



# TENTANG BUKU

Dengan adanya perkembangan jaman, telah membuat perkembangan teknologi manusia menjadi lebih banyak dan semakin meningkat. Meningkatnya dapat dilihat baik pada sisi jumlah penggunaannya, jumlah perangkatnya dan jumlah energi yang dibutuhkan. Terlebih lagi selepas adanya Revolusi Industri 2.0 yang telah membuat kebutuhan manusia bermigrasi. Migrasi tersebut adalah migrasi penggunaan energi yang semula pada Revolusi Industri 1.0 berasal dari hewan dan uap, kini telah beralih ke energi listrik.

Dengan adanya fakta tersebut kemudian para peneliti mencoba melakukan terobosan baru untuk membuat sebuah pembangkit yang mampu menghasilkan energi yang masif tetapi juga ramah lingkungan serta dapat sustain dan berkelanjutan sekalipun sumber energi tersebut tidak dapat diproduksi karena faktor lain seperti waktu yang terdapat pada sumber energi listrik dari matahari. Oleh karena itu konsep energi ini diperlukan sebuah teknologi pendamping yang mampu menyimpan energi disaat produksi energi berlimpah pada waktu tertentu tetapi tidak digunakan. Teknologi tersebut kemudian dinamakan teknologi penyimpanan energi.

Oleh karena itu, disusunlah buku ini akan memberikan sekilas gambaran tentang beberapa pengetahuan dasar yang dapat digunakan untuk memahami tentang berbagai jenis penyimpan energi yang populer. Seperti baterai, penyimpanan energi panas, penyimpanan energi potensial, penyimpanan energi udara terkompresi dan juga penyimpanan berbasis superkonduktor magnetik. Pada buku ini konsep dibahas dengan menampilkan beberapa ilustrasi untuk memudahkan pembaca dalam memahami maksud penulis serta beberapa implementasi berdasarkan artikel – artikel ilmiah terbaru. Tujuan dari menyertakan pembahasan terkait perkembangan berdasarkan artikel ilmiah terbaru adalah agar para pembaca dapat mengetahui sudah sejauh mana perkembangan dari teknologi penyimpanan energi ini serta potensi yang dapat diambil dan dikembangkan lebih lanjut.

Anggota APPTI No. 002.115.1.05.2020  
Anggota IKAPI No. 127/JTI/2018

Jember University Press  
Jl. Kalimantan 37 Jember 68121  
Telp. 0331-330224, psw. 0319  
E-mail: [upt-penerbitan@unej.ac.id](mailto:upt-penerbitan@unej.ac.id)

ISBN :978-623-7973-58-4



## Teknologi Penyimpanan Energi dan Perkembangannya

**Disusun Oleh:**

**Widjonarko, Lintang Budiarti, Dwi Imam Sahroni Waji,  
Ahmad Ishamul Ayady Akmal, Rike Diyah Rohmawati,  
Bukhori Muslim**

Teknologi Penyimpanan Energi dan Perkembangannya



## Teknologi Penyimpanan Energi dan Perkembangannya

**Penulis :**

Widjonarko, Lintang Budiarti, Dwi Imam Sahroni Waji, Ahmad Ishamul  
Ayady Akmal, Rike Diyah Rohmawati, Bukhori Muslim

**Layouter :**

Alzaid Avian

**ISBN :**

978-623-7973-58-4

**Penerbit :**

UPT Penerbitan Universitas Jember

**Redaksi :**

Jl. Kalimantan 37  
Jember 68121  
Telp. 0331-330224, Voip. 00319  
e-mail: [upt-penerbitan@unej.ac.id](mailto:upt-penerbitan@unej.ac.id)

**Distributor Tunggal :**

UNEJ Press 2020  
Jl. Kalimantan 37  
Jember 68121  
Telp. 0331-330224, Voip. 0319  
e-mail: [upt-penerbitan@unej.ac.id](mailto:upt-penerbitan@unej.ac.id)

©Hak Cipta dilindungi Undang-undang. Dilarang memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik cetak, fotoprint maupun microfilm.

## PRAKATA

Dengan adanya perkembangan jaman, kebutuhan energi yang dibutuhkan sangat besardan massif, pada akhirnya membawa pada dampak pembangkit energi yang massif juga. Alhasil banyak dari pembangkit energi yang kemudian memanfaatkan pembangkit listrik tenaga konvensional sehingga pada akhirnya menyebabkan permasalahan pada bumi akibat dampak dari asap buang yang masih kotor. Oleh karena itu perkembangan kedepan para peneliti mulai membuat sebuah terobosan untuk menghilangkan penggunaan energi kotor yang masih massif tersebut dan mengubahnya ke energi yang lebih ramah lingkungan. Energi ramah lingkungan yang dimaksud adalah energi terbarukan yang berasal dari berbagai sumber seperti matahari, angin, air, biogas dan lain sebagainya. Namun hal tersebut tidak serta merta membuat perjalanan pengonvesian energi ini menjadi hal yang lurus–lurus saja. Pada faktanya memang sumber energi yang digunakan bersifat tidak terbatas dan dapat terus beregenerasi tanpa perlu manusia ikut campur didalamnya. Namun sayangnya sumber energi tersebut hanya terbatas pada waktu–waktu tertentu, semisal matahari yang hanya ada pada siang hari, angin yang terkadang cepat dan lambat serta air yang juga mengikuti musim (debit). Oleh karena itu, dicetuskanlah sebuah konsep yang dinamakan penyimpanan energi.

Dengan mengombinasikan energi terbarukan dan penyimpanan energi tersebut, maka permasalahan pembangkitan energi kini tidak menjadi masalah lagi. Sehingga ketika energi berlimpah, energi dapat disimpan dan dapat digunakan sewaktu – waktu oleh manusia. Dengan fakta tersebut, tentu para teknokrat perlu mengikuti perkembangan teknologi ini. Terlebih lagi Indonesia adalah negeri yang kaya akan potensi energi terbarukan dari berbagai sumber. Sumber energi matahari, air laut, angin, panas Bumi dan lain sebagainya. Oleh karena itu sebagai anak bangsa, kita harus dapat memanfaatkan hal tersebut dan tentu sebelum memanfaatkannya kita harus belajar tentang konsep dan semua hal yang berkaitan tentang kemajuan dari penyimpanan energy ini.

