

Analysis of Governor Performance at North Sulawesi Power Plant II

Analisa Unjuk Kerja Governor di PLTU II Sulawesi Utara

Andre T. Mamahit, Lily S. Patras, Glanny M. Ch. Mangindaan

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mails : Andre mamahit123@gmail.com, lily_spatras@unsrat.ac.id, glanny_m@unsrat.ac.id,

Abstract — A steam power plant (PLTU) generates electricity through the rotation of a turbine coupled to a generator. The turbine can rotate due to the flow of pressurized steam entering it. To produce stable electrical energy, maintain a consistent frequency, and adapt to changing loads, the turbine's rotation must also be stable according to the load requirements.

The governor is a component responsible for regulating the flow of steam by adjusting the steam valve opening that feeds into the turbine. In this way, it can handle varying load requirements and maintain a stable frequency of 50 Hz. At the North Sulawesi Power Plant II, a cabinet actuator type governor is used, which employs a digital electro-hydraulic system.

Based on the results of this study, as indicated by the DEH Dynamic Test data analysis, turbine speed and frequency calculations, as well as inspection and maintenance data for the governor at the North Sulawesi Power Plant II, the governor's performance is excellent. This is demonstrated by the stable frequency and a speed drop value below 3%.

Keywords: Turbine, Governor, frequency, speed drop.

Abstrak — Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) menghasilkan listrik dari putaran turbin yang di kopling ke generator. Turbin dapat berputar karena adanya aliran uap bertekanan yang masuk ke dalam turbin. Untuk menghasilkan energi listrik yang stabil, frekuensi yang stabil dan daya yang bebannya dapat berubah sewaktu-waktu, maka putaran turbin juga harus stabil sesuai dengan kebutuhan beban yang ada.

Governor adalah komponen yang fungsinya mengatur aliran uap dengan cara mengatur bukaan katup uap yang masuk ke turbin. Dengan cara ini, kebutuhan beban yang dapat berubah dapat ditangani dan frekuensi tetap terjaga pada 50 Hz. Di PLTU II Sulawesi Utara juga menggunakan governor tipe cabinet actuator yaitu governor dengan sistem elektro hidrolik digital.

Dari hasil penelitian ini, berdasarkan hasil analisa terhadap data DEH Dynamic Test, perhitungan frekuensi dan putaran turbin serta data inspeksi dan pemeliharaan governor PLTU II Sulawesi Utara, kinerja dari governor tersebut sangat baik, terbukti dari frekuensi yang stabil dan nilai speed drop dibawah 3%.

Kata Kunci : Turbin, Governor, frekuensi, speed drop

I. PENDAHULUAN

PLTU II Sulawesi Utara adalah pembangkit yang berada di Amurang, kabupaten Minahasa. PLTU ini memiliki kapasitas sebesar 2x25 MW yang akan memasuk daya ke sebagian daerah di Sulawesi Utara dan sekitarnya [1].

Pada PLTU II Sulawesi Utara, terdapat Generator yang berfungsi untuk menghasilkan listrik. Didalam generator, terdapat turbin uap. Sebuah turbin uap menghasilkan putaran yang berasal dari aliran fluida uap. Perputaran ini yang akan diubah di dalam generator menjadi listrik.

Turbin uap memiliki tingkat putaran maximum. Apabila melebihi dari yang seharusnya maka akan terjadi kerusakan yang fatal pada komponen turbin [2]. Oleh karena itu. Dibutuhkan sebuah komponen pengendali agar menjaga putaran poros turbin tetap stabil dan sesuai dengan apa yang dibutuhkan. Komponen tersebut adalah Governor Control Valve. Governor Control Valve merupakan peralatan atau komponen pada PLTU yang digunakan untuk mengatur aliran dan tekanan uap. Proses ini terjadi sebelum uap di dalam pipa menuju ke turbin uap. Untuk menentukan volume uap yang dialirkan, maka governor akan mengatur bukaan dari katup uap. Governor dapat membaca dan mengolah parameter yang digunakan untuk menentukan besar kecilnya bukaan control valve kecepatan putaran turbin dapat diatur. Putaran turbin harus tetap pada nilai yang sudah ditentukan (setpoint) yaitu 3000 rpm dan frekuensi yang dihasilkan stabil pada ± 50 Hz [3].

Dengan adanya Governor pada sistem pembangkit, maka aliran fluida pada turbin dapat diatur. Pengaturan ini juga akan memengaruhi kecepatan putaran dari turbin. Kestabilan putaran turbin sangat penting dalam menghasilkan kualitas dan efisiensi tenaga listrik yang dihasilkan.

A. Turbin Uap

Turbin uap (Steam Turbin) adalah salah satu komponen pada sebuah pembangkit listrik khususnya pembangkit listrik tenaga uap. Turbin uap merupakan peralatan mekanis (mesin) yang berfungsi mengubah energi kinetik dari tekanan yang dihasilkan uap panas menjadi energi mekanik yaitu putaran [4]. Tiap silinder pada turbin memiliki rotor yang topang oleh bantalan-bantalan (bearing) dan dikopling pada generator.

Turbin terdiri dari rangkaian sudu-sudu tetap dan sudu-sudu gerak yang dipasang sejajar berselang-seling. Sudu tetap dipasang di bagian rumah turbine sedangkan sudu gerak dipasang pada rotor. Sudu tetap turbine berfungsi untuk mengarahkan aliran uap yang masuk ke sudu gerak turbine sedangkan sudu gerak berfungsi untuk merubah energi kinetik (kecepatan) menjadi Energi mekanik berupa putaran poros

turbine. Energi mekanik tersebut kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan Generator.

