UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN DAN STUDI EKSPERIMENTAL TANGKI PENYIMPAN ENERGI TERMAL STRATIFIKASI DENGAN VARIASI DIAMETER KEPALA TANGKI DAN DEBIT ALIRAN
Raden Muhammad Zaky Rayyadi, Ir. Joko Waluyo, MT., Ph.D.
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 kepala tangki dan debit aliran terhadap karakteristik stratifikasi termal dan unjuk kerja penyimpanan energi.

Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan tiga variasi diameter kepala tangki, yaitu 12 cm, 16 cm, dan 20 cm, serta tiga variasi debit aliran, yaitu 1,0; 1,25; dan 1,5 liter/menit. Distribusi temperatur diukur menggunakan termokopel selama proses *charging*, kemudian dianalisis menggunakan metode *Four Parameter Sigmoid* (FPS). Parameter unjuk kerja yang dievaluasi meliputi Tebal termoklin (W_{TC}) untuk menilai kualitas stratifikasi termal, *Cumulative Stored Energy* (Q_{cum}) untuk menentukan kapasitas energi yang tersimpan, serta *Half-cycle Figure of Merit* ($FoM_{1/2}$) untuk mengevaluasi efektivitas penyimpanan energi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan diameter kepala tangki dari 12 cm menjadi 20 cm pada debit aliran 1,25 liter/menit menurunkan rata-rata ketebalan termoklin (W_{TC}) dari 35,217 cm menjadi 27,800 cm, meningkatkan energi pada daerah pencampuran (C_{lost}) dari 17,961 Wh menjadi 20,932 Wh, meningkatkan nilai Half-cycle Figure of Merit ($FoM_{1/2}$) dari 0,854 menjadi 0,868, serta menghasilkan energi tersimpan kumulatif (Q_{cum}) yang lebih tinggi, yaitu sekitar 230 Wh, 275 Wh, dan 310 Wh pada menit ke-12 untuk kepala tangki 12 cm, 16 cm, dan 20 cm. Sementara itu, pada kepala tangki 16 cm, peningkatan debit aliran dari 1,0 menjadi 1,5 liter/menit meningkatkan rata-rata ketebalan termoklin (W_{TC}) dari 30,892 cm menjadi 33,059 cm, C_{lost} dari 18,517 Wh menjadi 19,942 Wh, sedangkan nilai rata-rata $FoM_{1/2}$ sedikit menurun dari 0,869 menjadi 0,863. Di sisi lain, energi tersimpan kumulatif (Q_{cum}) pada akhir proses charging meningkat dari sekitar 268 Wh pada debit 1,0 liter/menit menjadi 281 Wh pada debit 1,5 liter/menit. 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 DIAMETER KEPALA TANGKI DAN DEBIT ALIRAN
Raden Muhammad Zaky Rayyadi, Ir. Joko Waluyo, MT., Ph.D.
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, particularly tank geometry and operating conditions. 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 characteristics and thermal energy storage performance.

The experimental study was conducted using three tank head diameters of 12 cm, 16 cm, and 20 cm, combined with three flow rates of 1.0, 1.25, and 1.5 L/min. Temperatur distributions were measured using thermocouples during the charging process and analyzed using the Four Parameter Sigmoid (FPS) method. The thermal performance of the storage tank was evaluated based on the Width of Thermocline (W_{TC}), representing thermal stratification quality, Cumulative Stored Energy (Q_{cum}), representing the amount of stored thermal energy, and the Half-cycle Figure of Merit ($FoM_{1/2}$), representing the effectiveness of thermal energy storage.

The results showed that increasing the tank head diameter from 12 cm to 20 cm at a flow rate of 1.25 L/min reduced the average thermocline thickness (W_{TC}) from 35.217 cm to 27.800 cm, increased thermal energy loss (C_{lost}) from 17.961 Wh to 20.932 Wh, increased the Half-cycle Figure of Merit ($FoM_{1/2}$) from 0.854 to 0.868, and resulted in higher cumulative stored energy (Q_{cum}), reaching approximately 230 Wh, 275 Wh, and 310 Wh at the 12th minute for the 12 cm, 16 cm, and 20 cm tank head diameters, respectively. Meanwhile, for the 16 cm tank head, increasing the flow rate from 1.0 to 1.5 L/min increased the average thermocline thickness (W_{TC}) from 30.892 cm to 33.059 cm and C_{lost} from 18.517 Wh to 19.942 Wh, while the average $FoM_{1/2}$ slightly decreased from 0.869 to 0.863. On the other hand, the cumulative stored energy (Q_{cum}) at the end of the charging process increased from approximately 268 Wh at a flow rate of 1.0 L/min to 281 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.