

BAB II

PRINSIP DASAR PENGOPERASIAN UNIT PLTA

2.1 Umum

Pusat listrik tenaga air (PLTA) merupakan salah satu pusat listrik yang menggunakan energi terbarukan berupa air. Salah satu keunggulan dari pembangkit ini adalah responnya yang cepat sehingga sangat sesuai untuk kondisi beban puncak maupun saat terjadi gangguan di jaringan. Selain kapasitas daya keluarannya yang paling besar diantara energi terbarukan lainnya, pembangkit listrik tenaga air ini juga telah ada sejak dahulu kala. Berikut ini merupakan penjelasan singkat mengenai pusat listrik tenaga air, macam-macam dan bagian-bagian dari PLTA.

2.2 Prinsip Dasar PLTA dan Konversi Energi¹

Sistem tenaga air mengubah energi dari air yang mengalir menjadi energi mekanik dan kemudian biasanya menjadi energi listrik. Air mengalir melalui kanal (*penstock*) melewati kincir air atau turbin dimana air akan menabrak sudu-sudu yang menyebabkan kincir air ataupun turbin berputar. Ketika digunakan untuk membangkitkan energi listrik, perputaran turbin menyebabkan perputaran poros rotor pada generator. Energi yang dibangkitkan dapat digunakan secara langsung, disimpan dalam baterai ataupun digunakan untuk memperbaiki kualitas listrik pada jaringan.

¹ <http://konversi.wordpress.com/2010/05/01/sekilas-mengenai-pembangkit-listrik-tenaga-air-plta/>

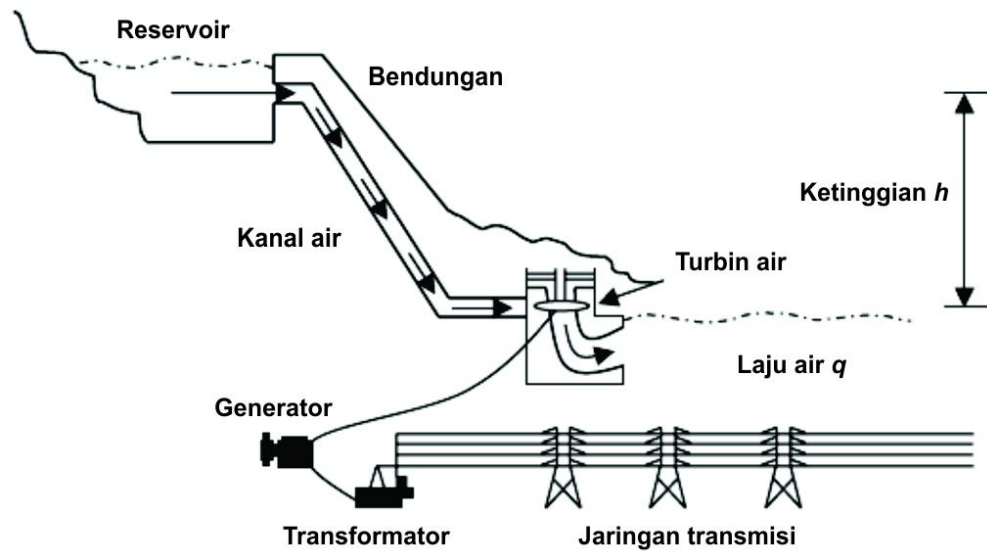
Jumlah daya listrik yang dapat dibangkitkan pada suatu pusat pembangkit listrik tenaga air tergantung pada ketinggian (h) dimana air jatuh dan laju aliran airnya. Ketinggian (h) menentukan besarnya energi potensial (EP) pada pusat pembangkit. Laju aliran air adalah volume dari air (m^3) yang melalui penampang kanal air per detiknya (Q). Daya teoritis kasar (P) yang tersedia dapat ditulis sebagai:

$$P = g \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot h \cdot Q \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

- P = Daya (kW)
- g = Gravitasi (9.8 m/s^2)
- η_t = Efisiensi turbin
- η_g = Efisiensi generator
- h = Ketinggian (m)
- Q = Debit air (m^3/s)

Daya yang tersedia ini kemudian akan diubah menggunakan turbin air menjadi daya mekanik. Karena turbin dan peralatan elektro-mekanis lainnya memiliki efisiensi yang lebih rendah dari 100% (biasanya 90% hingga 95%), daya listrik yang dibangkitkan akan lebih kecil dari energi kasar yang tersedia. Gambar 2.1 menunjukkan pusat pembangkit listrik tenaga air pada umumnya.



Gambar 2.1 Pembangkitan listrik tenaga air secara umum

Laju Q dimana air jatuh dari ketinggian efektif h tergantung dari besarnya luas penampang kanal. Jika luas penampang kanal terlalu kecil, daya keluaran akan lebih kecil dari daya optimal karena laju air Q dapat lebih besar. Di lain pihak, ukuran kanal tidak dapat dibuat besar secara sembarangan karena laju air Q yang melalui kanal tergantung dari laju pengisian air pada reservoir air di belakang bendungan.

Volume air pada reservoir dan ketinggian h yang bersangkutan, tergantung dari laju air yang masuk ke dalam reservoir. Selama musim kering, ketinggian air pada reservoir dapat berkurang karena jumlah air dalam reservoir lebih sedikit. Selama musim hujan, ketinggiannya dapat naik kembali karena air yang masuk dari berbagai aliran air yang mengisi bendungan. Fasilitas pusat listrik tenaga air harus di desain untuk menyeimbangkan aliran air yang digunakan untuk membangkitkan

energi listrik dan jumlah air yang mengisi reservoir melalui sumber alami seperti curahan hujan, salju, dan aliran air lainnya.

Untuk bisa menghasilkan energi listrik dari air, harus melalui beberapa tahapan perubahan energi, yaitu :

2.2.1 Energi Potensial

Energi potensial yaitu energi yang terjadi akibat adanya beda potensial, yaitu akibat adanya perbedaan ketinggian.

