

BAB I

PENDAHULUAN

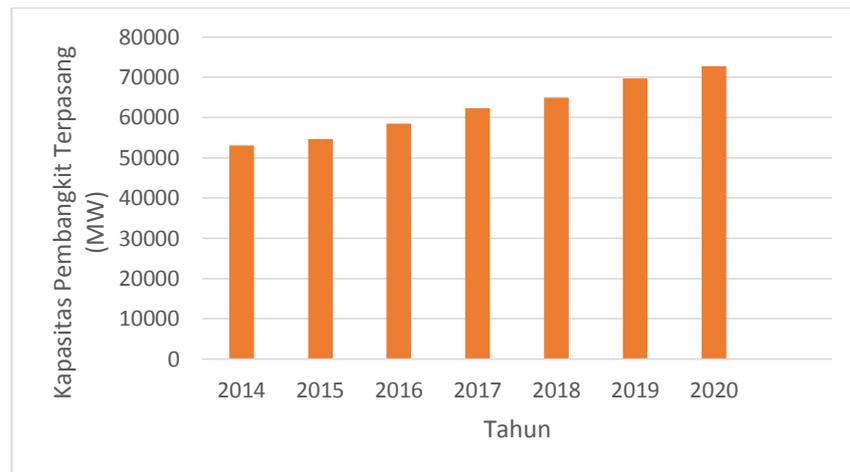
1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki berbagai macam sumber energi. Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut, pemerintah selalu berupaya untuk melakukan pengembangan teknologi dalam memanfaatkan sumber daya energi di Indonesia dengan maksimal (Azhar & Adam Satriawan, 2018). Konservasi energi adalah upaya sistematis, terencana dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi di dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI, 2020). Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang disahkan oleh Presiden pada tahun 2014 membahas mengenai pengelolaan energi yang berdasarkan prinsip berkeadilan, berkelanjutan dan berwawasan lingkungan guna terciptanya kemandirian energi dan ketahanan energi nasional (PP Pemerintah No. 79, 2014). Dengan adanya kebijakan tersebut, perlu dilakukan pengembangan terhadap penggunaan energi.

Pemanfaatan energi yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia adalah energi listrik. Energi listrik dapat dihasilkan melalui proses mulai dari pengolahan bahan bakar hingga dikonversi menjadi energi listrik (Liun, 2011). Ada beberapa jenis sistem pembangkit listrik yang digolongkan berdasarkan sumber daya atau bahan bakar yang digunakan. Sumber daya konvensional berasal dari bahan bakar fosil seperti batubara, minyak bumi, gas alam. Sumber daya lainnya adalah sumber daya baru terbarukan seperti tenaga air, angin, biomassa, matahari dan panas bumi (Kholiq, 2015).

Berdasarkan data dari Kementrian ESDM tahun 2021, total kapasitas terpasang pembangkit listrik nasional hingga tahun 2020 mencapai 72 Giga Watt (GW). Dari jumlah kapasitas terpasang tersebut masih didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan menggunakan batubara yang memiliki porsi sebesar 36,7 GW (KESDM RI, 2020). Aktualisasi kapasitas terinstal pembangkit listrik energi baru terbarukan di Indonesia baru mencapai

10,4 GW yang terdiri dari PLTA sebesar 6.121 MW, PLT Bioenergi sebesar 1.903,5 MW, PLTS sebesar 153,5 MWp, PLTB sebesar 154,3 MW, PLT hybrid sebesar 3,6 MW dan PLTP sebesar 2.130,7 MW. Gambar 1 mendeskripsikan grafik kapasitas pembangkit listrik terpasang di Indonesia tahun 2020.



Gambar 1 Total Kapasitas Pembangkit Listrik Terpasang per Tahun
Sumber: *KESDM (2021) Handbook Energy Economy Statistics 2020*

Sumber energi fosil menghasilkan emisi gas karbondioksida (CO_2), metana (CH_4) dan nitrogen oksida (N_2O) yang dapat menyebabkan perubahan iklim di dunia. Upaya untuk mengurangi ketergantungan energi fosil adalah dengan memanfaatkan energi panas bumi yang memiliki potensi sangat besar.

