



Studi Speed Drop dan Pengaruhnya terhadap Stabilitas Beban Sistem Governor

Muhammad Yusuf Nurfani

Universitas Gunadarma, Indonesia

Email: yusufnur18@staff.gunadarma.ac.id

Abstract. Hydroelectric Power Plants (HPP) are a type of power plant that utilizes renewable energy from water flow. The hydroelectric system works by converting the kinetic energy of flowing water into mechanical energy, which is then converted into electrical energy. Water flows through a penstock directed towards the turbine, where it strikes the turbine blades, causing rotation. To maintain the stability of the turbine's rotational speed at the Maninjau HPP, a governor system is used. The Maninjau HPP consists of four generating subunits with a nominal rotational speed of 600 rpm. The governor system functions to stabilize the turbine's rotation at the nominal speed of 600 rpm, as the speed affects the generator's output frequency. The stabilization process is carried out by adjusting the Guide Vane openings, which are the blades surrounding the turbine. The Maninjau HPP has a speed drop of 3%, with a frequency reduction of 1.5 Hz. Additionally, a frequency change of 0.1 Hz will result in a load change of 0.13 MW.

Keywords: Francis Turbine, Governor, Speed Drop, Full Load (R2).

Abstrak. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan energi terbarukan dari aliran air. Sistem hidroelektrik bekerja dengan mengubah energi kinetik air yang mengalir menjadi energi mekanik, yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik. Aliran air melalui pipa cepat (penstock) diarahkan ke turbin, di mana air tersebut menabrak bilah turbin sehingga menyebabkan rotasi. Untuk menjaga kestabilan kecepatan putaran turbin di PLTA Maninjau, digunakan sistem governor. PLTA Maninjau memiliki empat subunit pembangkit dengan kecepatan putaran nominal sebesar 600 rpm. Sistem governor bertugas menstabilkan putaran turbin agar tetap pada kecepatan nominal 600 rpm, karena kecepatan ini memengaruhi frekuensi keluaran generator. Proses stabilisasi dilakukan dengan mengatur bukaan Guide Vane, yaitu sudu-sudu yang mengelilingi turbin. PLTA Maninjau memiliki speed drop sebesar 3%, dengan penurunan frekuensi sebesar 1,5 Hz. Selain itu, perubahan frekuensi sebesar 0,1 Hz akan menghasilkan perubahan beban sebesar 0,13 MW.

Kata kunci: Turbin Francis, Governor, Speed Drop, Beban Penuh (R2).

1. LATAR BELAKANG

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah salah satu jenis pembangkit energi listrik yang memanfaatkan sumber daya terbarukan berupa air. PLTA mengandalkan energi kinetik dan energi potensial dari air untuk menghasilkan listrik yang dialirkan ke rumah-rumah penduduk, sehingga dapat digunakan sesuai kebutuhan. Komponen utama dari sistem PLTA adalah generator, yang terhubung langsung dengan turbin melalui poros torsi. Turbin digerakkan oleh energi dari air yang mengalir melalui terowongan panjang, yang biasanya berasal dari bendungan atau genangan air. Namun, PLTA tidak hanya terbatas pada sumber air seperti waduk, danau, atau air terjun, tetapi juga dapat memanfaatkan energi potensial dari gelombang laut.

PLTA Maninjau adalah sebuah pembangkit listrik tenaga air yang berlokasi di Kecamatan Muko-Muko, Kabupaten Agam, Sumatera Barat. Air dari Danau Maninjau menjadi sumber utama penggerak turbin, dengan saluran masuk (in-take) terletak di area Muko-Muko. Air dari danau mengalir melalui terowongan sepanjang 4,3 km dengan diameter 3,4 meter, yang kemudian digunakan untuk memutar turbin. PLTA Maninjau memiliki empat unit pembangkit listrik dengan kapasitas total 68 MW. Namun, seringkali pembangkit tidak dapat dioperasikan pada kapasitas penuh (full load) karena adanya kebijakan pengelolaan air yang membatasi perubahan permukaan air di Danau Maninjau.

Turbin pada PLTA memiliki peran penting dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh generator, yang merupakan kebutuhan mendasar manusia di era modern. Energi listrik tidak hanya digunakan untuk penerangan, tetapi juga dapat dikonversi menjadi bentuk energi lain seperti panas, dingin, gerak, dan bunyi, yang semuanya dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari.