Besarnya energi potensial yaitu:

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

- E_p : Energi Potensial (joule)
- m : massa (kg)
- g : Gravitasi (9.8 m/s^2)
- h : head (m)

2.2.2 Energi Kinetis

Energi kinetis yaitu energi yang dihasilkan akibat adanya aliran air sehingga timbul air dengan kecepatan tertentu, yang dirumuskan :

$$Ek = 0,5 m \cdot v^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

- Ek : Energi kinetis (joule)
- m : Massa (kg)
- v : Kecepatan (m/s)

2.2.3 Energi Mekanis

Energi mekanis yaitu energi yang timbul akibat adanya pergerakan turbin. Besarnya energi mekanis tergantung dari besarnya energi potensial dan energi kinetis. Besarnya energi mekanis dirumuskan :

$$Em = Ep + Ek \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

- Em : Energi mekanis (joule)
- Ep : Energi Potensial (joule)
- Ek : Energi kinetik (joule)

2.2.4 Energi Listrik

Ketika turbin berputar maka rotor juga berputar sehingga menghasilkan energi listrik sesuai persamaan:

$$P = |V_{l-l}| \cdot |I_l| \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

- P : Daya Listrik (Watt)
- V_{l-l} : Tegangan Line to Line (Volt)
- I_l : Arus (Ampere)
- $\cos \varphi$: Faktor Daya

2.3 Tipe Pembangkit Listrik Tenaga Air ²

2.3.1 Berdasarkan Kapasitas

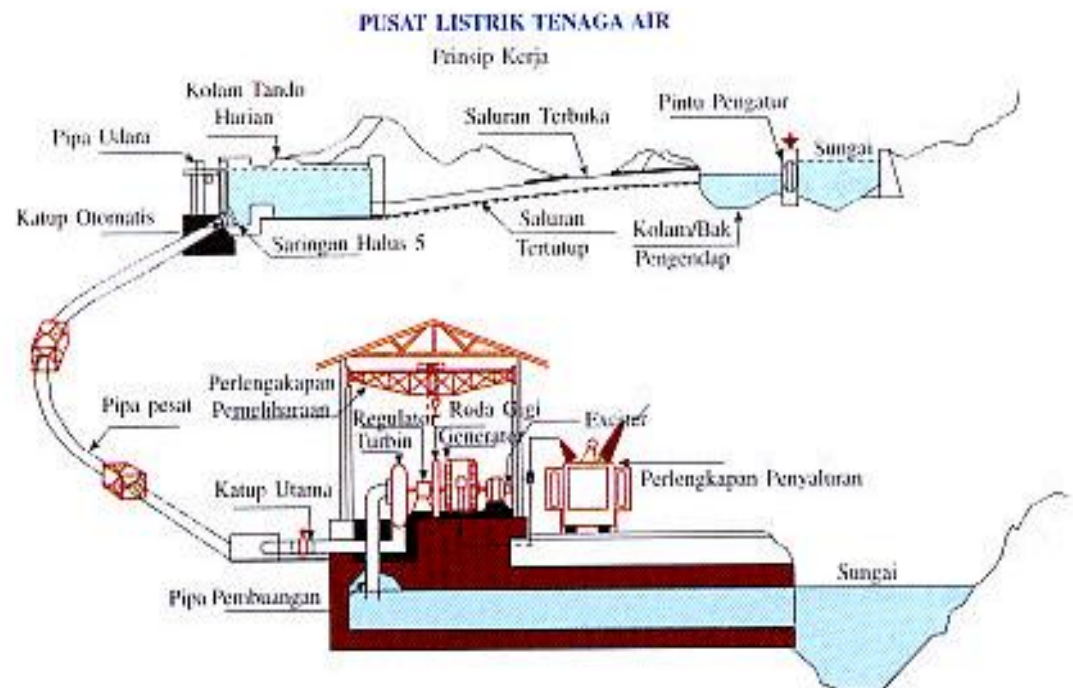
- PLTA mikro yaitu dengan daya < 0,1 MW.
- PLTA kecil (kapasitas sedang); daya 0,1 MW hingga 30 MW.
- PLTA besar (kapasitas tinggi) ; daya > 30 MW

2.3.2 Berdasarkan cara mendapatkan air

- PLTA jenis aliran sungai langsung (Run Of River)

² http://id.wikipedia.org/wiki/Pembangkit_listrik_tenaga_air

Sesuai dengan namanya, tipe pembangkit ini tidak menyimpan air. Pembangkit bekerja jika air datang, pembangkit dapat menggunakan air hanya jika ada aliran air sungai. Pembangkit ini bergantung dari kapasitas air sungai pada kecepatan aliran air selama musim hujan. Kecepatan aliran tinggi berarti kuantitas air bergerak sebagai pemborosan, selama perolehan aliran rendah karena kecepatan rendah, kapasitas pembangkit melemah. PLTA run off river, daya yang dapat dibangkitkan tergantung pada debit air sungai. Tetapi PLTA run off river biaya pembangunannya lebih murah dari pada PLTA dengan kolam tando (reservoir), karena kolam tando memerlukan bendungan yang besar dan juga memerlukan daerah genangan yang luas.

