

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai salah satu negara dengan populasi penduduk sekitar 270 juta memiliki kebutuhan energi setiap tahun akan terus tumbuh. Sebagai salah satu negara yang dilintasi *ring of fire dunia*, Indonesia menyimpan potensi panas bumi dan hal ini ditunjukkan dengan adanya 117 gunung api aktif yang tersebar di seluruh pelosok tanah air (Nasruddin, 2016). Potensi energi panas bumi Indonesia tersebut diperkirakan sekitar 23.765,5 MW (Badan Geologi, 2020). Namun, hanya sekitar 2130,7 MW yang dimanfaatkan sebagai energi listrik di dalam negeri (Dirjen EBT, 2020). Indonesia bisa memaksimalkan pemanfaatan potensi energi panas bumi sebagai salah satu penunjang kebutuhan energi. Pemerintah Indonesia terus berupaya meningkatkan kapasitas pembangkit listrik tenaga panas bumi dan berencana untuk memasang lebih banyak pembangkit listrik tenaga panas bumi di Indonesia dengan target hingga 7,2 GW pada tahun 2025 (RUEN, 2017).

Organic Rankine Cycle adalah salah satu teknologi yang digunakan untuk pemanfaatan panas bumi dengan sumber panas dari *geofluid* atau *brine* dengan suhu rendah dan sedang, dengan menggunakan fluida kerja bertitik didih rendah. *Organic Rankine Cycle*, dimana teknologi ini menggunakan siklus biner yang dicapai melalui dua siklus terpisah, siklus *geofluid* atau *brine*, dan siklus daya (siklus ORC). Umumnya suatu siklus ORC diadopsi untuk semua sumber *geofluid* atau *brine* dengan suhu rendah-menengah (umumnya antara 100-170°C) (Bonalumi, 2017). Hasil studi lain mengungkapkan bahwa fluida kerja terbaik adalah *butane*, *neopentana* dan R245A dengan sumber panas *geofluid* atau *brine* dengan suhu 100-150°C. Pada *geofluid* atau *brine* suhu 100-150°C tersebut, fluida kerja lain yang direkomendasikan dan dapat digunakan dalam sistem ORC ini yaitu R245a, R11, R113, R114, R114b, R601 and R601a (Ahmadi, 2020). Penelitian lainnya, oleh Guo (Guo, 2011), mengungkapkan bahwa sumber panas bumi dengan suhu 90°C, dalam penelitiannya menggunakan 27 fluida kerja (dengan titik didih antara -47,69 sampai 47,59 °C) yang dibagi menjadi 4 kelompok, dimana kelompok I, $T_b < -35^{\circ}\text{C}$, kelompok II, $-35^{\circ}\text{C} < T_b < -15^{\circ}\text{C}$, kelompok III, $15^{\circ}\text{C} < T_b < 0^{\circ}\text{C}$ dan kelompok IV, $T_b > 0^{\circ}\text{C}$, dimana hasil yang didapatkan pada masing masing kelompok dengan potensi daya listrik paling besar yang dapat dibangkitkan (P_{net}) adalah menggunakan fluida kerja R218 dan R115 pada kelompok I, R227ea dan R1234yf pada kelompok II, R318 dan R236fa pada kelompok III, R236ea pada kelompok IV. Pada penelitian lainnya oleh Sarah dkk (Van Erdeweghe., 2017), dijelaskan tentang susunan “Preheat – Paralell” pada sumber panas *geofluid/ brine* dengan suhu 130°C dan laju alir 193 kg/s, menggunakan R236ea sebagai fluida kerja pada sistem ORC yang digabungkan dengan

sistem pemanas atau *Heater*. Sedangkan Sun (Sun, 2020), dalam penelitiannya, menggunakan *geofluid* cair dengan suhu 393 K (119°C), dan fluida kerja ORC yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah R21, R114 dan R245fa.

Pada penelitian yang dilakukan oleh. L.Jiang (Jiang, 2017), simulasi dengan menggunakan air dimana suhu yang digunakan 75°C sampai 95°C, dan menggunakan fluida kerja R245fa. Penelitian oleh He (He, 2017), melakukan eksperimen menggunakan fluida kerja TY-1, dengan sumber panas dari air dengan suhu 65-95°C. Zhang (Zhang., 2017), melakukan penelitian menggunakan sumber panas air dengan suhu 20-150°C, dan menggunakan 16 fluida kerja yang disimulasikan pada *single* ORC, *dual* ORC dan *tripartite* ORC.

