

Analisis Pengaruh Tekanan Fluida Pemanas pada LPH terhadap Efisiensi dan Daya PLTU 1x660 MW dengan Simulasi *Cycle Tempo*

Muhammad Ismail Bagus Setyawan dan Prabowo

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: prabowo@me.its.ac.id

Abstrak—Salah satu upaya peningkatan siklus Rankine adalah penggunaan *closed feedwater heater*. Fokus penelitian ini adalah LPH (*low pressure heater*) milik PLTU 1x660 MW. Pembangkit ini memiliki 4 buah LPH yang fluida pemanasnya diambil dari ekstraksi LP (*low pressure*) *turbine*. Penelitian menggunakan variasi tekanan fluida pemanas LPH. Nilai tekanan yang digunakan adalah rasio perbandingan tekanan fluida pemanas LPH terhadap tekanan fluida masuk LP *turbine*. Penelitian menganalisis ke empat LPH secara individual, yaitu ketika satu LPH diubah tekanan fluida pemanasnya, tekanan fluida pemanas LPH yang lain tidak berubah dari keadaan *existing*. Analisis yang dilaksanakan dibantu oleh perangkat lunak *Cycle Tempo* versi 5.1 yang dikembangkan oleh Asimptote, sebuah perusahaan asal Belanda yang bergerak di bidang industri pembangkit. Hasil dari penelitian didapatkan bahwa pada setiap LPH terdapat rasio optimum tekanan fluida pemanas terhadap tekanan fluida masuk LP *turbine*. Rasio optimum tekanan fluida pemanas LPH #5 dan LPH #8 terhadap tekanan fluida masuk LP *turbine* berada pada keadaan *existing*, yaitu 0,41 dengan tekanan kerja fluida pemanas sebesar 3,88 bar, dan 0,027 dengan tekanan kerja fluida pemanas sebesar 0,259 bar secara berurutan. Sedangkan rasio optimum tekanan fluida pemanas LPH #6 dan LPH #7 terhadap tekanan fluida masuk LP *turbine* secara berurutan berada pada rasio 0,2 dengan tekanan kerja fluida pemanas sebesar 1,89 bar, dan 0,07 dengan tekanan kerja fluida pemanas sebesar 0,7 bar. Penelitian juga menunjukkan bahwa tekanan fluida pemanas LPH #6 cenderung dominan dibanding LPH yang lain di dalam pengaruh perubahan performa pembangkit. Dalam analisis pada saat tekanan fluida pemanas LPH #6 berada pada tekanan kerja 1,89 bar dengan rasio sebesar 0,2 dan LPH yang berada pada kondisi *existing*, daya yang dihasilkan adalah 660,378 MW dan efisiensi pembangkit yang dihasilkan adalah 40,028%. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa data desain PLTU 1x660 MW sudah optimum dengan daya total 660,289 MW dan efisiensi pembangkit sebesar 40,022%.

Kata Kunci—*Low Pressure Heater*, Efisiensi Pembangkit, Daya Pembangkit, *Cycle Tempo*, Rasio Ekstraksi *Feedwater Heater*.

I. PENDAHULUAN

PENINGKATAN performa siklus Rankine dapat dicapai dengan penambahan beberapa komponen, salah satunya adalah dengan menambah *closed feedwater heater*. *Closed feedwater heater* berguna sebagai komponen yang memanaskan fluida kerja sebelum masuk ke *boiler*. Karena bertambahnya suhu fluida kerja yang masuk ke *boiler*, maka kalor yang masuk ke dalam pembangkit menjadi lebih rendah. Penurunan kalor tersebut berdampak kepada meningkatnya efisiensi pembangkit, dan menurunnya bahan bakar yang

digunakan di dalam pembangkit [1]. *Closed feedwater heater* sendiri dalam aplikasinya terbagi menjadi 2 jenis. Yang pertama adalah HPH (*high pressure heater*) yang sesuai namanya jenis ini beroperasi pada fluida pemanas bertekanan tinggi. Yang kedua adalah LPH yang merupakan jenis *closed feedwater heater* yang beroperasi pada fluida pemanas yang bertekanan rendah. Dalam *closed feedwater heater*, terdapat 2 parameter yang dilihat untuk mengecek performa dari komponen tersebut. Dua parameter tersebut ialah TTD (*temperature terminal difference*) dan DCA (*drain cooling approach*). TTD merupakan hasil pengurangan suhu saturasi fluida pemanas dengan suhu fluida kerja keluar, sedangkan DCA merupakan hasil pengurangan suhu fluida pemanas keluar dengan suhu fluida kerja masuk [2].