Potensi panas bumi yang dimiliki oleh Indonesia hampir 28.100 MW yang tersebar di 265 lokasi di seluruh Indonesia. Dengan saat ini baru sekitar 2.130 MW yang dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik (Asof et al., 2014). Untuk mempercepat pengembangan panas bumi, pemerintah telah membuat beberapa regulasi yaitu Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2014 tentang Panas Bumi, Peraturan Presiden Nomor 28 Tahun 2016 tentang Besaran dan Tata Cara Pemberian Bonus Produksi Panas Bumi, dan Peraturan Presiden Nomor 7 Tahun 2017 tentang Panas Bumi untuk Pemanfaatan Tidak Langsung.

Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) menghasilkan energi listrik dengan melakukan konversi uap panas bumi dengan temperatur dan tekanan tertentu menggunakan turbin uap. Uap panas bumi dihasilkan secara alami dari

dalam perut bumi dan diekstrak ke permukaan melalui sumur panas bumi. Kandungan uap tersebut bercampur dengan beberapa macam gas. Terdapat beberapa gas yang tidak dapat dikondensasikan atau biasa disebut dengan *Non Condensable Gas* (NCG) (Gokcen & Yildirim, 2008).

Kandungan uap panas bumi dengan NCG umumnya masih dapat dimanfaatkan ke system pembangkit untuk menghasilkan listrik dengan bantuan *Gas Removal System* (GRS). GRS merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mengeluarkan kandungan NCG di kondensor. Kandungan NCG yang semakin tinggi akan berpengaruh terhadap beberapa hal. Pertama, efek dari penggunaan NCG yang terlalu tinggi ke dalam sistem pembangkit adalah beberapa peralatan akan mengalami korosi yang lebih tinggi yang disebabkan oleh gas seperti H₂S dan CO₂. Material yang bisa digunakan untuk mencegah tingginya laju korosi adalah stainless steel. Kedua, pengurangan daya listrik karena semakin tinggi NCG akan semakin tinggi juga tekanan keluaran dari turbin. Ketiga, dari tekanan keluaran tersebut menyebabkan nilai entalphi keluaran turbin masih tinggi sehingga masih ada beberapa energi yang tidak dapat terserap dengan maksimal di turbin.

Kandungan NCG yang dihasilkan dari sumur produksi pada PLTP memiliki nilai yang bervariasi antara sumur yang satu dan lainnya. Berdasarkan data di lapangan PLTP ini, kandungan NCG pada sumur umumnya memiliki nilai 0–2 wt%. Terdapat salah satu sumur pada PLTP ini yang memiliki nilai NCG antara 6-8 wt%. Nilai kandungan NCG tersebut melebihi kapasitas pada *Gas Removal System* yang mampu menghisap NCG sekitar 2-3wt %. Kandungan NCG yang tinggi membuat sumur tersebut dalam kondisi dimatikan atau *master valve* tertutup. Namun sumur dengan kandungan NCG tinggi tetap harus dialirkan melalui *wing valve* yang dikeluarkan langsung ke atmosfer. Hal ini untuk mencegah agar sumur lain di sekitarnya tidak mengalami peningkatan kandungan NCG.

Pada kondisi sumur yang memiliki NCG tinggi ini, terdapat sejumlah energi yang tidak dimanfaatkan dengan maksimal karena uap pada sumur tersebut masih memiliki tekanan sekitar 5.45 barg, temperatur 157.8 °C dan laju aliran

4.53 kg/s. Upaya untuk memanfaatkan uap pada sumur tersebut tanpa harus mengganggu sistem pembangkit pada PLTP adalah dengan cara mengalirkan uap sebagai penggerak pada turbin *back-pressure*. Turbin *back-pressure* ini tidak membutuhkan kondensor sehingga uap dari turbin langsung dibuang ke atmosfer, dengan demikian meskipun adanya NCG yang tinggi tidak akan mempengaruhi sistem pembangkit pada PLTP. Turbin *back-pressure* ini nantinya dapat digunakan sebagai mesin penggerak dari pompa yang digunakan untuk mendukung operasional pembangkit PLTP. Pompa tersebut menggunakan beban *houseload* sebagai tenaga penggerak.

