

ANALISIS EFISIENSI DAYA PADA OTOMATISASI SISTEM KENDALI KECEPATAN *FAN COOLING TOWER* UNIT PLTP #2

Erna Kusuma Wati

Program Studi Teknik Fisika, Universitas Nasional
ernakusuma.w@gmail.com

Submitted November 29, 2019; Revised December 1, 2019; Accepted December 3, 2019

Abstrak

Analisis terhadap peluang efisiensi daya pemakaian motor dilakukan di Unit PLTP #2, dengan melakukan otomatisasi kendali mode kecepatan *fan cooling tower* sehingga didapatkan manfaat secara finansial dan non finansial. Sistem otomatisasi dalam pengendalian mode kecepatan guna menyesuaikan kondisi pada kategori aman, sehingga efisiensi daya dapat diterapkan secara berkelanjutan dengan meminimalisir kesalahan keputusan ataupun kelalaian dalam pengoperasiannya. Analisis dilakukan berdasarkan karakteristik operasi unit pembangkitan, desain unit pembangkitan, simulasi pemodelan heat balance, serta hukum fisika dan persamaan matematis terkait. Dengan tetap mempertimbangkan kehandalan unit pembangkit. Diperoleh adanya perubahan pola pengoperasian *fan cooling tower* dari yang semula beroperasi seluruhnya pada mode *high speed* (5H0L) menjadi 4 *fan* dalam mode *high speed* dan 1 *fan* dalam mode *low speed* (4H1L), dengan Efisiensi daya yang diperoleh dari keberhasilan perubahan tersebut adalah sebesar 58.72kW.

Kata Kunci : efisiensi daya, *fan cooling tower*, mode kecepatan

Abstract

Analysis the efficiency for the use of motors that place in Geothermal Powerplant #2, by implementing automated system for the control of 's speed mode so that the financial and non-financial benefits can be obtained. Automation system in controlling the cooling tower fan speed mode in order to adjust conditions in the safe category, so that power efficiency can be applied continuously by minimizing decision errors or negligence in operation. The analysis based on the operation characteristics, the design of the generation plant, heat balance modeling simulation, and the related laws of physics and mathematical equations. By considering the reliability of the generation powerplant. Obtained a change in the operating pattern of the cooling tower fan from initially operating entirely in high speed mode (5H0L) to 4 fans in high speed mode and 1 fan in low speed mode (4H1L), with the power efficiency obtained from the success of the change amounting to 58.72 kW.

Key Words : efficiency, *fan cooling tower*, speed mode

1. PENDAHULUAN

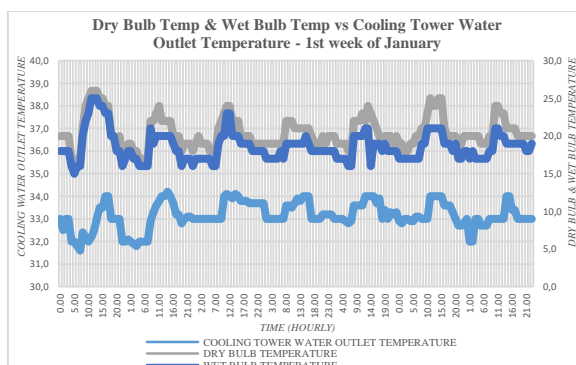
PLTP merupakan unit pembangkit tenaga listrik berbahan bakar uap panas bumi, dimana uap tersebut merupakan hasil dari proses pemanasan air yang terjebak didalam reservoir. Sama halnya dengan unit pembangkit tenaga listrik pada umumnya, PLTP merupakan sebuah kesatuan dari beberapa sistem yang saling terkait sehingga dapat beroperasi dan menghasilkan listrik secara optimal. Beberapa sistem yang umum dijumpai

pada unit pembangkit listrik berbahan bakar panas bumi, diantaranya adalah sistem uap, yang terbagi atas uap utama dan uap bantu, sistem turbin-generator, sistem air pendingin utama, serta beberapa sistem lainnya yang menunjang sistem pembangkitan sabagai suatu kesatuan.

Pada sistem air pendingin utama PLTP KMJ #2, *Cooling tower* berfungsi sebagai *heat exchanger* antara air kondensat (suhu tinggi), dengan udara (suhu rendah). Kinerja daripada *cooling tower* turut

dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah komponen-komponen penyusun *cooling tower* yang mendukung proses pertukaran panas di *cooling tower* seperti diantaranya nozzle dan filling material guna memecah butiran-butiran air, kemudian *fan cooling tower* yang berperan penting terhadap jumlah laju aliran udara yang digunakan sebagai media pendingin, serta pengaruh dari alam berupa suhu udara sekitar yang tentu saja tidak dapat dimanipulasi [1].