Quoilin,(Quoilin, 2013), di dalam penelitiannya menjelaskan bahwa suhu *geofluid* / *brine* dibawah 80°C yang berasal dari sumber panas bumi sudah tidak ekonomis karena efisiensi yang rendah. Sedangkan (Grassiani, 2000), menjelaskan dalam penelitiannya, dibutuhkan suhu yang cukup untuk mencegah terjadinya *oversaturasi* yang dapat menyebabkan *silica scalling* dan kerusakan pada alat penukar panas (*heat exchanger*). Pada *low enthaply geothermal*, dengan suhu antara 110°C - 160°C, suhu reinjeksi tidak dipertimbangkan untuk diinjeksikan dibawah 70-80°C (Franco & Villani, 2009).

PLTP XYZ adalah salah satu pembangkit listrik panas bumi yang saat ini menggunakan teknologi *Organic Rankine Cycle*. PLTP XYZ dengan kapasitas total 3 x 110 MW dimana 1x110 MW di Desa S dan 2x110 MW di Desa N. Teknologi *Organic Rankine Cycle* yang dipakai adalah *combine cycle*. PLTP XYZ menggunakan dua fasa fluida panas bumi yaitu uap (*steam*) dan *brine*. Dua fasa fluida panas bumi di pisahkan di *Separator*, dimana uap (*steam*) masuk ke *back pressure* turbin dengan tekanan tinggi dan *exhaust steam* dari *back pressure* turbin digunakan untuk memanaskan *n-pentane* pada *bottoming* unit ORC. Sedangkan *brine/geofluid* dari *accumulator* masuk ke *binary* unit ORC, kemudian *brine* yang keluar dari *binary* ORC dan *condensate bottoming* ORC di injeksikan ke sumur reinjeksi.

Brine merupakan hasil separasi pada komponen *separator* dan *accumulator*, dengan suhu 209°C – 211°C. Dengan suhu tersebut, *brine* digunakan sebagai sumber panas pada pembangkit ORC dalam skala kecil. PLTP XYZ memanfaatkan *brine* tersebut untuk membangkitkan listrik 13.8 MW. Siklus biner sendiri merupakan siklus pembangkitan listrik dimana dalam prosesnya menggunakan bantuan fluida sekunder atau fluida kerja bertitik didih rendah kemudian menghasilkan *vapor* di sisi *shell side heat exchanger* dan terjadi pertukaran panas dengan *brine* disisi *tube side heat exchanger*. Fluida kerja yang digunakan di PLTP XYZ dalam penelitian ini adalah *n-pentana*.

