UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Perancangan dan Studi Eksperimental Tangki Penyimpan Energi Termal Stratifikasi dengan Variasi DiameterDiffuserdan Debit Aliran
Hilmi Radhitya Kenar, Ir. Joko Waluyo, M.T., Ph.D., IPM, ASEAN Eng., APEC Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Kebutuhan energi yang terus meningkat mendorong pengembangan teknologi penyimpanan energi yang mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi, termasuk pemanfaatan energi panas buangan dan sumber energi terbarukan. Salah satu teknologi yang banyak dikembangkan adalah Tangki Penyimpan Energi Termal (PET) stratifikasi, yang bekerja dengan mempertahankan pemisahan antara lapisan fluida panas dan dingin sehingga energi termal dapat disimpan secara lebih efektif. Kualitas stratifikasi termal dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya geometri tangki dan kondisi operasi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membangun tangki PET stratifikasi skala laboratorium serta mengevaluasi pengaruh variasi diameter *diffuser* dan debit aliran terhadap karakteristik stratifikasi termal dan unjuk kerja penyimpanan energi.

Penelitian dilaksanakan secara eksperimental di Laboratorium Perpindahan Kalor dan Massa, DTMI, Fakultas Teknik UGM, menggunakan tangki PET silinder vertikal berbahan extruded acrylic tebal 5 mm (diameter 110 mm, tinggi 1300 mm, dengan kepala tangki berdiameter head). Air dipanaskan hingga 50°C menggunakan immersion heater dan termostat, dialirkan oleh pompa melalui diffuser cincin radial berlubang dengan tiga variasi diameter (11, 15, dan 19 cm) pada tiga variasi debit (1,0; 1,25; dan 1,5 LPM), yang diukur menggunakan rotameter. Distribusi temperatur direkam menggunakan 12 termokopel dan data logger setiap satu menit selama proses charging, kemudian dianalisis dengan regresi non linier metode Four Parameter Sigmoid (FPS) untuk memperoleh parameter Tc, Th, C, dan S_1 sebagai dasar perhitungan WTC, Qcum, dan FoM1/2.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan diameter *diffuser* dari 11 cm menjadi 19 cm pada debit aliran 1,25 LPM menurunkan rata-rata ketebalan termoklin (WTC) dari 27,57 cm menjadi 13,17 cm, menurunkan rata-rata energi pada daerah pencampuran (Clost) dari 17,67 Wh menjadi 8,42 Wh, meningkatkan rata-rata *Half-cycle Figure of Merit* (FoM½) dari 81% menjadi 86%, serta menghasilkan energi tersimpan kumulatif (Qcum) yang lebih tinggi pada menit ke-12, yaitu sekitar 262,44 Wh, 242,09 Wh, dan 250,73 Wh untuk *diffuser* 11 cm, 15 cm, dan 19 cm. Sementara itu, pada *diffuser* 15 cm, peningkatan debit aliran dari 1,0 menjadi 1,5 LPM meningkatkan rata-rata ketebalan termoklin (WTC) dari 11,26 cm menjadi 31,58 cm, rata-rata Clost dari 7,42 Wh menjadi 20,71 Wh, sedangkan rata-rata FoM½ menurun dari 92% menjadi 82%. Di sisi lain, energi tersimpan kumulatif (Qcum) pada menit ke-12 meningkat dari sekitar 201,32 Wh pada debit 1,0 LPM menjadi 286,48 Wh pada debit 1,5 LPM. Selain itu, hasil validasi menggunakan metode visualisasi menunjukkan kesesuaian yang baik dengan metode *Four Parameter Sigmoid* (FPS), sehingga metode tersebut dapat digunakan sebagai pendekatan yang andal dalam mengevaluasi karakteristik stratifikasi termal dan unjuk kerja tangki penyimpan energi termal.

Kata kunci: Tangki Penyimpan Energi Termal Stratifikasi, Distribusi Temperatur, *Four Parameter Sigmoid*, Unjuk Kerja, Visualisasi, Termoklin.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Perancangan dan Studi Eksperimental Tangki Penyimpan Energi Termal Stratifikasi dengan Variasi DiameterDiffuserdan Debit Aliran
Hilmi Radhitya Kenar, Ir. Joko Waluyo, M.T., Ph.D., IPM, ASEAN Eng., APEC Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

The increasing global energy demand has encouraged the development of energy storage technologies capable of improving energy utilization efficiency, including the utilization of waste heat and renewable energy sources. One of the most widely developed technologies is the stratified Thermal Energy Storage (TES) tank, which operates by maintaining the separation between hot and cold water layers, allowing thermal energy to be stored more effectively. The quality of thermal stratification is influenced by several factors. Therefore, this study aimed to design and construct a laboratory-scale stratified Thermal Energy Storage (TES) tank and experimentally investigate the effects of tank head diameter and flow rate on thermal stratification.

The research was conducted experimentally at the Heat and Mass Transfer Laboratory, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada, using a vertical cylindrical TES tank made of 5 mm thick extruded acrylic (110 mm diameter, 1300 mm height, with an enlarged head section). Water was heated to 50°C using an immersion heater and thermostat, then circulated by a pump through a perforated radial-ring diffuser with three diameter variations (11, 15, and 19 cm) at three flow rate variations (1.0, 1.25, and 1.5 LPM), measured using a rotameter. Temperature distribution was recorded using 12 thermocouples and a data logger, then analyzed using nonlinear regression via the Four Parameter Sigmoid (FPS) method to obtain the Tc, Th, C, and S_1 parameters, which served as the basis for calculating thermocline thickness (WTC), cumulative stored energy (Qcum), and Half-cycle Figure of Merit (FoM1/2).

The results showed that increasing the diffuser diameter from 11 cm to 19 cm at a flow rate of 1.25 L/min reduced the average thermocline thickness (WTC) from 27.57 cm to 13.17 cm, reduced the average heat loss energy (Clost) from 17.67 Wh to 8.42 Wh, increased the average Half-cycle Figure of Merit (FoM½) from 81% to 86%, and resulted in higher cumulative stored energy (Qcum) at the 12th minute, reaching approximately 262.44 Wh, 242.09 Wh, and 250.73 Wh for the 11 cm, 15 cm, and 19 cm diffuser diameters, respectively. Meanwhile, for the 15 cm diffuser, increasing the flow rate from 1.0 to 1.5 L/min increased the average thermocline thickness (WTC) from 11.26 cm to 31.58 cm and the average Clost from 7.42 Wh to 20.71 Wh, while the average FoM½ decreased from 92% to 82%. On the other hand, the cumulative stored energy (Qcum) at the 12th minute increased from approximately 201.32 Wh at a flow rate of 1.0 L/min to 286.48 Wh at 1.5 L/min. In addition, the validation results demonstrated good agreement between the visualization method and the Four Parameter Sigmoid (FPS) method, indicating that the FPS method is a reliable approach for evaluating thermal stratification characteristics and the performance of stratified thermal energy storage tanks.

Keywords: Stratified thermal energy storage tank, temperature distribution, sigmoid dose response, performance, visualization, thermocline.