



Penulis:
La Ode Mohammad Firman
Basuki Setiawan

Dasar-dasar

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR



Dasar-dasar

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

Penulis:

**La Ode Mohammad Firman
Basuki Setiawan**



DASAR-DASAR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

Penulis:

La Ode Mohammad Firman & Basuki Setiawan

Desain Cover:

Septian Maulana

Sumber Ilustrasi:

www.freepik.com

Tata Letak:

Handarini Rohana

Editor:

Reza Abdu Rahman

ISBN:

978-623-459-597-0

Cetakan Pertama:

Juli, 2023

Tanggung Jawab Isi, pada Penulis

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

by Penerbit Widina Media Utama

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

PENERBIT:

WIDINA MEDIA UTAMA

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

Anggota IKAPI No. 360/JBA/2020

Website: www.penerbitwidina.com

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

Telepon (022) 87355370

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, Tuhan pemilik alam semesta yang telah melimpahkan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan dengan baik penyusunan buku dengan judul “Dasar-Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Air”. Buku ini tidak diperjualbelikan dan dibuat bukan untuk kepentingan bisnis. Buku ini dibuat sebagai bahan pengajaran dan disimpan di perpustakaan Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta. Selain itu, buku ini dapat digunakan oleh Dosen, Konsultan, Mahasiswa ataupun Karyawan/Pekerja yang tugas dan kewajibannya masih berkaitan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Penulis memiliki motto: *tebarkanlah ilmu pengetahuan demi amal ibadah serta amal jariah*. Selama penyusunan buku ini Penulis telah mendapat bantuan dari berbagai pihak yang memiliki kemampuan serta keahlian terhadap PLTA. Materi yang terkandung pada buku ini diperoleh dari pengalaman penulis melakukan pengajaran, pengabdian kepada masyarakat, penelitian, serta pengalaman selama bekerja pada proyek yang ada kaitannya dengan PLTA. Akhir kata, Penulis berharap agar buku ini dapat bermanfaat bagi kemajuan dan menambah wawasan bagi para Pembaca sehingga dapat diterapkan ke Masyarakat. Apabila ada kesalahan dalam penulisan pada buku ini, Penulis mengucapkan permohonan maaf yang setinggi-tingginya. Menyadari hal tersebut maka Penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan buku ini di masa yang akan datang.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Jakarta, 24 Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
BAB 2 PERSAMAAN KONTINUITAS DAN PERSAMAAN BERNOULLI UNTUK ALIRAN FLUIDA	5
A. Persamaan Kontinuitas	5
B. Persamaan Bernoulli	10
BAB 3 AIR SUNGAI SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK	17
A. Air Sungai Sebagai Sumber Energi	17
B. Bagian-Bagian Penting pada Suatu Pembangkit Listrik Tenaga Air	19
BAB 4 ASPEK DESAIN, KOMPONEN SIPIL-MEKANIK-ELEKTRIK, SERTA MANAJEMEN <i>OPERATION & MAINTENANCE</i>	51
A. <i>Cascade-Down</i> Utilisasi Aliran Sungai Citarum	51
B. Peranan PLTA Saguling yang Mempengaruhi Desain PLTA Rajamandala	53
C. Bangunan Sipil PLTA Rajamandala	57
D. Komponen Mekanik-Elektrik Utama PLTA Rajamandala	60
E. Skema Bisnis dan Struktur Organisasi PLTA Rajamandala	63
F. Manajemen <i>Operation & Maintenance</i> PLTA Rajamandala	65
G. Pengoperasian dan Pemeliharaan/Perawatan	66
BAB 5 TEORI DAN ANALISIS PERHITUNGAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO	77
A. Teori Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)	77
1. Dasar-Dasar tentang PLTMH	77
2. Prinsip Kerja Turbin PLTMH	79
B. Analisis Perhitungan PLTMH	85

DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN	93
PROFIL PENULIS	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sistem Jaringan pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).....	3
Gambar 2.1 Aliran Stedi pada Pipa.....	5
Gambar 2.2 Bentuk Energi pada Aliran Air	11
Gambar 2.3 Aliran Fluida pada Pipa Mendatar	13
Gambar 2.4 Aliran Air pada <i>Reservoir</i>	14
Gambar 3.1 Air Sungai Sebagai Sumber Energi.....	18
Gambar 3.2 <i>Head</i> pada PLTA.....	20
Gambar 3.3 Bagian-Bagian Penting pada Suatu PLTA.....	20
Gambar 3.4 Konstruksi Bendungan Air Sungai.....	24
Gambar 3.5 Bangunan <i>Intake</i>	25
Gambar 3.6 Saluran Penghantar	25
Gambar 3.7 Bak Penenang	26
Gambar 3.8 Pipa Pesat Menggunakan Bahan Logam	27
Gambar 3.9 Letak Rumah Pembangkit (<i>Powerhouse</i>) pada PLTA.....	28
Gambar 3.10 Saluran Pembuang.....	29
Gambar 3.11 Tampak Atas dan Tampak Depan Bangunan Sipil pada PLTA Rajamandala, Indonesia.....	30
Gambar 3.12 Bangunan Sipil pada PLTA Rajamandala, Indonesia.....	30
Gambar 3.13 <i>Weir</i> (Bendung)	31
Gambar 3.14 Bangunan <i>Intake</i>	32
Gambar 3.15 <i>Labyrinth Spillway</i>	33
Gambar 3.16 <i>Penstock</i> (Pipa Pesat) Menggunakan Bahan Beton Cor	34
Gambar 3.17 Pengelompokan Turbin Air Sesuai Ketinggian Air Jatuh dan Debit.....	35
Gambar 3.18 Komponen Generator.....	37
Gambar 3.19 Komponen Generator dan <i>Transformer</i>	38
Gambar 3.20 Jaringan Listrik.....	39
Gambar 3.21 Pemasangan Instalasi ke Konsumen	39
Gambar 3.22 Komponen-Komponen Turbin Kaplan.....	40
Gambar 3.23 Saluran Air Sungai dan Air Terjun.....	40

Gambar 3.24 Kondisi Aliran Sungai pada Musim Kemarau di Kecamatan Pondok Suguh, Kabupaten Muko-Muko, Provinsi Bengkulu	41
Gambar 3.25 Aliran Sungai yang Lurus	43
Gambar 3.26 Pengukuran Kedalaman dan Lebar Sungai	45
Gambar 3.27 Dasar Sungai yang Tidak Merata	45
Gambar 4.1 Bendungan <i>Cascade-Down</i> Aliran Sungai Citarum	52
Gambar 4.2 <i>Cascade-Down</i> Infrastruktur Waduk dan PLTA Sepanjang Aliran Sungai Citarum	52
Gambar 4.3 Waduk di Sepanjang Sungai Citarum	53
Gambar 4.4 Peranan PLTA Saguling	55
Gambar 4.5 Kondisi Saat Konstruksi di Area <i>Power House</i> dan Komponen-Komponen Pendukung Lainnya pada Bangunan Sipil PLTA	57
Gambar 4.6 <i>Head</i> dan Turbin <i>Output</i> Serta Perbandingan Turbin Francis dan Turbin Kaplan	61
Gambar 4.7 Komponen dan Spesifikasi Turbin Kaplan	61
Gambar 4.8 Turbin Kaplan dan Generator	62
Gambar 4.9 Skema Bisnis	64
Gambar 4.10 Struktur Organisasi	64
Gambar 4.11 Foto Manajemen <i>Operation & Maintenance</i> PLTA	65
Gambar 4.12 Diagram Alir Selama Operasi	72
Gambar 5.1 <i>Hydro-Elektric Power Plant</i>	77
Gambar 5.2 Pemanfaatan Tinggi Terjun	78
Gambar 5.3 Diagram Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	79
Gambar 5.4 Mangkok Turbin Pelton	80
Gambar 5.5 Penampang Nosel	82
Gambar 5.6 Turbin Pelton Menggunakan Dua Nosel	82
Gambar 5.7 Penerapan Turbin Pelton Menggunakan Dua Nosel dan Raner Terpasang di Poros Generator	83
Gambar 5.8 Tinggi Air Terjun pada Saluran Irigasi	86
Gambar 5.9 Generator dan Turbin Pelton	89
Gambar 5.10 Roda Turbin Pelton	89
Gambar 5.11 <i>Pulley</i> dan <i>Belt</i>	90

