



TEKNOLOGI BATERAI TERMAL

Referensi Model Penyimpanan Energi Termal

Penulis:

Reza Abdu Rahman, Agung Nugroho, Dibyo Setiawan,
Apri Wiyono, Rani Anggrainy

TEKNOLOGI BATERAI TERMAL

Referensi Model Penyimpanan Energi Termal

Penulis:

**Reza Abdu Rahman, Agung Nugroho, Dibyo Setiawan,
Apri Wiyono, Rani Anggrainy**



TEKNOLOGI BATERAI TERMAL
REFERENSI MODEL PENYIMPANAN ENERGI TERMAL

Penulis:

**Reza Abdu Rahman, Agung Nugroho, Dibyo Setiawan,
Apri Wiyono, Rani Anggrainy**

Desain Cover:

Septian Maulana

Sumber Ilustrasi:

www.freepik.com

Tata Letak:

Handarini Rohana

Editor:

Reza Abdu Rahman

ISBN:

978-623-459-626-7

Cetakan Pertama:

September, 2023

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

Instagram: [@penerbitwidina](https://www.instagram.com/penerbitwidina)

Telepon (022) 87355370

KATA PENGANTAR

Perkembangan informasi dan teknologi terjadi pada kecepatan yang berbeda untuk tiap wilayah. Adaptasi dan adopsi teknologi, sebelum sampai ke tahap inovasi lanjutan, harus dipertimbangkan sebagai modal penting untuk proses *transfer knowledge*. Baterai termal sudah sangat banyak digunakan pada sistem energi pada sebagian besar Negara maju hingga mencapai 200 GWh di tahun 2019. Kapasitas yang besar tersebut menandakan peran penting dari baterai termal pada sistem energi *existing* dan juga peluang penerapan yang luas pada bidang energi lainnya.

Buku **Teknologi Baterai Termal** disajikan sebagai referensi model penyimpanan energi termal. Referensi penting dipertimbangkan berdasarkan klasifikasi dasar, prinsip operasi dan juga material. Fungsi dasar dari baterai termal pada prinsipnya sangat mudah dipahami sehingga ada harapan besar bahwa teknologi ini dapat dikembangkan lebih lanjut hingga mencapai taraf komersialisasi oleh para peneliti di dalam Negeri sendiri.

Buku ini dibuat dengan tujuan memberikan manfaat sebesar-besarnya bagi mereka yang ingin menambah ilmu melalui "*membaca*". Penyajian pada buku **Teknologi Baterai Termal** dibuat secara ringkas dan jelas. Penggunaan ilustrasi dan contoh dari kehidupan sehari-hari diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih kuat bagi pembaca untuk memahami isi dari buku **Teknologi Baterai Termal**. Semoga kehadiran buku ini dapat memberikan referensi penting terkait dengan referensi model penyimpanan energi termal dan trennya yang sedang berkembang.

September, 2023

Tim Penulis
R.A.D.A.R.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB 1 ENERGI DAN KEHIDUPAN MANUSIA	1
A. Peran Energi dalam Perspektif Kehidupan	1
B. Energi Sebagai Penunjang Kehidupan Manusia	4
C. Sumber Energi	9
D. Model Distribusi Energi	28
BAB 2 TRANSISI ENERGI	37
A. Transisi Energi	37
B. Pola Transisi Energi	41
C. Model Pemakaian Energi	42
D. Teknologi Penyimpanan Energi	44
E. Peran Penyimpanan Energi pada Proses Transisi Energi	45
BAB 3 BATERAI TERMAL	49
A. Definisi dan Prinsip Operasi	49
B. Fungsi Dasar dan Aplikasi Baterai Termal	57
C. Material Baterai Termal	63
D. Suhu Operasi Baterai Termal	64
E. Durasi Penyimpanan Baterai Termal	65
BAB 4 SISTEM BATERAI TERMAL	67
A. Baterai Termal Sebagai Komponen Tunggal	67
B. Baterai Termal Sebagai Sistem	70
C. Mode Kerja Baterai Termal	78
D. <i>Passive Operation</i> Baterai Termal	79
E. <i>Active Operation</i> Baterai Termal	83
F. <i>Hybrid Operation</i> Baterai Termal	93
G. Klasifikasi Material Baterai Termal	95
BAB 5 BATERAI TERMAL SENSIBEL (STES)	97
BAB 6 BATERAI TERMAL LATEN (LTES)	103
BAB 7 BATERAI TERMAL TERMOKIMIA (TTES)	117
DAFTAR PUSTAKA	124
PROFIL PENULIS	133



ENERGI DAN KEHIDUPAN MANUSIA

A. PERAN ENERGI DALAM PERSPEKTIF KEHIDUPAN

Topik terkait dengan energi merupakan pembahasan yang kompleks, namun tetap dapat dibuat menjadi lebih sederhana dengan menyesuaikan perspektif kita. Energi secara sederhana dapat diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja. Namun, pengertian tersebut kurang memberikan makna yang tepat, khususnya pada bidang sains dan *engineering*. Energi sulit untuk didefinisikan secara spesifik, namun dapat diasumsikan sebagai suatu kuantitas penting yang dapat diperhitungkan berdasarkan referensi spesifik. Pendekatan tersebut yang dijadikan sebagai dasar dari pembahasan energi pada buku ini.