Fan cooling tower tersusun dari motor sebagai penggerakannya, shaft yang merupakan penghubung antara *fan gearbox* dan motor, *gearbox fan*, *fan blade*, serta pompa pelumas yang mensirkulasikan oli menuju *gearbox*. Setiap *fan cooling tower* dapat dioperasikan dengan 2 mode kecepatan yang berbeda, *low speed mode* untuk putaran *fan* 95.3 rpm, dan *high speed mode* untuk putaran *fan* 127 rpm. Dengan kecepatan yang berbeda, tentunya daya terpakai oleh motor *fan cooling tower* akan berbeda, serta akan menghasilkan laju aliran udara yang berbeda pula. Pada pengoperasiannya saat ini, pemilihan mode *fan cooling tower* masih berdasarkan standard operation procedur (SOP), yaitu kelima *fan* dioperasikan pada *high speed mode* untuk beban pembangkitan normal ($\pm 55\text{MW}$) dan eksekusinya masih dilakukan secara manual oleh operator unit pembangkit.



Sumber :Dokumen pribadi

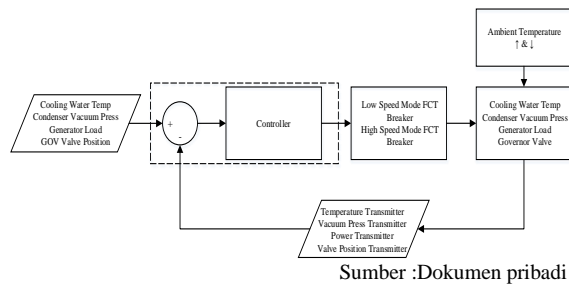
Gambar 1. Suhu Udara Sekitar Vs Suhu Air Pendingin

Dengan mengamati chart diatas, sekilas dapat terlihat karakteristik suhu air pendingin yang cenderung berbanding lurus dengan suhu udara sekitar. Dari fakta itu pula dapat diambil gagasan bahwa terdapat peluang untuk memanfaatkan fluktuasi suhu udara sekitar sehingga didapatkan efisiensi daya pemakaian sendiri dalam pengoperasian *fan cooling tower*. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa suhu udara sekitar tidak dapat dimanipulasi, sehingga ide yang dapat dimunculkan adalah manipulasi dari sisi laju aliran udara yang dihasilkan oleh *fan cooling tower*.

Manipulasi laju aliran udara dapat dilakukan dengan mengubah pola pengoperasian *fan cooling tower* [2], dimana pada kondisi normal, 5 buah *fan* bekerja dalam kondisi *high speed*. Dengan memaanuver mode kecepatan kerja satu buah (atau lebih bila memungkinkan) *fan cooling tower* menjadi *low speed*, akan didapati pengurangan daya pemakaian sendiri dari motor *fan cooling tower*, serta dengan harapan dapat mengurangi beban kerja dari mekanikal part *fan cooling tower* [3].

2. METODE PENELITIAN

Adapun metode penelitian dalam analisis otomatisasi sistem kendali *speed mode fan cooling tower*, pada sistem pendinginan unit PLTP #2, ada beberapa tahapan yang akan dilakukan. Untuk dapat mengimplementasikan sistem otomatisasi kendali mode kecepatan *fan cooling tower* tanpa memberi dampak negatif terhadap kinerja unit pembangkit, seperti penurunan daya pembangkitan dibawah rencana operasi, maka dibuat terlebih dahulu blok diagram kontrol yang mengacu pada blok diagram kontrol untuk closed loop system, dan dengan adanya faktor disturbance berupa suhu udara sekitar, maka blok diagram kontrolnya akan seperti dibawah ini :

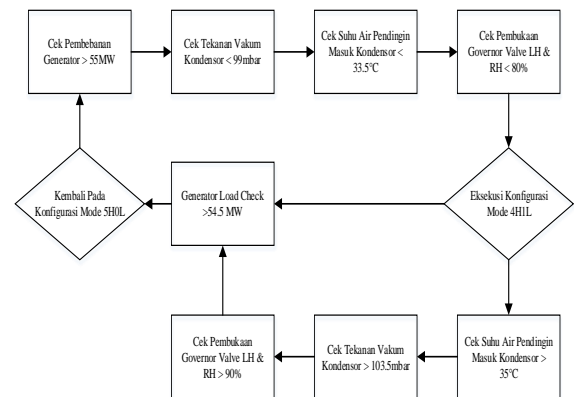


Sumber :Dokumen pribadi

Gambar 2. Rancangan Blok Diagram Kontrol

Ketika nilai parameter terukur sudah dalam batasan yang telah ditentukan pada setpoint, maka kontroler akan mengirim sinyal eksekusi kepada breaker motor *fan cooling tower* [4], dalam kasus pertama adalah *low speed mode breaker* bilamana nilai parameter berada pada batas aman untuk manuver kecepatan *fan* dari konfigurasi 5H0L menjadi 4H1L. kondisi tersebut kemudian akan mempengaruhi suhu air pendingin yang akan cenderung naik, tekanan vakum kondensor yang juga akan cenderung naik, dan daya pembangkitan generator yang akan cenderung menurun, serta posisi pembukaan governor valve yang akan membuka untuk menyesuaikan kembali pembebanan. Kondisi ini akan berlangsung sampai pada saat faktor disturbance berupa suhu udara sekitar mempengaruhi proses pendinginan di *cooling tower*, yang menyebabkan efek berantai terjadi, mulai dari perubahan suhu air pendingin, kevakuman kondensor, hingga daya pembangkitan generator.