Buku ini akan memberikan sekilas gambaran tentang beberapa pengetahuan dasar yang dapat digunakan untuk memahami tentang berbagai jenis penyimpan energi yang populer. Seperti baterai,

penyimpanan energi panas, penyimpanan energi potensial, penyimpanan energi udara terkompresi dan juga penyimpanan berbasis superkonduktor magnetik. Pada buku ini konsep dibahas dengan menampilkan beberapa ilustrasi untuk memudahkan pembaca dalam memahami maksud penulis serta beberapa implementasi berdasarkan artikel-artikel ilmiah terbaru. Tujuan dari menyertakan pembahasan terkait perkembangan berdasarkan artikel ilmiah terbaru adalah agar para pembaca dapat mengetahui sudah sejauh mana perkembangan dari teknologi penyimpanan energi ini serta potensi yang dapat diambil dan dikembangkan lebih lanjut.

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah mendukung dan membantu penulisan buku ini. Terlebih kepada mahasiswa yang berkontribusi dalam penulisan buku ini. Koreksi, kritik, komentar dan saran yang dapat membangun dan menyempurnakan buku ini, sangat diharapkan oleh penulis dan dapat disampaikan melalui email [widjonarko.teknik@unej.ac.id](mailto:widjonarko.teknik@unej.ac.id). Semoga Anda mendapatkan manfaat dari buku ini.

Jember, 10 November 2020

Penulis

## KATA PENGANTAR

Penyimpanan energi adalah salah satu topik yang pada saat ini mulai dikembangkan secara luas untuk mendukung beberapa topik penelitian yang ada atas penyesuaian dengan kebutuhan konsumsi energi manusia yang makin meningkat. Salah satunya adalah untuk mendukung pengaplikasian energi terbarukan. Dengan sumber energi yang berasal dari energi terbarukan dan juga teknologi penyimpanan energi, maka ketersediaan energi akan tetap ada walaupun sumber energi tidak maksimal.

Teknologi penyimpanan energi sangatlah bervariasi, tidak hanya berasal dari satu komponen penyimpanan energi seperti baterai yang kita ketahui saat ini, namun juga masih terdapat beberapa teknologi lain yang lebih maju. Semua potensi energi pada dasarnya dapat disimpan, oleh karena itu penting kiranya kita dapat memanfaatkan sumber pengetahuan yang ada agar dapat memberikan sumbangsih pada pengetahuan dan kemaslahatan masyarakat.

Buku ini menjelaskan tentang pembahasan pada baterai kimia, penyimpanan energi potensial, penyimpanan energi termal, penyimpanan berbasis magnetik superkonduktor, dan terakhir adalah penyimpanan energi udara terkompresi. Beberapa topik pembahasan tersebut disusun berdasarkan pengertian, konsep kerja, jenis – jenisnya, implementasi serta teknologi keterbaruannya berdasarkan penelitian terbaru. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi kita semua terutama bagi para peneliti dan pengembang energi terbarukan dan teknologi penyimpanan energi.

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.  
Ketua LP3M Universitas Jember

## DAFTAR ISI

<b>PRAKATA .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>BAB 1. BATERAI KIMIA .....</b>	<b>1</b>
1.1    Pengertian dan Cara Kerja Baterai .....	1
1.2    Jenis – Jenis Baterai.....	2
1.2.1    Baterai Lithium-Ion.....	2
1.2.2    Baterai Lithium Polymer (Li-Po) .....	6
1.2.3    Baterai Lead Acid (ACCU) .....	7
1.2.4    Baterai Nickel-Metal Hydride (Ni-MH) .....	9
1.3    Implementasi Baterai .....	10
1.4    Teknologi Keterbaruan .....	15
1.4.1    Baterai Ramah Lingkungan dari Limbah Serbuk Kayu Merbabu (Intsia bijuga) dan Matoa (Pometia sp.) .....	15
1.4.2    Pemanfaatan Teknologi Penyimpanan Energi Dengan Menggunakan Sampah Organik.....	16
<b>BAB 2. <i>POTENTIAL ENERGY STORAGE</i> .....</b>	<b>18</b>
2.1    Pengertian <i>Potential Energy Storage</i> .....	18
2.2    Jenis - Jenis <i>Potential Energy Storage</i> .....	18
2.2.1    Pumped Storage Hydropower.....	18
2.2.2    Gravity Energy Storage .....	23
2.3    Implementasi <i>Potential Energy Storage</i> .....	25
2.3.1    Underground Pumped Storage Hydropower Plants .....	25
2.3.2    Mountain Gravitational Energy Storage (MGES).....	27
2.4    Teknologi Keterbaruan .....	29
2.4.1    Penyimpanan Energi Gravitasi untuk Aplikasi Industri dan Perumahan Skala Kecil .....	29

2.4.2	Pengembangan Tenaga Air Penyimpanan Pompa Kuartir untuk Studi Dinamis.....	31
2.4.3	Pemodelan Pembangkit Listrik Pumped Storage Hydropower yang Terintegrasi ke Sistem Tenaga Hibrida Dengan Tenaga Surya-Angin dan Analisis Stabilitasnya .....	33
2.4.4	Pengaruh Tekanan Udara pada Efisiensi Turbin Francis dan Produksi Energi.....	36
<b>BAB 3. THERMAL ENERGY STORAGE .....</b>		<b>39</b>
3.1	Pengertian dan Cara Kerja .....	39
3.2	Jenis-Jenis .....	41
3.2.1	Metode Thermal Energy Storage.....	41
3.2.2	Klasifikasi Phase Change Material (PCM) .....	51
3.3	Implementasi <i>Thermal Energy Storage</i> .....	55
3.4	Teknologi Keterbaruan .....	59
3.4.1	Kompresi Hibrid Untuk Membantu Penyerapan Energi pada Baterai Termal dengan Tingkat Kepadatan Energi Tinggi dan Suhu Pengisian Daya Rendah .....	59
3.4.2	Material Pengubah Fase (PCM) Komposit Berbasis Kayu dengan Permukaan Superhydrophobic yang Dapat Melakukan Self-Cleaning Untuk Penyimpanan Energi Termal.....	62
<b>BAB 4. SUPERCONDUCTING MAGNETIC ENERGY STORAGE....</b>		<b>65</b>
4.1.	Pengertian dan Sejarah.....	65
4.1.1.	Cara Kerja .....	69
4.1.2.	Jenis – jenis SMES.....	71
4.2	Implementasi SMES.....	73
4.1.3.	Pengimplementasian SMES pada microgrid.....	73
4.2.2	Penerapan pada Diesel Generator .....	78
4.2.3.	Koneksi SMES di grid terintegrasi WPGS.....	80
4.3.	Teknologi Keterbaruan .....	83
4.3.1.	Desain Sistem Penyimpanan Energi Magnet Superkonduktor Baru Berdasarkan Konverter Tipe-T Tiga Tingkat dan Strategi Kontrol Pembentuk Energinya.....	83

