

Efisiensi Teknologi Geothermal Binary Cycle dengan Dispersi $\text{CuO-Al}_2\text{O}_3$ pada Heat Exchanger Combined Cooling Heating and Power (CCHP) Cycle: Studi Kasus Lapangan M.M.S.C.F

Eko Widi Pramudihadi, Damar Nandiwardhana, Allen Haryanto Lukmana,
Aisah Nur Baiti *, Farizah Istifatkul Nadhifa, Arya Abraham, Alik Songga

Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Pembangunan Nasional ‘Veteran’ Yogyakarta Indonesia

*Corresponding author: aisahnurbaiti09@email.ac.id

Abstrak

Panas bumi merupakan salah satu energi terbarukan yang gencar dikembangkan di masa transisi energi. Indonesia merupakan negara dengan potensi geothermal terbesar ke-2 di dunia dengan potensi panas bumi sebesar 23.765,5 Mwe. Pada lapangan M.M.S.C.F diklasifikasikan vulkanik geothermal sistem dengan liquid dominated yang dikembangkan dengan teknologi *binary cycle*. Penggunaan working fluid konvensional pada *binary cycle* memiliki efisiensi energi yang rendah. Geothermal nanofluids partikel terdiri dari dua atau lebih partikel berukuran nano (1-100 nm), partikel ini tersuspensi dan terlarut pada fluida dasar yang dapat meningkatkan konduktivitas termal dan mempercepat perpindahan panas pada *heat exchanger*. Namun teknologi ini memiliki kerugian diantaranya yaitu biaya *Capital Expenditure* (CAPEX) yang besar. Penelitian ini mengaplikasikan $\text{CuO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ untuk meningkatkan efisiensi energi pada *heat exchanger* berbanding lurus dengan kenaikan konduktivitas termal. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis kuantitatif dengan membandingkan indikator ekonomi apabila menggunakan sistem *binary cycle* konvensional dengan sistem *binary cycle hybrid nanoparticle fluids* pada *heat exchanger* lapangan M.M.S.C.F serta analisis kualitatif berdasarkan studi literatur sebelumnya. Teknologi ini memiliki keunggulan dapat meningkatkan laju perpindahan panas karena peningkatan nilai konduktivitas termal, didapati nilai konduktivitas termal hybrid nanoparticle fluids sebesar $0,79 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ jika dibandingkan dengan fluida dasar $0,56 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ yang memiliki peningkatan sebesar 23%. Berdasarkan hasil perhitungan indikator ekonomi didapatkan nilai pay out time (POT) serta PI, IRR, dan NPV teknologi ini lebih bernilai positif dibandingkan *binary cycle* konvensional. Efek dari penelitian ini akan bermanfaat bagi industri untuk meningkatkan efisiensi pada *binary cycle*.

Kata kunci : *Binary cycle, hybrid nanofluid, heat exchanger*

Abstract

Geothermal is one of the renewable energies that is intensively developed during the energy transition. Indonesia is a country with the second largest geothermal potential in the world with a geothermal potential of 23,765.5 Mwe. The M.M.S.C.F field is classified as a volcanic geothermal system with liquid dominated developed with binary cycle technology. The use of conventional working fluid in binary cycle has low energy efficiency. Geothermal nanofluids particles consist of two or more nano-sized particles (1-100 nm), these particles are suspended and dissolved in the base fluid which can improve thermal conductivity and accelerate heat transfer in the heat exchanger. However, this technology has disadvantages including large Capital Expenditure (CAPEX) costs. This research applies $\text{CuO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ to increase energy efficiency in heat exchangers directly proportional to the increase in thermal conductivity. The method used in this research is quantitative analysis by comparing economic indicators when using a conventional binary cycle system with a hybrid nanoparticle fluids binary cycle system in the M.M.S.C.F field heat exchanger and qualitative analysis based on previous literature studies. This technology has the advantage of increasing the heat transfer rate due to the increase in thermal conductivity value, the hybrid nanoparticle fluids thermal conductivity value is $0.79 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ when compared to the base fluid of $0.56 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ which has an increase of 23%. Based on the calculation of economic indicators, the payout time (POT) value as well as PI, IRR, and NPV of this technology are more positive than the conventional binary cycle. The effects of this research will be useful for the industry to improve the efficiency of the binary cycle.

Keywords: Binary cycle, hybrid nanofluid, heat exchanger

Efisiensi Teknologi Geothermal Binary Cycle dengan Dispersi $\text{CuO-A}_2\text{O}_3$ pada Heat Exchanger Combined Cooling Heating and Power (CCHP) Cycle: Studi Kasus Lapangan M.M.S.C.F

I. PENDAHULUAN

Potensi energi panas bumi, hanya negara- negara yang dilalui oleh cincin api atau *ring of fire* yang memiliki sumber energi panas bumi (Nasruddin et al., 2016) Indonesia merupakan salah satu negara yang dilewati jalur *ring of fire*, sehingga banyak gunung api yang aktif berada di Indonesia. Gunung api tersebut tersebar di pulau Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, Maluku dan Sulawesi, yang terdapat 117 gunung berapi aktif. Serta Indonesia terdiri dari 256 wilayah yang memiliki potensi energi panas bumi (Purba et al., 2020). Indonesia memiliki cadangan panas bumi paling luas hampir 40 % dari potensi energi panas bumi di dunia yaitu sekitar 28,617 MW, maka Indonesia memiliki potensi panas bumi yang melimpah. Energi panas bumi di Indonesia masih belum dimaksimalkan. Saat ini kapasitas terpasang energi panas bumi Indonesia hanya sekitar 2,133 MW (Setiawan et al., 2020).