Dengan alur proses kontrol yang sama, maka bila nilai dari parameter yang terukur oleh transmitter telah keluar dari batas aman *set point* sistem otomatisasi, dalam kasus kedua ini kontroler akan mengirim sinyal eksekusi kepada breaker motor *fan cooling tower* untuk melakukan manuver mode kecepatan *fan* yang beroperasi dalam kondisi *low speed*, kembali dioperasikan menjadi *high speed* [5] sehingga konfigurasi 4H1L akan menjadi 5H0L.



Sumber :Dokumen pribadi

Gambar 3. Diagram Alir Sistem Otomatisasi

Gambar 3 merupakan proses pada sistem otomatisasi kendali mode kecepatan *fan cooling tower*. Pemantauan berikutnya setelah salah satu dari lima *fan cooling tower* dieksekusi, adalah memonitor 3 parameter awal yang telah disebutkan sebelumnya, yaitu, daya pembangkitan generator, tekanan vakum kondensator, serta suhu air pendingin masuk kondensator. Apabila salah satu dari 3 parameter tadi melewati batasan yang telah ditentukan, secara otomatis *fan* yang telah dieksekusi sistem dan berada pada posisi *low speed mode*, akan dieksekusi kembali dengan memposisikan FCT pada kondisi semula yaitu (5 *fan cooling tower* beroperasi pada kondisi *high speed mode*). Tahapan-tahapan yang telah dijabarkan tadi akan terus berulang sebagai sebuah siklus.

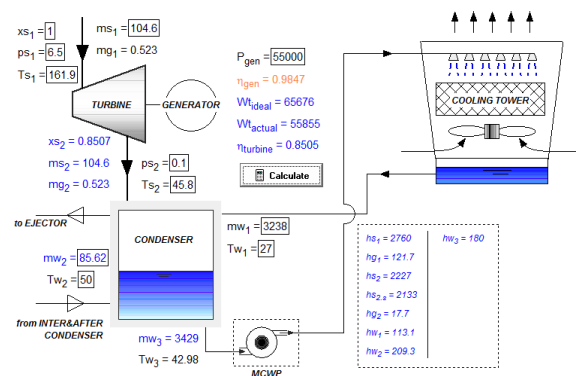
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Heat Balance

Heat balance merupakan salah satu metode yang digunakan dalam menghitung *plant heat rate* yaitu parameter ukur performa operasi suatu unit pembangkit dilihat dari sisi kandungan energi bahan bakar yang dikonsumsi menjadi daya pembangkitan. Pemodelan *heat balance* pada penelitian ini juga bertujuan untuk memastikan keterkaitan antara satu parameter dengan parameter lainnya, yang dapat

mempengaruhi daya pembangkitan generator.

Data awal yang akan digunakan adalah data desain yang diambil dari buku manual unit #2, untuk selanjutnya akan dimodelkan dengan menggunakan software Engineering Equations Solver (EES). Berikut ini adalah hasil pemodelan heat balance unit #2.



Sumber :Dokumen pribadi

Gambar 4. Pemodelan *heat balance* 100% load

Pada Gambar 4 merupakan konsep (Hukum kekekalan massa) $m_{in} = m_{out}$. Sehingga untuk *heat balance* turbin, massa uap masuk turbin yang mengandung gas, akan sama dengan massa uap dan gas yang keluar turbin. Serta pendekatan atas hukum termodinamika berupa konsep kekekalan dan kesetimbangan energi sehingga dapat dinyatakan dalam EES sebagai pernyataan berikut :

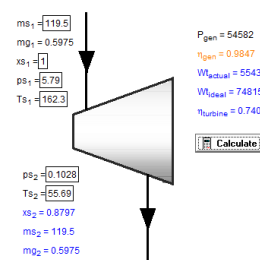
- kekekalan massa turbin :
 $ms_1 = ms_2$
 $mg_1 = mg_2$
- kesetimbangan energi turbin :
 $Wt_{actual} = ms_1 * (hs_1 - hs_2) + mg_1 * (hg_1 - hg_2)$
 $Wt_{ideal} = ms_1 * (hs_1 - hs_2.s) + mg_1 * (hg_1 - hg_2)$

Nilai massa uap yang diketahui serta nilai fraksi gas berdasarkan karakteristik sumur uap produksi, maka nilai enthalpy (h) dapat

diketahui dengan memanfaatkan algoritma software menggunakan parameter terkait yang telah diketahui, Sedangkan nilai efisiensi generator diatas diambil dari manual book generator dimana nilainya cenderung tetap bahkan untuk waktu yang cukup lama, sedangkan pada nilai efisiensi turbin akan didapat melalui pemodelan tersebut, yaitu sebesar 85%. Untuk pemodelan heat balance kondensor, juga diberlakukan hal serupa sebagaimana pemodelan turbin.