Gambar 5.12 Turbin-Generator Susunan Tegak	90
Gambar 5.13 Turbin-Generator Susunan Mendatar.....	91

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pengelompokan Turbin Air Sesuai Ketinggian Air Jatuh dan Daya	35
Tabel 3.2 Hasil Pengukuran Waktu Tempuh Gabus Serta Kecepatan Rata-Rata Aliran Air Sungai	44
Tabel 3.3 Hasil Pengukuran Kedalaman Sungai Serta Luas Penampang Aliran Air Sungai	46
Tabel 3.4 Beberapa Perbedaan antara Turbin Francis dan Turbin Kaplan	49
Tabel 3.5 Data-Data Teknis PLTA di Kecamatan Pondok Suguh, Kabupaten Muko-Muko, Provinsi Bengkulu	49
Tabel 4.1 Data-Data dan Hasil Perhitungan Suatu PLTA	57
Tabel 5.1 Diameter Pancaran Air (<i>Jet</i>) dan Lebar Mangkok	80
Tabel 5.2 Karakteristik Pengaliran Pipa <i>Polietilen</i> (PE)	80
Tabel 5.3 Jenis Turbin Menurut Putaran Spesifik	81



PENDAHULUAN

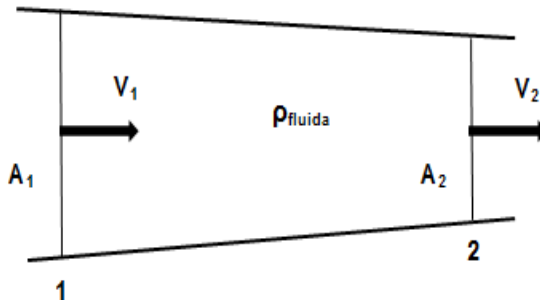
Kebutuhan energi semakin meningkat sejalan dengan kemajuan zaman dan berbagai kebutuhan manusia. Salah satu bentuk energi yang tidak dapat terlepas dari kehidupan manusia adalah energi listrik. Sumber energi listrik yang sudah sering digunakan adalah sumber energi yang konvensional, misalnya sumber energi minyak bumi, gas alam dan batu bara. Sedangkan sumber energi berupa sumber energi baru dan terbarukan (EBT), misalnya sumber energi air, panas bumi, panas matahari dan nuklir masih terus dikembangkan. Sebagaimana yang telah diketahui penggunaan sumber daya energi minyak bumi, gas alam dan batu bara sangat terbatas maka suatu saat sumber energi tersebut akan habis. Banyak sekali energi alternatif dari alam terutama di Indonesia yang dapat di manfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, dan salah satu contoh energi alternatif yang bisa digunakan adalah energi air. Air merupakan sumber energi yang sangat banyak, mudah didapat dan dapat diperbaharui serta merupakan salah satu sumber daya alam yang tidak akan habis. Tenaga air yang digunakan dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air adalah energi kinetik serta energi potensial yang dimiliki oleh air. Meskipun tergolong tenang dan sangat melimpah, air ternyata memiliki tenaga yang cukup besar, bahkan bisa digunakan untuk membangkitkan energi listrik.