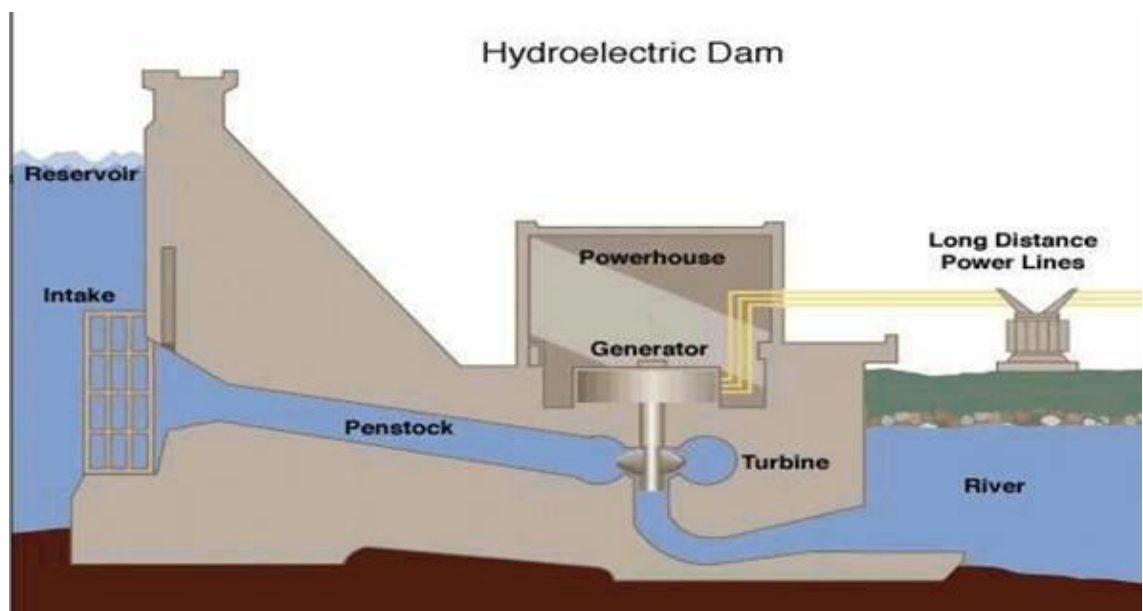


Gambar 2.2 PLTA Run of river

- PLTA dengan kolam tando (reservoir)

Pada PLTA dengan kolam tando (reservoir), aliran air sungai dibendung dengan bendungan besar agar terjadi penimbunan air sehingga terjadi kolam tando. Selanjutnya air dari kolam tando dialirkan ke bangunan air PLTA.

Adanya penimbunan air terlebih dahulu dalam kolam tando sehingga sewaktu musim hujan, di mana besar debit air sungai melebihi kapasitas penyaluran air bangunan air PLTA, air dapat ditampung dalam kolam tando. Pada musim kemarau, di mana debit air sungai lebih kecil daripada kapasitas penyaluran air bangunan air PLTA, selisih kekurangan air ini dapat diatasi dengan mengambil air dari timbunan air yang ada dalam kolam tando. Inilah keuntungan penggunaan kolam tando pada PLTA.



Gambar 2.3 PLTA Kolam tando

- PLTA pompa (pumped storage hydropower plant)³

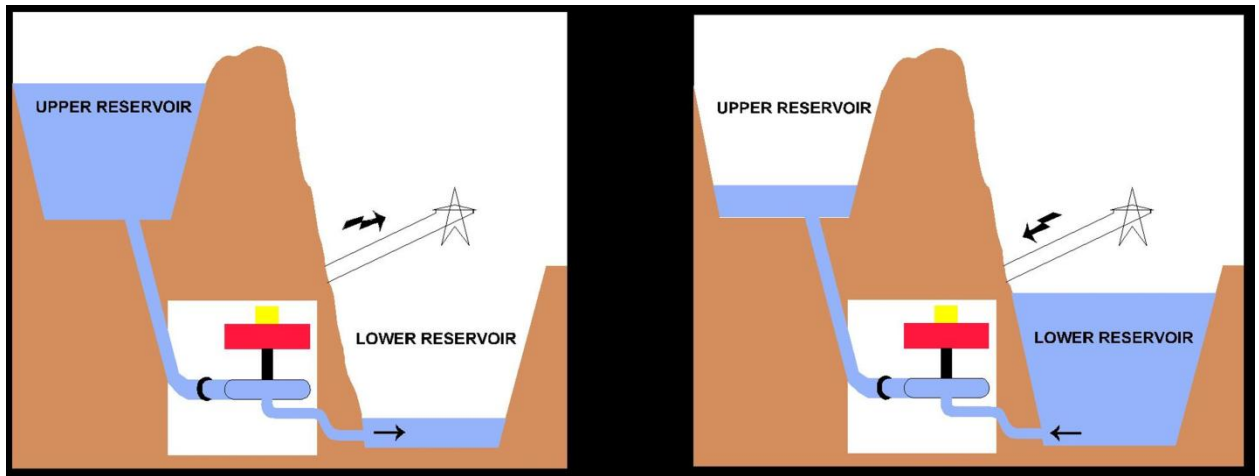
PLTA jenis ini menggunakan air yang telah dipompa ke suatu reservoir yang letaknya lebih tinggi. Sistem ini memanfaatkan kelebihan tenaga pembangkit pada waktu pembangkit melayani beban dasar yang rendah di pegunungan untuk memompakan air dari waduk bawah ke waduk atas. Jadi sistem ini sebetulnya termasuk jenis PLTA yang lebih dikenal dengan PLTA waduk pompa (PLWP).

PLWP akan menguntungkan untuk memikul beban puncak, terutama bila kapasitas pembangkit beban dasar lebih kecil daripada beban puncak.

PLWP membangkitkan energi untuk beban puncak tetapi pada waktu-waktu diluar itu air dipompa dari waduk bawah ke waduk atas untuk pemanfaatan yang akan datang. Pompa-pompa tersebut digerakkan oleh tenaga sekunder dari suatu pembangkit lain didalam jaringan yang bersangkutan. Pompa ini dipergunakan untuk memindahkan air dari bawah ke waduk atas, pada waktu sistem pembangkit beban dasar berbeban rendah, pompa ini langsung dikopel dengan generator. Pada saat proses memompa generator berfungsi sebagai motor untuk menggerakan pompa.