Energi dan kehidupan tidak dapat dipisahkan. Untuk dikatakan hidup, maka suatu makhluk harus memiliki energi. Hal ini yang membuat energi dan kehidupan tidak dapat dipisahkan. Seluruh makhluk hidup membutuhkan energi, sehingga penting untuk melihat peran energi secara sederhana pada makhluk hidup (termasuk manusia).

Manusia mengkonsumsi makanan (dan minuman) sebagai sumber energi. Sistem pada tubuh manusia (pencernaan) melakukan proses konversi energi yang terkandung di makanan. Proses konversi memungkinkan energi pada makanan dapat digunakan untuk kebutuhan harian di dalam tubuh manusia. Sebagian energi yang dihasilkan dapat disimpan di dalam tubuh manusia dan sebagian lagi dikeluarkan sebagai



TRANSISI ENERGI

A. TRANSISI ENERGI

Transisi energi menjadi isu yang sangat krusial pada era milenial sekarang. Tujuan dari transisi energi pada prinsipnya mencakup empat aspek berikut:

1. Mitigasi risiko krisis energi karena (*kemungkinan*) habisnya pasokan dari *non-renewable sources*.
2. Mitigasi risiko dari perubahan iklim akibat emisi gas buang dari proses pembakaran *fossil fuel*.
3. Pengurangan limbah (*waste*) yang dihasilkan dari proses ekonomi untuk menjaga lingkungan hidup.
4. Aspek lain meliputi *geo-politic*, keamanan dan ketahanan nasional dan militer.

Empat aspek tersebut yang melandasi seluruh proses transisi pada era sekarang. Proses transisi energi merupakan hal yang rumit dikarenakan infrastruktur energi yang sudah dibangun hampir seluruhnya didesain untuk *non-renewable sources*.

Selama beberapa dekade berikutnya, setiap aspek pada sistem energi nasional akan dipengaruhi oleh kebijakan energi dan iklim, pendanaan, upaya berkelanjutan untuk peningkatan teknologi, dan perubahan pada model permintaan dan kebutuhan energi. Kabar baik dibawa oleh *renewable sectors*. Biaya *deployment renewable facilities* turun dengan sangat cepat. Akibatnya, transisi energi sekarang telah dipertimbangkan



BATERAI TERMAL

A. DEFINISI DAN PRINSIP OPERASI

Thermal energy storage (TES) atau baterai termal merupakan perangkat penyimpanan energi termal. Fungsi dasar dari baterai termal sama dengan baterai listrik yakni sebagai media penyimpanan energi. Perbedaan yang paling mendasar antara baterai listrik dan baterai termal adalah jenis energi yang disimpan. Baterai listrik menyimpan energi listrik sedangkan baterai termal menyimpan energi termal. Energi termal dapat disimpan pada suatu material yang dilengkapi dengan sistem tambahan untuk diwujudkan menjadi sebuah baterai termal. Energi termal yang tersimpan dapat digunakan untuk proses pemanasan dan pendinginan. Baterai termal untuk pemanasan memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan sistem atau lingkungan, sedangkan baterai termal untuk aplikasi pendinginan memiliki suhu lebih rendah dari sistem atau lingkungan.

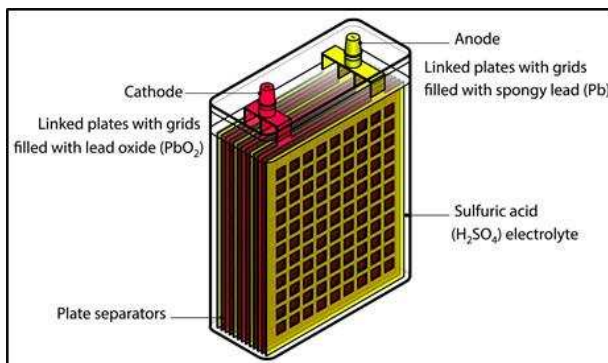
Pemahaman terkait hukum termodinamika ke-nol merupakan kunci penting untuk memahami prinsip operasi baterai termal. Hukum termodinamika ke-nol bicara tentang kesetimbangan termal pada suatu sistem. Kesetimbangan termal berkaitan dengan suhu. Untuk itu, perlu melihat dan memahami variabel nilai suhu pada sistem operasi baterai termal. Perhatikan Gambar 3.1 terkait dengan ilustrasi prinsip dasar baterai termal. Variabel suhu terdiri dari T_{TES} (suhu baterai termal), T_{system} (suhu sistem termal), $T_{lingkungan}$ (suhu lingkungan di luar baterai termal) dan T_{load} (suhu beban termal). Penjelasan Gambar 3.1 adalah:

BAB 4

SISTEM BATERAI TERMAL

A. BATERAI TERMAL SEBAGAI KOMPONEN TUNGGAL

Unit baterai termal secara spesifik difungsikan untuk menyimpan energi. Baterai termal sebagai komponen tunggal diartikan sebagai satu unit sendiri yang bertugas untuk mencapai fungsi tersebut. Sebagai contoh, baterai listrik *lead acid* (Gambar 4.1) terdiri dari beberapa komponen yang bertugas untuk menunjang fungsi dari proses reaksi untuk menghasilkan listrik. Perspektif ini akan sama dengan baterai termal sebagai komponen tunggal di mana konstruksi pada unit baterai termal ditugaskan untuk menunjang fungsi penyimpanan energi termal.