Suhu *brine* yang keluar dari ORC X dengan suhu antara 139.7°C - 141.8°C dan laju alir pada ORC X adalah 1050 t/h – 1113 t/h, dan *brine* kemudian diinjeksikan ke sumur reinjeksi. *Brine* yang keluar dari sistem ORC_X masih mengandung *energi termal* yang terbuang dan selanjutnya dianalisa oleh penulis untuk dimanfaatkan kembali untuk melihat pengaruh terhadap performa dan efisiensi dari siklus ORC_X. Pada penelitian ini penulis mengajukan penambahan komponen *preheater* sebagai alternatif untuk pemanfaatan *brine* yang masih memiliki potensi *energi termal*. *Brine* yang keluar dari *Preheater* eksisting tersebut di alirkan ke dalam *preheater* tambahan, memanaskan fluida kerja *n-pentane* dan *brine* yang keluar dari *outlet preheater* tambahan, dengan suhu yang sudah turun kemudian di injeksikan ke sumur reinjeksi. Sedangkan dalam siklus kerja lain, aliran fluida kerja *n-pentane* masuk ke dalam *preheater* eksisting yang ada di sistem ORC dan selanjutnya menuju *vaporizer* untuk dipanaskan menjadi *vapor* dan kemudian *vapor* pada suhu saturasi masuk ke dalam *inlet* turbin untuk memutar Turbin-Generator sehingga menghasilkan listrik. Dengan melakukan penambahan *preheater* ke dalam siklus ORC yang ada, peneliti melakukan analisa energi dan eksergi pada masing masing komponen ORC.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang tersusun dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimanakah pengaruh penambahan *Preheater* dan perubahan spesifikasi pompa *Feed Pump* pada performansi dan efisiensi pada siklus *brine* ORC?
2. Bagaimanakah perhitungan yang dilakukan pada *design Preheater* tambahan dan seperti apakah perubahan spesifikasi pompa *Feed pump*?
3. Bagaimanakah analisis energi dan eksergi untuk memperoleh optimalisasi dari sistem binary ORC. Bagaimanakah analisa perbandingan energi dan eksergi setiap komponen ORC antara skema design ORC dan penambahan komponen *Preheater*.
4. Bagaimanakah perhitungan analisa keekonomian dengan penambahan *Preheater* dan perubahan pompa *Feed Pump*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain dirumuskan sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan model modifikasi sistem ORC dan optimasi pada PLTP XYZ.
2. Mendapatkan hasil perhitungan analisis energi dan eksergi
3. Mendapatkan efisiensi ORC design eksisting
4. Mendapatkan efisiensi pembangkit siklus ORC dengan modifikasi penambahan *preheater* dan
5. Mendapatkan analisis keekonomian ORC modifikasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan gambaran pemodelan unit brine ORC, mengidentifikasi degradasi setiap komponen ORC dan mempengaruhi nilai efisiensi pada unit ORC.
2. Untuk mendapatkan gambaran efisiensi melalui pemodelan Unit brine ORC, dengan penambahan *Preheater* dan perubahan pompa *Feed Pump*.
3. Kajian ini bisa menjadi bahan evaluasi dalam melakukan analisa pengembangan sistem ORC
4. Kajian ini bisa memperkaya referensi proses pengembangan sistem binary ORC di Indonesia.

1.5 Batasan Masalah Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian yang dilakukan difokuskan pada analisis energi dan eksergi *Organic Rankine Cycle* (ORC modifikasi) dan ORC eksisting
2. Perhitungan *design Preheater* dan perhitungan nilai keekonomian
3. Kondisi dalam sistem adalah *steady state*
4. Modifikasi penambahan *Preheater* pada sistem ORC akan meningkatkan efisiensi pembangkit binary ORC
5. *Pressure drop* dan *heat loss* dalam analisis penelitian ini diabaikan
6. Kebocoran fluida kerja atau *pentane* dalam sistem ORC diasumsikan tidak ada
7. Pada sistem ini, temperatur reinjeksi di batasi pada suhu 80°C untuk mencegah *silica oversaturasi* (Franco & Villani, 2009).