Houseload merupakan beban tetap yang digunakan dalam PLTP untuk kebutuhan beban lokal di pembangkit. Beberapa peralatan yang memerlukan *houseload* adalah pompa kondensat, pompa *brine*, lampu, pemanas air, pompa *Cooling Water*, *Cooling tower fan*, *Hot Well Pump* dan lain lain. Adanya beban tetap ini akan mengurangi efisiensi tenaga listrik secara keseluruhan yang seharusnya dapat dimanfaatkan untuk keperluan masyarakat. Besarnya *houseload* pada PLTP ini dalam 1 tahun adalah 3.67 GWh. Upaya yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pembangkit pada penelitian ini adalah dengan mengurangi *houseload* pada penggerak pompa kondensat. Pompa kondensat dipilih karena memiliki lokasi yang dekat dan 1 area pada sumur yang memiliki kandungan NCG tinggi sehingga tidak memerlukan biaya instalasi pipa yang besar. Kondisi penggerak pompa kondensat saat ini adalah elektrik motor dan akan diganti dengan turbin *back-pressure* yang uapnya berasal dari sumur NCG yang tinggi.

Secara operasional, kebutuhan pompa kondensat adalah mengalirkan kondensat dengan debit maksimal sebesar 184.16 m³/hr dan kebutuhan daya poros pompa sekitar 98 kW. Dengan pergantian sistem penggerak pada pompa maka akan mengurangi *houseload* yang nantinya daya tersebut dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan listrik masyarakat. Kajian mengenai pemanfaatan turbin *back-pressure* sebagai penggerak pada pompa telah dilakukan.

Penelitian terkait pemanfaatan turbin uap sebagai penggerak sistem pompa telah dilakukan oleh Zivkovic M, dkk pada tahun 2018. Penelitian ini menganalisa penggunaan turbin uap sebagai penggerak *feed water pump* pada kapal LNG.

Pompa tersebut berfungsi untuk mengirim aliran fluida ke boiler. Uap yang dihasilkan masih dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan lain. Pada penelitian ini, uap tersebut digunakan untuk penggerak pompa dengan menggunakan turbin uap.

Wanasinghe pada tahun 2016 melakukan penelitian di pembangkit listrik di Lakvijaya Power Station, Srilanka. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa efisiensi termal pembangkit PLTU dapat ditingkatkan dengan menggunakan turbin uap *back-pressure* sebagai penggerak dari *boiler feed water pumps*. Pompa tersebut merupakan pengguna terbesar untuk *house load*. Dengan penggunaan turbin *back-pressure* sebagai penggerak pompa besarnya penghematan yang diperoleh adalah dari 0,46 hingga 2,72 Million USD per tahun.

Berdasarkan uraian pada paragraph sebelumnya, penelitian ini memberikan peluang untuk dilakukan analisis pemanfaatan NCG yang tinggi pada PLTP. Pengembangan penelitian ini adalah menggunakan turbin *back-pressure* yang sumber uapnya berasal dari sumur yang tidak beroperasi sebagai penggerak pompa kondensat. Kajian pada penelitian ini diharapkan dapat membuat sebuah desain proses dari sumur NCG tinggi hingga menjadi sistem penggerak pada pompa kondensat yang dapat mengurangi beban *house load* dan dapat meningkatkan efisiensi pembangkit PLTP secara keseluruhan.

1.2 Perumusan Masalah

Ada beberapa energi yang dipakai untuk mendukung kegiatan operasional pada PLTP. Salah satu kebutuhannya adalah penggerak pompa kondensat. Pada umumnya, motor listrik digunakan sebagai penggerak untuk sistem pompa kondensat di PLTP. Motor listrik ini disuplai oleh daya dari pembangkit yang bisa disebut *house load*. Penggunaan daya tersebut akan mengurangi energi listrik yang dihasilkan secara keseluruhan. Sesuai dengan kebijakan terkait efisiensi energi, maka perlu dilakukan langkah lebih lanjut terkait penghematan energi yang dihasilkan. Beberapa hal yang perlu dikaji lebih luas yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisa potensi energi dari sumur panas bumi yang memiliki kandungan NCG tinggi?