Kondensor & Turbin

Sistem yang terkait dan membutuhkan sistem air pendingin utama guna menunjang kinerjanya adalah sistem turbin generator. Suhu air pendingin yang keluar pada *cooling tower*, disalurkan menjadi suhu air pendingin masuk kondensor. Dengan suhu air yang semakin rendah, maka proses pertukaran panas di kondensor akan semakin baik, dan hal ini berpengaruh pada tekanan (vakum) kondensor [4]. Kevakuman yang semakin baik, akan memudahkan proses hisap uap bekas ekspansi turbin, sebaliknya, semakin tinggi tekanan kondensor (kevakuman semakin buruk), semakin sulit pula proses hisap tersebut, sehingga proses ekspansi turbin akan terganggu karena laju uap di turbin akan terhambat yang kemudian menyebabkan penurunan kinerja sistem turbin generator. hal ini diindikasikan dengan terjadinya penurunan daya pembangkitan generator [5].

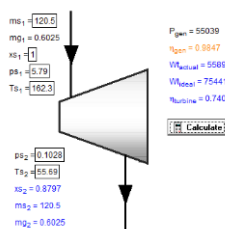


Sumber :Dokumen pribadi

Gambar 5. Simulasi Kenaikan Tekanan Vakum Kondensor

Dengan menggunakan pemodelan heat balance, dapat dilakukan simulasi perubahan nilai tekanan kondensor dan pengaruhnya terhadap daya pembangkitan. Simulasi ini akan menggunakan nilai efisiensi turbin sebesar 74.09% sesuai dengan pemodelan heat balance sebelumnya yang berdasarkan data operasi, dan tekanan vakum kondensor akan dinaikkan sebesar 0.005 bar.

Pemodelan pada Gambar 6 membuktikan bahwa perubahan pada nilai vakum kondensor dengan penambahan 0,005 bar, menyebabkan penurunan daya pembangkitan 572 kW. Bila diperhatikan chart perbandingan data operasi pada gambar 4.7 tidak tampak karakteristik yang serupa antara vakum kondensor dengan daya pembangkitan generator. Hal ini sangat mungkin disebabkan oleh sistem kendali turbine valve yang menggunakan mode load reference, yaitu sistem pembangkitan akan melakukan usaha untuk mencapai setpoint daya pembangkitan yang ditetapkan.



Sumber :Dokumen pribadi

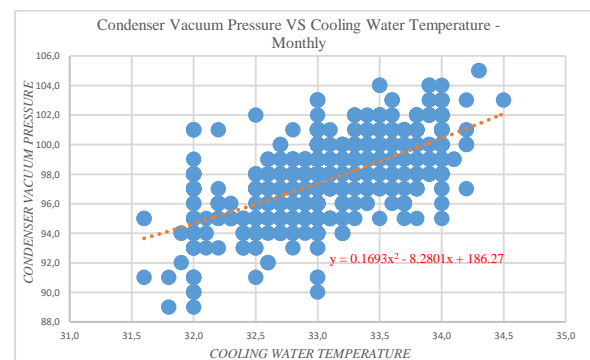
Gambar 6. Simulasi Penambahan Flow Uap Turbin

Dari simulasi diatas, ketika terjadi kenaikan 0,005 bar pada tekanan (vakum) kondensor, sehingga beban generator turun sebesar 572 kW, dengan menambahkan laju aliran uap menuju turbin (seolah-olah GOV membuka lebih besar) sebanyak 1 kg/s, maka pembebanan generator / daya pembangkitan dapat naik kembali hingga 511 kW. Dengan demikian, bilamana terjadi kondisi yang dapat menyebabkan vakum kondensor naik sehingga daya pembangkitan dapat berkurang [7], akan diantisipasi oleh sistem dengan menambah

jumlah uap yang di konsumsi oleh turbin, selama masih tersedia ruang bagi GOV untuk menaikkan persentase pembukaan valve.

Perancangan Batasan Operasi

Batasan operasi, perlu ditentukan untuk perancangan otomatisasi sistem kendali mode kecepatan FCT ini, sebagai setpoint bagi parameter-parameter yang menjadi permissive sistem. Batas atas sebagai indikator bahwa sistem pembangkitan telah berada pada kondisi yang aman untuk melakukan eksekusi manuver mode kecepatan FCT, dari *high speed* mode menjadi *low speed* mode. Sebaliknya, batas bawah mengindikasikan bahwa unit pembangkit membutuhkan sistem air pendingin utama untuk bekerja pada keadaan maksimal, yaitu dengan mengoperasikan seluruh *fan cooling tower* pada *high speed* mode [6]. Dengan menggunakan perhitungan L/G ratio telah diketahui pengaruh perubahan laju aliran udara bilamana dikondisikan pola operasi 4H 1L terhadap suhu air keluaran proses *cooling tower*, lalu ditentukan korelasi antara kenaikan suhu air terhadap tekanan vakum kondensor berdasarkan karakteristik data operasi saat ini.