Kapasitas energi terbarukan saat ini masih jauh dari yang dibutuhkan untuk sepenuhnya mendekarbonisasi sistem energi pada tahun 2050, untuk itu 10 tahun kedepan Indonesia perlu meningkatkan investasi tahunan sepuluh kali lebih besar dari target pemerintah saat ini. Pada tahun 2021 investasi energi terbarukan mencapai USD 1,12 miliar. Pemerintah perlu memperbaiki iklim investasi di Indonesia melalui peraturan dan kebijakan yang lebih baik dan meningkatkan partisipasi semua pihak kepentingan dalam transisi energi guna meningkatkan investasi dalam energi terbarukan (IESR, 2021). Menurut Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) 2017, capaian panas bumi yang ditargetkan adalah sebesar 3,1 GW (realisasi 66% dari target). Untuk mencapai target RUEN, diperlukan pengembangan terhadap energi panas bumi yang lebih baik lagi. Pengembangan energi panas bumi diperlukan bagi Indonesia untuk memungkinkan sistem energi Indonesia yang berkelanjutan. Penggunaan energi panas bumi memiliki peranan penting pada pengembangan energi baru terbarukan (EBT) di Indonesia dalam penurunan emisi gas rumah kaca di sektor energi, sekaligus untuk mewujudkan Indonesia Net Zero Emission pada tahun 2050 (Andri et al., 2023)

Jenis Energi	Potensi
<i>Hydro</i>	94,3 GW
Panas bumi	28,5 GW
<i>Bioenergi</i>	Bio PP : 32,6 GW Biofuel : 200 Thousand bpd
<i>Solar Energi</i>	207,8 GWp
<i>Wind</i>	60,6 GW
<i>Ocean Energi</i>	17,9 GW

Gambar 1. Potensi EBT Indonesia (ESDM)

Secara umum panas bumi di Indonesia memiliki temperatur tinggi diatas 225°C , Proses dalam pembangkit dimulai dari uap yang diambil dari panas bumi yang digunakan untuk memutar turbin. Jika uap tersebut bertemperatur diatas 370°C , maka PLTP menggunakan *vapor dominated system* dimana uap dari panas bumi langsung digunakan untuk memutar turbin (Rezkyet al.). Namun tak jarang ditemui lapangan panas bumi yang memiliki suhu yang rendah dibawah 180°C . Salah satu cara yang dapat digunakan guna meningkatkan efisiensi energi yaitu dengan *binary-cycle system*. *Binary cycle* memanfaatkan brine sebagai pemanas ataupun uap *working fluid* (senyawa kimia) yang mempunyai titik didih lebih rendah dari air sehingga mampu diubah bentuknya menjadi fasa uap dan uap tersebut nantinya akan digunakan untuk memutar turbin dan generator untuk menghasilkan listrik. Pemilihan *working fluid* yang sesuai menjadi hal yang penting karena menyangkut seberapa optimal siklus dapat bekerja. Temperatur kepala sumur pada lapangan panas bumi yang mengalami penurunan setiap tahun menjadi salah satu hal yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan *working fluid*. *Working fluid* yang digunakan pada sistem ini setidaknya harus memiliki titik didih yang lebih rendah dari pada air dan memiliki tekanan uap yang tinggi jika dibandingkan dengan air. Dengan suhu yang rendah ini menjadikan pemilihan *working fluid* dan desain alat penukar kalor yang akan digunakan pada *binary cycle* menjadi faktor penting dalam perancangan *binary cycle* (JICA, 2017).

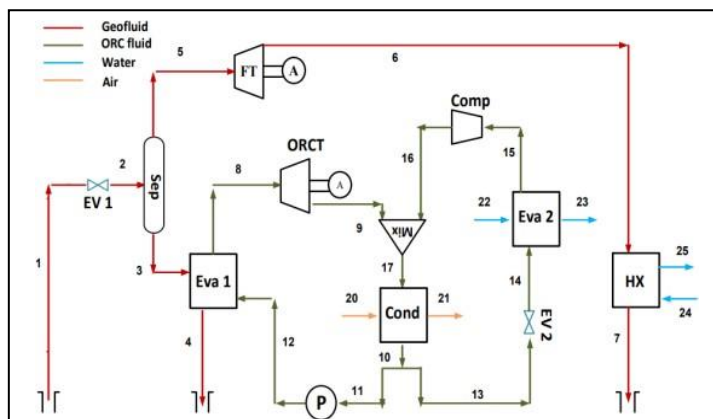
Penggunaan *binary cycle* konvensional sering kali menurunkan efisiensi produksi yang dihasilkan setiap tahunnya, sehingga berdampak pada penurunan kapasitas energi listrik yang dihasilkan turbin. Maka, diperlukan *working fluid* yang memiliki properti yang lebih unggul yaitu Nanofluida Hybrid, nanofluida sendiri merupakan inovasi pada *working fluid* yang terdiri dari 2 atau lebih partikel berukuran nano ($1 - 100\text{ nm}$) yang tersuspensi dan terlarut pada fluida dasar (Akhmad et al., 2022) Partikel ini biasanya logam atau oksida logam yang dapat meningkatkan konduktivitas termal pada proses perpindahan kalor. Kemajuan pesat dalam nanoteknologi dalam beberapa dekade terakhir telah mengakibatkan munculnya inovasi pada *working fluid* dan *Nanofluida Hybrid* ($\text{CuO} - \text{Al}_2\text{O}_3$) didefinisikan sebagai cairan potensial yang menawarkan kinerja perpindahan panas yang lebih baik dan sifat fisik termal dari cairan perpindahan panas konveksi (minyak, air dan etilen glikol). Teknologi ini memiliki keunggulan dapat meningkatkan laju perpindahan panas karena peningkatan nilai konduktivitas termal, didapati nilai konduktivitas termal hybrid nanoparticle fluids sebesar $0,79\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ jika dibandingkan dengan *working fluid* dasar $0,56\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ yang memiliki peningkatan sebesar 23% (Septiadi W N dan Sudarmo C, 2016). Penurunan nilai hambatan termal seiring waktu dapat diminimalisir seiring dengan penurunan temperatur pada reservoir, sehingga dengan peningkatan *heat transfer coefficient* akibat penggunaan *hybrid nanofluid* menyebabkan proses pendidihan *working fluid* yang lebih cepat serta transfer kalor dari bagian evaporator menuju bagian kondensor yang lebih cepat (Akhmad et al., 2017).