Gambar 4.1. Konstruksi dari baterai listrik *type lead acid*³⁵

³⁵ . K. Pradhan and B. Chakraborty, 2022



BAB 5

BATERAI TERMAL SENSIBEL (STES)

Baterai Termal Sensibel atau *sensible thermal energy storage* (STES) memanfaatkan sifat panas sensibel dari suatu material untuk proses penyimpanan panas. Sifat sensibel secara sederhana dapat diartikan sebagai perpindahan panas pada suatu material yang menyebabkan perubahan suhu dari material tersebut. Dengan demikian, nilai energi akan bergantung terhadap perbedaan suhu awal dan akhir dari material tersebut. Dalam bentuk persamaan, panas sensibel dapat dihitung berdasarkan Persamaan 5.1:

$$Q_{\text{sensible}} = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad 5.1$$

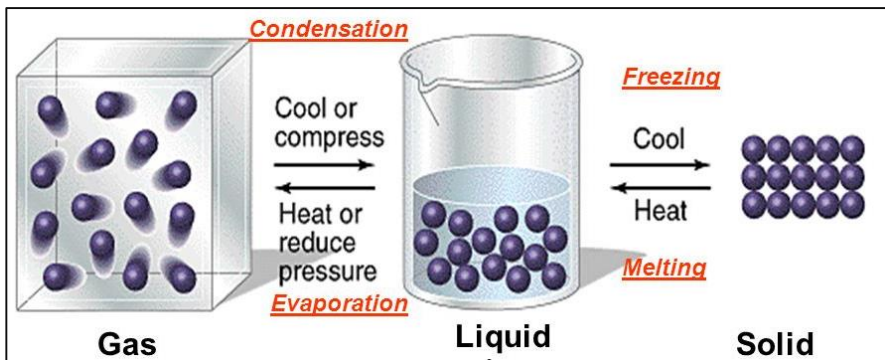
Dimana Q_{sensible} adalah banyaknya energi panas *sensible* (kJ), m adalah massa material (kg), c_p adalah *specific heat capacity* ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) dan ΔT adalah selisih suhu awal dan akhir. Dari konsep ini terlihat bahwa aspek *specific heat capacity* menjadi kunci paling penting dari STES. Hal ini dikarenakan kapasitas total penyimpanan akan bergantung pada nilai *specific heat capacity* dari material yang digunakan.

Pemahaman *fundamental* terkait konsep sensibel mutlak untuk dikuasai agar dapat membedakan antara nilai total energi dan batasan suhu operasi sistem. Perhatikan Tabel 5.1 yang menunjukkan perbandingan tiga jenis STES dengan material berbeda. Kondisi pada Tabel 5.1 memperlihatkan bahwa seluruh variabel awal tiap jenis STES adalah

BAB 6

BATERAI TERMAL LATEN (LTES)

Latent heat atau panas laten merupakan panas yang digunakan untuk mengubah fasa suatu material tanpa menyebabkan kenaikan suhu. Panas yang masuk ke material menyebabkan adanya perubahan struktur pada material tersebut tanpa menyebabkan kenaikan suhu sampai terjadi perubahan fasa. Panas laten untuk melelehkan suatu material disebut kalor lebur (*latent heat of fusion* atau *melting enthalpy*) sedangkan panas laten untuk menguapkan suatu material disebut kalor uap (*latent heat of vaporization*).



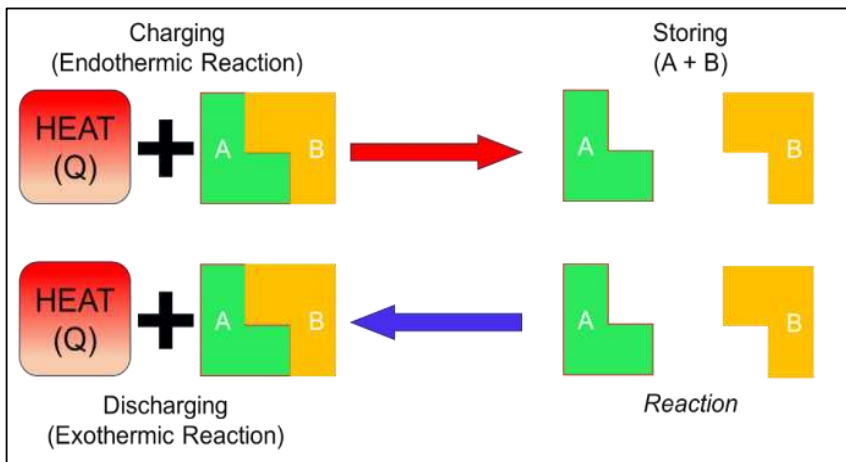
Gambar 6.1. Proses perubahan fasa suatu material di mana fasa gas memiliki nilai energi tertinggi⁴⁷

