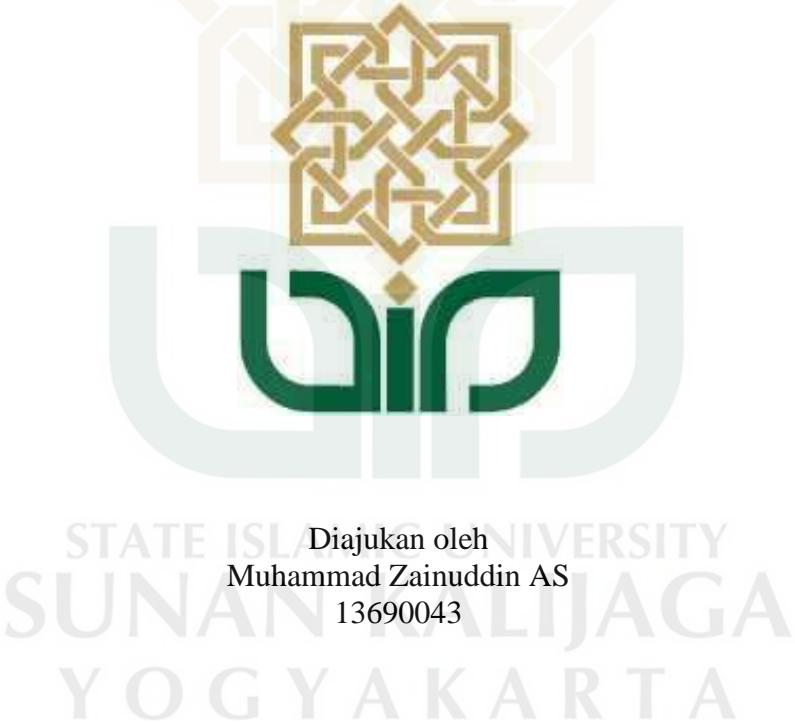


**PENGEMBANGAN BUKU PENGAYAAN FISIKA BERBASIS  
GREEN TECHNOLOGY DENGAN TEMA PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA MIKRO HIDRO UNTUK SMA/MA**

**SKRIPSI**

Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Pendidikan Fisika



Kepada

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN  
SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA**

**2017**



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

### PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-3074/Un.02/DST/PP.00.9/11/2017

Tugas Akhir dengan judul : Pengembangan Buku Pengayaan Fisika Berbasis Green Technology dengan Tema Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro untuk SMA/MA

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : MUHAMMAD ZAINUDDIN AS  
Nomor Induk Mahasiswa : 13690043  
Telah diujikan pada : Senin, 20 November 2017  
Nilai ujian Tugas Akhir : A-

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

### TIM UJIAN TUGAS AKHIR

Ketua Sidang

Joko Purwanto, S.Si., M.Sc.  
NIP. 19820306 200912 1 002

Pengaji I

Rachmad Resmiyanto, S.Si., M.Sc.  
NIP. 19820322 201503 1 002

Pengaji II

Drs. Nur Untoro, M.Si.  
NIP. 19661126 199603 1 001

Yogyakarta, 20 November 2017

UIN Sunan Kalijaga  
Fakultas Sains dan Teknologi  
DEKAN



**PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Zainuddin AS

NIM : 13690043

Program Studi : Pendidikan Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya penulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini, penulis kutip dari hasil karya orang lain, dan telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Penulis bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang penulis peroleh dari sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



Yogyakarta, Oktober 2017  
Saya menyatakan,  
Muhammad Zainuddin AS  
13690043



## **SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR**

Hal : Persetujuan Skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta  
di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Muhammad Zainuddin AS  
NIM : 13690043  
Judul Skripsi : Pengembangan Buku Pengayaan Fisika Berbasis Green Technology Dengan Tema Pemangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Untuk SMA/MA

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Studi Pendidikan Fisika

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, 07 Oktober 2017

Pembimbing I

Joko Purwanto, M.Sc

NIP. 19820322 200912 1 002

Pembimbing II

Rachmad Resmiyanto, M.Sc

NIP. 19820322 201503 1 002

## MOTTO

*Iso ra iso, sing penting ngaji, nggolek ngelmu, apalan,  
lalaran, jamaah kanthi istiqomah*



## HALAMAN PERSEMBAHAN

*“Karya ini saya persembahkan kepada:*

*Ibu saya Maryamah*

*Ayah saya Achmad Sodiq*

*Siti Uswatun Khasanah*

*M. Agus Salim*

*Eni Khusnawanti*

*Almamater saya Pendidikan Fisika VIN Sunan Kalijaga*

*Yogyakarta.”*



## **KATA PENGANTAR**

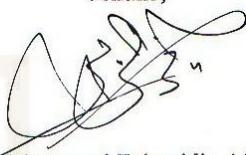
Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, taufik, hidayah, inayah, serta nikmat sehat dan kekuatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengembangan Buku Pengayaan Fisika Berbasis *Green Technology* dengan Tema Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro untuk SMA/MA”.

Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang sangat penulis harapkan syafa’atnya di Hari Kiamat kelak. Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh sebab itu, dengan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Murtono, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Drs. Nur Untoro, M.Si. selaku Kepala Program Studi Pendidikan Fisika sekaligus pembimbing akademik.
3. Joko Purwanto, M.Sc. selaku pembimbing skripsi I.
4. Rachmad Resmiyanto, M.Sc selaku pembimbing skripsi II.
5. Segenap Dosen dan Karyawan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
6. Dr. Ir. Iswanjono dan Nuril Anwar, S.Pd.Si atas kesempatannya sebagai validator ahli.
7. Teman-teman semua di Prodi Pendidikan Fisika.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dalam penyusunannya. Oleh sebab itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan untuk menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Yogyakarta, Oktober 2017  
Penulis,



Muhammad Zainuddin AS  
13690043



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>INTISARI.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah.....	7
C. Batasan Masalah .....	8
D. Rumusan Masalah .....	8
E. Tujuan Penelitian .....	8
F. Spesifikasi Produk.....	9
G. Manfaat Penelitian .....	9

H. Batasan Pengembangan .....	10
I. Definisi Istilah .....	11
<b>BAB II LANDASAN TEORI.....</b>	<b>13</b>
A. Kajian Teori .....	13
B. Penelitian Relevan .....	45
C. Kerangka Berfikir.....	47
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>49</b>
A. Model Pengembangan.....	49
B. Prosedur Pengembangan.....	49
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>58</b>
A. Hasil Penelitian .....	58
C. Pembahasan.....	64
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>80</b>
A. Kesimpulan .....	80
B. Batasan Pengembangan .....	80
C. Saran Pemanfaatan dan Pengembangan Produk Lebih Lanjut.....	80
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>82</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>83</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Generator .....	23
Gambar 2.2 Prinsip Hukum Lorentz.....	24
Gambar 2.3 Tabung Alor Prinsip Kontinuitas .....	31
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	34
Gambar 4.1 Cover Sebelum Perbaikan .....	35
Gambar 4.2 Cover Setelah Perbaikan.....	40
Gambar 4.3 Daftar Isi Sebelum Perbaikan.....	47
Gambar 4.4 Daftar Isi Setelah Perbaikan .....	48
Gambar 4.5 Kata Pengantar Sebelum Perbaikan.....	48
Gambar 4.6 Kata Pengantar Setelah Perbaikan .....	49
Gambar 4.7 Daftar Pustaka Sebelum Perbaikan .....	50
Gambar 4.8 Daftar Pustaka Setelah Perbaikan .....	50
Gambar 4.9 Tabel dan Grafik Sebelum Perbaikan .....	53
Gambar 4.10 Tabel dan Grafik Setelah Perbaikan .....	86
Gambar 4.11 Penulisan Sebelum Perbaikan .....	95
Gambar 4.12 Penulisan Setelah Perbaikan .....	116
Gambar 4.13 Gambar Sebelum Perbaikan .....	117
Gambar 4.14 Gambar Setelah Perbaikan .....	119
Gambar 4.15 Penulisan Desimal Sebelum Perbaikan .....	119
Gambar 4.16 Penulisan Desimal Setelah Perbaikan .....	120

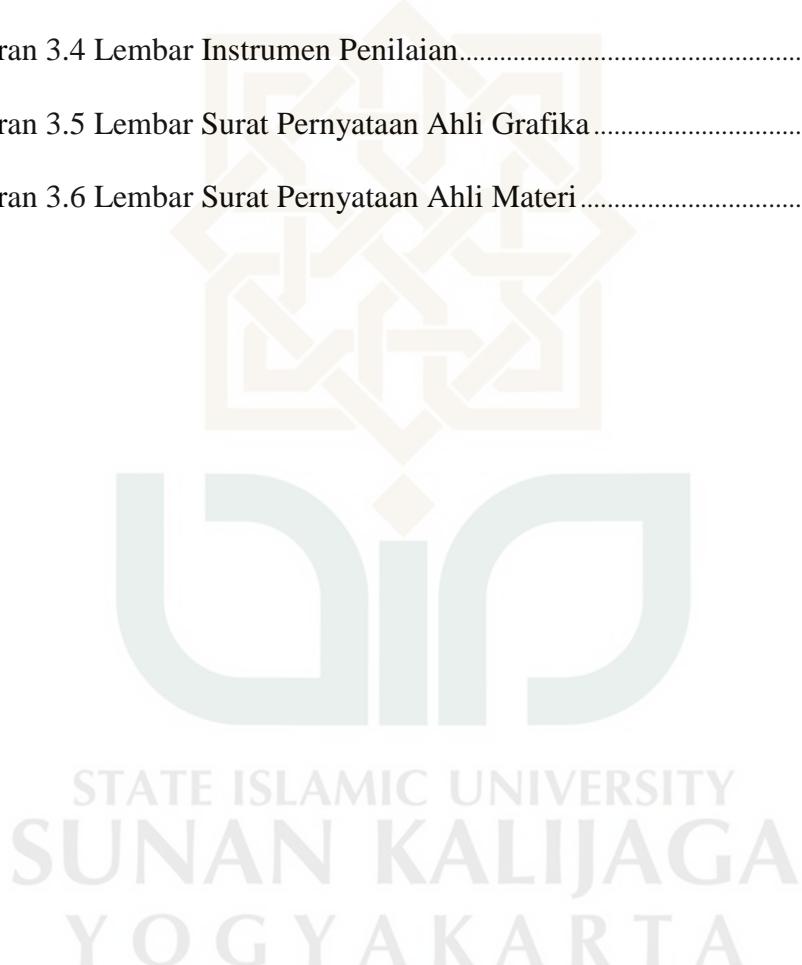
## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan antara Buku Teks dengan Buku Pengayaan.....	15
Tabel 4.1 Tabel Hasil Validasi .....	59
Tabel 4.2 Tabel Penilaian Ahli .....	60



## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1.a Analisis Kebutuhan Siswa.....	85
Lampiran 1.b Hasil Wawancara Guru Fisika MAN Wonokromo .....	86
Lampiran 3.1 Produk Awal.....	87
Lampiran 3.2 Lembar Instrumen Validasi .....	140
Lampiran 3.3 Lembar Instrumen Perbaikan .....	144
Lampiran 3.4 Lembar Instrumen Penilaian.....	148
Lampiran 3.5 Lembar Surat Pernyataan Ahli Grafika .....	149
Lampiran 3.6 Lembar Surat Pernyataan Ahli Materi.....	150



**PENGEMBANGAN BUKU PENGAYAAN FISIKA BERBASIS *GREEN TECHNOLOGY* DENGAN TEMA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO UNTUK SMA/MA**

**Muhammad Zainuddin AS**  
**13690043**

**INTISARI**

Penelitian ini bertujuan 1) Mengembangkan /menghasilkan buku pengayaan fisika berbasis *green technology* dengan tema Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) untuk SMA/MA melalui proses pengembangan. 2) Mengetahui kelayakan buku pengayaan fisika berbasis *green technology* dengan tema Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) untuk SMA/MA yang dikembangkan.

Penelitian ini merupakan penelitian R&D dengan model 3-D mengadaptasi prosedur penelitian pengembangan 4-D menurut Thiagarajan Sammel and Sammel yang terdiri dari 3 langkah utama yakni, (1) tahap *define* (pendefinisian), (2) tahap *design* (perencanaan), (3) tahap *develop* (pengembangan). Penelitian ini mengambil objek Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro yang ada di Dusun Singosaren, Wukirsari, Bantul dan MAN Wonokromo sebagai studi kasus *need assessment*-nya. Instrumen yang digunakan adalah instrumen validasi sekaligus penilaian model terbuka yang diberikan kepada validator ahli materi dan ahli grafika.

Hasil penelitian ini berupa: (1) Buku pengayaan fisika berbasis *green technology* dengan tema Peembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro untuk SMA/MA; (2) Kelayakan buku pengayaan yang telah di validasi oleh ahli materi dan ahli grafika dengan predikat layak dan baik. Dengan demikian buku pengayaan yang dikembangkan, dapat digunakan untuk siswa SMA/MA pada khususnya, dan masyarakat pada umumnya.

**Kata kunci:** Buku Pengayaan, Fisika, *Green Technology*, Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

**THE DEVELOPMENT OF PHYSICS  
ENERGY BASED ON GREEN TECHNOLOGY  
WITH ELECTRICAL POWER PLANT MICRO HYDRO FOR SENIOR HIGH  
SCHOOL**

**ABSTRACT**

This research aims to 1) Develop / produce physics enrichment book based on green technology with theme of Micro Hydro Power Plant (MHPP) for Senior High School through development process. 2) To know the feasibility of physics-based green technology enrichment book with the theme of Micro Hydro Power Plant (MHPP) for senior high school developed. This research is an R & D research with 3-D model adapting 4-D development research procedure according to Thiagarajan Sammel and Sammel consisting of 3 main steps namely, 1) define stage 2) design stage, 3) development stage

This research took the object of Micro Hydro Power Plant in Singosaren, Wukirsari, Bantul and MAN Wonokromo as a case study of need assessment. The instrument used is a validation instrument as well as an open model assessment given to material expert and graphic expert.

The results of this research are: 1) Physics enrichment book based on green technology with theme of Micro Hydro Power Generation for Senior High School; 2) The feasibility of enrichment books that have been validated by material experts and graphic experts with a decent and good predicate. Thus the enrichment book developed, can be used for Senior High School students in particular, and society in general.

Keywords: Enrichment Book, Physics, Green Technology, Micro Hydro Power Plant (MHPP)



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat mengakibatkan kebutuhan energi terus meningkat. Hal ini bertolak belakang dengan ketersediaan energi fosil yang selama ini menjadi bahan bakar utama yang semakin menipis. Energi fosil sendiri adalah energi yang tidak dapat diperbaharui karena membutukan waktu yang sangat lama dalam pembentukannya (Tri Susanto : 2011).

Selain dari kebutuhan energi yang terus bertambah, terjadinya lonjakan harga minyak di dunia pun memberikan andil dalam kebutuhan energi, baik di dunia maupun di dalam negeri. Hal tersebut berdampak pada menurunnya kualitas lingkungan yang dewasa ini semakin mengkhawatirkan. Hal ini diakibatkan oleh beberapa faktor, diantaranya menipisnya cadangan minyak bumi di belahan dunia, yang pada suatu saat dikhawatirkan cadangan minyak yang ada di perut bumi akan habis. Ketidakstabilan harga minyak akibat laju permintaan yang lebih besar dari pada laju peningkatan produksi minyak juga menjadi masalah yang belum terselesaikan. Walaupun beberapa ahli permifyikan di negara maju berusaha menemukan ladang-ladang baru, kondisi ini tidak berpengaruh signifikan terhadap kenaikan harga minyak tersebut. Faktor meningkatnya pencemaran-pencamaran lingkungan akibat dari penggunaan minyak fosil yang berakibat meningkatnya gas  $CO^2$ , dan menipisnya lapisan ozon di atmosfir yang pada suatu ketika dapat menimbulkan malapetaka bagi manusia maupun lingkungan hidup lainnya. Faktor

lain yaitu tuntutan pasar global, bahwa suatu saat pemerintah akan menghapuskan subsidi terhadap Bahan Bakar Minyak (BBM) (Sri Sukamta : 2010). Dari penjelasan faktor-faktor di atas, beberapa negara telah melakukan berbagai penelitian dan pengembangan untuk menemukan alternatif pengganti Bahan Bakar Minyak (BBM) yang selama ini dijadikan sebagai sumber energi utama dunia digantikan dengan sumber energi terbarukan (*renewable energy*).

Menurut data statistik Dirjen ESDM Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) tahun 2010, Pulau Jawa memiliki banyak potensi tenaga air yang belum dimanfaatkan sebagai tenaga listrik. Dari total potensi tenaga air sebesar 4.200 MW, hanya terpasang PLTMH dengan kapasitas 41,793 MW. Pemanfaatan potensi tenaga air sebesar 1 % ini menunjukan bahwa di Pulau Jawa masih banyak lokasi berpotensi yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik.

PLTMH merupakan energi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan. Secara umum potensi energi alternatif yang ada di Propinsi DIY tidak terlalu besar bila dibandingkan dengan kebutuhan energi jangka panjang dan target energi mix yang diharapkan. Namun demikian potensi yang ada perlu dimanfaatkan secara optimal. Mengingat prospek pemanfaatan tenaga air untuk PLTMH cukup besar maka perlu dilakukan perlindungan sumber air dengan mengatur pemanfaatan lahan (tangkapan air) di sekitar daerah yang berpotensi untuk dibangun PLTMH (Agus Sugiyono : 2010)

Dari minimnya pemanfaatan potensi akan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) ini, hendaknya perlu dilakukan usaha bersama antara pemerintah pusat, pemerintah daerah beserta masyarakat setempat untuk

merealisasikan akan pengalihan energi konvensional ke energi terbarukan. Hal ini bukan menjadi hal yang mungkin bilamana kesadaran akan kebutuhan energi listrik untuk jangka waktu panjang perlu dilakukan usaha nyata. Sehingga pola pikir lama harus ditinggalkan dan bertekad energi terbarukan tak lagi dijadikan sebagai opsi, melainkan menjadi kebutuhan bersama untuk kehidupan yang lebih baik.

Selain dari faktor kesadaran, hal lain yang mendasar dari pembangunan energi terbarukan adalah faktor kurangnya sumber daya manusia yang menggerakkan sekaligus mengelola dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Angka partisipatif dari masyarakat akan potensi lokal sangatlah kurang, padahal hal pertama yang harus muncul dari adanya terobosan baru, haruslah lahir dari masyarakat daerah itu sendiri. Dengan demikian harapan pemerintah dapat disinergikan dan direalisasikan oleh warga masyarakat itu sendiri dari potensi lokalnya.

Jika kita menelisik dari segi pendanaan pembangunan, investasi pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro relatif lebih murah. Hal ini disebabkan adanya penyederhanaan standar konstruksi yang disesuaikan dengan pedesaan. Biaya investasi PLTMH adalah kurang lebih 2000 dollar/kW, sedangkan biaya energi dengan kapasitas pembangkit 20 kW (rata-rata yang dipakai di desa) adalah 194/kWh.

Inilah sebabnya perlu dilakukan sosialisasi potensi lokal daerah khususnya untuk daerah non-kota/pedesaan yang *notabenanya* masih kekurangan energi listrik untuk keperluan sehari-hari. Sosialisasi dapat dilakukan secara massif oleh

pemerintah melalui Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. Namun bilamana kita mengandalkan satu instansi saja untuk menggerakkan tentulah tidak efektif. Perlu dilakukannya kerjasama baik itu dari institusi formal maupun institusi non formal guna terselenggaranya sosialisasi yang massif dari pemanfaatan potensi lokal akan energi terbaruan.

Salah satu Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang sudah berjalan cukup lama adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang berada di Dusun Singosaren, Desa Wukirsari, Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul, Yogyakarta. PLTMH ini sudah dibangun sejak tahun 2007 tepat satu tahun pasca gempa Bantul. PLTMH ini bisa dikatakan sebagai pelopor pembangunan-pembangunan PLTMH lain yang ada di Yogyakarta.

Menurut hasil wawancara dari salah seorang penggagas PLTMH Singosaren, beliau menyatakan bahwa PLTMH yang telah dibangunnya bersama kesebelas rekannya sejak kurang lebih sembilan tahun silam, seringkali dikunjungi oleh para peneliti, pengembang, bahkan seringkali diliput oleh media elektronik/cetak daerah maupun media elektronik/cetak nasional. Meskipun secara teknis dan bentuknya masih sangat sederhana, namun PLTMH Singosaren ini dapat terus digunakan dan dirasakan sekali kebermanfaatannya. Dengan demikian, perlu dikembangkan lagi dan disosialisasikan akan potensi lokal seperti halnya yang ada di Dusun Singosaren. Sehingga daerah-daerah potensial ikut turut andil dalam pembangunan massif energi terbarukan ini.

Selama ini, PLTMH Singosaren telah berkontribusi dalam pemenuhan kebutuhan listrik daerah tersebut. Kontribusi itu berwujud penerangan jalan ketika pemadam listrik setempat. Selain itu, juga digunakan ketika momen-momen tertentu seperti halnya hajatan warga dusun tersebut. PLTMH Singosaren ini dibangun mandiri oleh warga sekitar disertai dengan beberapa pembenahan dan pengembangan dari beberapa peneliti/mahasiswa yang melakukan penelitian dan berkontribusi memajukan PLTMH tersebut.

PLTMH yang berada di daerah Bantul kurang lebih ada tiga. Namun hanya PLTMH Singosaren lah yang masih dapat dioperasikan dan difungsikan. Sementara dua yang lainnya mandeg/rusak dan terbengkalai tanpa adanya usaha revitalisasi dan pengembangan. Hal ini dirasa memperihatinkan, karena potensi lokal energi terbarukan yang sedianya dapat menjadikan pembantu/alternatif kebutuhan energi listrik, tak diusahakan kembali kebermanfaatannya.

Ironi lain dari keberadaan akan PLTMH yang ada di Bantul, adalah banyaknya peserta didik yang masih belum mengetahui/mengenal akan PLTMH baik dari keberadaan maupun manfaatnya. Bahkan sebagian dari masyarakat daerah sekitar pun masih banyak yang belum mengetahuinya. Maka dari itu, perlu dilakukannya sosialisasi kepada peserta didik khususnya, dan kepada masyarakat pada umumnya, guna mendapatkan dukungan dari semua kalangan untuk memajukan dan mengembangkannya.

Berdasarkan wawancara dari guru mata pelajaran fisika di MAN Wonokromo, bahwasanya bahan ajar (buku pengayaan) dengan tema Pembangkit

Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang terintegrasi dengan materi fisika, belum ada. Selain itu, ketika ditanyakan terkait materi fluida, usaha&enegi, dan listrik tidak mengalami kendala baik dalam pembelajaran di kelas maupun dengan hasil evaluasi siswa, sehingga dapat dikatakan materi tersebut tuntas diatas rata-rata KKM. Namun demikian, ketika guru ditanyai berkaitan dengan buku pengayaan siswa, masih minim. Begitu juga ketika diberikan angket yang diberikan kepada 16 responden/siswa, didapatkan informasi bahwasanya siswa membutuhkan buku pengayaan materi yang menarik. Dan ketika diberikan pertanyaan mengenai teknologi ramah lingkungan, 100% responden tertarik dan senang membaca buku tentang energi terbarukan. Namun, ketika responden ditanya mengenai informasi keberadaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang ada di daerah Wukirsari Bantul, 81,25 % menyebutkan belum mengetahui potensi daerah teknologi ramah lingkungan tersebut. Sehingga dapat dikatakan, sosialisasi ataupun kesadaran potensi daerah, belum sepenuhnya dimaksimalkan di institusi pendidikan pada khususnya, dan institusi pemerintahan pada umumnya.

Dari sinilah mulai terbentuk gagasan, dari penulisan tugas akhir ini guna membantu guru membuat bahan ajar, dalam bentuk buku suplemen pembelajaran fisika yang dipadukan dengan pengenalan objek potensi daerah energi ramah lingkungan untuk peserta didik khususnya SMA/MA. Sehingga harapan nantinya peserta didik dapat menjadi penggerak pembangunan energi terbarukan/ramah lingkungan di beberapa daerah potensi, dalam hal ini pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Selain itu, dengan adanya buku suplemen ini, terbuka

peluang-peluang ide kreatif kawula muda untuk bisa mengembangkan potensi daerah di lingkungannya masing-masing.

Hal penting lain, dari penulisan penelitian ini adalah, salah satu bentuk dari wujud gerakan peralihan energi konvensional ke energi terbarukan yang dicanangkan dunia untuk tahun 2050. Pemenuhan kebutuhan untuk energi listrik sepenuhnya akan dipenuhi dengan pembangkit listrik energi terbarukan. Dalam upaya kesana, perlu dilakukan sinergi, baik dari pemerintah, intelektual, dan masyarakat luas untuk mewujudkannya. Sehingga dari penulisan penelitian ini, setidaknya bisa berguna sebagai stimulus akan rencana jangka pendek maupun jangka panjangnya.

## **B. Identifikasi Masalah**

1. Kurangnya pengenalan masyarakat tentang Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).
2. Kurangnya program aktif dalam rangka mengembangkan energi terbarukan (*renewable energy*).
3. Sosialisasi terkait *renewable energy* dan *green technology* sangatlah kurang dalam pembelajaran di sekolah.
4. Kajian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) kurang menyeluruh pada lembaga pendidikan SMA/MA.
5. Bahan ajar (buku pengayaan) tentang Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH) yang terintegrasi dengan materi fisika, minim sekali dalam satuan pendidikan sekolah menengah.

### **C. Batasan Masalah**

Penelitian ini dibatasi pada masalah yaitu mengembangkan buku pengayaan fisika tentang Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro untuk materi fluida, usaha-energi, dan kelistrikan.

### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan batasan masalah diatas, dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah, sebagai berikut :

1. Bagaimana mengembangkan buku pengayaan fisika berbasis *green technology* dengan tema Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) untuk SMA/MA?
2. Bagaimana kelayakan buku pengayaan fisika berbasis *green technology* dengan tema Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) untuk SMA/MA yang dikembangkan ?

### **E. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengembangkan/menghasilkan buku pengayaan fisika berbasis *green technology* dengan tema Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) untuk SMA/MA melalui proses pengembangan.
2. Mengetahui kelayakan buku pengayaan fisika berbasis *green technology* dengan tema Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) untuk SMA/MA yang dikembangkan.

## **F. Spesifikasi Produk yang Dikembangkan**

Spesifikasi produk yang dihasilkan dari penelitian pengembangan ini adalah sebagai berikut :

1. Buku pengayaan fisika yang berisi materi fisika dengan konsep-konsep dalam disiplin ilmu pengetahuan khususnya yang bersangkutan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro untuk siswa SMA/MA.
2. Berbentuk media cetak dengan unsur terdiri atas teks, gambar dan disertai dengan evaluasi dan glosarium.

## **G. Manfaat Penelitian**

Berdasarkan identifikasi masalah, rumusan masalah, dan tujuan penelitian, manfaat yang diharapkan dapat diperoleh setelah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat untuk Sekolah
  - a. Sebagai sarana menambah ketersediaan buku tentang energi yang berkaitan dengan materi pembelajaran.
  - b. Sebagai sarana menambah ketersediaan buku pembelajaran pengayaan pelajaran.
2. Manfaat untuk Guru
  - a. Sebagai sarana guru dalam memberikan pembelajaran pengayaan diluar materi pembelajaran.

- b. Sebagai tambahan referensi guru dalam menyampaikan materi usaha&energi, listrik dan fluida.

### 3. Manfaat untuk Siswa

- a. Sebagai sarana siswa untuk menambah wawasan dan pengayaan materi diluar materi.
- b. Sebagai sarana siswa menambah wawasan mengenai bentuk perubahan energi.
- c. Sebagai sarana siswa untuk mengenali lebih lanjut potensi alam disekitar mereka.

### 4. Manfaat untuk Peneliti

- a. Sebagai sarana mengembangkan kreativitas dalam berkarya.
- b. Sebagai sarana mengenalkan potensi lokal yang masih belum dikenal luas di kalangan pelajar.

## **H. Batasan Pengembangan**

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan model 3-D meliputi *define* (pendefinisian), *design* (perencanaan), dan *develop* (pengembangan) yang diadaptasi dari pengembangan perangkat model 4-D (*four D model* ) yang dikemukakan oleh Thiagarajan dan Semmel (1974) hingga sampai pada tahap penilaian validator ahli.

## I. Definisi Istilah

Untuk menghindari kesalahan penafsiran, maka diberikan beberapa definisi tentang istilah-istilah yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

1. Penelitian pengembangan adalah metode penelitian yang digunakan untuk mengembangkan atau memvalidasi produk-produk yang digunakan dalam pendidikan dan pembelajaran
2. Sumber belajar adalah informasi yang disajikan dan disimpan dalam bentuk media, yang dapat membantu siswa dalam belajar sebagai perwujudan dari kurikulum
3. Buku pengayaan adalah buku yang dapat berfungsi sebagai bahan pengayaan bagi anak, baik yang berhubungan dengan pelajaran maupun yang tidak.
4. *Green technology* merupakan integrasi antara teknologi modern dan ilmu lingkungan yang diaplikasikan untuk melestarikan pemenuhan kebutuhan masyarakat secara berkelanjutan di masa depan tanpa merubah lingkungan dan sumber daya alam.
5. *Renewable energy* atau energi terbarukan adalah energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan seperti tenaga surya, tenaga angin, arus air, proses biologi dan panas bumi, sehingga dapat dikatakan ramah lingkungan karena tidak memberikan pengaruh terhadap perubahan iklim dan pemansan global.
6. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro adalah pembangkitan listrik dihasilkan oleh generator listrik DC atau AC. Mikrohidro berasal dari

kata *micro* yang berarti kecil dan *hydro* artinya air, arti keseluruhan adalah pembangkitan listrik daya kecil yang digerakkan oleh tenaga air. Tenaga air besaral dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Telah dikembangkan produk berupa buku pengayaan fisika berbasis *green technology* dengan tema Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro untuk SMA/MA dengan menggunakan model pengembangan yang diadaptasi dari Four-D Model oleh Thiagarajan Semmel and Semmel.
2. Buku ini telah tervalidasi dan dinyatakan layak, sehingga dapat digunakan oleh siswa SMA/MA di sekolah, maupun oleh khalayak umum.

#### **B. Saran Pemanfaatan dan Pengembangan Produk Lebih Lanjut**

##### **1. Saran Pemanfaatan**

Buku pengayaan fisika berbasis *green technology* dengan tema Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro untuk SMA/MA diharapkan dapat digunakan oleh siswa maupun masyarakat luas untuk menambah pengetahuan mengenai adanya Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dan energi terbarukan.

##### **2. Saran Diseminasi**

Buku pengayaan ini akan dapat lebih efisien untuk penyebarannya jika dijadikan *soft file* dalam bentuk pdf sehingga dapat

di kopi oleh siswa, dan juga dapat diupload di internet sehingga masyarakat luas, dapat turut serta menggunakannya.



## DAFTAR PUSTAKA

### Buku

- Abdullah, Mikrajuddin. 2007. *Catatan Kuliah: Fisika Dasar 1*. Bandung: Institute Teknologi Bandung.
- ABS Alaskan. 2002. *Micro Hydro Power: A Guide to Small-Scale Water Power System*
- Sulasno. 2009. *Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Anonim. 2014. *Buku Konversi Energi 1*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Anonim. 2013. *Buku Konversi Energi 2*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Atmadi. 2014. *Pembangkit Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Depdiknas. 2008. *Panduan Bahan Ajar*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Atas.
- Fowles and Cassiday. 2005. *Analytical Mechanics*. United States of America: Thomson Learning.
- Furoidah, Innay. 1993. *Fisika Dasar I*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika*. Edisi Kelima Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, Resnick. 2012. *Fisika Jilid 1 Edisi Ketiga (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- Hugh D. Young dan A. Freedman. 2002. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- IBEKA. 2005. *Manual Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*, Institut Bisnis dan Ekonomi Kerakyatan.
- Integrated Microhydro Development and Application Program (IMIDAP). 2009. *Pedoman Studi Kelayakan PLTMH*. Jakarta: Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Intelligent Automation Research Group. 2011. *Majalah Energi edisi Segarnya Bisnis Mikro Hidro*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Kadir, Abdul. 2010. Energi: *Sumberdaya, Inovasi, Tenaga Listrik, dan Potensi Ekonomi*. Jakarta: UI Press.

Sugiyono, Agus dkk. 2016. *Outlook Energi Indonesia 2016 “Pengembangan Energi untuk Mendukung Industri Hijau”*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPTP).

Sugiyono, Agus. 2010. *Pengembangan Energi Alternatif Di Daerah Istimewa Yogyakarta: Prospek Jangka Panjang*. Yogyakarta: Prosiding Call for Paper Seminar Nasional VI Universitas Teknologi Yogyakarta 2010.

Thiagarajan, Sivasailam dkk. 1974. *Instructional Development for Training Teacher of Exceptional Children : A Sourcebook*. Washington DC: National Centre for Improvement of Educational

The Natural Resources Governance Institute-Universitas Gadjah Mada. 2015. *RPJMN 2015-2019*. Yogyakarta: Media Data Riset.

Tim Contained Energy Indonesia. 2014. *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*. Jakarta: Program Nasional Pemberdayaan Masyarakat Lingkungan Mandiri Perdesaan (PNPM-LMP).

Tippler, Paul A. 2001. *Physics for Scientist and Engineering*. Terjemah Bambang Soegojono. Jakarta: Erlangga

## Internet

Kemenristekdikti. Peraturan Menteri Pendidikan Nomor 2 Tahun 2008. <http://kelembagaan.ristekdikti.go.id/wp-content/uploads/2016/12/Isi-Permendiknas-2-thn-2008.pdf>. Diakses pada tanggal 3 Januari 2017 pukul 20.12

Wikipedia. *Energi Terbarukan*. [http://wikipedia.org/wiki/Energi\\_terbarukan](http://wikipedia.org/wiki/Energi_terbarukan). Diakses pada tanggal 4 Desember 2016 pukul 21.03

Wikipedia. *Sustainable Energy*. [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Sustainable\\_energy](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Sustainable_energy). Diakses pada tanggal 5 Desember 2016 pukul 21.10

# LAMPIRAN



### Lampiran 1.a Analisis Kebutuhan Siswa

#### LEMBAR ANGKET SISWA

Nama : *Dayu H*  
 Kelas : *XII MTA 4*

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan memberikan tanda ceklist pada pernyataan yang sesuai dengan keadaan anda!

Pernyataan	Ya	Tidak
Apakah materi usaha dan energi mudah dipahami	✓	
Saya dapat menyebutkan macam-macam sumber energi	✓	
Apakah materi fluida mudah dipahami	✓	
Apakah materi listrik mudah dipahami	✓	
Saya memahami proses perubahan energi	✓	
Saya senang membaca buku yang memuat pemanfaatan teknologi sederhana	✓	
Saya sudah mengetahui keberadaan PLTMH Singosaren, Wukirsari, Bantul		✓
Saya dapat menyebutkan macam-macam energi terbarukan		✓
Saya senang membaca buku yang memuat pengayaan materi pelajaran	✓	

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
**YOGYAKARTA**

## **Lampiran 1.b Hasil Wawancara Guru Fisika MAN Wonokromo**

### **LEMBAR WAWANCARA GURU FISIKA**

1. Apakah menurut ibu, materi usaha dan energi mudah disampaikan?  
Jawab : *sebenarnya semua materi mudah dipahami, namun kemampuan siswa yang beragam menjadi tantangan saya untuk dapat mengembangkan metode, model dan sumber belajar. Materi usaha dan energi memiliki kategori capaian hasil belajar yang memuaskan, sehingga dapat dikatakan siswa dapat memahami materi usaha dan energi dengan baik.*
2. Apakah menurut ibu, materi fluida dinamis mudah disampaikan?  
Jawab : *hampir serupa dengan jawaban yang tadi, namun untuk materi fluida ini, kekurangan media pembelajaran baik untuk materi dan media praktikum.*
3. Apakah menurut ibu, materi kelistrikan mudah dipahami siswa dan mudah disampaikan?  
Jawab : *materi kelistrikan masuk pada kategori susah, namun demikian siswa mudah memahami dengan adanya praktikum dan ilustrasi langsung.*
4. Apakah ketersediaan buku pengayaan yang terintegrasi antara materi fisika dan aplikasinya sudah ada?  
Jawab : *sudah ada beberapa, namun masih dapat dikatakan minim.*
5. Apakah ada buku pengayaan aplikasi materi fisika yang berkaitan dengan pembangkit listrik energi terbarukan?  
Jawab : *belum ada di sekolah kami*
6. Apakah ibu, mengetahui keberadaan dari potensi sumber energi terbarukan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Singosaren di daerah Wukirsari?  
Jawab : *saya pernah dengar, tapi tidak paham keberadaanya.*

Guru Fisika  
  
 Dra. Parwiti, M.Pd.Si

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
**YOGYAKARTA**

**Lampiran 3.1 Produk Awal**

# PLTMH

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO



KARYA

MUHAMMAD ZAINUDDIN AS

BUKU PENGAYAAN

## Daftar Isi

Kata Pengantar .....	i
Daftar Isi .....	ii
Bab I Energi Terbarukan	
A. Energi.....	2
1. Sumber Energi .....	2
2. Energi di Indonesia.....	3
3. <i>Green Technology</i> .....	6
4. Energi Terbarukan .....	7
5. Memahami Energi.....	13
a. Konsep Energi.....	13
b. Macam-macam Energi.....	15
6. Pentingnya Sumber Energi.....	19
Bab II Energi Air	
A. Pembangkit Listrik.....	21
B. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).....	23
1. Pengertian Mikro Hidro .....	23
2. Prinsip Kerja PLTMH.....	23
3. Konversi Energi PLTMH.....	23
4. Bagian-bagian PLTMH .....	23
5. Perhitungan Teknis .....	25
C. Tipe-tipe Turbin .....	30
D. Prinsip Generator pada PLTMH .....	34
E. Konsep Fluida Dinamis dalam PLTMH .....	39
Bab III Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Singosaren, Bantul	
A. PLTMH Singosaren.....	43
B. Spesifikasi dan Informasi PLTMH Singosaren .....	45
C. Potensi PLTMH di DIY .....	48
Daftar Pustaka .....	49
Glosarium .....	50

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Panyayang, dengan ini kami panjatkan puji syukur atas kehadirat-Nya, yang telah melimpahkan rahmat-Nya kepada kami, sehingga kami dapat menyelesaikan "Buku Pengayaan PLTMH untuk SMA/MA"

"Buku Pengayaan PLTMH untuk SMA/MA" ini telah kami usahakan semaksimal mungkin dan tentunya dengan bantuan dari banyak pihak, sehingga dapat memperlancar proses pembuatan buku ini. Oleh sebab itu, kami juga ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu kami dalam pembuatan buku pengayaan ini.

Akhirnya penyusun mengharapkan semoga "Buku Pengayaan PLTMH untuk SMA/MA" ini dapat diambil manfaatnya sehingga dapat memberikan tambahan wawasan serta inspirasi terhadap pembaca. Selain itu, kritik dan saran dari Anda kami tunggu untuk perbaikan buku pengayaan ini nantinya.

Yogyakarta, Agustus 2017

Penulis



## Daftar Isi

Daftar Isi .....	i
Kata Pengantar.....	ii
Bab I Energi Terbarukan	
A. Pendahuluan .....	1
B. Tujuan.....	2
C. Tentang Energi .....	3
a. Sumber Energi .....	3
b. Pentingnya Sumber Energi.....	4
c. Energi di Indonesia .....	5
d. Energi Terbarukan .....	9
e. Memahami Energi .....	15
1. Konsep Energi.....	15
2. Macam-macam Energi.....	17
Bab II Energi Air	
A. Pembangkit Listrik .....	20
B. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) .....	22
a. Pengertian Mikro Hidro .....	22
b. Prinsip Kerja PLTMH .....	22
c. Konversi Energi PLTMH .....	22
d. Bagian-bagian PLTMH.....	22
e. Perhitungan Teknis .....	24
C. Tipe-tipe Turbin .....	28
D. Prinsip Generator pada PLTMH .....	30
E. Konsep Fluida Dinamis dalam PLTMH.....	39
Bab III Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Singosaren, Bantul	
A. PLTMH Singosaren .....	43
B. Spesifikasi dan Informasi PLTMH Singosaren .....	45
C. Potensi PLTMH di DIY dan Jawa Tengah .....	46
DAFTAR PUSTAKA .....	47
GLOSARIUM .....	48

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Panyayang, dengan ini kami panjatkan puji syukur atas kehadiran-Nya, yang telah melimpahkan rahmat-Nya kepada kami, sehingga kami dapat menyelesaikan "Buku Pengayaan PLTMH untuk SMA/MA"

Adapun "Buku Pengayaan PLTMH untuk SMA/MA" ini, telah kami usahakan semaksimal mungkin dan tentunya dengan bantuan dari banyak pihak, sehingga dapat memperlancar proses pembuatan buku ini. Oleh sebab itu, kami juga ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu kami dalam pembuatan buku pengayaan ini.