Di dalam turbin, uap melalui proses penurunan tekanan. Hal ini mengakibatkan kecepatan putaran turbin menjadi sangat tinggi [5]. Kecepatan aliran uap tersebut akan bergantung pada selisih suhu uap sebelum dan sesudah terjadinya ekspansi. Selisih penurunan panas sebelum dan sesudah ekspansi di dalam turbin dinamakan penurunan panas.

1) Jenis-jenis Turbin Uap

Adapun jenis-jenis turbin uap yaitu:

a) Turbin Reheat, yaitu turbin yang terdiri lebih dari satu silinder dan uap mengalami proses pemanasan ulang di reheater Boiler. Pada turbine reheat, uap yang keluar dari turbine tekanan tinggi dialirkan kembali ke dalam ketel uap untuk dipanaskan kembali melalui pemanas ulang (reheater). Hal ini dilakukan karena uap tersebut masih mempunyai energi yang besar untuk dapat dialirkan kembali turbine tekanan menengah.

b) Turbine ekstraksi, yaitu turbine yang mengekstrak sebagian uap yang mengalir dalam turbine. Pengekstraksian ini dilakukan secara bertahap untuk kemudian dialirkan sebagai media pemanas air pengisi.

2) Komponen Utama Turbin

Komponen utama turbin, yaitu [6]:

a) Sudu-sudu turbin, yaitu bagian dari turbin yang berfungsi untuk merubah gerak pancar air atau uap menjadi gerak rotasi/putaran. Sudu-sudu turbin tersusun secara seri dan mempunyai karakteristik yang beragam dalam prinsip kerjanya.

b) Poros, merupakan salah satu bagian yang menjadikan rotorda generator menjadi menjadi satu kesatuan dengan cara dikopling. Selain itu, poros ini juga berfungsi mentransmisikan torsi rotor turbin untuk memutar bagian rotor dari generator listrik.

c) Casing turbin adalah bagian luar dari turbin yang berfungsi untuk menampung komponen internal turbin, seperti sudu-sudu turbin dan rotor serta melindungi agar uap dengan tekanan tinggi pada turbin tidak.

d) Katup pengatur beban pada turbin disebut juga *governor valve* yang mengatur jumlah aliran uap masuk ke turbin pada sebuah pembangkit listrik tenaga uap. Kecepatan rotasi dan bukaan dari tiap katup tergantung kebutuhan beban. Governor valve dapat mengatur aliran uap yang masuk ke turbin dengan cara membuka atau menutup katup pengatur sesuai dengan sinyal keluaran dari governor.

e) Bantalan turbin berfungsi untuk mengurangi gesekan antar rotor turbin dengan statornya dan menopang beban dan memungkinkan rotasi yang lancar.

f) Kopling berfungsi sebagai penghubung di antara kerja turbin uap dengan mekanisme yang digerakkan oleh turbin uap. Kopling turbin pada turbin gas biasanya terdiri dari kopling fleksibel dan kopling kaku. Kopling fleksibel digunakan untuk mengurangi getaran dan keausan pada turbin, sedangkan kopling kaku digunakan untuk mentransmisikan torsi yang besar.

B. Governor

Governor adalah komponen yang berfungsi untuk mengatur putaran turbin dengan cara mengatur bukaan katup sehingga jumlah uap yang masuk ke turbin disesuaikan dengan kebutuhan. Putaran turbin juga disesuaikan berdasarkan nilai setpoint yang sudah diatur yaitu 3000 rpm dan frekuensi yang stabil yaitu $\pm 50\text{Hz}$ [7].

Prinsip kerja dari sebuah governor sebenarnya sangat sederhana. Sebuah governor akan bertugas untuk mengatur jumlah aliran fluida/gas yang masuk ke dalam turbin berdasarkan kebutuhan beban. Pada governor, terdapat katup pengatur aliran uap. Ketika turbin berputar terlalu lambat, maka katup governor akan membuka agar uap yang masuk ke turbin lebih banyak dan menghasilkan tekanan yang besar untuk memutar turbin lebih cepat. Begitu juga sebaliknya, apabila putaran turbin terlalu cepat, maka katup governor akan menutup untuk membatasi volume uap yang masuk ke turbin [8]. Governor menentukan besarnya bukaan valve berdasarkan parameter sinyal masukan seperti daya aktual keluaran generator (P), daya setting (Pref), frekuensi (f) dan putaran turbin (w).

1) Fungsi Governor

Adapun fungsi dari governor, yaitu:

- a) Memudahkan mesin ketika dinyalakan;
- b) Membuat putaran setiap posisi stabil;
- c) Memberikan limit kecepatan idle

2) Mode Pengoperasian Governor

Ada dua mode operasi governor, yaitu [9]:

a) Droop

Pada mode droop, governor dioperasikan berdasarkan nilai dari setting point P_{mech} (daya mekanik) yang besarnya disesuaikan berdasarkan rating generator atau menurut kebutuhan. Setting point bertujuan agar output daya listrik yang dihasilkan generator tetap atau stabil, dengan frekuensi yang stabil juga.

b) Isochronous

Pada mode isochronous, setting point putaran governor ditentukan berdasarkan kebutuhan daya listrik sistem pada saat itu (real time). Kemudian melalui proses dari pengaturan yang ada (setingan bawaan pabrik), governor akan menyesuaikan nilai output daya mekanik turbin supaya sesuai dengan daya listrik yang dibutuhkan sistem. Pada saat terjadi perubahan beban, governor akan menentukan setting point yang baru sesuai dengan aktual beban sehingga dengan pengaturan putaran ini diharapkan frekuensi listrik generator tetap berada di dalam acceptable range dan generator tidak mengalami out of synchronization.

