

Analisa Optimalisasi “Abandoned Well Production” Menggunakan “Downhole Heat Exchanger (DHE)” Sebagai Sumber Energi Baru di Lapangan Panas Bumi Dieng

Wahyu Festiawan Nurrochim¹, Udi Harmoko²

¹Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro;

²Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro;

Email : festiawan@students.undip.ac.id (W.F.N), udiharmoko@fisika.fsm.undip.ac.id (U.H);

Abstrak : Dari potensi lapangan panas bumi di area WKP Dieng yang baru bisa dimanfaatkan sebesar 10,3% dari total cadangannya atau sebesar 60 MW dari 580 MW potensi energi panas bumi di area tersebut. Sumur produksi di lapangan Dieng ada beberapa yang sudah tidak ekonomis untuk digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP) konvensional. Salah satu sumur produksi yang sudah tidak bernilai ekonomis, sudah ditinggalkan (*abandoned*), (dari data aktual yang didapat sumur tersebut masih memiliki potensi energi yang dapat digunakan pada sistem *Binary Plant* dengan mengkombinasikan sistem *Downhole Heat Exchanger* (DHE)). Dari beberapa penelitian mengenai DHE system lebih banyak digunakan sebagai pemanas dan masih sangat rendah untuk dimanfaatkan sebagai *power generated*. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan abandoned production well di area lapangan panas bumi Dieng dapat dioptimalisasi sebagai alternatif baru untuk menghasilkan energi listrik. Dari potensi yang dimiliki oleh salah satu sumur produksi tersebut memiliki suhu gradien sebesar $7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ pada kedalaman 3000 m. Dari potensi tersebut didapatkan hipotesa awal dengan membandingkan penelitian-penelitian terdahulu bahwa pemanfaatan sumur abandoned dapat menghasilkan output *Netto* daya listrik sebesar kurang lebih 3 MW. Namun pada penelitian ini hanya sebatas melakukan perbandingan teknologi DHE system dengan menggunakan karakteristik kondisi sumur yang sama, sehingga selanjutnya perlu dilakukan analisa termodinamika, pemodelan sistem dan keekonomiannya terhadap kelayakan investasi sistem DHE-*Binary Plant* di lapangan panas bumi Dieng.

Kata Kunci : DHE, PLTP, Dieng

1. Pendahuluan

Pertambahan pertumbuhan industri dan populasi penduduk sangat berkontribusi dalam pertumbuhan ekonomi Indonesia. Pertumbuhan tersebut mempengaruhi tingkat kebutuhan energi listrik di masa akan datang, dimana proyeksi kebutuhan energi listrik sampai dengan Tahun 2050 berkisar diangka 34% (BPPT, 2019). Permintaan listrik yang tinggi dipengaruhi oleh meningkatnya penggunaan alat elektronik pada sektor rumah tangga dan juga substitusi penggunaan genset pada sektor industri dan komersial yang berbahan bakar minyak ke penggunaan listrik on grid.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP) di Indonesia memiliki potensi yang cukup besar yaitu mencapai 23,9 GW. Namun pemanfaatan sumber energi panas bumi baru mencapai 1.698,5 MW atau 1,7 GW, dengan kata lain 9,3% dari total cadangan yang tersedia (Kementerian ESDM, 2019).

Di Indonesia masih banyak sistem panas bumi yang menggunakan teknologi konvensional, walaupun ada beberapa teknologi terbarukan seperti penggabungan sistem atau yang biasa dikenal dengan Binary System. Teknologi ini digunakan untuk mengoptimalkan potensi energi panas bumi yang ada agar dapat dimanfaatkan secara optimal. Di Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) Dieng salah satunya terletak di Indonesia bagian barat tepatnya di Provinsi Jawa Tengah. Potensi panas bumi di WKP Dieng sebesar 200 MW dan cadangan 580 MW. Sedangkan kapasitas terpasang hingga saat ini hanya 60 Mw dari cadangan yang tersedia atau 10,3% dari cadangan yang dikelola oleh PT Geo Dipa Energi (persero) sejak tahun 2002. Dengan tingginya permintaan kebutuhan energi listrik di Indonesia dan mendukung ketahanan energi nasional yang berbasis untuk mengurangi dampak gas efek rumah kaca. Untuk menjawab tantangan tersebut pemerintah Indonesia yang diwakili oleh PT Geo Dipa Energi (persero) melakukan pengembangan WKP Dieng dengan merencanakan pembangunan pembangkit berbasis *Binary* untuk meningkatkan efisiensi dari pemanfaatan potensi panas bumi di Dataran Dieng.

Pembangunan *Binary Plant* tersebut bertujuan untuk meningkatkan jumlah pemanfaatan panas bumi di Area WKP Dieng dan juga mengefisienkan pemanfaatan panas bumi dengan memanfaatkan sumur yang sudah abandoned karena sudah tidak ekonomis lagi jika digunakan sebagai sumur produksi. Sehingga dalam hal ini sumber energi yang ada diharapkan dapat digunakan se-efisien mungkin untuk mengkonversikan menjadi energi listrik. Penelitian ini melakukan review potensi sistem *Downhole Heat Exchanger* (DHE), dimana sistem DHE ini memanfaatkan panas didalam sumur tersebut untuk selanjutnya digunakan untuk memanaskan fluida kerja pada sistem *Binary*. Sehingga dapat mengetahui potensi kombinasi DHE system dengan Binray Plant dapat dikembangkan di masa akan datang.

2. Teknologi *Downhole Heat Exchanger*

Downhole Heat Exchanger (DHE) atau ground *Heat Exchanger* (GHE) merupakan suatu alat penukar panas yang dikembangkan khusus untuk ekstraksi panas dari batuan (atau fluida termal) di bawah permukaan bumi. Panas yang diekstraksi dari batuan di bawah permukaan bumi akan diangkut ke permukaan bumi supaya dapat diutilisasi untuk beberapa aplikasi pemanfaatan langsung energi geotermal. Media penyerap dan pengangkut panas biasanya merupakan air bersih yang dialirkan dalam pipa yang ditanam di bawah permukaan bumi dan disirkulasikan oleh suatu pompa.