Perubahan tekanan fluida pemanas *closed feedwater heater* menghasilkan perubahan performa pembangkit. Pada setiap komponen tersebut akan memiliki tekanan optimum fluida pemanas yang menghasilkan performa pembangkit terbesar [3]. Selain dari perubahan tekanan fluida pemanas, laju alir massa fluida pemanas masuk *closed feedwater heater* juga memengaruhi performa pembangkit. Hal tersebut dapat terjadi lantaran fluida pemanas komponen tersebut pada umumnya berasal dari ekstraksi turbin. Efek dari perubahan laju alir massa fluida pemanas adalah semakin bertambah laju alir massa fluida ekstraksi, maka daya yang dihasilkan akan turun. Sebaliknya daya yang dihasilkan akan meningkat bila laju alir massa fluida ekstraksi berkurang [4].

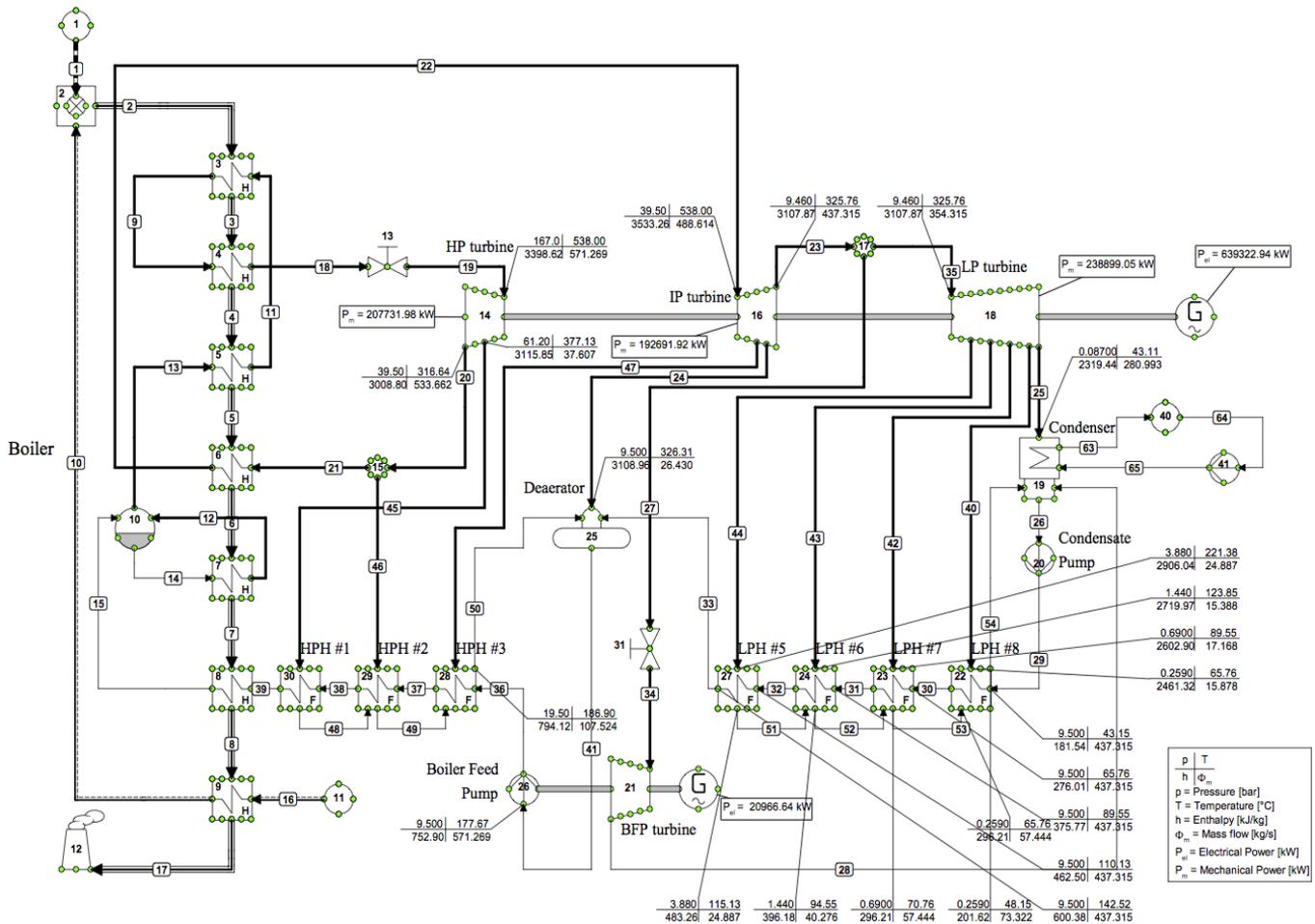
Dalam penelitian ini dilakukan variasi tekanan untuk setiap fluida pemanas LPH pada PLTU 1x660 MW. Dalam hal ini, nilai tekanan yang digunakan berasal dari rasio tekanan fluida pemanas LPH dibanding dengan tekanan fluida masuk LP *turbine*. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui pengaruh tekanan fluida pemanas LPH terhadap daya dan efisiensi pembangkit. Selain itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui rasio optimum tekanan fluida pemanas LPH terhadap tekanan fluida masuk LP *turbine* yang menghasilkan daya dan efisiensi pembangkit terbesar. Penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui LPH mana yang memiliki dominasi terbesar terhadap perubahan daya dan efisiensi pembangkit. Yang terakhir, penelitian ini dilakukan untuk memverifikasi data desain PLTU 1x660 MW.

