

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data simulasi CFD yang telah dilakukan pada BAB 4, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengujian kemandirian *mesh* (*Grid Independent Test*), dapat disimpulkan bahwa resolusi *mesh* yang paling efektif dan optimal tercapai pada jumlah elemen 2.172.051 dengan nilai *mesh curvature normal angle* 20°. Pada jumlah elemen ini hasil simulasi suhu telah mencapai kondisi stabil atau kondisi *grid - independent*.
2. Distribusi suhu secara spasial dievaluasi melalui analisis peta kontur pada lima *plane* pemotongan melintang (0,1D hingga 0,9D) dan juga dalam pandangan *All Domain*. Hasilnya memvalidasi bahwa penggunaan baffle dalam desain efektif menciptakan aliran turbulen dan silang (*cross-flow*) di sisi *shell*, yang ditunjukkan oleh variasi temperatur radial dan pencampuran yang optimal. Kontur pada sisi *Hot Steam* menunjukkan gradien temperatur signifikan yang konsisten dengan teori lapisan batas termal mengidentifikasi lapisan fluida tipis di dekat dinding pipa sebagai lokasi resistansi termal terbesar. Selain itu, kontur *All Domain* menunjukkan gradien suhu yang bertahap dari inlet menuju outlet yang mengindikasikan aliran fluida terdistribusi dengan baik melintasi bundel tabung tanpa adanya indikasi bypass aliran yang signifikan.
3. Kinerja penukar panas secara keseluruhan dievaluasi menggunakan metode Efektivitas-NTU (ϵ - NTU) yang mengungkapkan sifat transien dan sensitivitas kinerja alat terhadap kondisi operasional. Kinerja maksimum tercatat pada pukul 01.00, di mana efektivitas (ϵ) mencapai 0,77 (77%), mengindikasikan nilai NTU tinggi dan kondisi operasional optimal. Kinerja terendah tercatat pada pukul 05.00, dengan penurunan efektivitas drastis menjadi 0,30 (30%). Analisis grafik ϵ - NTU lebih lanjut menunjukkan bahwa meskipun efektivitas meningkat seiring bertambahnya NTU, kurva cenderung melandai pada nilai NTU tinggi, menunjukkan bahwa sistem sudah mendekati batas maksimum kinerja termodinamika.

5.2 Saran

1. Berdasarkan temuan sensitivitas kinerja terhadap beban input transien, terutama penurunan intensitas gradien termal yang teramati antara pukul 04.00 hingga 05.00, disarankan untuk mengimplementasikan strategi penyesuaian laju alir massa (*mass flow adjustment*). Strategi ini bertujuan untuk mengatasi tantangan instabilitas transien dan menjaga stabilitas beban termal, sehingga kinerja alat dapat dipertahankan pada efektivitas optimal meskipun kondisi *inlet* berfluktuasi.
2. Apabila pengembangan penelitian diarahkan pada fluida yang lebih kompleks seperti *Phase Change Slurries* (PCS), diperlukan validasi tambahan pada model reologi *non-Newtonian*. Hal ini esensial karena simulasi saat ini divalidasi untuk fluida satu fasa, sedangkan PCS memiliki viskositas yang sangat dinamis, sehingga membutuhkan model seperti Bingham atau power-law untuk menghindari deviasi hasil fisik.
3. Desain geometri baffle perlu dikaji ulang secara cermat. Literatur menyoroti fenomena "efek laminarisasi" pada PCS, di mana peningkatan fraksi partikel padat justru dapat meredam turbulensi dan meningkatkan penurunan tekanan (*pressure drop*) secara signifikan. Oleh karena itu, modifikasi desain *baffle* diperlukan untuk mencegah kerugian gesekan mekanis yang berlebihan dan memungkinkan pengadopsian teknologi fluida berbasis panas laten, yang mampu meratakan beban termal sistem secara efektif.