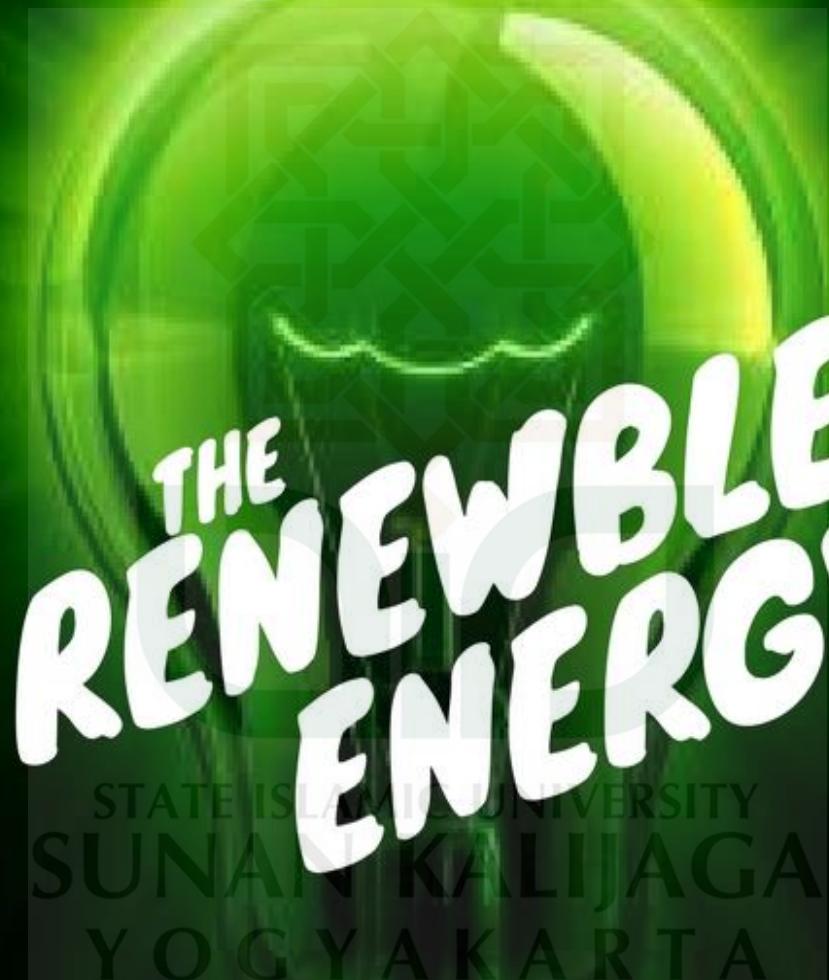
Akhirnya penyusun mengharapkan semoga dari "Buku Pengayaan PLTMH untuk SMA/MA" ini dapat diambil manfaatnya sehingga dapat memberikan tambahan wawasan serta inspirasi terhadap pembaca. Selain itu, kritik dan saran dari Anda kami tunggu untuk perbaikan makalah ini nantinya.

Yogyakarta, Juli 2017

Penyusun



# Bab I



*menyongsong Indonesia mandiri energi*

## A. Pendahuluan

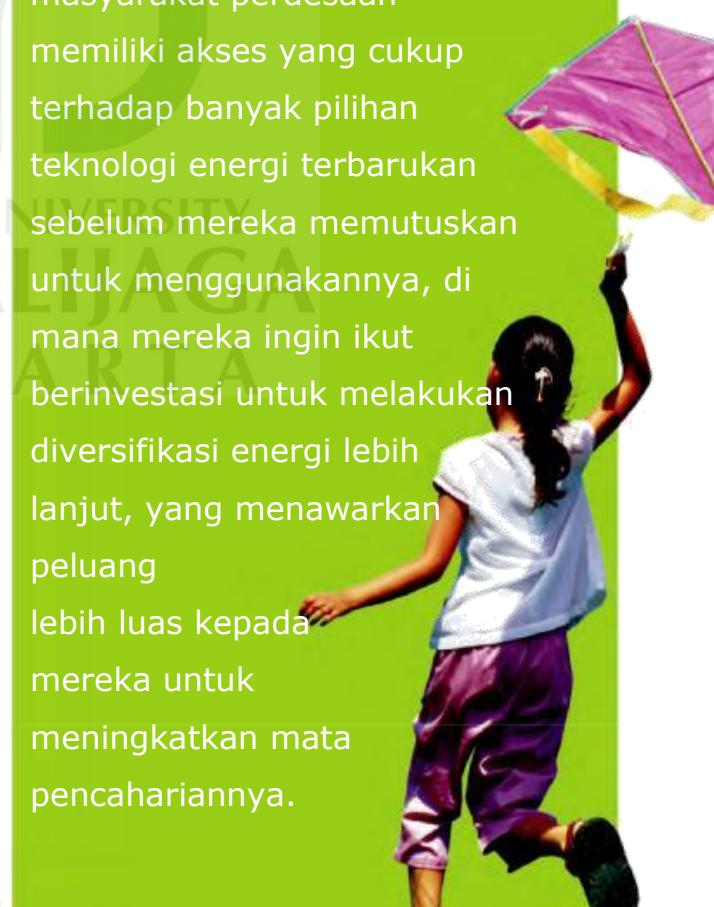
Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat mengakibatkan kebutuhan energi terus meningkat. Hal ini bertolak belakang dengan ketersediaan energi fosil yang selama ini menjadi bahan bakar utama yang semakin menipis. Energi fosil sendiri adalah energi yang tidak dapat diperbaharui karena membutukan waktu yang sangat lama dalam pembentukannya. Selain dari kebutuhan energi yang terus bertambah, terjadinya lonjakan harga minyak di dunia pun memberikan andil dalam kebutuhan energi. Hal ini diakibatkan oleh beberapa faktor, diantaranya menipisnya cadangan minyak bumi di belahan dunia, ketidakstabilan harga minyak, meningkatnya pencemaran-pencamaran lingkungan akibat dari penggunaan minyak fosil yang berakibat meningkatnya gas  $CO^2$ , dan menipisnya lapisan ozon di atmosfer yang pada suatu ketika dapat menimbulkan malapetaka bagi manusia maupun lingkungan hidup lainnya. Dari penjelasan faktor-faktor di atas, beberapa negara telah melakukan berbagai penelitian dan pengembangan untuk menemukan alternatif pengganti Bahan Bakar Minyak (BBM) yang selama ini dijadikan sebagai sumber energi utama dunia digantikan dengan sumber energi terbarukan (*renewable energy*). Kebijakan lain adalah pengendalian subsidi, khususnya subsidi energi melalui kebijakan penyesuaian harga BBM bersubsidi dan tarif tenaga listrik, serta pengendalian volume konsumsi BBM bersubsidi melalui substitusi BBM dengan menggunakan bahan bakar alternatif. Penerapan kebijakan ini diharapkan dapat menurunkan konsumsi BBM bersubsidi pada RAPBN-P 2015 yang mencapai Rp81.815,9 miliar, atau penurunan sebesar Rp194.197,3 miliar dibandingkan dengan pagunya Rp276.013,2 miliar pada APBN tahun 2015.

Di seluruh Indonesia, ada banyak sekali informasi dan bantuan teknis yang bisa diakses oleh masyarakat yang ingin berinvestasi dalam pembangunan energi terbarukan, namun terkendala dana dan keberanian masyarakat dalam gerak dan inovasinya.



Gambar 1.1 Green Technology  
Sumber : [www.metamekanik.blogspot](http://www.metamekanik.blogspot)

Tantangan yang ada di hadapan kita adalah memastikan bahwa masyarakat perdesaan memiliki akses yang cukup terhadap banyak pilihan teknologi energi terbarukan sebelum mereka memutuskan untuk menggunakan, di mana mereka ingin ikut berinvestasi untuk melakukan diversifikasi energi lebih lanjut, yang menawarkan peluang lebih luas kepada mereka untuk meningkatkan mata pencahariannya.



## B. Tujuan

Tujuan dari buku pengayaan ini adalah memberikan referensi yang berguna kepada para pelajar pada khususnya dan pada masyarakat pada umumnya, mengenai energi terbarukan (dalam hal ini Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro). Buku ini dimaksudkan untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai pilihan energi terbarukan untuk digunakan di berbagai konteks perdesaan di Indonesia. Dalam buku ini, akan dipaparkan berkaitan proses dan pengelolaan yang diintegrasikan dengan materi fisika sekolah menengah. Kemudian dilengkapi dengan studi kasus yang menjelaskan pelaksanaannya di PLTMH Singosaren yang ada di daerah Bantul, Yogyakarta.

Bagi peserta didik : memberikan tambahan wawasan terkait dengan materi yang diajarkan di kelas, sehingga konteks teknologi dan materi fisika, dapat di konkretkan dalam kegiatan sehari-hari, selain itu juga untuk memotivasi peserta didik mampu menginisiasi pembangunan bahkan mengembangkan

Bagi Masyarakat Perdesaan: Teknologi Energi Terbarukan merupakan hal baru bagi kebanyakan daerah pedesaan di Indonesia. Dengan materi dalam buku ini, maka anda akan melihat bagaimana masyarakat-masyarakat seperti dilingkungan anda sendiri telah belajar bagaimana bekerjasama dalam berbagai cara yang baru untuk melakukan penyempurnaan yang signifikan dengan mengadaptasi berbagai teknologi yang sederhana.



Gambar 1.2 Dunia Ramah Lingkungan

<http://www.nuclear-21.net>

## C. Tentang Energi

**Apa yang dimaksud dengan energi?**

Secara sederhana, Energi merupakan salah satu konsep yang paling penting dalam sains.

Secara sederhana pengertian energi adalah "kemampuan untuk melakukan kerja" (Giancoli, 2001:178)

Ketidakstabilan politik dan perubahan iklim merupakan salah satu faktor eksternal utama yang telah merubah paradigma energi dan memaksa dunia beradaptasi untuk mencapai keamanan energi jangka panjang yang berkelanjutan. SDG (*Sustainable Development Goal*) yang diresmikan pada United Nations Summit di New York pada bulan September 2015 lalu merupakan perwujudan usaha dunia internasional dalam menjawab tantangan ini. SDG adalah capaian dan indikator yang digunakan oleh negara anggota PBB untuk merancang agenda dan kebijakan politik hingga tahun 2030, menggantikan MDG (*Millennium Development Goal*) yang telah berakhir tahun 2015.

Konsep industri hijau, sebagaimana yang tercantum dalam UU No 3 tahun 2014 tentang perindustrian, adalah salah satu solusi yang paling menjanjikan. Industri hijau adalah industri yang dalam proses produksinya mengutamakan upaya efisiensi dan efektivitas penggunaan sumber daya secara berkelanjutan. Industri hijau dapat menyelaraskan pembangunan industri dengan kelestarian fungsi lingkungan hidup serta dapat memberikan manfaat bagi masyarakat.

### 1. Sumber Energi

**Energi konvensional** adalah energi yang diambil dari sumber yang hanya tersedia dalam jumlah terbatas di bumi dan tidak dapat diregenerasi. Sumber-sumber energi ini akan berakhir cepat atau lambat dan berbahaya bagi lingkungan.

**Energi terbarukan** adalah energi yang dihasilkan dari sumber alami seperti matahari, angin, dan air dan dapat dihasilkan lagi dan lagi. Sumber akan selalu tersedia dan tidak merugikan lingkungan.

Sumber-sumber energi Konvensional dan Terbarukan bisa dikonversikan menjadi sumber-sumber energi sekunder, seperti listrik. Listrik berbeda dari sumber-sumber

energi lainnya dan dinamakan sumber energi sekunder atau pembawa energi karena dimanfaatkan untuk menyimpan, memindahkan atau mendistribusikan energi.



Gambar 1.3 Pengguna Energi

## 2. Energi di Indonesia

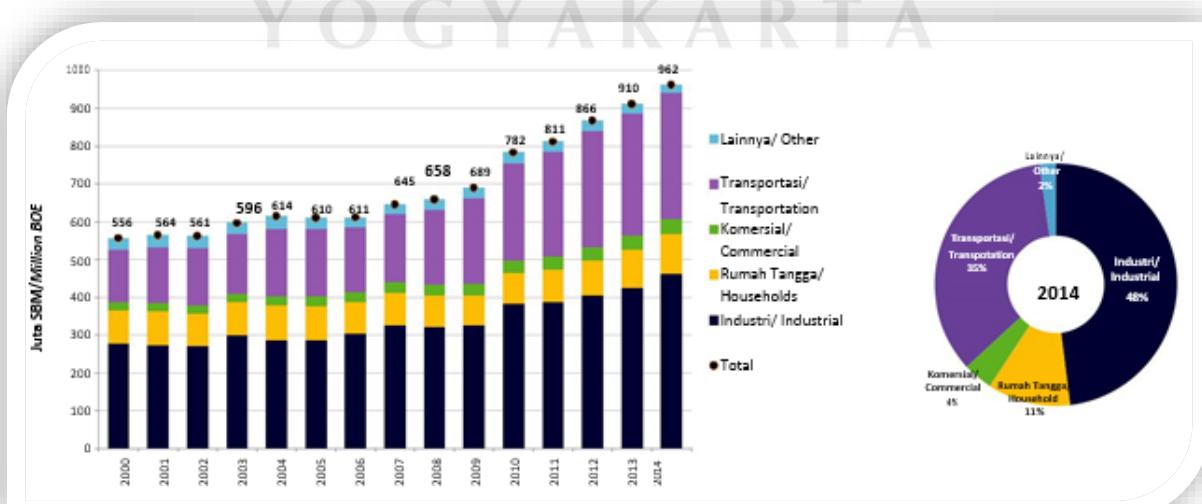
**A**akhir-akhir ini, pemerintah terus mengembangkan berbagai energi alternatif guna mengimbangi kebutuhan akan energi listrik nasional, yakni dengan mengembangkan energi terbarukan / *renewable energy*. Potensi energi terbarukan, seperti biomassa, panas bumi, energi surya, energi air, dan energi angin sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan, padahal potensi energi terbarukan di Indonesia sangat besar.

Senada dengan program pemerintah diatas, Menteri ESDM Sudirman Said mengatakan bahwa Kementerian ESDM saat ini fokus pada penyelesaian masalah akses listrik melalui Program Indonesia Terang (PIT). Program Indonesia Terang (PIT) adalah program melistriki desa-desa di Indonesia yang selama ini masih belum mendapatkan penerangan listrik dengan baik. Menurut beliau, membangun kelistrikan di wilayah daratan luas, lebih gampang daripada di daerah-daerah kepulauan seperti yang telah disebutkan di atas.

Indonesia berencana untuk meningkatkan porsi pemanfaatan energi terbarukan, yang sangat sesuai untuk dikembangkan di daerah-daerah perdesaan dan daerah terpencil. Kebijakan Energi Nasional saat ini telah menetapkan target pembangunan energi jangka-panjang, meningkatkan peran energi yang baru dan terbarukan hingga 25% dari konsumsi energi primer pada tahun 2025.

Dukungan yang lebih besar dari para pemangku kepentingan dan pelaksanaan teknologi yang telah disempurnakan bisa melampaui sasaran tersebut, di mana 25% sumber-sumber energi berasal dari sumber energi baru dan terbarukan pada tahun 2025. Sasaran yang ambisius ini disosialisasikan sebagai "Visi 25/25."

Peningkatan konsumsi energi final per sektor selalu terjadi setiap tahun pada periode 2000-2014, kecuali pada tahun 2005 dan 2006. Rata-rata pertumbuhan tahunan selama periode 2000-2014 adalah 3,99% per tahun dari 555,88 juta SBM pada tahun 2000 menjadi 961,39 juta SBM pada tahun 2014.



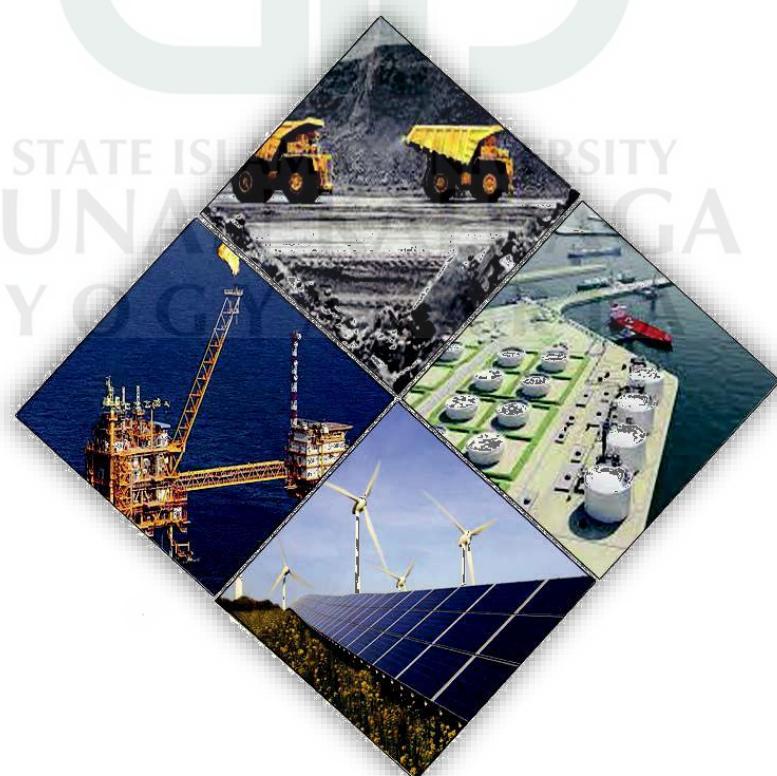
Gambar 1.4 Konsumsi Energi Final Per Sektor  
Sumber : Buku Panduan Energi yang Terbarukan, PNPM 2014

Data ini didapatkan dari *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia* (HEESI) tahun 2015 yang diterbitkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). Total konsumsi energi final per sektor yang dibahas disini tidak memperhitungkan konsumsi produk petroleum lainnya. Perhitungan konsumsi energi final mencakup sektor industri, rumah tangga, komersial, transportasi, dan lainnya. Sektor lainnya meliputi pertanian, konstruksi, dan pertambangan, sementara sektor komersial meliputi hotel, restoran, rumah sakit, super market, gedung perkantoran, dll.

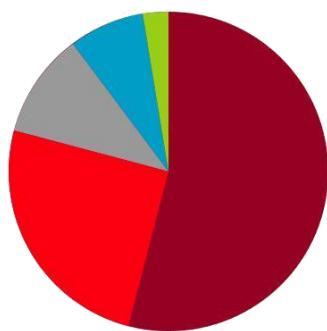
Selama tahun 2000–2014 terjadi penurunan konsumsi energi final terutama pada tahun 2005 dan 2006. Hal ini disebabkan oleh kenaikan harga BBM yang membuat produktivitas industri menurun yang berdampak terhadap penurunan konsumsi energi final sektor transportasi pada tahun

2006. Kebijakan kenaikan harga jual BBM mendorong peningkatan inflasi. Menurut data Bank Indonesia, inflasi pada Januari 2005 mencapai 7,32% dan naik menjadi 17,1% pada Desember 2005.

Konsumsi energi final tertinggi pada periode 2000-2014 terjadi pada sektor industri, diikuti rumah tangga dan transportasi, serta yang paling rendah adalah komersial dan lainnya. Tetapi rata-rata kenaikan pertumbuhan tahunan paling tinggi adalah sektor transportasi sebesar 6,46%. Hal ini disebabkan oleh jumlah kendaraan di Indonesia yang meningkat tajam dari 19 juta kendaraan pada tahun 2000 menjadi 114 juta kendaraan pada tahun 2014 dengan rata-rata kenaikan per tahunnya sebesar 13,7% berdasarkan data Statistik Transportasi Darat 2014.



Gambar 1.5 Sumber Energi



Gambar 1.6 Konsumsi Energi Primer Berdasarkan Sumbernya Tahun 2001

Sumber : Buku Panduan Energi yang Terbarukan, PNPM 2014

Minyak	57%
Gas alam	25%
Batubara	13%
Tenaga air	4%
Panas bumi	1%

Sumber-sumber energi konvensional primer diambil dari tanah dalam bentuk cair (minyak & petroleum), gas (gas alam) dan padat (batubara & uranium). Sumber-sumber energi yang ada di indonesia saat ini terdiri dari sumber minyak yang terbatas, sumber gas alam yang cukup, dan sumber batubara yang melimpah, serta energi panas bumi. Gambar 1.6 memperlihatkan bahwa minyak adalah sumber energi primer utama di Indonesia. Tenaga nuklir tidak digunakan, namun disebutkan pada Buku Panduan ini sebagai sumber energi primer konvensional, untuk menekankan pernyataan ini kita lihat fakta berikut:

“Bahan Bakar Fosil merupakan sumber energi tidak terbarukan tetapi tidak semua sumber energi tidak terbarukan adalah bahan bakar minyak (contoh: uranium).

### Bagaimana cara kerjanya?

Bahan bakar fosil bisa langsung dibakar pada tungku atau kompor dan akan menghasilkan panas yang bisa dimanfaatkan untuk proses industri atau sekedar untuk memasak.

Bahan bakar minyak bisa digunakan sebagai sumber energi primer untuk transportasi. Campuran udara dan bahan bakar fosil dibakar di dalam mesin dan energi panas yang dihasilkan dikonversi menjadi energi mekanik yang menggerakkan sepeda motor, mobil atau kapal. Generator mesin diesel bekerja dengan cara yang sama dengan mesin mobil. Namun, energi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan poros genset digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Batubara dan gas alam dibakar di pembangkit listrik thermal untuk menghasilkan listrik dengan skala besar (untuk kota-kota besar).



Gambar 1.7 Pembangkit Listrik Tenaga Batubara

Pembangkit listrik tenaga batubara adalah pembangkit listrik thermal paling awal dibangun yang menggunakan bahan bakar fosil. Pembangkit listrik tenaga batu bara membakar batubara untuk memanaskan air uap, terutama baling-baling besar dengan bilah-bilah logam yang dikemas rapat untuk membangkitkan tenaga. Diagram pembangkit listrik diperlihatkan pada Gambar 3.3 dan prinsip pengoperasiannya dijelaskan pada diagram berikut.

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) bekerja atas prinsip yang sama dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Tetapi, turbin gas lah yang digunakan untuk menciptakan energi, mesin rotasi bukannya turbin uap. Pada langkah 4, paduan gas dan udara dinyalakan dan menggerakkan turbin gas. Proses operasional Pembangkit Listrik Tenaga Gas selanjutnya mirip dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap.

## Perlu diketahui



### Efek rumah kaca dan perubahan iklim

Efek rumah kaca adalah proses di mana atmosfer menangkap sebagian energi matahari yang memanaskan bumi dan membuat iklim kita tidak terlalu panas. Perkembangan buatan manusia menambah 'gas rumah kaca' di atmosfer yang menyebabkan peningkatan suhu global dan gangguan iklim. Gas rumah kaca ini mencakup karbon dioksida, yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil dan penggundulan hutan, metan yang dilepaskan dari pertanian, hewan dan lokasi penimbunan tanah, serta berbagai bahan kimia industri. Setiap hari kita menyumbangkan dampak negatif terhadap iklim kita dengan membakar bahan bakar fosil (minyak, batubara dan gas) untuk energi dan transportasi. Hasilnya, perubahan iklim telah mulai mempengaruhi kehidupan kita, dan diprediksikan bisa menghancurkan mata pencaharian banyak orang di negara berkembang, serta menimbulkan dampak negatif pada alam dan lingkungan pada dekade-dekade mendatang. Dengan demikian, kita harus secara signifikan mengurangi emisi gas rumah kaca. Hal ini masuk akal jika dipandang dari segi lingkungan maupun perekonomian.



### 3. Energi Terbarukan

#### Apakah yang dimaksud dengan Energi Terbarukan?

Energi terbarukan adalah sumber-sumber energi yang bisa habis secara alamiah. Energi terbarukan berasal dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar, misal: matahari, angin, sungai, tumbuhan dsb. Energi terbarukan merupakan sumber energi paling bersih yang tersedia di planet ini. Terbarukan merupakan sumber energi paling bersih yang tersedia di planet ini.

**Tabel Sumber Daya Energi Fosil**

No.	Jenis Energi	Satuan	Sumber Daya	Cadangan	
1	<b>Minyak Bumi</b>	<b>Miliar Barel</b>	<b>151</b>	<i>Proven</i>	<b>3.6</b>
				<i>+Potential</i>	<b>7.4</b>
2	<b>Gas Bumi</b>	<b>TSCF</b>	<b>487</b>	<i>Proven</i>	<b>100.3</b>
				<i>+Potential</i>	<b>149.3</b>
3	<b>Batubara</b>	<b>Miliar Ton</b>	<b>120.5</b>		<b>31.35</b>

Sumber: Outlook Energi BPTP (2015)

#### A. Potensi Sumber Daya Energi Fosil

Indonesia memiliki potensi energi fosil yang cukup beragam yaitu minyak bumi, gas bumi dan batubara. Cadangan terbukti minyak bumi sebesar 3,6 miliar barel, gas bumi sebesar 100,3 TCF dan cadangan batubara sebesar 31,35 miliar ton. Bila diasumsikan tidak ada penemuan cadangan baru maka minyak bumi akan habis dalam 13 tahun, gas bumi 34 tahun dan batubara 72 tahun. Energi fosil telah menjadi penggerak pertumbuhan ekonomi Indonesia dimasa lalu dan saat ini, dimasa depan masih ada potensi energi lainnya seperti *coal bed methane, shale gas*, dan energi baru.

#### B. Potensi Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan

Selama ini peranan energi fosil masih mendominasi pemanfaatan energi Indonesia. Diperlukan adanya perubahan paradigma pengelolaan energi yang mengedepankan diversifikasi dan konservasi energi sehingga peran EBT akan lebih maksimal. EBT diharapkan dapat menjadi penopang utama penyediaan energi nasional di masa depan. Oleh karena itu sebagai langkah awal, proses pemetaan potensi EBT Indonesia penting untuk dilakukan.

**Tabel Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan**

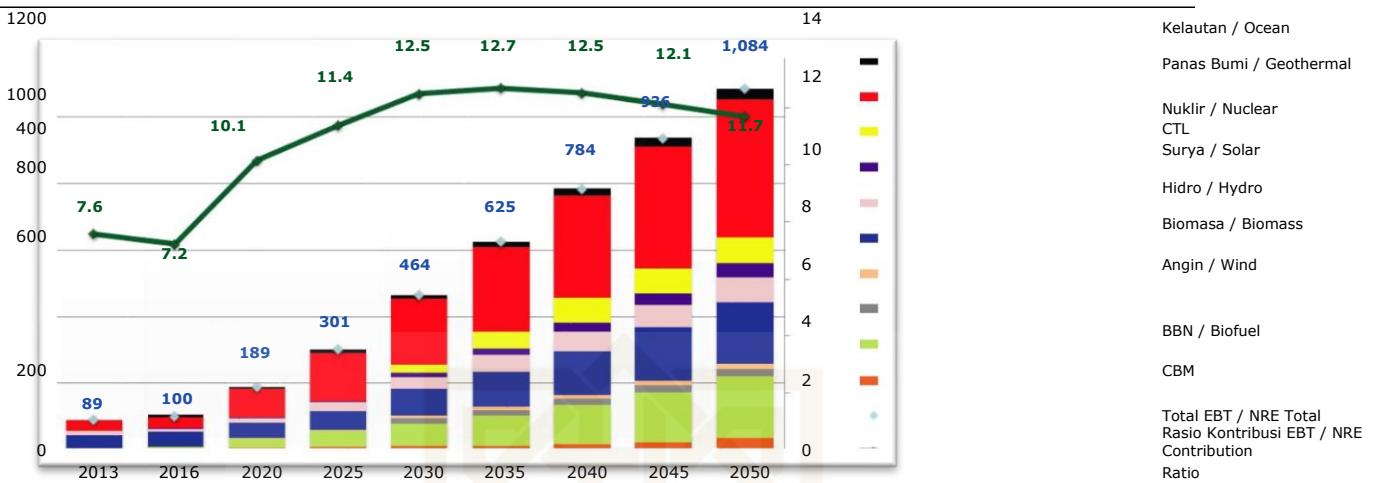
No	Jenis Energi	Sumber Daya	Cadangan	Kapasitas Terpasang
1	Panas Bumi	12,386 Mwe	16,524 Mwe	1,343 MW
2	Hidro	75,000 MW		8,671MW
3	Biomassa	32,654 Mwe		1,626 Mwe (off Grid), 90,5 (On Grid)
4	Energi Surya	4.80 kWh/m <sup>2</sup> /day*		19.2 MW
5	Energi angin	970 MW		1.96 MW*
6	Uranium	3000 MW**		30 MW**
7	Gas metana batubara	456.7 TSCF**		
8	<i>Shale gas</i>	574 TSCF**		
9	Gelombang laut	1.995,2 MW (Potensi Praktis)		
10	Energi panas laut	41.012 MW (Potensi Praktis )		
11	Pasang surut	4.800 MW (Potensi Praktis)		

Sumber : Ditjen EBTKE, 2014

### C. Energi Baru Terbarukan

Berdasarkan skenario EB, penyediaan EBT meningkat dengan pertumbuhan 7% per tahun sehingga pada tahun 2050 pemanfaatan EBT bertambah lebih dari 12 kali lipat dari tahun 2013. Dominasi biomassa pada pangsa penyediaan EBT digeser oleh panas bumi mulai pada tahun 2020. Hal ini tidak lepas dari upaya pemerintah dalam mendorong pemanfaatan EBT dalam ketenagalistrikan. Biomassa yang dimaksud disini adalah biomassa yang dapat diperjualbelikan yang dipakai di sektor industri dan sektor komersial.

Sampah untuk pembangkit listrik juga dimasukkan kedalam kategori biomassa namun penggunaan kayu bakar di sektor rumah tangga tidak termasuk. Jenis EBT yang lainnya seperti CBM, CTL, Angin, Tenaga Matahari, Nuklir, dan Kelautan yang sebelumnya tidak muncul di tahun 2013 mulai mengisi bauran energi nasional tahun 2025. Rasio kontribusi EBT terhadap total penyediaan masih cukup rendah, yaitu sebesar 7,27% di tahun 2016, 11,4% di tahun 2025 dan 11,7% di tahun 2050.



**Diagram Proyeksi penyediaan EBT dan rasio kontribusi EBT**

Terlepas dari belum terdatanya pemakaian energi alternatif di banyak industri dalam statistik konsumsi energi (tandan kosong di industri CPO, bagas di industri gula, ban bekas di industri semen, dan municipal waste lainnya), dibutuhkan upaya ekstra dari pemerintah untuk meningkatkan peran EBT dalam bauran energi nasional. Skema yang dijalankan dalam proyeksi pun belum mempertimbangkan skenario-skenario yang mendukung KEN. Oleh karena itu rasio EBT pada skenario EB masih jauh dibawah target KEN sebesar 23% tahun 2025 dan 31% tahun 2050. BBN yang terdiri atas biodiesel dan bioethanol merupakan bahan bakar alternatif yang paling potensial pengganti bahan bakar minyak. Namun masih banyak kendala yang menghambat perkembangan pemakaian BBN di Indonesia. Salah satunya adalah ketersediaan bahan baku. Pengembangan bioethanol masih terkendala dengan ketersediaan lahan untuk bahan baku, tebu contohnya, sehingga belum bisa masuk dalam bauran energi

nasional. Sementara itu penyaluran biodiesel sampai dengan bulan agustus 2015 baru mencapai 8,3% persen dari total penyaluran tahun 2014 atau kurang dari satu juta kiloliter (katadata.co.id, 2015). Penyaluran biodiesel terhambat oleh pasokan FAME (Fatty Acid Methyl Ester) produk turunan minyak sawit yang digunakan sebagai campuran solar, untuk menghasilkan biodiesel yang masih sangat kurang. Harga FAME yang jauh lebih mahal dari harga solar menyebabkan pemasok FAME tidak mau menjual dengan harga beli Pertamina, yaitu 103,5% dari harga MOPS Gasoil dengan kadar sulfur 0,25%. Oleh karena itu perlu ada subsidi harga yang diberikan kepada produsen FAME untuk meningkatkan penggunaan biodiesel. Energi terbarukan adalah sumber-sumber energi yang bisa habis secara alamiah. Energi terbarukan berasal dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar, misal: matahari, angin, sungai, tumbuhan dsb. Energi terbarukan merupakan sumber energi

paling bersih yang tersedia di planet ini. Ada beragam jenis energi terbarukan, namun tidak semuanya bisa digunakan di daerah-daerah terpencil dan perdesaan. Tenaga Surya, Tenaga Angin, Biomassa dan Tenaga Air adalah teknologi yang paling sesuai untuk menyediakan energi di daerah-daerah terpencil dan perdesaan. Energi terbarukan lainnya termasuk Panas Bumi dan Energi

Pasang Surut adalah teknologi yang tidak bisa dilakukan di semua tempat. Indonesia memiliki sumber panas bumi yang melimpah; yakni sekitar 40% dari sumber total dunia. Akan tetapi sumber-sumber ini berada di tempat-tempat yang spesifik dan tidak tersebar luas. Teknologi energi terbarukan lainnya adalah tenaga ombak, yang masih dalam tahap pengembangan.

Berbagai jenis energi terbarukan diantaranya :

#### 1. Energi Solar

Matahari terletak berjuta-juta kilometer dari Bumi (149 juta kilometer) akan tetapi menghasilkan jumlah energi yang luar biasa banyaknya. Energi yang dipancarkan oleh matahari yang mencapai Bumi setiap menit akan cukup untuk memenuhi kebutuhan energi seluruh penduduk manusia di planet kita selama satu tahun, jika bisa ditangkap dengan benar.

#### 2. Tenaga Angin

Pada saat angin bertiup, angin disertai dengan energi kinetik (gerakan) yang bisa melakukan suatu pekerjaan. Contoh, perahu layar memanfaatkan tenaga angin untuk mendorongnya bergerak di air. Tenaga angin juga bisa dimanfaatkan menggunakan baling-baling yang dipasang di puncak menara, yang disebut dengan turbin angin yang akan menghasilkan energi mekanik atau listrik.

#### 3. Biomassa

Biomassa merupakan salah satu sumber energi yang telah digunakan orang sejak dari jaman dahulu kala: orang telah membakar kayu untuk memasak makanan selama ribuan tahun. Biomassa adalah semua benda organik (misal: kayu, tanaman pangan, limbah hewan & manusia) dan bisa digunakan sebagai sumber energi untuk memasak, memanaskan dan pembangkit listrik.

#### 4. Tenaga Air

Tenaga air adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir atau air terjun. Air yang mengalir ke puncak baling-baling atau baling-baling yang ditempatkan di sungai, akan menyebabkan baling-baling bergerak dan menghasilkan tenaga mekanis atau listrik. Tenaga air sudah cukup dikembangkan dan ada banyak pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang menghasilkan listrik di seluruh Indonesia. Pada umumnya, bendungan dibangun di seberang sungai untuk menampung air di mana sudah ada danau. Air selanjutnya dialirkan melalui lubang-lubang pada bendungan untuk menggerakkan baling-baling modern yang disebut dengan turbin untuk menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. Akan tetapi, hampir semua program PLTA kecil di Indonesia merupakan program yang memanfaatkan aliran sungai dan tidak mengharuskan mengubah aliran alami air sungai.

## 5. Energi Panas Bumi

Energi panas bumi adalah energi panas yang berasal dari dalam Bumi. Pusat Bumi cukup panas untuk melelehkan bebatuan. Tergantung pada lokasinya, maka suhu Bumi meningkat satu derajat Celsius setiap penurunan 30 hingga 50 m di bawah permukaan tanah. Suhu Bumi 3000 meter di bawah permukaan cukup panas untuk merebus air. Kadang-kadang, air bawah tanah merayap mendekati bebatuan panas dan menjadi sangat panas atau berubah menjadi uap.

Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTPB) adalah seperti pembangkit listrik tenaga batu bara biasa, hanya tidak memerlukan bahan bakar. Uap atau air panas langsung berasal dari bawah tanah dan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator yang menghasilkan listrik. Lubang-lubang dibor ke dalam tanah dan uap atau air panas keluar dari pipa-pipa dialirkan ke pembangkit listrik tenaga panas bumi untuk menghasilkan listrik.

Tenaga panas bumi bersifat terbarukan selama air yang diambil dari Bumi dimasukkan kembali secara terus-menerus ke dalam tanah setelah didinginkan di pembangkit listrik. Tidak banyak tempat di mana PLTPB bisa dibangun, karena perlu menemukan lokasi dengan jenis bebatuan yang sesuai dengan kedalaman di mana memungkinkan untuk melakukan pemboran ke dalam tanah dan mengakses panas yang tersimpan.

## 6. Energi Pasang Surut

Dua kali sehari, air pasang naik dan turun menggerakkan volume air yang sangat banyak saat tingkat air laut naik dan turun di sepanjang garis pantai. Energi air pasang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik seperti halnya listrik tenaga air tetapi dalam skala yang lebih besar. Pada saat air pasang, air bisa ditahan di belakang bendungan. Ketika surut, maka tercipta perbedaan ketinggian air antara air pasang yang ditahan di bendungan dan air laut, dan air laut di belakang bendungan bisa mengalir melalui turbin yang berputar, untuk menghasilkan listrik. Memang tidak mudah membangun penahan air pasang ini, karena pantai harus terbentuk secara alami dalam bentuk kuala, dan hanya 20 lokasi di seluruh dunia yang telah diidentifikasi sebagai tempat yang berpotensi untuk dimanfaatkan energi pasang surut.

## 7. Tenaga ombak

Ombak laut yang selalu beralun disebabkan oleh angin yang meniup di atas laut. Ombak laut memiliki potensi menjadi sumber energi yang hebat jika bisa dimanfaatkan dengan benar. Ada beberapa metode untuk memanfaatkan energi ombak. Ombak bisa ditangkap dan dinaikkan ke bilik dan udara dikeluarkan paksa dari bilik tersebut. Udara yang bergerak menggerakkan turbin (seperti turbin angin) yang menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik.

Sistem energi ombak yang lain adalah memanfaatkan gerakan naik turun ombak untuk menggerakkan piston yang bisa menggerakkan generator. Tidak mudah untuk menghasilkan listrik dari ombak dalam jumlah besar. Lagi pula memindahkan energi tersebut ke pantai merupakan kesulitan tersendiri. Inilah sebabnya sistem tenaga ombak sejauh ini belum lazim.

### Manfaat energi terbarukan

- Tersedia secara melimpah.
- Lestari atau tidak akan habis.
- Ramah lingkungan (rendah atau tidak ada limbah dan polusi).
- Sumber energi bisa dimanfaatkan secara cuma-cuma dengan investasi teknologi yang sesuai.
- Tidak memerlukan perawatan yang banyak dibandingkan dengan sumber-sumber energi konvensional dan mengurangi biaya operasi.
- Membantu mendorong perekonomian dan menciptakan peluang kerja.
- 'Mandiri' energi atau tidak perlu mengimpor bahan bakar fosil dari negara ketiga.
- Lebih murah dibandingkan energi konvensional dalam jangka panjang dan bebas dari fluktuasi harga pasar terbuka bahan bakar fosil.

Beberapa teknologi mudah digunakan di tempat-tempat terpencil. Distribusi energi bisa diproduksi di berbagai tempat, tidak tersentralisir.

### Kerugian dari energi terbarukan

- Biaya awal besar.
- Kehandalan pasokan Sebagian besar energi terbarukan tergantung kepada kondisi cuaca.
- Saat ini, energi konvensional menghasilkan lebih banyak volume yang bisa digunakan dibandingkan dengan energi terbarukan.
- Energi tambahan yang dihasilkan energi terbarukan harus disimpan, karena infrastruktur belum lengkap agar bisa dengan segera menggunakan energi yang belum terpakai, dijadikan cadangan di negara-negara lain dalam bentuk akses terhadap jaringan listrik.
- Kurangnya tradisi/pengalaman bahwa Energi terbarukan merupakan teknologi yang masih berkembang.
- Masing-masing energi terbarukan memiliki kekurangan teknis dan sosialnya sendiri.



1. Pembangkit Biomassa
2. Biomassa
3. Photovoltaik Tenaga Surya

4. Tenaga Angin
5. Tenaga Air

Gambar 1.9 Jenis-jenis Energi Terbarukan  
Sumber : Buku Panduan Energi yang Terbarukan, PNPM 2014

### 3. Memahami Energi

Beberapa istilah dasar dan definisi yang digunakan untuk menjelaskan energi dijelaskan pada bagian ini.

#### a. Konsep Energi

##### 1. Gaya

Gaya adalah sesuatu yang mengubah kondisi diam atau bergerak dari sesuatu yang lain.

Yang dirumuskan :

$$F = m \cdot a \quad 1.1$$

Dimana :

$F$  : Gaya (N)  
 $m$  : massa (kg)  
 $a$  : percepatan ( $m/s^2$ )

Contoh : sebuah pena ditempatkan di ujung meja. Jika saya mendorong pena tersebut, maka saya memberikan gaya terhadap pena tersebut, dan pena yang ada di meja akan bergerak dan mungkin jatuh ke lantai jika saya mendorongnya cukup kuat, yaitu memberikan gaya yang cukup kuat terhadap pena tersebut.