⁴⁷ J. Kim et al. 2022

BAB 7

BATERAI TERMAL TERMOKIMIA (TTES)

Reaksi mampu balik pada suatu sistem kimia memungkinkan untuk digunakan sebagai bentuk penyimpanan energi panas. Proses reaksi melibatkan dua fungsi aliran panas yakni *endothermic* (panas masuk ke material) dan *exothermic* (panas dilepaskan dari material). Dengan melakukan modifikasi pada sistem, maka proses tersebut dapat dilakukan secara berulang melalui skema *reversible reaction*. Konsep dasar dari termokimia baterai termal diperlihatkan pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1. Prinsip operasi dari termokimia baterai termal (TTES)

DAFTAR PUSTAKA

- A. A. M. Junior and M. B. H. Mantelli, "Thermal performance of a novel flat thermosyphon for avionics thermal management," *Energy Conversion and Management*, vol. 202, no. October, p. 112219, 2019.
- A. I. Fernández, C. Barreneche, L. Miró, S. Brückner, and L. F. Cabeza, *Thermal energy storage (TES) systems using heat from waste*. Woodhead Publishing Limited, 2015.
- A. Játiva, E. Ruales, and M. Etxeberria, "Volcanic ash as a sustainable binder material: An extensive review," *Materials*, vol. 14, no. 5, pp. 1–32, 2021.
- A. Kasaeian, F. Rajaei, and W. M. Yan, "Osmotic desalination by solar energy: A critical review," *Renewable Energy*, vol. 134, pp. 1473–1490, 2019.
- A. Malley-Ernewein and S. Lorente, "Constructal design of thermochemical energy storage," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 130, pp. 1299–1306, 2019.
- A. Naidoo, "The socio-economic impacts of solar water heaters compared across two communities: A case study of Cato Manor," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 119, no. October 2019, p. 109525, 2020.
- A. Peinado, A. Pliego, F. Pedro, and G. Márquez, "A review of the application performances of concentrated solar power systems," *Applied Energy*, vol. 255, no. March, p. 113893, 2019.
- A. Redko, O. Redko, and R. DiPippo, *Heat pumps in the drying industry*, no. 1. 2020.
- A. Tunggul Ismail, I. Ismail, and R. Abdu Rahman, "Increasing the reliability of biomass solid fuel combustion using a combined regenerative heat exchanger as an indirect burner," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 5, no. 8(119), pp. 53–61, 2022.

- A. Voirand, S. Lips, and V. Sartre, "Heat transfer and flow visualizations in a flat confined two-phase thermosyphon," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 148, p. 119056, 2020.
- A. Yushchenko, A. de Bono, B. Chatenoux, M. K. Patel, and N. Ray, "GIS-based assessment of photovoltaic (PV) and concentrated solar power (CSP) generation potential in West Africa," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, no. June. Elsevier Ltd, pp. 2088–2103, 2018.
- B. Ghorbani, K. B. Mahyari, M. Mehrpooya, and M. H. Hamed, "Introducing a hybrid renewable energy system for production of power and fresh water using parabolic trough solar collectors and LNG cold energy recovery," *Renewable Energy*, vol. 148, pp. 1227–1243, 2020.
- B. M. Suyitno, D. Rahmalina, and R. A. Rahman, "Evaluation on the Discharging Rate and State of Health of Paraffin / HDPE after 10 , 000 Thermal Cycling under Various Charging Speed," *International Journal of Heat and Technology*, vol. 41, no. 1, pp. 95–102, 2023.
- B. M. Suyitno, D. Rahmalina, and R. A. Rahman, "Increasing the charge / discharge rate for phase-change materials by forming hybrid composite paraffin / ash for an effective thermal energy storage system," *AIMS Material Science*, vol. 10, no. 1, pp. 70–85, 2023.
- B. M. Suyitno, E. A. Pane, D. Rahmalina, and R. A. Rahman, "Improving the operation and thermal response of multiphase coexistence latent storage system using stabilized organic phase change material," *Results in Engineering*, vol. 18, no. May, p. 101210, 2023.
- 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 Studies in Thermal Engineering*, vol. 45, no. April, p. 103034, 2023.
- C. Shen et al., "Shape-stabilized hydrated salt/paraffin composite phase change materials for advanced thermal energy storage and management," *Chemical Engineering Journal*, vol. 385, no. 2999, p. 123958, 2020.
- D. Gibb et al., "Applications of Thermal Energy Storage in the Energy Transition," 2018.

