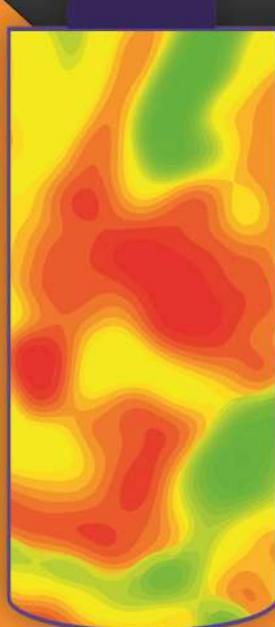




# METODE ASESMEN DAN PENGUKURAN DASAR **BATERAI TERMAL**

Reza Abdu Rahman



# **METODE ASESMEN DAN PENGUKURAN DASAR BATERAI TERMAL**

Reza Abdu Rahman



# **METODE ASESMEN DAN PENGUKURAN DASAR BATERAI TERMAL**

Penulis:

**Reza Abdu Rahman**

Desain Cover:

**Septian Maulana**

Sumber Ilustrasi:

**www.freepik.com**

Tata Letak:

**Handarini Rohana**

Editor:

**N. Rismawati**

ISBN:

**978-623-500-042-8**

Cetakan Pertama:

**April, 2024**

---

**Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang**

**by Penerbit Widina Media Utama**

---

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

**PENERBIT:**

**WIDINA MEDIA UTAMA**

Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas  
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

**Anggota IKAPI No. 360/JBA/2020**

Website: [www.penerbitwidina.com](http://www.penerbitwidina.com)

Instagram: @penerbitwidina

Telepon (022) 87355370

## KATA PENGANTAR

Penyimpanan energi menjadi salah satu capaian terpenting terkait dengan pemenuhan kebutuhan energi yang semakin kompleks di era sekarang. Penelitian dan pengembangan berkelanjutan menghasilkan ragam penyimpanan energi. Salah satu jenis penyimpanan energi yang sedang berkembang pesat adalah penyimpanan energi termal atau *thermal energy storage* (TES). Teknologi ini disandingkan sebagai bentuk baterai termal, yang secara spesifik bertujuan untuk menyimpan energi termal.

Sistem yang kompleks dari baterai termal menuntut adanya panduan dasar untuk proses asesmen dan pengukuran unit tersebut. Buku ini disusun sebagai buku ajar yang dapat dijadikan sebagai panduan dasar terkait dengan ***metode asesmen dan pengukuran dasar baterai termal***. Buku ini fokus pada aspek teknis terkait dengan metode dan pengukuran dasar. Penjelasan detail terkait dengan baterai termal dan kelengkapannya telah disajikan pada Buku Teknologi Baterai Termal (ISBN 978-623-459-626-7). Buku ini terdiri dari lima (5) bab yang memiliki fokus sebagai berikut:

- Bab 1: pengantar metode asesmen dasar baterai termal
- Bab 2: analisis profil performa dasar material baterai termal
- Bab 3: pengujian dasar sistem baterai termal
- Bab 4: pengembangan material baterai termal
- Bab 5: pengembangan unit baterai termal

Buku ini dapat digunakan sebagai buku ajar untuk mata kuliah terkait dengan energi terbarukan, penyimpanan energi dan juga sebagai pedoman teknis untuk proses asesmen. Penulis berharap kehadiran buku ini dapat bermanfaat untuk menunjang proses pendidikan dan pemahaman terkait

dengan baterai termal, yang pada akhirnya akan berkontribusi positif pada proses penelitian terkait dengan baterai termal.

Kebermanfaatan buku ini akan sangat bergantung kepada kemauan pembaca untuk menyelesaikan latihan yang diberikan. Model latihan yang diberikan secara khusus didesain untuk pendidikan bagi orang dewasa, yang mana motivasi untuk belajar datang dari kesadaran akan kebutuhan pengetahuan dan kompetensi. Lebih lanjut, latihan yang disajikan menuntut adanya komitmen kuat untuk membaca literatur yang baik sehingga hasil yang maksimal dapat dicapai.