Salah satu komponen vital dalam sistem PLTA adalah governor. Governor berfungsi untuk memonitor parameter-parameter sistem yang menentukan pengaturan bukaan katup kontrol (control valve). Tujuan dari pengaturan ini adalah menjaga kecepatan turbin tetap stabil pada setpoint yang ditentukan, yaitu 600 rpm, agar frekuensi listrik yang dihasilkan oleh generator tetap berada di angka 50 Hz. Katup kontrol ini mengatur aliran air yang diperlukan untuk menjaga turbin berputar secara konstan, berdasarkan perintah dari governor.

2. KAJIAN TEORITIS

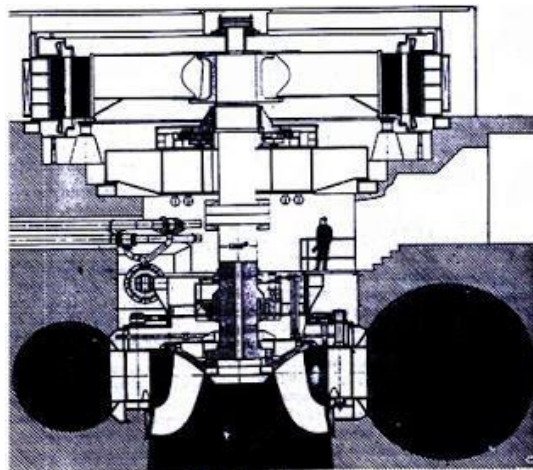
Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan fasilitas yang mengonversi energi potensial air menjadi energi mekanik melalui turbin, yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik oleh generator. Proses ini memanfaatkan ketinggian dan kecepatan jatuhnya air sebagai sumber energi. Meskipun biaya pembangunan PLTA relatif mahal dan memerlukan waktu pengerjaan yang cukup lama, biaya operasionalnya sangat rendah. Produktivitas PLTA sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca yang berdampak pada debit air. Sebagai contoh, selama musim kemarau, debit air yang rendah sering kali menyebabkan penurunan signifikan dalam produktivitas hingga menghentikan operasi salah satu unit mesin. Sebaliknya, pada musim hujan, produktivitas meningkat secara drastis, memungkinkan PLTA untuk mendukung pembangkit listrik lainnya dengan biaya operasional lebih tinggi. Selain keunggulan ekonomis, PLTA juga memiliki keuntungan teknis berupa sistem operasi

dan perawatan (maintenance) yang lebih sederhana dibandingkan jenis pembangkit listrik lainnya.

Turbin Francis bekerja berdasarkan prinsip tekanan berlebih. Ketika air masuk ke roda turbin, sebagian energi potensial dari ketinggian air diubah menjadi energi kinetik oleh sudu pengarah. Sisa energi potensial kemudian dimanfaatkan oleh sudu jalan. Pipa isap dirancang untuk memaksimalkan energi yang tersedia di sudu jalan, menghasilkan tekanan rendah (kurang dari 1 atmosfer) dan aliran air dengan kecepatan tinggi di sisi keluar roda turbin. Di dalam pipa isap, kecepatan aliran air berkurang, sementara tekanannya meningkat kembali, sehingga air dapat dialirkan keluar melalui saluran air bawah dengan tekanan yang sama seperti lingkungan sekitarnya.

Turbin Francis dirancang agar sepenuhnya terendam di dalam air, dengan aliran masuk yang diatur melalui rumah berbentuk spiral atau pengisian dari atas. Roda jalan turbin selalu beroperasi, dan daya yang dihasilkan dapat disesuaikan dengan mengatur posisi bukaan sudu pengarah. Pengaturan ini memungkinkan penyesuaian kapasitas air yang masuk ke roda turbin, sehingga daya keluaran dapat diperbesar atau diperkecil. Turbin Francis dapat dipasang dengan poros vertikal maupun horizontal.

Turbin Francis pertama kali ditemukan pada sekitar tahun 1950 oleh Howk dan Francis di Amerika Serikat. Hingga kini, turbin ini menjadi salah satu jenis yang paling banyak digunakan karena cocok untuk berbagai kebutuhan ketinggian jatuh air dan kapasitas aliran. Melalui penelitian yang terus berlanjut, turbin Francis kini mampu beroperasi pada ketinggian air hingga 700 meter dengan kapasitas aliran dan kecepatan putar yang sesuai standar. Namun, kendala dapat muncul jika air mengandung pasir yang dapat menyebabkan keausan pada komponen seperti packing. Dalam kasus ini, diperlukan penggantian komponen tanpa menghentikan turbin untuk waktu yang terlalu lama.