BAB 2

PERSAMAAN KONTINUITAS DAN PERSAMAAN BERNOULLI UNTUK ALIRAN FLUIDA

A. PERSAMAAN KONTINUITAS

Fluida dialirkan masuk ke dalam sebuah pipa yang diameter penampangnya tidak sama. Luas penampang pipa pada titik 1 lebih besar dibanding luas penampang pipa pada titik 2, atau diameter pipa pada titik 1 lebih besar dibanding diameter pipa pada titik 2. Selama fluida mengalir di dalam pipa, fluida tersebut tidak dapat menembus dinding pipa sehingga fluida dengan kecepatan tertentu mengalir secara kontinyu di sepanjang pipa. fluida yang mengalir memiliki kecepatan, debit, massa jenis, dan laju aliran massa. Perhatikan Gambar berikut:



Gambar 2.1 Aliran Stedi pada Pipa



AIR SUNGAI SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK

A. AIR SUNGAI SEBAGAI SUMBER ENERGI

Bila kita berada di dekat sungai maka kita dapat menyaksikan air sungai mengalir dan kadang-kadang membawa benda-benda yang berada di atas permukaan air. Benda-benda tersebut bergerak bersama aliran air sungai dan bergerak terus sepanjang sungai. Pergerakan aliran air sungai disebabkan perbedaan ketinggian dari satu titik ke titik berikutnya. Bila debit air sungai besar serta perbedaan ketinggian meningkat maka pergerakan aliran air sungai dan pergerakan benda-benda yang ada di atas permukaan air sungai akan lebih besar pula. Seorang ahli teknik, khususnya bidang teknik konversi energi, kadang-kadang berpikir tentang mesin ramah lingkungan, peningkatan efisiensi, peningkatan keamanan dan kenyamanan, bahkan berpikir bagaimana agar suatu benda bisa bergerak dengan baik akibat adanya dorongan aliran air sungai. Keadaan ini dapat kita katakan bahwa air sungai dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.



ASPEK DESAIN, KOMPONEN SIPIIL-MEKANIK-ELEKTRIK, SERTA MANAJEMEN *OPERATION & MAINTENANCE*

A. *CASCADE-DOWN* UTILISASI ALIRAN SUNGAI CITARUM

Sungai Citarum saat ini telah dipergunakan/diutilisasi secara relatif maksimal dengan telah terbangunnya 3 (tiga) Bendungan/Waduk besar dan 4 (empat) PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) secara *cascade-down* dari hulu ke hilir, yaitu:

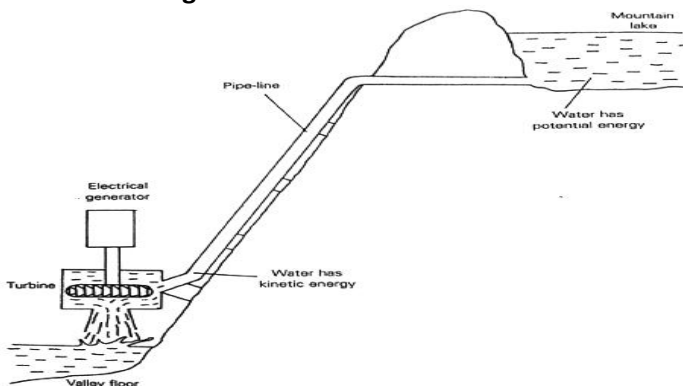
- Bendungan Seguling, digunakan untuk pembangkit listrik PLTA Seguling;
- Bendungan Cirata, digunakan untuk pembangkit listrik PLTA Cirata;
- Bendungan Ir. H. Djuanda/Jatiluhur, digunakan untuk serbaguna: PLTA Ir. H. Djuanda, Pengairan (Irigasi), Pengendalian banjir, Pariwisata, Budidaya perikanan, Penyediaan air baku;
- *Cascade-down* PLTA sepanjang aliran sungai Citarum dari hulu ke hilir:
 - PLTA Saguling 700 MW (beroperasi sejak tahun 1985)
 - PLTA Rajamandala 47 MW (beroperasi sejak tahun 2019)
 - PLTA Cirata 1000 MW (beroperasi sejak tahun 1988, 1997, 1998)
 - PLTA Ir.H.Djuanda 187,5 MW (beroperasi sejak tahun 1967, 1998)