II. METODOLOGI

Variasi Tekanan Fluida Pemanas LPH —Penelitian dilaksanakan dengan memvariasikan tekanan fluida ekstraksi

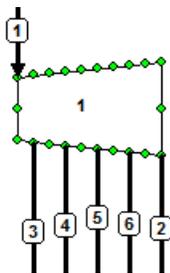
LP turbine. Variasi tekanan didefinisikan ke dalam satuan rasio tekanan fluida ekstraksi dengan tekanan fluida masuk LP

Tabel 1 dan 2 merupakan variasi-variasi yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini. Dalam penelitian ini terdapat



turbine. Gambar 2 menunjukkan point untuk setiap inlet dan outlet pada LP turbine. Titik 1 merupakan fluida masuk turbin, kemudian titik 2 merupakan fluida keluar turbin, dan yang terakhir titik 3 sampai 6 merupakan fluida ekstraksi.

4 variasi rasio tekanan yang dilaksanakan. Variasi-variasi tersebut didefinisikan sebagai VAR-1, VAR-2, VAR-3, dan VAR-4. VAR-1 merupakan variasi yang hanya mengubah



Gambar 2. LP turbine pada perangkat lunak Cycle Tempo

Tabel 1 Variasi tekanan fluida pemanas LPH

Kondisi	Variasi Tekanan (rasio – P _{ekstraksi} /P ₁)				
	existing	LPH #5 (3)	LPH #6 (4)	LPH #7 (5)	LPH #8 (6)
VAR-1	0,41	√	-	-	-
VAR-2	0,152	-	√	-	-
VAR-3	0,077	-	-	√	-
VAR-4	0,027	-	-	-	√

Tabel 2 Rasio untuk setiap variasi

Rasio VAR-1	Rasio VAR-2	Rasio VAR-3	Rasio VAR-4
0,18	0,1	0,04	0,015
0,19	0,11	0,05	0,02
0,24	0,12	0,06	0,022
0,29	0,13	0,07	0,024
0,37	0,14	0,077	0,027
0,41	0,152	0,08	0,03
0,5	0,16	0,085	0,035
0,6	0,2	0,1	0,04
0,7	0,3	0,11	0,045
0,8	0,35	0,12	0,05

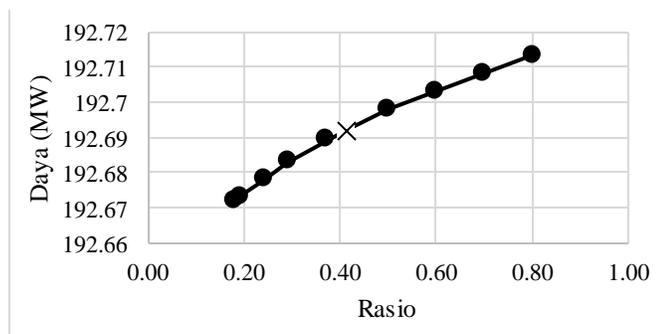
tekanan fluida ekstraksi LPH #5. VAR-2 merupakan variasi yang hanya mengubah tekanan fluida ekstraksi LPH #6. VAR-3 merupakan variasi yang hanya mengubah tekanan fluida ekstraksi LPH #7. VAR-4 merupakan variasi yang hanya mengubah tekanan fluida ekstraksi LPH #8.