Efisiensi Teknologi Geothermal Binary Cycle dengan Dispersi CuO-Al₂O₃ pada Heat Exchanger Combined Cooling Heating and Power (CCHP) Cycle: Studi Kasus Lapangan M.M.S.C.F

II. METODOLOGI

Pada penelitian ini, penulis melakukan beberapa analisis efisiensi dari integrasi teknologi, skema produksi panas bumi pada lapangan MMSCF, proses *binary cycle* pada saat produksi dan mekanisme *binary cycle* yang menggunakan nanofluid CuO-Al₂O₃ sebagai fluida yang ditambahkan didalam heat exchanger serta kelayakan secara ekonomi untuk diaplikasikan dalam skala besar. Studi ini dimulai dengan mengidentifikasi permasalahan yang ada, kemudian dilanjutkan dengan melakukan desain skenario produksi fluida panas bumi untuk memutar turbin dan generator untuk menghasilkan energi listrik. Pada penelitian ini penulis memanfaatkan uap sisa atau *hot water (brine)* dengan sistem *flash binary combined cooling, heating power cycle* menggunakan *organic Rankine Cycle (ORC)* di integrasi teknologi yang ada dengan pertimbangan efisiensi *nanofluid particles* sebagai fluida yang ditambahkan didalam *heat exchanger* konvensional dalam proses pertukaran panas pada *heat exchanger*. Alur kerja pada penelitian ini dilanjutkan dengan membandingkan secara ekonomi dengan analisis ekonomi meliputi analisis biaya operasional (*operational expenditure*), biaya modal (*capital expenditure*), kemudian didapatkan indikator keekonomian seperti *net present value (NPV)*, *present value (PV)*, *capital rate return*, *internal rate of return (IRR)*, *pay out time (POT)*, dan *profit investment ratio (PIR)*. **Geothermal Binary Cycle**

Demonstrasi binary plants ini diintegrasikan pada lapangan M.M.S.C.F dengan memanfaatkan brine yang memiliki temperature pada 170°C. Dalam sistem ini, fluida panas bumi (air) dengan panas yang diperoleh dari sumber daya panas bumi (titik 1) melewati katup ekspansi. Setelah pengurangan tekanan, cairan tersebut masuk ke dalam dua fase. Di pemisah, dua fase ini terpisah menjadi dua jalur. Pemisah bersifat adiabatik dan dapat dibalik, sehingga beroperasi pada suhu yang sama. Setelah masuk ke dalam turbin flash, uap menghasilkan tenaga dan mengalir ke penukar panas untuk menghasilkan air panas untuk konsumsi rumah tangga dan kemudian masuk ke sumur injeksi. Cairan jenuh mengalir ke evaporator 1 dan mengalirkan panasnya ke fluida ORC, dan air menuju ke sumur injeksi. Fluida ORC dengan entalpi tinggi mengalir ke turbin ORC dan menghasilkan tenaga, kemudian mengalir ke mixer, dan setelah bercampur dengan fluida yang berasal dari kompresor, fluida tersebut masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan memasukkan udara. Setelah itu, fluida ORC dibagi menjadi dua aliran untuk mengatur rasio pendinginan terhadap daya (α), yang dalam penelitian ini dianggap sebesar 0,2. Fluida melalui saluran 11 menuju pompa (untuk mensirkulasi ulang bagian ORC untuk pembangkit listrik) dan melalui 14 mengalir ke katup ekspansi. Setelah mengurangi tekanan oleh katup ekspansi, cairan tersebut masuk ke dalam evaporator dan menyerap panas dari air untuk menghasilkan air yang didinginkan untuk sistem pendingin, kemudian mengalir ke kompresor. Diagram suhu-entropi (T-s) ditunjukkan pada Gambar 2. Pada gambar ini, poin 1, 4, dan 7 terkait dengan air panas bumi (Moein Shamoushaki et al., 2021)



Gambar 2. Diagram Flash-Binary Geothermal Combined Cooling Heating and Power
(Moein Shamoushaki Et Al., 2021)

II.1. Nanofluid Hybrid pada Binary Cycle

Nanofluida Hybrid adalah inovasi pada fluida kerja yang terdiri dari 2 atau lebih partikel berukuran nano (1 – 100 nm) yang tersuspensi di dalam fluida dasar. Partikel yang digunakan berupa logam atau oksida logam yang dapat meningkatkan konduktivitas termal pada proses perpindahan kalor. Kemajuan dalam nanoteknologi beberapa dekade terakhir menghadirkan inovasi pada fluida kerja dan *Nanofluida Hybrid* seperti $\text{CuO-Al}_2\text{O}_3$. Inovasi ini menawarkan kinerja perpindahan panas yang lebih baik dan sifat fisik termo dari cairan perpindahan panas konveksi konvensional (air, minyak, etilen glikol, dan lainnya).