Sumber :Dokumen pribadi

Gambar 7. Suhu Air Pendingin VS Tekanan Vakum Kondensor

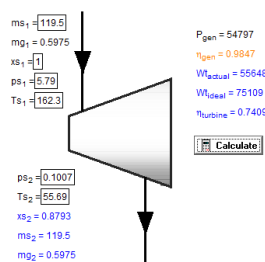
Setelah diketahui persamaan antara 2 parameter diatas, kemudian dengan memasukkan suhu air pendingin dengan pengaruh perubahan laju udara sebesar

34.06°C, akan dapat diketahui perubahan nilai vakum kondensor.

$$y = 0.1693x^2 - 8.2801x + 186.$$

dimana, $x = 34.06$
maka, $y = 100.65$ mbar

Lalu dimodelkan kembali untuk mengetahui pengaruhnya terhadap daya pembangkitan.



Sumber :Dokumen pribadi

Gambar 8. Daya Pembangkitan dengan Pola Operasi FCT 4H 1L

Informasi yang diketahui dari pemodelan diatas adalah, ketika generator dapat menghasilkan daya pembangkitan sebesar 55.1MW dengan mengoperasikan 5 *fan cooling tower* dalam kondisi *high speed*, maka apabila satu dari kelima *fan* tersebut dimanuver menjadi *low speed*, akan menaikkan suhu air pendingin sebesar 0.96°C sehingga tekanan vakum kondensor turut naik menjadi 0.1007 bar, dampak yang diberikan terhadap daya pembangkitan unit adalah penurunan output generator sebesar 303kW sehingga menjadi 54.797kW.

Pada batasan operasi sistem kendali nanti, akan terdapat range operasi untuk setiap setpoint, hal ini dimaksudkan sebagai range toleransi operasi dari sistem kendali otomasi tersebut sehingga menghindari terjadinya perubahan yang terlalu singkat antara kondisi aktif menjadi normal dan sebaliknya. Hasil perhitungan serta pemodelan tersebut ditampilkan pada tabel berikut

Tabel 1. Hasil Perhitungan Vakum Kondensor dan Pemodelan Daya Generator

suhu air pendingin (°C)	tekanan vakum kondensor (mbar)	daya pembangkitan generator (kW)	suhu air pendingin (°C)	tekanan vakum kondensor (mbar)	daya pembangkitan generator (kW)
33.1	97.69	55111	34.1	100.78	54787
33.2	97.98	55081	34.2	101.11	54756
33.3	98.28	55049	34.3	101.44	54725
33.4	98.58	55017	34.4	101.78	54684
33.5	98.88	54986	34.5	102.12	54653
33.6	99.19	54954	34.6	102.46	54613
33.7	99.50	54921	34.7	102.80	54582
33.8	99.82	54888	34.8	103.15	54542
33.9	100.14	54859	34.9	103.50	54512
34.0	100.46	54817	35.0	103.86	54472

Sumber :Dokumen pribadi

Berdasarkan spesifikasi generator, nominal daya pembangkitan optimal generator adalah sebesar 55MW, maka bilamana generator beroperasi hingga melampaui nominal daya tersebut, dapat dikatakan target pembangkitan telah terpenuhi, sehingga nilai 55MW akan ditentukan sebagai batas aman untuk permissive melakukan manuver mode kecepatan *fan cooling tower* menjadi konfigurasi 4H1L. Sedangkan untuk mengembalikan mode kecepatan FCT menjadi 5H0L, akan ditentukan berdasarkan nilai penjualan bersih unit pembangkit berdasarkan kontrak manajemen sebesar 52.5MW ditambah dengan total daya pemakaian sendiri untuk satu unit yang berada dikisaran 2MW berdasarkan data operasi, sehingga batasan yang digunakan adalah sebesar 54.5MW.