Pemilihan batas atas dan bawah untuk variasi rasio yang dilaksanakan untuk setiap variasi bergantung dari posisi LPH

tersebut. Batas bawah pada VAR-1 merupakan tekanan fluida ekstraksi LPH #6, sedangkan batas atasnya merupakan tekanan fluida masuk LP turbine. Batas bawah pada VAR-2 merupakan tekanan fluida ekstraksi LPH #7, sedangkan batas atasnya merupakan tekanan fluida ekstraksi LPH #5. Batas bawah pada VAR-3 merupakan tekanan fluida ekstraksi LPH #8, sedangkan batas atasnya merupakan tekanan fluida ekstraksi LPH #6. Batas bawah pada VAR-4 merupakan tekanan fluida keluar LP turbine, sedangkan batas atasnya merupakan tekanan fluida ekstraksi LPH #7.

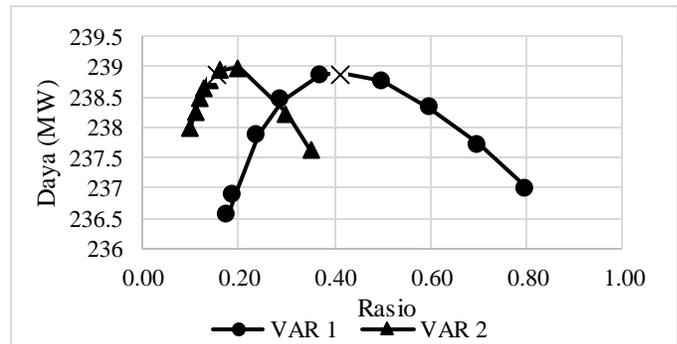
Hasil utama yang dicatat dalam penelitian ini adalah daya turbin, dan efisiensi pembangkit. Selain itu, perubahan nilai *properties* per tingkat keadaan juga dicatat. Pemilihan rasio optimum didasari rasio tekanan yang memiliki daya turbin, dan efisiensi pembangkit terbesar dibanding yang lain. Setelah didapatkan rasio optimum untuk setiap variasi, kemudian rasio tersebut dibandingkan antar variasi untuk mengetahui pada variasi yang mana daya yang dihasilkan mendapatkan hasil terbaik. Selain membandingkan hasil dengan rasio optimum tiap variasi, juga dibandingkan dengan hasil bila simulasi menggunakan semua rasio optimum yang telah didapatkan untuk setiap LPH.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN



Gambar 3 Pengaruh rasio LPH #5 terhadap daya IP turbine (tanda silang=*existing*).

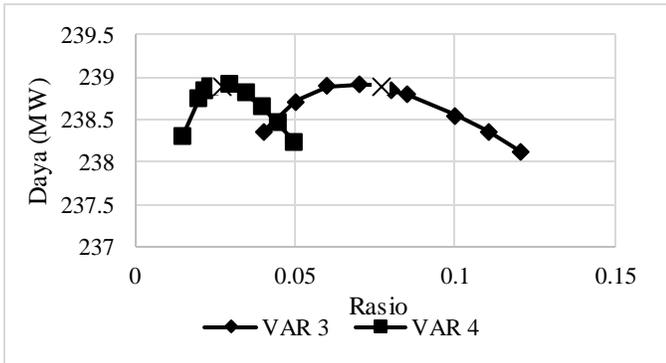
Gambar 3 menunjukkan perubahan daya IP (*intermediate pressure*) turbine pada saat tekanan fluida pemanas LPH #5 dirubah. Karena suhu fluida keluar *deaerator* dijaga konstan, maka ketika tekanan fluida pemanas LPH #5 meningkat, laju alir massa fluida ekstraksi *deaerator* menurun yang didapat dari ekstraksi IP turbine. Oleh karena itu, pada saat yang sama, laju alir massa fluida keluar IP turbine mengalami penurunan. Perubahan tersebut menyebabkan perubahan daya yang dihasilkan oleh IP turbine. Akan tetapi dari penelitian yang telah dilakukan, perubahan daya sekitar 41 KW antara rasio terendah yang dilakukan (0,18) dan rasio tertinggi yang dilakukan (0,8).