- D. Janghel, S. Karagadde, and S. K. Saha, "Measurement of shrinkage void and identification of solid-liquid phases in phase change materials: Ultrasound-based approach and simulated predictions," *Applied Thermal Engineering*, vol. 223, no. December 2022, p. 120048, 2023.
- 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 Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, no. 6 (121), pp. 6–13, 2023.
- D. Rahmalina, A. Suwandi, D. H. Edi, and R. Martonggo, "Rancang Bangun Alat Pengerian Cabai Skala Laboratorium dengan," *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi*, vol. 4, pp. 105–116, 2022.
- D. Rahmalina, R. A. Rahman, A. Suwandi, and Ismail, "The recent development on MgH₂ system by 16 wt% nickel addition and particle size reduction through ball milling: A noticeable hydrogen capacity up to 5 wt% at low temperature and pressure," *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020.
- 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," *Journal of Energy Storage*, vol. 46, no. December 2021, p. 103762, 2022.
- F. Donatini, *Geothermal Power*, no. September. 2019.
- G. Gholamibozanjani and M. Farid, "A comparison between passive and active PCM systems applied to buildings," *Renewable Energy*, vol. 162, pp. 112–123, 2020.
- H. M. Ali, F. Jamil, and H. Babar, *Thermal energy storage: storage techniques, advanced materials, thermophysical properties and applications*. 2021.
- H. Mehling and L. F. Cabeza, "Basic thermodynamics of thermal energy storage," in *Heat and cold storage with PCM*, 2008, pp. 1–10.
- H. Paksoy and B. Beyhan, *Thermal energy storage (TES) systems for greenhouse technology*. Woodhead Publishing Limited, 2014.

- H. Pcm et al., "Investigations of Lithium-Ion Battery Thermal Management," Processes, 2023.
- İ. Dinçer and M. A. Rosen, Thermal Energy Storage: Systems and Applications. 2011.
- I. Ismail, E. A. Pane, G. Haryanto, T. Okviyanto, and R. A. Rahman, "A Better Approach for Modified Bach-Type Savonius Turbine Optimization," International Review of Aerospace Engineering (IREASE), vol. 14, no. 3, p. 159, 2021.
- IRENA, Innovation Outlook: Thermal Energy Storage. 2020.
- Ismail, J. John, E. A. Pane, R. Maulana, R. A. Rahman, and A. Suwandi, "Experimental evaluation for the feasibility of test chamber in the open-loop wind tunnel," WSEAS Transactions on Fluid Mechanics, vol. 16, pp. 120–126, 2021.
- J. Faraj, E. Harika, M. Akoum, R. Murr, and M. Khaled, "Enhanced residential water heater: Experiments and analysis," Energy Procedia, vol. 162, pp. 164–170, 2019.
- J. Kim, J. Lee, C. Song, J. Yun, and W. Choi, "Enhanced thermal performances of PCM heat sinks enabled by layer-by-layer-assembled carbon nanotube–polyethylenimine functional interfaces," Energy Conversion and Management, vol. 266, no. May, 2022.
- J. Liu, H. T. Schaef, P. F. Martin, B. P. McGrail, and L. S. Fifield, "Understanding H₂ Evolution from the Decomposition of Dibutylmagnesium Isomers Using in-Situ X-ray Diffraction Coupled with Mass Spectroscopy," ACS Applied Energy Materials, vol. 2, no. 7, pp. 5272–5278, 2019.
- J. Luo, D. Zou, Y. Wang, S. Wang, and L. Huang, "Battery thermal management systems (BTMs) based on phase change material (PCM): A comprehensive review," Chemical Engineering Journal, vol. 430, no. P1, p. 132741, 2022.
- K. Belz, F. Kuznik, K. F. Werner, T. Schmidt, and W. K. L. Ruck, Thermal energy storage systems for heating and hot water in residential buildings. Woodhead Publishing Limited, 2015.

- K. Couvreur, W. Beyne, R. Tassenoy, S. Lecompte, and M. De Paepe, "Characterization of a latent thermal energy storage heat exchanger using a charging time energy fraction method with a heat loss model," *Applied Thermal Engineering*, vol. 219, no. PB, p. 119526, 2023.
- K. Manickam et al., "Future perspectives of thermal energy storage with metal hydrides," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 15, pp. 7738–7745, 2019.
- K. Vignarooban, X. Xu, A. Arvay, K. Hsu, and A. M. Kannan, "Heat transfer fluids for concentrating solar power systems - A review," *Applied Energy*, vol. 146, pp. 383–396, 2015.
- K. W. Wang, T. Yan, and W. G. Pan, "Optimization strategies of microencapsulated phase change materials for thermal energy storage," *Journal of Energy Storage*, vol. 68, no. February, p. 107844, 2023.
- L. André, S. Abanades, and G. Flamant, "Screening of thermochemical systems based on solid-gas reversible reactions for high temperature solar thermal energy storage," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 64, pp. 703–715, 2016.
- L. F. Cabeza and E. Oró, *Thermal Energy Storage for Renewable Heating and Cooling Systems*. 2016.
- L. Liu, N. Hammami, L. Trovalet, D. Bigot, J. P. Habas, and B. Malet-Damour, "Description of phase change materials (PCMs) used in buildings under various climates: A review," *Journal of Energy Storage*, vol. 56, no. PA, p. 105760, 2022.
- L. Miró, J. Gasia, and L. F. Cabeza, "Thermal energy storage (TES) for industrial waste heat (IWH) recovery: A review," *Applied Energy*, vol. 179, pp. 284–301, 2016.
- L. Schlapbach and A. Züttel, "Hydrogen-storage materials for mobile applications," *Nature*, vol. 414, pp. 353–358, 2001.
- L. Wu, X. Zhang, and X. Liu, "Numerical analysis and improvement of the thermal performance in a latent heat thermal energy storage device with spiderweb-like fins," *Journal of Energy Storage*, vol. 32, no. August, p. 101768, 2020.