BAB 5

TEORI DAN ANALISIS PERHITUNGAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

A. TEORI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)

1. Dasar-Dasar tentang PLTMH



Gambar 5.1 *Hydro-Elektrik Power Plant*

Sangat banyak energi alternatif yang telah disediakan oleh Tuhan pencipta alam semesta, terutama energi alternatif yang ada di Indonesia. Energi alternatif tersebut dapat di manfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu contoh energi alternatif yang dapat digunakan di

DAFTAR PUSTAKA

- Edy Sunarto, & Markus E. (1991). *Turbin Pelton Mikro* (Vol. 9). Andi Offset. Yogyakarta. Indonesia
- Fritz, D., & Dakso, S. (1980). Turbin Pompa dan Kompresor. In *Erlangga, Jakarta*. Indonesia
- Iynkaran K. (1993). *Basic Thermodynamics*. Singapore
- La Ode Mohammad Firman, & Sorimuda Harahap. (2015). Green Drying Chamber By Using Vibration Components, Heat Exchanger And Micro Hydro In Buton Island, Indonesia. *PAWEES-INWEPP2015*. Malaysia
- Nugroho, H. Y. S. H., & Sallata, M. K. (2015). *PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro). Panduan Lengkap Membuat Sumber Energi Terbarukan Secara Swadaya* (1st ed.). Andi Offset. Yogyakarta. Indonesia
- Sularso, K. S. (2002). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Pradnya Paramita. Indonesia
- Syukri Himran. (2013). *Turbin Air. Teori dan Dasar Perencanaan*. Andi Offset. Yogyakarta. Indonesia
- Tim Penyusun Buku 2A. (2009). *Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi. Integrated Microhydro Development and Application Program. Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi*. Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral. Indonesia
- Tim Penyusun Buku 2B. (2009). *Pedoman Studi Kelayakan Sipil. Integrated Microhydro Development and Application Program*. Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi. Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral. Indonesia.
- Tim Penyusun Buku 2C. (2009). *Pedoman Studi Kelayakan Mekanikal-Elektrikal. Integrated Microhydro Development and Application Program*. Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi. Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral.

PROFIL PENULIS

Dr. Ir. La Ode Mohammad Firman, M.T.



Penulis lahir tahun 1965 di Wolio, Kota Baubau, Pulau Buton, Indonesia. Tahun 1993 tamat kuliah jenjang D-III dan jenjang S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Konsentrasi Konstruksi, Universitas Hasanuddin, di Ujung Pandang. Provinsi Sulawesi Selatan. Tahun 1997 tamat kuliah jenjang S-2 di Jurusan Teknik Mesin, Konsentrasi Konversi Energi, Universitas Indonesia, di Jakarta, Provinsi Daerah Khusus Ibukota. Tahun 2012 tamat kuliah jenjang S-3 di Jurusan Ilmu Keteknikan Pertanian, Konsentrasi Konversi Energi, Institut Pertanian Bogor, di Bogor, Provinsi Jawa Barat. Pengalaman kerja dimulai tahun 1994 sebagai tenaga pengajar tetap di Fakultas Teknologi Industri, Universitas Jayabaya, Jakarta dan tahun 2013 hingga sekarang sebagai tenaga pengajar tetap di Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta. Pengalaman melaksanakan pengabdian kepada masyarakat antara lain studi kelayakan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air di provinsi Bengkulu dan provinsi Sulawesi Selatan sedangkan pengalaman mengajar berkaitan dengan bidang Teknik Konversi Energi. Pengalaman penelitian yang biayanya diperoleh dari Pemerintah Republik Indonesia berkaitan dengan PLTSA Menggunakan Konsep *Green* dan *Zero Waste*. Serta beberapa pengalaman menulis di jurnal terakreditasi Nasional maupun jurnal Internasional *terindex scopus*.