4.3.2.	Pengendali SMES dengan Dynamic Stabilization untuk Operasi Pada Distributed Generation Pada Islanding Mode.....	85
<b>BAB 5.</b>	<b><i>Compressed Air Energy Storage</i></b> .....	<b>87</b>
5.1	Pengertian dan Cara Kerja .....	87
5.2	Jenis-Jenis <i>Compressed Air Energy Storage</i> .....	89
5.2.1	Diabatik CAES.....	89
5.2.2	Adiabatik CAES .....	92
5.2.3	Isothermal CAES.....	95
5.2.4	Liquid Air Energy Storage.....	96
5.3	Implementasi <i>Compressed Air Energy Storage</i> .....	97
5.3.1	Integrasi Penyimpanan Energi Udara Terkompresi dengan Pembangkit Listrik Tenaga Angin .....	97
5.3.2	Mengintegrasikan Penyimpanan Energi Udara Terkompresi Dengan Mesin Diesel Untuk Pembangkit Listrik di Daerah Terpencil.....	100
5.4	Teknologi Keterbaruan .....	102
5.4.1	Integrasi Penyimpanan Energi Udara Bertekanan Dan Turbin Gas Untuk Meningkatkan Tingkat Ramp .....	102
5.4.2	Pencairan Biometana Terintegrasi Menggunakan Exergy Dari Ujung Pemakaian Sistem Penyimpanan Energi Udara Cair 104	
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>107</b>
<b>GLOSARIUM</b> .....		<b>114</b>
<b>INDEKS</b> .....		<b>116</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Baterai Lithium-Ion .....	3
Gambar 1.2. Penyusun Baterai Lithium Ion.....	4
Gambar 1.3. Karakteristik Baterai Lithium-ion NCR18650B .....	6
Gambar 1.4. Baterai Lithium Polymer .....	7
Gambar 1.5 Baterai Lead Acid .....	8
Gambar 1.6 Kontruksi dari Baterai (Accu/Aki).....	8
Gambar 1.7 Baterai Nickel-Metal Hydride .....	9
Gambar 1.8. Kontruksi Baterai Ni-MH.....	10
Gambar 1.9. Baterai dalam mobil listrik.....	11
Gambar 1.10. Teknologi Baterai pada Energi Terbarukan .....	12
Gambar 2.1. Ilustrasi pumped storage hydropower.....	19
Gambar 2.2. Volume Air yang dibutuhkan pada Ketinggian Tertentu Untuk Menyimpan 6 MWh.....	21
Gambar 2.3 Bola pelindung di Ivanhoe Reservoir di Silver Lake .....	22
Gambar 2.4. Penyimpanan energi gravitasi .....	23
Gambar 2.5. Desain skema pabrik UPSH di tambang tertutup. Garis energi dalam mode turbin dan pemompaan. Pengaruh tekanan reservoir bawah tanah pada pembangkitan dan konsumsi (keluaran daya dan masukan daya).....	26
Gambar 2.7. Sistem penyimpanan energi gravitasi skala kecil menggunakan piston.....	29
Gambar 2.8. Struktur sistem Q-PSH.....	31
Gambar 2.9. Aliran air dalam mode hubung singkat <i>hidraulik</i> .....	32
Gambar 2.10. HTSG atau hydroturbine governing system (kiri) dan SSHTG shaft system of of the hydro turbine generator (kanan) .....	34
Gambar 2.11. Hasil dari model numerik CFD. a) Kecepatan air dalam pembuangan <i>Francis Turbine 2</i> dengan 1 poros udara berdiameter 0,5m; b) Turbin 2 dengan 6 poros udara berdiameter 0,5m. ....	37
Gambar 3.1 Konsep Dasar <i>Thermal Energy Storage</i> .....	41
Gambar 3.2 Metode TES .....	41
Gambar 3.3 Peningkatan suhu selama penyimpanan panas sensibel .....	44

Gambar 3.4 Jenis sistem penyimpanan energi panas sensibel.....	45
Gambar 3.5 Penyimpanan panas laten untuk kasus perubahan fasa padat-cair.....	47
Gambar 3.6 Proses yang terlibat dalam siklus penyimpanan energi termokimia.....	49
Gambar 3.7 Klasifikasi jenis-jenis PCM.....	52
Gambar 3.8 Sistem Concentrated Solar Power.....	56
Gambar 3.9 Pengaplikasian TES.....	59
Gambar 3.10 Diagram skematik siklus CATES. (a) Proses pengisian	60
Gambar 3.11 Diagram skematik siklus CATES. (b) Proses pemakaian.....	61
Gambar 3.11 Ilustrasi skematik fabrikasi PCM komposit TD/DW <i>superhydrophobic</i> .....	62
Gambar 3.12 Sistem TES dua tangki untuk operasi paralel.....	63
Gambar 3.13 Sistem TES dua tangki untuk sistem seri selama pengisian.....	64
Gambar 4.1. Superkonduktor.....	65
Gambar 4.2. Skala Suhu Fahrenheit, Celsius, dan Kelvin.....	66
Gambar 4.3. Pengaruh suhu terhadap angka superkonduktor.....	67
Gambar 4.4. Perbandingan Titik kritis Emas dan Merkuri oleh Onnes	67
Gambar 4.5 diagram blok sistem SMES.....	70
Gambar 4.7. <i>Typology of CSC SMES</i> .....	71
Gambar 4.8. <i>Typology of VSC-SMES</i> .....	72
Gambar 4.9. Struktur dari <i>microgrid LTS</i> Baik temperatur tinggi ataupun rendah.....	76
Gambar 4.10. Efek SMES pada sistem AC dan DC.....	77
Gambar 4.11. Sistem SMES dengan sistem <i>fuzzy</i> .....	77
Gambar 4.12. Sistem sambungan SMES dengan <i>Micro Grid System</i> ..	78
Gambar 4.13. <i>Micro Grid System Connected Electrical Vehicle System</i> .....	78
Gambar 4.14. menunjukkan lokasi SMES untuk berbagai generator angin.....	81
Gambar 4.15 . SMES <i>circuit diagram</i> untuk lokasi C3 dan C4.....	82
Gambar 4.16. SMES <i>circuit diagram</i> untuk lokasi C2.....	82