³ <http://psstla.blogspot.com/2007/03/plta-pembangkit-listrik-tenaga-air.html>

<http://www.alpensteel.com/article/50-104-energi-sungai-pltmh--micro-hydro-power/169--pelaksanaan-turbin-air.html>



Gambar 2.4 Sistem PLTA pompa

- PLTA yang menggunakan pasang surut air laut.
- PLTA yang menggunakan energi ombak.

2.4 Bagian - Bagian PLTA⁴

2.4.1 Dam / Bendungan

Dam berfungsi untuk menampung air dalam jumlah besar karena turbin memerlukan pasokan air yang cukup dan stabil. Selain itu dam juga berfungsi untuk pengendalian banjir. Contoh waduk Jatiluhur yang berkapasitas 3 miliar kubik air dengan volume efektif sebesar 2,6 miliar kubik. Kebanyakan dam juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan.

⁴ <http://www.scribd.com/doc/33830030/P-L-T-A>

2.4.2 *Pipa Pesat (Penstock)*

Pipa pesat adalah saluran yang digunakan untuk mengalirkan air dari kolam tando ke Rumah Pembangkit. Pipa pesat (penstock) berfungsi :

1. Untuk mengalirkan dan mengarahkan air ke turbin.
2. Untuk mendapatkan tekanan hidrolistika yang sebesar-besarnya.

Secara mekanis penstock berfungsi sebagai sarana pengubah tenaga kinetis dari hidrostatik pada reservoir (penampung) menjadi tenaga potensial. Tenaga air tersebut menjadi tenaga mekanik pada turbin. Turbin akan menggerakkan generator sehingga menimbulkan listrik.

2.4.3 *Tangki Surja (Surge Tank)*

Pada suatu instalasi pusat listrik tenaga air haruslah memperhitungkan kemungkinan bahaya yang timbul pada saluran pipa pada instalasi tersebut misalnya terjadinya water hammer akibat penutupan katup secara cepat. Water hammer ini dapat menimbulkan peningkatan tekanan pada saluran pipa sehingga dapat menyebabkan pecahnya pipa apabila tekanan yang terjadi melebihi kekuatan maksimum dari pipa tersebut terutama untuk saluran yang relatif panjang dibagi dengan tinggi terjun yang ada. Untuk itulah perlu dipasang *Surge tank*. Fungsinya terutama untuk mengurangi water hammer akibat perubahan beban, menampung air saat beban mendadak turun, mensuplai air pada saat pembebanan mendadak dan lain-lain.

2.4.4 Generator

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanis. Generator yang dipakai pada pembangkit ini yaitu generator sinkron. Generator sinkron adalah mesin listrik yang mengubah energi mekanis sebagai input menjadi energi listrik sebagai output. Tegangan output generator adalah tegangan arus bolak-balik. Generator terdiri dari dua bagian utama, yaitu rotor dan stator. Rotor terdiri dari 18 buah besi yang dililit oleh kawat dan dipasang secara melingkar sehingga membentuk 9 pasang kutub utara dan selatan. Jika kutub ini dialiri arus eksitasi dari *Automatic Voltage Regulator* (AVR), maka akan timbul magnet. Rotor terletak satu poros dengan turbin, sehingga jika turbin berputar maka rotor juga ikut berputar. Magnet yang berputar memproduksi tegangan di kawat setiap kali sebuah kutub melewati "coil" yang terletak di stator. Lalu tegangan inilah yang kemudian menjadi listrik. Agar generator bisa menghasilkan listrik, ada tiga hal yang harus diperhatikan, yaitu:

1. Putaran

Putaran rotor dipengaruhi oleh frekuensi dan jumlah pasang kutub pada rotor, sesuai dengan persamaan:

$$n = 120 \cdot f / p \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana:

- n : Putaran (rpm)
- f : Frekuensi (Hz)
- p : Jumlah kutub

Jumlah kutub pada rotor di PLTA Saguling sebanyak 9 pasang, dengan frekuensi sistem sebesar 50 Hertz, maka didapat nilai putaran rotor sebesar 333 rpm.

2. Kumparan

Banyak dan besarnya jumlah kumparan pada stator mempengaruhi besarnya daya listrik yang bisa dihasilkan oleh pembangkit.

3. Magnet

Magnet yang ada pada generator bukan magnet permanen, melainkan dihasilkan dari besi yang dililit kawat. Jika lilitan tersebut dialiri arus eksitasi dari AVR maka akan timbul magnet dari rotor.

Sehingga didapat persamaan:

$$E = B \cdot v \cdot l \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

- E : Gaya elektromagnet (Volt)
- B : Kuat medan magnet (Weber/m²)
- v : Kecepatan putar (m/s²)
- l : Panjang penghantar (m)

Dari ketiga hal tersebut, yang bernilai tetap adalah putaran rotor dan kumparan, sehingga agar beban yang dihasilkan sesuai, maka yang bisa diatur adalah sifat kemagnetannya, yaitu dengan mengatur jumlah arus yang masuk. Makin besar arus yang masuk, makin besar pula nilai kemagnetannya, sedangkan makin kecil arus yang masuk, makin kecil pula nilai kemagnetannya.

2.4.5 Turbin air⁵

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi energi yang akan dipergunakan sebagai energi awal untuk memutar rotor generator. Jadi dengan kata lain turbin berguna sebagai penggerak mula bagi generator. Jenis turbin yang dipakai pada PLTA Ir. H. Djuanda adalah jenis Francis pasangan vertikal. Turbin Francis adalah turbin dimana air mengalir ke runner dengan arah radial sambil melewati runner.

Cara Menentukan Jenis Turbin Yang Optimal :

Rumus N_s Turbin :

$$N_s = \frac{n\sqrt{P}}{H^{5/4}} \dots\dots\dots (2.6)$$

N_s = Kecepatan spesifik

n = Putaran turbin sebenarnya (rpm)

P = Daya turbin (Hp)

H = Head netto (m)

⁵ Muchlison Anis, *Prinsip Kerja dan Macam-Macam Turbin Air*.

Dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Putaran terlalu rendah, *suction head* tinggi, biaya sipil murah, tetapi harga turbin – generator mahal.
- Putaran terlalu tinggi, harga turbin – generator murah, tetapi *suction head* negatif, biaya sipil mahal.
- Harus dicari titik optimumnya

Berdasarkan ketinggian terjunan air (Head), debit air (Q), kecepatan turbin dalam rpm pada terjunan (Ns), kecepatan lari turbin (Nras), dan kecepatan (Nn) ada beberapa jenis pembangkit yang berbeda yaitu sebagai berikut :

Jenis turbin	H	Q	Nras
PELTON	>200 m	< 10 m/s	200 % Nn
FRANCIS	30-200 m	< 150 m/s	200 % Nn
PROPELER	< 30 m	< 300 m/s	250 % Nn

Table 2.1 Jenis Turbin pada PLTA

- Pengaruh harga kecepatan spesifik terhadap jenis atau macam turbin.

Putaran Spesifik (Ns)	Jenis Turbin
4 - 35.	Pelton satu nozzel
24 - 70	Pelton banyak nozzel
70 - 120	Francis kecepatan rendah
120 - 200	Francis kecepatan menengah
200 - 350	Francis kecepatan tinggi
350 - 450	Francis Express Type
300 - 550	Propeller atau Kaplan kecepatan rendah
550 - 750	Propeller atau Kaplan kecepatan menengah
750 - 1000	Propeller atau Kaplan kecepatan tinggi

Tabel 2.2 Pengaruh Kecepatan terhadap Jenis Turbin

2.5 Pola Operasi Pada PLTA

Tidak terdapatnya proses pembakaran, sehingga tidak ada perubahan suhu yang besar pada bagian-bagian PLTA, merupakan faktor yang sangat mengurangi kendala operasi pada PLTA. Namun dilain pihak ketergantungan PLTA pada musim hujan merupakan kendala yang harus diperhitungkan. Kendala operasi dari unit PLTA umumnya dapat cepat di start dan lebih mudah mengalami perubahan beban, hanya pada PLTA yang mempunyai pipa pesat panjang perubahan beban mungkin dapat

menimbulkan pukulan-pukulan air (water hammers) yang dapat membahayakan pipa pesat. Apabila unit PLTA dilengkapi dengan katup pengaman tekanan lebih maka katup ini akan bekerja untuk mengamankan instalasi tenaga air apabila air naik disebabkan perubahan beban. Governor dari turbin PLTA memberikan perintah untuk menambah atau mengurangi aliran air yang masuk turbin mengikuti perubahan beban yang dialami generator.

Apabila perubahan aliran air ini berlangsung terlalu cepat maka dapat timbul pukulan-pukulan air yang membahayakan seperti tersebut di atas. Operasi pada PLTA umumnya adalah kendala operasi dalam keadaan statis dan kebanyakan menyangkut koordinasi dengan keperluan irigasi dan pengendalian banjir. Tentu saja kendala semacam ini tidak ada apabila PLTA menggunakan air yang hanya diperuntukan pembangkitan tenaga listrik saja. Apabila diperlukan koordinasi dengan keperluan irigasi dan pengendalian banjir maka umumnya PLTA yang bersangkutan mempunyai kolam tando tahunan seperti halnya terdapat pada PLTA Ir. H. Juanda di Jatiluhur dan PLTA Sutami di Karang Kates. Secara garis besar pola pengusahaan suatu waduk yang juga menjadi kolam tahunan dari suatu PLTA didasarkan atas pemikiran-pemikiran sebagai berikut :

- a) Waduk harus dapat menyediakan air untuk keperluan irigasi dimusim kemarau.
- b) Waduk harus dapat mengendalikan banjir dimusim hujan.
- c) Diwaktu musim hujan pengisian waduk harus terkendali, dalam arti jangan sampai terjadi pelimpasan air yang berlebihan sehingga membahayakan waduk.

Diakhir musim kemarau atau permulaan musim hujan tinggi air dalam waduk masih harus cukup tinggi agar tetap membangkitkan tenaga listrik tetapi juga harus cukup rendah agar dapat menampung air di musim hujan yang akan datang.

Dari segi pengusahaan tenaga listrik sesungguhnya diinginkan agar tinggi air dalam waduk selalu setinggi mungkin agar dengan jumlah air yang sama dapat dibangkitkan tenaga listrik sebanyak mungkin. Tetapi dengan adanya pemikiran-pemikiran tersebut maka pemikiran-pemikiran tersebut merupakan kendala-kendala yang harus dipenuhi. Kendala operasinya hanyalah besarnya perubahan beban per satuan waktu (MW per menit). Seperti halnya pada unit PLTU, untuk unit PLTA secara operasional juga perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

A. Beban Maksimum

Beban maksimum pada unit PLTA pada umumnya dapat mencapai nilai nominal seperti yang tertulis dalam spesifikasi pabrik. Nilai nominal ini dalam praktik kadang-kadang tidak dapat tercapai karena :

- a) Ada bagian berputar (*rotaring part*) yang kurang sempurna. Misalnya bantalan atau poros yang kurang baik kedudukannya sehingga timbul suhu atau getaran yang berlebihan.
- b) Ada perapat (seal) yang kurang baik sehingga air yang bertekanan tidak melalui rotor turbin tetapi langsung mengalir ke pipa pembuangan. Pada turbin Francis hal ini terlihat dengan kurang rendahnya tekanan di dalam pipa hisap (pipa pembuangan).

- c) Kurang tingginya permukaan air dalam kolam tando sehingga tinggi terjun tidak cukup, kurang daripada nilai yang disyaratkan oleh spesifikasi pabrik. Hal semacam ini kadang-kadang terjadi pada musim kemarau.