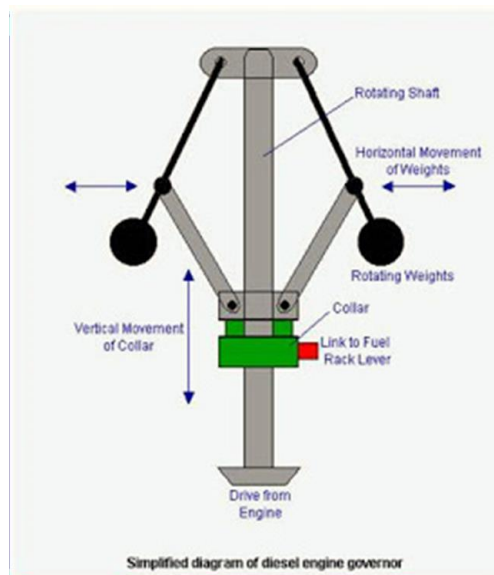


Gambar 1. Turbin Francis dengan daya besar

Mengoperasikan sebuah mesin tidaklah mudah, terutama untuk menjaga agar putaran mesin tetap konstan atau agar mesin dapat menyesuaikan diri terhadap perubahan kecepatan atau beban secara tiba-tiba. Oleh karena itu, diperlukan perangkat yang mampu merespons dengan cepat terhadap perubahan mendadak tersebut, yaitu governor.

Governor adalah perangkat mekanis yang berfungsi mengatur kecepatan putaran mesin, seperti turbin atau mesin diesel, dengan cara mengontrol jumlah aliran fluida yang masuk, baik berupa gas, uap, maupun cairan, ke dalam turbin atau ruang bakar. Pada awalnya, governor digunakan pada mesin uap untuk mengontrol jumlah aliran uap yang masuk ke turbin. Seiring waktu, teknologi ini mulai diterapkan pada mesin diesel, turbin gas, dan turbin air.

Secara prinsip, governor memiliki cara kerja yang sederhana, yaitu bergantung pada kecepatan putaran mesin. Governor dihubungkan langsung ke poros mesin yang berputar, dengan sepasang bandul yang terpasang pada poros tersebut. Ketika poros berputar, gaya sentrifugal menyebabkan bandul bergerak menjauh dari poros. Bandul ini terhubung dengan collar yang terletak di poros, sehingga gerakan bandul menyebabkan collar bergerak naik atau turun. Gerakan collar tersebut digunakan untuk mengatur tuas bahan bakar pada mesin diesel atau mengontrol aliran fluida pada turbin gas, uap, atau air.



Gambar 2. System kerja governor

3. METODE PENELITIAN

Energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tidak dapat disimpan, melainkan langsung digunakan oleh konsumen (beban). Oleh karena itu, daya yang dihasilkan pembangkit harus selalu sesuai dengan daya yang digunakan oleh konsumen. Penyediaan daya aktif (Watt) harus mampu menjaga pasokan energi listrik dengan frekuensi yang stabil dan konsisten. Frekuensi listrik dijaga agar tetap berada di sekitar nilai nominal yang diizinkan, yaitu 50 Hz, dengan batas toleransi tertentu. Jika daya yang dihasilkan pembangkit tidak mencukupi kebutuhan konsumen atau terjadi gangguan pada sistem, maka frekuensi sistem akan turun. Sebaliknya, jika daya yang dihasilkan melebihi kebutuhan konsumen, frekuensi sistem akan meningkat.