2. Bagaimana menganalisa proses termodinamika untuk memanfaatkan sumur panas bumi dengan kandungan NCG yang tinggi agar tetap dapat bermanfaat bagi PLTP?
3. Bagaimana analisa secara ekonomi terhadap investasi penggunaan turbin uap *back-pressure*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah yang telah dijelaskan pada uraian sebelumnya, mata penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisa potensi energi dari salah satu sumur yang memiliki kandungan NCG tinggi sebagai penggerak turbin *back-pressure*
2. Menganalisa secara termodinamika pada sumur panas bumi yang memiliki NCG tinggi untuk mengurangi *houseload* pada pompa kondensat
3. Menganalisa perhitungan keekonomian pada instalasi sistem turbin uap *back-pressure*

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat terhadap bangsa negara Indonesia dalam mengurangi penggunaan *houseload* pada pembangkit listrik tenaga panas bumi melalui pemanfaatan fluida panas bumi/ *steam* yang lebih efisien. Manfaat lainnya yang juga diharapkan oleh penulis yaitu sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran terkait studi kasus pemanfaatan sumur panas bumi dengan kandungan NCG yang tinggi.
2. Mengurangi beban *houseload* pada sistem pembangkit PLTP
3. Meningkatkan *net generation* yang dihasilkan oleh pembangkit listrik panas bumi sehingga dapat menambah total kapasitas terpasang pada *renewable energy* di Indonesia.

1.5 Orisinalitas Penelitian

Beberapa penelitian terkait penggunaan steam turbine sebagai penggerak pompa pada pembangkit listrik telah dilakukan. Ringkasan terkait penelitian yang pernah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Ringkasan Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti/ tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
1.	Zivkovic et al., 2018	<i>Analysis of Steam Turbines for Feed Water Pumps on LNG Ships</i>	Penggunaan steam turbine sebagai penggerak pada boiler <i>feed water pump</i> telah dianalisa efisiensinya antara 51,2 hingga 58,8%. Beberapa parameter Utama yang mempengaruhi efisiensi steam turbine adalah nilai entalpi inlet dan outlet dari steam, rugi-rugi steam dari stator dan rotor <i>blades</i> , serta nilai kecepatan <i>steam outlet</i> dan laju aliran massa dari <i>steam</i> .	Penelitian yang dilakukan Zivkovic dkk mengenai turbin uap pada <i>boiler feed water pump</i> di LNG ships, sedangkan pada penelitian ini, penulis menggunakan turbin uap pada pompa kondensat di pembangkit listrik panas bumi.

2.	Wanasinghe, B., 2016	<i>Steam Driven Boiler Feed Pumps for Lakvijaya Power Station, Sri Lanka</i>	Salah satu upaya yang dilakukan untuk melakukan efisiensi pada <i>houseload</i> adalah mengganti konfigurasi motor elektrik pada <i>boiler feed water pump</i> dengan <i>steam turbine</i> tipe <i>back-pressure</i> dan tipe <i>condensing</i> . Hasil kalkulasi menunjukkan bahwa <i>back-pressure steam turbine</i> konfigurasi adalah yang paling ekonomis secara <i>thermodynamical</i> . Besarnya penghematan yang diperoleh adalah dari 0,46 hingga 2,72 Million USD per tahun.	Penelitian yang dilakukan Wanasinghe adalah mengganti motor elektrik sebagai penggerak dari <i>boiler feed water pump</i> dengan <i>steam turbine tipe back-pressure</i> dan <i>condensing type</i> . Pada kasus ini, penulis melakukan penghematan <i>houseload</i> yang berasal dari <i>electric motor kondensat pump</i> diganti dengan <i>back-pressure steam turbine</i> .
3.	Li Liang, et al., 2018	<i>Identification of Steam-driven Centrifugal Pump System</i>	Model matematis dari sebuah sistem <i>steam turbine driven</i> pada <i>centrifugal pump</i> telah dilakukan. Sistem konfigurasi dari model tersebut adalah <i>steam control valve, steam turbine</i> dan <i>centrifugal pump</i> . Hasil kalkulasi menunjukkan bahwa model yang dianalisa dapat diinterpretasikan secara baik dan memprediksi suatu sistem aktual.	Pada penelitian tersebut berfokus pada model simulasi yang dibuat untuk menganalisa sistem <i>steam turbine driven centrifugal pump</i> , sedangkan pada penelitian tesis ini penulis melakukan analisa baik secara teknis dan ekonomikal pada penggunaan <i>steam turbine drive kondensat pump</i> di pembangkit listrik panas bumi.
4	Nandaliarasyad, et al., 2017	<i>Study of Development Scenarios for Bottoming Unit Binary Cycle to Utilize Exhaust Steam from Back Pressure</i>	Hasil analisis dari penelitian ini adalah bahwa steam hasil dari proses pada system PLTP menggunakan <i>back-pressure steam turbine</i> dapat dimanfaatkan untuk	Perbedaan antara penelitian dari Nandaliarasyad dan penelitian ini adalah dari penggunaan <i>sistem turbine back-pressure</i> . Dimana pada penelitian tersebut turbin digunakan untuk