Gambar 4.17. Struktur Topologi Untuk SMES system yang Diajukan	83
Gambar 4.18: Prinsip Kerja dari Kendali ES pada Sistem SMES	84
Gambar 4.19. Skema <i>Four cooling plate</i> untuk HTS coil	84
Gambar 4.20. Cooling structure scheme of the toroidal HTS magnet	85
Gambar 4.21. Ekuivalen dari Rangkaian Diagram pada SMES dengan Pemodelan Dinamik	86
Gambar 5.1. Compressed Air Energy Storage (CAES)	88
Gambar 5.2 Diabatik <i>Compressed Air Energy Storage</i>	89
Gambar 5.3 Adiabatik CAES	92
Gambar 5.4 Diagram Adiabatik CAES	93
Gambar 5.5 Isothermal CAES	95
Gambar 5.6. Skema dasar sistem LAES	97
Gambar 5.7. Diagram sederhana penyimpanan energi udara tekan skala <i>grid</i>	98
Gambar 5.8. Diagram sederhana penyimpanan energi udara terkompresi terdistribusi	99
Gambar 5.9. Ilustrasi Sistem Diesel-CAES Terintegrasi	101
Gambar 5.10. Diagram Intergrasi CAES dengan Turbin Gas	103
Gambar 5.11. Diagram Alir Proses dari Sistem Terintegrasi	105

## BAB 1. BATERAI KIMIA

### 1.1 Pengertian dan Cara Kerja Baterai

Baterai merupakan elemen penyimpan energi elektro kimia. Energi kimia tersebut yang terdapat pada baterai, dapat direaksikan sehingga baterai dapat mengubah reaksi yang terjadi menjadi lompatan – lompatan elektron yang kemudian dapat menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan baterai adalah energi listrik searah atau yang biasa kita kenal dengan tegangan DC. Salah satu keunikan baterai adalah reaksi kimia yang terjadi tidak hanya berjalan secara satu arah, yaitu melakukan pelepasan, tetapi juga dapat melakukan pengisian sehingga baterai dapat diisi ulang.

Baterai isi ulang digabungkan oleh bahan kimia, seperti reaksi kimia dan bahan reaktan. Yang menjadi dasar dari pembentukan mekanisme penyimpanan energi. Pada umumnya baterai memiliki empat bahan kimia yang biasanya digunakan untuk produk – produk yang kita pakai saat ini. Diantaranya adalah seperti baterai dengan jenis *nickel-cadmium* (NiCd), *lead-acid*, *nickel-metal hydride* (NiMH), *lithium polymer* (Li-Po), dan *lithium ion* (Li-Ion)

Jika ditinjau dari segi istilah yang terdapat pada baterai kimia untuk mendefinisikan performa, maka kita akan menemui istilah – istilah yang sering disebut, seperti: biaya, *self-discharge* atau yang mendefinisikan bahwa baterai dapat mengurangi energinya sekalipun tanpa digunakan, kerapatan energi penyimpanan terhadap volume yang sering disebut dengan *energy density*, kapasitas baterai yang disimpan didalamnya terhadap berat baterai atau disebut dengan *specific energy*, dan yang paling sering adalah *cycle life* atau dikenal dengan sebutan seberapa banyak jumlah pengisian yang dapat dilakukan baterai sampai baterai tersebut tidak dapat melakukan pengisian. Pada setiap baterai kimia memiliki kekurangan dan kelebihan tersendiri. Pada Tabel 1.1 adalah tabel yang memberikan gambaran terkait beberapa karakteristik dari beberapa jenis baterai kimia terhadap istilah – istilah yang telah disebutkan sebelumnya.

## BAB 2. POTENTIAL ENERGY STORAGE

### 2.1 Pengertian *Potential Energy Storage*

*Potential energy storage* adalah metode penyimpanan energi dalam bentuk energi potensial sehingga energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tidak langsung digunakan, namun dikonversi menjadi energi potensial untuk disimpan (Alami, 2020). Energi potensial yang digunakan sebagai media penyimpanan energi listrik sangat erat berkaitan dengan energi potensial gravitasi yang mana dalam pemanfaatannya mengubah energi potensial benda menjadi energi kinetik untuk jatuh ke tempat yang memiliki kondisi geografis lebih rendah karena pengaruh gaya gravitasi. Secara konsep matematis besar energi potensial dirumuskan sebagai berikut :

$$E_p = mgh$$

Ketentuan:

- $E_p$  = energi potensial gravitasi (joule)
- $m$  = massa benda (kg)
- $g$  = gravitasi ( $m/S^2$ )
- $h$  = ketinggian suatu benda (m)

berdasarkan perumusan matematis diatas dapat diketahui bahwa besar energi potensial dipengaruhi oleh masa dan juga ketinggian dari sebuah objek. Secara mendasar masa benda yang digunakan dalam pemanfaatan sistem penyimpanan energi potensial dan ketinggiannya menjadi acuan utama dalam menentukan kapasitas dari *potential energy storage*, namun juga terdapat beberapa faktor lain yang harus dipertimbangkan seperti efisiensi sistem dan juga dalam proses konversi juga pasti terdapat energi yang terbuang sehingga hal ini menjadi tantangan untuk dapat mengembangkan sebuah metode penyimpanan energi potensial yang optimal dan efisien (Robert A, 2010).

### 2.2 Jenis - Jenis *Potential Energy Storage*

#### 2.2.1 *Pumped Storage Hydropower*

*Pumped Storage Hydropower* atau disingkat PSH adalah salah satu pemanfaatan energi potensial dalam penyimpanan energi listrik.