- M. A. Fikri et al., "Recent progresses and challenges in cooling techniques of concentrated photovoltaic thermal system: A review with special treatment on phase change materials (PCMs) based cooling," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 241, no. March, p. 111739, 2022.
- M. Liu, S. Riahi, R. Jacob, M. Belusko, and F. Bruno, "Design of sensible and latent heat thermal energy storage systems for concentrated solar power plants: Thermal performance analysis," *Renewable Energy*, 2020.
- M. Lototskyy et al., "Nanostructured hydrogen storage materials prepared by high-energy reactive ball milling of magnesium and ferrovandium," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 13, pp. 6687–6701, 2019.
- M. M. El Idi, M. Karkri, and M. Abdou Tankari, "A passive thermal management system of Li-ion batteries using PCM composites: Experimental and numerical investigations," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 169, p. 120894, 2021.
- M. Mansoor O, S. P. Simon, K. A. Kumar, K. Sundareswaran, P. S. R. Nayak, and N. P. Padhy, "Impact and economic assessment on solar PV mirroring system – A feasibility report," *Energy Conversion and Management*, vol. 203, no. June, p. 112222, 2020.
- M. S. Mahdi, H. B. Mahood, J. M. Mahdi, A. A. Khadom, and A. N. Campbell, "Improved PCM melting in a thermal energy storage system of double-pipe helical-coil tube," *Energy Conversion and Management*, vol. 203, no. September 2019, p. 112238, 2020.
- M. Sharma, D. Atheaya, and A. Kumar, "Performance evaluation of indirect type domestic hybrid solar dryer for tomato drying: Thermal, embodied, economical and quality analysis," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 42, no. March, p. 101882, 2023.
- N. Ahmed, K. E. Elfeky, L. Lu, and Q. W. Wang, "Thermal and economic evaluation of thermocline combined sensible-latent heat thermal energy storage system for medium temperature applications," *Energy Conversion and Management*, vol. 189, pp. 14–23, 2019.

- N. M. Phu and N. Van Hap, "Influence of inlet water temperature on heat transfer and pressure drop of dehumidifying air coil using analytical and experimental methods," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 18, no. December 2019, p. 100581, 2020.
- N. Philip, S. Duraipandi, and A. Sreekumar, "Techno-economic analysis of greenhouse solar dryer for drying agricultural produce," *Renewable Energy*, vol. 199, no. August, pp. 613–627, 2022.
- P. Arumugam, V. Ramalingam, and P. Vellaichamy, "Effective PCM, insulation, natural and/or night ventilation techniques to enhance the thermal performance of buildings located in various climates – A review," *Energy and Buildings*, vol. 258, p. 111840, 2022.
- P. Mirzaee, P. Salami, H. Samimi Akhijahani, and S. Zareei, "Life cycle assessment, energy and exergy analysis in an indirect cabinet solar dryer equipped with phase change materials," *Journal of Energy Storage*, vol. 61, no. February, p. 106760, 2023.
- PTSEIK-BPPT Indonesia, *Indonesia Energy Outlook 2017. Clean Energy Technology Development Initiatives*. 2017.
- R. A. Rahman, A. Suwandi, and M. Nurtanto, "Experimental investigation on the effect of thermophysical properties of a heat transfer fluid on pumping performance for a convective heat transfer system," *Journal of Thermal Engineering*, vol. 7, no. 7, pp. 1628–1639, 2021.
- R. Januar, "Comparative Analysis of 20-MW Solar Thermal and PV Power Plant in Rongkop, Indonesia Using LCOE Simulation Method," *Journal of Clean Energy Technologies*, vol. 5, no. 5, pp. 383–388, 2017.
- R. Ling-zhi, Z. Xin-gang, Z. Yu-zhuo, and L. Yan-bin, "The economic performance of concentrated solar power industry in China," *Journal of Cleaner Production*, vol. 205, pp. 799–813, 2018.
- R. M., L. S., R. S., A. H., and D. A., "Experimental investigation on the abasement of operating temperature in solar photovoltaic panel using PCM and aluminium," *Solar Energy*, vol. 188, no. February, pp. 327–338, 2019.