##### 2. Kerja

Kerja/Usaha adalah kegiatan yang melibatkan gaya dan gerakan serta dalam melakukannya terjadi perpindahan. Kerja dilakukan atau diselesaikan.

Yang dirumuskan :

$$W = F \cdot s \quad 1.2$$

Dimana :

$W$  : Usaha (Nm)  
 $F$  : Gaya (N)  
 $s$  : perpindahan (m)

Contoh: Pena anda telah merampungkan tugas jika jatuh dari meja.

#### 3. Daya

Daya adalah kecepatan melakukan pekerjaan atau kecepatan menggunakan

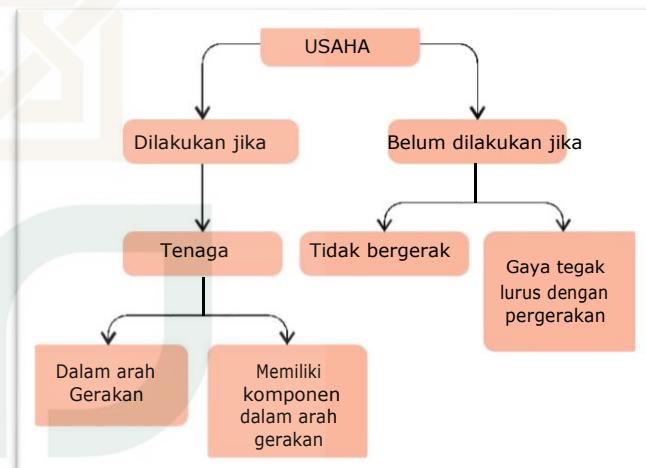
energi, yang sama oleh karena orang harus menggunakan sejumlah energi yang setara dengan pekerjaan yang telah diselesaikan. Yang dirumuskan :

$$P = \frac{W}{t} \quad 1.3$$

Dimana :

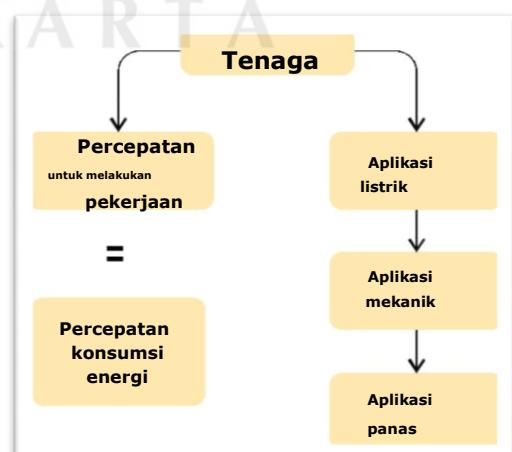
$P$  : Daya (Watt)  
 $W$  : Usaha (Nm)  
 $t$  : waktu (s)

Contoh: Untuk menyelesaikan kerjanya (jatuh dari meja), pen anda telah menggunakan Daya.



Gambar 1.10 Diagram Usaha

Contoh: Untuk menyelesaikan kerjanya (jatuh dari meja), pen anda telah menggunakan Daya.

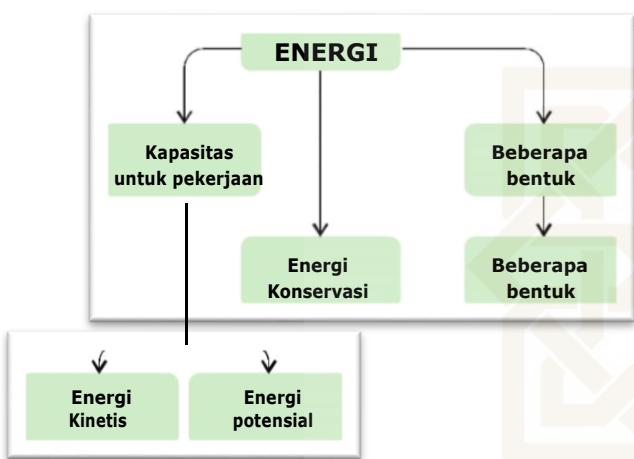


Gambar 1.11 Diagram Tenaga

#### 4. Energi

Energi adalah kapasitas untuk melakukan tugas. Anda harus memiliki sejumlah energi yang ada yang anda pakai agar bisa menyelesaikan pekerjaan. Obyek juga menerima energi pada saat tugas dilakukan atasnya.

Contoh: Untuk menyelesaikan tugasnya, pena telah memakai energi.



Gambar 1.12 Diagram Energi



Gambar 1.13 Belahan Bumi Hijau dan Gelap  
Sumber : BPPT Outlook Energi Indonesia 2016

#### Joule

Joule (J) adalah satuan pengukur energi. Oleh karena joule adalah satuan yang kecil, maka digunakan satuan yang lebih besar:

- kilojoule (kJ):  $1\text{ kJ} = 1000\text{ J}$
- megajoules (MJ):  $1\text{ MJ} = 1000\text{ kJ}$
- gigajoules (GJ):  $1\text{ GJ} = 1000\text{ MJ}$

#### Watt

Daya didefinisikan sebagai kecepatan di mana energi dipakai. Diukur menggunakan  $\text{J/detik}$  atau  $\text{J/jam}$ . Akan tetapi satuan yang lazim dipakai dalam kehidupan sehari-hari adalah Watt (W), yang sebenarnya merupakan satuan yang agak membingungkan karena tidak menyampaikan konsep mengenai kecepatan penggunaan energi seperti halnya joule. Watt didefinisikan sebagai berikut:

$$1\text{ W} = 1\text{ J/detik}$$

Satuan yang lebih besar bisa juga digunakan:

- kilowatts (kW):  $1\text{ kW} = 1\text{ kJ/detik}$
- megawatts (MW):  $1\text{ MW} = 1000\text{ kW/detik}$
- gigawatts (GW):  $1\text{ GW} = 1000\text{ MW/detik}$

#### Watt-jam, kilowatt-jam

Energi juga bisa diukur menggunakan satuan watt jam (Wh) atau yang lebih lazim:

- kilowatt-hours (kWh) :  $1\text{ kWh} = 1000\text{ Wh}$
- megawatt-hours (MWh):  $1\text{ MWh} = 1000\text{ kWh}$

Kilowatt-jam terkait dengan megajoule sebagai berikut:

$$1\text{ kJ/detik} \times 60\text{ detik/menit} \times 60\text{ menit/jam} = 3600\text{ kJ}$$

Satuan kilowatt-jam bebas dari waktu. Tidak berarti bahwa tenaga 1 kW telah dipakai selama 1 jam.

Pengukuran ini berarti 3.6 MJ energi telah dipakai selama jangka waktu yang tidak ditentukan, bisa satu menit, satu hari atau satu bulan.



## b. Macam-macam Energi

Ada dua jenis energi yang utama, yakni energi tersimpan, atau disebut sebagai energi potensial, yang merupakan energi posisi. Semua benda yang ada memiliki energi potensial. Itulah yang disebut sebagai energi laten yang disimpan di dalam benda tidak bergerak, contoh: pena yang ditaruh di atas meja menyimpan energi potensial. Begitu benda tidak bergerak mulai bergerak, maka energi potensialnya dikonversi menjadi energi kinetik, contoh: jika pena jatuh dari meja, maka akan memiliki energi kinetik. Energi Potensial dan Kinetik merupakan dua jenis energi yang utama dan bisa dalam berbagai bentuk seperti dirinci dalam tabel di bawah ini.

ENERGI POTENSIAL	ENERGI KINETIK
▶ Energi Kimia	▶ Energi Radiasi
▶ Energi Mekanik	▶ Energi Thermal
▶ Energi Nuklir	▶ Energi Gerakan
▶ Energi Gravitasi	▶ Suara
▶ Energi Listrik	

### Bentuk-bentuk Energi Potensial :

Energi Kimia adalah energi yang disimpan dalam ikatan atom dan molekul. Biomassa dan bahan bakar minyak adalah contoh-contoh energi kimia yang tersimpan. Energi kimia dikonversi menjadi energi thermal pada saat kayu dibakar di tungku atau pada saat bensin dibakar di dalam mesin sepeda motor. Energi Mekanik adalah energi yang disimpan pada benda-benda karena adanya tekanan. Pada saat tugas dikerjakan pada suatu obyek, maka ia memperoleh energi mekanik. Pegas tekan (compressed spring) dan tali karet yang ditarik adalah contoh-contoh energi mekanik yang tersimpan.

### Amper atau Amp

Amp (A) adalah satuan untuk mengukur arus listrik.

### Volt

Satuan beda potensial listrik, yang lazimnya disebut voltase, antara dua titik adalah volt (V).

Daya nyata pada peralatan listrik adalah voltase kali total arus yang digunakan. Energi yang digunakan pada peralatan listrik adalah daya, yakni kecepatan penggunaan energi, kali jumlah waktu peralatan tersebut telah digunakan.

Pada saat daya dari peralatan listrik dinyatakan dalam Watt, maka akan mudah untuk mengalikan nilai tersebut dengan jumlah jam peralatan tersebut telah digunakan, dengan demikian menyatakan energi dalam satuan Watt-Jam. Inilah mengapa satuan yang sering disalahartikan tersebut lazim dipakai. Akan tetapi jika daya peralatan listrik tersebut dinyatakan dalam J/detik atau J/jam, maka mudah untuk menghitung energi dalam unit Joule, yang merupakan satuan pengukuran energi yang tepat dan lebih lengkap.

### Hal-hal Teknis

Penting untuk menjelaskan perbedaan antara daya dan energi. Sebagai perbandingan yang sederhana, energi (J) mirip dengan jarak (m), sedangkan daya (J/detik) mirip dengan kecepatan (m/detik). Daya tidak bisa dikonsumsi, hanya bisa dipakai. Ini berarti seberapa lama pun tenaga dipakai, tidak akan berkurang. Energi dikonsumsi artinya akan menjadi semakin berkurang saat dikonsumsi.

Energi Nuklir merupakan energi yang tersimpan dalam inti atom; merupakan energi yang bersama-sama menahan inti atom. Energi dalam jumlah yang luar biasa besarnya bisa dilepaskan pada saat inti atom digabungkan (fusi) atau dipisahkan (fisi). Energi matahari dihasilkan dari reaksi penggabungan nuklir.

Energi Gravitasi adalah energi yang tersimpan pada ketinggian suatu benda. Semakin tinggi dan berat benda tersebut, semakin besar energi gravitasi yang disimpannya. Tenaga air merupakan contoh energi gravitasi: bendungan mengumpulkan air dari sungai di waduk dan energi yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan turbin.

Energi Listrik adalah energi yang tersimpan dalam aki/batre, dan bisa dipakai untuk menghidupkan HP atau menghidupkan mobil. Energi listrik diteruskan menggunakan partikel-partikel kecil bermuatan listrik yang disebut elektron, yang biasanya menjalar melalui kabel. Petir merupakan contoh energi listrik yang ada di alam, dan dengan demikian tidak dibatasi oleh kabel. Listrik adalah bentuk energi elektromagnetik.

### Bentuk-bentuk Energi Kinetik

Energi Radiasi adalah energi elektromagnetik, yang bergerak melalui gelombang. Energi radiasi termasuk cahaya yang bisa dilihat, sinar x, sinar gamma dan gelombang radio. Cahaya adalah salah satu energi radiasi. Matahari juga energi radiasi, yang memungkinkan kehidupan di atas Bumi.

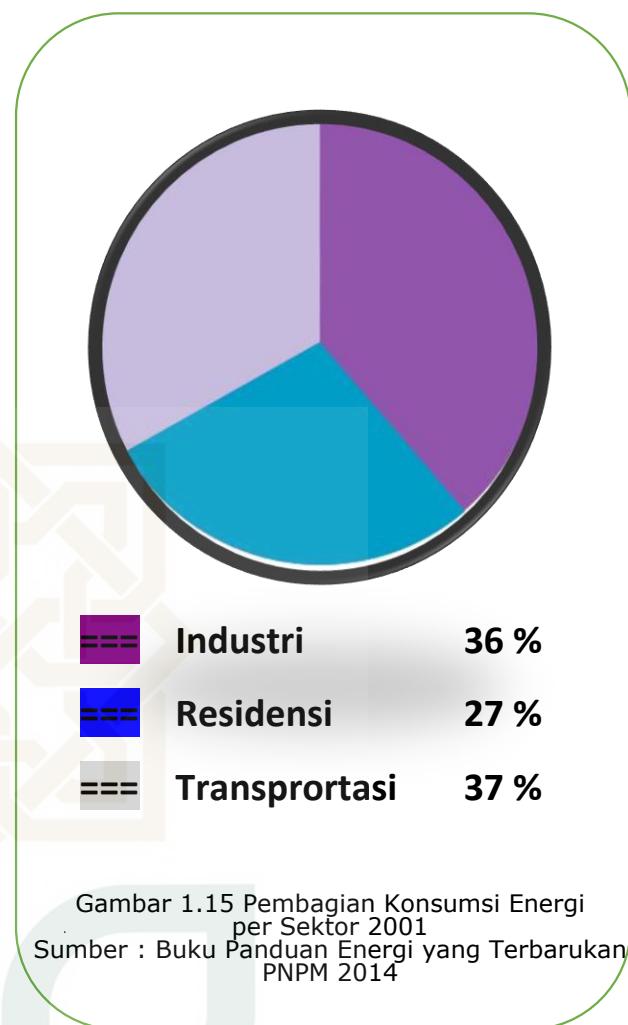
Energi Thermal, atau panas, adalah getaran dan gerakan atom serta molekul di dalam zat. Pada saat suatu benda dipanaskan, maka atom dan molekulnya bergerak dan bertumbukan lebih cepat. Energi panas bumi merupakan energi thermal yang ada di Bumi. Panas juga bisa disebabkan oleh gesekan.

Energi Gerakan adalah energi yang tersimpan dalam gerakan benda. Semakin cepat bergeraknya, semakin banyak energi yang tersimpan. Untuk menggerakkan benda memerlukan energi, dan energi dilepaskan pada saat suatu benda melambat. Angin adalah contoh energi gerakan. Suara adalah gerakan energi melalui zat-zat dalam gelombang membujur. Suara dihasilkan pada saat suatu daya menyebabkan suatu benda atau zat bergetar: energi dipindahkan melalui zat dalam suatu gelombang. Pada umumnya, energi pada bunyi jauh lebih sedikit dibandingkan dengan bentuk-bentuk energi lainnya.

### Hukum Energi

*"Energi tidak bisa diciptakan atau dimusnahkan; selalu ada jumlah energi yang sama di sana dalam satu bentuk atau yang lainnya. Energi dipendam atau disimpan".*

Bentuk energi apapun bisa dikonversi menjadi bentuk energi yang lain. Namun, konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya sering sangat tidak efisien. Hal ini berarti ada kehilangan dan energi yang bisa dipakai untuk mengerjakan sesuatu berkurang pada setiap transformasinya.



Gambar 1.14 Diagram Konversi Energi  
Sumber : Buku Panduan Energi yang Terbarukan PNPM 2014

### c. Penggunaan Energi

Ada tiga sektor utama energi di mana energi digunakan di Indonesia.

#### 1. Sektor Industri

Terdiri dari fasilitas dan peralatan yang digunakan untuk produksi, pertanian, pertambangan, dan konstruksi.

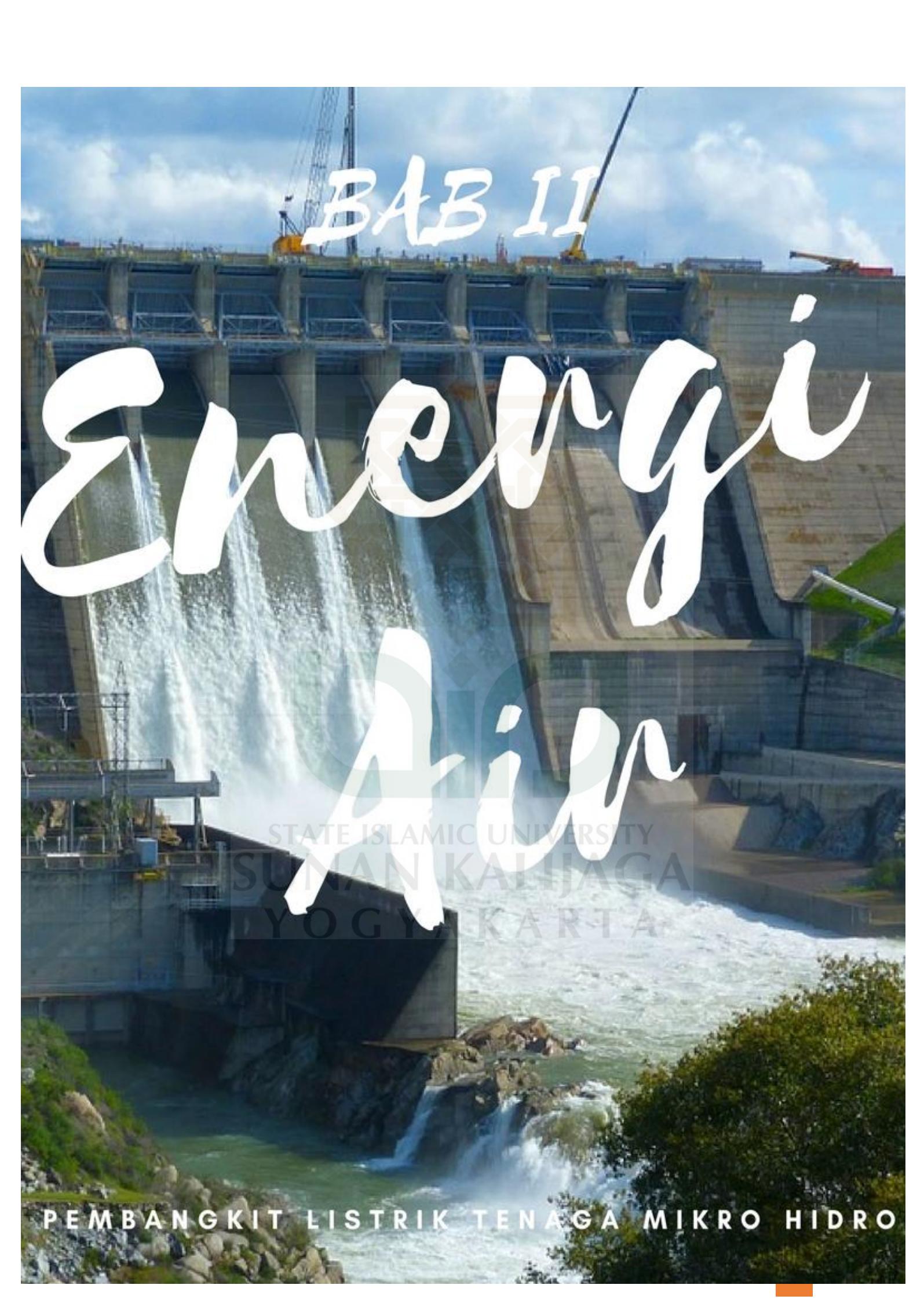
#### 2. Sektor Transportasi

Terdiri dari kendaraan bermotor yang mengangkut orang dan barang, seperti mobil, truk, sepeda motor, kereta api, pesawat terbang dan kapal.

Terdiri dari rumah tinggal, bangunan komersial seperti gedung perkantoran bertingkat, pusat perbelanjaan, usaha kecil seperti warung dan industri rumah tangga.

#### 3. Sektor Komersial/Residensial

Terdiri dari rumah tinggal, bangunan komersial seperti gedung perkantoran bertingkat, pusat perbelanjaan, usaha kecil seperti warung dan industri rumah tangga.



**BAB II**

# Energi air

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO

# Energi Tenaga Air

Apa yang dimaksud dengan energi tenaga air ?

Hidro berarti air. Energi Air/Hidro menggunakan gerakan air yang disebabkan oleh gaya gravitasi yang diberikan pada substansi yang kurang lebih 1000 kali lebih berat daripada udara, sehingga tidak peduli seberapa lambat aliran air, ia akan tetap mampu menghasilkan sejumlah besar energi.

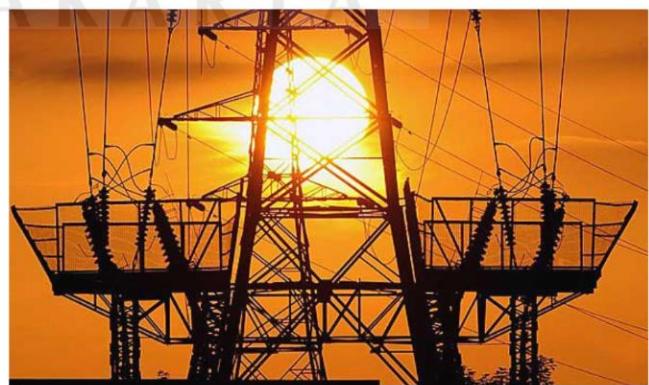
## A. Pembangkit Listrik

Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik nasional, penyediaan tenaga listrik di Indonesia tidak hanya semata-mata dilakukan oleh PT PLN (Persero) saja, tetapi juga dilakukan oleh pihak swasta, yaitu Independent Power Producer (IPP), Private Power Utility (PPU) dan Ijin Operasi (IO) non BBM.

Pada tahun 2013 kapasitas total pembangkit nasional (PLN, IPP, PPU, IO non BBM) di wilayah Indonesia adalah sebesar 45,3 GW. Sekitar 74% diantaranya berada di wilayah Jawa Bali, 15% di wilayah Sumatera, 3% di wilayah Kalimantan dan sisanya di wilayah Pulau Lainnya (Sulawesi, Maluku, NTB-NTT, dan Papua). Dilihat dari segi input bahan bakar, pembangkit berbahan bakar batubara dan gas mempunyai pangsa yang paling tinggi, yaitu masing-masing sebesar 44% (20 GW) dan 26% (12 GW), diikuti kemudian oleh pembangkit berbahan bakar minyak dengan pangsa sekitar 15% (6,8 GW). Masih tingginya pangsa pembangkit BBM diimbangi dengan makin meningkatnya pangsa

pembangkit berbahan bakar energi terbarukan, seperti PLTP, dengan pangsa mendekati 3% (1,3 GW), serta PLTA dengan pangsa dikisaran 11% (5,1 GW). Disamping itu, pembangkit listrik EBT lainnya (PLTS, PLTB, PLTSa, PLTMH, PLTU Biomassa) juga sudah mulai banyak beroperasi dengan kapasitas total 148 MW.

Selanjutnya, dari sisi penyediaan tenaga listrik, pada tahun 2013 tersebut pembangkit listrik PLN masih mendominasi dengan pangsa lebih dari 76% (34,2 GW), pembangkit listrik IPP dikisaran 17% (7,7 GW), serta sisanya diisi pembangkit listrik PPU dan pembangkit listrik IO non BBM dengan pangsa dikisaran 7% (3,4 GW).



Gambar Instalasi Pembangkit Listrik  
Sumber : uk.pinterest.com



Gambar 2.1 PLTA Jin'anqiao Yunan, Tiongkok  
Sumber: hanergy.com

Energi tenaga air adalah sumber energi ramah lingkungan yang telah digunakan sejak berabad-abad lalu. Aliran air diarahkan untuk menggerakkan turbin, yang akan menghasilkan energi listrik. yang disebut sebagai Energi Tenaga Air. Kincir air dan energi Hidroelektrik merupakan bentuk-bentuk dari energi tenaga air. Bendungan Hidroelektrik adalah contoh energi air dalam skala besar. Bahkan 16 % dari energi listrik dunia disumbang oleh energi tenaga air.

#### Bagaimana cara kerjanya?

Energi tenaga air mengubah energi potensial yang terdapat di dalam air. Aliran air yang mengandung energi potensial tersebut, selanjutnya dialirkan ke turbin yang akan menghasilkan energi listrik. Jenis-jenis tenaga air dapat diklasifikasikan berdasarkan head (ketinggian jatuhnya air), kapasitas dan tipe grid :

#### 1. Klasifikasi berdasarkan head:

Head tinggi :  $H > 100$  m

Head menengah : 30-100 m

Head rendah : 2-30 m

#### 2. Klasifikasi berdasarkan kapasitas

PLTA Pico	: < 500 W
PLTA Micro	: 0,5 – 100 Kw
PLTA Mini	: 100 – 1000 Kw
PLTA Kecil	: 1 MW – 10 MW
PLTA Skala Penuh	: > 10 MW

#### 3. Klasifikasi berdasarkan jenis desain :

##### **Run-of-the-river**

Bentuk yang paling sederhana dalam konteks PLTA mikro dan mini. Skema ini tidak memanfaatkan bendungan untuk mengarahkan air ke bangunan penyadap, melainkan mengubah lajur aliran air menuju turbin melalui pipa atau penstock.

##### **Sistem Penyimpanan**

Dalam penggunaan sistem ini. Air ini akan disimpan terlebih dahulu dalam jangka waktu tertentu (beberapa jam atau dalam beberapa bulan) Dan akan digunakan untuk menghasilkan energi ketika dibutuhkan. 4.

#### 4. Klasifikasi berdasarkan tipe jaringan listrik :

##### **Sistem jaringan listrik tersambung**

Jika jaringan listrik sudah terpasang, energi hidro dapat langsung disambungkan dengan jaringan listrik nasional.

##### **Sistem jaringan berdiri sendiri atau tidak tersambung dengan jaringan**

Pembangkit listrik tenaga air tidak tersambung dengan jaringan listrik nasional.

## B. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

### A. Pengertian Mikro Hidro

Pembangkitan listrik mikrohidro adalah pembangkitan listrik dihasilkan oleh generator listrik DC atau AC. Mikrohidro berasal dari kata *micro* yang berarti kecil dan *hydro* artinya air, arti keseluruhan adalah pembangkitan listrik daya kecil yang digerakkan oleh tenaga air. Tenaga air besar dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik.

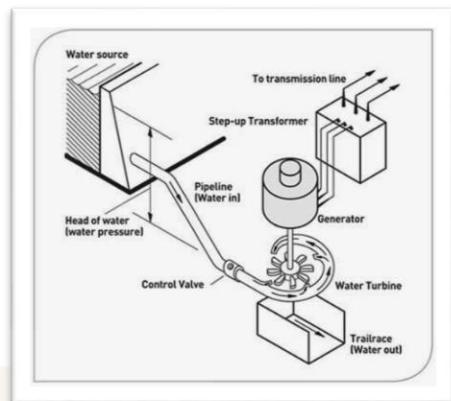
Generator yang digunakan untuk mikrohidro dirancang mudah untuk dioperasikan dan dipelihara, didesain menunjang keselamatan, tetapi peralatan dari listrik akan menjadi berbahaya bila tidak digunakan dengan baik. Beberapa point dari pedoman ini, instruksinya menunjukkan hal yang wajib diperhatikan dan harus diikuti seperti ditunjukkan berikut ini.

### B. Prinsip Kerja PLT Mikrohidro

Pembangkit tenaga listrik mikrohidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik.

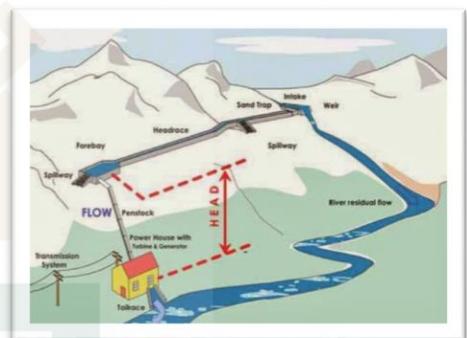
### C. Konversi Energi PLTMH

Energi Potensial - Energi Mekanik - Energi Listrik



Gambar 2.2 Sistem PLTMH

### D. Bagian-bagian PLT Mikro Hidro



Gambar 2.3. Sistem PLTMH

#### 1. Waduk (reservoir)

Waduk adalah danau yang dibuat untuk membandung sungai untuk memperoleh air sebanyak mungkin sehingga mencapai elevasi.

#### 2. Bendungan (dam)

Dam berfungsi menutup aliran sungai – sungai sehingga terbentuk waduk. Tipe bendungan harus memenuhi syarat topografi, geologi dan syarat lain seperti bentuk serta model bendungan.



Gambar 2.4 Bendungan

### 3. Saringan (Sand trap)

Saringan ini dipasang didepan pintu pengambilan air, berguna untuk menyaring kotoran – kotoran atau sampah yang terbawa sehingga air menjadi bersih dan tidak mengganggu operasi mesin PLTMH.



Gambar 2.5 Saringan

### 4. Pintu pengambilan air (Intake)

Pintu Pengambilan Air adalah pintu yang dipasang diujung pipa dan hanya digunakan saat pipa pesat dikosongkan untuk melaksanakan pembersihan pipa atau perbaikan.



Gambar 2.6 Intake

### 5. Pipa pesat (penstok)

Fungsinya untuk mengalirkan air dari saluran penghantar atau kolam tando menuju turbin. Pipa pesat mempunyai posisi kemiringan yang tajam dengan maksud agar diperoleh kecepatan dan tekanan air yang tinggi untuk memutar turbin.

Konstruksinya harus diperhitungkan agar dapat menerima tekanan besar yang timbul termasuk

tekanan dari pukulan air. Pipa pesat merupakan bagian yang cukup mahal, untuk itu pemilihan pipa yang tepat sangat penting.



Gambar 2.7 Penstok

### 6. Katub utama (main valve atau inlet valve)

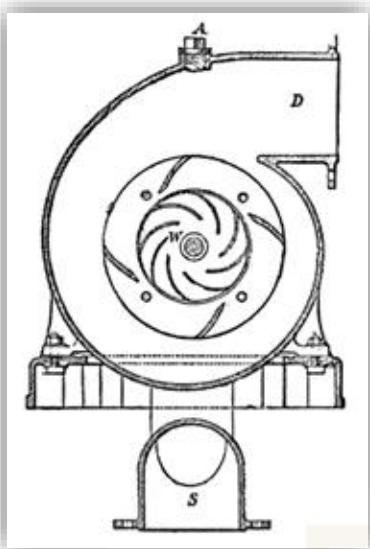
Katub utama dipasang didepan turbin berfungsi untuk membuka aliran air, Menstart turbin atau menutup aliran (menghentikan turbin). Katup utama ditutup saat perbaikan turbin atau perbaikan mesin dalam rumah pembangkit. Pengaturan tekanan air pada katup utama digunakan pompa hidrolik.

### 7. Power House

Gedung Sentral merupakan tempat instalasi turbin air,generator, peralatan Bantu, ruang pemasangan, ruang pemeliharaan dan ruang control.

Beberapa instalasi PLTMH dalam rumah pembangkit adalah :

a. Turbin, merupakan salah satu bagian penting dalam PLTMH yang menerima energi potensial air dan mengubahnya menjadi putaran (energi mekanis). Putaran turbin dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik.



Gambar 2.8 Turbin

b. Generator, generator yang digunakan adalah generator pembangkit listrik AC. Untuk memilih kemampuan generator dalam menghasilkan energi listrik disesuaikan dengan perhitungan daya dari data hasil survei. Kemampuan generator dalam menghasilkan listrik biasanya dinyatakan dalam VoltAmpere (VA) atau dalam kilo volt Ampere (kVA).



Gambar 2.9 Generator

c. Penghubung turbin dengan generator, penghubung turbin dengan generator atau sistem transmisi energi mekanik ini dapat digunakan sabuk atau puli, roda gerigi atau dihubungkan langsung pada porosnya.

1) Sabuk atau puli digunakan jika putaran per menit (rpm) turbin belum memenuhi putaran rotor pada generator, jadi puli berfungsi untuk

menurunkan atau menaikan rpm motor generator.

2) Roda gerigi mempunyai sifat yang sama dengan puli

3) Penghubung langsung pada poros turbin dan generator, jika putaran turbin sudah lama dengan putaran rotor pada generator.



Gambar 2.10 Instalasi PLTMH

#### E. Perhitungan Teknis

Potensi daya mikrohidro dapat dihitung dengan persamaan daya:

$$P = 9.8 \times Q \times Hn \times \eta \quad 1.4$$

Di mana:

P = Daya (kW)

Q = debit aliran (m/s)

Hn = Head net (m)

9.8 = konstanta gravitasi

$\eta$  = efisiensi keseluruhan.

Misalnya, diketahui data di suatu lokasi adalah sebagai berikut:

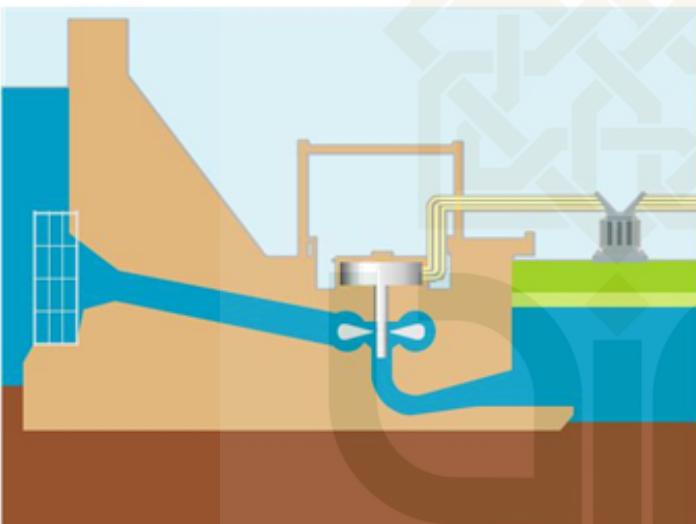
$Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}^2$ ,  $Hn = 12 \text{ m}$  dan

$\eta = 0.5$ . Maka, besarnya potensi daya (P) adalah:

$$\begin{aligned} P &= 9.8 \times Q \times Hn \times \eta \\ &= 9.8 \times 300 \times 12 \times 0.5 \\ &= 17640 \text{ W} \\ &= 17.64 \text{ kW} \end{aligned}$$



Gambar 2.11 PLTMH Singosaren, Bantul



## Ingat

*Head* dan *arus air* adalah parameter utama yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan pembangkit tenaga hidro. Sebuah pengatur elektronis dihubungkan dengan generator. Pengatur ini menyamakan tenaga listrik yang dihasilkan dengan beban yang diberikan. Alat ini dibutuhkan untuk menyetabilkan tegangan dari perubahan-perubahan

## Perlu diketahui



Cara kerja pembangkit tenaga hidro

1. Bendungan PLTA menggunakan reservoir untuk menghasilkan energi potensial dari air bendungan.
2. Aliran air mengalir melalui sebuah pipa yang disebut sebuah penstock. (Salah satu keunggulan penyaluran daya air dari bendungan.)
3. Air mengalir melalui penstock menuju turbin dan memaksa turbin untuk bergerak dan selanjutnya generator mulai memproduksi energi listrik.

### Komponen dari enegi tenaga air

1. Reservoir  
Sebuah waduk digunakan untuk menyimpan air untuk digunakan ketika diperlukan.
2. Intake (Bangunan Penyadap)  
Sebuah tempat untuk mengalirkan air ke pipa.
3. Penstock  
Penstock mengalirkan air dari bangunan penyadap menuju ke pembangkit tenaga listrik.
4. Turbin  
Turbin mengkonversikan energi potensial dari air menjadi energi rotasi mekanik.
5. Generator  
Generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik
6. Transformer  
Sebuah alat yang berguna menyebarkan, meningkatkan atau menurunkan tegangan sehingga dapat ditransmisi melalui jalur transmisi sesuai dengan voltase yg diinginkan.
7. Jalur Transmission  
Listrik disalurkan ke gardu dan didistribusikan ke konsumen melalui jaringan listrik.

## Mengapa menggunakan pembangkit listrik tenaga air?

1. Indonesia memiliki potensi tenaga air sampai sebesar 62,2 GW termasuk 458 MW potensi mikro hidro bagi masyarakat pedesaan dan terpencil.
2. Pembangkit Mini-hidro dapat mengurangi emisi bahan bakar fosil CO<sub>2</sub> sekitar 4.000 ton per tahun.
3. Sumber daya energi terbarukan yang bersih dan gratis.
4. Tidak ada limbah atau emisi.
5. Masyarakat akan mendapatkan keuntungan dari peningkatan stabilitas jaringan listrik.
6. Sistem Mikro hidro dapat menyuplai listrik tanpa mempengaruhi kualitas air, tanpa mempengaruhi habitat, dan tanpa mengubah rute atau aliran sungai.
7. Emisi CO<sub>2</sub> untuk PLTA 3,65 mini hidro MW adalah 0,88 kg CO<sub>2</sub>/kWh
8. Sistem Micro hidro dapat dikombinasi dengan sistem energi surya untuk menghasilkan energi pada musim dingin, di mana banyak aliran air dan minimnya energi surya.



## Hal-hal Teknis

Bagaimana cara mengukur debit air sungai? Untuk mendapatkan informasi tersebut pada sebuah lokasi, diperlukan pengukuran selama setahun penuh. Terdapat beberapa metode pengukuran arus tergantung ukuran anak sungai atau sungai.

### Metode Bucket

Untuk debit kecil (20 l / s)



1. Penting untuk menggunakan tangki besar (1000 liter) dengan saluran pembuangan di bagian bawah.
2. Aliran air yang akan diukur dialihkan ke dalam tangki sudah diketahui volumenya.
3. Waktu yang diperlukan untuk mengisi tangki harus dicatat.
4. Dengan membagi volume (dalam liter) dari tangki dengan waktu pengisian (dalam detik) maka aliran dalam liter / detik dapat dihitung.

### Metode Float

Untuk debit  $> 20 \text{ l/s}$

Untuk panjang sungai yang diketahui, penampang rata-rata harus tersedia, di mana botol plastik diisi setengah air dan dilepaskan ke sungai yang diukur. dengan diberi batas waktu lebih panjang. Dengan mengalikan luas penampang dengan kecepatan aliran rata-rata (atau kecepatan), perkiraan laju air dapat dibuat.



Ukur waktu yang dibutuhkan dari pelampung untuk menempuh jarak  $L$ , minimal sebanyak 5 kali



### Mengukur Head

Menggunakan ketinggian air

1. Mulai pengukuran dari bagian atas perkiraan tinggi permukaan air pada posisi bak pengatur yang ditentukan.
2. Pengukuran kedua dilanjutkan pada tingkat lebih rendah dari ukuran sebelumnya.
3. Lanjutkan pengukuran sampai mencapai posisi turbin. Jumlahkan semua hasil pengukuran untuk mendapatkan ukuran kotor dari head.



### Altimeter

Alat ini bekerja berdasarkan berdasarkan tekanan atmosfer. Tekanan ini berbeda pada berbagai ketinggian. Tekanan meningkat pada ketinggian di atas permukaan laut. Head adalah perbedaan antara elevasi 1 dan elevasi 2.



### Clinometer

Berbagai pengukuran dapat dilakukan clinometer. Untuk mengukur sudut, clinometer harus digantung secara vertikal. Perbedaan ketinggian antara kedua titik tersebut dapat diperkirakan.



### Theodolite

Theodolite adalah sebuah instrumen survei tanah yang dapat mengukur ketinggian, sudut dan jarak dengan cara yang paling akurat, namun peralatan ini sangat mahal dan memerlukan operator.

## Ingat!!!

Panjang jalur transmisi dari pembangkit ke konsumen harus dibuat sependek mungkin untuk menghemat biaya. Rahasia tenaga hidro dengan performa yang efektif dimulai sejak tahap desain. jangan sampai salah menentukan parameter. Seorang insinyur tenaga hidro yang berkualifikasi akan memastikan penghematan pada tahap pembangunan sehingga didapat keuntungan karena meningkatnya kemampuan pembangkit.

## Hindari!

Jangan memulai identifikasi lapangan selama musim hujan! Alasannya adalah aliran air jauh lebih deras sebagai akibat dari turunnya hujan sehingga sulit untuk memprediksi peningkatan derasnya aliran. Oleh karenanya pengukuran jauh lebih baik dilakukan di musim kemarau. Juga dikarenakan aliran air pada titik terendahlah yang akan menentukan kapasitas instalasi PLTMH untuk memasok listrik kepada masyarakat.

## Perlu diperhatikan !

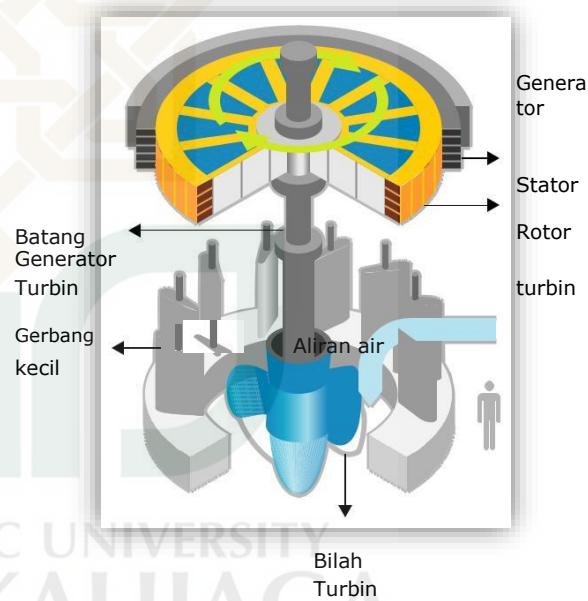
1. Pastikan perolehan hasil pengukuran yang tepat.
2. Gunakan peralatan yang layak untuk pengukuran.
3. Libatkan semua pemangku kepentingan yang mungkin akan berpengaruh terhadap proyek ini.
4. Hak penggunaan air dan setiap perubahan hubungan penggunaannya, harus didiskusikan dengan jelas dan konsisten diantara semua pemangku kepentingan sampai dukungan penuh diperoleh.