Sistem DHE dapat diaplikasikan dalam berbagai pengembangan energi panas bumi, baik langsung maupun tidak langsung. Contoh pemanfaatan perangkat DHE secara langsung adalah untuk aplikasi *Ground Source Heat Pump* (GSHP). Sebagaimana alat penukar panas yang lainnya, DHE juga dapat digunakan untuk mengambil panas ataupun membuang panas. Selain itu, DHE dapat digunakan untuk pemanfaatan tidak langsung, salah satunya dengan aplikasi PLTP *Binary*.

Teknologi panas bumi ada banyak jenisnya, antara lain menggunakan sistem siklus gabungan, sistem pembangkit *binary*, sistem gabungan menggunakan panel surya, atau *downhole Heat Exchanger* (DHE). Dalam tulisan ini akan dilakukan penelitian tentang potensi kombinasi sistem panas bumi dengan menggunakan sistem DHE. Sistem DHE ini memanfaatkan panas dari perut bumi untuk

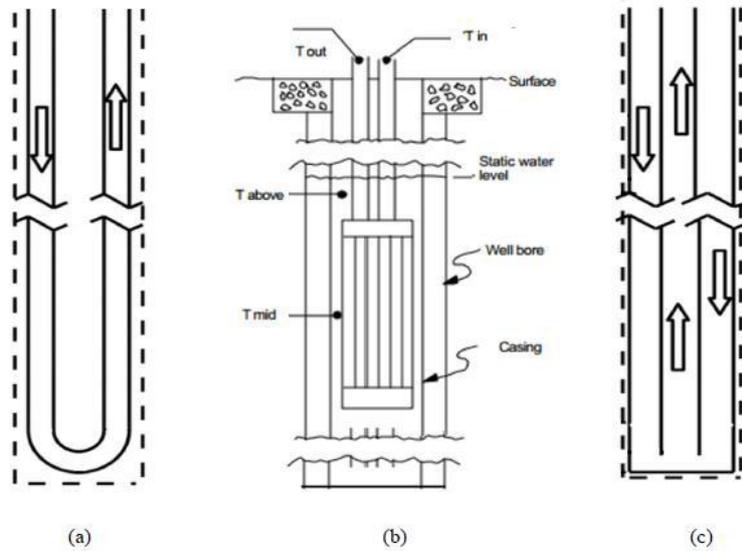
memanaskan fluida kerja pada sistem *binary*. Daerah panas bumi ini memiliki suhu tinggi tetapi tidak ada aliran didalam perut bumi. Jika suhu ini dapat digunakan untuk menghasilkan energi maka diperkirakan akan lebih ekonomis (Duchane & Brown, 2002). Sistem DHE dirancang untuk proses ekstraksi di sumur produksi panas bumi. Dalam hal ini sumur produksi digunakan untuk sistem pembangkit konvensional yang dimana sudah tidak ekonomis lagi, namun jika digunakan untuk *binary* maka dapat meningkatkan tingkat ekonominya. Sistem DHE mengalirkan fluida kerja yang memiliki titik didih rendah. Saat ini, teknologi DHE banyak digunakan untuk pemanas, pemandian air panas, dan proses industri yang digunakan secara langsung sekitar 70 MW (163 GWh/tahun) (Lund & Boyd, 2016). Selain digunakan sebagai pemanfaatan langsung, sistem DHE sangat potensial sebagai alternatif penghasil energi listrik. Review yang telah dilakukan terhadap teknologi DHE yang mampu menghasilkan panas dan daya listrik pada kisaran 0,15 - 2,5 MW dan 0,25 kW – 364 kW (Alimonti et al., 2018).

2.1. Jenis *Downhole Heat Exchanger*

Sistem DHE memiliki keunggulan dibandingkan sistem *binary* yang sudah ada untuk memanfaatkan brine water hasil dari sumur panas bumi yang dapat menyebabkan masalah korosi dan kerak. Dan juga sistem DHE memiliki desain yang lebih sederhana dibandingkan dengan sistem *Binary Geothermal* untuk meminimalkan biaya investasi. Ada banyak jenis sistem DHE termasuk sistem U-type, multi-*Tube*, dan coaxial (Gambar 1). Dari berbagai jenis DHE, desain U-type banyak digunakan dalam sistem DHE, karena desainnya sangat sederhana hanya menggunakan pipa berbentuk U. Fluida kerja akan diinjeksikan ke dalam U-type dan panas dari *reservoir Geothermal* secara konvensional akan memanaskan fluida kerja dan mengubah fasa dari cair menjadi uap. Ilmuwan meneliti alat pengisi air dalam tanah dengan kedalaman di 80 m menggunakan single U-*Tube*. Penelitian ini menggunakan air yang dicampur dengan etanol dan konsentrasi etanol 26,4%. Panas rata-rata yang diinjeksikan adalah -45 dan 75 W/m (Spitler et al., 2016). Sebuah studi kelayakan tentang ekstraksi panas dari sebuah sumur minyak telah dilakukan. Hasil simulasi sistem U-*Tube* DHE pada kondisi steady dan unsteady menggunakan data aktual lapangan panas bumi. menunjukkan data suhu keluaran fluida kerja mencapai 114.9°C pada 0,5 m/s dan kondisi suhu fluida kerja masuk pada 30°C. Mereka dapat menghasilkan daya panas bruto 48,8 kW dengan menggunakan diameter pipa 0,01 m dan gradien termal 3,14°C/100 m (Gharibi et al., 2018).

DHE dengan tipe multi-*Tube* seperti pada (Gambar 1, b) terdiri dari *Shell* yang didalamnya terdapat bundle *Tube*. Jenis ini membuat fluida kerja mengalir melalui tubing, dan fluida panas bumi mengalir di dalam *Shell*. Jenis ini dapat mengekstraksi lebih banyak panas tetapi juga dapat menyebabkan banyak kehilangan tekanan (Gordon et al., 2018).