Gambar 4 Pengaruh rasio LPH #5 dan #6 terhadap daya LP turbine (tanda silang=*existing*).

Gambar 4 menunjukkan perubahan daya LP turbine pada rasio LPH #5 dan #6. Dalam penelitian ini, terdapat puncak atau rasio optimum yang menghasilkan daya terbesar untuk setiap variasi. Pada VAR-1, hal tersebut disebabkan oleh perubahan laju alir massa dan entalpi fluida pemanas masuk LPH #5 dan laju alir massa fluida masuk LP turbine. Ketika tekanan fluida pemanas LPH #5 dinaikkan, laju alir massa fluida pemanas masuk LPH #5 meningkat. Perubahan laju alir massa fluida keluar IP turbine yang meningkat menyebabkan laju alir massa fluida masuk LP turbine juga meningkat. Didapatkan bahwa rasio atau tekanan *existing* fluida pemanas LPH #5 menghasilkan daya LP turbine terbesar, yaitu 0,41 pada tekanan kerja fluida pemanas LPH #5 sebesar 3,88 bar. Penurunan daya terjadi pada rasio 0,18 sebab walaupun laju alir massa dan entalpi fluida pemanas masuk LPH #5 menurun, tetapi laju alir massa fluida masuk LP turbine juga menurun. Penurunan daya terjadi pada rasio 0,8 sebab walaupun laju alir massa fluida masuk LP turbine meningkat, tetapi laju alir massa dan entalpi fluida pemanas masuk juga LPH #5 meningkat.

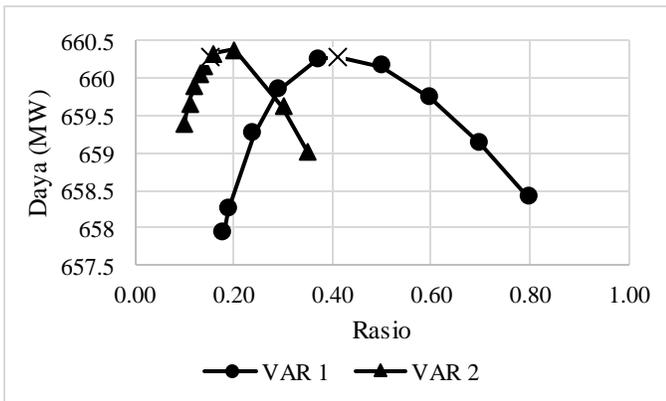
Pada VAR-2, laju alir massa fluida pemanas LPH #6 mengalami peningkatan seiring bertambahnya tekanan fluida pemanas komponen tersebut. Laju alir massa fluida pemanas LPH #5 mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya tekanan fluida pemanas LPH #6. Perubahan laju alir massa dan entalpi fluida pemanas masuk LPH #6 dan laju alir massa fluida pemanas LPH #5 menyebabkan perubahan daya yang dihasilkan oleh LP turbine. Didapatkan bahwa rasio 0,2 pada tekanan kerja fluida pemanas 1,69 bar menghasilkan daya terbesar. Penurunan daya pada rasio 0,1 sebab walaupun laju alir massa fluida pemanas masuk LPH #5 menurun, tetapi laju alir massa dan fluida pemanas LPH #6 meningkat. Penurunan daya terjadi pada rasio 0,35 sebab walaupun laju alir massa dan entalpi fluida pemanas masuk LPH #6 menurun, tetapi laju alir massa fluida pemanas masuk LPH #5 meningkat.



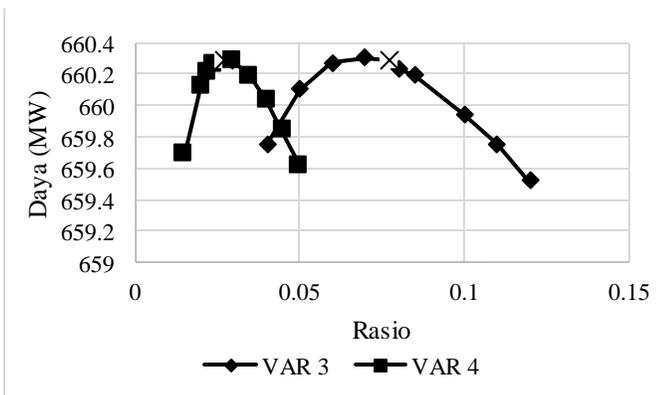
Gambar 5 Pengaruh rasio LPH #7 dan #8 terhadap daya LP turbine (tanda silang=*existing*).