B. Beban Minimum

Beban minimum pada unit PLTA disyaratkan karena hal-hal sebagai berikut :

- a) Masalah kavitasi dalam turbin untuk beban yang terlalu rendah.
- b) Untuk PLTA multiguna misalnya pada PLTA Ir. H. Djuanda dimana airnya juga dipakai untuk irigasi, ada syarat air minimum yang harus keluar dari PLTA untuk keperluan irigasi sehingga hal ini juga mensyaratkan beban minimum bagi PLTA. Hal yang serupa juga terjadi apabila air yang keluar dari PLTA dipergunakan untuk pelayaran sungai atau untuk air minum.

C. Kecepatan Perubahan Beban

Untuk unit PLTA masalah kecepatan perubahan beban dapat dilakukan dengan cepat jika dibandingkan dengan unit pembangkit lainnya. Unit PLTA umumnya dapat diubah bebannya dari 0% menjadi 100% dalam waktu kurang dari setengah menit. Perubahan beban yang relatif cepat pada PLTA dapat dilakukan karena kendala-kendalanya juga relatif sedikit dibandingkan dengan Pusat Listrik Termis.

D. Perhitungan Cadangan Berputar

Untuk unit PLTA, cadangan berputar dapat dianggap sama dengan kemampuan maksimum dikurangi dengan beban sesaat dari unit, karena beban unit dapat dirubah dengan cepat seperti diuraikan dalam butir C.

2.6 Operasi dan Pemeliharaan PLTA

PLTA yang mempunyai kolam tando besar mempunyai fungsi multiguna dimana artinya selain berfungsi sebagai pembangkit tenaga listrik, PLTA ini juga berfungsi untuk menyediakan air irigasi, pengendalian banjir, perikanan, pariwisata, dan penyedia air bagi lalu lintas pelayaran sungai. Pada PLTA multiguna, pembangkitan tenaga listriknya perlu dikoordinasikan dengan keperluan irigasi dan musim tanam padi yang membutuhkan banyak air. Dari segi pengendalian banjir, PLTA multiguna harus dapat diatur air keluarnya sehingga pada saat banyak hujan tidak timbul banjir di sisi hilir.

Dari uraian di atas, tampak bahwa pelestarian hutan di daerah aliran sungai (DAS), terutama di sisi hulu PLTA sangat penting bagi kelangsungan hidup PLTA. Apabila hutannya rusak, maka kemampuan tanah di DAS untuk menyimpan air akan turun sehingga timbul banjir di waktu musim hujan dan di musim kemarau timbul kekeringan. Selain itu timbul erosi tanah sewaktu hujan yang akan mengendap dalam kolam tando sehingga terjadi pendangkalan kolam tando.

Dibandingkan dengan pusat listrik lainnya dengan daya yang sama, biaya operasi PLTA paling rendah. Tetapi biaya pembangunannya paling mahal. Salah satu yang menyebabkan biaya pembangunan PLTA menjadi mahal, yaitu karena umumnya terletak di daerah pegunungan, jauh dari pusat konsumsi tenaga listrik (kota) sehingga memerlukan saluran transmisi yang panjang dan daerah genangan air yang luas di mana kedua hal tersebut memerlukan biaya pembangunan yang tidak sedikit.

Dalam sistem interkoneksi di mana terdapat PLTA yang diinterkoneksi dengan pusat-pusat listrik termis yang menggunakan bahan bakar, ada kalanya dibangun PLTA pompa yang dapat memompa air ke atas. Hal ini baru ekonomis apabila biaya pembangkitan dalam sistem interkoneksi bersangkutan mempunyai variasi yang besar. Pemompaan air dilakukan sewaktu biaya pembangkitan rendah, kemudian air hasil pemompaan ini digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik sewaktu biaya pembangkitan interkoneksi mahal sehingga pembangkitan tenaga listrik dengan biaya yang mahal dapat dikurangi jumlahnya.

Keuntungan teknik operasional PLTA adalah :

- a. Mudah (cepat) di-start dan di-stop.
- b. Bebannya mudah diubah-ubah.
- c. Angka gangguannya rendah.
- d. Pemeliharaannya mudah.
- e. Umumnya dapat di-start tanpa daya dari luar (black start).

Masalah utama yang timbul pada operasi PLTA adalah timbulnya kavitasi pada turbin air. Kavitasi adalah peristiwa terjadinya letusan kecil dari gelembung uap air yang sebelumnya terbentuk di daerah aliran yang tekanannya lebih rendah daripada tekanan uap air ditempat tersebut kemudian gelembung uap air ini akan menciut secara cepat meletus ketika uap air ini melewati daerah aliran yang tekanannya lebih besar daripada tekanan uap air tersebut, karena jumlahnya sangat banyak sekali (ribuan per detik) dan letusan itu sangat cepat maka permukaan turbin yang dikenai oleh letusan ini akan terangkat sehingga terjadi burik yang menyebabkan bagian-bagian turbin air (setelah waktu tertentu, kira-kira 40.000 jam) menjadi keropos dan perlu diganti. Kavitasi terjadi di bagian-bagian turbin yang mengalami perubahan tekanan air secara mendadak, misalnya pada pipa buangan air turbin. Kavitasi menjadi lebih besar apabila beban turbin makin kecil. Oleh karena itu, ada pembatasan beban minimum turbin air (kira-kira 25-30%). Bagian terbesar dari biaya pemeliharaan PLTA adalah biaya perbaikan atau penggantian bagian-bagian turbin air yang menjadi keropos akibat kavitasi.

Di Indonesia, enceng gondok sering menimbulkan penyumbatan saringan air dan menaikkan penguapan dari kolam tando sehingga merupakan salah satu masalah operasi PLTA, namun sekarang sudah banyak dimanfaatkan manusia sehingga enceng gondok tidak terlalu mengganggu.