		<i>Turbine Geothermal Power Plant</i>	menghasilkan listrik dengan system ORC (Organic Rankine Cycle) dan mampu menghasilkan listrik tambahan sebesar 2.25 MW.	menghasilkan listrik dengan membangun sistem PLTP baru, sedangkan pada penelitian ini penulis menggunakan <i>turbine back-pressure</i> digunakan sebagai penggerak ke pompa kondensat dan tidak menghasilkan listrik secara langsung, namun dapat mengurangi penggunaan energi listrik dari motor elektrik.
5	Sundari P, et al., 2022	<i>Utilization of Excess Steam from a Vent Valve in a Geothermal Power Plant</i>	Penelitian ini menghasilkan analisa bahwa penggunaan steam yang berlebih hasil dari vent valve dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dengan beberapa system. Jika menggunakan siklus dry steam akan menghasilkan 12.520 kW, siklus kalina menghasilkan 7.811 kW dan siklus binary menghasilkan 3942 kW.	Penelitian dari sundari dkk adalah memanfaatkan uap yang terbuang ke atmosfer melalui <i>vent valve</i> untuk menghasilkan listrik dengan membangun sistem PLTP baru. Sedangkan pada penelitian ini penulis memanfaatkan uap dengan NCG yang tinggi untuk mengganti motor elektrik pada penggerak pompa kondensat dengan <i>turbine back-pressure</i> .
6	Gokcen, G., & Yildirim, N. (2008)	<i>Effect of Non-Condensable Gases on geothermal power plant performance. Case study: Kizildere Geothermal Power Plant-Turkey</i>	Hasil penelitian efek NCG terhadap exergy loss dan available work pada turbin pada Kizildere power plant adalah dengan adanya kenaikan 1% NCG maka akan meningkatkan work loss pada inlet turbin sebesar 0,86% . dengan	Perbedaan dengan penelitian ini adalah bahwa penulis tidak melakukan analisa terhadap efek NCG pada work loss dan exergy loss pada turbin, namun penulis lebih menekankan bahwa NCG yang tinggi akan memberikan dampak negative terhadap sistem

			total 15% NCG maka exergy loss yang dihasilkan di turbin adalah 96,4 kJ/kg atau sekitar lebih tinggi 13% jika dibandingkan tanpa adanya NCG.	di pembangkit sehingga pemanfaatannya harus melalui mekanisme lain.
7.	Selimli, S., & Sunay, S. (2020)	<i>Feasibility study of the energy and economic gain that can be achieved by driving the boiler feedwater pump with a backpressure steam turbine</i>	Terdapat peluang untuk memanfaatkan sejumlah energi buang dari pembangkit yang digunakan untuk menggerakkan pompa <i>feedwater</i> ke boiler. Metode yang digunakan adalah dengan turbin uap back-pressure sebagai penggerak pompa <i>feedwater</i> . Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada penghematan energi sebesar 33.74%.	Pada penelitian tersebut menganalisa peluang pemanfaatan uap yang terbuang untuk menggerakkan turbin uap <i>back-pressure</i> pada pompa <i>feedwater</i> untuk boiler. Desain yang digunakan setelah dari turbin menggunakan reductor untuk mengurangi kecepatan putar sebelum menuju pompa. Sedangkan penulis menganalisa peluang pada pembangkit PLTP yang digunakan untuk menggerakkan pompa kondensat. Dan turbin uap tidak menggunakan reductor.