## Apa kekurangan dari penggunaan energi tenaga air?

1. Bendungan sangat mahal untuk dibangun, dan memerlukan lahan yang luas.
2. Berpotensi kerusakan ekosistem dan kualitas air.
3. Pembendungan yang berlebihan dan perusakan wilayah adat adalah hasil dari perencanaan yang buruk.
4. Hanya berguna jika dekat dengan sumber air.
5. Bergantung pada pengurusan wilayah resapan air yang baik dan sehat.

## Turbin Air

### Pendahuluan



Gambar 2.13 Komponen Turbin Air

Sumber : [wikiwand.com](http://wikiwand.com)

Turbin air adalah komponen kunci atau jantung dari pembangkit tenaga hidro. Ia bertanggung jawab untuk memastikan terjadinya energi listrik dari aliran energi air dan mekanik. Jadi, pemilihan turbin air bergantung pada arus dan kondisi head sebuah lokasi yang spesifik. Berbeda dengan listrik tenaga surya, proses konversi energi yang terjadi pada turbin menghasilkan listrik bolak-balik yang dapat langsung dialirkan ke jaringan.

## C. Tipe-tipe Turbin

### Apa saja Tipe-tipe Turbin?

#### A. Turbin Reaksi

Turbin Reaksi adalah turbin yang benar-benar terendam air, sehingga head efektif bekerja pada kedua sisi turbin - tekanan dapat positif (mendorong) atau negatif (menghisap).

##### 1. Turbin Francis

Jenis turbin reaksi

Komponen Runner tenggelam dalam air sepenuhnya. Terdiri dari deretan bilah melengkung. Regulasi aliran dilakukan melalui deretan bilah yang dapat diatur.



Gambar 2.14 Turbin Francis  
Sumber : [www.hydrotu.com](http://www.hydrotu.com)

#### Prakondisi

- Mulai operasi antara:  $25 \text{ m} < H < 350 \text{ m}$
- $H$  = Head atau ketinggian air terjun.

#### Keuntungan

- Operasional yang handal
- Konstruksi sederhana
- Tingginya Efisiensi

#### Kerugian

- Tidak cocok untuk lokasi dengan *head* (ketinggian air terjun) yang tinggi

##### 2. Turbin Propeler

Jenis turbin reaksi kaplan yaitu jenis turbin tertua dengan konfigurasi sebuah gulir dan gerbang kecil radial untuk pengaturan aliran. Turbin Kaplan memiliki

pisau yang dapat diatur dan disesuaikan melalui gerbang kecil dan menghasilkan efisiensi terbaik atas berbagai laju aliran. Prakondisi

- Mulai operasi antara:  $2 \text{ m} < H < 40 \text{ m}$
- Memerlukan sistem yang tinggi alirannya



Gambar 2.15 Turbin Propeler  
Sumber : [www.tyazhmash.com](http://www.tyazhmash.com)

#### Keuntungan

- Turbin propeler dapat berjalan dengan kecepatan tinggi dan head yang rendah.
- Turbin Kaplan sangat efisien.

#### Kerugian

- Mahalnya pemeliharaan dan investasi.
- Tidak cocok untuk lokasi dengan head tinggi.

#### B. Turbin Impuls

Di dalam sebuah turbin impuls seperti Pelton air menerjang saluran turbin di bawah tekanan. Setelah air menerjang pisau turbin, tidak ada energi yang tersisa dalam aliran sehingga tidak ada efek hisap. Tekanan air tidak berubah karena mengalir melalui turbin

##### 1. Turbin Cross Flow

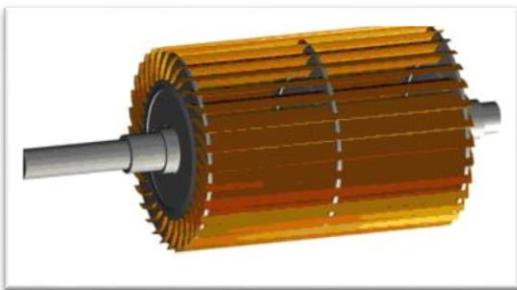
Jenis turbin impuls Ketika air masuk ke turbin akan diarahkan oleh satu atau lebih baling-baling yang terletak di hulu runner dan melintas dua kali sebelum meninggalkan turbin.

#### Prakondisi

- Mulai operasi dengan kepala antara  $5 \text{ m} < H < 200 \text{ m}$

#### Keuntungan

- Desain sederhana sehingga menyebabkan produksi yang baik dan terstandarisasi
- Murah dan kuat



Gambar 2.16 Turbin Crossflow  
Sumber : rimoo.files.wordpress.com

- Dibandingkan dengan turbin lainnya, turbin cross flow biayanya lebih rendah
- Sangat dianjurkan untuk kondisi seperti di Indonesia.

#### Kerugian

- Turbin CrossFlow memiliki efisiensi hingga 80% lebih rendah dibandingkan dengan jenis turbin lain.

#### 2. Turbin Pelton

- Sebuah turbin impuls
- Turbin yang terdiri dari sejumlah ruang penampung untuk menangkap aliran air.
- Untuk arus yang lebih tinggi jumlah ruang penampung dapat ditingkatkan
- Turbin yang sangat efisien

#### Prakondisi

- Mulai operasi antara:  $50 \text{ m} < H < 1300 \text{ m}$
- Membutuhkan sistem aliran air yang rendah

#### Keuntungan

- Konstruksi yang kompak
- Stabil dijalankan
- Mudah dioperasikan

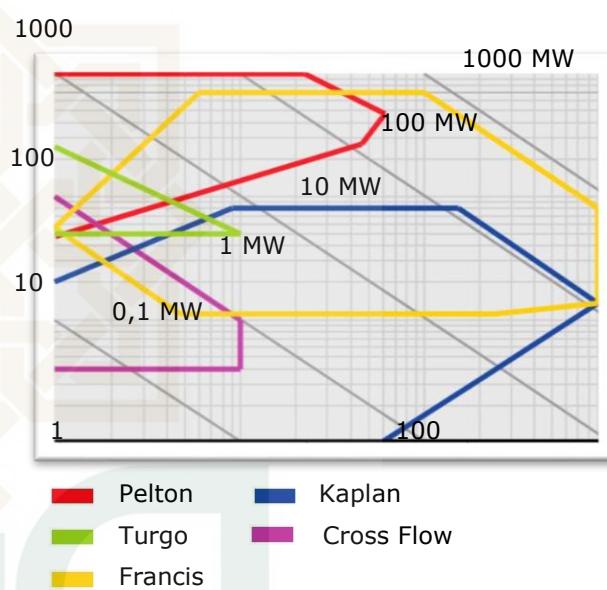


Gambar 2.17 Turbin Pelton  
Sumber : hengeenterprise.en.ec21.com

#### Kerugian

- Tidak cocok untuk lokasi yang head-nya rendah
- Tidak cocok untuk sistem aliran airnya tinggi

Turbin yang akan digunakan dalam kasus tertentu, tergantung tidak hanya pada ketinggian jatuhnya air (kiri sumbu Y), tetapi juga oleh aliran air (kiri sumbu X) dan faktor lainnya.



Gambar 2.18 Aplikasi Turbin  
Sumber : yokealjauza-wordpress.com



Gambar 2.19 Turbin PLTMH Singosaren, Bantul

## Kincir Air

Kincir air adalah mesin antik yang memanfaatkan aliran air di sungai untuk menghasilkan tenaga atau untuk pengairan sawah. Kincir air terdiri dari bambu, logam atau roda kayu, dengan sejumlah ember atau bilah-bilah yang pada tepi paling luar membentuk permukaan kemudi. Kincir air telah digunakan untuk menenagai penggilingan sejak ratusan tahun. Kini, kincir air telah dimodifikasi untuk produksi listrik.

Ada dua jenis utama kincir air:

1. Kincir air undershot
2. Kincir air overshot

### Kincir air undershot

Air mengalir ke bilah-bilah di bawah roda (Gambar 4.3). Air jatuh pada bilah dan membuat roda berputar menghasilkan energi mekanik. Sementara roda memutar, ruangan penampung air membawa air dari tempat yang lebih rendah ke reservoir yang lebih tinggi sampai 3m. Kemudian dari reservoir yang lebih tinggi, air dikirim ke sawah menggunakan sistem pemipaan yang dibangun dari bambu.

### Prakondisi

Cara ini dapat diterapkan di mana aliran air cukup kuat untuk memasok torsi, atau energi yang terukur untuk memutar roda dengan kecepatan produktif.

### Keuntungan

1. Murah dan sederhana untuk dibangun.
2. Kincir air undershot adalah contoh teknologi hijau, berdampak negatif minimal terhadap lingkungan. Namun, penempatan kincir harus mempertimbangkan ekosistem lokal untuk memastikan dampak yang sangat kecil pada satwa liar setempat dan pola pemijahan ikan.
3. Rendahnya biaya operasi dan pemeliharaan karena ketersediaan bahan seperti kayu dan bambu di Indonesia.

### Kerugian

Kincir air undershot kurang bertenaga.

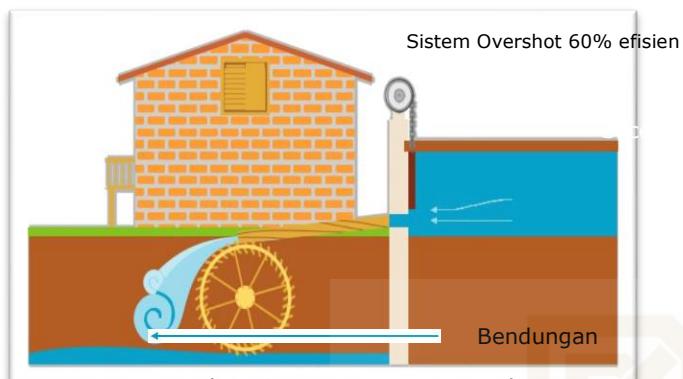
### Kincir air overshot

Sebuah bendungan dan kolam dibangun dan digunakan untuk mengarahkan air ke atas kincir di mana air akan tertampung dalam ember-ember. Perbedaan berat air dalam ember menyebabkan kincir bergerak. Ketika sebuah ember terisi, kincir mulai berputar dan ember yang telah mencapai dasar roda, itu terbalik dan air keluar. Ember tersebut terus berputar di sekitar kincir sampai akan kembali ke puncak untuk diisi sekali lagi.



Gambar 2.33 Turbin PLTMH Sinaosaren. Bantul

## Kincir Air Overshot



Gambar 2.34 Kincir Air Overshot

Sumber : Buku Panduan Energi yang Terbarukan PNPM 2014

### Keuntungan

1. Untuk memutar kincir, kincir air overshot tidak membutuhkan aliran air cepat.
2. Gravitasi digunakan
3. Lebih efisien dari kincir air undershot (60%)
4. Selama kemarau, air di dalam bendungan dapat digunakan untuk kincir.

### Kerugian

Mahal and rumit konstruksinya.

### Kesimpulan :

1. Kincir air adalah sistem energi terbarukan yang berkelanjutan.
2. Kincir air undershot murah pemeliharaan dan operasinya, oleh karena itu sangat cocok di daerah pedesaan.
3. Kincir air meningkatkan produktifitas sawah.
4. Tidak berdampak negatif terhadap lingkungan

### Aplikasi

Ilustrasi ini memberikan gambaran dari aplikasi utama untuk sistem energi hidro. Indonesia memiliki potensi tenaga air besar sampai dengan 62,2 GW termasuk mikro hidro dari 458 MW untuk masyarakat pedesaan dan terpencil, di mana sejauh ini hanya kapasitas 5mW diperkirakan telah terpasang di daerah pedesaan. Berikut ini adalah gambaran beberapa contoh aplikasi mikro hidro di Indonesia.

### Pertimbangan Penting



Lokasi umum, data topografi, head dan aliran air merupakan faktor paling penting untuk proyek pembangkit listrik tenaga air.

Survei lokasi yang tepat harus dilakukan pada waktu yang tepat. pengukuran arus harus dilakukan pada musim kemarau. Kontrol kualitas komponen elektro-mekanis adalah penting. Banyak orang lupa bahwa peralatan PLTMH bekerja sangat berat. Berjalan terus selama 24/7. Hal ini berarti hanya peralatan industri berkualitas tinggi yang akan bertahan. Secara khusus proyek elektrifikasi pedesaan mandiri, pembentukan kelembagaan dan sistem manajemen sangat penting untuk dijalankan berkelanjutan. Manajemen keuangan juga sangatlah penting.

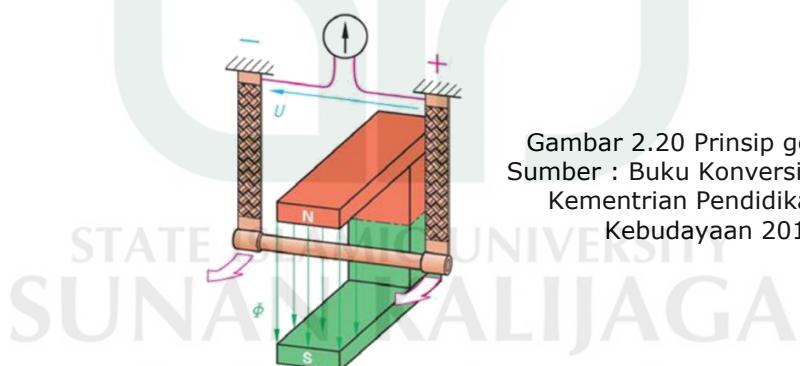
## D. Prinsip Generator pada PLTMH

### Bagaimana Prinsip Kerja Generator ?

Generator merupakan sebuah perangkat yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator digunakan di bidang yang sangat luas: di bandar udara, di rumah sakit, di transportasi, komputer, di bidang konstruksi, proses industri, dan lainnya. Pada dasarnya terdapat dua macam generator, yaitu generator AC dan DC. Karena generator AC menghasilkan arus AC, maka sering juga disebut sebagai alternator. Generator DC menghasilkan arus DC. Tidak ada perbedaan konstruksi antara motor DC dengan generator DC. Perbedaannya hanya pada pemakaianya. Sebuah mesin DC bila diputar dengan penggerak, dapat membangkitkan ggl dan mensuplai arus

kepada rangkaian luar. Mesin yang sama bila dihubungkan dengan sumber tegangan yang sesuai, dapat digunakan sebagai motor. Kerja motor terjadi apabila sebatang penghantar yang dialiri arus ditempatkan di dalam medan magnet. Gaya yang terjadi akan menghasilkan torsi atau menyebabkan timbulnya putaran bila penghantar tersebut bebas berputar.

Prinsip kerja generator dikenalkan *Michael Faraday* 1832, sebuah kawat penghantar digantung dua ujungnya ditempatkan diantara kutub magnet permanen utara-selatan *gambar 2.20*. Antara kutub utara dan selatan terjadi garis medan magnet  $\Phi$ .



Gambar 2.20 Prinsip generator  
Sumber : Buku Konversi Energi 2,  
Kementerian Pendidikan dan  
Kebudayaan 2013

Kawat penghantar digerakkan dengan arah panah, maka terjadi di kedua ujung kawat terukur tegangan induksi oleh Voltmeter. Besarnya tegangan induksi tergantung oleh beberapa faktor, diantaranya : *kecepatan menggerakkan kawat penghantar, jumlah penghantar, kerapatan medan magnet permanen B*.

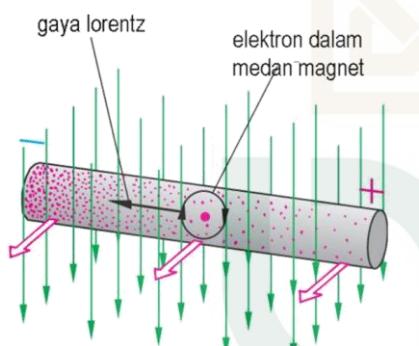
$$E = B \cdot L \cdot v \cdot Z \text{ Volt}$$

2.5

Keterangan :

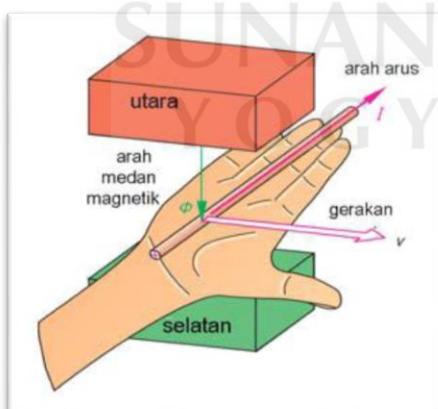
- $E$  = Tegangan induksi (volt)
- $B$  = Kerapatan medan magnet (Tesla)
- $L$  = Panjang penghantar (meter)
- $v$  = Kecepatan gerakan (m/det)
- $z$  = Jumlah penghantar

Terjadinya tegangan induksi dalam kawat penghantar pada prinsip generator terjadi *gambar-2*, oleh beberapa komponen. Pertama adanya garis medan magnet yang memotong kawat penghantar sebesar  $B$ . Kedua ketika kawat penghantar digerakkan dengan kecepatan  $v$  pada penghantar terjadi aliran elektron yang bergerak dan menimbulkan gaya gerak listrik ( $U$ ). Ketiga panjang kawat penghantar  $L$  juga menentukan besarnya tegangan induksi karena makin banyak elektron yang terpotong oleh garis medan magnet



Gambar 2.21 Prinsip Hukum Lorentz

Sumber : Buku Konversi Energi 2, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 2013



Gambar 2.22 Interaksi elektromagnetik

Sumber : Buku Konversi Energi 2, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 2013

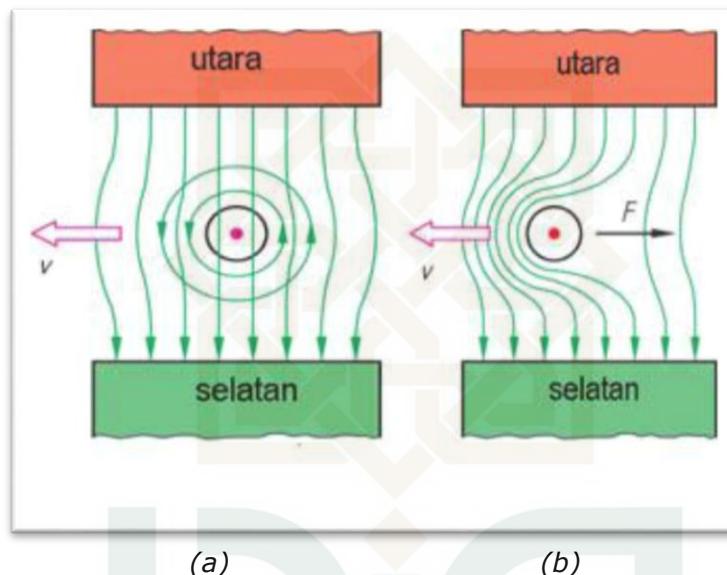
Pada generator, gaya diberikan pada poros untuk memutarkan jangkar. Sedangkan pada motor, gaya dihasilkan bila penghantar yang dialiri arus listrik ditempatkan di dalam medan magnet. Motor menghasilkan torsi sebagai akibat adanya interaksi antara medan magnet yang ditimbulkan oleh arus jangkar dengan medan magnet dari kutub-kutub magnet. Untuk motor dalam prakteknya, secara umum besarnya torsi berbanding lurus dengan fluksi medan dan arus jangkar. Kecuali pada motor seri.

Hubungan yang ada antara arus pada penghantar, medan magnet dan arah gaya ditentukan oleh peraturan tangan kiri Flemming. *Prinsip tangan kanan Flemming* menjelaskan terjadinya tegangan pada generator listrik. Sepasang magnet permanen menghasilkan garis medan magnet  $\Phi$  *gambar 2.22*, memotong sepanjang kawat penghantar menembus telapak tangan. Kawat penghantar digerakkan kearah ibu jari dengan kecepatan  $v$ . Maka pada kawat penghantar timbul arus listrik  $I$  yang mengalir searah dengan arah keempat jari. Apa yang akan terjadi bila posisi magnet permanen utara-selatan dibalikkan, kemana arah arus yang dibangkitkan ? Untuk menjawabnya peragakan dengan tangan kanan anda dan jelaskan dengan jelas dan sistematis.

Hukum Lenz, menyatakan *penghantar yang dialiri arus maka sekitar penghantar akan timbul medan elektromagnet*. Ketika kawat penghantar digerakkan kecepatan  $v$  dan penghantar melewatkannya arus kearah kita (tanda titik) sekitar

penghantar timbul elektromagnet kearah kiri gambar- 2.23a.

Akibat interaksi medan magnet permanen dengan medan elektromagnet terjadi gaya lawan sebesar  $F$  yang arahnya berlawanan dengan arah kecepatan  $v$  kawat penghantar gambar-2.23b.

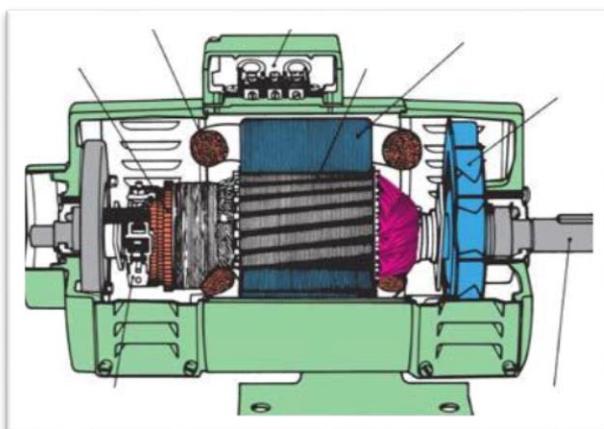


Gambar 2.23a dan 2.23b Interaksi elektromagnetik

Sumber : Buku Konversi Energi 2, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 2013

### Konstruksi Generator DC

Pada umumnya generator dibuat dengan menggunakan magnet permanen dengan 4-kutub rotor, regulator tegangan digital, proteksi terhadap beban lebih, startor eksitasi, penyearah, *bearing* dan rumah generator atau *casis*, serta bagian rotor. Generator DC terdiri dua bagian, yaitu **stator**, yaitu bagian mesin DC yang diam, dan bagian **rotor**, yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri atas : rangka motor, belitan s. Sementara, rotor terdiri : komutator, belitan rotor, kipas rotor, poros rotor.



Gambar 2.24 Konstruksi Generator DC

Sumber : Buku Konversi Energi 2, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 2013

## Komutasi

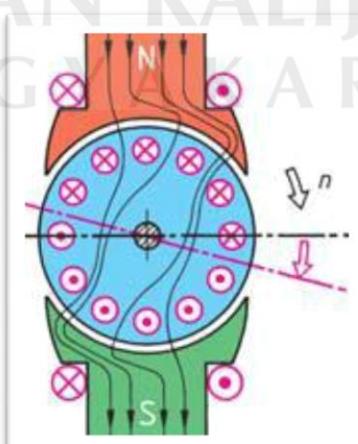
Tegangan yang dibangkitkan pada penghantar jangkar generator DC adalah ggl arus bolak-balik. Arus jangkarnya juga adalah arus bolak-balik dan harus didibalik untuk mempertahankan output yang searah untuk dihubungkan dengan beban. Pembalikan arah arus jangkar ini disebut "komutasi". Lamel-lamel komutator dan sikat-sikat merupakan bagian yang berpengaruh pada komutasi. tator

### **Komutasi yang Baik** ( tanpa bunga api ).

Pemilihan bahan untuk sikat dan penempatan sikat-sikat pada komutator terhadap medan magnit dan garis netral axis akan memperkecil dan mungkin menghapuskan, bunga api komutator. Faktor lainnya seperti induktansi kumparan, kekurangan tegangan pada satu kumparan dan lebar sikat memberikan pengaruh pada komutasi, arang yang akan memendek dan harus diganti secara periodik. Komutator harus dibersihkan dari kotoran sisa sikat arang yang menempel dan serbuk arang yang mengisi celah-celah komutator, gunakan amplas halus untuk membersihkan noda bekas sikat arang.

## Kutub Bantu

Dimana keadaan beban yang berubah-ubah, arus jangkar ber- variasi menyebabkan distorsi medan magnit dan perubahan garis netral medan utama. Kejadian ini dikenal sebagai reaksi jangkar. Hal ini menyebabkan timbulnya bunga api pada komutator yang tidak dapat diatasi dengan pergerakan fisik posisi sikat-sikat. Kutub bantu digunakan dalam keadaan ini untuk mempertahankan secara efektif posisi garis netral dan dengan menganggap posisi sikat tetap.



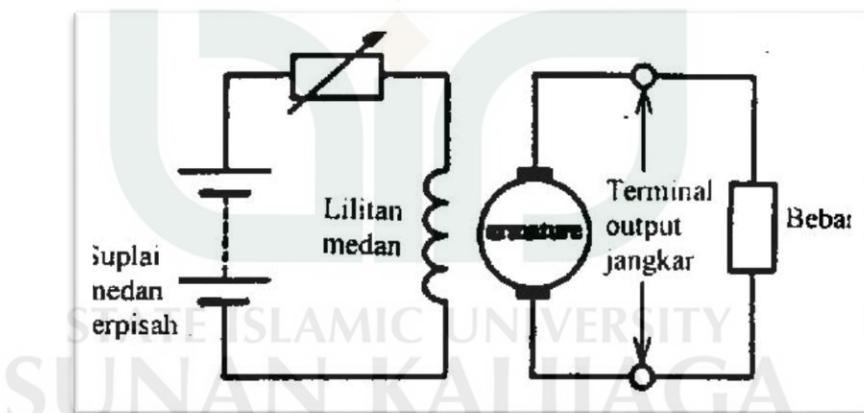
Gambar 2.25 Pengaruh medan jangkar terhadap medan utama  
Sumber : Buku Konversi Energi 2, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 2013

Magnet listrik selalu digunakan sebagai sistem medan magnet pada generator dan motor DC ukuran besar. Karena ggl induksi dalam penghantar jangkar tergantung pada kuat medan magnet padacelah udara, ggl yang dibangkitkan mudah dikontrol dengan cara mengatur arus dalam kumparan medan. Berdasarkan sumber arus yang diberikan untuk penguat medan magnet, maka generator dapat diklasifikasikan menjadi :

- a. generator penguat terpisah
- b. generator penguat sendiri

### Generator Penguat Terpisah

Cara yang sederhana untuk memberikan penguatan medan magnet sebuah generator DC adalah dengan menghubungkannya pada sumber DC dari luar. Seperti ditunjukkan pada diagram di bawah, sebuah tahanan variable rheostat untuk medan magnet biasanya dihubungkan seri dengan lilitan medan untuk mengontrol ggl yang dibangkitkan dengan mengatur arus medan magnet.



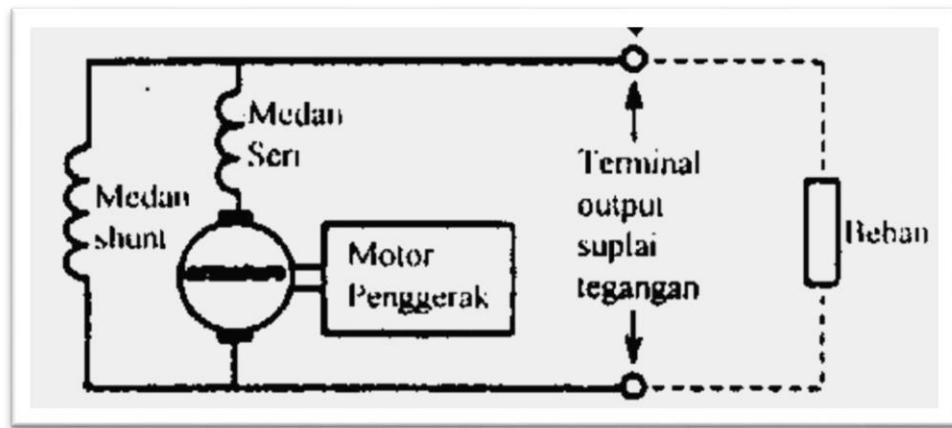
Gambar 2.26 Generator penguat terpisah

Sumber : Buku Konversi Energi 2, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 2013

### Generator Penguat Sendiri

Generator penguat sendiri adalah generator yang arus penguat medannya disuplai dari generator itu sendiri. Cara menghubungkan kumparan medan terhadap jangkar, memberikan ciri-ciri jenis generator penguat sendiri. Jenisnya adalah :

- hubungan shunt
- hubungan seri
- hubungan kompon

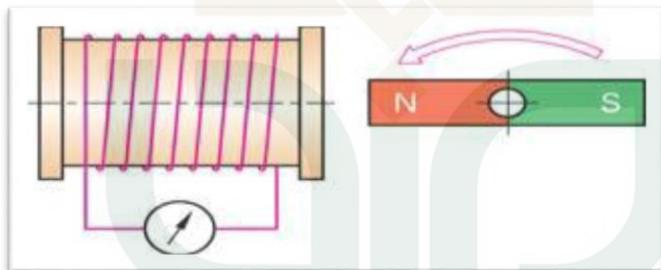


Gambar 2.27 Generator penguat sendiri

Sumber : Buku Konversi Energi 2, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 2013

### Prinsip Pembangkitan Listrik AC

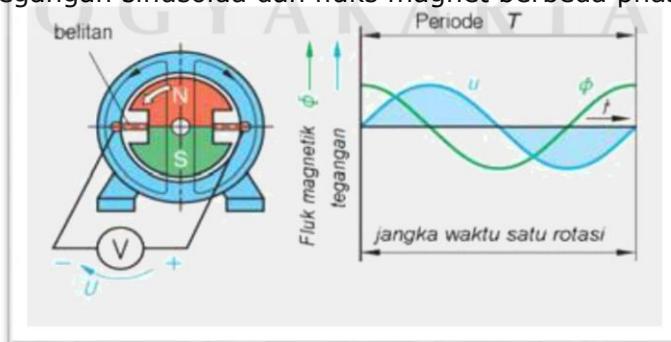
Listrik AC dihasilkan dari hasil induksi elektromagnetik dari sebuah belitan kawat yang berdekatan dengan kutub magnet permanen. Kutub permanen diputar pada sumbunya, maka diujung-ujung belitan timbul tegangan listrik yang ditunjukkan oleh penunjukan jarum Voltmeter. Jarum Voltmeter bergoyang kearah kanan dan kekiri, ini menunjukkan satu waktu polaritasnya positif, satu waktu polaritasnya negatif.



Gambar 2.28 Prinsip pembangkitan Listrik AC

Sumber : Buku Konversi Energi 2, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 2013

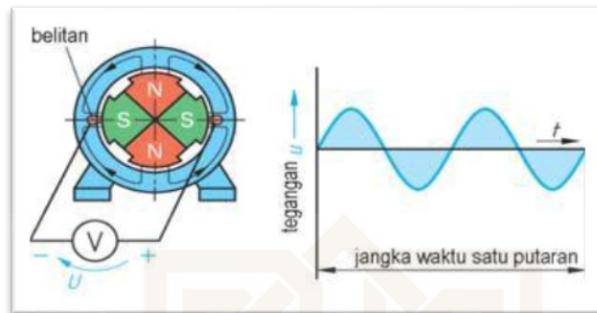
Generator AC sederhana terdiri dari stator dengan belitan kawat dan rotor dengan dua kutub. Saat rotor diputar satu putaran dan ujung belitan diukur dengan voltmeter dihasilkan tegangan AC satu periode. Bentuk tegangan sinusoida dan fluks magnet berbeda phasa  $90^\circ$ .



Gambar 2.29 Generator AC dua kutub

Sumber : Buku Konversi Energi 2, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 2013

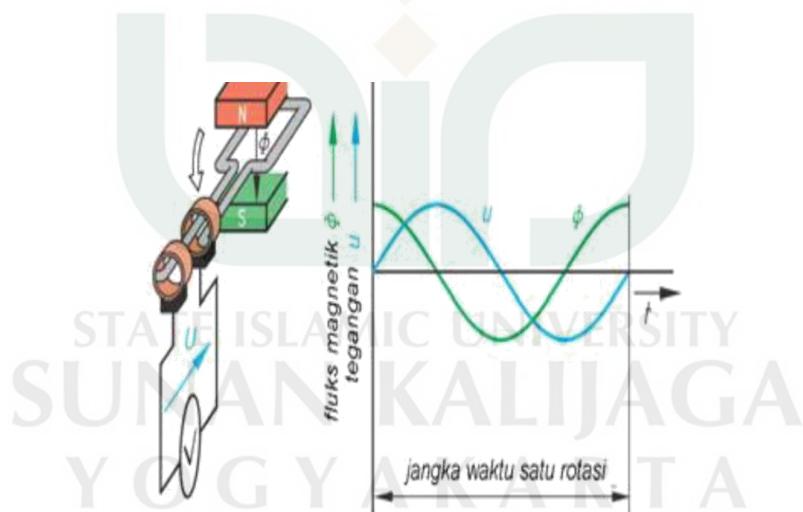
Berikut ini konstruksi sederhana generator AC dengan rotor empat kutub *gambar-11*. Saat rotor diputar satu putaran, ujung belitan diukur tegangan dengan Voltmeter. Setiap satu putaran rotor dihasilkan dua siklus tegangan sinusoida. Jika frekuensi diinginkan 50 Hz, maka rotor dalam satu detik harus berputar 25 putaran/detik, atau kalau satu menit 60 detik, maka rotor harus berputar sebanyak 1500 putaran/menit.



Gambar 2.30 Generator AC empat kutub

Sumber : Buku Konversi Energi 2, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 2013

Kutub permanen utara dan kutub selatan menghasilkan garis fluk magnet. Belitan kawat dengan poros yang ujung-ujungnya disambungkan dengan dua cincin putar. Ketika poros diputar, belitan kawat akan memotong garis fluk magnet, sesuai dengan *hukum tangan kiri Flemming* maka pada ujung-ujung cincin akan timbul tegangan yang terukur oleh Voltmeter. Bentuk tegangan berupa gelombang sinus.



Gambar 2.31 Rangkaian pembangkit gelombang pulsa

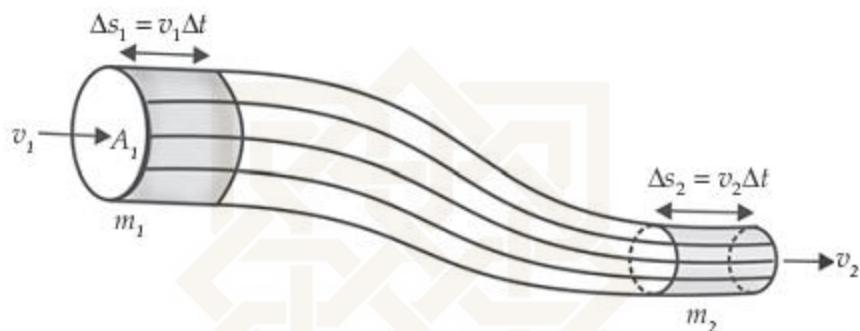
Sumber : Buku Konversi Energi 2, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 2013

Bentuk gelombang AC secara umum gambar 2.31, berwujud bentuk sinusoida, gelombang persegi dan bentuk zig-zag. Satu periode gelombang adalah satu siklus penuh, yaitu satu siklus positif dan satu siklus negatif. Gelombang listrik komersial PLN yang dipakai untuk rumah tangga dan industri adalah sinusoida frekuensi 50 Hz.

## E.Konsep Fluida Dinamis pada PLTMH

### Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas adalah salah satu persamaan dasar dari mekanika fluida; ini menunjukkan prinsip kekekalan massa. Pertimbangkan sebuah elemen dari suatu jalur pipa (lihat gambar di bawah ini) yang dapat dikatakan bahwa massa per detik yang memasuki pipa harus sama dengan massa per detik yang keluar dari pipa dengan asumsi tidak ada rugi-rugi sepanjang dinding tabung.



Gambar 2.32 Tabung Alir Prinsip Kontinuitas

Sumber : <http://riandamesin13.com>

Dapat dirumuskan:

$$\rho w \times v1' \times A1 = \rho w \times v2' \times A2 \quad (2.4)$$

Dimana  $v_i$  adalah rata-rata aliran stationer di saluran masuk dan keluar,  $A_i$  adalah luas penampang melintang pada saluran masuk dan keluar (tegak lurus dengan garis tengah tabung) dan  $\rho$  adalah kekentalan zat cair.

Untuk kebanyakan aplikasi dalam pembahasan mikrohidro, dapat diasumsikan bahwa air tidak dipadatkan dan kekentalan pada persamaan di atas tetap konstan dari masukan sampai sampai keluaran; sehingga persamaan kontinuitasnya menjadi:

$$v1' \times A1 = v2' \times A2 = Q = \text{constant} \quad (2.5)$$

dimana  $Q$  adalah kecepatan volumetrik dari aliran atau debit dengan satuan  $\text{m}^3/\text{detik}$ .

### Kekekalan Energi pada Persamaan Bernoulli

Energi tidak dapat dihasilkan ataupun dimusnahkan tetapi hanya diubah. Energi potensial air disimpan di kolam penampungan di atas bukit diubah menjadi energi kinetik (dan panas akibat gesekan dan turbulansi) apabila air dilepas melalui saluran menuruni bukit.

Di bawah bukit, energi kinetiknya maksimum (air telah dipercepat sampai kecepatan maksimum) ketika energi potensialnya nol, total kandungan energi air adalah sama dengan yang berada di atas bukit, di bawah bukit dan pada semua titik diantaranya, apabila gesekan dari kehilangan energinya diabaikan.

Energi potensial + energi kinetik = konstan

Pertimbangkan aliran di dalam saluran tertutup, bentuk ketiga energi dalam aliran fluida harus ditentukan, yaitu energi yang berasal dari daya aksi atau tekanan, karena itu dinamakan energi tekanan. Sebagai contoh energi tekanan adalah kerja yang dilakukan pada air oleh gerakan piston yang memindahkan sejumlah air dengan jarak tertentu. Penerapan dasar-dasar kekekalan energi ke dalam tiga bentuk energi ini (kinetik, tekanan dan energi potensial) akan mengantar kita ke persamaan Bernoulli. Penerapan persamaan ini hanya untuk sistem dengan aliran stasioner (*steady flow*), yaitu dimana kecepatan aliran  $Q$  tetap konstan sepanjang waktu.

Ketiga bentuk energi di dalam persamaan Bernoulli dapat diperlihatkan secara grafik dalam potongan memanjang dari sebuah sistem jalur pipa (tenaga air dan suplai air). Ini merupakan metode yang sangat sesuai untuk memeriksa tekanan yang terdapat pada tiap titik dalam sebuah jaringan pipa. Perhatikan bahwa datum (level referensi) dapat dipilih pada sembarang level karena energi bukan merupakan jumlah yang mutlak oleh karena itu dapat diukur pada datum yang dikehendaki.

Jarak diantara datum ini dan garis tengah pipa menunjukkan energi potensial di setiap titik (lihat gambar di atas). Garis energi untuk air di dalam reservoar adalah permukaan air yang bebas (praktis kecepatannya adalah nol, tekanannya atmosferik yang biasanya diambil sebagai referensi tekanan). Dalam sebuah fluida ideal tanpa rugi-rugi, garis energi akan horizontal sepanjang pipa.

## Tahukah Kalian?



Daniel Bernoulli pernah menerbitkan buku berisi hasil karyanya tersebut yang diberi judul "Hydrodynamica" Daniel Bernoulli adalah matematikawan termuda dari keluarga Bernoulli. Dan ia adalah seorang matematikawan dan Fisikawan dari Swiss. Daniel Bernoulli membuat penemuan yang penting dibidang hidrodinamika.

Dalam kerjanya yang paling terkenal Bernoulli menunjukkan bahwa: Pada pipa horizontal, tekanan fluida paling besar adalah pada bagian yang kelajuan alirnya paling kecil dan tekanan paling kecil adalah pada bagian yang kelajuan alirnya paling besar (Azaz Bernoulli). Jumlah dari tekanan, energi kinetik persatuan volum, dan energi potensial persatuan volum memiliki nilai yang sama pada setiap titik sepanjang suatu garis arus (Hukum Bernoulli).

Karya matematika Daniel mencakup kalkulus, persamaan diferensial, teori probabilitas (*probability theory*), teori tentang getaran dawai, meneliti teori kinetik gas dan menyelesaikan problem-problem dalam matematika terapan. Sebagai penutup, Daniel Bernoulli adalah penemu disiplin ilmu fisika matematika.