## BAB 3. THERMAL ENERGY STORAGE

### 3.1 Pengertian dan Cara Kerja

*Thermal energy* atau dapat disebut juga dengan energi panas memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan suhu. Saat suhu suatu zat meningkat, kandungan energinya juga meningkat. Energi yang dibutuhkan ( $E$ ) untuk memanaskan volume ( $V$ ) suatu zat dari suhu  $T_1$  ke suhu  $T_2$  dapat diketahui melalui rumus berikut:

$$E = mC(T_2 - T_1) = \rho VC(T_2 - T_1)$$

Dalam rumus di atas, ( $C$ ) adalah kalor jenis zat. Nilai ( $C$ ) dapat bervariasi dari sekitar 1 kkal / kg °C untuk air hingga 0,0001 kkal / kg °C untuk beberapa material pada suhu yang sangat rendah. Informasi lebih lanjut tentang beberapa jenis material dalam pemanfaatan energi panas dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kapasitas Termal pada 20°C Dari Beberapa Material TES  
Sumber: Norton, 1992

Material	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Specific heat (J/kg K)	Volumetric thermal capacity (10 <sup>6</sup> J/m <sup>3</sup> K)
Clay	1458	879	1.28
Brick	1800	837	1.51
Sandstone	2200	712	1.57
Wood	700	2390	1.67
Concrete	2000	880	1.76
Glass	2710	837	2.27
Aluminum	2710	896	2.43
Iron	7900	452	3.57
Steel	7840	465	3.68
Gravelly earth	2050	1840	3.77
Magnetite	5177	752	3.89
Water	988	4182	4.17

Pemanfaatan energi panas atau *thermal energy* tidak hanya dipakai secara langsung untuk memenuhi suatu kebutuhan. Energi panas bisa disimpan sebagai energi potensial, sehingga dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan dan dikonversi ke dalam bentuk

## BAB 4. SUPERCONDUCTING MAGNETIC ENERGY STORAGE

### 4.1. Pengertian dan Sejarah



Gambar 4.1. Superkonduktor  
Sumber: [bbk.go.id](http://bbk.go.id)

Gambar di atas adalah ilustrasi dari superkonduktor. Superkonduktor adalah suatu material yang dapat mencapai resistansi sama dengan nol atau tidak memiliki hambatan pada saat temperatur kritisnya ( $T_c$ ) atau menolak fluks magnetik eksternal di sekitarnya atau mengalami *diagnetisme* sempurna. Superkonduktor dapat berasal dari suatu material konduktor, semikonduktor ataupun dari bahan *isolator*. Jenis material apapun yang digunakan, dapat berubah sifatnya menjadi superkonduktor ketika mencapai temperatur kritis. Arus dapat dihantarkan oleh superkonduktor walau tanpa adanya tegangan. Material superkonduktor akan selalu tidak memiliki medan magnet atau berarti bernilai 0.

Superkonduktor sendiri karakteristiknya pertama kali ditemukan tahun 1911 oleh Heike Kamerlingh Onnes. Onnes adalah seorang ilmuwan berasal dari Universitas Leiden, Belanda. Berangkat dari percobaannya tahun 1908 yang berhasil mencairkan helium dengan mendinginkannya pada suhu 4°K atau setara dengan -269°C. Setelah eksperimennya, Onnes mulai meneliti logam dan sifat listrik serta melakukan beberapa percobaan dengan landasan penelitian sebelumnya yang menemukan bahwa *resistansi* suatu material akan

## **BAB 5. *Compressed Air Energy Storage***

### **5.1 Pengertian dan Cara Kerja**

Penyimpanan energi listrik sangat diperlukan untuk mengatasi masalah stabilitasi pemakaian energi listrik. Energi listrik diciptakan dengan cara mengubah bentuk energi lain. Begitu pula dengan penyimpanannya, salah satu cara menyimpan energi listrik dengan cara mengubahnya menjadi udara yang bertekanan. Compressed Air Energy Storage ( CAES ) atau peyimpan energi udara terkompresi adalah salah satu media penyimpanan energi listrik yang menggunakan udara terkompresi. Udara yang disimpan akan dimanfaatkan untuk memutar turbin yang dihubungkan dengan generator sehingga menghasilkan energi listrik.

CAES mengumpulkan udara di atmosfer yang akan dikompresikan ke dalam ruang kompresi udara. Teknologi ini sering disandingkan dengan beberapa macam pembangkit alternatif untuk mencapai kapasitas energi, kepadatan energi, serta efisiensi yang diperlukan, namun tidak cocok ketika disandingkan dengan pembangkit yang konvensional. Hal itu dapat dibuktikan pada pengaplikasian CAES pada tahun 1978 di Huntorf, Jerman dapat menghasilkan energi dengan kapasitas 290 MW. Dalam CAES adiabatik, energi panas udara disimpan secara terpisah dan udara terkompresi diperluas dalam turbin udara. Sehingga menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Di samping itu teknologi ini memiliki siklus penggunaan yang cukup lama sampai 60 tahun dengan efisiensi 70-80%.



## DAFTAR PUSTAKA

### Referensi Bacaan

- Abedin AH dan Rosen MA. 2011. A Critical Review of Thermochemical Energy Storage Systems. The Open Renewable Energy Journal.
- Alami, A. H. (2020) Mechanical Energy Storage for Renewable and Sustainable Energy Resources. Edited by I. E. for R. E. and K. E. Mourad Amer and E. (IEREK), Cairo. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG. doi: 10.1007/978-3-030-33788-9.
- Albarri, T. (2013). Artikel Baterai Lithium-Ion. Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati : Bandung.
- Antonelli, M. et al. (2017) 'Liquid air energy storage: Potential and challenges of hybrid power plants', Applied Energy, 194, pp. 522–529. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.11.091.
- Berrada, A., Loudiyi, K. and Zorkani, I. (2017) 'System design and economic performance of gravity energy storage', Journal of Cleaner Production, 156, pp. 317–326. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.043.
- Botha, C. D. and Kamper, M. J. (2019) 'Capability study of dry gravity energy storage', Journal of Energy Storage, 23(March), pp. 159–174. doi: 10.1016/j.est.2019.03.015.
- Buckles, W., & Hassenzahl, W. V. (2000). Superconducting magnetic energy storage. IEEE Power Engineering Review, 20(5), 16–20. <https://doi.org/10.1109/39.841345>
- Chen, L., Liu, Y., Arsoy, A. B., Ribeiro, P. F., Steurer, M., & Iravani, M. R. (2006). Detailed modeling of superconducting magnetic energy storage (SMES) system. IEEE Transactions on Power Delivery, 21(2), 699–710. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2005.864075>
- Dincer, I. dan Rosen, MA. 2011. Thermal Energy Storage: System and Applications Second Edition. United States: A John Wiley and Sons, Ltd.
- Ding Z., Wu W. 2020. A Hybrid Compression-Assisted Absorption Thermal Battery with High Energy Storage Density/Efficiency and Low Charging Temperature. Elsevier: Applied Energy. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.116068