- R. Panahi, M. H. Khanjanpour, A. A. Javadi, M. Akrami, M. Rahnama, and M. Ameri, "Analysis of the thermal efficiency of a compound parabolic Integrated Collector Storage solar water heater in Kerman, Iran," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 36, no. September, p. 100564, 2019.
- R. Pitz-Paal, "Concentrating Solar Power," in *Future Energy*, Elsevier Ltd, 2020, pp. 413–430.
- Rahmalina, D., Pane, E. A., Herdyana, R. C., Putra, D. P. D., & Rahman, R. A. (2022). Rancang Bangun Alat Desalinasi Air Laut Skala Lab Tipe Multi Stage Flash. *Otopro*, 17(2), 48–56. <https://doi.org/10.26740/otopro.v17n2.p48-56>
- Rahman, R. A., Lahuri, A. H., & Ismail, I. (2023). Thermal stress influence on the long-term performance of fast-charging paraffin-based thermal storage. *Thermal Science and Engineering Progress*, 37(November 2022), 101546. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2022.101546>
- Renewable Costs in 2017 Generation Power, *Renewable Power Generation Costs in 2017*. 2018.
- S. K. Pradhan and B. Chakraborty, "Battery management strategies: An essential review for battery state of health monitoring techniques," *Journal of Energy Storage*, vol. 51, no. March, p. 104427, 2022.
- S. Kumar, S. Arun Prakash, V. Pandiyarajan, N. B. Geetha, V. Antony Aroul Raj, and R. Velraj, "Effect of phase change material integration in clay hollow brick composite in building envelope for thermal management of energy efficient buildings," *Journal of Building Physics*, vol. 43, no. 4, pp. 351–364, 2020.
- S. S. Magendran et al., "Synthesis of organic phase change materials (PCM) for energy storage applications: A review," *Nano-Structures and Nano-Objects*, vol. 20, p. 100399, 2019.
- T. A. Yassen, N. D. Mokhlif, and M. A. Eleiwi, "Performance investigation of an integrated solar water heater with corrugated absorber surface for domestic use," *Renewable Energy*, vol. 138, pp. 852–860, 2019.
- The International Energy Agency (IEA), "Perspectives for the energy transition - investment needs for a low-carbon energy system," 2017.

- W. D. Steinmann, "Thermal energy storage systems for concentrating solar power plants," *Concentrating Solar Power Technology: Principles, Developments, and Applications*, pp. 399–440, 2020.
- W. D. Steinmann, *Thermal energy storage systems for concentrating solar power (CSP) technology*. Woodhead Publishing Limited, 2015.
- W. Ding, A. Bonk, and T. Bauer, "Corrosion behavior of metallic alloys in molten chloride salts for thermal energy storage in concentrated solar power plants: A review," *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 564–576, 2018.
- W. L. Kerr, *Food drying and evaporation processing operations*. Elsevier Inc., 2019.
- W. Roetzel, X. Luo, and D. Chen, *Optimal design of heat exchangers*. Elsevier Inc., 2020.
- World Bank Group, *Solar Resource and Photovoltaic Potential of Indonesia*, no. May. 2017.
- X. Chen, D. Zhang, Y. Wang, X. Ling, and X. Jin, "The role of sensible heat in a concentrated solar power plant with thermochemical energy storage," *Energy Conversion and Management*, vol. 190, no. January, pp. 42–53, 2019.
- Z. Deng, J. Li, X. Zhang, F. Yao, and C. Shen, "Melting intensification in a horizontal latent heat storage (LHS) system using a paraffin / fractal metal matrices composite," *Journal of Energy Storage*, vol. 32, no. April, p. 101857, 2020.
- Z. Ling, M. Luo, J. Song, W. Zhang, Z. Zhang, and X. Fang, "A fast-heat battery system using the heat released from detonated supercooled phase change materials," *Energy*, vol. 219, p. 119496, 2021.
- Z. Wan, J. Wei, M. A. Qaisrani, J. Fang, and N. Tu, "Evaluation on thermal and mechanical performance of the hot tank in the two-tank molten salt heat storage system," *Applied Thermal Engineering*, vol. 167, p. 114775, 2020.
- Z. Z. Fang et al., "Metal hydrides based high energy density thermal battery," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 645, no. S1, pp. S184–S189, 2015.

PROFIL PENULIS

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



Pendidikan vokasi Teknik Otomotif berhasil diselesaikan pada Tahun 2008, kemudian melanjutkan program Strata-I 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 dan hibridisasi sistem *renewable energy*, khususnya *solar thermal system*.

Agung Nugroho, S.T., Ph.D.



Pendidikan program Strata-I Teknik Kimia berhasil diselesaikan pada Tahun 2007, kemudian melanjutkan program *integrative S2* dan *S3* di *University of Science and Technology* di Korea Selatan pada *Departemen of Clean Energy and Chemical Engineering* pada 2013. Setelah lulus program *doctoral*, penulis melanjutkan penelitiannya sebagai *visiting scientist* di *Korea Institute of Science and Technology* sampai tahun 2014. Saat ini penulis aktif sebagai pengajar di Program Studi Teknik Kimia di Universitas Pertamina sejak 2017 sampai sekarang. Selain mengajar, penulis juga melakukan penelitian dengan topik sintesis material untuk berbagai aplikasi terutama yang berhubungan dengan penyimpanan energi. Penulis

aktif mempublikasikan hasil penelitiannya dalam berbagai jurnal baik nasional maupun internasional.

Ir. Dibyo Setiawan, S.Pd., M.T.