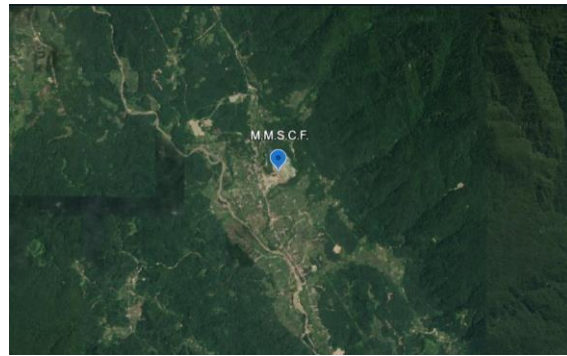
Penggunaan variasi pada fraksi volume volume 0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7% dan 1% pada Nanofluida Hybrid ($\text{CuO-Al}_2\text{O}_3$) didapati nilai konduktivitas termal pada komposisi 50 : 50, terjadi peningkatan fraksi volume dengan meningkatkan nilai konduktivitas termal dimana masing masing memiliki nilai konduktivitas termal 0,62 $\text{W/m}^\circ\text{C}$, 0,69 $\text{W/m}^\circ\text{C}$, 0,73 $\text{W/m}^\circ\text{C}$, 0,76 $\text{W/m}^\circ\text{C}$ dan 0,78 $\text{W/m}^\circ\text{C}$ jika dibandingkan dengan fluida dasar yang digunakan yakni air dengan konduktivitas termal 0,56 $\text{W/m}^\circ\text{C}$ dan massa partikel yang di dispersikan maka fraksi volume 0,5% memberikan peningkatan konduktivitas termal yang paling signifikan dibandingkan dengan fraksi volume yang lain (Septiadi WN dan Sudarmo C, 2016). Penulis memiliki gagasan untuk meningkatkan produktivitas lapangan MMSCF dalam meningkatkan konduktivitas termal pada inovasi *working fluid* dengan menerapkan *hybrid nanofluid* $\text{CuO-Al}_2\text{O}_3$ sebagai gantinya.

II.2. Skema Pengembangan Lapangan M.M.S.C.F. dengan Dispersi $\text{CuO-Al}_2\text{O}_3$ pada Heat Exchanger di Binary Cycle

a. Geologi Regional

Untuk mendemostrasikan teknologi yang diusulkan, dilakukan pengaplikasian di Lapangan M.M.S.C.F dengan kordinat 500.000 sampai 505.000 mE dan 206.000 sampai 213.000 mN, pada sistem koordinat UTM zona 47. Lokasi daerah panas bumi M.M.S.C.F berada jalur bukit barisan dengan elevasi tertinggi mencapai 1075 m diatas permukaan laut.

Efisiensi Teknologi Geothermal Binary Cycle dengan Dispersi $\text{CuO-A}_2\text{O}_3$ pada Heat Exchanger Combined Cooling Heating and Power (CCHP) Cycle: Studi Kasus Lapangan M.M.S.C.F

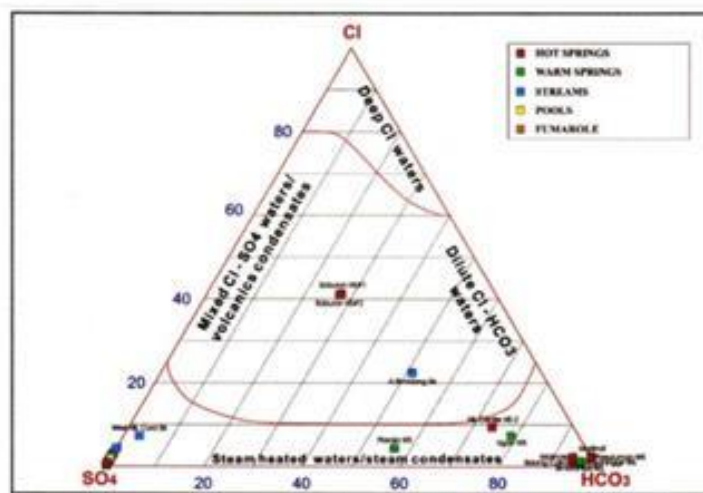


Gambar 3. Lokasi Lapangan M.M.S.C.F

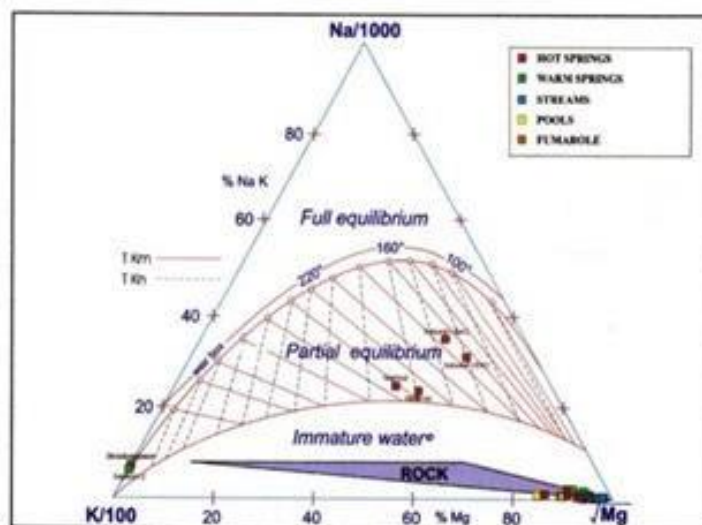
Dari beberapa jenis manifestasi yang ada di daerah ini, fumarol merupakan manifestasi yang sangat menarik, manifestasi ini menunjukkan bahwa fraksi uap telah terbentuk pada reservoir, sehingga bisa diasumsikan bahwa temperatur reservoir lebih dari $210\text{ }^{\circ}\text{C}$.