- Dong, Z. et al. (2020) 'Developing of Quaternary Pumped Storage Hydropower for Dynamic Studies', *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 11(4), pp. 2870–2878. doi: 10.1109/TSTE.2020.2980585.
- Dooner, M. and Wang, J. (2020) 14 - Compressed-Air Energy Storage, *Future Energy*. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/B978-0-08-102886-5.00014-1.
- Elmegaard, B. and Brix, W. (2011) 'Efficiency of compressed air energy storage', *Proceedings of the 24th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS 2011*, pp. 2512–2523.
- Ernawati, dkk. 2019. Baterai Ramah Lingkungan dari Limbah Serbuk Kayu Merbau (*Intsia bijuga*) dan Matoa (*Pometia sp.*). *Jurnal Ilmu Teknol .Kayu Tropis* .17(1)
- Fern, J. M. (2019) 'Pumped-storage hydropower plants with underground reservoir : Influence of air pressure on the efficiency of the Francis turbine and energy production', 143. doi: 10.1016/j.renene.2019.05.099.
- For, F., & Mutual, T. H. E. (1991). *IEEE Transactions on*. 6(4), 1359–1370.
- Ghorbani, B., Mehrpooya, M. and Ardehali, A. (2020) 'Energy and exergy analysis of wind farm integrated with compressed air energy storage using multi-stage phase change material', *Journal of Cleaner Production*, 259, p. 120906. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120906.
- Hassenzahl, W. (2013). Superconducting fault current limiters and power cables. In *Electricity Transmission, Distribution and Storage Systems*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857097378.2.242>
- Huang, Y. et al. (2018) 'Integration of compressed air energy storage with wind generation into the electricity grid', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 188(1). doi: 10.1088/1755-1315/188/1/012075.
- Hunt, J. D. et al. (2019) 'Mountain Gravity Energy Storage: A new solution for closing the gap between existing short- and long-term storage technologies', *Energy*, p. 116419. doi: 10.1016/j.energy.2019.116419.

- Ibrahim, H., Ilinca, A. and Perron, J. (2008) 'Energy storage systems- Characteristics and comparisons', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(5), pp. 1221–1250. doi: 10.1016/j.rser.2007.01.023.
- J. M. Delgado et al. 2019. *Thermal Energy Storage with Phase Change Material*. Porto: SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. DOI: 10.1007/978-3-319-97499-6
- Jouhara H., Zabnienska-Gora, A., Khordehgah, N., Ahmad, D. 2020. *Latent Thermal Energy Storage Technologies and Applications: A Review*. Elsevier: *International Journal of Thermofluids*. DOI: 10.1016/J.ijft.2020.100039
- Kere, A. et al. (2014) 'Dynamic behavior of a sensible-heat based thermal energy storage', *Energy Procedia*, 49, pp. 830–839. doi: 10.1016/j.egypro.2014.03.090.
- Kimiai Asadi, A. H., Meyar-Naimi, H., & Jahangiri, A. (2017). A new controlled superconducting magnetic energy storage for dynamic stabilization of distributed generation in islanding mode of operation. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 27(11), 1–21. <https://doi.org/10.1002/etep.2418>
- Kuravi S. et al. 2013. *Thermal Energy Storage Technologies and System ans Concentrating Solar Power Plants*. Elsevier: *Progress in Energy and Combustion Science*. DOI: 10.1016/j.pecs.2013.02.001
- Lin, X., Lei, Y., & Zhu, Y. (2018). A novel superconducting magnetic energy storage system design based on a three-level T-type converter and its energy-shaping control strategy. *Electric Power Systems Research*, 162(24), 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.05.006>
- Luo, X. et al. (2014) 'Overview of current development in compressed air energy storage technology', *Energy Procedia*, 62, pp. 603–611. doi: 10.1016/j.egypro.2014.12.423.
- Mehling, H dan Cabeza, LF. 2008. *Heat and Cold Storage With PCM*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg
- Menéndez, J. et al. (2020) 'Efficiency analysis of underground pumped storage hydropower plants', *Journal of Energy Storage*, 28(January), p. 101234. doi: 10.1016/j.est.2020.101234.

- Muhammad Thowil Afif, Ilham Ayu Putri Pratiwi. 2015. Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik – Review. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 6(2)2015: 95-99
- Muhlisin, dkk. 2015. Pemanfaatan Sampah Kulit Pisang dan Kulit Durian Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Pasta Batu Baterai. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*. 9(3)
- Mukherjee, P., & Rao, V. V. (2019). Superconducting magnetic energy storage for stabilizing grid integrated with wind power generation systems. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 7(2), 400–411. <https://doi.org/10.1007/s40565-018-0460-y>
- Omran, K. C., & Mosallanejad, A. (2018). SMES/battery hybrid energy storage system based on bidirectional Z-source inverter for electric vehicles. *IET Electrical Systems in Transportation*, 8(4), 215–220. <https://doi.org/10.1049/iet-est.2017.0100>
- Panasonic. (2012). Datasheet Panasonic Lithium-ion NCR18650B
- Parchomiuk, M., Strzelecki, R., Zymmer, K., & Domino, A. (2017). Modular power converter topologies for energy storage and electric power distribution systems. 2017 Progress in Applied Electrical Engineering, PAEE 2017. <https://doi.org/10.1109/PAEE.2017.8009022>
- Rathore PKS., Shukla SK. 2019. Potential of Macroencapsulated PCM For Thermalenergy Storage In Buildings: A Comprehensive Review. *Constr. Build. Mater.* Hal 723–744, Doi: 10.1016/J.Egypro.2019.02.101
- Rehman, A. et al. (2020) 'Integrated biomethane liquefaction using exergy from the discharging end of a liquid air energy storage system', *Applied Energy*, 260(September 2019), p. 114260. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114260.
- Robert A, H. (2010) *Energy Storage*. New York: Springer Science Business Media, LLC.
- Robert A, H. (2010). *Energy Storage*. Springer Science Business Media, LLC.
- Roos, P. Dan Hasellbacher, A. 2020. Thermocline Control Through Multi-Tank Thermal-Energy Storage Systems. Elsevier: *Applied Energy*. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115971