Jakarta, April 2024

**Penulis**

# **DAFTAR ISI**

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>v</b>
<b>BAB 1 PENGANTAR METODE ASESMEN DASAR BATERAI TERMAL .....</b>	<b>1</b>
A. Deskripsi dan Tujuan BAB 1 .....	1
B. Materi BAB 1 .....	2
1. Pemahaman Dasar Baterai Termal .....	2
2. Klasifikasi Baterai Termal .....	2
3. Klasifikasi Baterai Termal berdasarkan Aplikasi .....	3
4. Klasifikasi Baterai Termal berdasarkan Energi <i>Input</i> .....	7
5. Klasifikasi Baterai Termal berdasarkan Material .....	8
6. Klasifikasi Baterai Termal berdasarkan Operasi .....	9
7. Asesmen Baterai Termal .....	10
C. Latihan BAB 1 .....	11
1. Evaluasi Mandiri .....	11
2. Evaluasi Literatur .....	11
3. Evaluasi Lapangan .....	13
<b>BAB 2 ANALISIS PROFIL PERFORMA DASAR</b>	
<b>MATERIAL BATERAI TERMAL .....</b>	<b>15</b>
A. Deskripsi dan Tujuan BAB 2 .....	15
B. Materi BAB 2 .....	15
1. Batasan Pembahasan Terkait Baterai Termal .....	15
2. Grafik Pengisian ( <i>Charge</i> ) Baterai Termal .....	16
3. Grafik Mode Penyimpanan ( <i>Storing</i> ) Baterai Termal .....	17
4. Grafik Mode Pelepasan Energi ( <i>Discharge</i> ) Baterai Termal .....	18
5. Grafik Operasi Unit Baterai Termal .....	18
6. Persamaan Energi pada Sisi Material Baterai Termal .....	19
7. Pengujian Kalor Spesifik, Titik Lebur dan Kalor Lebur .....	23
C. Latihan BAB 2 .....	28

<b>BAB 3 PENGUJIAN DASAR SISTEM BATERAI TERMAL</b>	<b>31</b>
A. Deskripsi dan Tujuan BAB 3 .....	31
B. Materi BAB 3.....	32
1. Konfigurasi Dasar Sistem Baterai Termal.....	32
2. Pengujian Unit Baterai Termal Pasif .....	32
3. Pengujian Unit Baterai Termal Aktif.....	35
4. Pengujian Sistem Baterai Termal Kombinasi .....	36
C. Latihan BAB 3.....	36
<b>BAB 4 PENGEMBANGAN MATERIAL BATERAI TERMAL</b>	<b>39</b>
A. Deskripsi dan Tujuan BAB 4 .....	39
B. Materi BAB 4.....	39
1. Tujuan Dasar Pengembangan Material Baterai Termal .....	39
2. Proses Sintesis Material Baterai Termal .....	41
3. Karakterisasi Material Baterai Termal yang Dikembangkan .....	42
4. Contoh Kasus Modifikasi Material Baterai Termal .....	43
a. Penggunaan <i>Microporous Organic Polymer</i> (MOP) untuk <i>Palmitic Acid</i> .....	43
b. Penggunaan <i>Expanded Perlite</i> (EP) dan <i>Expanded Vermiculite</i> (EVM) pada Campuran <i>Eutektik Fatty Acids</i> .....	45
c. Penggunaan Kaca ( <i>Glass</i> ) Sebagai <i>Stabilizer</i> untuk <i>Eutectic Inorganic Salts</i> .....	46
C. Latihan Kegiatan 4 .....	47
<b>BAB 5 PENGEMBANGAN UNIT BATERAI TERMAL</b>	<b>49</b>
A. Deskripsi dan Tujuan BAB 5 .....	49
B. Materi BAB 5.....	49
1. Unit Baterai Termal .....	49
2. Pengembangan untuk Peningkatan Perpindahan Panas .....	52
3. Pengembangan untuk Operasional dan <i>Manufacturing</i> .....	55
4. Pengembangan untuk Peningkatan <i>Specific Energy Ratio</i> .....	56
5. Latihan Kegiatan 5.....	59

<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN 1 – RAGAM MATERIAL BATERAI TERMAL .....</b>	<b>63</b>
<b>PROFIL PENULIS.....</b>	<b>65</b>



## PENGANTAR METODE ASESMEN DASAR BATERAI TERMAL

---

### A. DESKRIPSI DAN TUJUAN BAB 1

Materi pada BAB 1 fokus pada pengetahuan dasar yang diperlukan untuk keperluan asesmen awal baterai termal yang berpusat pada aspek klasifikasi baterai termal berdasarkan jenis material, mode operasi, aplikasi dan metode pemasukan energi. Setelah mengikuti pembahasan BAB 1 pada buku ini, diharapkan mahasiswa mampu:

1. Menyeleksi baterai termal berdasarkan jenis material, mode operasi, aplikasi dan *input* energi (**Pengetahuan level 4**)
2. Mengidentifikasikan 5 (lima) contoh teknologi baterai termal (**Pengetahuan level 4**)
3. Membandingkan baterai termal berdasarkan jenis material, mode operasi, aplikasi dan *input* energi (**Pengetahuan level 5**)
4. Melengkapi diagram kerja baterai termal berdasarkan 5 (lima) contoh aplikasi yang diberikan (**Pengetahuan level 5**)