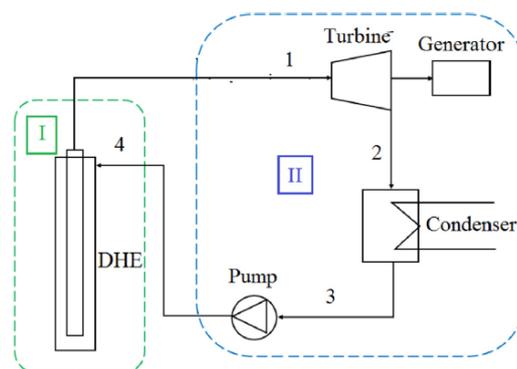
DHE tipe coaxial terdiri dari inner *pipe* yang dilapisi oleh pipa annulus sebagai casing (Gambar 1, c). Dari diagram alir tersebut, fluida kerja mengalir ke bawah dan ke atas melalui pipa bagian dalam setelah dipanaskan pada batuan panas atau fluida panas bumi. Salah satu fungsi DHE coaxial dibandingkan DHE tipe-U adalah memiliki kecepatan aliran fluida kerja yang lebih tinggi (Acuña, 2010) melakukan studi perbandingan antara kinerja DHE tipe-U dan Coaxial DHE. Hasil perbandingan kedua jenis tersebut menunjukkan bahwa Coaxial DHE dapat menurunkan penurunan tekanan hingga 65% pada berbagai variasi laju aliran fluida. Dan juga penelitian lebih lanjut (Zacchini et al., 2010) pengaruh aliran balik pada konfigurasi DHE koaksial. Hasil penelitian ini diperoleh bahwa aliran balik fluida kerja memiliki perpindahan panas yang lebih baik daripada aliran maju.



Gambar 1. Types of DHEs;
 (a) U-Type (Sliwa & Rosen, 2015)
 (b) Multi-Tube (Lund, 2003)
 (c) Coaxial (Sliwa & Rosen, 2015)

2.2. Binary Plant System

Organic Rankine Cycle (ORC) atau *Siklus Rankine Organik (SRO)* mengaplikasikan prinsip dari Siklus Uap Rankine, namun dengan memakai fluida kerja organik dengan suhu didih rendah untuk memanfaatkan panas dari sumber panas bertemperatur rendah. Siklus ini dikonfigurasi dengan adanya turbin ekspansi, kondensor, pompa, boiler dan superheater. Fluida kerja organik yang biasa digunakan pada SRO adalah HCFC123, HFC-245fa, HFC-245ca, n-butana, n-pentana, R-22, dan R-134a. Keuntungan menggunakan fluida kerja organik adalah turbin yang digunakan untuk SRO hanya memerlukan ekspansi single-stage sehingga menghasilkan sistem yang lebih sederhana dan ekonomis dalam biaya modal dan perawatan.



Gambar 2. Skematik Diagram GPP-DHE (Aydin et al., 2018)

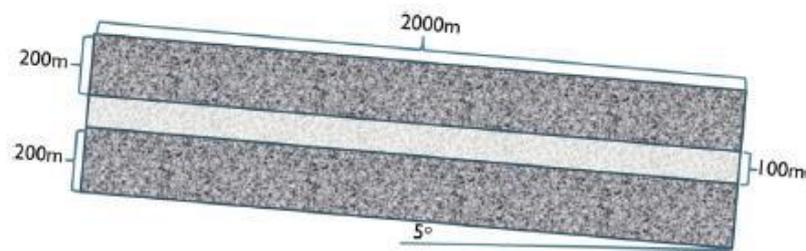
Pada sistem DHE *Geothermal power Plant* terdiri dari dua sistem utama, yaitu DHE sistem dan ORC Plant sistem yang ditunjukkan pada Gambar 2. Sistem DHE merupakan sebuah alat penukar panas untuk mengestrak sumber panas pada *reservoir* panas bumi, sedangkan sistem ORC digunakan sebagai *power Plant* untuk mengkonversikan panas menjadi energi listrik.

3. Studi Penelitian

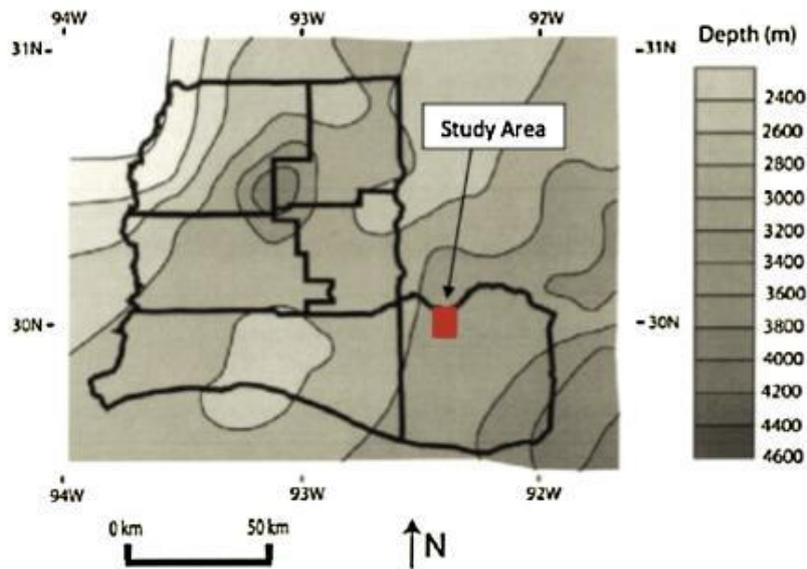
Untuk menganalisa potensi pemanfaatan sumber panas bumi di lapangan panas bumi Dieng, maka penulis melakukan dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan.

3.1. Lapangan Panas bumi Camerina A (Louisiana, USA)

The Camerina A *reservoir* yang berbentuk persegi panjang ideal dengan memiliki kemiringan Gambar 3. Shale pembatas dimodelkan sebagai lapisan dengan ketebalan 200 m di atas dan di bawah interval *reservoir* permeabel, yang tebalnya 100 m. Lapisan pembatas menyumbangkan panas ke *reservoir* secara konduksi. Temperautr rata-rata *reservoir* adalah 142°C. Penelitian ini memvariasikan jarak antara DHE dan injeksi geofluid, serta sudut kemiringan untuk menilai kinerja DHE dari *reservoir* Camerina A. Parameter untuk melakukan simulasi terangkum pada Tabel 1.