Bagaimanapun, akibat gesekan dan turbulansi garis energi turun secara perlahan (gesekan) atau sekaligus (turbulansi/rugi rugi lokal) dari mulai penampungan sampai keluaran pipa. Garis tekanan digambar pada setiap titik pada jalurpipa dalam suatu jarak velositi head dibawah garis energi. Jarak antara garis tengah pipa dan garis tekanannya adalah kemudian ukuran untuk menskala untuk daya tekanan yang terkandung dalam air. Apabila pipa berdiri dipasang pada jalurpipa di berbagai titik, level air disetiap titik akan naik sampai ke garis tekanan.

### **Aliran Permukaan Bebas**

Aliran dalam saluran alami seperti sungai dan di dalam saluran buatan adalah jenis aliran permukaan bebas. Daya penggerak aliran air dalam saluran terbuka dengan permukaan bebas (tekanan atmosfir) adalah gaya gravitasi; dengan kata lain air digerakkan oleh kemiringan saluran dan tidak seperti di saluran tertutup yaitu dengan perbedaan tekanan head di antara dua bagian.

### **Aliran Seragam dan Aliran Tidak Seragam**

Hal diatas, telah menunjukkan bahwa aliran fluida dalam keadaan mantap apabila kecepatan aliran tidak berubah-ubah terhadap waktu. karena itu, kecepatan dan kedalaman air tidak berubah terhadap waktu pada bagian tertentu.

Ketika melihat perbedaan bagian pada saluran kita mungkin menemukan bahwa kecepatan dan kedalaman air konstan terhadap jarak; aliran seperti ini dinamakan seragam dan level air paralel dengan dasar saluran. Tipe aliran ini biasanya terjadi pada salauran pembawa (*headrace*) dengan potongan melintang dan kemiringan dasar saluran yang konstan.

Dalam kejadian yang lain aliran mungkin berubah berangsur-angsur terhadap jarak, yaitu menjadi aliran tidak seragam, seperti belokan dari aliran air yang tertahan di hulu bendungan dari sebuah skema PLTMH atau permukaan air akan berubah secara cepat ketika terjadi perubahan ukuran saluran atau kemiringan saluran. Aliran mantap ( $Q = \text{konstan}$ ) yang seragam di beberapa bagian dan berubah ditempat yang lainDi dalam PLTMH, kita sebagian besar akan berurusan dengan aliran seragam untuk aliran saluran terbuka. Kedalaman air pada aliran seragam dapat ditentukan dengan rumusan sederhana seperti rumusan Manning-Strickler.

# BAB III

00000000461004



PLTMH SINGOSAREN, BANTUL

## A. PLTMH Singosaren, Bantul

Dusun Singosaren terletak di Desa Wukirsari yang merupakan bagian dari Kecamatan Imogiri Kabupaten Bantul, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Desa Wukirsari ini tergolong desa wisata dikarenakan banyaknya potensi wilayah yang dijadikan tempat kerajinan dan tempat kunjungan. Desa wisata Wukirsari terletak di sebelah timur Bantul ini mempunyai luas daerah kurang lebih 15 [km] <sup>2</sup>, yang terbagi 16 Dusun dan 91 RT. Desa ini menjadi rintisan batik tulis di Kabupaten Bantul dimana batik merupakan kerajinan tradisi turun menurun. Kerajinan lain yang terkenal di desa Wukirsari lainnya adalah kerajinan kulit atau tatah sungging.



Gambar 3.1 PLTMH Singosaren, Bantul

Secara geografis wilayahnya beragam mulai dari perbukitan hingga sungai-sungai. Sebagian wilayahnya masih berupa hutan dan lahan pertanian sehingga tampak asri. Tiap-tiap daerah menyimpan potensi wilayahnya masing-masing mulai dari pengobatan tradisional, keindahan alam, kerajinan, hingga makam-makam yang sering menjadi tempat ziarah.

Melihat potensi aliran air irigasi yang ada di daerahnya Dusun Singosaren, Desa Wukirsari, Imogiri Bantul, Mutohar bersama beberapa rekannya memikirkan apa yang bisa dimanfaatkan dari aliran air irigasi yang alirannya stabil sepanjang tahun ini. Hasilnya, pada tahun 2007 Pembangkit Tenaga Listrik Mikro Hidro (PLTMH) buatan mereka diresmikan. Awalnya mereka hanya ingin coba-coba, melihat air irigasi, mereka merasa sayang tidak bisa termanfaatkan. Sehingga muncul gagasan untuk dibangun pembangkit listrik.

PLTMH sendiri ialah pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak turbinnya yang kemudian menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Mikro hidro bisa memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar. Relatif kecilnya energi yang dihasilkan mikro hidro dibandingkan dengan PLTA

skala besar berimplikasi pada realtif sederhananya peralatan serta kecilnya areal yang diperlukan.

PLTMH yang ada di Singosaren ini mampu menghasilkan listrik kurang lebih 300–600 watt tergantung debit yang ada. Listriknya hanya digunakan untuk penerangan jalan. Namun, selain mampu menghasilkan listrik, alat ini juga dapat digunakan untuk menggerus/memarut kelapa karena alat penggerusnya yang dikopel/disambung langsung dengan putaran turbin sehingga masyarakat tidak perlu repot jika membutuhkan kelapa parutan.

Memang, pembangkit listrik mikro hidro yang ada di dusun ini hanya untuk listrik bagi penerangan jalan, namun berkat usahanya tersebut banyak daerah-daerah disekitarnya yang menginisiasi pembangunan pembangkit listrik mikro hidro ditempat yang lainnya. Dari sekian pengunjung yang datang, banyak diantaranya yang hanya sekedar lihat-lihat sampai resmi untuk belajar langsung, bahkan dari PT. Indonesia Power pernah kesini untuk belajar bagaimana pembangkit listrik mikro hidro yang berada di Singosaren ini.

PLTMH di Singosaren ini memang beberapa kali ramai dikunjungi. Mulai dari instansi pemerintah hingga swasta. Karena itulah, Tohar beserta rekan-rekan lainnya sepakat untuk membentuk kepengurusan. Selain memudahkan dalam pembagian kerja juga meningkatkan kapasitas baik masyarakat maupun operasional mikro hidro dronya. Hasilnya, beberapa bantuan dana pernah didapatkan untuk perawatan dan peningkatan operasional mikro hidronya ini. Salah satunya adalah kincir air sekarang telah bersudu 20 hasil bantuan dari UGM, yang sebelumnya hanya 18 sudu, sehingga dapat meningkatkan tangkapan air yang berarti meningkatkan kapasitas listrik juga.

PLTMH sendiri kini menjadi solusi alternatif untuk menghasilkan listrik. Hal ini karena PLTMH berprinsip sederhana asal ada air dengan cukup beda tinggi dan ruangan yang tidak terlalu luas, listrik dapat dihasilkan terlebih kondisi geografis di Indonesia yang memiliki banyak kontur dataran. Teknologi ini baik untuk diaplikasikan terutama di desa-desa atau daerah terpencil dengan aliran air yang cukup. Dan lebih dari itu, PLTMH ini ramah lingkungan dan termasuk energi terbarukan sehingga biaya operasi dan pemeliharaannya lebih rendah dibandingkan dengan mesin diesel yang menggunakan bahan bakar minyak. Dengan demikian sistem pembangkit mikro hidro ini cocok untuk menjangkau ketersediaan jaringan energi listrik di pedesaan ataupun daerah daerah terpencil.

Di Indonesia sendiri pembangunan PLTMH digalakkan, telah banyak hasil instalasi PLTMH yang tersebar di pelosok Indonesia. Namun, perlu diingat aplikasi teknologi harus pula seiring dengan pembardayaan masyarakat di sekitar teknologi itu sendiri, agar keberlanjutan dan peningkatan yang berkelanjutan dapat tercapai.

## B. Spesifikasi dan Informasi PLTMH Singosaren

1.	Mulai	Pembangunan PLTMH Singosaren diawali oleh salah seorang dari masyarakat sekitar yang ahli di bidang teknik serta mampu melihat potensi wilayahnya
2.	Pemilihan lokasi	Lokasi yang dipilih, didasarkan pada kesederhanaan alat bahan serta pemanfaatannya. Bahkan nilai yang urgen untuk ditonjolkan adalah "pentingnya mempersiapkan Indonesia mandiri energi 2050"
3.	Teknologi yang Tepat	Teknologi tersebut dipilih karena potensi hidrologi dan topografi yang memenuhi persyaratan Prakondisi MHP.
4.	Detail teknis dan modifikasi	Kapasitas : 3 kW Tipe Turbin : Pelton 20 sudu Generator : Synchronous AC type ST-3 Gear box : type speed up Rasio : 1:140
5.	Biaya dan Pendanaan	Proyek ini didanai oleh swadaya masyarakat setempat
6.	Manajemen proyek & waktu	Sebagai program swadaya, baik dari perencanaan, pengelolaan, pengawasan, dan pengembangan dilakukan mandiri oleh masyarakat setempat.
7.	Pelatihan dan Perawatan	Belum ada sumbangsih optimal dari pemerintah daerah, namun hanya pengembangan dan edukasi dari beberapa peneliti/mahasiswa yang melakukan penelitian atau Kuliah Kerja Nyata di daerah tersebut.
8.	Pengawasan	Masih sangat minim, hanya sebagai alternatif karena pemakaian yang sangat kondisional.
9.	Kesulitan	Finansial terkait dengan pengelolaan dan pengembangan.

### c. Potensi PLTMH di Daerah Istimewa Yogyakarta

Potensi tenaga air di propinsi DIY yang dapat dimanfaatkan untuk PLTMH mencapai 763,6 kW seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini. Potensi tenaga air yang terbesar berada di saluran irigasi Kalibawang, Semawung dengan potensi sebesar 200 kW.

No	Nama	Lokasi	Kapasitas(kW)
1	Saluran Kalibawang	Kedungrong 1	90,0
2	Saluran Kalibawang	Kedungrong 2	100,0
3	Saluran Kalibawang	Semawung	200,0
4	Saluran Kalibawang	Tempel, Pendoworejo, Girimulyo	34,0
5	Saluran Kalibawang	Kemukus, Tanjungharjo, Nanggulan	5,3
6	Selokan Kamal	Kamal, Giripurwo, Girimulyo	34,0
7	Selokan Mataram 1	Gasiran, Bangunrejo, Sayegan	9,5
8	Selokan Mataram 2	Bluran, Tirtonadi, Mlati	31,0
9	Selokan Mataram 3	Trini, Trinhanggo, Gamping	23,0
10	Selokan Mataram 4	Gemawang	3,5
11	Selokan Mataram 8	Candisari, Kalasan	4,7
12	Selokan Van Der Wicjk 3	Klagaran, Sendangrejo, Minggir	22,0
13	Selokan Van Der Wicjk 4	Kajoran, Banyurejo, Sayegan	25,0
14	Selokan Van Der Wicjk 5	Kedungprahu, Sendangrejo, Minggir	14,7
15	Sumber Cincin Guling	Gedad, Banyusoco, Playen	3,5
16	Sumber Cincin Guling	Gedad, Banyusoco, Playen	3,0
17	Sumber Air Terjun Slumpret	Mengguran, Bleberan, Playen	41,0
18	Kali Buntung	Kricak, Tegalrejo	12,4
19	Bendung Tegal	Tegal, Kebonagung, Imogiri	106,0
<b>Total</b>			<b>763,6</b>

Sumber : Carepi (2008)

PLTMH yang telah beroperasi di Propinsi DIY diantaranya adalah Minggir unit I dan II (Sleman), Talang Krasak, Turi unit I dan II, Dusun Bendo (Bantul) dan Singosaren. Besarnya tenaga air yang dapat dimanfaatkan bergantung pada besarnya head dan debit air. Secara teknis komponen untuk PLTMH sudah bisa dibuat di dalam negeri sehingga dapat dikatakan sudah layak secara ekonomis untuk dikembangkan. Untuk jangka panjang ketersediaan air yang berkelanjutan sangat penting bagi kelangsungan operasional PLTMH. Oleh karena itu kelestarian lingkungan di sisi hulu sungai sangat perlu untuk dijaga.

## Daftar Pustaka

- Anonim. 2014. *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*. Jakarta : PNPM Mandiri
- Anonim. 2013. *Buku Konversi Energi 2*. Jakarta : Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 2013
- Abdullah, Mikrajuddin. 2007. Catatan Kuliah: *Fisika Dasar 1*. Bandung: Institute Teknologi Bandung.
- IBEKA. 2005. *Manual Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*, Institut Bisnis dan Ekonomi Kerakyatan
- Kadir, Abdul. 2010. Energi: *Sumberdaya, Inovasi, Tenaga Listrik, dan Potensi Ekonomi*. Jakarta: UI Press.
- Intelligent Automation Research Group. 2011. *Majalah Energi edisi Segarnya Bisnis Mikro Hidro*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Integrated Microhydro Development and Application Program (IMIDAP). 2009. *Pedoman Studi Kelayakan PLTMH*. Jakarta : Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral
- ABS Alaskan. 2002. Micro Hydro Power : *A Guide to Small-Scale Water Power System*Sulasno. 2009. *Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Atmadi. 2014. *Pembangkit Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu



## GLOSARIUM

Atom	komponen terkecil dari suatu elemen.
Altimeter	instrumen yang mengukur dan mengindikasikan ketinggian permukaan air laut di mana suatu obyek, seperti pesawat terbang, berada.
Arus bolak-balik	arus listrik yang membalik arah dengan jeda yang reguler, memiliki besaran yang senantiasa berubah-ubah secara sinusoidal.
Bahan bakar	bahan apapun yang bisa dibakar menjadi energi
Baterai	alat untuk menyimpan listrik yang terdiri dari satu atau lebih sel elektrolit.
Batubara	bahan bakar minyak yang terbentuk oleh dari sisa-sisa vegetasi yang terperangkap di bawah tanah tanpa terkena udara.
Bendungan	penghalang untuk menahan aliran air.
Biodiesel	bahan bakar alternatif yang bisa dibuat dari lemak atau minyak sayur.
Biofuel	bahan bakar cair serta komponen pencampurnya yang dihasilkan dari biomassa (tumbuhan) makanan ternak, terutama digunakan untuk transportasi.
Biomassa	bahan organik (tanaman atau hewan) yang tersedia secara terbarukan
Bucket method	mengukur aliran kecil (20 l/detik)
Clinometer	alat untuk mengukur berbagai pengukuran
Efisiensi	rasio tugas yang dilakukan atau energi yang diciptakan oleh mesin dsb.
Energi Listrik	energi yang terkait dengan muatan listrik serta gerakannya
Energi Panas Bumi	energi panas yang dihasilkan oleh proses alami di dalam bumi.
Fotovoltaik	proses di mana beberapa energi dari cahaya (energi radiasi) dikonversi menjadi energi listrik.
Float method	mengukur aliran >20 l/detik
Gas Alam	bahan bakar fosil yang terbakar bersih, tidak berbau, tidak berwarna, tidak memiliki rasa, tidak beracun.
Gas Metana	gas tidak berwarna, bisa terbakar, tidak berbau yang merupakan komponen utama gas alam.
Gas Rumah Kaca	. gas-gas yang menahan panas matahari di atmosfer Bumi dan menghasilkan efek rumah kaca.
Gaya	sesuatu yang mengubah keadaan diam atau bergerak dari sesuatu

Generator	peralatan yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.
Impulse turbines	turbin yang digerakkan oleh semburan cairan bebas yang jatuh ke baling-baling rotor bersama dengan aliran aksial cairan melalui rotor.
Intake	Tempat atau lubang di mana cairan dialirkan ke saluran, pipa dsb.
Joule	unit metrik untuk mengukur tugas dan energi.
Kilowatt-jam (kWh)	ukuran listrik yang didefinisikan sebagai unit energi.
Mini-grid	jaringan listrik di suatu desa atau lingkungan yang dipasok dari satu titik tunggal oleh, misalnya: generator diesel atau PLTA mikro.
Minyak bumi	bahan mentah di mana produk minyak bumi terbuat. Bahan bakar fosil cair berwarna hitam yang ditemukan jauh di dalam Bumi
Off Grid	sistem mandiri yang tidak mengandalkan pada PLN.
On Grid	jika jaringan sudah ada pada seksi ini, maka tenaga air bisa dihubungkan langsung dengan jaringan nasional.
Organik	berasal dari hewan atau tanaman.
Pembangkit listrik	fasilitas di mana energi, terutama listrik dibangkitkan.
Pompa	mesin untuk menaikkan, menjalankan, membuang, atau mengompresi cairan atau gas.
Reaction turbines	turbin yang digerakkan oleh daya reaktif cairan yang melalui kipas rotor.
Reservoir	waduk digunakan untuk menampung air dengan tujuan untuk memanfaatkannya pada saat diperlukan.
Run-of-the-river system	skema ini memanfaatkan weirs untuk mengarahkan kembali air ke tempat pengambilan air dan mengalirkan ke turbin melalui penstock.
Rotor	sistem memutar airfoil atau baling-baling
Tenaga Air	energi yang berasal dari gerakan air
Theodolite	adalah alat pengukur tanah dan bisa mengukur ketinggian, sudut dan jarak.
Transformer	alat untuk mengalihkan arus tidak langsung dari sebuah sirkuit ke sebuah sirkuit atau beberapa sirkuit lainnya.
Turbin	turbin mengkonversi potensi energi air ke energi putar mekanik.

### Lampiran 3.2 Lembar Instrumen Validasi

#### LEMBAR PERBAIKAN AHLI MATERI TERHADAP BUKU PENGAYAAN

No	Saran dan Masukan	Ya	Tidak	Keterangan
1.				
2.				
3.				
4.				

No	Saran dan Masukan	Ya	Tidak	Keterangan
5.				
Dst				

Petunjuk Pengisian:

1. Validator mengisi kolom saran dan masukan terhadap konten buku, disertai halaman dan bagian perbaikan yang perlu dilakukan.
2. Validator mengisi kolom iya/tidak dan keterangan setelah draft produk ditindaklanjuti oleh peneliti.

### Catatan Validator:

Dengan ini menyatakan buku ini layak diterbitkan dikarenakan

# STATE ISLAMIC UNIVERSITY GJUNAN KAHIAGA YOGYAKARTA

### Lampiran 3.3 Lembar Instrumen Perbaikan

#### LEMBAR PERBAIKAN AHLI GRAFIKA TERHADAP BUKU PENGAYAAN

No	Saran dan Masukan	Ya		Tidak		Keterangan
		Ya	Tidak	Ya	Tidak	
1	Desain Cover depan dan belakang di revisi lagi , Pilihlah warna yang lebih teriah.		✓			
2	Penulisan <del>atau</del> Pengantar, Daftar Isi , Daftar Pustaka , dan <del>Glossarium</del> di perbaiki lagi.		✓			
3	Konsistensi Paragraf tiap halaman , Sasis tiap baris , Jarak kalimat dalam buku , Penomoran tiap bab , dan Konsistensi Penulisan Kata di perbaiki lagi.		✓			
4	Pemilihan gambar sebaiknya resolusi tinggi agar tidak jelek dan gambar harus mencantumkan Sumber , serta Keterangan gambar harus jelas.		✓			

No	Saran dan Masukan	Ya	Tidak	Keterangan
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penulisan diagram dan tabel harus jelas (harus dibuat pada buku).</li> <li>- Penulisan frasi harus konsisten besar kecilnya dan pemisahan uangannya.</li> </ul>	✓		
	Dst			

## Petunjuk Pengisian :

1. Validator mengisi kolom saran dan masukan terhadap konten buku, disertai halaman dan bagian perbaikan yang perlu dilakukan.
  2. Validator mengisi kolom iya/tidak dan keterangan setelah draft produk ditindaklanjuti oleh peneliti.

## LEMBAR PERBAIKAN AHLI MATERI TERHADAP BUKU PENGAYAAN

JUDUL BUKU: PLTMH PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO

PENULIS : MUHAMMAD ZAINUDDIN AS

No.	Saran dan Masukan	Ya	Tidak	Keterangan
1.	Penulisan judul buku pada kata pengantar tidak sama dengan bagian sampul. Sebaiknya disamakan.	✓		
2.	Semua gambar dan tabel yang sebaiknya menyatu dengan teks artinya gambar dan tabel yang diberikan diacu dalam tulisan.	✓		
3.	Tidak ada penomoran diagram. Diagram dikategorikan sebagai gambar (halaman 3, 4, 8, dan 17).	✓		
4.	Beberapa gambar merupakan gambar yang sama (gambar 2.9 halaman 24 dengan gambar 2.12., gambar 2.18, dan gambar 3.3). Gambar 2.5 dengan gambar 3.5. Sebaiknya cukup satu penomoran gambar saja untuk gambar sama.	✓		
5.	Metode penulisan angka pecahan adalah sistem Indonesia, bukan Eropa atau US. Misalnya pada tabel 1.1: tertulis <b>120,5</b> seharusnya <b>120,5</b>	✓		
6.	Pengambilan tabel dari acuan sebaiknya ditulis ulang, bukan dijadikan <i>image</i> . (Tabel 1.1 dan tabel 1.2)	✓		Pembentukan bentuk tabel harus konsisten.
7.	Penulisan singkatan satuan besaran disesuaikan ketentuan EYD. Kilo – k, Mega – M, Watt – W, Detik – s, Jam – H,	✓		
8.	Penulisan istilah asing, bukan bahasa Indonesia, menggunakan huruf <i>italic</i> .	✓		

No	Saran dan Masukan	Ya		Tidak		Keterangan
9.	Rumus halaman 37 ditulis dengan <i>insert Equation</i> dan diberi nomor persamaan serta keterangan.			✓		
10.	Penulisan daftar pustaka disesuaikan pedoman yang berlaku			✓		

### Lampiran 3.4 Lembar Instrumen Penilaian

Catatan Validator :

Buku Pengayaan ini telah diperbaiki dengan baik dan sudah diterbitkan kembali.

Validator menyatakan Penilaian terhadap buku Pengayaan ini sudah baik dan selanjutnya bisa dikembangkan dan disebarluaskan untuk umum.

Dengan ini mengatakan buku ini layak di terbitkan dikarenakan sudah baik menurut isiannya dan sudah melalui tahap Perbaikan seperlunya.

Catatan Validator:

Secara umum Buku Pengayaan dengan judul **PLTHM untuk SMA/MA** ini sangat baik untuk menambah pengetahuan siswa. Dengan membaca buku ini siswa dapat memperoleh pengetahuan khusus tentang energi yang ada di alam, kekayaan energi yang ada di Indonesia, pemanfaatan energi, dan pengelolaan energi yang baik.

Penulisan menggunakan buku dengan 2 kolom perlu kajian lagi dikaitkan dengan standar penulisan buku yang ada. Penulisan buku dengan 2 kolom terkesan seolah-olah seperti jurnal atau koran.

Dengan ini menyatakan buku ini layak dipakai dengan alasan *dapat menambah wawasan pengetahuan dan ketrampilan siswa tentang pembangkit tenaga listrik mikro hidro.*

Yogyakarta, 4 Agustus 2017

Validator,



Dr. Ir. Iswanjono, M.T.  
Ketua Pusat Studi Energi  
Universitas Sanata Dharma  
Yogyakarta

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
**YOGYAKARTA**

**Lampiran 3.5 Lembar Surat Pernyataan Ahli Grafika****SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Nuril Anwar, S.Pd.Si

Instansi : PT. Bumi Aksara Jakarta Timur

Bidang Keahlian : Fisika & Editor Buku Sekolah

Menyatakan bahwa saya telah memberikan validasi terhadap produk berupa "Buku Pengayaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro untuk SMA/MA" yang disusun oleh,

Nama : Muhammad Zainuddin AS

NIM : 13690043

Program Studi : Pendidikan Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Harapan saya, masukkan yang saya berikan dapat digunakan untuk memperbaiki produk yang dikembangkan.

Yogyakarta, 24 Juli 2017  
Validator,



Nuril Anwar, S.Pd.Si.

**Lampiran 3.6 Lembar Surat Pernyataan Ahli Materi****SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

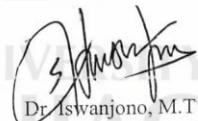
Nama : Dr. Iswanjono, M.T  
Instansi : Dosen Tenik Elektro Universitas Sanata Dharma Yogyakarta  
Bidang Keahlian : Fisika dan Elektro

Menyatakan bahwa saya telah memberikan validasi terhadap produk berupa Buku Pengayaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro untuk SMA/MA yang disusun oleh,

Nama : Muhammad Zainuddin AS  
NIM : 13690043  
Program Studi : Pendidikan Fisika  
Fakultas : Sains dan Teknologi

Harapan saya, masukkan yang saya berikan dapat digunakan untuk memperbaiki produk yang dikembangkan.

Yogyakarta, 2 Agustus 2017  
Validator,



Dr. Iswanjono, M.T

**Lampiran 4.1 Produk Akhir**

# PLTMH

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO



UNTUK  
**SMA/MA**

BUKU PENGAYAAN

MUHAMMAD ZAINUDDIN AS

# BUKU PENGAYAAN PLTMH

## PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO UNTUK SMA/MA

Buku pengayaan ini memberikan referensi yang berguna kepada para pelajar pada khususnya dan kepada masyarakat pada umumnya, mengenai energi terbarukan (dalam hal ini Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro). Buku ini dimaksudkan untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai pemanfaatan energi terbarukan yang digunakan di berbagai konteks pedesaan di Indonesia. Dalam buku ini, akan dipaparkan berkaitan proses dan pengelolaan yang diintegrasikan dengan materi fisika sekolah menengah. Kemudian dilengkapi dengan studi kasus yang berada di PLTMH Singosaren yang ada di daerah Bantul, Yogyakarta.

Manfaat bagi peserta didik, akan menambah wawasan terkait dengan materi yang diajarkan di kelas, sehingga konteks teknologi dan materi fisika, dapat dipahami langsung dalam kegiatan sehari-hari, selain itu juga untuk memotivasi peserta didik mampu menginisiasi pembangunan bahkan mengembangkan.

Sementara, bagi masyarakat luas, teknologi ramah lingkungan (energi terbarukan) merupakan hal baru bagi kebanyakan daerah pedesaan di Indonesia. Dengan materi dalam buku ini, maka anda akan melihat bagaimana perkembangan zaman perlu dilakukannya inovasi dan pengembangan yang ramah lingkungan dan juga masyarakat-masyarakat seperti dilingkungan anda sendiri telah belajar bagaimana bekerjasama dalam berbagai cara yang baru untuk melakukan penyempurnaan yang signifikan dengan mengadaptasi berbagai teknologi yang sederhana.



Pendidikan Fisika  
UIN SUNAN KALIJAGA  
2017

## Daftar Isi

Kata Pengantar .....	i
Daftar Isi .....	ii
Bab I Energi Terbarukan	
A. Energi.....	2
1. Sumber Energi .....	2
2. Energi di Indonesia.....	3
3. <i>Green Technology</i> .....	6
4. Energi Terbarukan .....	7
5. Memahami Energi.....	13
a. Konsep Energi.....	13
b. Macam-macam Energi.....	15
6. Pentingnya Sumber Energi.....	19
Bab II Energi Air	
A. Pembangkit Listrik.....	21
B. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).....	23
1. Pengertian Mikro Hidro .....	23
2. Prinsip Kerja PLTMH.....	23
3. Konversi Energi PLTMH.....	23
4. Bagian-bagian PLTMH .....	23
5. Perhitungan Teknis .....	25
C. Tipe-tipe Turbin .....	30
D. Prinsip Generator pada PLTMH .....	34
E. Konsep Fluida Dinamis dalam PLTMH .....	39
Bab III Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Singosaren, Bantul	
A. PLTMH Singosaren.....	43
B. Spesifikasi dan Informasi PLTMH Singosaren .....	45
C. Potensi PLTMH di DIY .....	48
Daftar Pustaka .....	49
Glosarium .....	50

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Panyayang, dengan ini kami panjatkan puji syukur atas kehadirat-Nya, yang telah melimpahkan rahmat-Nya kepada kami, sehingga kami dapat menyelesaikan "Buku Pengayaan PLTMH untuk SMA/MA"

"Buku Pengayaan PLTMH untuk SMA/MA" ini telah kami usahakan semaksimal mungkin dan tentunya dengan bantuan dari banyak pihak, sehingga dapat memperlancar proses pembuatan buku ini. Oleh sebab itu, kami juga ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu kami dalam pembuatan buku pengayaan ini.

Akhirnya penyusun mengharapkan semoga "Buku Pengayaan PLTMH untuk SMA/MA" ini dapat diambil manfaatnya sehingga dapat memberikan tambahan wawasan serta inspirasi terhadap pembaca. Selain itu, kritik dan saran dari Anda kami tunggu untuk perbaikan buku pengayaan ini nantinya.

Yogyakarta, Agustus 2017

Penulis



# *Bab I*

# ENERGI TERBARUKAN

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

*menyongsong Indonesia mandiri energi*

# A. Energi

Apa yang dimaksud dengan energi? Secara sederhana, Energi merupakan salah satu konsep yang paling penting dalam sains. Energi adalah "kemampuan untuk melakukan kerja" (Giancoli, 2001:178). Ketersediaan energi di dunia semakin menipis, ketidakstabilan politik dan perubahan iklim membuat problematika seputar energi semakin klimaks. Maka dari itu, perlu adanya langkah real guna merubah paradigma energi dan memaksa dunia beradaptasi untuk mencapai keamanan energi jangka panjang yang berkelanjutan.

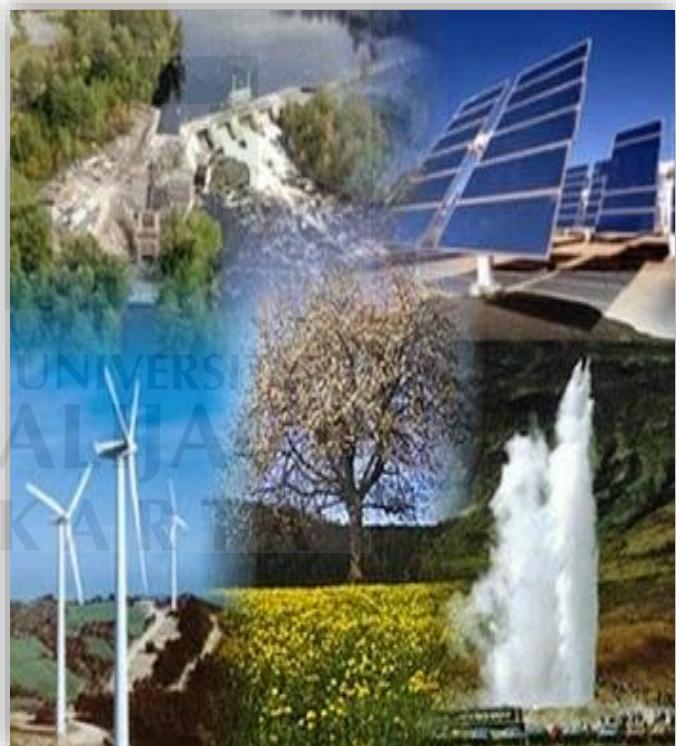
Salah satu langkah real pemerintah yaitu mencanangkan program industri hijau seperti yang tercantum dalam UU No 3 tahun 2014 tentang perindustrian menjadi salah satu solusi yang paling menjanjikan. Industri hijau adalah industri yang dalam proses produksinya mengutamakan upaya efisiensi dan efektivitas penggunaan sumber daya secara berkelanjutan. Industri hijau dapat menyelaraskan pembangunan industri dengan kelestarian fungsi lingkungan hidup serta dapat memberikan manfaat bagi masyarakat. Setidaknya ada beberapa poin tentang green technology yang penting untuk diketahui, diantaranya :

## 1. Sumber Energi

Sumber energi ada dua yaitu energi konvensional dan energi terbarukan. Energi konvensional adalah energi yang diambil dari sumber yang tersedia dalam jumlah terbatas di bumi dan tidak dapat diregenerasi. Sumber-sumber energi ini akan berakhir cepat atau lambat dan berbahaya bagi lingkungan.

Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber alami seperti matahari, angin, dan air (lihat **Gambar 1.1**) dan dapat dihasilkan lagi dan lagi. Sumber akan selalu tersedia dan tidak merugikan lingkungan.

Sumber-sumber energi konvensional dan terbarukan bisa dikonversikan menjadi sumber-sumber energi sekunder, seperti listrik. Listrik dinamakan sumber energi sekunder atau pembawa energi karena dapat dimanfaatkan untuk menyimpan, memindahkan, dan juga mendistribusikan energi.



**Gambar 1.1** Sumber Energi  
Sumber: <http://www.prosesindustri.com>

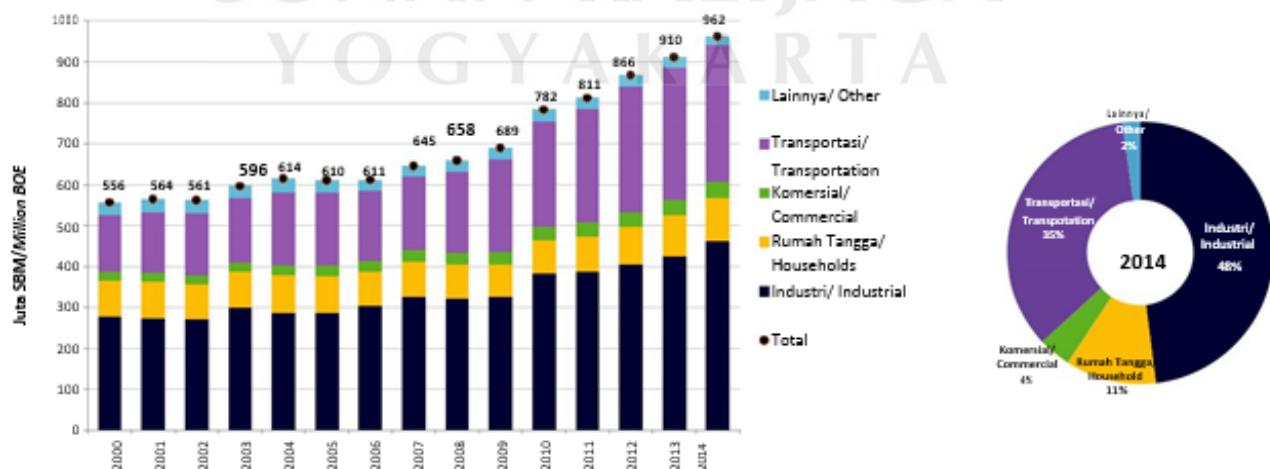
## 2. Energi di Indonesia

Akhir-akhir ini, pemerintah terus mengembangkan berbagai energi alternatif guna mengimbangi kebutuhan energi listrik nasional dengan mengembangkan energi terbarukan (*renewable energy*). Potensi energi terbarukan, seperti biomassa, panas bumi, energi surya, energi air, dan energi angin sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan, padahal potensi energi terbarukan di Indonesia sangat besar.

Senada dengan program pemerintah diatas, Menteri ESDM Sudirman Said mengatakan bahwa Kementerian ESDM saat ini fokus pada penyelesaian masalah akses listrik melalui Program Indonesia Terang (PIT). Program Indonesia Terang (PIT) adalah program pemerataan listrik desa-desa di Indonesia yang selama ini masih belum mendapatkan penerangan listrik dengan baik. Menurut beliau, membangun kelistrikan di wilayah daratan luas, lebih gampang daripada di daerah-daerah kepulauan terpencil.

Indonesia berencana untuk meningkatkan porsi pemanfaatan energi terbarukan, yang sangat sesuai untuk dikembangkan di daerah-daerah pedesaan dan daerah terpencil. Kebijakan Energi Nasional saat ini telah menetapkan target pembangunan energi jangka panjang yaitu meningkatkan peran energi yang baru dan terbarukan hingga 25% dari konsumsi energi primer pada tahun 2025. Dukungan yang lebih besar dari para pemangku kepentingan dan pelaksanaan teknologi yang telah disempurnakan bisa melampaui sasaran tersebut. Sebesar 25% sumber-sumber energi berasal dari sumber energi baru dan terbarukan pada tahun 2025. Sasaran yang ambisius ini disosialisasikan sebagai "Visi 25/25."

Peningkatan konsumsi energi final per sektor selalu terjadi setiap tahun pada periode 2000–2014, kecuali pada tahun 2005 dan 2006. Rata-rata pertumbuhan tahunan selama periode 2000-2014 adalah 3,99% per tahun dari 555,88 juta pada tahun 2000 menjadi 961,39 juta pada tahun 2014.



**Gambar 1.2** Diagram Konsumsi Energi Final Per Sektor  
Sumber : Tim Contained Energy Indonesia (2014)

Data pada **Gambar 1.2** didapatkan dari *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia* (HEESI) tahun 2015 yang diterbitkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). Total konsumsi energi final per sektor yang dibahas disini tidak memperhitungkan konsumsi produk petroleum lainnya. Perhitungan konsumsi energi final mencakup sektor industri, rumah tangga, komersial, transportasi, dan lainnya. Sektor lainnya meliputi pertanian, konstruksi, dan pertambangan, sementara sektor komersial meliputi hotel, restoran, rumah sakit, supermarket, gedung perkantoran, dan sebagainya.

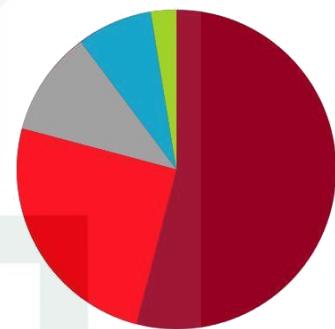
Selama tahun 2000–2014 terjadi penurunan konsumsi energi final terutama pada tahun 2005 dan 2006. Hal ini disebabkan oleh kenaikan harga BBM yang membuat produktivitas industri menurun yang berdampak terhadap penurunan konsumsi energi final sektor transportasi pada tahun 2006. Kebijakan kenaikan harga jual BBM mendorong peningkatan inflasi. Menurut data Bank Indonesia, inflasi pada Januari 2005 mencapai 7,32% dan naik menjadi 17,1% pada Desember 2005.

Konsumsi energi final tertinggi pada periode 2000-2014 terjadi pada sektor industri, diikuti rumah tangga dan transportasi, serta yang paling rendah adalah komersial dan lainnya. Hal ini disebabkan oleh jumlah kendaraan di Indonesia yang meningkat tajam dari 19 juta kendaraan pada tahun 2000 menjadi 114 juta kendaraan pada tahun 2014 dengan rata-rata kenaikan per tahunnya sebesar 13,7% berdasarkan data Statistik Transportasi Darat 2014.



**Gambar 1.3** SPBU di Sleman  
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Di bawah ini, disajikan konsumsi sumber energi pada tahun 2010 menurut data yang berasal dari Ditjen ESDM:



**Gambar 1.4** Diagram Konsumsi Energi Primer  
Tahun 2010  
Sumber: Tim Contained Energy Indonesia (2014)

Keterangan:

Minyak	57%
Gas alam	25%
Batubara	13%
Tenaga air	4%
Panas bumi	1%

Sumber-sumber energi konvensional primer diambil dari tanah dalam bentuk cair (minyak & petroleum), gas (gas alam) dan padat (batubara & uranium). Sumber-sumber energi yang ada di Indonesia saat ini terdiri atas sumber minyak yang terbatas, sumber gas alam yang cukup, dan sumber batubara yang melimpah, serta energi panas bumi. **Gambar 1.4** memperlihatkan bahwa minyak adalah sumber energi primer utama di Indonesia. Tenaga nuklir tidak digunakan,

namun disebutkan pada buku pengayaan ini sebagai sumber energi primer konvensional, untuk menekankan pernyataan ini kita lihat fakta berikut:

*"Bahan Bakar Fosil merupakan sumber energi tidak terbarukan tetapi tidak semua sumber energi tidak terbarukan adalah bahan bakar minyak (contoh: uranium).*

### **Bagaimana cara kerjanya?**

Bahan bakar fosil bisa langsung dibakar pada tungku atau kompor dan akan menghasilkan panas yang bisa dimanfaatkan untuk proses industri atau sekedar untuk memasak.

Bahan bakar minyak bisa digunakan sebagai sumber energi primer untuk transportasi. Campuran udara dan bahan bakar fosil dibakar di dalam mesin dan energi yang dihasilkan dikonversi menjadi energi mekanik yang menggerakkan sepeda motor, mobil atau kapal. Generator mesin diesel bekerja dengan cara yang sama dengan mesin mobil.

Namun, energi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan poros genset digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Batubara dan gas alam dibakar di pembangkit listrik thermal untuk menghasilkan listrik dengan skala besar (untuk kota-kota besar).

Pembangkit Listrik Tenaga Batubara adalah pembangkit listrik thermal paling awal dibangun yang menggunakan bahan bakar fosil. Pembangkit listrik tenaga batu bara membakar batubara untuk memanaskan air yang digunakan menggerakkan turbin uap, terutama baling-baling besar dengan bilah-bilah logam yang dikemas rapat untuk membangkitkan tenaga.