- Roushenas, R. et al. (2020) 'Thermo-environmental analysis of a novel cogeneration system based on solid oxide fuel cell (SOFC) and compressed air energy storage (CAES) coupled with turbocharger', *Applied Thermal Engineering*, 181(September), p. 115978. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115978.
- Ruoso, A. C., Caetano, N. R. and Rocha, L. A. O. (2019) 'Storage gravitational energy for small scale industrial and residential applications', *Inventions*, 4(4), pp. 1–13. doi: 10.3390/inventions4040064.
- S. Koochi-Fayegh dan Rosen MA. 2020. A Review Of Energy Storage Types, Applications And recent Developments, *J. Energy Storage*. DOI: 10.1016/J.Est.2019.101047
- Salvini, C. (2017) 'Performance assessment of a CAES system integrated into a gas-steam combined plant', *Energy Procedia*, 136, pp. 264–269. doi: 10.1016/j.egypro.2017.10.280.
- Sarkar, J., & Bhattacharyya, S. (2012). Application of graphene and graphene-based materials in clean energy-related devices Minghui. *Archives of Thermodynamics*, 33(4), 23–40. <https://doi.org/10.1002/er>
- Setiadi, H., Robandi, I., & Yuwono, T. (2014). Penalaan Parameter Superconducting Magnetic Energy Storage ( SMES ) menggunakan Firefly Algorithm ( FA ) pada Sistem Tenaga Listrik Multimesin. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1), 1–6.
- Shi, J., Xu, Y., Liao, M., Guo, S., Li, Y., Ren, L., Su, R., Li, S., Zhou, X., & Tang, Y. (2019). Integrated design method for superconducting magnetic energy storage considering the high frequency pulse width modulation pulse voltage on magnet. *Applied Energy*, 248(January), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.079>
- Sidiq, R. K. (2015). *Ran+B3:B38cang Bangun Sistem Pengisi Baterai Mobil Listrik. Berbasis Mikrokontroler Atmega16*. Universitas Jember: Jember.
- Sukirman, E., Adi, W. A., Winatapura, D. S., & Sulungbudi, G. T. (2003). Review Kegiatan Litbang Superkonduktor Tc Tinggi Di P3lb-Batan. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 4(2), 30–39.
- Ter-Gazarian, A. G. (2011) *Energy Storage for Power Systems*. 2nd edn. London: The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom.

- Very, S. A., & Introduction, S. (2010). Superconductivity: a very short introduction. *Choice Reviews Online*, 47(07), 47-3867-47-3867. <https://doi.org/10.5860/choice.47-3867>
- Vivanco, H. K., & Rodriguez, E. E. (2016). The intercalation chemistry of layered iron chalcogenide superconductors. *Journal of Solid State Chemistry*, 242, 3-21. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2016.04.008>
- Wettermark, G. 1988. Thermochemical Energy Storage. *Proceeding of NATO Advance Study Institute on Energy Storage System*. Page: 673-681. Turki: Cesme
- Xu, B. et al. (2019) 'Modeling a pumped storage hydropower integrated to a hybrid power system with solar-wind power and its stability analysis', *Applied Energy*, 248(April), pp. 446-462. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.04.125.
- Yang, H. et al. 2019. Wood-Based Composite Phase Change Materials With Self-Cleaning Superhydrophobic Surface For Thermal Energy Storage. Elsevier: *Applied Energy*. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114481
- Zhang, J. et al. (2019) 'Performance analysis of diabatic compressed air energy storage (D-CAES) system', *Energy Procedia*, 158, pp. 4369-4374. doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.782.
- Zunft, S. et al. (2006) 'Adiabatic Compressed Air Energy Storage for the Grid Integration of Wind Power', *Sixth International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power and tTransmission Networks for Offshore Windfarms*, (October), pp. 26-28.

## Referensi Gambar

- <https://www.4muda.com/bagaimana-cara-kerja-baterai-dan-apa-yang-terjadi-saat-baterai-di-charge/>
- <https://www.jakartanotebook.com/images/products/13/43/38704/6/samsung-40t-21700-baterai-li-ion-30a-4000mah-37v-blue-1.jpg>
- <https://panelsinarsurya.wordpress.com/2016/09/20/penjelasan-tentang-baterai-accuaki/>
- <https://i.ebayimg.com/images/g/ROcAAOSwWnFV~brO/s-l300.jpg>
- <https://prezi.com/suj-hvfas1o5/chemistry-baterai-nimh/?frame=4985a9967cb85a15772cf8c563b4aac402c395ad>

<https://www.blackxperience.com/blackauto/autonews/indonesia-pacu-produksi-baterai-kendaraan-listrik>

<http://www.synergyenviron.com/resources/solar-photovoltaic-systems>

<https://www.hydropower.org/resources/factsheets/pumped-storage>

[https://www.researchgate.net/publication/289779454\\_Solar\\_power\\_and\\_application\\_methods](https://www.researchgate.net/publication/289779454_Solar_power_and_application_methods)

<https://contest.techbriefs.com/2017/entries/sustainable-technologies/8141>

[http://refhub.elsevier.com/S2666-2027\(20\)30026-4/sbref0006](http://refhub.elsevier.com/S2666-2027(20)30026-4/sbref0006)

<https://www.nature.com/articles/s41560-018-0311-0>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219308203>

[https://www.researchgate.net/publication/274025595\\_Dynamic\\_Behavior\\_of\\_a\\_Sensible-heat\\_based\\_Thermal\\_Energy\\_Storage](https://www.researchgate.net/publication/274025595_Dynamic_Behavior_of_a_Sensible-heat_based_Thermal_Energy_Storage)

<https://elib.dlr.de/46856/1/OffshoreWS-Zunft060825final.pdf>

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.091>

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/188/1/012075/pdf>

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/188/1/012075/pdf>

<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.109>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261919306890>

890

## GLOSARIUM

- Baterai** : Salah satu teknologi penyimpanan energi yang menyimpan energi dalam bentuk aliran listrik
- Charge** : Proses penyimpanan energi
- Chemical Process** : Proses yang ditinjau dari segi kimia
- Compressed Air Energi Storage** : Penyimpanan energi berdasarkan konsep pengompresian udara kedalam sebuah ruang bertekanan tinggi
- Discharging** : Proses pengeluaran energi
- Efisiensi** : Tingkat kesesuaian antara parameter yang dikeluarkan dan parameter yang dimasukkan
- Governor** : Sebuah konsep pengendalian aliran fluida pada suatu sistem pembangkitan
- Gravity Energy Storage** : Teknologi penyimpanan energi gravitasi
- Keterbaruan** : Cara yang dianggap mutakhir dan mampu menyelesaikan permasalahan konvensional
- Konvensional** : Cara tradisional atau cara yang dianggap sudah lama dan menjadi umum dimasa sekarang
- Konversi Energi** : Mengubah dari suatu bentuk energi ke bentuk energi lain
- Latent Heat** : Disebut juga panas laten yaitu salah satu tipe TES yang memerlukan perubahan fase sehingga bahan yang digunakan adalah berupa PCM
- Liquid Forms** : Bentuk cair dari bahan yang biasanya digunakan sebagai media penyimpan panas
- Micro-Grid** : Konektivitas pembangkit listrik berskala kecil yang melibatkan satu atau banyak pembangkit serta teknologi penyimpanan energi
- Mountain Gravitational Energy Storage** : Sebuah teknologi penyimpanan energi yang memanfaatkan energi potensial gravitasi pada sebuah dataran tinggi