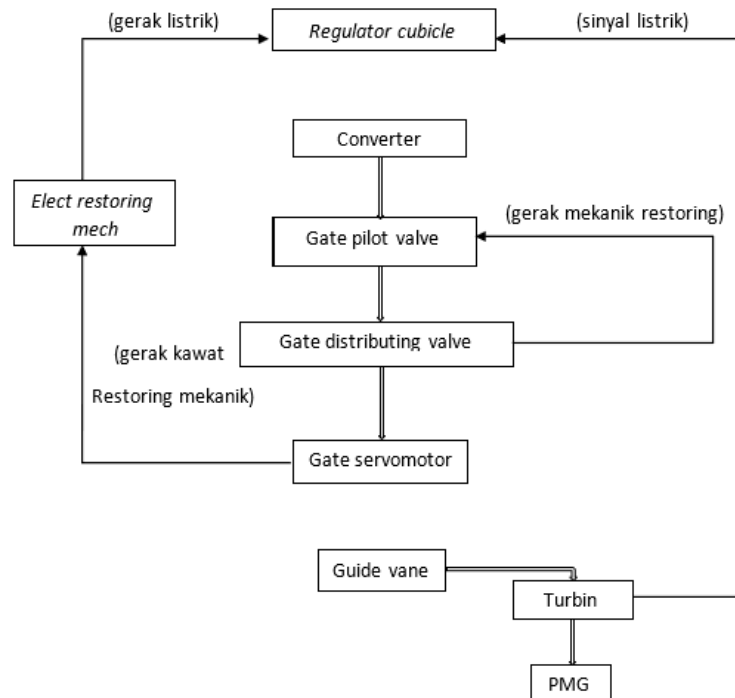


Gambar 3. Salah satu governor di PLTA Maninjau

Governor adalah perangkat mekanis yang berfungsi mengontrol aliran fluida untuk menjaga putaran turbin tetap stabil pada 600 rpm, sehingga generator menghasilkan frekuensi 50 Hz. PLTA Maninjau memiliki empat unit pembangkit, masing-masing dilengkapi dengan governor elektrohidrolik atau isochronous, yang dirancang untuk menyesuaikan aliran fluida sesuai dengan perubahan frekuensi. Sistem ini bekerja dengan mendeteksi perubahan putaran poros turbin, yang memengaruhi medan magnet dari pilot generator, sehingga torak distributor bergerak untuk menjaga frekuensi tetap pada setpoint 50 Hz.

Governor secara umum berfungsi mengatur aliran fluida yang diperlukan untuk menggerakkan runner pada turbin. Perubahan torsi turbin dirasakan oleh Permanent Magnet Generator (PMG), yang juga bertugas mempertahankan medan magnet dan mendeteksi kebutuhan beban keluaran. Jika beban besar, torsi turbin meningkat; jika beban kecil, torsi menurun. PMG kemudian mengirimkan sinyal ke governor untuk mengatur bukaan guide

vane melalui servomotor, sehingga putaran poros turbin tetap konstan sesuai setpoint. Sistem ini memastikan stabilitas operasi turbin dan generator di PLTA.



Gambar 4. Skema pengoperasian Governor PLTA di Maninjau

Apabila perubahan terjadi pada putaran atau pada saat load system (pada saat ada beban), governor penggerak segera menerima sinyal listrik yang dikirim dari regulator cubicle maka converter berfungsi sebagai controller terhadap bukaan pada servomotor melalui valve primer dan valve sekunder distribusi.

Pembukaan guide vane dari turbin merubah output generator dengan demikian kecepatan putaran turbin akan tetap pada harga yang dikehendaki (600 rpm) dengan frekuensi yang dihasilkan generator tetap pada 50 Hz. Gerakan dari guide vane servomotor adalah berupa listrik, yang merupakan feed back pada regulator cubicle melalui electric restoring mechanism untuk mencegah over running dari guide vane. Restoring mechanism dipasang dalam panel.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Pengoperasian Start dan Stop pada Turbin Francis di PLTA Maninjau

A. Proses start pada turbin francis di PLTA Maninjau

- 1) Main control hendle putar ke arah posisi star sehingga bergeraklah solenoid 65s untuk mengubah peralatan stop dengan menjadikan peraalatan tekan dan membebaskan main distributing valve pada pilot valve

- 2) Keadaan seperti ini memberikan berupa sinyal angka, kontrol unit terbuka
- 3) Load limit device (peralatan pembatas beban) menggerakkan guide vane servomotor pada pembukaan star.
- 4) Turbin secara perlahan menambah kecepatan putaran yang dikehendaki (600 rpm) dan apabila kecepatan telah mencapai 80% dari rated speed (600 rpm), maka generator pembangkit menimbulkan tegangan dan berhubungan dengan gerakan speed detector controller, regulator cubicle memindahkan sinyal kontrol dan kontrol unit menggerakkan peralatan kontrol melakukan pengontrolan sinyal.
- 5) Apabila turbin mencapai rated speed (600 rpm) turbin akan terhubung ke sistem secara otomatis, seperti regulator atau automatic synchronizer lainnya menghendaki putaran turbin dan frekuensi sistem.