C. Komponen Utama Governor

Pada sebuah governor, terdapat komponen-komponen yang mendukung kinerja governor dapat berjalan, yaitu:

1) Sensor

Untuk governor mechanical, terdapat sensor mekanis yang terhubung atau terkopling ke roda gila. Sedangkan pada governor electrical berupa sensor kecepatan.

2) Comparison Logic

Setiap governor memiliki set point yang akan dibandingkan dengan kecepatan arus turbin yang dirasakan oleh sensor. Jika nilai perbandingan set point dan kecepatan arus melebihi batas atas atau kurang dari batas bawah, comparison Logic akan mengatur melalui valve plunger dan flywheel melalui aktuator. Pada governor electrical, chipset elektronik yang akan bekerja dan melakukan tugas ini[10].

3) Actuator

Actuator bekerja setelah menerima perintah dari Comparison Logic dan memperbaiki kecepatan atau mengatur ulang kecepatan turbin melalui besaran bukaan katup. Katup ini dikendalikan melalui tuas hidrolik bertekanan.

4) Valve

Valve berfungsi untuk mengatur besaran aliran uap yang masuk ke dalam turbin dengan cara membuka atau menutup aliran uap. Dengan mengubah aliran uap, kecepatan turbin akan berubah.

D. Jenis Governor berdasarkan Prinsip Kerja

Adapun jenis-jenis governor berdasarkan prinsip kerjanya, yaitu:

1) Mechanical Governor

Mechanical governor mengatur volume uap yang dialirkan ke turbin dengan menggunakan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh dua buah pemberat untuk menggerakkan katup pada governor. Karena gaya sentrifugal yang dihasilkan, pemberat yang bergerak keluar akan katup membuka katup hingga gaya yang dihasilkan sama dengan gaya pegas pada katup[11].

2) Pneumatic governor

Pneumatic governor merupakan governor dengan tipe all speed dimana governor ini akan mengontrol kecepatan putar turbin dari kecepatan rendah hingga kecepatan tinggi. cara kerjanya menerapkan teori Bernoulli, di mana kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanannya[12].

3) Combined Governor

Combined governor adalah tipe governor yang menggabungkan dua mechanical governor serta pneumatic governor. Pneumatic governor berperan dalam mengontrol kecepatan putaran engine rendah. Sedangkan ketika kecepatan putar mesin dalam kondisi maksimum kontrol beralih ke mechanical governor[13].

4) Hydraulic governor

Hydraulic governor adalah tipe governor yang memanfaatkan tekanan hidrolik dalam pengendalian katup sehingga volume uap yang dialirkan ke turbin dapat diatur.

5) Electronic governor

Electronic governor adalah jenis governor yang proses pengaturan katup uapnya dikendalikan oleh microcomputer yg berperan untuk mengatur pergerakan control rack atau valve[14].

E. Perhitungan Kecepatan Putar Generator dan Speed Droop

Frekuensi yang dihasilkan generator sinkron adalah sama dengan kecepatan putar generator. Hubungan antara kecepatan putar medan magnet pada generator dengan frekuensi elektrik pada stator adalah:

$$R_{beban} = \frac{120 \times f}{p} \quad (1)$$

Dimana:

R_beban = kecepatan putar poros (rpm)

F = Frekuensi listrik (Hz)

p = Jumlah kutub magnet (pole)

Berdasarkan persamaan diatas, maka jika daya listrik yang ingin dihasilkan tetap pada frekuensi 50 Hz atau 60 Hz, maka generator harus berputar pada kecepatan tetap pada jumlah kutub mesin yang sudah ditentukan.

Speed droop adalah nilai yang nilai kepekaan turbin dalam merespon perubahan frekuensi. Semakin kecil nilai speed droop, maka speed drop akan semakin sensitif terhadap perubahan frekuensi. Demikian pula sebaliknya, semakin besar nilai prosentase speed droop, maka semakin malas merespon perubahan frekuensi. Speed droop menentukan hubungan antara sinyal pengaturan putaran (governor) dengan output beban yang dibangkitkan oleh Generator. Speed Droop merupakan perbandingan beban dengan frekuensi[15].

$$Speed\ Drop = \left(\frac{R_1 - R_{beban}}{R} \right) \times 100 \quad (2)$$

Dimana:

R = Putaran Nominal (RPM)

R₁ = Putaran tanpa beban (RPM)

R_beban = Putaran dengan beban penuh (RPM)

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data dan Perhitungan

1) Data Teknis Turbin

Data teknis turbin diambil dari manual book milik PLTU II Sulawesi Utara . dimana turbin uap yang digunakan adalah jenis turbin reheat dengan kode K1890. Turbin ini merupakan turbin uap buatan pabrikan cina yaitu Qingdao Jieneng Steam Turbin Group Co., Ltd.