1.6 Orisinalitas Penelitian

Tabel 1. 1 Orisinalitas Penelitian

No.	Penelitian	Hasil	Heat Source	Type Cycle	Optimasi	Gap Penelitian
1	Judul : <i>Optimal design of geothermal power plants : A comparison of single-pressure and dual-pressure organic rankine cycles</i> (Chagnon-Lessard et al., 2020).	Pada penelitian ini, 4 siklus ORC (ORC, ORC/S/SC, ORC/S/TC, ORC/D/SC, ORC/D/TC) yang disimulasikan pada pembangkit panas bumi dengan berbagai kondisi operasi (suhu <i>brine</i> , dan suhu ambient/ lingkungan), Siklus <i>dual pressure</i> ORC baik itu ORC/D/SC dan ORC/D/TC lebih baik dari <i>single pressure</i> ORC (ORC/S/TC). Kenaikan mencapai 19% dari sistem ORC <i>dual pressure</i> dibandingkan dengan sistem <i>single pressure</i> ORC. Fluida kerja yang sesuai untuk <i>dual pressure</i> ORC adalah <i>exlusive retrograde</i> , sedangkan fluida kerja yang sesuai untuk <i>single pressure</i> adalah <i>mix retrograde, normal</i> dan <i>isentropic</i> .	<i>Geothermal Brine</i> , suhu 80 - 180°C	a. <i>Subcritical</i> ORC dengan <i>single pressure heater</i> (HE) – ORC/S/SC b. <i>Transcritical</i> ORC dengan <i>single pressure heater</i> (HE) – ORC/S/TC c. <i>Subcritical</i> ORC dengan <i>dual pressure heater</i> (HE) – ORC/D/SC d. <i>Transcritical</i> ORC dengan <i>dual pressure heater</i> (HE) – ORC/D/TC	Optimasi pada <i>Pressure Inlet</i> Turbin I, <i>Mass flow rasio, effectiveness</i> pada HE <i>superheater</i>	Komparasi 4 siklus, dengan simulasi beberapa fluida kerja. “Tidak menjelaskan konsep Eksergi”
2	Judul : <i>Design guidelines for the choice between single and dual pressure layouts in organic Rankine cycle (ORC)</i>	Dalam penelitian ini dijelaskan tentang potensi dari <i>dual pressure</i> sistem ORC untuk meningkatkan kinerja dari <i>single pressure</i> sistem ORC dengan suhu sumber panas <i>brine</i> 100-200°C, dimana hasil penelitian menjelaskan bahwa sistem ORC <i>dual</i>	<i>Geothermal Brine</i> , suhu 100 - 200°C	<i>Single Pressure</i> dan <i>dual pressure</i>	Perhitungan <i>heat recovery effectiveness, thermal efficiency</i> , sistem efisiensi	“Tidak menjelaskan konsep Eksergi”

	systems (Manente et al., 2017).	<i>pressure</i> tidak memberikan hasil yang signifikan dalam efisiensi dan daya output dibandingkan dengan sistem ORC <i>single pressure</i> , ketika suhu kritis (<i>critical temperature</i>) fluida kerja yang dipakai adalah lebih rendah 40°C dari sumber panas yang digunakan. Ketika suhu kritis dari fluida kerja sama atau lebih tinggi dari sumber panas, sistem ORC <i>dual pressure</i> akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kenaikan efisiensi dan daya output dari sistem ORC tersebut dengan persentase kenaikan 20% bahkan bisa lebih tinggi.				
3	Judul : <i>Energy, Exergy and Economic Evaluation Comparison of Small-Scale Single and Dual Pressure Organic Rankine Cycles Integrated with Low-Grade Heat Sources</i> (Fontalvo et al., 2017).	Pada penelitian ini menjelaskan tentang <i>simple</i> ORC, <i>regenerative</i> dan <i>dual pressure</i> ORC. <i>Dual pressure</i> ORC menghasilkan <i>net power output</i> yang lebih tinggi ketika sumber panas kurang dari 130°C. Pada sumber panas di atas 130°C, <i>simple</i> ORC dengan R1234ze menghasilkan <i>power output</i> yang lebih tinggi. Pada <i>regenerative</i> ORC, R1234ze menghasilkan <i>thermal</i> efisiensi yang maksimum. LCOE mencapai cost efektif ketika <i>thermal</i> efisiensi naik. Kerusakan eksergi untuk ORC <i>regenerative</i> turun, dan efisiensi eksergi naik. Pada <i>dual pressure</i>	<i>Heat Source</i> 100-200°C.	<i>Single pressure</i> dan <i>dual pressure</i>	Optimasi Net power, Optimasi <i>thermal</i> efisiensi	Aplikasi pada maksimum power 45 kW. Konfigurasi struktur ORC tanpa <i>preheater</i>