## ANALISIS PROFIL PERFORMA DASAR MATERIAL BATERAI TERMAL

---

### A. DESKRIPSI DAN TUJUAN BAB 2

Pembahasan pada BAB 2 diarahkan secara spesifik pada aspek profil performa dasar material baterai termal. Setelah mengikuti pembahasan BAB 2, diharapkan mahasiswa mampu:

1. Memerinci performa dasar material baterai termal berdasarkan grafik siklus operasi (**Pengetahuan level 5**)
2. Menilai performa material baterai termal berdasarkan karakteristik siklus operasi (**Pengetahuan level 5**)
3. Merumuskan performa detail berdasarkan grafik siklus operasi baterai termal (**Pengetahuan level 6**)

### B. MATERI BAB 2

#### 1. Batasan Pembahasan Terkait Baterai Termal

Baterai termal memiliki karakteristik yang unik karena dapat dinilai sangat sederhana secara konsep namun relatif terlihat kompleks dari perspektif *science* dan *engineering*, sehingga akan lebih baik jika dibuat



## PENGUJIAN DASAR SISTEM BATERAI TERMAL

---

### A. DESKRIPSI DAN TUJUAN BAB 3

Pembahasan pada BAB 3 fokus pada bagian pengujian dasar baterai termal. Setelah mengikuti pembahasan BAB 3 pada buku ini, diharapkan mahasiswa dapat:

1. Mengukur sifat dasar material baterai termal berdasarkan kondisi pengujian yang relevan dengan aplikasinya (**Pengetahuan level 5**)
2. Membandingkan hasil pengukuran pada tiap siklus proses (**Pengetahuan level 5**)
3. Mengumpulkan data hasil analisis berdasarkan model pengukuran baterai termal (**Pengetahuan level 6**)
4. Merencanakan proses pengukuran material baterai termal sesuai dengan kebutuhan pengujian (**Pengetahuan level 6**)



## PENGEMBANGAN MATERIAL BATERAI TERMAL

---

### A. DESKRIPSI DAN TUJUAN BAB 4

BAB 4 membahas terkait dengan tren pengembangan material baterai termal, sehingga setelah mempelajari BAB 4 diharapkan mahasiswa dapat:

1. Merangkum metode sintesis material baterai termal yang dikembangkan (**Pengetahuan level 5**)
2. Memproyeksikan kebutuhan modifikasi material baterai termal untuk aplikasi spesifik (**Pengetahuan level 5**)
3. Merumuskan arah pengembangan material baterai termal (**Pengetahuan level 6**)

### B. MATERI BAB 4

#### 1. Tujuan Dasar Pengembangan Material Baterai Termal

Material untuk penyimpanan energi merupakan aspek paling krusial yang berkaitan dengan kemajuan teknologi ini. Pengembangan pada aspek material selalu dijadikan kunci paling awal untuk proses penguasaan



# PENGEMBANGAN UNIT BATERAI TERMAL

---

## A. DESKRIPSI DAN TUJUAN BAB 5

Pengembangan dari sisi material dilakukan secara paralel pada pengembangan unit baterai termal. Materi pada BAB V fokus terkait pengembangan pada sisi unit baterai termal. Setelah mengikuti pembahasan BAB V pada buku ini, diharapkan mahasiswa mampu:

1. Mengkombinasikan model unit baterai termal dengan material baterai termal yang sesuai (**Pengetahuan level 6**)
2. Merumuskan aspek pengembangan unit baterai termal berdasarkan kebutuhan sistem termal (**Pengetahuan level 6**)

## B. MATERI BAB 5

### 1. Unit Baterai Termal

Unit baterai termal merupakan perangkat yang digunakan untuk menyimpan material baterai termal yang dilengkapi juga dengan unit alat penukar kalor. Dengan demikian, model unit baterai termal akan sangat terkait kuat dengan aplikasi sistem baterai termal aktif/kombinasi karena melibatkan fluida kerja untuk proses perpindahan panas.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Suwandi, Z. Sjarief, D. Rahmalina, and R. A. Rahman, "Rancang Bangun Bed Storage untuk Thermal Energy Storage Berbasis Parafin dan Serbuk Besi," JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa), vol. 6, no. 1, p. 163, 2021.
- B. M. Suyitno, I. Ismail, and R. A. Rahman, "Improving the performance of a small-scale cascade latent heat storage system by using gradual melting temperature storage tank," Case Stud. Therm. Eng., vol. 45, no. April, p. 103034, 2023.
- B. Ranjan Tamuli and S. Nath, "Analysis of micro heat pipe array based evacuated tube solar water heater integrated with an energy storage system for improved thermal performance," Therm. Sci. Eng. Prog., vol. 41, no. March, p. 101801, 2023.
- D. Janghel, S. K. Saha, and S. Karagadde, "Effect of shrinkage void on thermal performance of pure and binary phase change materials based thermal energy storage system: A semi-analytical approach," Appl. Therm. Eng., vol. 167, p. 114706, 2020.
- D. Rahmalina, A. R. Zada, H. Soefihandini, I. Ismail, and B. M. Suyitno, "Analysis of the thermal characteristics of the paraffin wax/high-density polyethylene (HDPE) composite as a form-stable phase change material (FSPCM) for thermal energy storage," Eastern-European J. Enterp. Technol., vol. 1, no. 6 (121), pp. 6–13, 2023.
- D. Rahmalina, A. Suwandi, D. H. Edi, and R. Martonggo, "Rancang Bangun Alat Pengering Cabai Skala Laboratorium dengan," J. Asiimetrik J. Ilm. Rekayasa Dan Inov., vol. 4, pp. 105–116, 2022.