Gambar 1. Turbin Uap di PLTU II Sulawesi Utara

TABEL I. SPESIFIKASI TEKNIS TURBIN UAP PLTU II SULUT

Code	K1890
Model	N25-8.83
Rated Power	25.000 KW
MAXIMUM POWER	26,250 KW
RATED SPEED	3,000 RPM
ROTATION	CLOCK WISE
STEAM PRESSURE	8.83 MPa
STEAM TEMPERATURE	535 C
RATED STEAM FLOW	96.7 TH
MAXIMUM STEAM FLOW	101.6 TH
EXHAUST PRESSURE	0.0085 MPa (abs)
HEAD RATE	9,876 KJ KWH
Qingdao Jieneng Steam Turbin Group Co., Ltd.	

2) Data teknis Governor

Governor yang digunakan pada PLTU II SULUT adalah governor jenis *cabinet actuator* dengan nilai *speed drop* yaitu 1-5%. Governor ini juga memiliki sensitivitas yang sangat rendah yaitu sekitar 0,01%, hal ini memungkinkan governor akan sangat peka terhadap perubahan tekanan uap.

TABEL II. SPESIFIKASI GOVERNOR DI PLTU II SULUT

Type	Governor Cabinet Actuator
Kapasitas	20.000 kgm
Gaya servo motor pada tekanan rating	62.000 kg
Displacement Volume dari servo motor	40,2 x 2 lt
Sensitivitas terhadap perubahan kecepatan	0,01 %
Perubahan speed drop	0-5 %
Pengatur kecepatan turbin dengan kecepatan tetap	5-15 %
Tekanan Oli:	
- Normal	26 kg/cm ²
- Normal Minimum	24,5 kg/cm ²
- Allowable Minimum	17,5 kg/cm ²



Gambar 2. Governor di PLTU II SULUT

3) Data DEH Dynamic Test Governor Valve

DEH dynamic test for governor valve merupakan pengujian karakteristik dinamis dari katup governor pada sistem kontrol DEH (Digital Electro-Hydraulic) pada turbin uap dengan menggunakan sinyal digital untuk mengontrol katup hidrolik pada turbin uap.

Pengujian karakteristik dinamis ini dapat meliputi pengujian stabilitas dinamis, respons sistem, dan kesalahan tetap pada sistem kontrol DEH. Pengujian ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji manual seperti Dynamic Testing Bench for Governor of

Generator. Keuntungan melakukan pengujian ini adalah dapat memberikan parameter kinerja yang detail dari katup hidrolik, yang dapat digunakan untuk memverifikasi kebenaran identifikasi parameter DEH apakah sudah sesuai dengan standar kelayakan operasi.

TABEL III DEH DYNAMIC TEST FOR GOVERNER VALVE

Increasing				Decreasing			
Set Point (%)	Feed-back (%)	Local	DDV (%)	Set Point (%)	Feed-back (%)	Local	DDV (%)
0	13.28	0.5	27.55	100	99.96	7	50
10	14.64	0.7	47.85	90	93.78	6.5	50
15	19.07	1.2	50	80	83.78	5.9	50
20	24.01	1.4	50	70	74.08	5.1	50
30	34.72	2.2	50	60	64.03	4.4	50
40	43.93	2.9	50	50	53.98	3.6	50
50	53.98	3.6	50	40	43.93	2.9	50
60	64.03	4.4	50	30	34.72	2.2	50
70	74.08	5.1	50	20	24.01	1.4	50
80	83.78	5.9	50	15	19.06	1.2	50
90	93.78	6.5	50	10	14.64	0.7	47.78
100	99.96	7	50	0	13.28	0.5	27.48

4) Data Main Steam Pressure and Flow Steam Pressure

Data main steam pressure and flow steam pressure adalah data tentang tekanan uap utama yang masuk ke dalam turbin serta aliran tekanan uapnya dimana data ini juga berkaitan dengan pengukuran aliran dan tekanan uap pada sistem pembangkit listrik dengan menggunakan *Steam flow measurement*. Data ini dapat digunakan untuk melakukan analisis performa pembangkit, pengukuran aliran uap, dan analisis kualitas uap pada sistem pembangkit listrik. Pengukuran aliran uap dapat dilakukan dengan menggunakan nozzle type DP transmitters pada steam turbine.

TABEL IV. DATA MAIN STEAM PRESSURE AND FLOW STEAM PRESSURE

Time	Main Steam pressure (Mpa)	Main Steam Flow (t/h)	GV Position (%)
00:00:00	6,83	110,09	66,99
04:00:00	7,92	73,92	55,24
08:00:00	7,42	111,57	65,28
12:00:00	7,37	128,34	69,17
16:00:00	7,55	127,72	68,19
20:00:00	8	161,22	74,32
00:00:00	6,92	110,71	66,71
04:00:00	6,6	88,21	62,44
08:00:00	7,18	109,37	65,49
12:00:00	6,89	137,27	73,76
16:00:00	7,53	143,35	71,95
20:00:00	7,87	158,56	74,26
00:00:00	6,98	109,56	66,34
04:00:00	7,05	74,06	57,51
08:00:00	7,05	81,48	59,57
12:00:00	7,45	138,13	71,03
16:00:00	7,42	132,67	69,8
20:00:00	7,61	156,79	75,35