Ir. Basuki Setiawan, Dip.Geothermtech., M.MT.



Penulis lahir tahun 1965 di Kota Malang, Jawa Timur. Tahun 1991 tamat S-1 di Jurusan Teknik Mesin–Konversi Energi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Tahun 1997 tamat Diploma in *Geothermal Energy Technology-The University of Auckland, New Zealand*. Tahun 2022 tamat jenjang S-2 Magister Manajemen Teknologi di Universitas Krisnadwipayana, Jakarta. Tahun 2022 melanjutkan lagi studi S-2 Teknik Mesin di Universitas Pancasila, Jakarta. Pengalaman kerja dari tahun 1993 di Perusahaan Umum Listrik Negara (PLN). Tahun 1994-2002 bertugas di Unit Pembangkitan Kamojang, Garut, mulai sebagai Staf Pemeliharaan, Enjinir Produksi A, Supervisor Utama Operasi di PLTP Kamojang, Manajer Sub Unit PLTP Gunung Salak, Sukabumi. Tahun 2002-2015 bekerja di lingkungan PT Indonesia Power sebagai Manajer Operasi & Niaga Unit Bisnis Pembangkitan Bali, Denpasar (aset: PLTD, PLTG), Manajer Operasi & Niaga Unit Bisnis Pembangkitan Priok, Jakarta (aset: PLTGU, PLTG, PLTU, PLTD), *General Manager* PLTU Banten 1 Suralaya Unit 8, Cilegon, Ahli Senior Perencanaan Bisnis. Tahun 2015-2019 menjabat *President Director* PT Rajamandala *Electric Power* yang mengembangkan PLTA Rajamandala di Cianjur. Tahun 2019-2021 ditugas karyakan sebagai *Vice President* Keselamatan & Kesehatan Kerja (K3) dan Keamanan Korporat di PT PLN (Persero) Kantor Pusat hingga memasuki pensiun.

Dasar-dasar

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

Buku ini memuat penjelasan teori dan penerapan tentang Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang diuraikan secara sederhana sehingga lebih mudah dimengerti oleh pembaca yang ingin mengetahui tentang dasar-dasar PLTA. Diawali dengan pendahuluan yang menjelaskan secara umum dan singkat tentang PLTA, dan selanjutnya penjelasan tentang persamaan kontinuitas dan persamaan bernoulli untuk aliran fluida. Contoh soal yang digunakan pada persamaan ini masih ada hubungannya dengan PLTA sebab fluida yang digunakan pada contoh soal adalah air. Hal ini sama dengan fluida yang digunakan oleh PLTA yaitu air.

Selanjutnya dijelaskan tentang air sungai sebagai sumber energi. Penjelasan tentang aliran fluida maupun penjelasan tentang air sungai sebagai sumber energi pada buku ini sangat sederhana, namun penjelasan tersebut dapat digunakan sebagai pemahaman awal sebelum mempelajari PLTA. Penjelasan berikutnya adalah aspek-aspek penting yang perlu diperhatikan saat melakukan rancang bangun PLTA, serta penjelasan tentang pengoperasian dan pemeliharaan PLTA.

Selain itu, buku ini menjelaskan pula tentang cara pengukuran dan analisis perhitungan yang berkaitan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Buku ini cukup bagus digunakan saat melakukan proses belajar dan mengajar, khususnya mata kuliah PLTA, Energi Baru dan Terbarukan (EBT), ataupun permasalahan dan solusi awal di suatu wilayah yang masih ada kaitannya dengan PLTA.