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (lihat **Gambar 1.5**) bekerja atas prinsip yang sama dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Tetapi, turbin gas lah yang digunakan untuk menciptakan energi. Paduan gas dan udara dinyalakan dan menggerakkan turbin gas. Proses operasional Pembangkit Listrik Tenaga Gas selanjutnya mirip dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap



**Gambar 1.5** PLTG Cilegon  
Sumber: [www.tahuberita.com](http://www.tahuberita.com)

### **3. Green Technology (Teknologi Hijau)**

Teknologi hijau (*greentech*) yang juga dikenal dengan teknologi lingkungan (*envirotech*) dan teknologi bersih (*cleantech*) adalah integrasi antara teknologi modern dan ilmu lingkungan untuk melestarikan lingkungan global dan sumber daya alam serta untuk mengurangi dampak negatif dari aktifitas manusia di planet bumi (. Teknologi hijau di masa depan, akan dianggap sebagai tujuan dari kehidupan manusia karena manusia tidak bisa terus menerus menggunakan teknologi yang menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan. Peran kita lahir sebagai manusia yang senantiasa harus menjaga planet bumi dari kerusakan dan kehancuran.

Konsep penerapan teknologi hijau secara umum memiliki beberapa tujuan utama yang memiliki prioritas untuk dapat diterapkan dalam kehidupan manusia, yaitu:

- a) Keberlangsungan, yaitu upaya untuk memenuhi kebutuhan masyarakat secara terus menerus di masa depan tanpa merusak atau menghabiskan sumber daya alam.
- b) Pendaur-ulangan sampah, yaitu upaya untuk mengakhiri siklus barang sekali pakai, dengan menciptakan produk

- c) yang sepenuhnya dapat diperoleh kembali atau digunakan kembali.
- d) Pengurangan sumber sampah, yaitu upaya untuk mengurangi sumber limbah dan polusi dengan mengubah pola produksi dan pola konsumsi.
- e) Inovasi, yaitu upaya untuk mengembangkan teknologi alternatif yang ramah lingkungan guna memenuhi kebutuhan manusia tanpa merusak lingkungan.
- f) Viabilitas, yaitu upaya untuk menciptakan suatu pusat kegiatan ekonomi di seluruh bidang teknologi dan produk yang memberikan keuntungan bagi lingkungan dan menciptakan peluang usaha baru yang benar-benar melindungi planet bumi dari kerusakan.
- g) Edukasi, yaitu upaya untuk meningkatkan pemahaman akan pentingnya penerapan teknologi hijau guna mendukung daya dukung lingkungan yang berkelanjutan.

Dari tujuan diatas dapat disimpulkan dalam tiga prinsip utama konsep *green technology*, yaitu:

- a) Kenyamanan sosial
- b) Ekonomis
- c) Ramah lingkungan

## 4. Energi Terbarukan

### Apakah yang dimaksud dengan Energi Terbarukan?

Dari pengertian teknologi hijau (*green technology*) diatas, energi terbarukan merupakan gagasan yang sejalan dengan konsep, tujuan dan prinsip dari teknologi hijau. Sehingga keduanya bagaikan dua sisi mata uang yang tidak dipisahkan. Energi terbarukan adalah sumber-sumber energi yang bisa habis secara alamiah. Energi terbarukan berasal dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar, misal: matahari, angin, sungai, tumbuhan dan sebagainya. Energi terbarukan merupakan sumber energi paling bersih yang tersedia di planet ini. Untuk mengetahui lebih lanjut bahasan energi terbarukan, perlu kita pahami juga tentang energi fosil, potensi dan kebermanfaatannya.

**Tabel 1.1** Sumber Daya Energi Fosil di Indonesia

<b>No.</b>	<b>Jenis Energi</b>	<b>Satuan</b>	<b>Sumber Daya</b>	<b>Cadangan</b>	
				<i>Real</i>	<i>3,6</i>
<b>1</b>	<b>Minyak Bumi</b>	<b>Miliar Barel</b>	<b>151</b>	<i>Potensi</i>	<i>7,4</i>
				<i>Real</i>	<b>100,3</b>
<b>2</b>	<b>Gas Bumi</b>	<b>TSCF</b>	<b>487</b>	<i>Potensi</i>	<b>149,3</b>
<b>3</b>	<b>Batubara</b>	<b>Miliar Ton</b>	<b>120,5</b>		<b>31,35</b>

Sumber: BPTP Outlook Energi Indonesia (2016)

#### a. Potensi Sumber Daya Energi Fosil

**Tabel 1.1** menunjukkan Indonesia memiliki potensi energi fosil yang cukup beragam yaitu minyak bumi, gas bumi dan batubara. Cadangan terbukti minyak bumi sebesar 3,6 miliar barrel, gas bumi sebesar 100,3 TSCF (Triliun Standard Cubic Feet) dan cadangan batubara sebesar 31,35 miliar ton. Bila diasumsikan tidak ada penemuan cadangan baru maka minyak bumi akan habis dalam 13 tahun, gas bumi 34 tahun dan batubara 72 tahun. Energi fosil telah menjadi penggerak pertumbuhan ekonomi Indonesia dimasa lalu dan saat ini, dimasa depan masih ada potensi energi lainnya seperti gas alam batubara (*coal bed methane*), gas alam (*shale gas*), dan energi baru.

#### b. Potensi Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan

Selama ini peranan energi fosil masih mendominasi pemanfaatan energi Indonesia. Diperlukan adanya perubahan paradigma pengelolaan energi yang mengedepankan diversifikasi dan konservasi energi sehingga peran EBT akan lebih maksimal. EBT diharapkan dapat menjadi penopang utama penyediaan energi nasional di masa depan. Oleh karena itu sebagai langkah awal, proses pemetaan potensi EBT Indonesia penting untuk dilakukan. Selanjutnya untuk pemanfaatan potensi, dapat aling bersinergi antara semua elemen masyarakat. Dengan demikian, potensi dapat dikelola secara massif sesuai struktural yang telah disepakati.

**Tabel 1.2** Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan

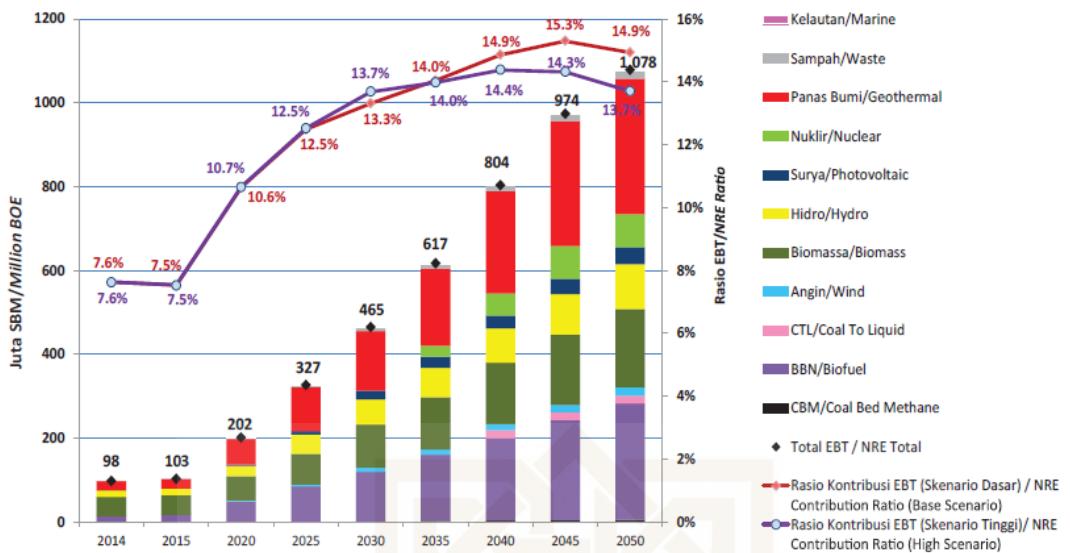
No	Jenis Energi	Sumber Daya	Cadangan	Kapasitas Terpasang
1	Panas Bumi	12,386 Mwe	16,524 Mwe	1,343 MW
2	Hidro	75,000 MW		8,671MW
3	Biomassa	32,654 Mwe		1,626 Mwe (off Grid), 90,5 (On Grid)
4	Energi Surya	4.80 kWh/m <sup>2</sup> /day		19,2 MW
5	Energi angin	970 MW		1,96 MW
6	Uranium	3000 MW		30 MW
7	Gas metana batubara	456,7 TSCF		
8	<i>Shale gas</i>	574 TSCF		
9	Gelombang laut	1.995,2 MW (Potensi Praktis)		
10	Energi panas laut	41.012 MW (Potensi Praktis)		
11	Pasang surut	4.800 MW (Potensi Praktis)		

Sumber : Ditjen EBTKE (2014)

### c. Energi Baru Terbarukan (EBT)

Berdasarkan skenario kebijakan energi nasional, penyediaan EBT meningkat dengan pertumbuhan 7% per tahun sehingga pada tahun 2050 pemanfaatan EBT bertambah lebih dari 12 kali lipat dari tahun 2013. Dominasi biomassa pada pangsa penyediaan EBT digeser oleh panas bumi mulai pada tahun 2020. Hal ini tidak lepas dari upaya pemerintah dalam mendorong pemanfaatan EBT dalam ketenagalistrikan. Biomassa yang dimaksud disini adalah biomassa yang dapat diperjualbelikan dan dipakai di sektor industri maupun sektor komersial.

Sampah untuk pembangkit listrik juga dimasukkan kedalam kategori biomassa namun penggunaan kayu bakar di sektor rumah tangga tidak termasuk di dalamnya. Jenis EBT yang lainnya seperti CBM, CTL, angin, tenaga matahari, nuklir, dan kelautan yang sebelumnya tidak muncul di tahun 2013 mulai mengisi bauran energi nasional tahun 2025. Rasio kontribusi EBT terhadap total penyediaan (lihat **Gambar 1.6**) masih cukup rendah, yaitu sebesar 7,27% di tahun 2016, 11,4% di tahun 2025 dan 11,7% di tahun 2050.



**Gambar 1.6** Diagram Proyeksi Penyediaan EBT dan Rasio Kontribusi EBT

Sumber: BPTP Outlook Energi Indonesia (2016)

Terlepas dari belum terdatanya pemakaian energi alternatif di banyak industri dalam statistik konsumsi energi dibutuhkan upaya ekstra dari pemerintah untuk meningkatkan peran EBT dalam bauran energi nasional. Skema yang dijalankan dalam proyeksi pun belum mempertimbangkan skenario-skenario yang mendukung KEN (Kebijakan Energi Nasional). Oleh karena itu rasio EBT pada skenario EB masih jauh dibawah target KEN sebesar 23% tahun 2025 dan 31% tahun 2050. BBN yang terdiri atas biodiesel dan bioethanol merupakan bahan bakar alternatif yang paling potensial pengganti bahan bakar minyak. Namun masih banyak kendala yang menghambat perkembangan pemakaian BBN di Indonesia. Salah satunya adalah ketersediaan bahan baku.

Sementara itu penyaluran biodiesel sampai dengan bulan Agustus 2015 baru mencapai 8,3% persen dari total penyaluran tahun 2014 atau kurang dari satu juta kiloliter. Penyaluran biodiesel terhambat oleh pasokan FAME (Fatty Acid Methyl Ester) produk turunan minyak sawit yang

digunakan sebagai campuran solar, untuk menghasilkan biodiesel yang masih sangat kurang. Harga FAME yang jauh lebih mahal dari harga solar menyebabkan pemasok FAME tidak mau menjual dengan harga beli Pertamina, yaitu 103,5% dari harga gasoil dengan kadar sulfur 0,25%. Oleh karena itu perlu ada subsidi harga yang diberikan kepada produsen FAME untuk meningkatkan penggunaan biodiesel.

Ada beragam jenis energi terbarukan, namun tidak semuanya bisa digunakan di daerah-daerah terpencil dan pedesaan. Tenaga surya, tenaga angin, biomassa dan tenaga air adalah teknologi yang paling sesuai untuk menyediakan energi di daerah-daerah terpencil dan perdesaan. Energi terbarukan lainnya termasuk panas bumi dan energi pasang surut adalah teknologi yang tidak bisa dilakukan di semua tempat. Indonesia memiliki sumber panas bumi yang melimpah, yakni sekitar 40% dari sumber total dunia. Akan tetapi sumber-sumber ini berada di tempat-tempat yang spesifik dan tidak tersebar luas.

Berbagai jenis energi terbarukan di antaranya :

### 1) Energi Surya

Matahari terletak berjuta-juta kilometer dari bumi (149 juta kilometer) akan tetapi menghasilkan jumlah energi yang luar biasa banyaknya. Energi yang dipancarkan oleh matahari yang mencapai bumi setiap menit akan cukup untuk memenuhi kebutuhan energi seluruh penduduk manusia di planet kita selama satu tahun, jika bisa ditangkap dengan benar.

### 2) Tenaga Angin

Pada saat angin bertiup, angin disertai dengan energi kinetik (gerakan) yang bisa melakukan suatu pekerjaan. Contoh, perahu layar memanfaatkan tenaga angin untuk mendorongnya bergerak di air. Tenaga angin juga bisa dimanfaatkan menggunakan baling-baling yang dipasang di puncak menara, yang disebut dengan turbin angin yang akan menghasilkan energi mekanik atau listrik.

### 3) Biomassa

Biomassa merupakan salah satu sumber energi yang telah digunakan orang sejak dari jaman dahulu kala: orang telah membakar kayu untuk memasak makanan selama ribuan tahun. Biomassa adalah semua benda organik (misal: kayu, tanaman pangan, limbah hewan & manusia) dan bisa digunakan sebagai sumber energi untuk memasak, memanaskan dan pembangkit listrik.

### 4) Tenaga Air

Tenaga air adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir atau air terjun. Air yang mengalir ke puncak baling-baling atau baling-baling yang ditempatkan di sungai, akan menyebabkan baling-baling bergerak dan menghasilkan tenaga mekanis atau listrik. Tenaga air sudah cukup dikembangkan dan ada banyak pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang menghasilkan listrik di seluruh Indonesia. Pada umumnya, bendungan dibangun di seberang sungai untuk menampung air di mana sudah ada danau. Air selanjutnya dialirkan melalui lubang-lubang pada bendungan untuk menggerakkan baling-baling modern yang disebut dengan turbin untuk menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. Akan tetapi, hampir semua program PLTA kecil di Indonesia merupakan program yang memanfaatkan aliran sungai dan tidak mengharuskan mengubah aliran alami air sungai.

### 5) Energi Panas Bumi

Energi panas bumi adalah energi panas yang berasal dari dalam bumi. Pusat bumi cukup panas untuk melelehkan bebatuan. Tergantung pada lokasinya, maka suhu bumi meningkat satu derajat Celsius setiap penurunan 30 hingga 50 m di bawah permukaan tanah. Suhu bumi 3000 meter di bawah permukaan cukup panas untuk merebus air. Kadang-kadang air bawah tanah merayap mendekati bebatuan panas dan menjadi sangat panas atau berubah menjadi uap.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB) adalah seperti pembangkit listrik tenaga batu bara biasa, hanya tidak memerlukan bahan bakar. Uap atau air panas langsung berasal dari bawah tanah dan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator yang menghasilkan listrik. Lubang-lubang dibor ke dalam tanah dan uap atau air panas keluar dari pipa-pipa dialirkan ke pembangkit listrik tenaga panas bumi untuk menghasilkan listrik.

Tenaga panas bumi bersifat terbarukan selama air yang diambil dari bumi dimasukkan kembali secara terus-menerus ke dalam tanah setelah didinginkan di pembangkit listrik. Tidak banyak tempat di mana PLTPB bisa dibangun karena perlu menemukan lokasi dengan jenis bebatuan yang sesuai dengan kedalaman di mana memungkinkan untuk melakukan pemboran ke dalam tanah dan mengakses panas yang tersimpan.

## 6) Energi Pasang Surut

Dua kali sehari, air pasang naik dan turun menggerakkan volume air yang sangat banyak saat tingkat air laut naik dan turun di sepanjang garis pantai. Energi air pasang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik seperti halnya listrik tenaga air tetapi dalam skala yang lebih besar. Pada saat air pasang, air bisa ditahan di belakang bendungan. Ketika surut, maka tercipta perbedaan ketinggian air antara air pasang yang ditahan di bendungan dan air laut, dan air laut di belakang bendungan bisa mengalir melalui turbin yang berputar, untuk menghasilkan listrik. Memang tidak mudah membangun penahan air pasang ini, karena pantai harus terbentuk secara alami dalam bentuk kuala, dan hanya 20 lokasi di seluruh dunia yang telah diidentifikasi sebagai tempat yang berpotensi untuk dimanfaatkan energi pasang surut.

## 7) Tenaga Ombak

Ombak laut yang selalu beralun disebabkan oleh angin yang meniup di atas laut. Ombak laut memiliki potensi menjadi sumber energi yang hebat jika bisa dimanfaatkan dengan benar. Ada beberapa metode untuk memanfaatkan energi ombak. Ombak bisa ditangkap dan dinaikkan ke bilik dan udara dikeluarkan paksa dari bilik tersebut. Udara yang bergerak menggerakkan turbin (seperti turbin angin) yang menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik.

Sistem energi ombak yang lain adalah memanfaatkan gerakan naik turun ombak untuk menggerakkan piston yang bisa menggerakkan generator. Tidak mudah untuk menghasilkan listrik dari ombak dalam jumlah besar dan memindahkan energi tersebut ke pantai merupakan kesulitan tersendiri. Inilah sebabnya sistem tenaga ombak sejauh ini belum lazim.

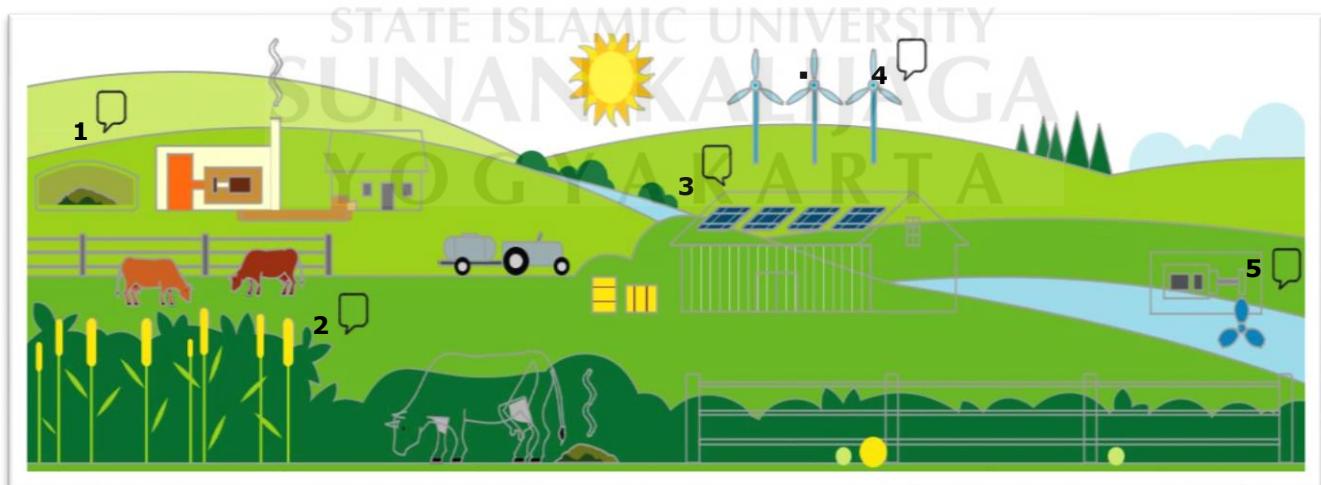
### Manfaat energi terbarukan

1. Tersedia secara melimpah.
2. Lestari atau tidak akan habis.
3. Ramah lingkungan (rendah atau tidak ada limbah dan polusi).
4. Sumber energi bisa dimanfaatkan secara cuma-cuma dengan investasi teknologi yang sesuai.
5. Tidak memerlukan perawatan yang banyak dibandingkan dengan sumber-sumber energi konvensional dan mengurangi biaya operasi.
6. Membantu mendorong perekonomian dan menciptakan peluang kerja.
7. 'Mandiri' energi atau tidak perlu mengimpor bahan bakar fosil dari negara ketiga.
8. Lebih murah dibandingkan energi konvensional dalam jangka panjang dan bebas dari fluktuasi harga pasar terbuka bahan bakar fosil.

Beberapa teknologi mudah digunakan di tempat-tempat terpencil. Distribusi energi bisa diproduksi di berbagai tempat, tidak tersentralisir.

### Kerugian dari energi terbarukan

1. Biaya awal besar.
2. Kehandalan pasokan Sebagian besar energi terbarukan tergantung kepada kondisi cuaca.
3. Saat ini, energi konvensional menghasilkan lebih banyak volume yang bisa digunakan dibandingkan dengan energi terbarukan.
4. Energi tambahan yang dihasilkan energi terbarukan harus disimpan, karena infrastruktur belum lengkap agar bisa dengan segera menggunakan energi yang belum terpakai, dijadikan cadangan di negara-negara lain dalam bentuk akses terhadap jaringan listrik.
5. Kurangnya tradisi atau pengalaman bahwa energi terbarukan merupakan teknologi yang masih berkembang.
6. Masing-masing energi terbarukan memiliki kekurangan teknis dan sosialnya sendiri.



**Gambar 1.7** Jenis-jenis Energi Terbarukan  
Sumber : Tim Contained Energy Indonesia (2014)

Keterangan:

- |                              |                 |
|------------------------------|-----------------|
| 1. Pembangkit Biomassa       | 4. Tenaga Angin |
| 2. Biomassa                  | 5. Tenaga Air   |
| 3. Photovoltaik Tenaga Surya |                 |

## 5. Memahami Energi

Beberapa istilah dasar dan definisi yang digunakan untuk menjelaskan energi dijelaskan pada bagian ini.

### a. Konsep Energi

#### 1) Gaya

Gaya adalah percepatan yang dialami oleh suatu benda standar bila diletakkan dalam lingkungan tertentu yang sesuai. Yang dirumuskan :

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (1.1)$$

dengan :

- $\vec{F}$  : gaya (N)
- $m$  : massa (kg)
- $\vec{a}$  : percepatan ( $m/s^2$ )

Persamaan (2.1) dapat dikenal sebagai Hukum II Newton. Jika persamaan tersebut dituliskan dalam bentuk  $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ , tampak jelas bahwa percepatan benda berbanding lurus dengan resultan gaya yang bekerja padanya dan arahnya sejajar dengan arah gaya tersebut. Juga tampak bahwa untuk suatu gaya tertentu, percepatan benda berbanding terbalik dengan massa benda.

#### 2) Kerja

Kerja atau usaha adalah kegiatan yang melibatkan gaya dan gerakan serta dalam melakukannya terjadi perpindahan. Untuk lebih memahami, lihat **Gambar 1.8**, Usaha dirumuskan :

$$W = F \cdot s \quad (1.2)$$

dengan :

- $W$  : usaha (Nm)
- $F$  : gaya (N)
- $s$  : perpindahan (m)

Contoh: Pena anda telah merampungkan tugas jika jatuh dari meja.

#### 3) Daya

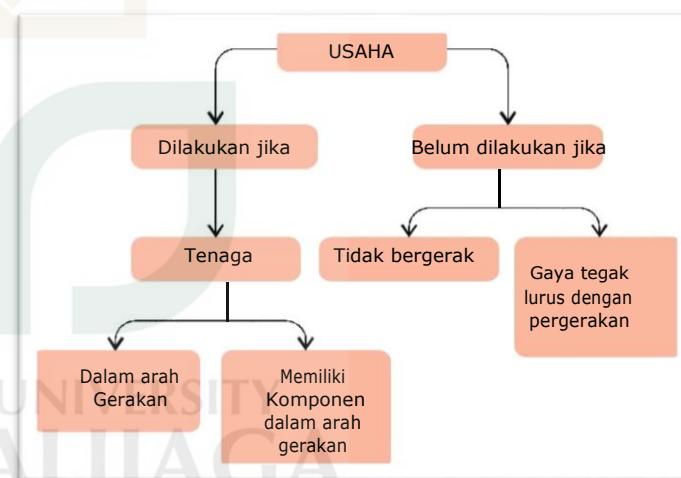
Daya adalah kecepatan melakukan pekerjaan atau kecepatan menggunakan energi. Maka seseorang orang harus menggunakan sejumlah energi yang setara dengan pekerjaan yang telah diselesaikan. Untuk lebih memahami, lihat **Gambar 1.9**. Daya dirumuskan :

$$P = \frac{W}{t} \quad (1.3)$$

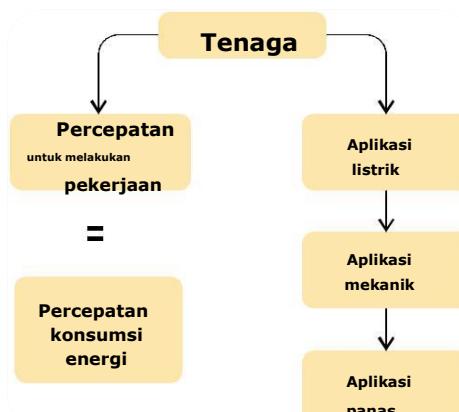
dengan :

- $P$  : daya (Watt)
- $W$  : usaha (Nm)
- $t$  : waktu (s)

Contoh: Untuk menyelesaikan kerjanya (jatuh dari meja), pen anda telah menggunakan daya.



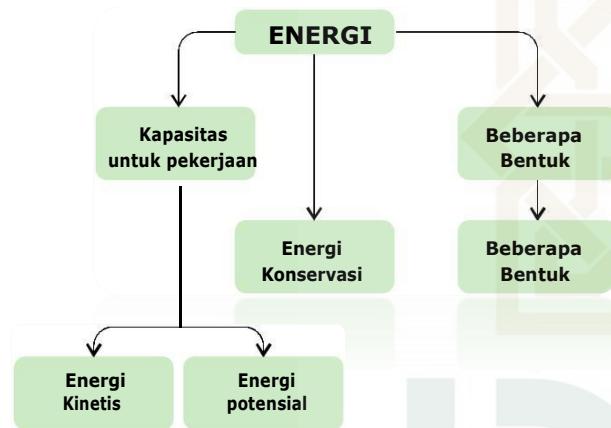
**Gambar 1.8** Skema Usaha  
Sumber: Tim Contained Energy Indonesia (2014)



**Gambar 1.9** Skema Tenaga  
Sumber: Tim Contained Energy Indonesia (2014)

#### 4. Energi

Energi adalah kapasitas untuk melakukan kerja. Kita harus memiliki sejumlah energi yang kita pakai agar bisa menyelesaikan pekerjaan. Obyek juga menerima energi pada saat kerja dilakukan atasnya. Ada beragam bentuk energi dan energi dapat melakukan berbagai hal. Energi misalnya dapat menggerakkan benda, memanaskan benda, memberikan tekanan, dan lain sebagainya. Untuk lebih memahaminya, lihat **Gambar 1.10**.



**Gambar 1.10** Skema Energi

Sumber: Tim Contained Energy Indonesia (2014)

Berikut beberapa tabel yang memuat konversi satuan energi:

Tabel Konversi Satuan Energi								
	joule	erg	kalori	kWh	Btu	ft-lb	hp-h	eV
joule	1	$10^7$	0,2389	$2,778 \times 10^{-7}$	$9,481 \times 10^{-4}$	0,7376	$3,725 \times 10^{-7}$	$6,242 \times 10^{18}$
erg	$10^{-7}$	1	$2,389 \times 10^{-8}$	$2,778 \times 10^{-14}$	$9,481 \times 10^{-11}$	7,376	$3,725 \times 10^{-8}$	$6,242 \times 10^{11}$
kalori	4,186	$4,186 \times 10^7$	1	$1,163 \times 10^{-6}$	$3,968 \times 10^{-3}$	3,087	$1,559 \times 10^{-6}$	$2,613 \times 10^{19}$
kWh	$3,6 \times 10^6$	$3,6 \times 10^6$	$8,601 \times 10^5$	1	3,413	$2,655 \times 10^6$	1,341	$2,247 \times 10^{25}$
Btu	$1,055 \times 10^{10}$	252	$2,930 \times 10^{-4}$	1	777,9	$3,929 \times 10^{-4}$	$6,585 \times 10^{21}$	
ft-lb	1,356	$1,356 \times 10^7$	0,3239	$3,766 \times 10^{-7}$	$1,285 \times 10^{-3}$	1	$5,051 \times 10^{-7}$	$8,464 \times 10^{18}$
hp-h	$2,685 \times 10^6$	$2,685 \times 10^{-13}$	$6,414 \times 10^6$	0,7457	2,545	$1,980 \times 10^6$	1	$1,676 \times 10^{25}$
eV	$1,602 \times 10^{-19}$	$1,602 \times 10^{-12}$	$3,827 \times 10^{-20}$	$4,450 \times 10^{-26}$	$1,519 \times 10^{-22}$	$1,182 \times 10^{-19}$	$5,967 \times 10^{-26}$	1

Berikut beberapa satuan energi yang sering dipakai:

#### Joule

Joule (J) adalah satuan pengukur energi. Oleh karena joule adalah satuan yang kecil, maka digunakan satuan yang lebih besar seperti,

- kilojoule (kJ) :  $1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$
- megajoules (MJ) :  $1 \text{ MJ} = 1000 \text{ kJ}$
- gigajoules (GJ) :  $1 \text{ GJ} = 1000 \text{ MJ}$

#### Watt

Daya didefinisikan sebagai kecepatan di mana energi dipakai. Diukur menggunakan J/detik atau J/jam. Akan tetapi satuan yang lazim dipakai dalam kehidupan sehari-hari adalah Watt (W), yang sebenarnya merupakan satuan yang agak membingungkan karena tidak menyampaikan konsep mengenai kecepatan penggunaan energi seperti halnya joule. Watt didefinisikan sebagai berikut:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/detik}$$

Satuan yang lebih besar bisa juga digunakan:

- kilowatts (kW):  $1 \text{ kW} = 1 \text{ kJ/detik}$
- megawatts (MW):  $1 \text{ MW} = 1000 \text{ kW/detik}$
- gigawatts (GW):  $1 \text{ GW} = 1000 \text{ MW/detik}$

#### Watt-jam, kilowatt-jam

Energi juga bisa diukur menggunakan satuan watt jam (Wh) atau yang lebih lazim:

- kilowatt-hours (kWh):  $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh}$
- megawatt-hours (MWh):  $1 \text{ MWh} = 1000 \text{ kWh}$

Kilowat-jam terkait dengan megajoule sebagai berikut:

$$1 \text{ kJ/detik} \times 60 \text{ detik/menit} \times 60 \text{ menit/jam} = 3600 \text{ kJ}$$

#### Keterangan:

kWh = kilowatt hour atau kilowatt jam

Btu = British thermal unit

Ft-lb = foot pound atau kaki pound

Hp-h = horsepower hour atau dayakuda jam

eV = electron volt

**Tabel 1.3** Tabel Konversi Satuan Energi  
Sumber: <http://ukurandansatuan.com>



## 5. Macam-macam Energi

Ada dua jenis energi yang utama, yaitu energi potensial dan energi kinetik. Energi potensial juga dapat disebut sebagai energi posisi. Semua benda memiliki energi potensial. Itulah yang disebut sebagai energi laten yang disimpan di dalam benda tidak bergerak. Salah satu contohnya adalah ketika pena yang ditaruh di atas meja menyimpan energi potensial. Begitu benda bergerak, maka energi potensialnya dikonversi menjadi energi kinetik, contoh: jika pena jatuh dari meja, maka akan memiliki energi kinetik. Energi Potensial dan Kinetik merupakan dua jenis energi yang utama dan bisa dinyatakan dalam berbagai bentuk seperti dirinci dalam tabel di bawah ini.

**Tabel 1.4** Macam-macam Energi

Energi Potensial	Energi Kinetik
Energi Kinetik	Energi Radiasi
Energi Mekanik	Energi Thermal
Energi Nuklir	Energi Gerakan
Energi Gravitasi	Suara
Energi Listrik	

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Dari **Tabel 1.4** diatas, berikut definisinya masing-masing energi:

### 1) Bentuk-bentuk Energi Potensial :

- Energi kimia, yaitu energi yang disimpan dalam ikatan atom dan molekul. Biomassa dan bahan bakar minyak adalah contoh-contoh energi kimia yang tersimpan. Energi kimia dikonversi menjadi energi thermal pada saat kayu dibakar di tungku atau pada saat bensin dibakar di dalam mesin sepeda motor.

### Amper atau Amp

Amp (A) adalah satuan untuk mengukur arus listrik.

### Volt

Satuan beda potensial listrik, yang lazimnya disebut voltase, antara dua titik adalah volt (V).

Daya nyata pada peralatan listrik adalah voltase kali total arus yang digunakan. Energi yang digunakan pada peralatan listrik adalah daya, yakni kecepatan penggunaan energi, kali jumlah waktu peralatan tersebut telah digunakan.

Pada saat daya dari peralatan listrik dinyatakan dalam Watt, maka akan mudah untuk mengalikan nilai tersebut dengan jumlah jam peralatan tersebut telah digunakan, dengan demikian menyatakan energi dalam satuan Watt-Jam. Inilah mengapa satuan yang sering disalahartikan tersebut lazim dipakai. Akan tetapi jika daya peralatan listrik tersebut dinyatakan dalam J/detik atau J/jam, maka mudah untuk menghitung energi dalam unit Joule, yang merupakan satuan pengukuran energi yang tepat dan lebih lengkap.

### Hal-hal Teknis

Penting untuk menjelaskan perbedaan antara daya dan energi. Sebagai perbandingan yang sederhana, energi (J) mirip dengan jarak (m), sedangkan daya (J/detik) mirip dengan kecepatan (m/detik). Daya tidak bisa dikonsumsi, hanya bisa dipakai. Ini berarti seberapa lama pun tenaga dipakai, tidak akan berkurang. Energi dikonsumsi artinya akan menjadi semakin berkurang saat dikonsumsi.

- b) Energi nuklir, yaitu energi yang tersimpan dalam inti atom; merupakan energi yang bersama-sama menahan inti atom. Energi dalam jumlah yang luar biasa besarnya bisa dilepaskan pada saat inti atom digabungkan (fusi) atau dipisahkan (fisi). Energi matahari dihasilkan dari reaksi penggabungan nuklir.
- c) Energi gravitasi, yaitu energi yang tersimpan pada ketinggian suatu benda. Semakin tinggi dan berat benda tersebut, semakin besar energi gravitasi yang disimpannya. Tenaga air merupakan contoh energi gravitasi, yaitu ketika bendungan mengumpulkan air dari sungai di waduk dan energi yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan turbin.
- d) Energi listrik, yaitu energi yang tersimpan dalam aki/batre, dan bisa dipakai untuk menghidupkan HP atau menghidupkan mobil. Energi listrik diteruskan menggunakan partikel-partikel kecil bermuatan listrik yang disebut elektron, yang biasanya menjalar melalui kabel. Petir merupakan contoh energi listrik yang ada di alam, dan dengan demikian tidak dibatasi oleh kabel.

## 2) Bentuk-bentuk Energi Kinetik

- a) Energi radiasi atau energi elektromagnetik, yaitu energi yang bergerak melalui gelombang. Energi radiasi termasuk cahaya yang bisa dilihat, sinar x, sinar gamma dan

gelombang radio dan cahaya matahari.

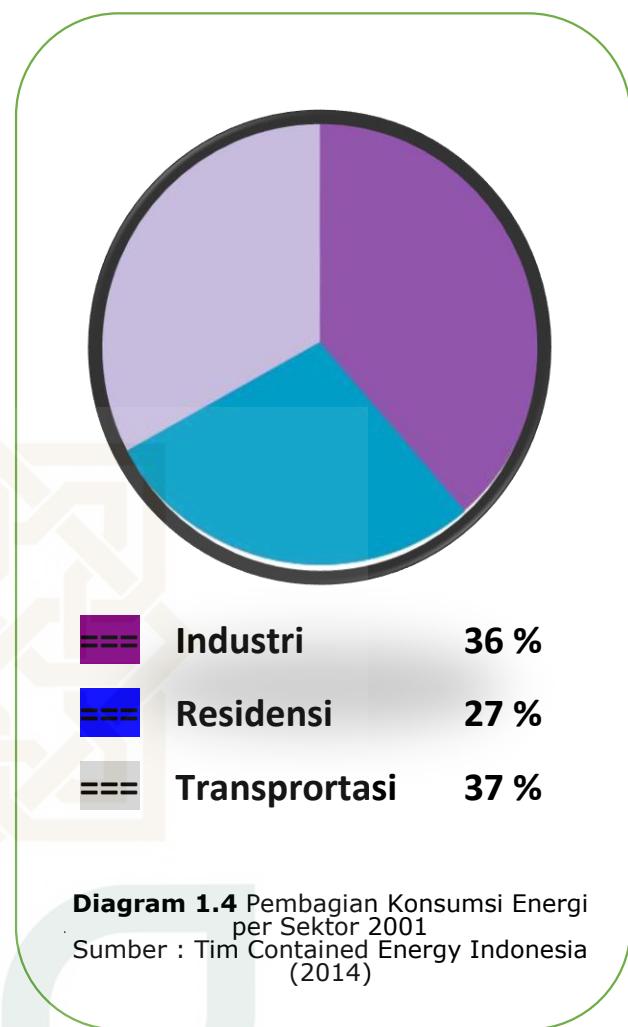
b) Energi Thermal, atau panas, adalah getaran dan gerakan atom serta molekul di dalam zat. Pada saat suatu benda dipanaskan, maka atom dan molekulnya bergerak dan bertumbukan lebih cepat. Energi panas bumi merupakan energi thermal yang ada di Bumi. Panas juga bisa disebabkan oleh gesekan.

c) Energi gerakan, yaitu energi yang tersimpan dalam gerakan benda. Semakin cepat bergeraknya, semakin banyak energi yang tersimpan. Untuk menggerakkan benda memerlukan energi, dan energi dilepaskan pada saat suatu benda melambat. Angin adalah contoh energi gerakan. Suara adalah gerakan energi melalui zat-zat dalam gelombang membujur. Suara dihasilkan pada saat suatu daya menyebabkan suatu benda atau zat bergetar: energi dipindahkan melalui zat dalam suatu gelombang. Pada umumnya, energi pada bunyi jauh lebih sedikit dibandingkan dengan bentuk-bentuk energi lainnya.

## 3) Hukum Energi

*"Energi tidak bisa diciptakan atau dimusnahkan; selalu ada jumlah energi yang sama di sana dalam satu bentuk atau yang lainnya".*

*Contohnya pada Gambar 1.11.*



**Gambar 1.11** Konversi Energi  
Sumber : Tim Contained Energy Indonesia (2014)

## 6. Penggunaan Energi

Ada tiga sektor utama energi (lihat **Diagram 1.4**) di mana energi digunakan di Indonesia.

### 1) Sektor Industri

Terdiri dari fasilitas dan peralatan yang digunakan untuk produksi, pertanian, pertambangan, dan konstruksi.

### 2) Sektor Transportasi

Terdiri dari kendaraan bermotor yang mengangkut orang dan barang, seperti mobil, truk, sepeda motor, kereta api, pesawat terbang dan kapal.

### 3) Sektor Komersial/Residensial

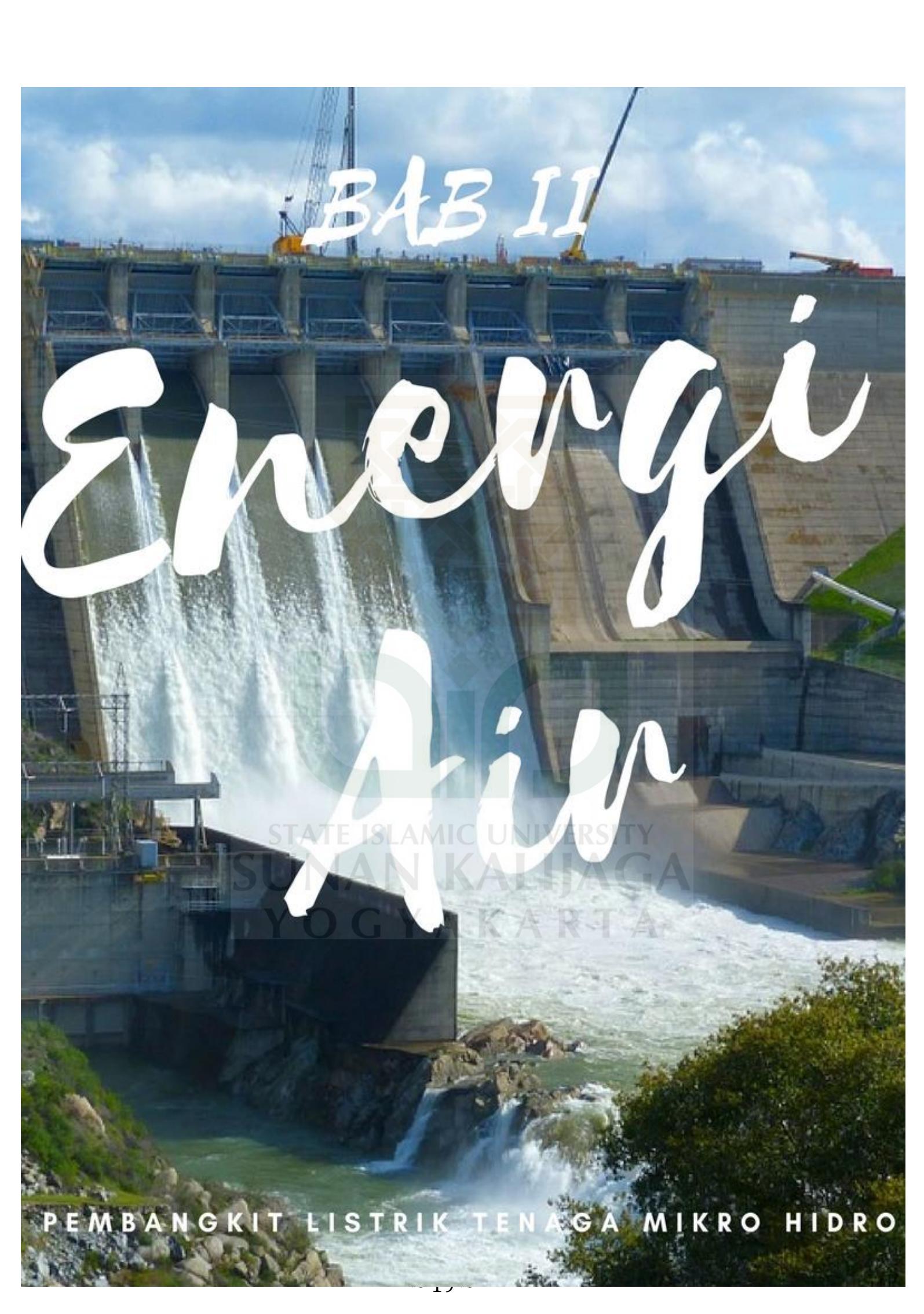
Terdiri dari rumah tinggal, bangunan komersial seperti gedung perkantoran bertingkat, pusat perbelanjaan, usaha kecil seperti warung dan industri rumah tangga.