Tabel 2. Parameter Batasan Operasi

parameter setpoint	unit	batas bawah (aktif)	batas atas (normal)
Generator Load	MW	> 55.0	< 54.5
Condenser Vacuum Pressure	mBar	< 98.0	> 103.5
Condenser Water Inlet Temp	°C	< 33.5	> 35.0
Governor Valve Position	%	< 80	> 90

Sumber :Dokumen pribadi

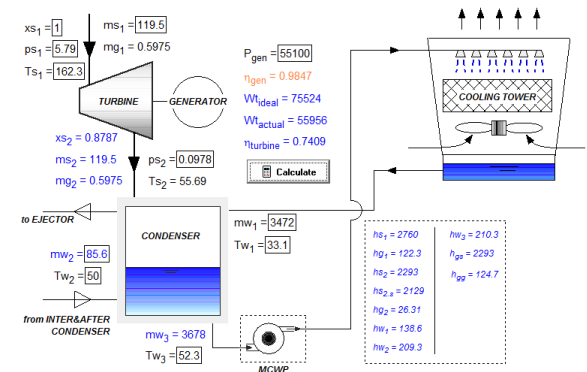
Batasan untuk tekanan vakum kondensor dan suhu air pendingin berada pada titik dimana generator dapat membangkitkan 55MW, yaitu pada suhu kurang dari 33.5°C dan tekanan vakum kurang dari 99mbar, sehingga mode konfigurasi 4H1L dapat diaktifkan. Sedangkan mode efisiensi dengan 4H1L akan kembali menjadi 5H0L pada daya pembangkitan generator dititik 54.5MW dengan suhu air pendingin berada lebih dari 35°C dan tekanan vakum lebih dari 103.5mbar. Setpoint untuk posisi pembukaan governor valve ditentukan berdasarkan asumsi bahwa dengan range 10% ketika mode 4H1L aktif, dapat menyeimbangkan kembali daya pembangkitan generator sesuai dengan target pembangkitan senilai 55MW, serta 10% cadangan pembukaan governor valve untuk mengantisipasi gangguan yang disebabkan faktor diluar dari sistem air pendingin.

Analisis Data

Analisis data operasi diperlukan guna memverifikasi kondisi aktual unit operasi, serta meyakinkan gagasan terhadap peluang untuk modifikasi yang akan diterapkan pada kendali kecepatan *fan cooling tower*.

Pemilihan waktu data operasi turut menjadi penting, dikarenakan kondisi unit pembangkitan yang tidak lepas dari jadwal pemeliharaan periodik dan rencana pembangkitan yang telah disusun oleh pihak distribusi, serta gangguan unit yang menyebabkan penurunan beban atau bahkan hilang beban sepenuhnya.

Nilai rata-rata bulanan parameter tersebut nantinya akan digunakan dalam pemodelan *heat balance*, salah satu tujuannya adalah untuk membandingkan kondisi unit saat ini terhadap desain unit pembangkitan, juga untuk mengetahui terjadinya penurunan performa dari suatu peralatan pada kondisi operasi saat ini.



Sumber :Dokumen pribadi

Gambar 9. Pemodelan Heat Balance Berdasarkan Data Operasi

Tabel 3. Rangkuman data operasi

parameter operasi	satuan	rata-rata				
		bulanan	minggu 1	minggu 2	minggu 3	minggu 4-5
Generator Load	MW	55.1	55.25	55.08	55.06	55.03
Turbine Steam Flow	T/h	430.3	432.19	430.37	430.94	427.81
Turbine Steam Inlet Temp	°C	162.3	163.7	162.1	161.3	162.11
Turbine Steam Outlet Temp	°C	55.7	56.4	55.2	55.4	55.7
Turbine Steam Inlet Pressure	Bar	5.79	5.80	5.78	5.80	5.77
Condenser Vacuum Pressure	mBar	97.80	96.17	96.88	97.98	99.73
Condenser Water Inlet Flow	T/h	13195.2	13212.9	13343.7	13073.1	13164.28
Condenser Water Inlet Temp	°C	33.1	33.2	33.0	33.1	33.32
Condenser Water Outlet Temp	°C	52.3	52.4	52.1	52.2	52.52
Ejector Gas Inlet Flow	T/h	0.861	0.864	0.861	0.862	0.86
Ejector Gas Inlet Temperature	°C	44.3	44.3	44.1	44.3	44.38

Sumber :Dokumen pribadi

Cooling Tower & Kondensor

Sistem air pendingin utama merupakan sistem vital dalam suatu unit pembangkitan, termasuk pula di unit PLTP Unit #2. Fungsi utama dari sistem tersebut adalah menyediakan air pendingin, sesuai dengan kebutuhan sistem, untuk kemudian digunakan sebagai media pendinginan pada kondensor. *Cooling tower* dan kondensor, serta main circulating water pump (MCWP), adalah peralatan yang berperan penting dalam sistem air pendingin utama. Air pendinginan merupakan media pendingin guna menyerap panas yang dibawa oleh uap

bekas hasil ekspansi turbin. Nilai kalor (panas) uap yang diserap oleh air dalam kondensor, dapat diketahui dengan persamaan laju perpindahan panas dibawah ini :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \dots\dots\dots(1)$$