(a)



(b)

Gambar 3. Lapangan Panas bumi Vermillion Parish Louisiana;

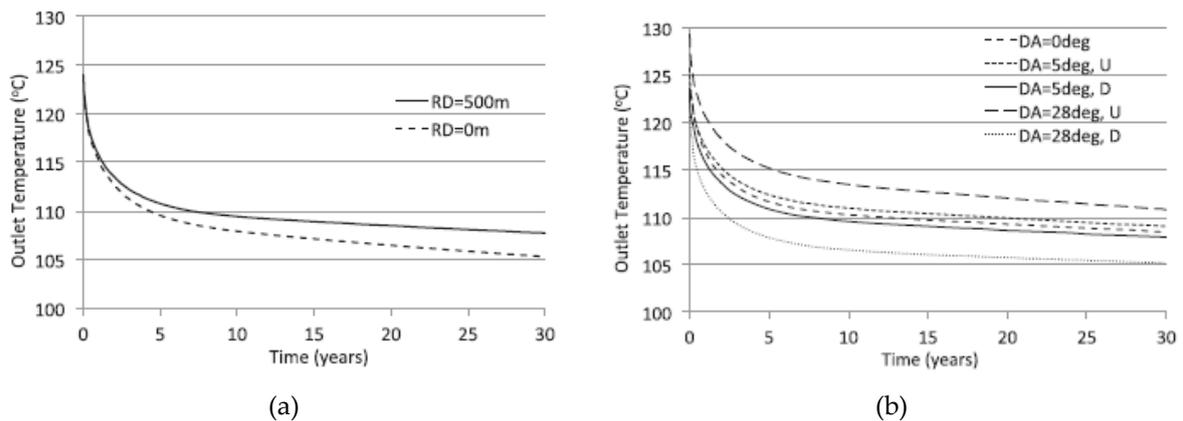
a) *Reservoir* Camerina A Model

b) Field study

Tabel 1.

Parameter untuk Melakukan Simulasi Pemodelan	
Parameter	Nilai
<i>Reservoir</i>	
<i>Rock Density</i>	2.700 kg/m ³
<i>Heat Conductivity</i>	1,9 W°C/m
<i>Geothermal gradient</i>	28°C/km
<i>Permeability</i>	200 mD
<i>Porosity</i>	0,20
<i>Dip Angle</i>	5°
<i>Thickness</i>	100 m
<i>Width × Length</i>	2.000 m × 2.000 m
<i>Geofluid</i>	
<i>Density</i>	1.000 kg/m ³
<i>Heat Conductivity</i>	0,649 W/m°C
<i>Specific Thermal Capacity</i>	3.726 J/kg°C
<i>Viscosity</i>	3 × 10 ⁻⁴ Pas

Hasil dari simulasi suhu *output* fluida kerja menurun 15°C – 20°C dengan umur diatas 30 tahun (Gambar 4). Suhu fluida kerja relatif stabil setelah 5 tahun pertama. Konfigurasi yang menggunakan insulated tubular untuk mengalirkan fluida kerja ke atas permukaan, dan analisis mengasumsikan tidak adanya *heat loss* sehingga, DHE suhu outlet fluida kerja sama dengan suhu fluida kerja yang masuk menuju *binary power plant*. Keadaan fluida ini digunakan untuk menghitung daya keluaran *Binary Plant*. Setelah 30 tahun, suhu fluida kerja di outlet DHE dengan interval injeksi 500 m sekitar 2,5°C (Gambar 4). Perbedaan suhu ini setara dengan 36 kW *thermal power* dan sekitar 11 kW listrik yang dihasilkan (Feng et al., 2015).



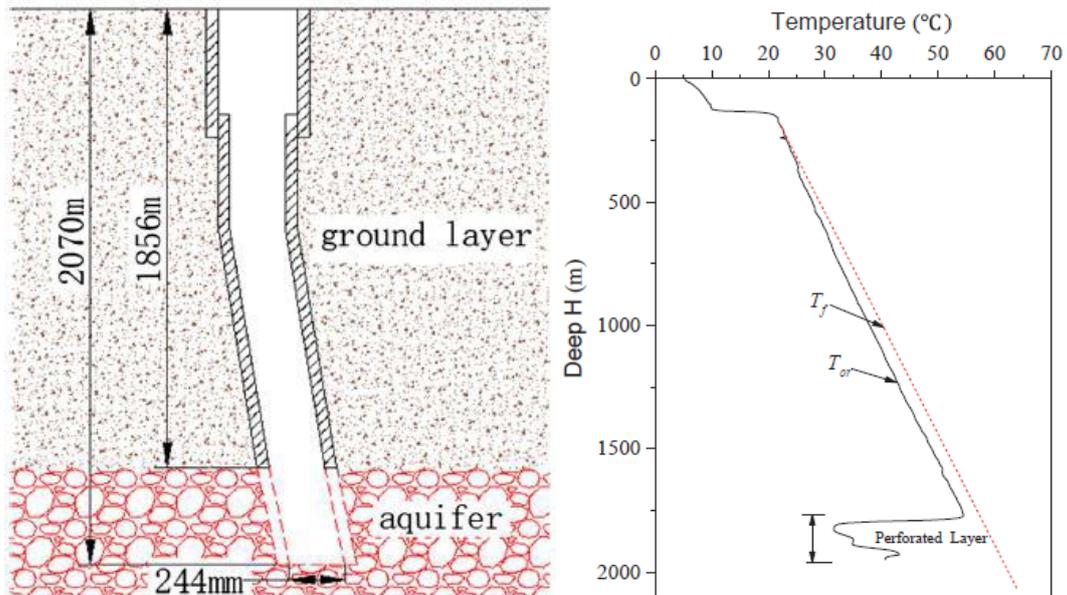
Gambar 4. Variasi Suhu Fluida Kerja Vs;