## 5. Pentingnya Energi Bagi Kehidupan

Dari pemaparan tentang energi diatas, baik pengertian, macam, ketersediaan, dan inovasinya dapat dikatakan bahwa kita tidak bisa terlepas akan pentingnya energi. Energi bagi kehidupan adalah hal yang mutlak bagi kelangsungan hidup manusia. Energi ini sangat bermanfaat bagi manusia khususnya. Energi ini pertama kali dicetuskan oleh James Prescott Joule. Energi yaitu sesuatu yang tidak bisa dimusnakan namun hanya dapat perpindah dari bentuk satu ke bentuk yang lain. Yang lebih dikenal dengan Hukum Kekekalan Energi. Energi di dunia ini sangatlah terbatas namun dari yang terbatas inilah manusia mencoba untuk menjadikan energi sebagai bahan percobaan untuk keperluan manusia. Semakin majunya peradaban, perluasan energi semakin gencar dilakukan oleh para peneliti baik di dalam negeri maupun di luar negeri. Perluasan energi biasanya ditujukan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Misalnya: radio, tv, internet, kipas angin, hp, pembangkit listrik, bahan bakar dan lain sebagainya. Namun semuanya itu tidak terlepas dari ilmu dasar mengenai energi yang telah dijelaskan di atas.

Kita telah melihat banyaknya manfaat yang bisa kita peroleh dari perubahan energi namun jangan sampai kita salah perhitungan, menyelewengkan bahkan serakah. Karena energi yang ada di alam ini adalah milik Tuhan Yang Maha Kuasa. Jadi selayaknya kita menjaga apa yang telah ada dan mengembangkannya menjadi sesuatu yang berguna bagi kehidupan alam bumi dan jagat raya. Kita memang tidak bisa membuat tapi seyogyanya bisa menjaga dan memelihara agar tetap lestari. Bertekad menjadikan kehidupan bumi yang lebih baik dengan berbagai macam pengetahuan yang ada. Sungguh besarnya anugrah yang kita dapatkan dari Tuhan Yang Maha Kuasa.





**BAB II**

# Energi Air

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO

# Energi Tenaga Air

Apa yang dimaksud dengan energi tenaga air ? Energi air menggunakan gerakan air yang disebabkan oleh gaya gravitasi yang diberikan pada substansi yang kurang lebih 1000 kali lebih berat daripada udara, sehingga tidak peduli seberapa lambat aliran air, ia akan tetap mampu menghasilkan sejumlah besar energi.

## A. Pembangkit Listrik

Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik nasional, penyediaan tenaga listrik di Indonesia tidak hanya semata-mata dilakukan oleh PT PLN (Persero) saja, tetapi juga dilakukan oleh pihak swasta, yaitu Independent Power Producer (IPP), Private Power Utility (PPU) dan Ijin Operasi (IO) non BBM.

Pada tahun 2013 kapasitas total pembangkit nasional di wilayah Indonesia adalah sebesar 45,3 GW. Sekitar 74% diantaranya berada di wilayah Jawa Bali, 15% di wilayah Sumatera, 3% di wilayah Kalimantan dan sisanya di wilayah Pulau Lainnya (Sulawesi, Maluku, NTB-NTT, dan Papua). Dilihat dari segi input bahan bakar, pembangkit berbahan bakar batubara dan gas mempunyai pangsa yang paling tinggi, yaitu masing-masing sebesar 44% (20 GW) dan 26% (12 GW), diikuti kemudian oleh pembangkit berbahan bakar minyak dengan pangsa sekitar 15% (6,8 GW). Masih tingginya pangsa pembangkit BBM diimbangi dengan makin meningkatnya pangsa pembangkit berbahan bakar energi

terbarukan, seperti PLTP, dengan pangsa mendekati 3% (1,3 GW), serta PLTA dengan pangsa dikisaran 11% (5,1 GW). Disamping itu, pembangkit listrik EBT lainnya (PLTS, PLTB, PLTSa, PLTMH, PLTU Biomassa) juga sudah mulai banyak beroperasi dengan kapasitas total 148 MW.

Selanjutnya, dari sisi penyediaan tenaga listrik, pada tahun 2013 tersebut pembangkit listrik PLN (**Gambar 2.1**) masih mendominasi dengan pangsa lebih dari 76% (34,2 GW), pembangkit listrik swasta IPP dikisaran 17% (7,7 GW), serta sisanya diisi pembangkit listrik PPU dan pembangkit listrik IO non BBM dengan pangsa dikisaran 7% (3,4 GW).



**Gambar 2.1** Instalasi Pembangkit Listrik Nasional (PLN)  
Sumber : Dokumentasi Pribadi



**Gambar 2.2** PLTA Tulis Banjarnegara  
Sumber: <https://banjarnegaraku.wordpress.com>

Energi tenaga air adalah sumber energi ramah lingkungan yang telah digunakan sejak berabad-abad lalu. Aliran air diarahkan untuk menggerakkan turbin, yang akan menghasilkan energi listrik. yang disebut sebagai energi tenaga air. Kincir air dan energi hidroelektrik merupakan bentuk-bentuk dari energi tenaga air. Bendungan hidroelektrik adalah contoh energi air dalam skala besar. Bahkan 16 % dari energi listrik dunia disumbang oleh energi tenaga air.

#### Bagaimana cara kerjanya?

Energi tenaga air mengubah energi potensial yang terdapat di dalam air. Aliran air yang mengandung energi potensial tersebut, selanjutnya dialirkan ke turbin yang akan menghasilkan energi listrik. Jenis-jenis tenaga air dapat diklasifikasikan berdasarkan head (ketinggian jatuhnya air), kapasitas dan tipe grid :

#### 1. Klasifikasi berdasarkan head:

- Head tinggi :  $H > 100$  m
- Head menengah : 30-100 m
- Head rendah : 2-30 m

#### 2. Klasifikasi berdasarkan kapasitas

- PLTA Pico :  $< 500$  W
- PLTA Micro : 0,5 – 100 kW
- PLTA Mini : 100 – 1000 kW
- PLTA Kecil : 1 MW – 10 MW
- PLTA Skala Penuh :  $> 10$  MW

#### 3. Klasifikasi berdasarkan jenis desain :

##### *Run-of-the-river*

Bentuk yang paling sederhana dalam konteks PLTA mikro dan mini. Skema ini tidak memanfaatkan bendungan untuk mengarahkan air ke bangunan penyadap, melainkan mengubah lajur aliran air menuju turbin melalui pipa atau penstock.

##### *Sistem Penyimpanan*

Dalam penggunaan sistem ini. Air ini akan disimpan terlebih dahulu dalam jangka waktu tertentu (beberapa jam atau dalam beberapa bulan) Dan akan digunakan untuk menghasilkan energi ketika dibutuhkan.

#### 4) Klasifikasi berdasarkan tipe jaringan listrik :

##### *Sistem Jaringan Listrik Tersambung*

Jika jaringan listrik sudah terpasang, energi hidro dapat langsung disambungkan dengan jaringan listrik nasional.

##### *Sistem Jaringan Berdiri Sendiri atau tidak Tersambung dengan Jaringan*

Pembangkit listrik tenaga air tidak tersambung dengan jaringan listrik nasional.

## B. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

### 1. Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Pembangkitan listrik mikro hidro adalah pembangkitan listrik dihasilkan oleh generator listrik DC atau AC. Mikro hidro berasal dari kata *micro* yang berarti kecil dan *hydro* artinya air, arti keseluruhan adalah pembangkitan listrik daya kecil yang digerakkan oleh tenaga air. Tenaga air besar dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik.

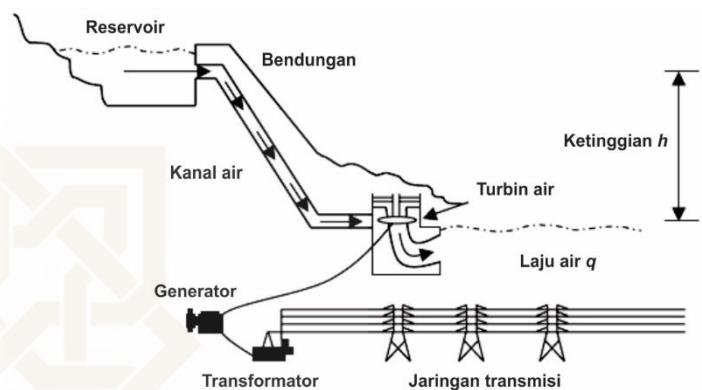
Generator yang digunakan untuk mikro hidro dirancang mudah untuk dioperasikan dan dipelihara, didesain menunjang keselamatan, tetapi peralatan dari listrik akan menjadi berbahaya bila tidak digunakan dengan baik. Beberapa point dari pedoman ini, instruksinya menunjukkan hal yang wajib diperhatikan dan harus diikuti seperti ditunjukkan pada pembahasan dibawah ini.

### 2. Prinsip Kerja PLTMH

Pembangkit tenaga listrik mikro hidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik (lihat **Gambar 2.3**).

### 3. Konversi Energi PLTMH

Energi Potensial - Energi Mekanik - Energi Listrik



**Gambar 2.3** Sistem PLTMH

Sumber: <https://konversi.wordpress.com>

### 4. Bagian-bagian PLTMH

#### a. Waduk (*reservoir*)

Waduk (**Gambar 2.4**) adalah danau yang dibuat untuk membandung sungai untuk memperoleh air sebanyak mungkin sehingga mencapai elevasi.



**Gambar 2.4** Waduk Tambakboyo, Sleman  
Sumber: Dokumentasi Pribadi

b. Bendungan (dam)

Dam (**Gambar 2.5**) berfungsi menutup aliran sungai – sungai sehingga terbentuk waduk. Tipe bendungan harus memenuhi syarat topografi, geologi dan syarat lain seperti bentuk serta model bendungan.



**Gambar 2.5** Bendungan PLTMH Singosaren  
Sumber: Dokumentasi Pribadi

c. Saringan (*Sand trap*)

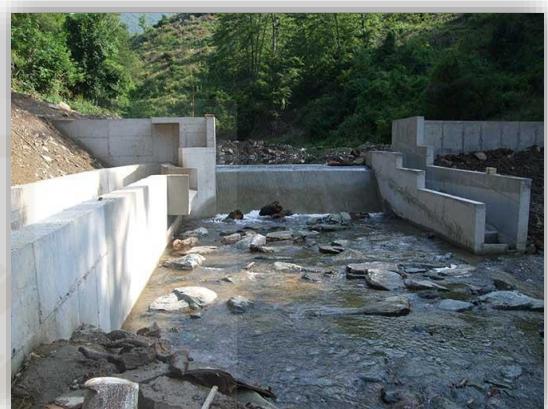
Saringan (**Gambar 2.6**) ini dipasang didepan pintu pengambilan air, berguna untuk menyaring kotoran – kotoran atau sampah yang terbawa sehingga air menjadi bersih dan tidak mengganggu operasi mesin PLTMH.



**Gambar 2.6** Saringan PLTMH Singosaren  
Sumber: Dokumentasi Pribadi

d. Pintu pengambilan air (*Intake*)

Pintu Pengambilan Air (lihat **Gambar 2.7**) adalah pintu yang dipasang diujung pipa dan hanya digunakan saat pipa pesat dikosongkan untuk melaksanakan pembersihan pipa atau perbaikan.



**Gambar 2.7** Intake PLTMH Singosaren  
Sumber: <https://adienergy.files.wordpress.com>

e. Pipa pesat (*penstock*)

Fungsinya untuk mengalirkan air dari saluran penghantar atau kolam tando menuju turbin. Pipa pesat (**Gambar 2.8**) mempunyai posisi kemiringan yang tajam dengan maksud agar diperoleh kecepatan dan tekanan air yang tinggi untuk memutar turbin.



**Gambar 2.8** Pipa Penstock PLTMH Cilongok  
Sumber: Dokumentasi Pribadi

f. Katub utama (*main value atau inlet value*)

Katub utama dipasang didepan turbin berfungsi untuk membuka aliran air, Menstart turbin atau menutup aliran (menghentikan turbin). Katup utama ditutup saat perbaikan turbin atau perbaikan mesin dalam rumah pembangkit. Pengaturan tekanan air pada katup utama digunakan pompa hidrolik.

g. Power House

Gedung sentral merupakan tempat instalasi turbin air, generator, peralatan bantu, ruang pemasangan, ruang pemeliharaan dan ruang control. Beberapa instalasi PLTMH dalam rumah pembangkit adalah :

1. Turbin, merupakan salah satu bagian penting dalam PLTMH (lihat **Gambar 2.9**) yang menerima energi potensial air dan mengubahnya menjadi putaran (energi mekanis). Putaran turbin dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik.



**Gambar 2.9** Turbin/Kincir PLTMH Singosaren  
Sumber: Dokumentasi Pribadi



**Gambar 2.10** Generator PLTMH Singosaren

Sumber: Dokumentasi Pribadi

2. Generator, generator yang digunakan adalah generator pembangkit listrik AC (lihat **Gambar 2.10**). Untuk memilih kemampuan generator dalam menghasilkan energi listrik disesuaikan dengan perhitungan daya dari data hasil survei. Kemampuan generator dalam menghasilkan listrik biasanya dinyatakan dalam Volt Ampere (VA) atau dalam kilo Volt Ampere (kVA).
3. Penghubung turbin dengan generator, penghubung turbin dengan generator atau sistem transmisi energi mekanik ini dapat digunakan sabuk atau puli, roda gerigi atau dihubungkan langsung pada porosnya.
  - a. Sabuk atau puli digunakan jika putaran per menit (rpm) turbin belum memenuhi putaran rotor pada generator, jadi puli berfungsi untuk menurunkan atau menaikkan rpm motor generator.
  - b. Roda gerigi mempunyai sifat yang sama dengan puli.
  - c. Penghubung langsung pada poros turbin dan generator.

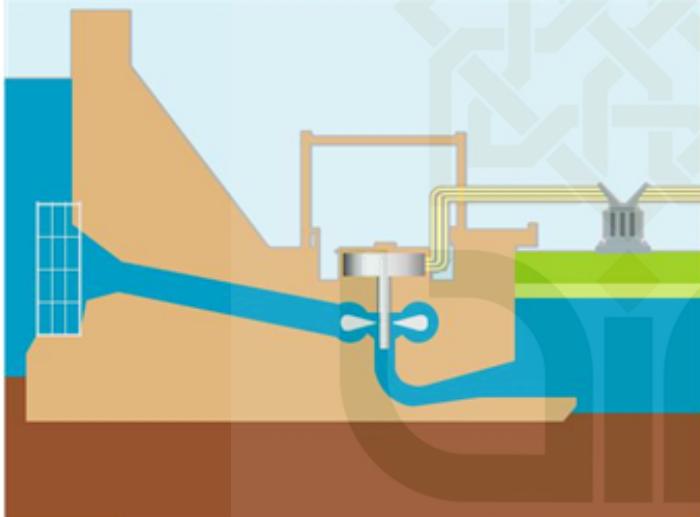
## 5. Perhitungan Teknis

Potensi daya mikro hidro dapat dihitung dengan persamaan daya:

$$P = 9.8 \times Q \times H_n \times \eta \quad (2.1)$$

Di mana:

- $P$  = daya (kW)
- $Q$  = debit aliran (m/s)
- $H_n$  = head net (m)
- 9.8 = konstanta gravitasi
- $\eta$  = efisiensi keseluruhan



### Ingat !

Head dan arus air adalah parameter utama yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan pembangkit tenaga hidro. Sebuah pengatur elektronis dihubungkan dengan generator. Pengatur ini menyamakan tenaga listrik yang dihasilkan dengan beban yang diberikan. Alat ini dibutuhkan untuk menyetabilkan tegangan dari perubahan-perubahan

## Perlu diketahui



Cara kerja pembangkit tenaga hidro

1. Bendungan PLTA menggunakan reservoir untuk menghasilkan energi potensial dari air bendungan.
2. Aliran air mengalir melalui sebuah pipa yang disebut sebuah *penstock*. (Salah satu keunggulan penyaluran daya air dari bendungan).
3. Air mengalir melalui penstock menuju turbin dan memaksa turbin untuk bergerak dan selanjutnya generator mulai memproduksi energi listrik.

### Komponen dari enegi tenaga air

1. *Reservoir*  
Sebuah waduk digunakan untuk menyimpan air untuk digunakan ketika diperlukan.
2. *Intake* (Bangunan Penyadap)  
Sebuah tempat untuk mengalirkan air ke pipa.
3. *Penstock*  
Penstock mengalirkan air dari bangunan penyadap menuju ke pembangkit tenaga listrik.
4. *Turbin*  
Turbin mengkonversikan energi potensial dari air menjadi energi rotasi mekanik.
5. *Generator*  
Generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik
6. *Transformer*  
Sebuah alat yang berguna menyebarkan, meningkatkan atau menurunkan tegangan sehingga dapat ditransmisi melalui jalur transmisi sesuai dengan voltase yg diinginkan.
7. *Jalur Transmission*  
Listrik disalurkan ke gardu dan didistribusikan ke konsumen melalui jaringan listrik.

## Mengapa menggunakan pembangkit listrik tenaga air?

1. Indonesia memiliki potensi tenaga air sampai sebesar 62,2 GW termasuk 458 MW potensi mikro hidro bagi masyarakat pedesaan dan terpencil.
2. Pembangkit mikro hidro dapat mengurangi emisi bahan bakar fosil CO<sub>2</sub> sekitar 4.000 ton per tahun.
3. Sumber daya energi terbarukan yang bersih dan gratis.
4. Tidak ada limbah atau emisi.
5. Masyarakat akan mendapatkan keuntungan dari peningkatan stabilitas jaringan listrik.
6. Sistem mikro hidro dapat menyuplai listrik tanpa mempengaruhi kualitas air, tanpa mempengaruhi habitat, dan tanpa mengubah rute atau aliran sungai (lihat **Gambar 2.12**).
7. Sistem mikro hidro dapat dikombinasikan dengan sistem energi surya untuk menghasilkan energi pada musim dingin, di mana banyak aliran air dan minimnya energi surya.



**Gambar 2.12** PLTMH Blumbang, Kalibawang, Kulonprogo  
Sumber: Dokumentasi Pribadi

## Hal-hal Teknis

Bagaimana cara mengukur debit air sungai? Untuk mendapatkan informasi tersebut pada sebuah lokasi, diperlukan pengukuran selama setahun penuh. Terdapat beberapa metode pengukuran arus tergantung ukuran anak sungai atau sungai.

### Metode Bucket

Untuk debit kecil (20 liter / s)



- Penting untuk menggunakan tangki besar (1000 liter) dengan saluran pembuangan di bagian bawah.
- Aliran air yang akan diukur dialihkan ke dalam tangki sudah diketahui volumenya.
- Waktu yang diperlukan untuk mengisi tangki harus dicatat.
- Dengan membagi volume (dalam liter) dari tangki dengan waktu pengisian (dalam detik) maka aliran dalam liter / detik dapat dihitung.

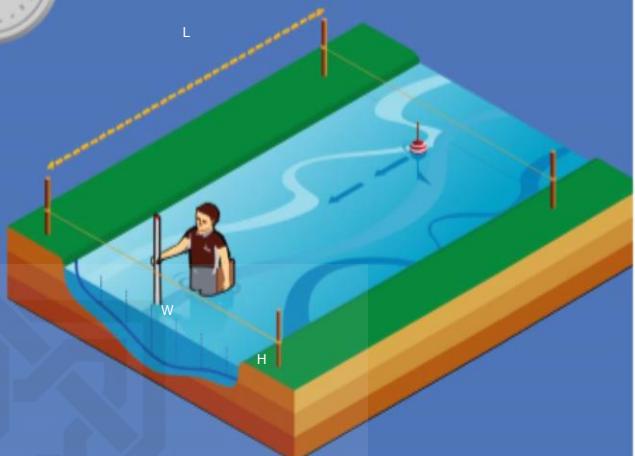
### Metode Float

Untuk debit  $> 20 \text{ l/s}$

Untuk panjang sungai yang diketahui, penampang rata-rata harus tersedia, di mana botol plastik diisi setengah air dan dilepaskan ke sungai yang diukur. dengan diberi batas waktu lebih panjang. Dengan mengalikan luas penampang dengan kecepatan aliran rata-rata (atau kecepatan), perkiraan laju air dapat dibuat.



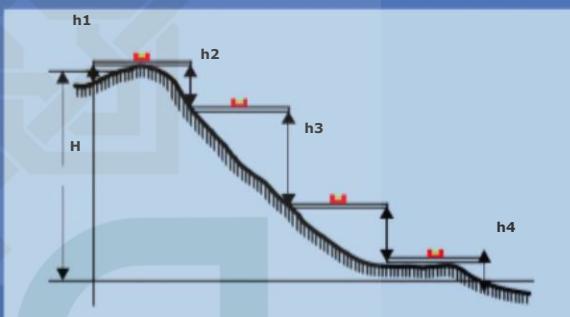
Ukur waktu yang dibutuhkan dari pelampung untuk menempuh jarak  $L$ , minimal sebanyak 5 kali



### Mengukur Head

Menggunakan ketinggian air

1. Mulai pengukuran dari bagian atas perkiraan tinggi permukaan air pada posisi bak pengatur yang ditentukan.
2. Pengukuran kedua dilanjutkan pada tingkat lebih rendah dari ukuran sebelumnya.
3. Lanjutkan pengukuran sampai mencapai posisi turbin. Jumlahkan semua hasil pengukuran untuk mendapatkan ukuran kotor dari head.



### Altimeter

Alat ini bekerja berdasarkan berdasarkan tekanan atmosfer. Tekanan ini berbeda pada berbagai ketinggian. Tekanan meningkat pada ketinggian di atas permukaan laut. Head adalah perbedaan antara elevasi 1 dan elevasi 2.



### Clinometer

Berbagai pengukuran dapat dilakukan clinometer. Untuk mengukur sudut, clinometer harus digantung secara vertikal. Perbedaan ketinggian antara kedua titik tersebut dapat diperkirakan.



### Theodolite

Theodolite adalah sebuah instrumen survei tanah yang dapat mengukur ketinggian, sudut dan jarak dengan cara yang paling akurat, namun peralatan ini sangat mahal dan memerlukan operator.

## Ingat!!!

Panjang jalur transmisi dari pembangkit ke konsumen harus dibuat sependek mungkin untuk menghemat biaya. Rahasia tenaga hidro dengan performa yang efektif dimulai sejak tahap desain. Jangan sampai salah menentukan parameter. Seorang insinyur tenaga hidro yang berkualifikasi akan memastikan penghematan pada tahap pembangunan sehingga didapat keuntungan karena meningkatnya kemampuan pembangkit.

## Hindari!

Jangan memulai identifikasi lapangan selama musim hujan! Alasannya adalah aliran air jauh lebih deras sebagai akibat dari turunnya hujan sehingga sulit untuk memprediksi peningkatan derasnya aliran. Oleh karenanya pengukuran jauh lebih baik dilakukan di musim kemarau. Juga dikarenakan aliran air pada titik terendahlah yang akan menentukan kapasitas instalasi PLTMH untuk memasok listrik kepada masyarakat.

## Perlu diperhatikan !

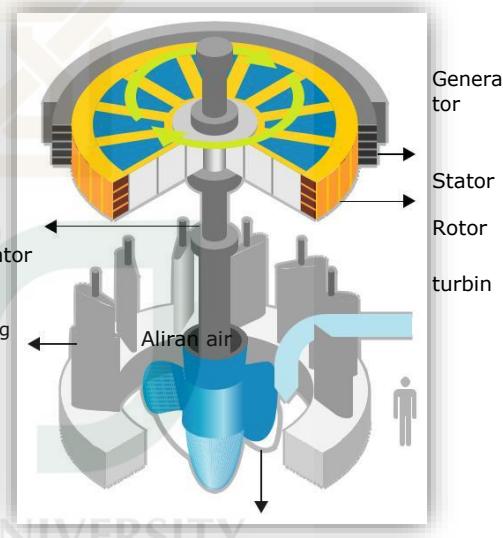
1. Pastikan perolehan hasil pengukuran yang tepat.
2. Gunakan peralatan yang layak untuk pengukuran.
3. Libatkan semua pemangku kepentingan yang mungkin akan berpengaruh terhadap proyek ini.
4. Hak penggunaan air dan setiap perubahan hubungan penggunaannya, harus didiskusikan dengan jelas dan konsisten diantara semua pemangku kepentingan sampai dukungan penuh diperoleh.

## Apa kekurangan dari penggunaan energi tenaga air?

1. Bendungan sangat mahal untuk dibangun, dan memerlukan lahan yang luas.
2. Berpotensi kerusakan ekosistem dan kualitas air.
3. Pembendungan yang berlebihan dan perusakan wilayah adat adalah hasil dari perencanaan yang buruk.
4. Hanya berguna jika dekat dengan sumber air.
5. Bergantung pada pengurusan wilayah resapan air yang baik dan sehat.

## Turbin Air

### Pendahuluan



**Gambar 2.13** Komponen Turbin Air

Sumber : [wikiwand.com](http://wikiwand.com)

Turbin air (**Gambar 2.13**) adalah komponen kunci atau jantung dari pembangkit tenaga hidro. Ia bertanggung jawab untuk memastikan terjadinya energi listrik dari aliran energi air dan mekanik. Jadi, pemilihan turbin air bergantung pada arus dan kondisi head sebuah lokasi yang spesifik.

## C. Tipe-tipe Turbin

### Apa saja Tipe-tipe Turbin?

#### 1. Turbin Reaksi

Turbin Reaksi adalah turbin yang benar-benar terendam air, sehingga head efektif bekerja pada kedua sisi turbin. Tekanan dapat positif (mendorong) atau negatif (menghisap). Dibawah ini beberapa contoh turbin reaksi, diantaranya:

##### a. Turbin Francis

Jenis turbin reaksi yang komponen *runner* tenggelam dalam air sepenuhnya (lihat **Gambar 2.13**). Terdiri dari deretan bilah melengkung. Regulasi aliran dilakukan melalui deretan bilah yang dapat diatur.



**Gambar 2.13** Turbin Francis

Sumber : [www.hydrotu.com](http://www.hydrotu.com)

#### Prakondisi

- Mulai operasi antara:  $25 \text{ m} < H < 350 \text{ m}$
- $H$  = Head atau ketinggian air terjun.

#### Keuntungan

- Operasional yang handal
- Konstruksi sederhana
- Tingginya Efisiensi

#### Kerugian

- Tidak cocok untuk lokasi dengan *head* (ketinggian air terjun) yang tinggi

##### b. Turbin Propeler

Jenis turbin reaksi tertua (lihat **Gambar 2.14**) dengan konfigurasi sebuah gulir dan gerbang kecil radial untuk pengaturan aliran. Turbin kaplan memiliki pisau yang dapat diatur dan disesuaikan melalui gerbang kecil dan menghasilkan efisiensi terbaik atas berbagai laju aliran.

#### Prakondisi

- Mulai operasi antara:  $2 \text{ m} < H < 40 \text{ m}$
- Memerlukan sistem yang tinggi alirannya



**Gambar 2.14** Turbin Propeler

Sumber : [www.tyazhmash.com](http://www.tyazhmash.com)

#### Keuntungan

- Turbin propeler dapat berjalan dengan kecepatan tinggi dan head yang rendah.
- Turbin Kaplan sangat efisien.

#### Kerugian

- Mahalnya pemeliharaan dan investasi.
- Tidak cocok untuk lokasi dengan head tinggi.

#### 2. Turbin Impuls

Di dalam sebuah turbin impuls seperti Pelton air menerjang saluran turbin di bawah tekanan. Setelah air menerjang pisau turbin, tidak ada energi yang tersisa dalam aliran sehingga tidak ada efek hisap. Tekanan air tidak berubah karena mengalir melalui turbin

##### a. Turbin Cross Flow

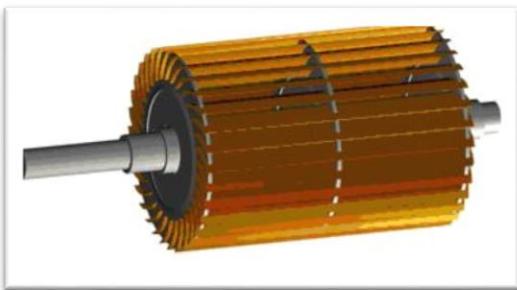
Jenis turbin impuls Ketika air masuk ke turbin akan diarahkan oleh satu atau lebih baling-baling yang terletak di hulu *runner* dan melintas dua kali sebelum meninggalkan turbin (lihat **Gambar 2.15**).

#### Prakondisi

- Mulai operasi dengan kepala antara  $5 \text{ m} < H < 200 \text{ m}$

#### Keuntungan

- Desain sederhana sehingga menyebabkan produksi yang baik dan terstandarisasi
- Murah dan kuat



**Gambar 2.15** Turbin *Cross flow*  
Sumber : rimoo.files.wordpress.com

- Dibandingkan dengan turbin lainnya, turbin *cross flow* biayanya lebih rendah.
- Sangat dianjurkan untuk kondisi seperti di Indonesia.

#### Kerugian

- Turbin *Cross flow* memiliki efisiensi hingga 80% lebih rendah dibandingkan dengan jenis turbin lain.

#### b. Turbin Pelton

Sebuah turbin impuls turbin yang terdiri dari sejumlah ruang penampung untuk menangkap aliran air (lihat **Gambar 2.16 dan 2.18**). Untuk arus yang lebih tinggi jumlah ruang penampung dapat ditingkatkan turbin yang sangat efisien.

#### Prakondisi

- Mulai operasi antara:  $50 \text{ m} < H < 1300 \text{ m}$
- Membutuhkan sistem aliran air yang rendah

#### Keuntungan

- Konstruksi yang kompak
- Stabil dijalankan
- Mudah dioperasikan

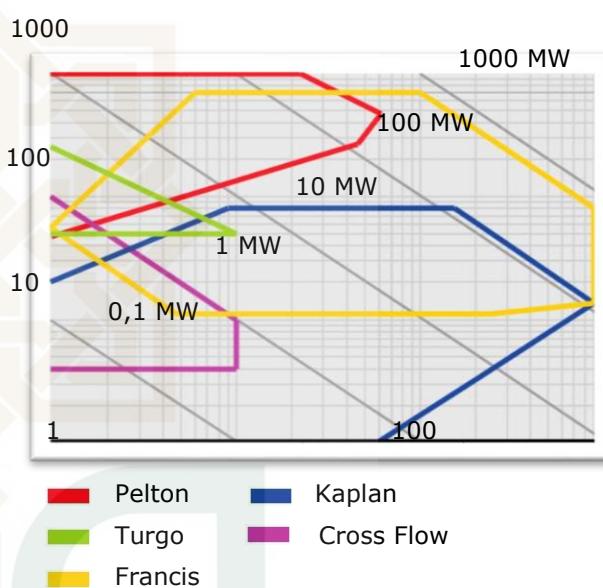


**Gambar 2.16** Turbin Pelton  
Sumber : hengteenterprise.en.ec21.com

#### Kerugian

- Tidak cocok untuk lokasi yang head-nya rendah
- Tidak cocok untuk sistem aliran airnya tinggi

Turbin yang akan digunakan dalam kasus tertentu, tergantung tidak hanya pada ketinggian jatuhnya air (kiri sumbu Y), tetapi juga oleh aliran air (kiri sumbu X) dan faktor lainnya.



**Gambar 2.17** Aplikasi Turbin  
Sumber : yokealjauza-wordpress.com



**Gambar 2.18** Turbin Pelton PLTMH Singosaren, Bantul  
Sumber: Dokumentasi Pribadi

## A. Kincir Air

### Apa saja macam-macam kincir?

Kincir air adalah mesin antik yang memanfaatkan aliran air di sungai untuk menghasilkan tenaga atau untuk pengairan sawah. Kincir air terdiri dari bambu, logam atau roda kayu, dengan sejumlah ember atau bilah-bilah yang pada tepi paling luar membentuk permukaan kemudi. Kincir air telah digunakan untuk menenagai penggilingan sejak ratusan tahun. Kini, kincir air telah dimodifikasi untuk produksi listrik.

Ada dua jenis utama kincir air:

1. Kincir air *undershot*
2. Kincir air *overshot*

#### 1. Kincir Air *Undershot*

Air mengalir ke bilah-bilah di bawah roda. Air jatuh pada bilah dan membuat roda berputar menghasilkan energi mekanik. Sementara roda memutar, ruangan penampung air membawa air dari tempat yang lebih rendah ke reservoir yang lebih tinggi sampai 3m. Kemudian dari reservoir yang lebih tinggi, air dikirim ke sawah menggunakan sistem pemipaan yang dibangun dari bambu.

Prakondisi :

Cara ini dapat diterapkan di mana aliran air cukup kuat untuk memasok torsi, atau energi yang terukur untuk memutar roda dengan kecepatan produktif.

Keuntungan :

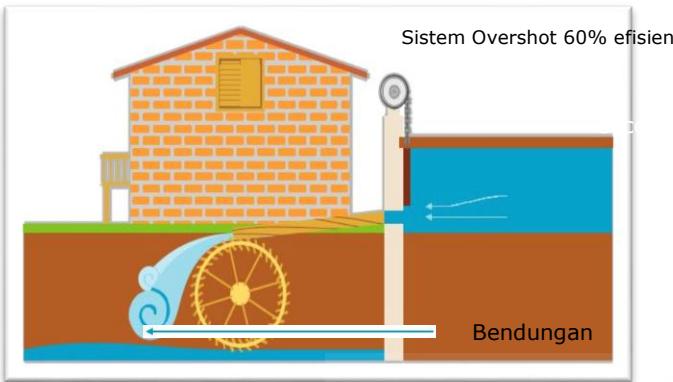
1. Murah dan sederhana untuk dibangun.
2. Kincir air *undershot* adalah contoh teknologi hijau, berdampak negatif minimal terhadap lingkungan. Namun, penempatan kincir harus mempertimbangkan ekosistem lokal untuk memastikan dampak yang sangat kecil pada satwa liar setempat dan pola pemijahan ikan.
3. Rendahnya biaya operasi dan pemeliharaan karena ketersediaan bahan seperti kayu dan bambu di Indonesia.

Kerugian :

Kincir air *undershot* kurang bertenaga.

#### 2. Kincir Air *Overshot*

Sebuah bendungan dan kolam dibangun dan digunakan untuk mengarahkan air ke atas kincir di mana air akan tertampung dalam ember-ember (lihat **Gambar 2.19**). Perbedaan berat air dalam ember menyebabkan kincir bergerak. Ketika sebuah ember terisi, kincir mulai berputar dan ember yang telah mencapai dasar roda, itu terbalik dan air keluar. Ember tersebut terus berputar di sekitar kincir sampai akan kembali ke puncak untuk diisi sekali lagi.



**Gambar 2.19** Kincir Air Overshot

Sumber : Tim Contained Energy Indonesia (2014)

#### Keuntungan:

1. Untuk memutar kincir, kincir air overshot tidak membutuhkan aliran air cepat.
2. Gravitasi digunakan
3. Lebih efisien dari kincir air undershot (60%)
4. Selama kemarau, air di dalam bendungan dapat digunakan untuk kincir.

#### Kerugian

Mahal and rumit konstruksinya.

#### Kesimpulan :

1. Kincir air adalah sistem energi terbarukan yang berkelanjutan.
2. Kincir air *undershot* murah pemeliharaan dan operasinya, oleh karena itu sangat cocok di daerah pedesaan.
3. Kincir air meningkatkan produktifitas sawah.
4. Tidak berdampak negatif terhadap lingkungan

Ilustrasi ini memberikan gambaran dari aplikasi utama untuk sistem energi hidro. Indonesia memiliki potensi tenaga air besar sampai dengan 62,2 GW termasuk mikro hidro dari 458 MW untuk masyarakat pedesaan dan terpencil, di mana sejauh ini hanya kapasitas 5MW diperkirakan telah terpasang di daerah pedesaan.

#### Pertimbangan Penting



Lokasi umum, data topografi, head dan aliran air merupakan faktor paling penting untuk proyek pembangkit listrik tenaga air.

Survei lokasi yang tepat harus dilakukan pada waktu yang tepat. pengukuran arus harus dilakukan pada musim kemarau.

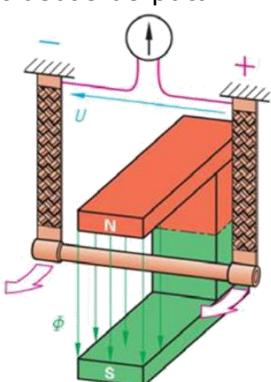
Kontrol kualitas komponen elektro-mekanis adalah penting. Banyak orang lupa bahwa peralatan PLTMH bekerja sangat berat. Berjalan terus selama 24/7. Hal ini berarti hanya peralatan industri berkualitas tinggi yang akan bertahan. Secara khusus proyek elektrifikasi pedesaan mandiri, pembentukan kelembagaan dan sistem manajemen sangat penting untuk dijalankan berkelanjutan. Manajemen keuangan juga sangatlah penting.

## B. Prinsip Generator pada PLTMH

### Bagaimana Prinsip Kerja Generator ?

Generator merupakan sebuah perangkat yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator digunakan di bidang yang sangat luas: di bandar udara, di rumah sakit, di transportasi, komputer, di bidang konstruksi, proses industri, dan lainnya.

Pada dasarnya terdapat dua macam generator, yaitu generator AC dan DC. Karena generator AC menghasilkan arus AC, maka sering juga disebut sebagai alternator. Generator DC menghasilkan arus DC. Tidak ada perbedaan konstruksi antara motor DC dengan generator DC. Perbedaannya hanya pada pemakaianya. Sebuah mesin DC bila diputar dengan penggerak, dapat membangkitkan ggl dan mensuplai arus kepada rangkaian luar. Mesin yang sama bila dihubungkan dengan sumber tegangan yang sesuai, dapat digunakan sebagai motor. Kerja motor terjadi apabila sebatang penghantar yang dialiri arus ditempatkan di dalam medan magnet. Gaya yang terjadi akan menghasilkan torsi atau menyebabkan timbulnya putaran bila penghantar tersebut bebas berputar.



**Gambar 2.20** Prinsip Generator

Sumber : Buku Konversi Energi 2,  
Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 2013

Prinsip kerja generator dikenalkan *Michael Faraday* 1832, sebuah kawat penghantar digantung dua ujungnya ditempatkan diantara kutub magnet permanen utara-selatan **Gambar 2.20**. Antara kutub utara dan selatan terjadi garis medan magnet  $\Phi$ .

Kawat penghantar digerakkan dengan arah panah, maka terjadi dikedua ujung kawat terukur tegangan induksi oleh Voltmeter. Besarnya tegangan induksi tergantung oleh beberapa faktor, diantaranya : *kecepatan menggerakkan kawat penghantar, jumlah penghantar, kerapatan medan magnet permanen B*.

