mengemukakan beberapa saran yang dapat menjadi acuan untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut di masa mendatang.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi numerik yang tervalidasi menggunakan ANSYS Fluent dengan model *Volume of Fluid* (VoF) dan turbulensi $k-\epsilon$ realizable, penelitian ini berhasil mengidentifikasi masalah stagnasi fluida dan penumpukan uap pada boiler eksisting yang memiliki 7 pipa horizontal dengan 0° kemiringan. Sebagai solusi, dilakukan modifikasi dengan menambah jumlah pipa menjadi 11 dan memberikan variasi kemiringan (kemiringan) di 0° , 1° , 2° , 3° , 4° dan 5° derajat untuk meningkatkan sirkulasi alami dan perpindahan panas. Desain modifikasi dengan kemiringan 5° derajat terbukti paling signifikan dalam meningkatkan performa. Secara kuantitatif, modifikasi ini berhasil meningkatkan total *heat flux* sebesar 128%, Heat Transfer Coefficient (HTC) sebesar 58%, dan kecepatan puncak aliran fluida hampir lima kali lipat dari 0.29 m/s menjadi 1.56 m/s. Hasil uji fungsi mengonfirmasi peningkatan efisiensi termal boiler dari 13,2% menjadi 18% dan memangkas waktu pemanasan dari 18 menit menjadi 10 menit.

5.2 Saran

Meskipun penelitian ini telah berhasil mencapai tujuannya, terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk penyempurnaan di masa depan. Berikut adalah beberapa saran yang diajukan:

1. Optimalisasi Geometri Lanjutan: Penelitian ini membatasi variasi kemiringan pipa hingga 5 derajat karena limitasi fabrikasi. Studi lebih lanjut dapat mengeksplorasi sudut kemiringan yang lebih besar atau bentuk geometri pipa yang berbeda (misalnya, pipa bergelombang atau beralur) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peningkatan turbulensi dan laju perpindahan panas.

2. Eksplorasi Model Multifasa yang Lebih Lanjut:

Model Pendidihan (*Boiling Model*): Penelitian ini menggunakan model VoF/evaporasi-kondensasi Lee, yang merupakan pendekatan yang umum namun disederhanakan. Untuk mendapatkan representasi fisika pendidihan yang lebih akurat, penelitian selanjutnya dapat menerapkan model *pool boiling* yang lebih canggih yang tersedia di ANSYS Fluent, seperti model *Rohsenow* atau *Wall Boiling Model* secara umum. Model-model ini secara eksplisit menghitung parameter-parameter penting seperti densitas situs nukleasi (*nucleate site density*), diameter pelepasan gelembung (*bubble departure diameter*), dan frekuensi pelepasan, yang dapat memberikan wawasan lebih mendalam tentang dinamika pembentukan uap di permukaan pemanas.

3. Penggunaan Model Turbulensi Alternatif:

Model *k- ϵ realizable* yang digunakan sudah cukup baik untuk berbagai aplikasi industri². Namun, untuk aliran dengan sirkulasi dan separasi yang kompleks seperti pada *boiler*, disarankan untuk melakukan studi komparatif menggunakan model turbulensi lain. Model *k- ω SST* (*Shear Stress Transport*) seringkali memberikan hasil yang lebih akurat

untuk aliran di dekat dinding dan dalam kondisi gradien tekanan yang merugikan. Untuk tingkat akurasi yang lebih tinggi dalam menangkap struktur aliran transien dan vorteks yang dihasilkan oleh gelembung uap, dapat dipertimbangkan penggunaan simulasi skala besar seperti *Large Eddy Simulation* (LES) atau *Detached Eddy Simulation* (DES), meskipun dengan konsekuensi kebutuhan komputasi yang jauh lebih tinggi.