- Penyimpanan Energi Potensial** : Penyimpanan energi berdasarkan konsep penyerapan energi potensial
- Phase Change Material (PCM)** : Sebuah komponen fisik yang mampu menyerap panas dan mengeluarkan panas. Komponen ini terdapat pada teknologi penyimpanan energi panas
- Pumped Storage Hydropower** : Sebuah teknologi penyimpanan energi yang memanfaatkan energi potensial yang tersimpan dalam air
- Pyshical Process** : Proses yang ditinjau dari segi fisika
- Reservoir** : Tandon air yang memiliki ukuran yang cukup luas dan besar secara volume
- Sensible Heat** : Disebut juga panas sensibel yaitu salah satu tipe TES yang paling sederhana dan mudah diaplikasikan
- Solid Forms** : Bentuk padat dari bahan yang biasanya digunakan sebagai media penyimpan panas
- Superconducting Magnetic Energy Storage** : Sebuah konsep penyimpanan energi yang memanfaatkan superkonduktor dan juga magnet
- Thermal Energy Storage** : Sebuah konsep penyimpanan energi dengan berdasarkan penyimpanan panas
- Thermochemical** : Disebut juga panas termokimia yaitu salah satu tipe TES yang menggunakan bahan kimia sebagai media penyimpan panas
- Transmisi** : Penyaluran energi listrik dari satu titik ke titik lain

## INDEKS

### A

Atmosfer, 28, 97, 103

### B

Baterai, 1, 66

### C

Charge, 1, 77, 112

Chemical Process, 46

Compressed Air Energi Storage, 97

Concentrated Solar Power, 61

Cost per unit, 2

Cycle life, 1

### D

Discharging, 3, 68, 116

### E

Efisiensi, 20, 45, 77, 114

Elektroda, 3

Energi Potensial, 20, 45, 100

### F

Francis, 30, 40

## **G**

Gas, 4, 52, 115

Generator, 11, 22, 62, 85, 97

Geoteknik, 22

Governing, 38

Gravitasi, 20

Gravity Energy Storage, 22, 34

## **H**

Hidrolik, 36

Hydropower, 21, 40

## **I**

Implementasi , 11, 28, 61, 82, 108

## **K**

Katoda, 5

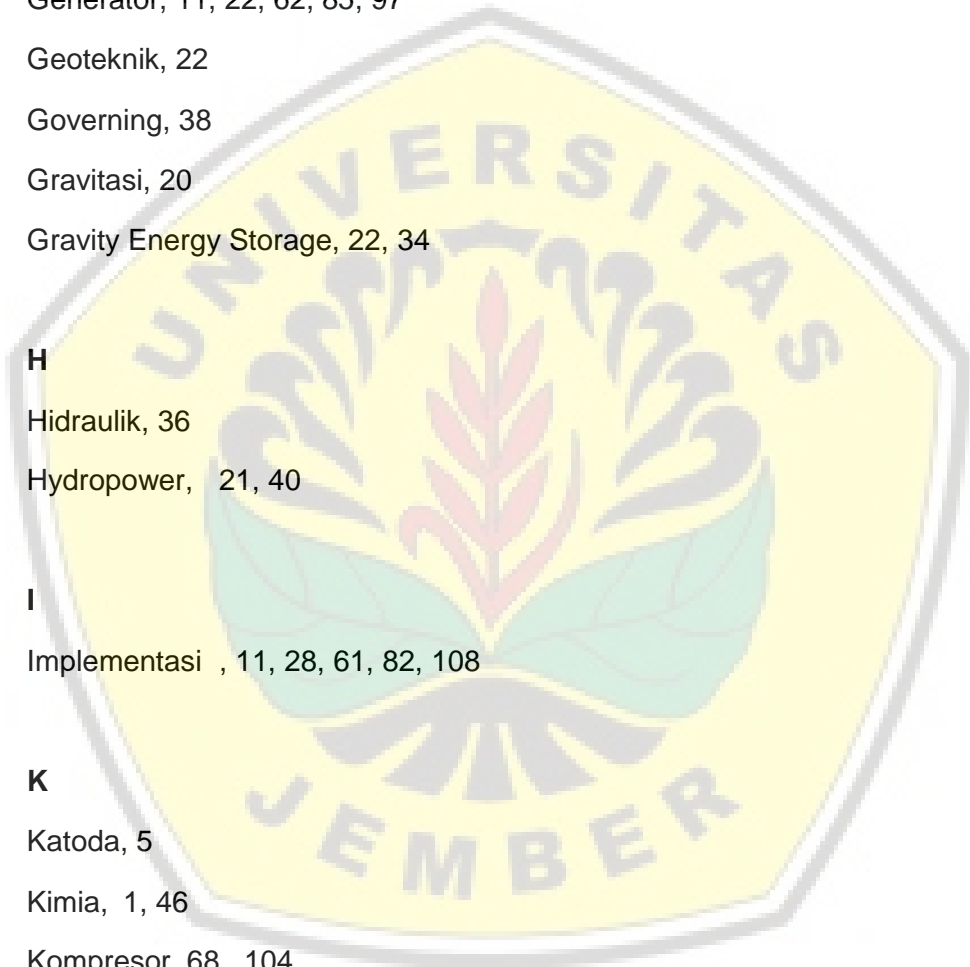
Kimia, 1, 46

Kompresor, 68, 104

Konduktor, 23, 73, 96

Konvensional, 29, 62, 117

Konversi, 20, 64, 92



## L

Latent Heat, 51

Lead-Acid, 1

Liquid, 49, 106

Lithium Ion, 1

Lithium Polymer, 7

## M

Magnet, 33, 73

Microgrid, 82

Motor, 11, 22, 104

## N

Nickel-Cadmium, 1

## O

Oksida, 6

## P

Ph, 70

Phase Change Material, 57

Photovoltaic, 13, 34, 89

Piston, 26

Potensial, 20, 44, 100

## R

Redoks, 6

Reservoir, 21, 41

Resistansi, 73

## S

Sampah, 18

Sensible Heat, 48

Solid, 49

Superconducting Magnetic Energy Storage, 73

Superkonduktor, 73, 96

## T

Thermal Energy Storage, 43, 105

Thermochemical, 53

Topografi, 22, 32

Transmisi, 22, 110