a) Waktu Dan Jarak Reinjeksi

b) Waktu Akibat Sudut Geometri Model *Reservoir*

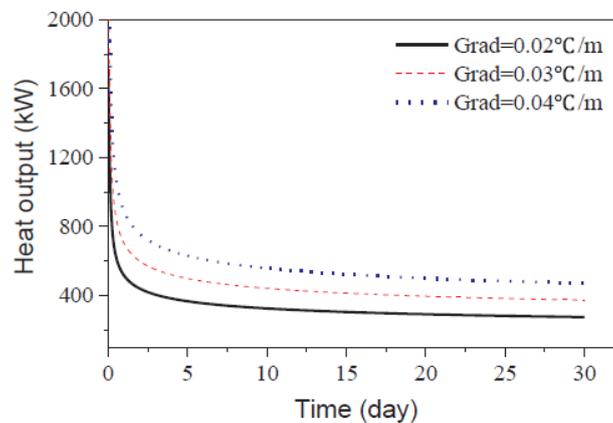
3.2. Tianjin, China

DHE dengan jenis coaxial pada area panas bumi sekitar 53 km dari tenggara Kota Tianjin, China. Sumur produksi yang digunakan sekaligus sebagai sumur injeksi. Penelitian yang dilakukan pada area tersebut didapat parameter suhu maksimal keluaran sumur yang terukur adalah 62°C dengan flow rate sebesar 60 t/h dan level statik air pada kedalaman 138 m. Gambar 5 menunjukkan profil sumur yang digunakan untuk penelitian pada area panas bumi tersebut dengan sudut 19° jarak horizontal masuk sumur terhadap dasar sumur dengan jarak sepanjang 462 m dan suhu 50°C pada kedalaman 1.800 m.



Gambar 5. Profil sumur produksi yang digunakan untuk sistem DHE Coaxial Tianjin, China

Hasil pemodelan dan simulasi yang dilakukan didapatkan hasil pengaruh *gradient* suhu *reservoir* panas bumi terhadap waktu. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 perbedaan *gradient* suhu *reservoir* panas bumi dapat mempengaruhi *thermal power output*. Dengan kenaikan $0,02^{\circ}\text{C}/\text{m}$ sampai dengan $0,04^{\circ}\text{C}/\text{m}$, setiap kenaikan $0,01^{\circ}\text{C}/\text{m}$ suhu *gradient* dapat meningkatkan 100 kW *thermal output* (Dai et al., 2019).



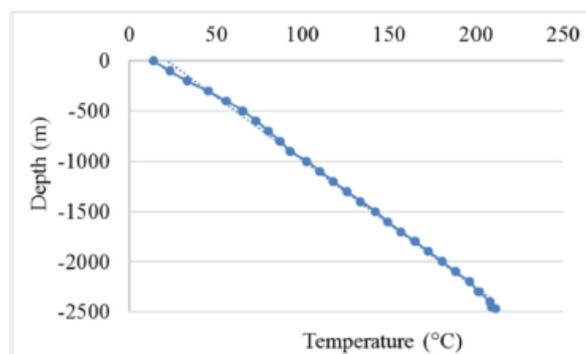
Gambar 6. Pengaruh suhu *gradient reservoir* terhadap *thermal output* dan waktu

3.3. Taupo Volcanic Zone, New Zealand

Penelitian yang dilakukan pada salah satu potensi panas bumi di New Zealand yaitu berada pada Whakarewarewa area, dimana didaerah tersebut merupakan tempat wisata yang memiliki lebih dari 40 unit penginapan. Dimana dari penginapan tersebut membutuhkan rata-rata energi sebesar 90 kW diluar musim liburan dan pada saat musim liburan bisa lebih dari rata-rata energi tersebut. Dimana energi sebesar itu rata-rata digunakan untuk pemanas, pemandian air panas, dan kolam spa. Pada dataran tersebut dikelilingi potensi panas bumi dengan suhu *reservoir* yang tidak terlalu tinggi. Dengan kedalaman sumur kurang lebih 55 m didapat suhu geofluid sebesar 138°C. Dengan memanfaatkan suhu tersebut pada sistem DHE U-Tube pipe dapat merubah suhu fluida kerja masuk ke dalam sistem antara 25°C – 64°C menjadi suhu keluaran berkisar 42°C – 77°C, dengan perbedaan suhu hingga 33°C dan *heat output* maksimal 49 kW. Dengan pemanfaatan tersebut sebagai pemenuhan sistem pemanas di area Whakarewarewa dapat menghemat penggunaan energi listrik hingga 19,65 kW (Steins et al., 2012).

3.4. Lapangan Panas Bumi Alasehir, Turki

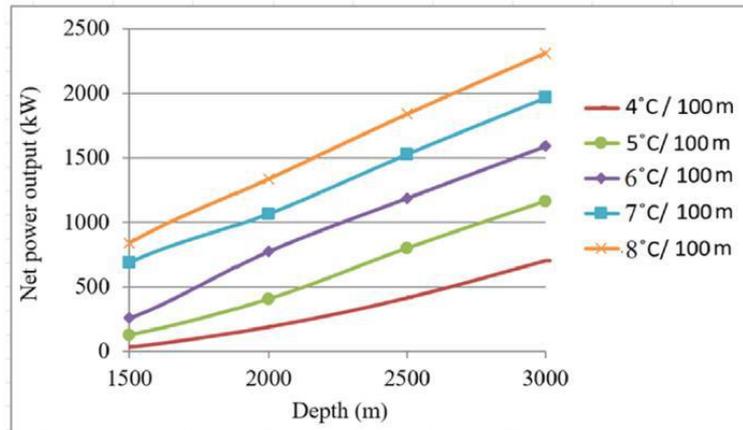
Pada tahun 2019 telah dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan sumur panas bumi untuk meningkatkan pemanfaat potensi yang ada di Turki. Sebelah Barat Anatolia, merupakan potensi terbesar area panas bumi yang ada di Turki. Banyak sumber panas bumi disepanjang wilayah Gediz Graben yang berlokasi di Turgutlu. Area panas bumi di Alasehir. Dari potensi panas bumi dengan suhu tinggi tersebut dapat membangkitkan 10 PLTP dengan total kapasitas 206 MW. Untuk suhu di lapangan panas bumi antara 30°C sampai dengan 50°C digunakan untuk pemandian air panas, dan untuk lapangan panas bumi dengan suhu lapangan panas bumi antara 51°C sampai dengan 287°C digunakan untuk sumur produksi panas bumi yang ditunjukan pada data lapangan panas bumi di WKP Alasehir (Gambar 7). Gambar lapangan panas bumi itu mengindikasikan aliran panas yang tinggi di area lapangan panas bumi dengan *gradient* suhu 10°C/100 m. Dengan aliran fluida keluaran berkisar antara 2 sampai dengan 80 l/s (Aydin et al., 2018). Pada penelitian ini digunakan sumur panas bumi di Area WKP Alasehir dengan suhu-kedalaman gradien panas bumi pada 6°C/100 m (Gambar 7 (Yildirim et al., 2019)).