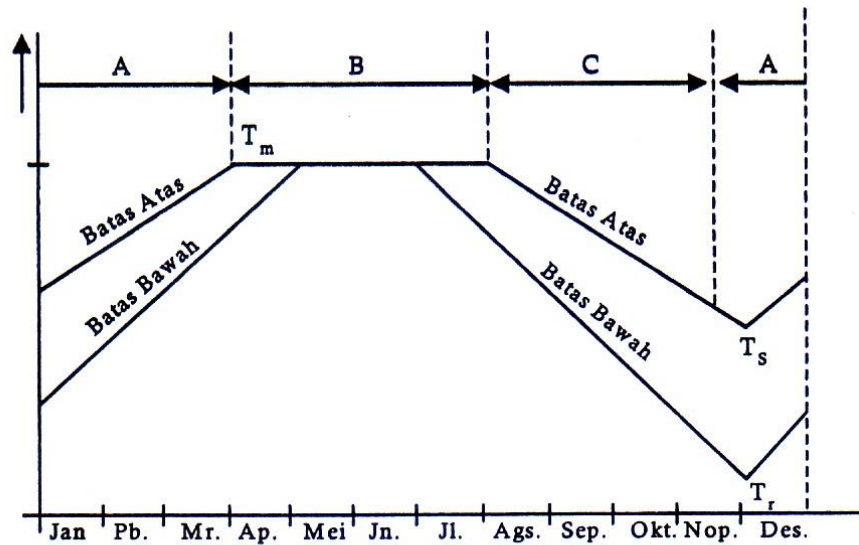
Efisiensi turbin bersama generator unit PLTA dapat mencapai nilai sekitar 95%. Efisiensi keseluruhan dari PLTA dan instalasi listriknya, termasuk untuk pemakaian sendiri, angkanya berkisar antara 85 - 92%. Lancarnya aliran air dalam

instalasi air PLTA sangat mempengaruhi efisiensi PLTA. Oleh karena itu, harus diusahakan agar aliran bersifat laminar (tidak ada turbulensi). Untuk itu harus dihindari tikungan yang tajam dalam instalasi air PLTA, karena tikungan yang tajam, pada saluran air akan menimbulkan turbulensi yang akan menurunkan nilai h dan juga nilai Q .

Energi yang dihasilkan PLTA tergantung dari jumlah air yang tersedia, jadi tergantung pada jumlah curah hujan dan kemampuan kolam tando menampung air sewaktu musim hujan. Karakteristik musim hujan setiap tahun adalah berbeda, ada tahun basah dan ada tahun kering. Karakteristik tahun basah atau kering ini berulang setiap 8-10 tahun. Apabila jumlah curah hujan lebih besar dari pada yang digambarkan oleh Gambar 2.6 ada kemungkinan kolam tando tidak bisa menampung air yang masuk sehingga terjadi pelimpasan (pembuangan) air.

Sebaliknya apabila curah hujan yang terjadi lebih sedikit daripada yang digambarkan oleh Gambar 2.6, tahunnya lebih kering, maka periode di mana PLTA tidak bisa berbeban penuh karena kekurangan air akan berlangsung lebih lama.

Untuk dapat memanfaatkan air yang masuk ke kolam tando dengan sebaik-baiknya, sedapat mungkin tidak ada yang terbuang tetapi juga aman bagi bangunan sipil kolam tando, perlu ada suatu pola pengendalian kolam.



Gambar 2.5 Duga Muka Air Waduk yang diinginkan dalam 1 tahun

Tinggi muka air atau duga muka air (DMA) dalam kolam (waduk) diukur dengan skala meter. Pola pengendalian isi kolam ditunjukkan dengan DMA yang diinginkan.

Penentuan DMA minimum pada akhir periode pengosongan C atau permulaan periode pengisian harus memperhatikan masalah air masuk ke lubang intake PLTA jangan terlalu rendah sehingga udara ikut masuk. Udara yang masuk bisa mengganggu operasi PLTA. Sebaliknya penentuan DMA minimum yang terlalu tinggi bisa mengurangi volume kolam untuk periode pengisian yang bisa menyebabkan akan banyak air yang melimpas/dibuang pada periode B, yaitu periode DMA maksimum. B menggambarkan periode DMA maksimum. Apabila permukaan air telah mencapai DMA maksimum tetapi masih ada air masuk ke dalam kolam

(waduk) maka air secara otomatis akan melimpas dan terbang. Pelimpasan ini perlu untuk mengamankan bangunan sipil kolam/waduk, jangan sampai terjadi *over topping* yang bisa menyebabkan jebolnya kolam/waduk. *Over topping* terjadi apabila kolam/waduk isinya sudah penuh tetapi air masuk masih terus berlangsung sehingga air tidak hanya melimpas di tempat pelimpasan yang terbuat dari beton, tetapi juga melimpas di bagian bendungan yang terbuat dari batu dan pasir (*rock fill*), sehingga batu dan pasir di bagian bendungan ini jebol. C menggambarkan periode pengosongan kolam/waduk yang dimulai pada akhir bulan Juli yaitu perkiraan nilainya musim kemarau.

DMA dalam periode A dan periode C harus diatur agar berada diantara batas atas dan batas bawah. Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur pengeluaran air dari kolam/waduk. Kolam/waduk dilengkapi dengan lubang pengeluaran air ekstra di samping tempat pelimpasan yang terbuat dari beton. Hal ini diperlukan untuk pengamanan kolam/waduk.

Ada kolam/waduk yang mempunyai fungsi multiguna seperti waduk PLTA Jatiluhur, yaitu difungsikan untuk pengairan sawah, menghasilkan padi, pusat tenaga listrik, pengendalian banjir, lalu lintas kapal, dan pariwisata. Akhir-akhir ini waduk PLTA digunakan juga untuk pemeliharaan ikan dalam keramba.