- Q : kalor diserap
- m : massaf \dot{m} fluida
- c : kalor jenis fluida
- ΔT : perubahan suhu
- $\Delta T = T_1 - T_0$
- $c_{air} = 4.2 \text{ kJ/kg}$

dengan demikian

$$Q_{air} = 3472 \times 4,2 \times (52,3 - 33,1) = 279.982,08 \text{ kW}$$

Untuk kalor yang dilepas oleh sistem (kondensor), dimana terjadi perubahan fasa dari uap menjadi air, dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_{kondensor} = m \cdot (h_1 - h_0) \dots\dots\dots(2)$$

sehingga,

$$Q_{kondensor} = 119,5 \times (209,3 - 2293) = 249.064,66 \text{ kW}$$

Berdasarkan perhitungan *heat duty* kondensor ketika commisioning, dimana persentase efisiensi kondensor adalah sebesar 101.3% sehingga diketahui selisih antara kondisi ideal dengan kondisi aktual commisioning adalah sebesar 1.3% antara $Q_{kondensor}$ (Q_{in}) dan Q_{air} (Q_{out}), maka dari kedua perhitungan diatas, dapat diketahui *heat duty* kondensor saat ini.

$$\frac{Q_{in}}{Q_{out}} = \frac{249.064,66}{279.982,08} = 1,124$$

Dengan asumsi efektifitas kondensor adalah sesuai dengan desain heat balance 100% pembebanan sebagaimana yang digunakan pada pemodelan, yaitu senilai 0.85, maka dapat diambil kesimpulan bahwa kondisi kondensor saat ini memiliki selisih 12.4% terhadap kondisi ideal untuk sebuah proses isothermal, dengan kata lain,

untuk nilai efektifitas yang tetap, saat ini kondensor telah mengalami penurunan efisiensi.

Kembali pada proses perpindahan panas di kondensor, jika semakin optimal kinerja *cooling tower*, maka semakin rendah suhu air masuk ke kondensor (T_0), maka nilai ΔT akan semakin besar, sehingga jumlah kalor yang diserap pada proses pertukaran panas terhadap uap dari ekspansi turbin. Suhu air pendingin tadi juga akan mempengaruhi tekanan kevakuman kondensor.

Sesuai dengan gagasan penelitian yang telah disampaikan diawal, yaitu peluang efisiensi pemakaian daya sendiri pada *fan cooling tower*, maka hal ini akan berkaitan dengan salah satu parameter performa *cooling tower*, yaitu *L/G Ratio*, yang membandingkan laju aliran air kondensat (L), dengan laju aliran udara (G) yang dihisap ke dalam sistem *cooling tower*. Dimana nilai G ditentukan oleh kinerja dari *fan cooling tower*. Dengan memiliki 2 mode kecepatan *fan*, laju aliran udara yang dapat dihisap sebagai udara pendinginan di *cooling tower* tentu akan berbeda disetiap mode kecepatan. Hal ini dapat diketahui dari persamaan :

$$\frac{L}{G} = \frac{(h_2 - h_1)}{(T_1 - T_2)} \dots\dots\dots(3)$$

- L: laju aliran air
- G: laju aliran udara
- h_1 : enthalpy udara masuk *cooling tower*
- h_2 : enthalpy udara keluar *cooling tower*
- T_1 : suhu air masuk
- T_2 : suhu air keluar

Dengan nilai *L/G ratio* yang dinyatakan dalam manual *book cooling tower* sebesar 1,10 dan diketahui suhu bola basah dan bola kering saat ini, yang mana suhu udara sekitar akan mempengaruhi enthalpy atas udara pendinginan yang dihisap *cooling tower* (h_1), maka selanjutnya perlu untuk diketahui nilai enthalpy dari udara keluar *cooling tower* (h_2), sehingga akan dapat

dihitung nilai G pada kondisi operasi saat ini. Dengan mengubah persamaan diatas menjadi :

$$h2 = h1 + L/G \times (T2 - T1)$$

Maka didapat hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4. Perhitungan G Aktual Pada L/G Ratio

parameter	nilai	L	T1	T2	L/G ratio
dry bulb temp	20.8	3678	52.3	33.1	1.10
wet bulb temp	18.8				
h1	53.29				
h2			74.41		
□h			21.12		
L(T1-T2)			70617.6		
G (5H0L) total			3343.64		
G high speed per fan			668.73		
high : low speed ratio			0.75		
G low speed per fan			501.55		

Sumber :Dokumen pribadi

Dinyatakan dalam *manual book* pembangkitan untuk peralatan *cooling tower*, laju aliran udara dengan kondisi *high speed* untuk 1 buah fct adalah sebesar 720 m³/s dan dalam kondisi *low speed* sebesar 540 m³/s. Jika diasumsikan berdasarkan persentase laju aliran udara dari 2 mode kecepatan tersebut, maka laju aliran udara pada kondisi *low speed* adalah sebesar 75% laju aliran udara pada kondisi *high speed*. Dengan demikian, nilai G untuk satu unit fct pada kondisi *low speed* adalah :

$$G = 668.73 \times 75\% \\ = 501.55 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nilai tersebut akan dimasukkan kembali dalam persamaan (2) , untuk mengetahui efek dari perubahan 1 buah unit *fan cooling tower* terhadap kemampuan pendinginan *cooling tower*, yang mulanya beroperasi dalam kondisi *high speed*, kemudian dimanuver menjadi kondisi

operasi *low speed*. Pada kondisi ini, konfigurasi pengoperasian *fan cooling tower* adalah 4 *high* & 1 *low speed* (4H1L).