Gambar 7. Profil Suhu Fluida Panas bumi di Sumur Eksisting WKP Alasehir

Pengaruh gradien suhu fluida panas bumi dan kedalaman sumur dianalisis terhadap energi listrik yang dihasilkan pembangkit listrik. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 8, dengan menggunakan fluida kerja pada kondisi 30 kg/s R134a meningkat dengan meningkatnya suhu gradien dan

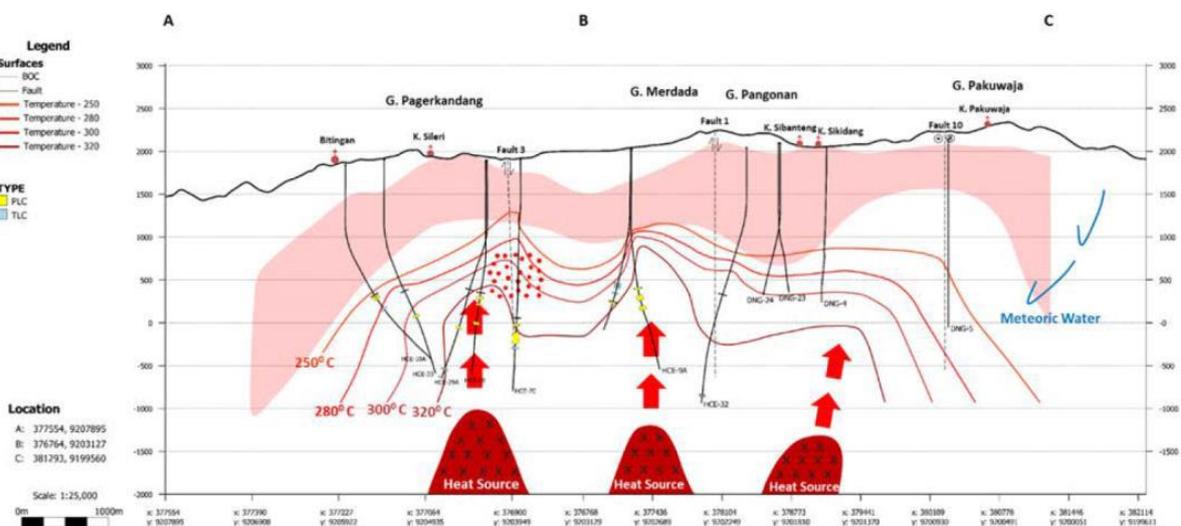
kedalaman DHE. Sebagai contoh, pada 8°C/100m suhu gradien, *output* kerja *Nettor* dari turbin meningkat sekitar 37% dengan peningkatan 500 m di kedalaman DHE (Yildirim et al., 2019).



Gambar 8. Pengaruh Suhu *gradient* Fluida Panas bumi pada Kedalaman terhadap *power Nett output* DHE Sistem (Fluid Kerja R.134a, mass flow: 30 kg/s)

4. Pembahasan

Wilayah Kerja Panas bumi (WKP) Dieng merupakan salah satu yang terbesar di Indonesia khususnya Provinsi Jawa Tengah. Lapangan panas bumi Dieng memiliki karakteristik lempengan gunung api dengan suhu tinggi dan water dominated (Layman et al., 2002). WKP Dieng memiliki beberapa sumur panas bumi yang sangat prospek, diantaranya area Sileri dan Sikidang. Namun untuk semua sumur produksi berada pada area Sileri dengan karaktersitik fluida kerja high suhu water dominated. Berdasarkan penelitian terakhir yang telah dilakukan (Gambar 9) menunjukkan bahwa lapangan panas bumi Dieng memiliki tiga upflow zona yang terdiri dari Sileri, Merdada dan Sikidang. Data geologi yang didapat dari pengukuran suhu diketahui bahwa suhu *reservoir* berada diantara 280°C – 330°C (Ashat et al., 2019).



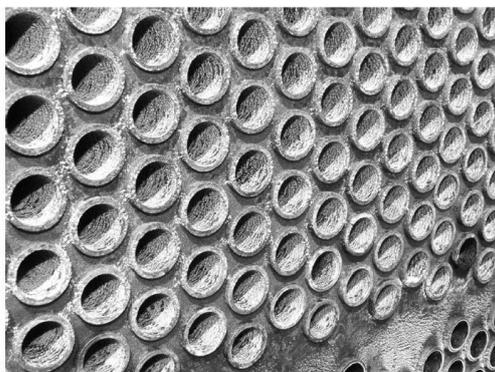
Gambar 9. Dieng 3G (geology, geochemist, and geophysics) Conceptual Geologi Model

Kondisi air brine setiap sumur produksi panas bumi Dieng masih memiliki potensi energi untuk bisa digunakan kembali pada sistem. Suhu air brine yang sudah tidak digunakan lagi tersebut berkisar antara 50°C – 120°C (Pambudi et al., 2015). Dengan suhu tersebut bisa digunakan kembali pada sistem *Binary Plant* untuk membangkitkan listrik menggunakan fluida kerja suhu rendah. Dimana pada sistem *Binary* yang digunakan menggunakan alat penukar kalor/evaporator untuk memanaskan fluida kerja yang digunakan pada sistem *Binary*. Pada Gambar 9 bisa ditunjukkan ilustrasi untuk pertukaran panas antara *Geothermal fluid* dengan fluida kerja. *Geothermal fluid* masuk melalui *Shell inlet* pada *Heat Exchanger*, setelah itu dipanaskan dengan menggunakan *Geothermal fluid* melalui *Tube Inlet*. Adanya pemanasan di *Heat Exchanger* tersebut fluida kerja akan berubah fasanya menjadi uap dan dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin pada sistem *binary*.