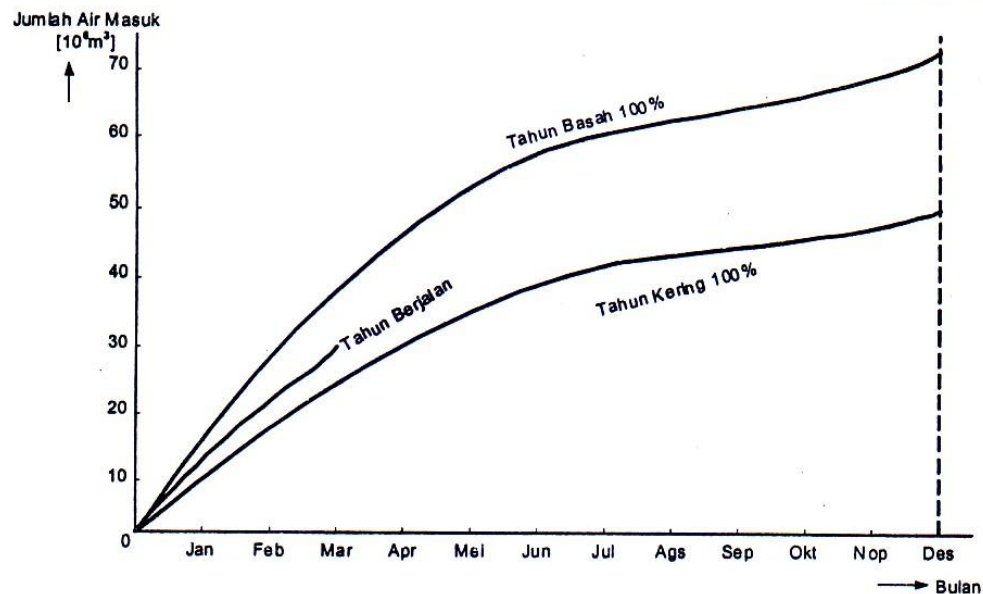
Dalam hal yang demikian maka pengendalian DMA harus memperhatikan fungsi-fungsi tersebut di atas. Untuk beberapa PLTA yang ada dalam hubungan kaskade (mempunyai satu sungai penggerak dan masing-masing mempunyai

kolam/waduk), maka pengendalian DMA dalam kolam-kolam PLTA kaskade ini harus dilakukan sedemikian rupa hingga dicapai penggunaan yang optimum.

2.7 Peran Subsistem Hidro dalam Sistem Ketenagalistrikan

Kelompok pembangkit hidro berfungsi untuk menekan biaya bahan bakar dalam sistem semaksimal mungkin. Kelompok pembangkit hidro selain mempunyai hubungan secara listrik melalui sistem interkoneksi namun juga sering kali terjadi hubungan secara hidrolik satu sama lain seperti hubungan secara kaskade dan paralel. Dari segi potensi hidrolik, kelompok pembangkit hidro dapat digambarkan sebagai gudang energi yang tersimpan dalam kolam-kolam tando. Energi berupa potensi hidrolik ini setiap saat bisa dikonversikan menjadi energi listrik dan langsung masuk kedalam sistem interkoneksi.

Banyaknya air yang bisa didapat dalam kolam tando kelompok pembangkit hidro yang merupakan subsistem hidro, tergantung kepada musim hujan. Banyaknya air hujan setiap tahun tidak sama, ada tahun yang sifatnya basah dan ada tahun yang sifatnya kering. Salah satu cara untuk memperkirakan apakah tahun berjalan adalah tahun basah atau kering adalah dengan mengamati jumlah air masuk di kolam tando PLTA, kemudian membandingkan dengan statistik air masuk tahun-tahun yang lalu yang ditunjukkan oleh Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik air masuk di kolam tando sebuah PLTA

Tahun yang banyak air masuknya disebut tahun basah 100% sedangkan tahun yang paling sedikit air masuknya disebut tahun kering 100%. Dalam memasuki suatu tahun berjalan, misalnya pada bulan Maret grafik jumlah air masuk dianalisa dan dibandingkan dengan grafik tahun basah 100%, untuk memperkirakan posisi tahun berjalan dan memperkirakan jumlah air yang akan diterima subsistem hidro. Hal ini juga berarti memperkirakan produksi MWH subsistem hidro dalam tahun berjalan selanjutnya perkiraan jumlah air masuk kolam tando juga mempengaruhi strategi operasi subsistem hidro dengan memperhatikan :

1. Incremental cost dalam tahun berjalan

Incremental cost sistem dipengaruhi oleh besarnya beban sistem dan jadwal pemeliharaan unit-unit pembangkit.

2. Kendala teknik sipil yang menyangkut duga muka air dalam kolam tando.

Dari segi konversi energi hidro menjadi energi listrik terlihat lebih menguntungkan apabila hal ini dilakukan dengan tinggi terjun (h) setinggi mungkin sehingga jumlah air tertentu bisa diproduksi MWH sebesar mungkin.

Agar bisa mengurangi biaya bahan bakar dalam sistem secara maksimal, subsistem hidro harus berproduksi maksimum sewaktu incremental cost tinggi. Untuk bisa melakukan hal ini perlu ada perencanaan subsistem hidro dalam jangka waktu satu tahun meliputi :

- a. Menyusun jadwal pemeliharaan unit pembangkit hidro, sedapat mungkin diwaktu kemarau.
- b. Merencanakan saat operasi maksimum dengan daya energi maksimal, yaitu saat incremental cost sistem tinggi agar dicapai penghematan biaya bahan bakar yang maksimal pada subsistem termis.
- c. Memantau volume air dalam kolam tando, dipantau melalui duga muka air agar tidak menyimpang dari pola duga muka air.
- d. Terjadinya pelimpasan air harus sedapat mungkin dihindari, karena terjadi pelimpasan berarti membuang peluang penghematan biaya bahan bakar subsistem termis.
- e. Perencanaan volume air dalam kolam tando dilakukan berdasarkan perkiraan debit air sungai yang berkaitan dengan perkiraan musim hujan dan juga rencana pembangkitan subsistem hidro.