Gambar 5 menunjukkan perubahan daya LP turbine pada perubahan rasio LPH #7 dan #8. Pada VAR-3 didapatkan bahwa rasio 0,07 pada tekanan kerja fluida pemanas 0,66 bar menghasilkan daya terbesar. Pada VAR-4 didapatkan bahwa rasio atau tekanan *existing* fluida pemanas LPH #8, yaitu 0,027 dengan tekanan kerja fluida pemanas LPH #8 sebesar 0,259 bar

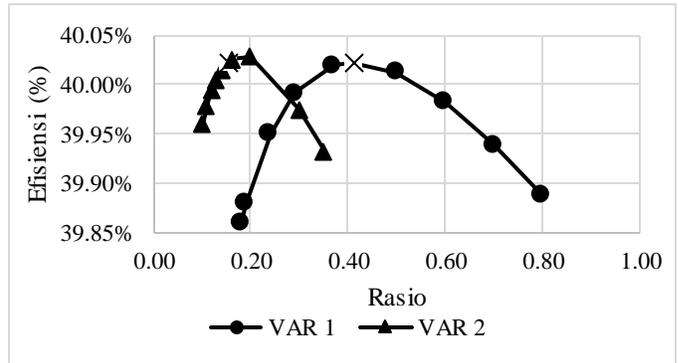
Gambar 6 dan 7 menunjukkan perubahan daya total yang total yang terjadi pada setiap variasi. Perubahan daya total didominasi oleh perubahan daya LP turbine sehingga rasio total didominasi oleh perubahan daya LP turbine sehingga rasio optimum tekanan fluida pemanas setiap LPH untuk daya total sama dengan rasio optimum tekanan fluida pemanas LPH untuk daya LP turbine.



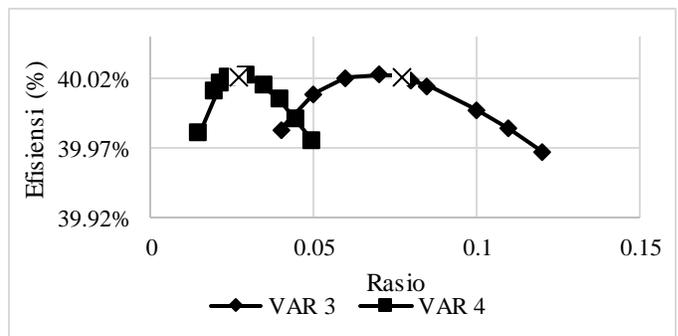
Gambar 6 Pengaruh rasio LPH #5 dan #6 terhadap daya total (tanda silang=*existing*).



Gambar 7 Pengaruh rasio LPH #7 dan #8 terhadap daya total (tanda silang=*existing*).

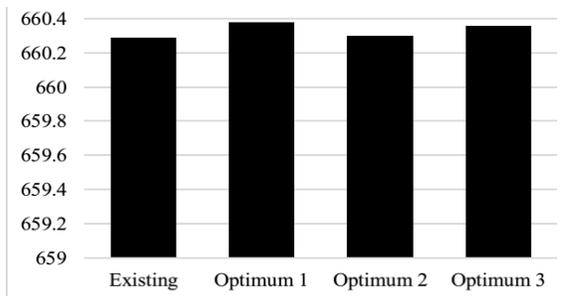


Gambar 8 Pengaruh rasio LPH #5 dan #6 terhadap efisiensi pembangkit (tanda silang=*existing*).

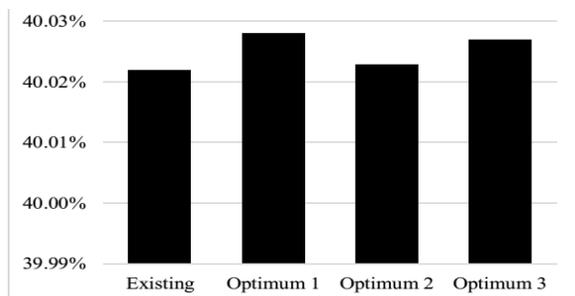


Gambar 9 Pengaruh rasio LPH #7 dan #8 terhadap efisiensi pembangkit (tanda silang=*existing*).