5) Hasil Perhitungan Speed Drop

Perhitungan speed drop dilakukan untuk mengetahui responsivitas governor dalam menanggapi perubahan frekuensi atau putaran pada turbin. Hal pertama yang kita lakukan adalah menghitung putaran turbin ketika dalam keadaan berbeban dalam hal ini kita menggunakan data frekuensi. F adalah frekuensi dasar, sedangkan p adalah jumlah kutub magnet.

$$R_2 = \frac{120 \times f}{P}$$

$$R_2 = \frac{120 \times 49,758}{2}$$

$$R_2 = 2985,48 \text{ RPM}$$

Dari perhitungan tersebut, diketahui bahwa putaran turbin ketika berbeban adalah 2985,48. Untuk menghitung speed drop, maka digunakan nilai putana ini, sehingga didapat persamaannya yaitu:

$$\text{Speed Drop} = \frac{R - R_{beban}}{R} \times 100$$

$$\text{Speed Drop} = \frac{3000 - 2985,48}{3000} \times 100$$

$$\text{Speed Drop} = 0,484 \%$$

Berikut dibawah ini hasil perhitungan speed drop pada PLTU II Sulut yang dimana datanya diambil dari tanggal 20 juni-22 juni 2023 (3 Hari) dengan rentang waktu 4 jam.

TABEL V. DATA PERHITUNGAN PUTARAN TURBIN DAN SPEED DROP

Time	Frekuensi (Hz)	Daya (MW)	Speed Drop (%)	Putaran dengan beban (RPM)
00:00:00	49,758	20,748	0,484	2985,48
04:00:00	50	21,508	0	3000
08:00:00	49,881	21,426	0,238	2992,86
12:00:00	49,992	21,358	0,016	2999,52
16:00:00	50	21,474	0	3000
20:00:00	49,943	21,436	0,114	2996,58
00:00:00	49,875	21,556	0,25	2992,5
04:00:00	50	21,662	0	3000
08:00:00	49,932	21,950	0,136	2995,92
12:00:00	49,974	21,967	0,052	2998,44
16:00:00	49,789	21,940	0,422	2987,34
20:00:00	49,847	21,840	0,306	2990,82
00:00:00	49,79	21,904	0,42	2987,4
04:00:00	49,825	21,992	0,35	2989,5
08:00:00	50	21,881	0	3000
12:00:00	49,96	21,969	0,08	2997,6
16:00:00	49,931	21,960	0,138	2995,86
20:00:00	49,855	21,911	0,29	2991,3

B. Hasil Pemeliharaan Governor dan Analisa

1) Sistem Pengoperasian Governor di PLTU II SULUT

Berikut tahapan pengoperasian governor untuk menggerakkan turbin uap:

- Pada operasi normal, oli pada governor dan sistem proteksinya disalurkan oleh pompa oli utama. Oli akan disalurkan ketika pompa dihidupkan, baru setelah itu sistem proteksinya akan dinyalakan. Tarik tuas katup hingga saluran oli proteksi tersambung. Setelah sistem menerima sinyal, putar katup start-up secara perlahan dan katup uap utama sudah terbuka. Pastikan bahwa semua sistem kontrol dalam keadaan standby termasuk Block Valve untuk pembuangan uap harus dalam keadaan terbuka, pelumas dan cooling system sudah dalam posisi on.
 - Tekan "OPERATION" untuk mengoperasikan panel regulator listrik. Kecepatan sistem akan meningkat dan suhu akan semakin tinggi dan mendekati kecepatan kritis hingga kecepatan terukur secara otomatis sesuai dengan urutan pengoperasian yang diprogram. Sebelum governor bekerja untuk mengatur jumlah aliran uap air yang masuk kedalam turbin, turbin harus diputar pada kecepatan tertentu. Pada PLTU II SULUT, terdapat motor eksternal yang berfungsi untuk memutar turbin pada starter awal. Motor ini dikendalikan pada putaran 10 RPM dan terkopling langsung ke turbin. Untuk menaikkan kecepatan turbin maka governor mulai membuka katup dan menyalurkan uap gas bertekanan kedalam turbin untuk meningkatkan kecepatan turbin secara bertahap.
 - Apabila kecepatan turbin mencapai 2500 rpm, maka motor eksternal tadi akan dimatikan/OFF, bloc valve juga dimatikan. Pada kecepatan ini turbin sudah dapat berputar dari tekana gas uap dan generator akan berfungsi kembali sebagai penghasil listrik melalui sistem eksitasi.
 - Ketika kecepatan turbin sudah tercapai atau sudah sesuai, tekanan oli keluar dari pompa oli utama juga meningkat perlahan-lahan. Ketika tekanan oli keluar dari tekanan oli utama lebih tinggi dibandingkan tekanan oli start-up, sistem akan beralih ke suplai oli pompa oli utama secara otomatis. Pada kondisi ini, turbin memiliki kecepatan putana sekita 3000 RPM dan dalam kondisi tanpa beban.
 - Dilakukan proses sinkronisasi daya dengan jaringan listrik. Apabila daya yang dibutuhkan besar, maka tentunya akan memengaruhi kecepatan putar turbin. Pada kondisi ini, governor kembali membuka katup dan menyesuaikan jumlah uap gas yang akan disalurkan kedalam turbin untuk menjaga putaran turbin dan speed drop tetap berada pada 0-5%.
- #### 2) Sistem Poteksi Governor di PLTU II SULUT
- Sistem keamanan Governor PLTU II SULUT, yaitu:
- Over-speed Protection. Ketika kecepatan turbin lebih dari 10~12% dari kecepatan yang telah

ditentukan, maka governor darurat dan katup oli gangguan diaktifkan dan security oil path terputus.