		ORC, efisiensi eksergi turun dan kerusakan eksergi naik. Nilai LCOE dan <i>Specific Investment Cost</i> pada <i>Simple ORC</i> paling efektif, dengan harga jual 0,3 USD kWh dengan <i>payback periode</i> 8 tahun				
4	Judul : <i>Performance evaluation of organic Rankine cycle systems utilizing low grade energy at different temperature</i> (Zhang et al., 2017).	Penelitian in dilakukan pada <i>single</i> sistem, <i>dual</i> sistem dan <i>tripartit</i> sistem. Pada <i>low grade</i> energi, suhu di bawah 370K, pada ORC <i>single</i> sistem, <i>cost</i> yang dikeluarkan lebih rendah, <i>payback periode</i> lebih pendek. <i>Thermal</i> efisiensi tinggi. <i>Net output</i> lebih rendah. Pada suhu diatas 370K, ORC 3 siklus lebih tinggi <i>net power output</i> dengan <i>performance</i> lebih baik dan lebih menguntungkan. Pada <i>single</i> ORC, <i>propane</i> , R125 dan R32 menghasilkan <i>performance</i> yang lebih baik. Pada ORC 3 siklus, R245fa menghasilkan <i>performance</i> lebih baik.	<i>Heat source</i> 20-150 °C,	<i>Single Pressure</i> , <i>Dual Pressure</i> , <i>tripartit pressure</i>	Aplikasi fluida kerja dengan variasi <i>heat source</i>	Tidak menjelaskan eksergi.
5	Judul : <i>Exergy Analysis of dual level binary geothermal Power Plant</i> (Kanoglu, 2002)	Penelitian in dilakukan pada <i>dual level binary geothermal</i> . Fluida kerja yang dipakai adalah <i>isopentane</i> . 12.4 MW dari total 7 unit <i>dual level binary</i> ORC. Kerusakan eksergi dalam <i>plant</i> terjadi di komponen <i>condenser</i> , <i>brine</i> yang di diinjeksikan, turbin, pompa, <i>preheater</i> dan <i>vaporizer</i> .	<i>Heat source</i> 163 °C,	<i>Dual level binary</i> ORC	Menggunakan <i>dual level binary</i> untuk meningkatkan <i>power output</i>	Sistem ORC tidak menggunakan <i>recuperator</i> , dengan suhu reinjeksi dibawah 70°C, fluida kerja yang digunakan <i>isopentane</i>

6	Judul : “ <i>Preheat-parallel configuration for low-temperature geothermally-fed CHP plants</i> (Sarah, 2017)	Pada konfigurasi <i>Preheat Paralell</i> dalam penelitian ini didapatkan hasil yang optimal pada konfigurasi dengan range T_{supply} dan T_{return} yang lebar. Dari <i>Case Study</i> penelitian ini, pada <i>heat demand</i> $Q = 6$ MW, <i>net electrical output</i> W_{net} adalah 5.14 MW, dimana 3.11% dan 5.25% lebih tinggi daripada konfigurasi preheat seri, dan eksrgetic plant efisiensi 38.31%.	<i>Heat source</i> 40-110 °C,	<i>Preheat Paralell ORC Configuration</i>	Dilakukan perhitungan energi dan eksergi	Menjelaskan konsep energi dan eksergi pada <i>ORC Preheat Paralell</i> , tidak menjelaskan detail susunan seri <i>preheater</i>
7	Penelitian ini	Pada penelitian ini, melakukan simulasi pada <i>single ORC subcritical</i> , dengan penambahan <i>preheater</i> dan pemanfaatan brine yang keluar dari sistem ORC.	<i>Geothermal brine existing</i> 210°C dengan suhu <i>brine</i> sisa ORC 139°C - 141°C	<i>Single Pressure</i> dengan penambahan <i>preheater</i> untuk memanfaatkan sisa panas <i>brine</i>	Dilakukan perhitungan energi dan eksergi dengan fluida kerja <i>n-pentane</i>	Menjelaskan konsep energi dan eksergi dan analisis keekonomian dengan penambahan <i>preheater</i>

Pada penelitian ini, dilakukan modifikasi pada design ORC eksisting, dimana ORC eksisting saat ini adalah *ORC subcritical* pada *single pressure* desain ORC dan dengan susunan seri *Preheater* yang terpasang, kemudian dimodifikasi dan ditambahkan *Preheater* yang disusun seri juga. Sumber panas brine yang dipakai adalah 210°C dan suhu reinjeksi aktual 139°C - 141°C dan kemudian disirkulasikan kembali sebelum di reinjeksikan ke sumur reinjeksi. Dilakukan perhitungan analisa energi dan eksergi dan nilai keekonomian. Kebaharuan yang ditawarkan pada penelitian ini adalah penambahan *Preheater* yang disusun seri untuk meningkatkan performance ORC dengan memanfaatkan brine sisa yang pada penelitian sebelumnya fokus pada susunan *Preheater* paralell.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