- D. Rahmalina, D. C. Adhitya, R. A. Rahman, and I. Ismail, "Improvement the Performance of Composite Pcm Paraffin-Based Incorporate With Volcanic Ash As Heat Storage for Low-Temperature," EUREKA Phys. Eng., no. 1, pp. 3–11, 2022.
- D. Rahmalina, R. A. Rahman, and Ismail, "Increasing the rating performance of paraffin up to 5000 cycles for active latent heat storage by adding high-density polyethylene to form shape-stabilized phase change material," J. Energy Storage, vol. 46, no. August 2021, p. 103762, 2022.
- G. Zanganeh, A. Pedretti, A. Haselbacher, and A. Steinfeld, "Design of packed bed thermal energy storage systems for high-temperature industrial process heat," Appl. Energy, vol. 137, pp. 812–822, 2015.
- Ibrahim Dinçer and Marc. A. Rosen, Thermal Energy Storage: Systems and Applications, vol. Second. 2011.
- IRENA, Innovation Outlook: Thermal Energy Storage. 2020.
- J. Romani, J. Gasia, and L. F. Cabeza, "Definitions of technical parameters for thermal energy storage (TES)," 2018.
- R. A. Rahman, D. Setiawan, A. Wiyono, R. Anggrainy, and D. S. Yuseva, Teknologi Concentrated Solar Power - Referensi Perkembangan Teknologi Photo-Thermal Conversion sebagai Alternatif Sumber Energi Baru Terbarukan. 2022.

## PROFIL PENULIS

### Reza Abdu Rahman, S.Pd., M.T.



Pendidikan vokasi Teknik Otomotif berhasil diselesaikan pada Tahun 2008, kemudian melanjutkan program Strata-1 di Universitas Negeri Jakarta dan lulus pada tahun 2014 untuk program studi pendidikan teknik mesin. Penulis aktif pada bidang pendidikan. Penulis aktif di Pendidikan Vokasi mulai tahun 2013-2019 di SMKN 10 Kota Bekasi dan menjabat sebagai Kepala Program Keahlian Teknik Otomotif. Penulis melanjutkan pendidikan S2 di Magister Teknik Mesin Universitas Pancasila dan lulus pada tahun 2020. Mulai tahun 2019, penulis aktif pada bidang STEM dengan fokus pada *Engineering Program for High School*, dan menjadi Guru tamu di *HighScope Indonesia Institute* serta mulai aktif menjadi Dosen di Universitas Pancasila Sejak Tahun 2021. Fokus penelitian penulis adalah bidang penyimpanan energi, hibridisasi sistem *renewable energy*, material untuk baterai termal dan sistem baterai termal.

# METODE ASESMEN DAN PENGUKURAN DASAR BATERAI TERMAL

Tren perkembangan model penyimpanan energi berbasis termal sangat pesat dengan estimasi mencapai kapasitas total sebesar 800 GWh pada tahun 2030. Untuk itu, penyediaan sumber daya manusia (SDM) yang berkompeten terhadap teknologi ini harus dilakukan secara cepat guna memenuhi permintaan pasar. Buku ini didesain untuk mahasiswa dan juga praktisi yang ingin melakukan asesmen dan pengukuran dasar terkait dengan baterai termal. Model buku ajar ini menggunakan prinsip *outcome based education* (OBE) untuk memberikan arah spesifik capaian kompetensi pada tiap bagian yang dibuat. Pendekatan deduktif yang disajikan untuk tiap bagian memberikan arah spesifik yang dapat dikembangkan juga untuk kemandirian dalam proses belajar. Pada akhir bagian, diberikan latihan yang spesifik berdasarkan contoh kasus yang relevan dan juga tren perkembangan global. Pembahasan pada buku ini meliputi aspek teknis mendasar terkait dengan teknologi baterai termal, tren perkembangan pada aspek material dan juga unit baterai termal. Dengan demikian, keseluruhan unit baterai termal dapat dipelajari dengan komprehensif sebagai modal dasar untuk pengembangan literatur berikutnya.