- b) Axial displacement protection. Ketika rotor turbin melebihi nilai yang ditetapkan, katup oli interupsi akan aktif security oil path terputus.
 - c) Manual Shut-down. Security oil path akan terputus melalui tombol shut-down pada manual katup control uji.
 - d) Governor darurat (Emergency governor). Ketika kecepatan putar turbin meningkat hingga 110-112% dari kecepatan terukur, flying hammer meledak dan melepaskan kait katup oli pengganggu, yang mengaktifkan katup geser dan memutus jalur oli keamanan. Ketika kecepatan turun menjadi 102%, flying hammer direset.
 - e) Emergency interruption oil valve. Emergency interruption oil valve berada di bantalan depan, menerima sinyal aktivasi pengatur darurat atau sinyal perpindahan aksial rotor dan mencapai penghentian darurat.
 - f) Testing control valve. Testing control valve terdiri dari katup manual shut-down, oil spray test valve and reset valve. Ketika ingin di matikan secara manual, Tarik ke bawah tuas katup manual shut-down, Tarik pegangannya jika mengunci kembali.
 - g) TSI steam turbine supervising and protection system. TSI steam turbine supervising and protection system terdiri dari Zero rotating speed; Shaft displacement; Shaft vibration; Differential pressure; Key phase.
 - h) Over-speed protection of electric regulator. Selain fungsi regulasi, regulator listrik juga memiliki fungsi proteksi kecepatan berlebih. Alarm kecepatan berlebih dan titik shut-down dapat diatur.
 - i) Solenoid valve. Terdapat dua katup solenoid pengaman. Jalur oli keamanan dapat terputus jika ada katup solenoid yang aktif. Ada tombol katup geser di ujung katup.
- 3) Inspeksi Governor PLTU II SULUT

Data inspeksi adalah data yang diperoleh dari hasil inspeksi pada governor untuk memastikan bahwa governor dapat berfungsi dengan baik dalam mengatur kecepatan turbin secara dinamis. Inspeksi pada governor dapat meliputi pemeriksaan karakteristik dinamis dari governor, seperti respons sistem, stabilitas dinamis, dan kesalahan tetap pada sistem kontrol. Inspeksi pada governor juga dapat meliputi pemeriksaan katup governor dan pengaturan tekanan pada sistem kontrol. Data hasil inspeksi pada governor dapat digunakan untuk menentukan tindakan perbaikan selanjutnya atau untuk memastikan bahwa governor berfungsi dengan baik dalam jangka waktu yang lama. Data inspeksi governor di PLTU II SULUT diperoleh dari hasil inspeksi langsung pada sistem governor.

Data inspeksi governor PLTU II SULUT diambil dari laporan Serious Inspection Unit 2 PLTU Amurang tahun 2021 yang dilaksanakan pada tanggal 30 maret 2021 hingga 17 juni 2021. Inspeksi ini merupakan

inspeksi 5 tahunan yang dilaksanakan oleh PLTU II SULUT bersama dengan PT. PJB Services.

TABEL VI. DATA INSPEKSI GOVERNOR PLTU II SULUT

No.	Parameter	Kondisi
1.	Kondisi fisik Governor	Governor dalam kondisi bersih dan baik secara visual
2.	Heat Insulation Governor	Heat insulation dalam keadaan terpasang dan berfungsi dengan baik namun perlu adanya pembongkaran untuk memastikan lebih lanjut apakah perlu adanya penggantian dan pemeliharaan.
3.	Unbolting Governor	Unbolting Governor dalam keadaan terpasang namun perlu adanya pembongkaran untuk memastikan lebih lanjut apakah perlu adanya penggantian dan pemeliharaan.
4.	Disassembly Governor	Disassembly Governor dalam keadaan terpasang namun perlu adanya pembongkaran untuk memastikan lebih lanjut apakah perlu adanya penggantian dan pemeliharaan.
5.	Runout stem Governor	Runout stem Governor dalam keadaan bending (melengkung) dimana keadaan ini mengharuskan Runout stem Governor harus dilakukan penggantian yang baru.
6.	Bushing & Stem governor	Pada Bushing & Stem governor terdapat karat. Tindakan yang dilakukan adalah dengan pemolesan.
7.	NDT bushing & stem governor	NDT bushing & stem governor dalam keadaan yang baik dan hanya memerlukan pembersihan.
8.	Bolt governor	Bolt governor dalam keadaan kotor dan perlu adanya pembersihan
9.	Seat & disk governor	Seat & disk governor dalam keadaan kotor dan berkerak. Perlu adanya pembersihan dan pemolesan kerak.
10.	Contact check seat & disc governor	Contact check seat & disc governor dalam kondisi tidak full kontak sehingga perlu adanya pembersihan.
11.	Body cylinder hydraulic	Body cylinder hydraulic dalam keadaan kotor minor dan memerlukan pembersihan.
12.	O-Ring body cylinder hydraulic	O-Ring body cylinder hydraulic dalam keadaan rusak dan perlu adanya penggantian baru.
13.	Main Oil Pump	Kondisi main oil pump dalam keadaan kotor, perlu dilakukan pembersihan untuk menjaga kinerja dari pompa.
14.	Piping (steam inlet)	Pada pipa uap masuk, heat insulation dan SWG inlet steam dalam keadaan usak, perlu adanya