b. Analisa Kimia Air

Hasil plotting pada diagram $\text{Cl} - \text{SO}_4 - \text{HCO}_3$ seperti terlihat pada gambar 4, menunjukkan bahwa tipe air terdiri dari Bikarbonat dan Sulfat serta beberapa fumarol yang berjenis klorida sulfat. Diantara kedua tipe tersebut tipe bikarbonat sangat mendominasi tipe air di M.M.S.C.F. menunjukkan bahwa hampir sebagian besar mata air panas di daerah ini sudah mengalami pencampuran dengan air meteorik. Sedangkan tipe sulfat adalah tipe air panas yang bersifat asam, seperti tanah panas serta kolam air panas. Sedangkan Diagram Na-K-Mg memperlihatkan tingkat kesetimbangan fluida dalam reservoir. Dari hasil plotting beberapa sampel air panas (Gambar. 5). tipe ini menunjukkan proses pencampuran air meteorik yang dominan terhadap fluida panas bumi. Dari diagram ini sekaligus bisa menentukan besarnya temperatur bawah permukaan (*geothermometer*) dengan metode Na-K dan K-Mg , yaitu berkisar antara $160 - 240\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4. Diagram $\text{Cl} - \text{SO}_4 - \text{HCO}$



Gambar 5. Diagram Na-K-Mg

c. Sistem Panas Bumi Lapangan M.M.S.C.F.

Pada daerah prospek M.M.S.C.F sumber panas yang mungkin adalah berasal dari sisa panas dalam sistem vulkanik M.M.S.C.F vulkanik yang berumur Quarter. Komponen caprock atau batuan penutup, diketahui dari distribusi nilai tahanan jenis rendah, dimana terkonsentrasi di bagian tengah dari zone depresi Sarulla. Adanya zone ini menunjukkan bahwa sistem panas bumi M.M.S.C.F telah mengalami proses mature dimana proses interaksi fluida hydrothermal dengan batuan telah terjadi cukup lama dan sangat intensif.

Keberadaan reservoir diasumsikan berada tepat di bawah lapisan penutup, lapisan ini diperkirakan berada pada satuan batuan sedimen, yang terbentuk karena proses pengkekan serta sesar-sesar dalam zone depresi Sarulla. Secara umum sistem panas bumi terjadi di zona graben Sarulla yang dibatasi oleh dua sesar normal, keberadaan lapisan clay cap yang terbentuk dari perubahan fisik batuan akibat proses ubahan hydrothermal terdeteksi dari data geofisika gaya berat dan tahanan jenis, lapisan ini bersifat impermeable yang menutupi lapisan reservoir.

d. Esitimasi Potensi spekulatif dan hipotesis lapangan M.M.S.C.F

Angka parameter untuk penentuan sumber daya hipotesis ditentukan dari data gravity luas prospek sebesar 31 km², dengan menggunakan perhitungan Monte Carlo, didapatkan data sebagai berikut.

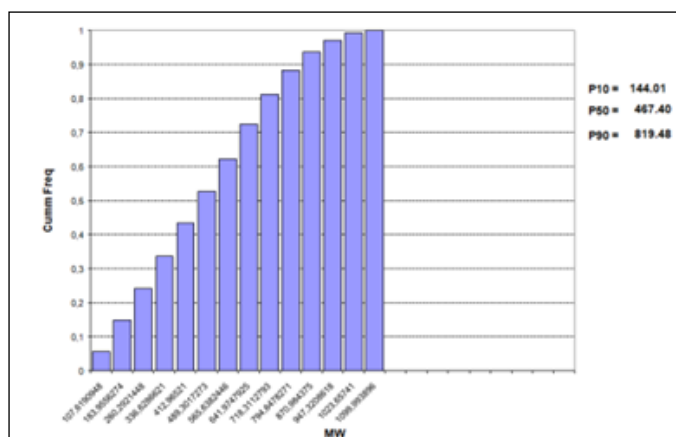
Efisiensi Teknologi Geothermal Binary Cycle dengan Dispersi $\text{CuO-A}_2\text{O}_3$ pada Heat Exchanger Combined Cooling Heating and Power (CCHP) Cycle: Studi Kasus Lapangan M.M.S.C.F