Penulis dilahirkan pada tanggal 22 April 1991 di Jakarta. Penulis menempuh pendidikan mulai tahun 1997 s.d 2023 di SDN Arjasari 2 Kabupaten Indramayu, SMP PGRI 2 Jakarta, SMKN 7 (Grafika) Jakarta, S-1 Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, S-2 Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila dan Terakhir Pendidikan Profesi Insinyur Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya. Mulai tahun 2010 s.d saat ini penulis aktif terlibat di bidang Jasa Konsultansi Perencanaan seperti Perencanaan Sistem Mekanikal Bangunan Gedung dan Utilitas Sumber Daya Air. Penulis juga aktif terlibat di bidang Jasa Konstruksi seperti Pelaksanaan Kegiatan Konstruksi Bangunan Gedung, Pelaksanaan Pemasangan Sistem Mekanikal Bangunan Gedung antara lain Pelaksanaan Instalasi Sistem Transportasi Dalam Gedung, Pelaksanaan Instalasi Sistem Tata Udara, Pelaksanaan Instalasi Sistem Proteksi Kebakaran, Pelaksanaan Sistem Pompa Mekanik dan Plumbing dan K3. Penulis pernah aktif di bidang akademik sebagai Dosen Tetap pada Program Studi Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mpu Tantular sejak tahun 2020 dan saat ini aktif sebagai ASN Dosen pada Program Studi Sarjana Terapan Proses Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung sejak tahun 2022. Fokus penelitian penulis adalah bidang Perawatan Mekanik Mesin, *Hydropower Electric* dan Energi Baru Terbarukan.

Apri Wiyono, S.Pd., M.T.



Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 23 April 1992. Pada Tahun 2017, meraih gelar Magister Teknik di Universitas Indonesia dengan predikat *cumlaude* dan gelar Sarjana Pendidikan di Universitas Negeri Jakarta tahun 2014 dengan predikat *cumlaude*. Saat ini penulis berkarier sebagai dosen PNS dan peneliti di Departemen Pendidikan Teknik Mesin dan Otomotif di Universitas Pendidikan Indonesia, dengan fokus penelitian dan aplikasi di bidang konversi energi, *renewable energy* dan *waste to energy*. Penulis berperan sebagai *Chief in Editor* pada *Journal of Mechanical Engineering Education* dan tim *Reviewer* PKM UPI. Secara profesional penulis aktif sebagai Pembina di Yayasan Menara Bumi Cendekia dan *entrepreneur* di bidang pencinta alam yaitu *Owner Green Campus Outdoor*. Selain itu beliau menjadi bagian dari Asosiasi Biomassa dan Bioenergi Indonesia (ABBEI) dalam membangun jejaring keilmuan bidang konversi energi dan EBT. Beberapa prestasi yang pernah ditorehkan antara lain *2nd Best Participant* pada *Training DIPA BBPPMPV Bidang Mesin dan Teknik Industri (Off Grid Micro Hydro Power Plant)*, *Best Presenter* pada *PAPTEKINDO International Conference and Convention 2023*, *Invitation Presenter* dari Program Kompetisi *Carbon Reduction Category, Greenovator Awards*, PT. Bukit Asam, Medali Silver sebagai Dosen Pembimbing tim mahasiswa kategori *Environment* pada *International Invention Competition for Young Moslem Scientist (IICYMS) 2021*, *Best Keynote Speaker* pada Seminar Pendidikan Indonesia oleh BIF EDU CENTER, serta kolaborasi riset dan publikasi jurnal internasional dengan kolega di *Institute Technology of Tokyo* dan *Tunku Abdul Rahman University* melalui MoU Kerjasama U to U.

Rani Anggrainy, S.Pd., M.T.



Penulis dilahirkan pada tanggal 10 Januari 1992 di Jakarta, Indonesia. Penulis menempuh pendidikan dasar di MI Al-Muawanatul Khaeriyah Jakarta, SMPN 63 Jakarta dan SMAN 19 Jakarta. Pada Tahun 2014, penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta. Penulis melanjutkan pendidikan S2 di Magister Teknik Mesin Universitas Pancasila dan lulus pada tahun 2018. Agustus tahun 2018, penulis mulai aktif menjadi Dosen di Universitas Krisnadwipayana, Bekasi, Jawa Barat. Pada 1 Maret 2022, penulis resmi menjadi ASN Dosen pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta. Fokus penelitian penulis adalah bidang rekayasa energi dan optimasi material *eco-friendly* bidang otomotif.

TEKNOLOGI BATERAI TERMAL

Referensi Model Penyimpanan Energi Termal

Capaian kapasitas terpasang baterai termal di Dunia mencapai 200 GWh pada tahun 2019 dan akan naik lebih dari 400% pada tahun 2030 dengan potensi kapasitas lebih dari 800 GWh. Kenaikan kapasitas menandakan peran penting dari baterai termal untuk sistem energi modern. Baterai termal memungkinkan penghematan energi dengan cara yang lebih mudah, mengurangi beban pemanasan dan pendinginan ruangan, bahkan dapat digunakan untuk sistem pembangkitan listrik. Buku Teknologi Baterai Termal dibuat secara khusus untuk referensi model penyimpanan energi termal. Referensi ini dibuat dengan ringkas dan jelas terkait dengan ragam klasifikasi dan penggunaan dari baterai termal. Isi dari buku ini diharapkan mampu mendorong perkembangan dan pemanfaatan baterai termal secara nasional, termasuk juga riset yang mendukungnya. Penguasaan teknologi baterai termal pada akhirnya akan memberikan banyak manfaat secara nasional, khususnya terkait dengan ketahanan energi, pangan dan ekonomi.