		penggantian. Selain itu, bolt inlet steam kotor dan perlu pembersihan.
15.	Main stop valve	Pada inspeksi awal, kondisi main stop valve tidak bisa fill closed, dan kotor. Kemudian runout stem main stop valve terindikasi mengalami bending, untuk itu perlu penggantian baru. Pada polishing bushing and stem main stop valve terlihat kotor dan berkerak, perlu adanya pembersihan dan polishing.
16.	Spring MSV	kondisi spring MSV dalam keadaan kotor dan berlumpur, perlu adanya pembersihan spring.
17.	Contact check seat dan disk MSV	Contact check seat dan disk MSV dalam kondisi tidak full kontak, untuk mengatasinya perlu adanya lapping.
18.	O-RING Cylinder Hydraulic MSV	O-RING Cylinder Hydraulic MSV dalam kondisi rusak, perlu penggantian dengan O-RING Cylinder Hydraulic MSV yang baru.
19.	Bolt Tightening MSV	Bolt Tightening MSV dalam kondisi terbongkar, untuk mengatasinya, perlu pemasangan kebalikan dengan Bolt Tightening MSV yang baru

4) Perawatan Dan Pemeliharaan Governor PLTU II SULUT

Di PLTU II SULUT, dalam laporan inspeksi tahun 2021, ada beberapa pekerjaan yang dilakukan dalam proses perawatan dan pemeliharaan governor, yaitu:

- a) Penggantian 2 buah O-RING governor valve. O-RING governor valve adalah sebuah seal atau karet yang digunakan pada governor valve untuk mencegah kebocoran uap. Penggantian O-RING governor valve dilakukan karena kondisinya dalam keadaan rusak.



Gambar 3. O-RING governor valve tipe 1

- b) Penggantian packing molded governor. Penggantian packing molded governor juga dilakukan karena dalam kondisi rusak. Packing molded governor yang di gunakan bertipe graphite dengan diameter dalam 36 mm, diameter luar 51 mm dan ketebalan 10 mm.



Gambar 4. Packing molded governor

- c) Penggantian baut pada Stem governor sisi R dan L. Penggantian Stem governor sisi R dan L dilakukan karena adanya stem bending (pembengkokan). pada sisi R, pembengkokan sebesar -0.60 mm sedangkan pada sisi L pembengkokan sebesar +0.70 mm. Pembengkokan ini memengaruhi kinerja dari governor sehingga perlu dilakukan penggantian.



Gambar 5. Baut pada Stem governor sisi R dan L

- d) Penggantian Mur Stem governor. Penggantian mur stem governor dilakukan karena kondisi mur dalam keadaan rusak sehingga perlu adanya penggantian.



Gambar 6. Mur Stem governor

- e) Penggantian ulir stem governor. Penggantian ulir stem governor dilakukan karena ulir dalam keadaan aus dan perlu dilakukan perbaikan ulir. Ulir stem governor yang diganti merupakan ulir model M31 x 1.5.



Gambar 7. Ulir stem governor

- f) Penggantian O-RING main oil pump. Penggantian O-Ring Oil Pump dilakukan karena kondisinya dalam keadaan rusak dan perlu dilakukan penggantian. O-RING yang digunakan berukuran diameter dalam sebesar 150 mm, diameter luar 164 mm dan tebal O-RING yaitu 7 mm.



Gambar 8. O-RING main oil pump

- g) Penggantian Stem Hydraulic Valve A002. Penggantian Stem Hydraulic Valve A002 dilakukan karena kondisinya berkarat/korosif dan perlu dilakukan penggantian.



Gambar 9. Stem Hydraulic Valve A002

- h) Penggantian Ring Gasket Hydraulic Valve A002. Ring Gasket Hydraulic Valve adalah seal atau karet yang digunakan pada valve hidrolik untuk mencegah kebocoran fluida dari sistem. Penggantian Ring Gasket Hydraulic Valve A002 dilakukan karena kondisinya rusak dan perlu dilakukan penggantian. Ring Gasket Hydraulic Valve A002 yang digunakan berukuran diameter dalam sebesar 150 mm, diameter luar 165 mm dan tebal yaitu 4 mm.



Gambar 10. Stem Hydraulic Valve A002

- i) Seal Oil Thrust. Seal Oil Thrust pada governor dilakukan penggantian karena kondisi sela sudah aus sehingga perlu penggantian seal agar oli pelumas pada governor tidak bocor.



Gambar 11. Seal Oil Thrust

- 5) Gangguan yang Sering Terjadi pada Governor
- Governor valve berputar sendiri saat pembebanan dinaikkan. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya kerusakan pada sistem hidrolik atau elektronik yang mengendalikan governor valve.
 - Governor valve mengalami kebocoran. Kebocoran pada governor valve dapat menyebabkan aliran uap yang tidak terkontrol dan mengurangi efisiensi kinerja turbin.

- Governor valve mengalami keausan. Keausan pada governor valve dapat menyebabkan katup pengatur tidak dapat berfungsi dengan baik dan mengurangi efisiensi kinerja turbin.
- Governor valve mengalami kerusakan pada bagian mekanik, seperti sleeve atau lengan. Kerusakan pada bagian mekanik dapat menyebabkan governor valve tidak dapat berfungsi dengan baik dan mengurangi efisiensi kinerja turbin.

III. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

- Kinerja dari governor di PLTU II SULUT bergantung pada kondisi komponen governor itu sendiri. Apabila komponennya sudah mulai mengalami kerusakan, maka perlu dilakukannya penggantian agar tidak memengaruhi kinerja komponen lainnya.
- Pada saat overhaul, banyak komponen governor yang diganti karena mengalami kerusakan. Ini menandakan bahwa kinerja governor sudah mengalami penurunan.
- Kinerja dari governor PLTU II Sulawesi Utara sangat baik, hal ini dapat dilihat dari data DEH Dynamic test dan nilai speed drop.

B. Saran

Adapun saran yang bisa menjadi acuan untuk kedepannya yaitu dilakukan pengecekan secara rutin untuk memastikan sistem governor berjalan dengan efisiensi yang baik.

IV. KUTIPAN

- N. Samuel, H. Tumaliang, L. S. Patras, and M. Pakiding, "Koordinasi Setting Relai Jarak Pada Transmisi 150 kV PLTU 2 SULUT 2 x 25 MW," *Jurnal Teknik Elektro*, 2012. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/download/615/487> (accessed Nov. 15, 2023).
- "How to calculate airflow in m³/min on a gas turbine outlet?," *Engineering Stack Exchange*. <https://engineering.stackexchange.com/questions/29159/how-to-calculate-airflow-in-m3-min-on-a-gas-turbine-outlet>
- K. Masruhan, P. Eko Pambudi, and Mujiman, "ANALISIS SISTEM GOVERNOR DALAM MENJAGA KESTABILAN FREKUENSI PADA PT. INDONESIA POWER UP MRICA SUB UNIT PLTA WADASLINTANG," *Jurnal Elektrikal*, vol. 6, no. 1, Jun. 2019, [Online]. Available: <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/elektrikal/article/view/2135/1665>
- K. Ronand Mahaputra and A. Mursadin, "ANALISIS KINERJA TURBIN UAP UNIT 3 BERDASARKAN PERFORMANCE TEST DI UNIT PELAKSANA PT.PLN (PERSERO) PEMBANGKITAN ASAM-ASAM," 2021. <https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/rot> (accessed Nov. 15, 2023).
- S. User, "Turbin Uap PLTU." <http://kmmigroup.com/WEB001/index.php/id/sort-learning/learning-bid-kelistrikan/152-peralatan-turbin-uap-pltu.html>
- F. B. Prasetyo, "ANALISIS UNJUK KERJA DARI KOMPONEN-KOMPONEN UTAMA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) DI TAMBANG BATU BARA, PT KALTIM PRIMA COAL (KPC)," 2013. <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/67653> (accessed Nov. 17, 2023).
- L. R. MUKHAMAT, "NORMALISASI KINERJA GOVERNOR UNTUK MENUNJANG KELANCARAN MESIN INDUK DI KAPAL SPOB AANS," 2021.

- [8] OPTIMALISASI KINERJA GOVERNOR UNTUK MENUNJANG OPERASIONAL MAIN ENGINE DI KN.KUMBA - Repository Universitas Maritim AMNI (UNIMAR AMNI) Semarang.” <http://repository.unimar-amni.ac.id/3178/>
- [9] R. Rofi, I. R. Mardiyanto, and S. Utami, “Perancangan dan Simulasi Pengendalian Governing Isochronous pada PLTP Darajat,” Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar, Aug. 2021, Published, [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/2744/2138>
- [10] A. Khodabandeh, “Steam turbines- Part V- Governors,” <https://www.linkedin.com/>, Dec. 30, 2018. Accessed: Sep. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/steam-turbines-part-v-governors-amir-khodabandeh>
- [11] Deng, S., Ji, J., Wen, G., & Xu, H. (2022). Two-parameter dynamics of an autonomous mechanical governor system with time delay. *Nonlinear Dynamics*, 1-23.
- [12] Asaff, Y., De Negri, V. J., & Soares, J. M. C. (2016). Pneutronic speed governor for small hydropower plants: a new application for pneumatics. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 38, 2621-2633.
- [13] Gao, W., Zhang, Z., Zhou, Y., Wang, R., & Jiang, L. (2013). Optimal combinatorial replacement policy under a given maintenance interval for the combined governor in diesel locomotives. *Eksploatacja i Niezawodność*, 15(2), 89-98.
- [14] Lee, S. H., Yim, J. S., Lee, J. H., & Sul, S. K. (2008, October). Design of speed control loop of a variable speed diesel engine generator by electric governor. In 2008 IEEE Industry applications society annual meeting (pp. 1-5). IEEE.
- [15] Mobarak, Y. (2015). Effects of the droop speed governor and automatic generation control AGC on generator load sharing of power system. *International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE)*, 4(2), 84-95.



Andre Tolly Mamahit, adalah anak kedua dari 3 bersaudara. Lahir pada tanggal 8 Mei 2000 di Bintauna, Bolaang Mongondow Sulawesi Utara. Pada tahun 2018 penulis memulai pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, pada tahun 2020 penulis mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik. Selama menempuh

pendidikan, penulis juga merupakan anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Unsrat dan aktif di beberapa kegiatan organisasi. Selain itu, penulis juga melaksanakan kegiatan magang di bandara Sam Ratulangi Manado. Pada bulan desember 2023, penulis telah menyelesaikan pendidikan di Fakultas Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado, dengan Judul Penelitian adalah Analisa Unjuk Kerja Governor di PLTU II Sulawesi Utara.