Tabel 2.

Perbandingan Komposisi Kandungan Uap Lapangan Panas Bumi Dieng (Pambudi et al., 2015)

Element (ppm)	Well 1	Well 3	Fushime	Ohtake	Hatchobaru
SiO ₂	1.400	1.145	555	555	849
Cl	21.400	28.400	16.700	1.770	3.070
SO ₄	–		48,1	190	154
Li	40	60	8,46	5,51	12,3
Na	8.340	11.460	9.000	1.120	1.850
K	2.520	3.340	1.060	129	294
Mg			9,47	0,12	0,80
Ca	440	860	1.040	51	32,5



(a)



(b)

Gambar 10. Pembentukan Silika pada;

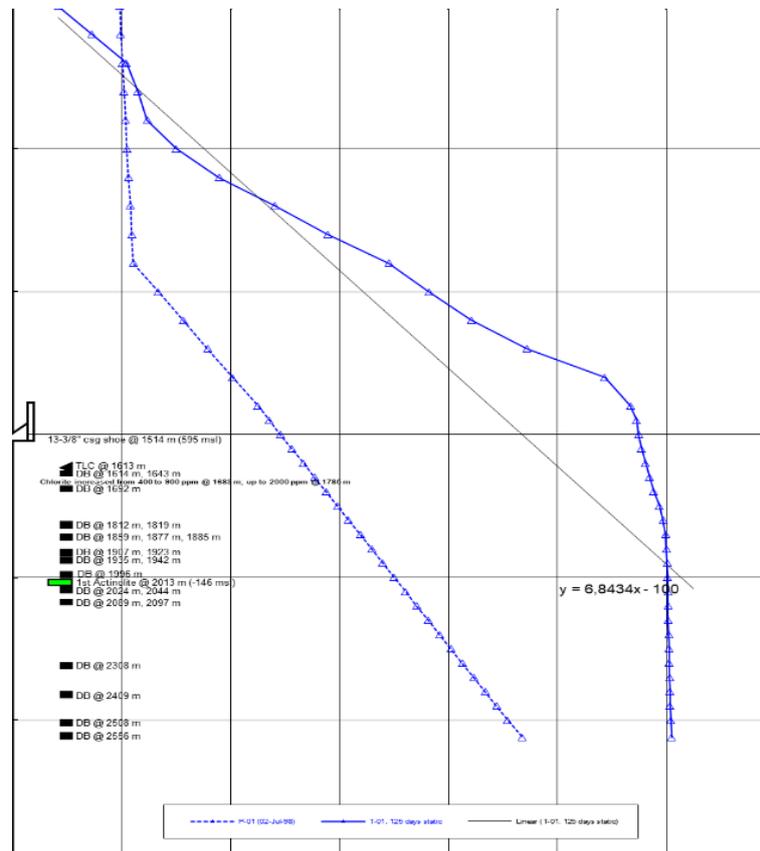
a) *Heat Exchanger Shell & Tube*

b) Pipa Injeksi, Fluida Panas Bumi saat Kondisi Saturasi

Pembentukan silika pada *Heat Exchanger*, dimana silika dapat terbentuk pada saat kondisi saturasinya (Zarrouk et al., 2014). Dari Gambar 10.a memperlihatkan pembentukan silika pada tubing *Heat Exchanger* terjadi. Pembentukan silika tersebut di akibatnya adanya penurunan suhu brine water yang dimanfaatkan pada sistem *binary*, akibat proses perpindahan panas untuk memanaskan fluida kerja untuk digunakan pada turbin *Binary Plant*. Gambar 10, b menunjukkan kondisi aktual di

lapangan panas bumi Dieng pada pipa injeksi dengan kondisi yang sama, dikarenakan adanya penurunan suhu hingga kondisi saturasinya dan menyebabkan terbentuknya endapan silika.

Salah satu kondisi sumur produksi yang sudah tidak ekonomis lagi untuk produksi PLTP konvensional bisa menjadi nilai tambah untuk perusahaan serta juga meningkatkan pemanfaatan potensi panas bumi untuk mendukung program Pemerintah atas ketahanan energi nasional Indonesia. Kondisi sumur tersebut memiliki suhu gradien sekitar $7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ dengan kedalaman 2500 m (Gambar 11).



Gambar 11. Profil Suhu Fluida Panas Bumi di Sumur Eksisting WKP Dieng

Sehingga untuk membuat atau mengaplikasikan sistem *Binary* di WKP Dieng perlu dilakukan pertimbangan penting, khususnya pada permasalahan pembentukan silika karena adanya penurunan suhu *Geothermal* fluid sampai dengan kondisi saturasinya. Dengan kata lain sistem *Binary Plant* yang menggunakan sistem *Downhole Heat Exchanger* (DHE) atau dengan *Heat Exchanger Shell & Tube*. Dari kedua sistem tersebut memiliki keuntungan dan kerugian masing-masing.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan di beberapa wilayah panas bumi dapat diketahui pemanfaatan sistem DHE lebih banyak digunakan untuk *heating system*, belum ada yang dimanfaatkan langsung sebagai sumber pada sistem *binary*. Mengingat PLTP konvensional membutuhkan beberapa sumur dengan fluida bertemperatur tinggi dan memiliki laju aliran massa yang tinggi. Beberapa sumur panas bumi tidak memiliki aliran uap yang cukup untuk sebuah pembangkit listrik yang layak meskipun memiliki gradien suhu yang tinggi. Jenis sumur ini umumnya ditinggalkan (*abandoned*) yang memiliki potensi untuk menghasilkan tenaga dengan menggunakan teknologi DHE. Jumlah sumur di lapangan Dieng memiliki potensi yang cukup untuk memanaskan fluida kerja untuk pembangkit listrik yang digabungkan dengan sistem *binary* dengan teknologi DHE.