Tabel 1. Tabulasi Hasil Perhitungan Potensi Metode Montecarlo

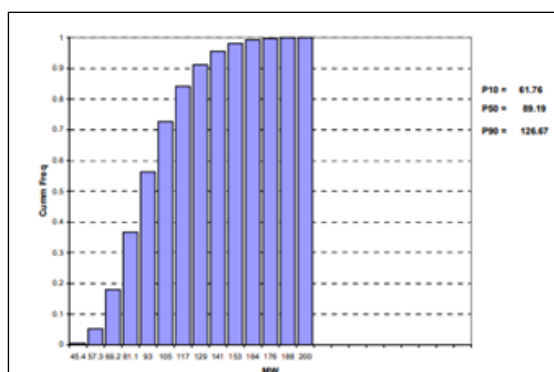
Parameter	Min	Max	Most
Area (sq-km)	3.5	7	4
Thickness (m)	2300	2600	2500
Rock Dens. (kg/cu-m)	2400		
Porosity (fract)	0.03	0.15	
Rock Heat Cap. (kJ/(kg.deg-C))	1		
Life Time (years)	30		
RF (fract)	0.3	0.5	
Elect. Eff. (fract)	0.1		
Ti (deg-C)	225	260	250
Tf (deg-C)	180		
Water Sat. Init. (fract)	1		
Water Sat. Fina. (fract)	0.3	0.5	

Tabel 2. Parameter Input di dalam Volumetric Method (Cadangan Mungkin)

Parameter	Min	Max	Most
Area (sq-km)	31		
Thickness (m)	2000		
Rock Dens. (kg/cu-m)	2400		
Porosity (fract)	0.1		
Rock Heat Cap. (kJ/(kg.deg-C))	1		
Life Time (years)	30		
RF (fract)	0.3	0.5	
Elect. Eff. (fract)	0.1		
Ti (deg-C)	180	310	
Tf (deg-C)	180		
Water Sat. Init. (fract)	1		
Water Sat. Fina. (fract)	0.3	0.5	



Gambar 6. Grafik Penentuan Metode Monte Carlo



Gambar 7. Distribusi Kumulatif Potensi Panas Bumi

Perhitungan monte carlo potensi hipotesis pada P50 didapatkan estimasi cadangan 467 Mwe, dan untuk estimasi sumber daya mungkin pada P50 didapatkan 89 Mwe. Esitimasi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

III.1. Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi turut dikaji untuk membuktikan kelayakan penerapan analisis efisiensi dari integrasi teknologi, skema produksi panas bumi pada lapangan MMSCF, proses *binary cycle* pada saat produksi dan mekanisme *binary cycle* yang menggunakan nanofluid CuO-Al₂O₃ sebagai fluida tambahan pada *heat exchanger*. Pada analisa ekonomi akandi bandingkan parameter-parameter ekonomi antara *binary cycle* konvensional Terdapat beberapa indikator ekonomi yang akan dibandingkan untuk setiap skenario, yaitu *net present value* (NPV), *internal rate of return* (IRR), dan *profit to investment* (PI). Selain itu, skema proyek yang digunakan untuk perhitungan adalah skema proyek *Production Sharing Contract* (PSC) *Gross Split* yang didasarkan pada Peraturan Menteri ESDM Nomor 52 Tahun 2017 dan Nomor 24 Tahun 2018 dengan tingkat diskonto 10% dengan depresiasi capital selama 8 tahun.

III.2. Perhitungan Akhir Potensi

Berdasarkan hasil perhitungan studi kelayakan didapatkan dengan membandingkan parameter-parameter ekonomi dari penggunaan *binary cycle* konvensional dengan *binary cycle* menggunakan nanoparticle fluids sebagai fluida tambahan pada working fluid. Pada perhitungan ini *binary cycle* akan ditambahkan dengan nanoparticle fluids berupa CuO-Al₂O₃ dimana dengan menggunakan teknologi ini energi listrik yang dihasilkan oleh turbin akan meningkatkan mass flow rate sebesar 0.4 kg/s dan dengan Pinlet turbin 6 bar didapatkan 2 MW, sedangkan untuk *binary cycle* konvensional didapatkan 2,6 MW dengan Pinlet dan 1 bar dan mass flow rate 30 kg/s. Perbedaan capital pada penggunaan CuO-Al₂O₃ pada *heat exchanger* dimana capital pada *binary cycle* akan ditambahkan dengan harga dari capital *binary cycle*

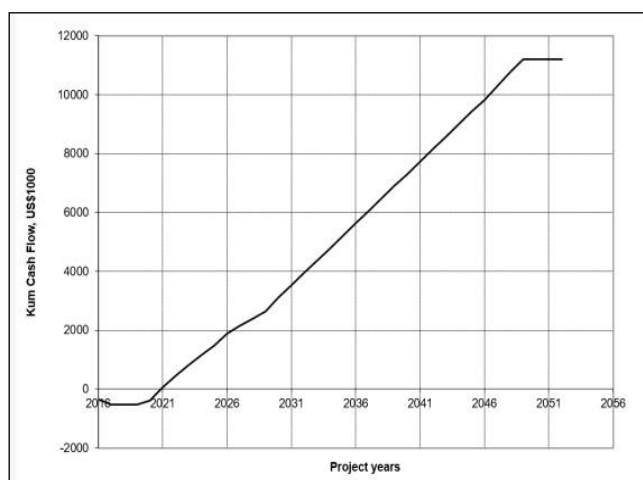
Efisiensi Teknologi Geothermal Binary Cycle dengan Dispersi CuO-Al₂O₃ pada Heat Exchanger Combined Cooling Heating and Power (CCHP) Cycle: Studi Kasus Lapangan M.M.S.C.F

gathering system akan ditambahkan dengan 5,722 MUSD. Hasil perhitungan parameter ekonomi ditampilkan pada tabel 3.