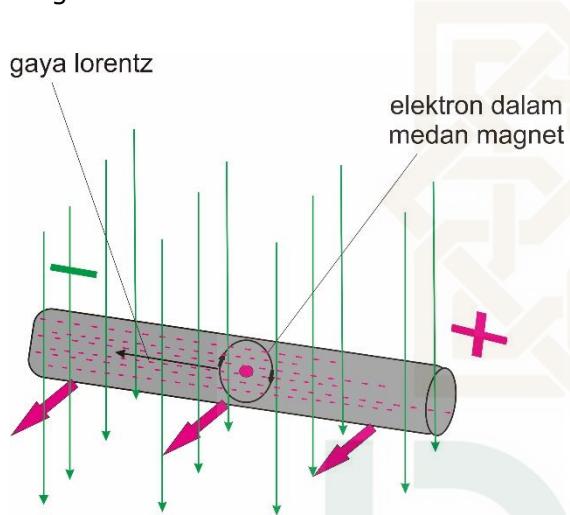
$$E = B \cdot L \cdot v \cdot Z \quad (2.2)$$

*Keterangan :*

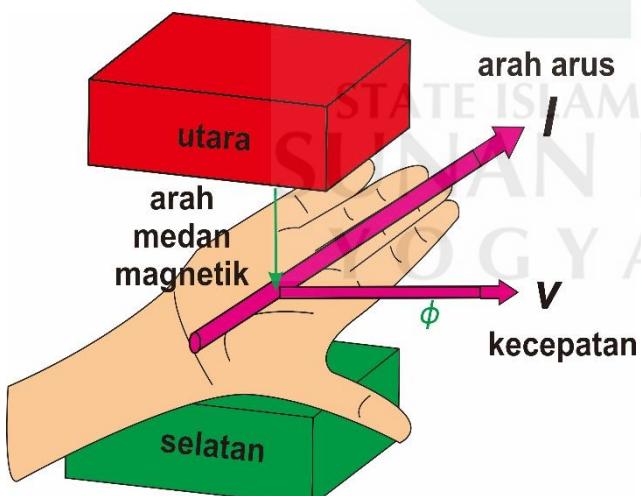
- $E$  = Tegangan induksi (volt)
- $B$  = Kerapatan medan magnet (Tesla)
- $L$  = Panjang penghantar (meter)
- $v$  = Kecepatan gerakan (m/det)
- $Z$  = Jumlah penghantar

Terjadinya tegangan induksi dalam kawat penghantar pada prinsip generator terjadi **Gambar 2.21**, oleh beberapa komponen. Pertama adanya garis medan magnet yang memotong kawat penghantar sebesar  $B$ .

Kedua ketika kawat penghantar digerakkan dengan kecepatan  $v$  pada penghantar terjadi aliran elektron yang bergerak dan menimbulkan gaya gerak listrik ( $U$ ). Ketiga panjang kawat penghantar  $L$  juga menentukan besarnya tegangan induksi karena makin banyak elektron yang terpotong oleh garis medan magnet.



**Gambar 2.21** Prinsip Hukum Lorentz  
Sumber : Dokumentasi Pribadi



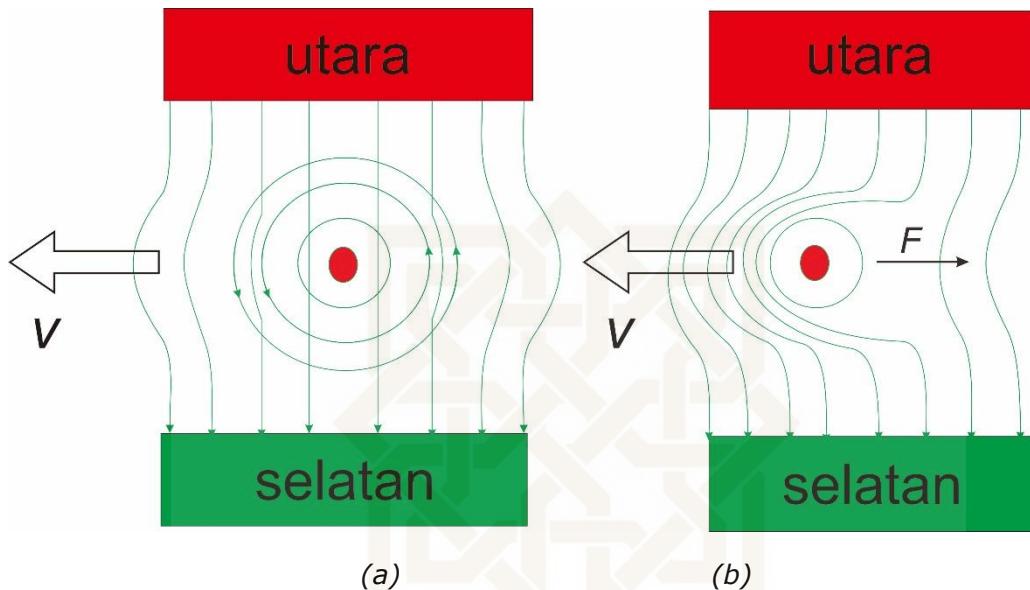
**Gambar 2.22** Ineraksi elektromagnetik  
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pada generator, gaya diberikan pada poros untuk memutarkan jangkar. Sedangkan pada motor, gaya dihasilkan bila penghantar yang dialiri arus listrik ditempatkan di dalam medan magnet. Motor menghasilkan torsi sebagai akibat adanya interaksi antara medan magnet yang ditimbulkan oleh arus jangkar dengan medan magnit dari kutub-kutub magnit. Untuk motor dalam prakteknya, secara umum besarnya torsi berbanding lurus dengan fluksi medan dan arus jangkar. Kecuali pada motor seri.

Hubungan yang ada antara arus pada penghantar, medan magnet dan arah gaya ditentukan oleh peraturan tangan kiri Flemming. *Prinsip tangan kanan Flemming* menjelaskan terjadinya tegangan pada generator listrik. Sepasang magnet permanen menghasilkan garis medan magnet  $\Phi$  **Gambar 2.22**, memotong sepanjang kawat penghantar menembus telapak tangan. Kawat penghantar digerakkan kearah ibu jari dengan kecepatan  $v$ . Maka pada kawat penghantar timbul arus listrik  $I$  yang mengalir searah dengan arah keempat jari. Apa yang akan terjadi bila posisi magnet permanen utara-selatan dibalikkan, kemana arah arus yang dibangkitkan ? Untuk menjawabnya peragakan dengan tangan kanan anda.

*Hukum Lenz*, menyatakan penghantar yang dialiri arus maka sekitar penghantar akan timbul medan elektromagnet. Ketika kawat penghantar digerakkan kecepatan  $v$  dan penghantar melewatkannya arus

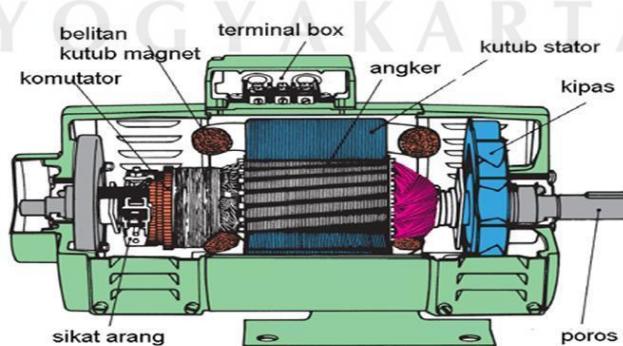
kearah kita (tanda titik) sekitar penghantar timbul elektromagnet kearah kiri **Gambar 2.23a.** Akibat interaksi medan magnet permanen dengan medan elektromagnet terjadi gaya lawan sebesar  $F$  yang arahnya berlawanan dengan arah kecepatan  $v$  kawat penghantar **Gambar 2.23b.**



**Gambar 2.23a dan 2.23b** Interaksi Elektromagnetik  
Sumber : Dokumentasi Pribadi

### 1. Konstruksi Generator DC

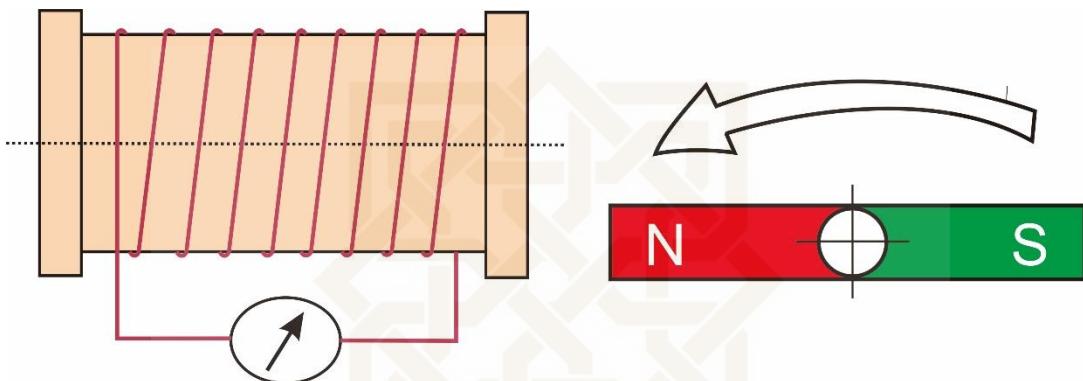
Pada umumnya generator (**Gambar 2.24**) dibuat dengan menggunakan magnet permanen dengan 4-kutub rotor, regulator tegangan digital, proteksi terhadap beban lebih, startor eksitasi, penyearah, *bearing* dan rumah generator atau casis, serta bagian rotor. Generator DC terdiri dua bagian, yaitu *stator*, yaitu bagian mesin DC yang diam, dan bagian *rotor*, yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri atas : rangka motor, belitan s. Sementara, rotor terdiri : komutator, belitan rotor, kipas rotor, poros rotor.



**Gambar 2.24** Konstruksi Generator DC  
Sumber : <http://teknikmesin.com>

## 2. Prinsip Pembangkitan Listrik AC

Listrik AC dihasilkan dari hasil induksi elektromagnetik dari sebuah belitan kawat yang berdekatan dengan kutub magnet permanen (lihat **Gambar 2.25**). Kutub permanen diputar pada sumbunya, maka diujung-ujung belitan timbul tegangan listrik yang ditunjukkan oleh penunjukan jarum voltmeter. Jarum voltmeter bergoyang kearah kanan dan kekiri, ini menunjukkan satu waktu polaritasnya positif, satu waktu polaritasnya negatif.



**Gambar 2.25** Prinsip Pembangkitan Listrik AC  
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Generator AC sederhana terdiri dari stator dengan belitan kawat dan rotor dengan dua kutub. Saat rotor diputar satu putaran dan ujung belitan diukur dengan voltmeter dihasilkan tegangan AC satu periode.

## 3. Penentuan Spesifikasi Generator

Generator adalah alat yang digunakan untuk mengubah daya poros turbin (putaran) menjadi daya listrik. Untuk aplikasi mikro hidro dengan sistem AC ada dua tipe generator yang biasa digunakan yaitu generator sinkron dan asinkron (induksi) 1 fase maupun 3 fase.

### a) Generator Sinkron

Generator sinkron banyak digunakan pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik besar. Secara teknis, desainnya telah mengalami penyempurnaan yang meningkatkan bertujuan untuk meningkatkan performansi, efisiensi dan perawatannya.

### b) Generator Asinkron (Induksi)

Generator asinkron (induksi) merupakan mesin induksi (motor) yang digunakan sebagai generator dengan bantuan eksitasi dari luar, baik dengan menggunakan kapasitor (*isolated system*) maupun terhubung dengan jala-jala PLN. Dari karakteristik kopel kecepatan, mesin induksi dapat dijadikan sebagai generator jika berada pada daerah rem sinkron lebih dan daerah rem arus lawan ( $n_r > n_s$ ) dimana slip bernilai negatif.

#### 4. Pemilihan Jenis Generator dan Power Output

**Tabel 1.1** berikut dapat dijadikan sebagai acuan pemilihan generator untuk lokasi yang dipilih sesuai dengan spesifikasi tekniknya:

**Tabel 1.1** Pemilihan Jenis Generator

Daya Terpasang	1 s.d 10 kW	10 – 30 kW	>30 kW
Tipe Generator dan Fasa	Sinkron asinkron	Sinkron asinkron	Sinkron
	1 atau 3 fasa	3 fasa	3 fasa

Sumber: Buku Konversi Energi 1 Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (2013)

Ukuran kVA yang biasa kita temui pada keterangan di beberapa genset (generator set) yang beredar dipasaran ternyata tidak menunjukkan nilai Watt yang sesungguhnya, hal inilah yang masih jarang orang awam ketahui. Nilai kVA menunjukkan nilai yang dipakai untuk mengukur kapasitas yang dapat dicapai oleh genset, hal ini tentunya sangat berbeda dengan nilai Watt yang kita harapkan karena berhubungan dengan daya yang diperlukan oleh perangkat elektronik kita.

Sedangkan ukuran kW berbeda dengan kVA, karena acuan kW yang biasa digunakan oleh PLN adalah satuan daya nyata yang mampu dihasilkan oleh genset yang dimaksut. Kapasitas atau nilai pada satuan kW selalu ditunjukan dengan angka 0,8 / kVA.

Nilai kVA lebih menunjukkan daya semu, yaitu daya nyata ditambah dengan aktif power yang tercipta sehingga tidak menampilkan daya yang sesungguhnya, istilah ini lebih ditujukan sebagai bagian promosi dan mempromosikan perangkat genset oleh karena itu nilainya selalu lebih besar dari kW, 1 kVA sesuai rumus akan bernilai 0,8 kW atau 800 Watt.

## C. Konsep Fluida Dinamis pada PLTMH

### 1. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas adalah salah satu persamaan dasar dari mekanika fluida, ini menunjukkan prinsip kekekalan massa. Pertimbangkan sebuah elemen dari suatu jalur pipa (lihat **Gambar 2.26**) yang dapat dikatakan bahwa massa per detik yang memasuki pipa harus sama dengan massa per detik yang keluar dari pipa dengan asumsi tidak ada rugi-rugi sepanjang dinding tabung.



**Gambar 2.26** Tabung Alir Prinsip Kontinuitas

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Dapat dirumuskan:

$$\Delta m_1 = \Delta m_2$$

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \quad (2.3)$$

Dengan  $V_1$  dan  $V_2$  adalah rata-rata aliran stationer di saluran masuk dan keluar,  $A_1$  dan  $A_2$  adalah luas penampang melintang pada saluran masuk dan keluar (tegak lurus dengan garis tengah tabung), sementara  $\rho_1$  dan  $\rho_2$  adalah kekentalan zat cair.

Untuk kebanyakan aplikasi dalam pembahasan mikro hidro, dapat diasumsikan bahwa air tidak dipadatkan dan kekentalan pada persamaan di atas tetap konstan dari masukan sampai sampai keluaran; sehingga persamaan kontinuitasnya menjadi:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q = \text{konstan} \quad (2.3)$$

dimana  $Q$  adalah kecepatan volumetrik dari aliran atau debit dengan satuan  $\text{m}^3/\text{detik}$ .

### 2. Kekekalan Energi pada Persamaan Bernoulli

Energi tidak dapat dihasilkan ataupun dimusnahkan tetapi hanya diubah. Energi potensial air disimpan di kolam penampungan di atas bukit diubah menjadi energi kinetik (dan panas akibat gesekan dan turbulensi) apabila air dilepas melalui saluran menuruni bukit.

Di bawah bukit, energi kinetiknya maksimum (air telah dipercepat sampai kecepatan maksimum) ketika energi potensialnya nol, total kandungan energi air adalah

sama dengan yang berada di atas bukit, di bawah bukit dan pada semua titik diantaranya, apabila gesekan dari kehilangan energinya diabaikan.

### ***Energi potensial + energi kinetik = konstan***

Pertimbangkan aliran di dalam saluran tertutup, bentuk ketiga energi dalam aliran fluida harus ditentukan, yaitu energi yang berasal dari daya aksi atau tekanan, karena itu dinamakan energi tekanan. Sebagai contoh energi tekanan adalah kerja yang dilakukan pada air oleh gerakan piston yang memindahkan sejumlah air dengan jarak tertentu. Penerapan dasar-dasar kekekalan energi ke dalam tiga bentuk energi ini (energi kinetik, tekanan dan energi potensial) akan mengantar kita ke persamaan Bernoulli. Penerapan persamaan ini hanya untuk sistem dengan aliran stasioner (*steady flow*), yaitu dimana kecepatan aliran  $Q$  tetap konstan sepanjang waktu.

Ketiga bentuk energi di dalam persamaan Bernoulli dapat diperlihatkan secara grafik dalam potongan memanjang dari sebuah sistem jalur pipa (tenaga air dan suplai air). Ini merupakan metode yang sangat sesuai untuk memeriksa tekanan yang terdapat pada tiap titik dalam sebuah jaringan pipa. Perhatikan bahwa datum (level referensi) dapat dipilih pada sembarang level karena energi bukan merupakan jumlah yang mutlak oleh karena itu dapat diukur pada datum yang dikehendaki.

## Tahukah Kalian?



Daniel Bernoulli pernah menerbitkan buku berisi hasil karyanya tersebut yang diberi judul "Hydrodinamica" Daniel Benoulli adalah matematikawan termuda dari keluarga Bernoulli. Dan ia adalah seorang matematikawan dan Fisikawan dari Swiss. Daniel Bernoulli membuat penemuan yang penting dibidang hidrodinamika.

Dalam kerjanya yang paling terkenal Bernoulli mnunjukkan bahwa: Pada pipa horizontal, tekanan fluida paling besar adalah pada bagian yang kelajuan alirnya paling kecil dan tekanan paling kecil adalah pada bagian yang kelajuan alirnya paling besar (Azaz Bernoulli). Jumlah dari tekanan, energi kinetik persatuan volum, dan energi potensial persatuan volum memiliki nilai yang sama pada setiap titik sepanjang suatu garis arus (Hukum Bernoulli).

Karya matematika Daniel mencakup kalkulus, persamaan diferensial, teori probabilitas (*probability theory*), teori tentang getaran dawai, meneliti teori kinetik gas dan menyelesaikan problem-problem dalam matematika terapan. Sebagai penutup, Daniel Bernoulli adalah penemu disiplin ilmu fisika matematika.

Jarak diantara datum ini dan garis tengah pipa menunjukkan energi potensial di setiap titik. Garis energi untuk air di dalam *reservoir* adalah permukaan air yang bebas (praktis kecepatannya adalah nol, tekanannya atmosferik yang biasanya diambil sebagai referensi tekanan). Dalam sebuah fluida ideal tanpa rugi-rugi, garis energi akan horizontal sepanjang pipa.

Bagaimanapun, akibat gesekan dan turbulensi garis energi turun secara perlahan (gesekan) atau sekaligus (turbulensi/ rugi lokal) dari mulai penampungan sampai keluaran pipa. Garis tekanan digambar pada setiap titik pada jalur pipa dalam suatu jarak *head* dibawah garis energi. Jarak antara garis tengah pipa dan garis tekanannya adalah kemudian ukuran untuk menskala untuk daya tekanan yang terkandung dalam air. Apabila pipa berdiri dipasang pada jalur pipa di berbagai titik, level air disetiap titik akan naik sampai ke garis tekanan.

### 3. Aliran Permukaan Bebas

Aliran dalam saluran alami seperti sungai dan di dalam saluran buatan adalah jenis aliran permukaan bebas. Daya penggerak aliran air dalam saluran terbuka dengan permukaan bebas (tekanan atmosfer) adalah gaya gravitasi, dengan kata lain air digerakkan oleh kemiringan saluran dan tidak seperti di saluran tertutup yaitu dengan perbedaan tekanan *head* di antara dua bagian.

### 4. Aliran Seragam dan Aliran Tidak Seragam

Hal diatas, telah menunjukkan bahwa aliran fluida dalam keadaan mantap apabila kecepatan aliran tidak berubah-ubah terhadap waktu. karena itu, kecepatan dan kedalaman air tidak berubah terhadap waktu pada bagian tertentu.

Ketika melihat perbedaan bagian pada saluran kita mungkin menemukan bahwa kecepatan dan kedalaman air konstan terhadap jarak, aliran seperti ini dinamakan seragam dan level air paralel dengan dasar saluran. Tipe aliran ini biasanya terjadi pada saluran pembawa (*headrace*) dengan potongan melintang dan kemiringan dasar saluran yang konstan.

Dalam kejadian yang lain aliran mungkin berubah berangsur-angsur terhadap jarak, yaitu menjadi aliran tidak seragam, seperti belokan dari aliran air yang tertahan di hulu bendungan dari sebuah skema PLTMH atau permukaan air akan berubah secara cepat ketika terjadi perubahan ukuran saluran atau kemiringan saluran. Aliran mantap ( $Q = \text{konstan}$ ) yang seragam di beberapa bagian dan berubah ditempat yang lain di dalam PLTMH, kita sebagian besar akan berurusan dengan aliran seragam untuk aliran saluran terbuka. Kedalaman air pada aliran seragam dapat ditentukan dengan rumusan sederhana seperti rumusan *Manning-Strickler*.

# BAB III

00000000461004



PLTMH SINGOSAREN, BANTUL

## A. PLTMH Singosaren, Bantul

Dusun Singosaren terletak di Desa Wukirsari yang merupakan bagian dari Kecamatan Imogiri Kabupaten Bantul, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (lihat denah **Gambar 3.1**). Desa Wukirsari ini tergolong desa wisata dikarenakan banyaknya potensi wilayah yang dijadikan tempat kerajinan dan tempat kunjungan. Desa wisata Wukirsari terletak di sebelah timur Bantul ini mempunyai luas daerah kurang lebih 15 km<sup>2</sup>, yang terbagi 16 Dusun dan 91 RT. Desa ini menjadi rintisan batik tulis di Kabupaten Bantul dimana batik merupakan kerajinan tradisi turun menurun. Kerajinan lain yang terkenal di desa Wukirsari lainnya adalah kerajinan kulit atau tatah sungging.



**Gambar 3.1** Denah PLTMH Singosaren, Bantul  
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Secara geografis wilayahnya beragam mulai dari perbukitan hingga sungai-sungai. Sebagian wilayahnya masih berupa hutan dan lahan pertanian sehingga tampak asri. Tiap-tiap daerah menyimpan potensi wilayahnya masing-masing mulai dari pengobatan tradisional, keindahan alam, kerajinan, hingga makam-makam yang sering menjadi tempat ziarah.

Melihat potensi aliran air irigasi yang ada di daerahnya Dusun Singosaren, Desa Wukirsari, Imogiri Bantul, Mutohar bersama beberapa rekannya memikirkan apa yang bisa dimanfaatkan dari aliran air irigasi yang alirannya stabil sepanjang tahun ini. Hasilnya, pada tahun 2007 Pembangkit Tenaga Listrik Mikro Hidro (PLTMH) buatan mereka diresmikan. Awalnya mereka hanya ingin coba-coba, melihat air irigasi, mereka merasa sayang tidak bisa termanfaatkan. Sehingga muncul gagasan untuk dibangun pembangkit listrik.

PLTMH sendiri ialah pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak turbinnya yang kemudian menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Mikro hidro bisa memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar. Relatif kecilnya energi yang dihasilkan mikro hidro dibandingkan dengan PLTA skala besar berimplikasi pada realtif sederhananya peralatan serta kecilnya areal yang diperlukan.

PLTMH yang ada di Singosaren ini mampu menghasilkan listrik kurang lebih 300–600 watt tergantung debit yang ada. Listriknya hanya digunakan untuk penerangan jalan. Namun, selain mampu menghasilkan listrik, alat ini juga dapat digunakan untuk menggerus/memarut kelapa karena alat penggerusnya yang dikopel /disambung langsung dengan putaran turbin sehingga masyarakat tidak perlu repot jika membutuhkan kelapa parutan.

Memang, pembangkit listrik mikro hidro yang ada di dusun ini hanya untuk listrik bagi penerangan jalan, namun berkat usahanya tersebut banyak daerah-daerah disekitarnya yang menginisiasi pembangunan pembangkit listrik mikro hidro ditempat yang lainnya. Dari sekian pengunjung yang datang, banyak diantaranya yang hanya sekedar lihat-lihat sampai resmi untuk belajar langsung, bahkan dari PT. Indonesia Power pernah kesini untuk belajar bagaimana pembangkit listrik mikro hidro yang berada di Singosaren ini.

PLTMH di Singosaren ini memang beberapa kali ramai dikunjungi. Mulai dari instansi pemerintah hingga swasta. Karena itulah, Tohar beserta rekan-rekan lainnya sepakat untuk membentuk kepengurusan. Selain memudahkan dalam pembagian kerja juga meningkatkan kapasitas baik masyarakat maupun operasional mikro hidronya. Hasilnya, beberapa bantuan dana pernah didapatkan untuk perawatan dan peningkatan operasional mikro hidronya ini. Salah satunya adalah kincir air sekarang telah bersudut 20 hasil bantuan dari UGM, yang sebelumnya hanya 18 sudut, sehingga dapat meningkatkan tangkapan air yang berarti meningkatkan kapasitas listrik juga.

PLTMH sendiri kini menjadi solusi alternatif untuk menghasilkan listrik. Hal ini karena PLTMH berprinsip sederhana asal ada air dengan cukup beda tinggi dan ruangan yang tidak terlalu luas, listrik dapat dihasilkan terlebih kondisi geografis di Indonesia yang memiliki banyak kontur dataran. Teknologi ini baik untuk diaplikasikan terutama di desa-desa atau daerah terpencil dengan aliran air yang cukup. Dan lebih dari itu, PLTMH ini ramah lingkungan dan termasuk energi terbarukan sehingga biaya operasi dan pemeliharaannya lebih rendah dibandingkan dengan mesin diesel yang menggunakan bahan bakar minyak. Dengan demikian sistem pembangkit mikro hidro ini cocok untuk menjangkau ketersediaan jaringan energi listrik di pedesaan ataupun daerah-daerah terpencil.

Di Indonesia sendiri pembangunan PLTMH digalakkan, telah banyak hasil instalasi PLTMH yang tersebar di pelosok Indonesia. Namun, perlu diingat aplikasi teknologi harus pula seiring dengan pembardayaan masyarakat di sekitar teknologi itu sendiri, agar keberlanjutan dan peningkatan yang berkelanjutan dapat tercapai.

## B. Spesifikasi dan Informasi PLTMH Singosaren

**Tabel 3.1** Spesifikasi dan Informasi PLTMH Singosaren

1. Mulai	Pembangunan PLTMH Singosaren diawali oleh salah seorang dari masyarakat sekitar yang ahli di bidang teknik serta mampu melihat potensi wilayahnya
2. Pemilihan lokasi	Lokasi yang dipilih, didasarkan pada kesederhanaan alat bahan serta pemanfaatannya. Bahkan nilai yang urgensi untuk ditonjolkan adalah “pentingnya mempersiapkan Indonesia mandiri energi 2050”
3. Teknologi yang Tepat	Teknologi tersebut dipilih karena potensi hidrologi dan topografi yang memenuhi persyaratan prakondisi mikro hidro .
4. Detail teknis dan modifikasi	Kapasitas : 3 kW Tipe Turbin : pelton 20 sudu Generator : synchronous AC type ST-3 Gear box : type speed up Rasio e : 1:140
5. Biaya dan Pendanaan	Proyek ini didanai oleh swadaya masyarakat setempat
6. Manajemen proyek & waktu	Sebagai program swadaya, baik dari perencanaan, pengelolaan, pengawasan, dan pengembangan dilakukan mandiri oleh masyarakat setempat.
7. Pelatihan dan Perawatan	Belum ada sumbangsih optimal dari pemerintah daerah, namun hanya pengembangan dan edukasi dari beberapa peneliti/mahasiswa yang melakukan penelitian atau Kuliah Kerja Nyata di daerah tersebut.
8. Pengawasan	Masih sangat minim, hanya sebagai alternatif karena pemakaian yang sangat kondisional.
9. Kesulitan	Finansial terkait dengan pengelolaan dan pengembangan.

Sumber: Hasil Observasi dan Wawancara Peneliti

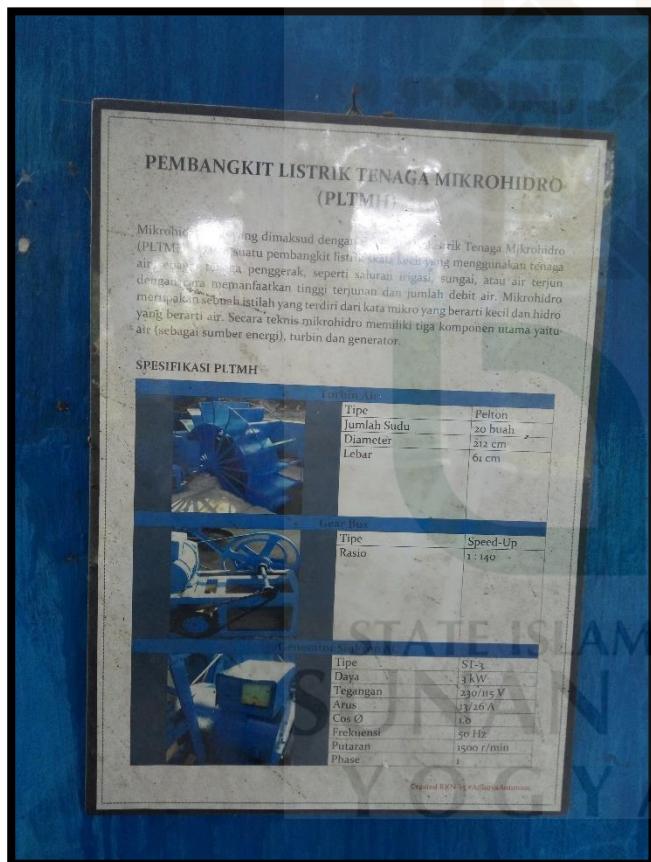
## Dokumentasi



**Gambar 3.2** Generator PLTMH Singosaren  
Sumber: Dokumentasi Pribadi



**Gambar 3.3** Turbin/Kincir PLTMH Singosaren  
Sumber: Dokumentasi Pribadi



**Gambar 3.4** Papan Informasi Spesifikasi PLTMH Singosaren  
Sumber: Dokumentasi Pribadi



**Gambar 3.5** Bendungan PLTMH Singosaren  
Sumber: Dokumentasi Pribadi



**Gambar 3.6** Turbin yang dihubungkan pada Rotor  
Sumber: Dokumentasi Pribadi



**Gambar 3.7** Kotak Voltmeter  
Sumber: Dokumentasi Pribadi



**Gambar 3.8** Pengalih Arus Air PLTMH Singosaren  
Sumber: Dokumentasi Pribadi



**Gambar 3.9** Parutan Kelapa  
Sumber: Dokumentasi Pribadi

## C. Potensi PLTMH di Daerah Istimewa Yogyakarta

Potensi tenaga air di propinsi DIY yang dapat dimanfaatkan untuk PLTMH mencapai 763,6 kW seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini. Potensi tenaga air yang terbesar berada di saluran irigasi Kalibawang, Semawung dengan potensi sebesar 200 kW.

**Tabel 3.2** Potensi PLTMH di Jogja

No	Nama	Lokasi	Kapasitas(kW)
1	Saluran Kalibawang	Kedungrong 1	90,0
2	Saluran Kalibawang	Kedungrong 2	100,0
3	Saluran Kalibawang	Semawung	200,0
4	Saluran Kalibawang	Tempel, Pendoworejo, Girimulyo	34,0
5	Saluran Kalibawang	Kemukus, Tanjungharjo, Nanggulan	5,3
6	Selokan Kamal	Kamal, Giripurwo, Girimulyo	34,0
7	Selokan Mataram 1	Gasiran, Bangunrejo, Sayegan	9,5
8	Selokan Mataram 2	Bluran, Tirtonadi, Mlati	31,0
9	Selokan Mataram 3	Trini, Trinhanggo, Gamping	23,0
10	Selokan Mataram 4	Gemawang	3,5
11	Selokan Mataram 8	Candisari, Kalasan	4,7
12	Selokan Van Der Wicjk 3	Klagaran, Sendangrejo, Minggir	22,0
13	Selokan Van Der Wicjk 4	Kajoran, Banyurejo, Sayegan	25,0
14	Selokan Van Der Wicjk 5	Kedungprahu, Sendangrejo, Minggir	14,7
15	Sumber Cincin Guling	Gedad, Banyusoco, Playen	3,5
16	Sumber Cincin Guling	Gedad, Banyusoco, Playen	3,0
17	Sumber Air Terjun Slumpret	Mengguran, Bleberan, Playen	41,0
18	Kali Buntung	Kricak, Tegalrejo	12,4
19	Bendung Tegal	Tegal, Kebonagung, Imogiri	106,0
Total			<b>763,6</b>

Sumber : Carepi (2008)

Berdasarkan **Tabel 3.2** diatas, PLTMH yang telah beroperasi di Propinsi DIY diantaranya adalah Minggir unit I dan II (Sleman), Talang Krasak, Turi unit I dan II, Dusun Bendo (Bantul) dan Singosaren. Besarnya tenaga air yang dapat dimanfaatkan bergantung pada besarnya head dan debit air. Secara teknis komponen untuk PLTMH sudah bisa dibuat di dalam negeri sehingga dapat dikatakan sudah layak secara ekonomis untuk dikembangkan. Untuk jangka panjang ketersediaan air yang berkelanjutan sangat penting bagi kelangsungan operasional PLTMH. Oleh karena itu kelestarian lingkungan di sisi hulu sungai sangat perlu untuk dijaga.

## Daftar Pustaka

- Abdullah, Mikrajuddin. 2007. Catatan Kuliah: *Fisika Dasar 1*. Bandung: Institute Teknologi Bandung.
- ABS Alaskan. 2002. *Micro Hydro Power: A Guide to Small-Scale Water Power System*
- Sulasno. 2009. *Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Anonim. 2014. *Buku Konversi Energi 1*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Anonim. 2013. *Buku Konversi Energi 2*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Atmadi. 2014. *Pembangkit Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Fowles and Cassiday. 1986. *Analytical Mechanics*. United States of America: Thomson Learning.
- Furoidah, Innay. 1993. *Fisika Dasar I*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Giancoli, Douglas C. 2001. Fisika. Edisi Kelima Jilid 1. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Halliday, Resnick. 1985. *Fisika Jilid 1 Edisi Ketiga (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- IBEKA. 2005. *Manual Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*, Institut Bisnis dan Ekonomi Kerakyatan.
- Integrated Microhydro Development and Application Program (IMIDAP). 2009. *Pedoman Studi Kelayakan PLTMH*. Jakarta: Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Intelligent Automation Research Group. 2011. *Majalah Energi edisi Segarnya Bisnis Mikro Hidro*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Kadir, Abdul. 2010. *Energi: Sumberdaya, Inovasi, Tenaga Listrik, dan Potensi Ekonomi*. Jakarta: UI Press.
- Sugiyono, Agus dkk. 2016. *Outlook Energi Indonesia 2016 "Pengembangan Energi untuk Mendukung Industri Hijau"*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPTP).
- Sugiyono, Agus. 2010. *Pengembangan Energi Alternatif Di Daerah Istimewa Yogyakarta: Prospek Jangka Panjang*. Yogyakarta: Prosiding Call for Paper Seminar Nasional VI Universitas Teknologi Yogyakarta 2010.
- Tim Contained Energy Indonesia. 2014. *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*. Jakarta: Program Nasional Pemberdayaan Masyarakat Lingkungan Mandiri Perdesaan (PNPM-LMP).
- <http://www.prosesindustri.com/>. Diakses pada tanggal 1 Juni 2017
- <https://banjarnegaraku.wordpress.com>. Diakses pada tanggal 26 Juli 2017
- <https://tyazhmash.com>. Diakses pada tanggal 26 Juli 2017
- <https://konversi.wordpress.com>. Diakses pada tanggal 29 Juli 2017
- <https://tahuberita.com>. Diakses pada tanggal 29 Juli 2017
- <http://teknikmesin.org>. Diakses pada tanggal 29 Juli 2017

## Glosarium

Atom	: komponen terkecil dari suatu elemen.
Altimeter	: instrumen yang mengukur dan mengindikasikan ketinggian permukaan air laut di mana suatu obyek, seperti pesawat terbang, berada.
Arus bolak-balik	: arus listrik yang membalik arah dengan jeda yang reguler, memiliki besaran yang senantiasa berubah-ubah secara sinusoidal.
Bahan bakar	: bahan apapun yang bisa dibakar menjadi energi
Baterai	: alat untuk menyimpan listrik yang terdiri dari satu atau lebih sel elektrolit.
Batubara	: bahan bakar minyak yang terbentuk oleh dari sisa-sisa vegetasi yang terperangkap di bawah tanah tanpa terkena udara.
Bendungan	: penghalang untuk menahan aliran air.
Biodiesel	: bahan bakar alternatif yang bisa dibuat dari lemak atau minyak sayur.
Biofuel	: bahan bakar cair serta komponen pencampurnya yang dihasilkan dari biomassa (tumbuhan) makanan ternak, terutama digunakan untuk transportasi.
Biomassa	: bahan organik (tanaman atau hewan) yang tersedia secara terbarukan
<i>Bucket method</i>	: mengukur aliran kecil (20 l/detik)
<i>Clinometer</i>	: alat untuk mengukur berbagai pengukuran
Efisiensi	: rasio tugas yang dilakukan atau energi yang diciptakan oleh mesin dsb.
Energi Listrik	: energi yang terkait dengan muatan listrik serta gerakannya
Energi Panas Bumi	: energi panas yang dihasilkan oleh proses alami di dalam bumi.
Fotovoltaik	: proses di mana beberapa energi dari cahaya (energi radiasi) dikonversi menjadi energi listrik.
<i>Float method</i>	: mengukur aliran >20 l/detik
Gas Alam	: bahan bakar fosil yang terbakar bersih, tidak berbau, tidak berwarna, tidak memiliki rasa, tidak beracun.
Gas Metana	: gas tidak berwarna, bisa terbakar, tidak berbau yang merupakan komponen utama gas alam.
Gas Rumah Kaca	: gas-gas yang menahan panas matahari di atmosfer Bumi dan menghasilkan efek rumah kaca.
Gaya	: sesuatu yang mengubah keadaan diam atau bergerak dari sesuatu

Generator	: peralatan yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.
<i>Impulse turbines</i>	: turbin yang digerakkan oleh semburan cairan bebas yang jatuh ke baling-baling rotor bersama dengan aliran aksial cairan melalui rotor.
<i>Intake</i>	: tempat atau lubang di mana cairan dialirkan ke saluran, pipa dsb.
Joule	: unit metrik untuk mengukur tugas dan energi.
Kilowatt-jam (kWh)	: ukuran listrik yang didefinisikan sebagai unit energi.
<i>Mini-grid</i>	: jaringan listrik di suatu desa atau lingkungan yang dipasok dari satu titik tunggal oleh, misalnya: generator diesel atau PLTA mikro.
Minyak bumi	: bahan mentah di mana produk minyak bumi terbuat. Bahan bakar fosil cair berwarna hitam yang ditemukan jauh di dalam Bumi
<i>Off Grid</i>	: sistem mandiri yang tidak mengandalkan pada PLN.
<i>On Grid</i>	: jika jaringan sudah ada pada seksi ini, maka tenaga air bisa dihubungkan langsung dengan jaringan nasional.
Organik	: berasal dari hewan atau tanaman.
Pembangkit listrik	: fasilitas di mana energi, terutama listrik dibangkitkan.
Pompa	: mesin untuk menaikkan, menjalankan, membuang, atau mengompresi cairan atau gas.
<i>Reaction turbines</i>	: turbin yang digerakkan oleh daya reaktif cairan yang melalui kipas rotor.
<i>Reservoir</i>	: waduk digunakan untuk menampung air dengan tujuan untuk memanfaatkannya pada saat diperlukan.
<i>Run-of-the-river system</i>	: skema ini memanfaatkan weirs untuk mengarahkan kembali air ke tempat pengambilan air dan mengalirkan ke turbin melalui <i>penstock</i> .
Rotor	: sistem memutar <i>airfoil</i> atau baling-baling
Tenaga Air	: energi yang berasal dari gerakan air
<i>Theodolite</i>	: adalah alat pengukur tanah dan bisa mengukur ketinggian, sudut dan jarak.
Transformer	: alat untuk mengalihkan arus tidak langsung dari sebuah sirkuit ke sebuah sirkuit atau beberapa sirkuit lainnya.
Turbin	: turbin mengkonversi potensi energi air ke energi putar mekanik.

## *Curriculum Vitae*

Nama	:	Muhammad Zainuddin AS
Tempat Tanggal Lahir	:	Banyumas, 06 Maret 1995
Jenis Kelamin	:	Laki-laki
Agama	:	Islam
Alamat Asal	:	Kedungpring, RT 01 RW 01, Kecamatan Kemranjen, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah
Alamat Domisili	:	PP Al Munawwir Krapyak, Komplek Madrasah Huffadh 1
No.HP	:	081239084736
Email	:	gradasty1234@gmail.com

### Riwayat Pendidikan Formal

<b>Tingkat</b>	<b>Nama Sekolah</b>	<b>Lulus</b>
SD	SD Negeri Gunungmujil	2007
SMP	SMP Negeri 1 Sumpiuh	2010
SMA	SMA Negeri 2 Kebumen	2013

### Riwayat Pendidikan Non-Formal

<b>Nama Pondok</b>	<b>Lulus</b>
PP Assalam Kemranjen, Banyumas	2010
PP Miftahul 'Ulum Wonoyoso, Kebumen	2013
PP Al Munawwir Krapyak, Yogyakarta	Belum lulus

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
YOGYAKARTA