Gambar 8 dan 9 menunjukkan perubahan efisiensi yang terjadi pada setiap variasi. Karena suhu fluida keluar *deaerator* dikunci, maka tidak ada perubahan kalor masuk *boiler* sehingga perubahan efisiensi pembangkit hanya dipengaruhi oleh perubahan daya. Oleh karena itu hasil rasio optimum tekanan fluida pemanas setiap LPH untuk efisiensi pembangkit sama dengan rasio optimum tekanan fluida pemanas LPH untuk daya total.



Gambar 10 Perbandingan daya total antara *existing* dan variasi



Gambar 11 Perbandingan efisiensi pembangkit antara *existing* dan variasi

Gambar 10 dan 11 merupakan perbandingan daya total dan efisiensi pembangkit pada *existing* dan 3 jenis komparasi. Pada optimum 1, rasio LPH #6 sebesar 0,2 dan rasio LPH yang lain dalam keadaan *existing*. Pada optimum 2, rasio LPH #7 sebesar 0,07 dan rasio LPH yang lain dalam keadaan *existing*. Pada optimum 3, rasio LPH #6 sebesar 0,2, rasio LPH #7 sebesar 0,07, dan rasio LPH yang lain dalam keadaan *existing*.

Dari hasil yang didapatkan, ketiga komparasi tersebut menghasilkan daya dan efisiensi pembangkit yang sedikit lebih besar dari keadaan *existing*. Jenis optimum yang menghasilkan daya dan efisiensi pembangkit terbesar adalah optimum 1 dengan daya total sebesar 660,378 MW dan efisiensi pembangkit sebesar 40,028%.

IV. KESIMPULAN

1. Pada setiap LPH terdapat rasio optimum untuk tekanan fluida pemanasnya yang menghasilkan daya dan efisiensi pembangkit terbesar.
2. Rasio optimum tekanan fluida pemanas setiap LPH terhadap tekanan fluida masuk LP turbine (9,46 bar) adalah sebagai berikut:

No.	LPH	Rasio	Tekanan Kerja Fluida Pemanas
1	LPH #5	0,41 (<i>existing</i>)	3,88 bar
2	LPH #6	0,2	1,89 bar
3	LPH #7	0,07	0,66 bar
4	LPH #8	0,027 (<i>existing</i>)	0,259 bar

3. Daya total dan efisiensi pembangkit terbesar terjadi pada kondisi optimum 1, yaitu:

No.	LPH	Rasio	Tekanan Kerja Fluida Pemanas
1	LPH #5	0,41 (<i>existing</i>)	3,88 bar

2	LPH #6	0,2	1,89 bar
3	LPH #7	0,077 (<i>existing</i>)	0,7 bar
4	LPH #8	0,027 (<i>existing</i>)	0,259 bar

Daya total yang dihasilkan adalah sebesar 660,378 MW dan efisiensi pembangkit sebesar 40,028%. Dapat disimpulkan bahwa perubahan tekanan fluida pemanas pada LPH #6 menghasilkan perubahan yang lebih signifikan dibandingkan dengan LPH yang lain.

4. Daya total dan efisiensi pembangkit terbesar terjadi pada kondisi optimum 1, yaitu:

No.	LPH	Rasio	Tekanan Kerja Fluida Pemanas
1	LPH #5	0,41	3,88 bar
2	LPH #6	0,152	1,44 bar
3	LPH #7	0,077	0,7 bar
4	LPH #8	0,027	0,259 bar

menghasilkan daya total dan efisiensi pembangkit yang sudah optimum, yaitu sebesar 660,289 MW dan 40,022%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Assad, "Effect of Feedwater Temperature Rise in Heaters on Regenerative Rankine Cycle Performance," *Int. J. Mech. Eng. Educ.*, vol. 25, no. 2, pp. 103–110, 1996.
- [2] P. Kiameh, *Power Generation Handbook: Selection, Application, Operation, and Maintenance*. New York: Mc Graw Hill, 2002.
- [3] M. Rashidi, "Thermodynamic Analysis of a Steam Power Plant with Double Reheat and Feed Water Heaters," *Hindawi Publ. Corp. Adv. Mech. Eng.*, no. 940818, pp. 1–11, 2014.
- [4] Y. Simamora, "Analisis Termodinamika Pengaruh Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap Bagian High Pressure untuk Feedwater Heater Terhadap Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap 200 MW," Surabaya, 2015.