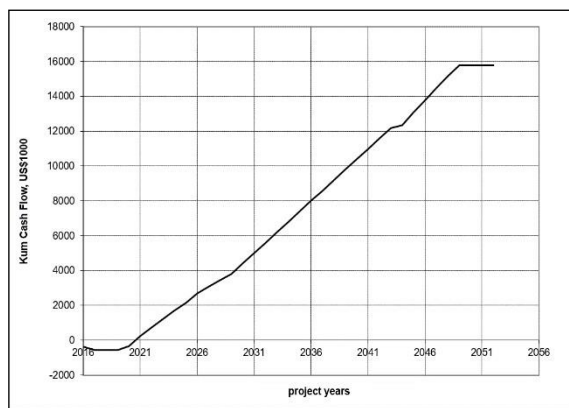
Tabel 3. Perbandingan Indikator Parameter Ekonomi

Indic.	Unit	Binary konvensional	Binary Nanopartikel
Electric price	USD/Mwh	53,20	53,20
PI		2.2	2.49
IRR		30%	34%
NPV	MUSD	1836	2672

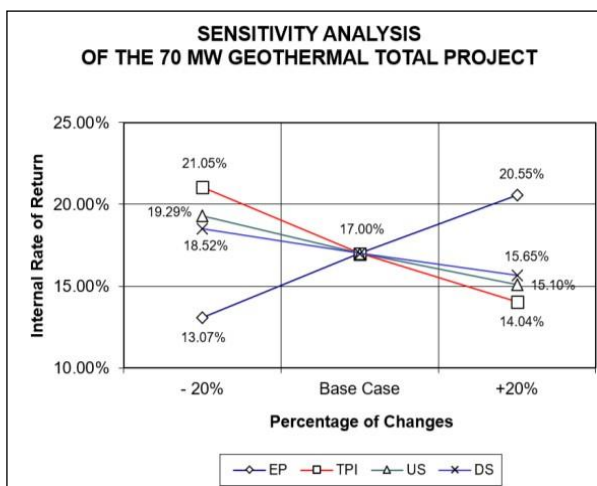
Analisa keekonomian dari binary cycle konvensional pada tabel 2 menunjukan hasil indikator ekonomi berupa nilai NPV 1836 MUSD, dengan oil price 53,20 USD/Mwh, nilai IRR 17% dan PI 2.2. Untuk binary cycle menggunakan tambahan fluida CuO-Al₂O₃ didapatkan nilai NPV 2672 MUSD, PI 2,49, dan IRR 34%, sehingga teknologi yang diusulkan lebih layak untuk diaplikasikan dikarenakan memiliki indikator ekonomi yang lebih positif. Berdasarkan dari tabel 1. Hasil analisa keekonomian, metode konvensional *binary cycle* memberikan hasil yang kurang menguntungkan dibandingkan apabila menggunakan CuO-Al₂O₃ sebagai fluida tambahan *heat exchanger*. Penggunaan teknologi ini akan memberikan *revenue* yang lebih dikarenakan menghasilkan kapasitas turbin yang lebih tinggi dari *binary* konvensional



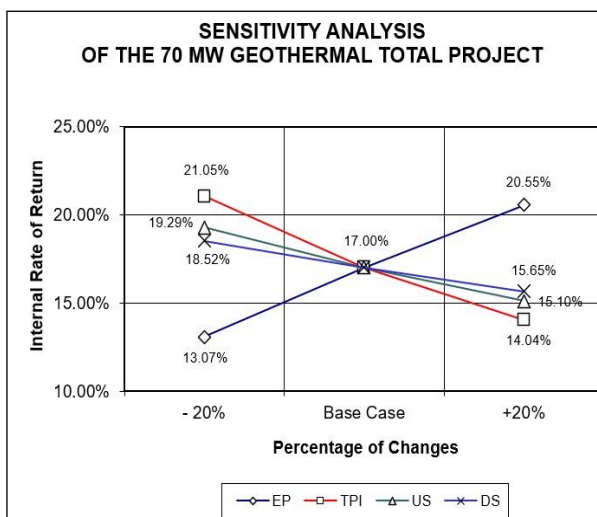
Gambar 8. Kumulatif Cash Flow Binary Cycle Konvensional



Gambar 9. Kumulatif Cash Flow Binary Cycle Konvensional



Gambar 10. Analisa Sensitivitas Binary Cycle Konvensional



Gambar 11. Analisa Sensitivitas Binary Cycle dengan CuO-Al₂O₃ Working Fluids

Efisiensi Teknologi Geothermal Binary Cycle dengan Dispersi CuO-Al₂O₃ pada Heat Exchanger Combined Cooling Heating and Power (CCHP) Cycle: Studi Kasus Lapangan M.M.S.C.F

IV. KESIMPULAN

Kapasitas energi terbarukan saat ini masih jauh dari yang dibutuhkan untuk sepenuhnya mendekarbonisasi sistem energi pada tahun 2050, untuk itu 10 tahun kedepan Indonesia perlu meningkatkan investasi tahunan sepuluh kali lebih besar dari target pemerintah saat ini. Pengembangan energi panas bumi diperlukan bagi Indonesia untuk memungkinkan sistem energi Indonesia yang berkelanjutan. Seiring dengan berjalannya waktu, ditemukan teknologi untuk memanfaatkan brine atau uap sisa yang masih memiliki temperatur tinggi menggunakan binary cycle, akan tetapi binary cycle konvensional memiliki kekurangan seperti efisiensi energi yang kurang, maka dari itu diperlukan peningkatan efisiensi salah satunya dengan menerapkan *Binary cycle* dengan menggunakan fluida tambahan pada *heat exchanger* menggunakan Nanofluida Hybrid (CuO – Al₂O₃). Inovasi Nanofluida Hybrid (CuO – Al₂O₃) dipilih karena Penggunaan working fluid konvensional sering kali menurunkan efisiensi produksi yang dihasilkan setiap tahunnya, sehingga berdampak pada penurunan kapasitas energi listrik yang dihasilkan turbin.

