

INTISARI

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi, pemanfaatan sumber energi baru terbarukan menjadi krusial. Salah satu potensi yang besar berasal dari pemanfaatan limbah panas, khususnya dari gas buang mesin diesel yang dapat mencapai 30-40% dari total energi pembakaran. Teknologi termoakustik menawarkan solusi untuk mengonversi limbah panas ini menjadi energi akustik atau listrik. Namun, implementasi teknologi ini memerlukan fluida kerja yang bersih dan terkontrol, sehingga dibutuhkan alat penukar kalor untuk mentransfer panas dari gas buang ke sistem termoakustik. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan prediksi unjuk kerja alat penukar kalor tipe *shell and tube* yang dinilai efektif untuk aplikasi tersebut karena konstruksinya yang kokoh, biaya relatif murah, dan perawatannya yang mudah.

Proses perancangan alat penukar kalor dalam penelitian ini dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu perhitungan analitik menggunakan metode Bell-Delaware dan prediksi menggunakan perangkat lunak HTRI Xchanger Suite. Perancangan dimulai dengan tahap *sizing* untuk menentukan spesifikasi utama seperti jumlah *tube*, dimensi *shell*, dan konfigurasi *baffle*. Metode Bell-Delaware digunakan untuk perhitungan termal dan *pressure drop* secara mendetail dengan mempertimbangkan faktor-faktor koreksi aliran seperti kebocoran (*leakage*) dan aliran pintas (*bypass*). Selanjutnya, desain final beserta kondisi operasinya, dimana *flue gas* sebagai fluida panas dan Therminol LT sebagai fluida dingin, disimulasikan menggunakan HTRI untuk mengevaluasi dan memprediksi unjuk kerjanya pada berbagai kondisi.

Hasil dari penelitian ini adalah sebuah rancangan final alat penukar kalor tipe AEL *shell and tube* dengan diameter dalam *shell* 108,2 mm, panjang *tube* 900 mm, 5 buah *segmental baffle*, dan 12 buah *tube* berukuran $\frac{3}{4}$ inci BWG 16. Perhitungan dengan metode Bell-Delaware menghasilkan nilai koefisien perpindahan kalor total sebesar 46,06 W/m²K, sedangkan hasil prediksi HTRI pada kondisi desain yang sama menunjukkan nilai koefisien perpindahan panas total sebesar 49,48 W/m²K. Deviasi antara kedua metode tersebut masih di bawah batas toleransi 30%, yang mengindikasikan bahwa perancangan dapat diterima. Hasil simulasi variasi menunjukkan bahwa kenaikan laju aliran massa fluida panas dari 0,033 kg/s menjadi 0,053 kg/s dapat meningkatkan koefisien perpindahan kalor total dari 48,18 W/m²K menjadi 50,35 W/m²K, namun secara signifikan menaikkan *pressure drop* sisi *tube* dari 884 Pa menjadi 2486 Pa. Sementara itu, kenaikan temperatur *inlet* fluida panas dari 335°C menjadi 375°C juga meningkatkan koefisien perpindahan kalor total dari 48,82 W/m²K menjadi 50,14 W/m²K dengan dampak kenaikan *pressure drop* yang lebih kecil.

Kata kunci: Alat Penukar Kalor *Shell and tube*, Perancangan, Limbah Panas, *Thermoacoustic Engine*, Therminol, Mesin Diesel.

ABSTRACT

As energy demands increase, the utilization of new and renewable energy sources becomes crucial. One significant potential lies in waste heat recovery, particularly from diesel engine exhaust gas, which can account for 30-40% of the total combustion energy. Thermoacoustic technology offers a solution to convert this waste heat into acoustic or electrical energy. However, the implementation of this technology requires a clean and controlled working fluid, thus needing a *heat exchanger* to transfer heat from the exhaust gas to the thermoacoustic system. This research focuses on the *design* and performance prediction of a *shell and tube* type *heat exchanger*, which is considered effective for this application due to its robust construction, relatively low cost, and ease of maintenance.

The *design* process of the *heat exchanger* in this study was conducted through two main approaches: analytical calculation using the Bell-Delaware method and numerical prediction using the HTRI Xchanger Suite. The *design* begins with the sizing stage to determine key specifications such as the number of *tubes*, *shell* dimensions, and *baffle* configuration. The Bell-Delaware method is used for detailed thermal and *pressure drop* calculations, considering flow correction factors such as leakage and bypass streams. Subsequently, the final *design* along with its operating conditions—where flue gas is the hot fluid and Therminol LT is the cold fluid is simulated using HTRI to evaluate and predict its performance *under* various conditions.

The result of this research is a final design for an AEL-type shell and tube heat exchanger with a shell inner diameter of 108.2 mm, a tube length of 900 mm, five segmental baffles, and 12 tubes sized at $\frac{3}{4}$ inch BWG 16. Calculations using the Bell-Delaware method yield an overall heat transfer coefficient of 46.06 W/m²K, while HTRI predictions under the same design conditions show a value of 49.48 W/m²K. The deviation between the two methods is below the 30% tolerance limit, indicating the design is acceptable. The variation simulation shows that increasing the hot fluid's mass flow rate from 0.033 kg/s to 0.053 kg/s can increase the overall heat transfer coefficient from 48.18 W/m²K to 50.35 W/m²K, but it significantly raises the tube-side pressure drop from 884 Pa to 2486 Pa. Meanwhile, increasing the hot fluid's inlet temperature from 335°C to 375°C also enhances the overall heat transfer coefficient from 48.82 W/m²K to 50.14 W/m²K, with a smaller impact on the pressure drop increase.

Keywords: Shell and Tube Heat Exchanger, Design, Waste Heat, Thermoacoustic Engine, Therminol, Diesel Engine.