$$L(T2 - T1) = G(h2 - h1) \\ G = (4 \times 668.73) + (1 \times 501.55) \\ = 3176.45 \\ (T2 - T1) = (3176.45 \times 21.12) / 3678 \\ \Delta T = 18.24 \text{ }^\circ\text{C} \\ T2 = 34.06 \text{ }^\circ\text{C}$$

Telah diketahui bahwa perubahan konfigurasi pengoperasian *fan cooling tower* dari 5 *high* menjadi 4 *high* & 1 *low*, berimbas pada naiknya suhu air keluaran proses di *cooling tower* menjadi 34.06 °C, artinya naik 0.96 °C dari suhu sebelumnya. Dengan konfigurasi operasi 4H1L *fan cooling tower*, terdapat pula perbedaan daya yang dikonsumsi bila dibandingkan dengan konfigurasi operasi 5H0L *fan cooling tower*.

Tabel 5. Perhitungan Selisih Konsumsi Daya Motor Fan Cooling Tower

Parameter	√3	cos pi (high speed)	cos pi (low speed)	Tegangan Motor	Arus (H) rata-rata per FCT	Arus (L) rata-rata per FCT
Nilai	1.73	0.85	0.80	380	180.37	80
P high speed per FCT (kW)						100.79
P high speed FCT total (kW)						503.94
P low speed per FCT (kW)						42.07
ΔP (5H0L - 4H1L)						58.72

Sumber :Dokumen pribadi

Pada Tabel 5 diketahui selisih konsumsi daya motor *fan cooling tower* antara kedua konfigurasi operasi *fan* tersebut adalah sebesar 42.07kW, dengan menggunakan rumus standar pehitungan daya motor induksi, Sehingga didapatkan nilai selisih daya antara mode 5H0L dengan 4H1L adalah sebesar 58.72kW.

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{faktor daya}$$

4. SIMPULAN

Setelah melakukan analisis pada data di bulan Januari 2018, dan melakukan perbandingan serta verifikasi baik dengan manual book unit pembangkit, pemodelan menggunakan software EES, serta persamaan matematis, maka telah didapatkan efisiensi daya pemakaian sendiri untuk unit pembangkit dengan melakukan otomatisasi sistem kendali mode kecepatan *fan cooling tower* pada unit PLTP UNIT #2. Perubahan pola pengoperasian *fan cooling tower* dari yang semula beroperasi seluruhnya pada mode *high speed* (5H0L) menjadi 4 *fan* dalam mode *high speed* dan 1 *fan* dalam mode *low speed* (4H1L) tidak menurunkan kehandalan maupun kinerja unit pembangkitan. Analisis yang dilakukan meliputi hubungan sebab akibat diantara suhu air pendingin keluar cooling tower, tekanan vakum kondensor, serta daya pembangkitan generator. Efisiensi daya yang diperoleh dari keberhasilan perubahan tersebut adalah sebesar 58.72kW. Bila dinyatakan dalam nominal rupiah, dengan asumsi implementasi selama 5 jam perhari, serta perhitungan menggunakan tarif dasar listrik industri saat ini sebesar Rp. 995.00 yang merupakan ketetapan pemerintah, maka nilai efisiensinya akan setara dengan Rp. 106.834.051,39- per tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Eknath. D. Kharat, Amit B Gavali "Cooling Tower Automation," *Proceeding of Technology International Conference on convergen* 2014.
- [2] Anggun Sukarno, Bono, Budhi Prasteyo "Analisis Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Kinerja Kondensor Di Pltu Tanjung Jati B," *Eksergi* vol. 10, no. 2, pp. 65–71, 2014.
- [3] Atoni, Kisman. H. Mahmud, "Pengaruh Variasi Temperatur Air Pendingin Kondensor Terhadap Tekanan Pada Beban Tetap," *JISI UMJ*, Vol 02, no. 1 pp. 1–10, 2014.
- [4] Raden Suhardi Putra, "Analisa Perhitungan Beban Cooling Tower," *Jurnal Tehnik Mesin (JTM)*, vol. 04, no. 2 Juni, pp. 56–62, 2015.
- [5] Sukamto Dibyo, "Perhitungan Desain Termal Kondensor Pada Sistem pendingin pwr," *Prosiding Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta*. 5 November, pp. 323–332, 2009.
- [6] Marlon Hetharia, Yolanda J. Lewerissa "Analisis Energi Pada Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Dengan Cycle Tempo," *Jurnal Voering*, vol. 3, no. 1, p. 23, 2018.