Pada perhitungan ini binary cycle akan ditambahkan dengan nanoparticle fluids berupa CuO-Al₂O₃ dimana dengan menggunakan teknologi ini energi listrik yang dihasilkan oleh turbin akan meningkatkan mass flow rate sebesar 0.4 kg/s dan dengan P_{inlet} turbin 6 bar didapatkan 2.6 MW, sedangkan untuk binary cycle konvensional didapatkan 2 MW dengan P_{inlet} dan 1 bar dan mass flow rate 30 kg/s. Perbedaan capital pada penggunaan working fluids CuO-Al₂O₃ dimana capital pada binary cycle akan ditambahkan dengan harga dari capital binary cycle gathering system akan ditambahkan dengan 5,722 MUSD. Analisis keekonomian dari binary cycle konvensional pada tabel 2 menunjukan hasil indikator ekonomi berupa nilai NPV 1836 MUSD, dengan electricity price 53,2 USD/Mwh, IRR 30%, dan PI 2.2. Untuk binary cycle menggunakan working fluids CuO-Al₂O₃ didapatkan nilai NPV 2673 MUSD, PI 2.49, dan IRR 34%, sehingga teknologi yang diusulkan lebih layak untuk diaplikasikan dikarenakan memiliki indikator ekonomi NPV, IRR, PI, dan POT yang lebih positif dibandingkan *binary cycle* konvensional, sehingga dengan kata lain metode konvensional *binary cycle* memberikan hasil yang kurang menguntungkan dibandingkan menggunakan CuO-Al₂O₃ sebagai fluida tambahan pada *heat exchanger*. Penggunaan teknologi ini akan memberikan revenue yang lebih dikarenakan kapasitas turbin menghasilkan energi listrik

V. DAFTAR PUSTAKA

- Kaggwa, A., & Carson, J. K. (2019). Developments and future insights of using nanofluids for heat transfer enhancements in thermal systems: a review of recent literature. *International Nano Letters*, 9(4), 277-288.
- Mangala, A. (2009). Pra-Studi Kelayakan Berdasarkan Data Survey Rinci Dan Data Pemboran & Uji Sumur Eksplorasi. Institut Teknologi Bandung, 5(4), 199-250.
- Pellu, D. I., Kasmungin, S., Sitaresmi, R., & Yunis, Y. (2021). Optimasi Hasil Eksplorasi Wilayah Kerja

- Panas Bumi(WKP) Tulehu dengan PembangkitSiklus Biner. *Kocenin Serial Konferensi*, (1), 1-10.
- Gunawan, I., & Sinaga, N. (2021). Working Fluid Review On The System Organic Rankine Cycle. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*,6(1), 53-64.
- Kusuma, G. A., Mangindaan, G., & Pakiding, M. (2018). Analisa efisiensi thermal pembangkit listrik tenaga panas bumi lahendong unit 5 dan 6 di tompaso. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 7(2), 123-134.
- Saiffudin, A., & Arsana, M. (2022). Proses Preparation Nanofluida Hybrid (Cuo–Al₂o₃) Pada Double Pipe Heat Exchanger. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(03), 113-118.
- Prasad, S. (2021). Flow Analysis Of Cuo Water Nano-Fluid Flow In A Shell And Tube Heat Exchanger By Using CFD. *IJARIIIE-ISSN(O)*. Vol-7 Issue-1
- Ali, A. R. I., & Salam, B. (2020). A review on nanofluid: preparation, stability, thermophysical properties, heat transfer characteristics and application. *SN Applied Sciences*, 2(10), 1636.
- Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Li, S., Yu, W., dan Thompson, L. J. (2001). Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles. *Applied physics letters*, 78(6), 718-720.
- Sheikholeslami, M., Jafaryar, M., Shafee, A., & Babazadeh, H. (2020). Acceleration of discharge process of clean energy storage unit with insertion of porous foam considering nanoparticle enhanced paraffin. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121206.
- Afzal, A., Nawfal, I., Mahbubul, I. M., & Kumbar, S. S. (2019). An overview on the effect of ultrasonication duration on different properties of nanofluids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 135(1), 393-418
- Zakaria, M. F., & Effendy, M. (2018). Analisa Energi Dan Eksergi Turbin Uap Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Unit 2 Tanjung Awar-Awar. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2).
- Feng, Y. Q., Wang, Y., Yao, L., Xu, J. W., Zhang, F. Y., He, Z. X., ... & Ma, J. L. (2023). Parametric analysis and thermal- economical optimization of a parallel dual pressure evaporation and two stage regenerative organic Rankine cycle using mixture working fluids. *Energy*, 263, 125670.
- Haroon, M., Ayub, A., Sheikh, N. A., & Imran, M. (2020). Exergetic performance and comparative assessment of bottoming power cycles operating with carbon dioxide-based binary mixture as working fluid. *International Journal of Energy Research*, 44(10), 7957-7973.
- Isfandi, I. (2021). Analisa Heat Rate Pada Sistem Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Unit 3 Pltu Jeranjang (Doctoral dissertation, Universitas Mataram).