B. Cara pembebanan generator

Generator dioperasikan jalan parallel sesuai dengan sinyal dari regulator cubicle atau peralatan lainnya seperti load limiter.

C. Proses penyetopan pada turbin francis di PLTA Maninjau

- a. Beban dikurangi secara perlahan –lahan dengan sinyal dari regulator cubicle atau load limiter
- b. Apabila main control handle (1) diputar pada arah posisi stop dan pada bukaan tanpa beban turbin terhubung dengan sistem. Sementara solenoid 65s bergerak pada penutupan guide vane oleh peralatan stop.

Berdasarkan data putaran beban penuh ($R2$) menggunakan persamaan :

$$n = \frac{120s \cdot f}{p}$$

$$p = \frac{120s \cdot f}{n}$$

$$p = \frac{120s \cdot 50Hz}{600rpm}$$

$$p = \frac{6000}{60}$$

$$p = 10 \text{ Pole}$$

Jadi p (jumlah kutub) adalah 10 pole. Sehingga kita dapat mengetahui nilai dari putaran beban penuh ($R2$) dengan persamaan seperti diatas.

Dengan adanya data yang sudah dirangkum diatas maka, kita dapat menentukan nilai dari speed drop dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Speed Drop} = \frac{R_1 - R_2}{R} \times 100\%$$

$$\text{Speed Drop} = \frac{600 - 582}{600} \times 100\%$$

$$\text{Speed Drop} = 3\%$$

$$\text{Speed Drop} = 3\% \cdot 50 \text{ Hz} = 1,5 \text{ Hz}$$

Artinya, sistem dirancang agar penurunan frekuensi maksimum yang diizinkan adalah sebesar 1,5 Hz dari frekuensi nominal 50 Hz.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penyusunan laporan Kerja Praktek tentang “ Sistem Kerja Governor Di PLTA Maninjau Sektor Bukittinggi “ Jalan Batang Agam no 5, ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

- A. Proses start pada turbin francis di PLTA Maninjau adalah dengan memutar main control hendle ke arah start sehingga solenoid 65s bergerak dan perlahan turbin bergerak dan terjadi peningkatan kecepatan putar hingga 600 rpm, sehingga generator pembangkit menghasilkan tegangan.
- B. Sistem Kerja dari governor adalah dengan mengontrol jumlah energi yang dihasilkan generator, maka jumlah fluida yang memasuki turbin haruslah dikontrol. Banyak sedikitnya fluida yang masuk, tergantung pada bukaan katup (valve), dimana valve ini dikontrol oleh governor.
- C. Speed Drop yang digunakan di PLTA Maninjau memiliki nilai 3% dengan batas penurunan frekuensi 1,5 Hz dan perubahan sebesar 0,1 Hz akan menyebabkan perubahan beban sebesar 0,13 MW..

DAFTAR REFERENSI

- Amali, A. R., Rachmat, A., & Samantha, Y. (2017). Sistem kerja dan pemeliharaan turbin air Francis di Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Parakan Kondang Sumedang. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 6(2), 7-12. <https://jurnal.unma.ac.id>
- Fadli, H. (2017). Sistem kerja dan perawatan governor di PT. PLN (Persero) Unit Maninjau. Laporan Proyek, Teknik Mesin FT UNP, Padang. <https://repository.unp.ac.id>
- Hamsi, A. (2014). Studi pemeliharaan turbin air Francis pada Pembangkit Listrik Tenaga Air dengan kapasitas 73,2 MW di PT Inalum Power Plant Paritohan.
- Kurniawan, A. (2015). Operasi pembangkitan pada Unit Bisnis Pembangkit Saguling Sub Unit PLTA Parakan Kondang. PT Indonesia Power, Bandung.

- Munandar, A., & Wiranto. (1996). Penggerak mula turbin. Bandung: Penerbit ITB.
- Noor, D. Z. (2015). Analisa unjuk kerja dan tingkat kavitasi pada turbin Francis di PT PJB Unit Pembangkitan Brantas Unit PLTA Sutami. Tugas Akhir, Departemen Teknik Mesin Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. <https://repository.its.ac.id>
- Suyitni, L. (2013). Pembangkit energi listrik. Jakarta: Kinetika Cipta.
- Universitas Majalengka. (2017). Laporan kerja praktek sistem kerja governor pada turbin Francis di PLTA Parakankondang. <https://academia.edu>
- Wahyu, H. (2019). Prinsip kerja dan komponen-komponen Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). <https://researchgate.net>