Dari analisa menunjukkan bahwa karakteristik sumber panas bumi, desain DHE, laju alir uap yang optimum, panjang jarak sumur, waktu operasi dan jenis fluida kerja yang paling berpengaruh pada parameter pembangkit listrik sistem DHE. Berdasarkan kinerja maksimum yang dapat diproduksi oleh sistem *Binary Plant-Combined* dengan DHE system, disarankan menggunakan fluida kerja dengan tipe R134a. Dengan merefer pada penelitian yang sudah dilakukan pemanfaatan suhu *gradient* 7°C/100 m sumur *abandoned* di dieng dapat menghasilkan *output power* pada sistem *binary* sebesar 3 MW. Selain itu disarankan perlu untuk dilakukan penelitian terkait dengan desain untuk menganalisa termodinamika dengan mensimulasikan/pemodelan dengan berbagai kondisi lapangan panas bumi Dieng serta juga dari sisi keekonomiannya agar mengetahui nilai kelayakan investasi kombinasi sitem pembangkit *Binary* menggunakan teknologi *Downhole Heat Exchanger* (DHE)

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih bersifat opsional, dapat dituliskan ataupun tidak. Ucapan ditujukan kepada institusi resmi yang menjadi sponsor penelitian, dilengkapi dengan nomor kontrak penelitian atau hibah.

Daftar Pustaka

- Acuña, J. (2010). Improvements of U-pipe Borehole Heat Exchangers. In Division of Applied Thermodynamic and Refrigeration, KTH Energy and Environmental Technology.
- Alimonti, C., Soldo, E., Bocchetti, D., & Berardi, D. (2018). The wellbore Heat Exchangers: A technical review. *Renewable Energy*, 123, 353–381. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.055>
- Ashat, A., Ridwan, R., Prabata, T., Situmorang, J., Adityawan, S., & Ibrahim, R. (2019). NUMERICAL SIMULATION UPDATE of DIENG GEOTHERMAL FIELD, CENTRAL JAVA, INDONESIA. Proceeding 41st New Zealand Geothermal Workshop 2019, November.
- Aydin, H., Akin, S., & Tezel, S. (2018). Practical Experiences about Reservoir Monitoring in Alaşehir Geothermal Field. 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, February, 1–8.
- BPPT. (2019). Indonesia Energy Outlook 2019: The Impact of Increased Utilization of New and Renewable Energy on the National Economy. Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE).
- Dai, C., Li, J., Shi, Y., Zeng, L., & Lei, H. (2019). An experiment on heat extraction from a deep Geothermal well using a downhole coaxial open loop design. *Applied Energy*, 252(May), 113447. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113447>

Duchane, D., & Brown, D. (2002). Hot dry rock (HDR) *Geothermal* energy research and development at Fenton Hill, New Mexico. *Geo-Heat Centre Quarterly Bulletin*, 23, 13–19.

Feng, Y., Tyagi, M., & White, C. D. (2015). A *downhole Heat Exchanger* for horizontal wells in low-enthalpy geopressured *Geothermal* brine reservoirs. *Geothermics*, 53, 368–378. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2014.07.007>

Gharibi, S., Mortezaazadeh, E., Hashemi Aghchegh Bodi, S. J., & Vatani, A. (2018). Feasibility study of *Geothermal heat* extraction from abandoned oil wells using a *U-Tube Heat Exchanger*. *Energy*, 153, 554–567. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.003>

Gordon, D., Bolisetti, T., Ting, D. S. K., & Reitsma, S. (2018). Experimental and analytical investigation on *pipe* sizes for a coaxial borehole *Heat Exchanger*. *Renewable Energy*, 115, 946–953. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.088>

Kementerian ESDM. (2019). Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2016. In Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-and-economic-statistics-of-indonesia.pdf>

Layman, E. B., Agus, I., & Warsa, S. (2002). The Dieng *Geothermal* Resource, Central Java, Indonesia. *Transactions - Geothermal Resources Council*, January 2002, 573–579.

Lund, J. W. (2003). The use of *downhole Heat Exchangers*. *Geothermics*, 32(4), 535–543. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2003.06.002>

Lund, J. W., & Boyd, T. L. (2016). Direct utilization of *Geothermal* energy 2015 worldwide review. *Geothermics*, 60, 66–93. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.11.004>

Pambudi, N. A., Itoi, R., Yamashiro, R., CSS Syah Alam, B. Y., Tusara, L., Jalilinasrabad, S., & Khasani, J. (2015). The behavior of silica in *Geothermal* brine from Dieng *Geothermal power* plant, Indonesia. *Geothermics*, 54, 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2014.12.003>

Sliwa, T., & Rosen, M. A. (2015). Natural and artificial methods for regeneration of *heat* resources for borehole *Heat Exchangers* to enhance the sustainability of underground *thermal* storages: A review. *Sustainability (Switzerland)*, 7(10), 13104–13125. <https://doi.org/10.3390/su71013104>

Spitler, J. D., Javed, S., & Ramstad, R. K. (2016). Natural convection in groundwater-filled boreholes used as ground *Heat Exchangers*. *Applied Energy*, 164, 352–365. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.041>

Steins, C., Bloomer, A., & Zarrouk, S. (2012). Improving the performance of the down-hole *Heat Exchanger* at the Alpine Motel, Rotorua, New Zealand. *Geothermics*, 44, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2012.04.003>

Yildirim, N., Parmanto, S., & Akkurt, G. G. (2019). Thermodynamic assessment of *downhole Heat Exchangers* for *Geothermal power* generation. *Renewable Energy*, 141, 1080–1091. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.049>

Zacchini, E., Lazzari, S., & Priarone, A. (2010). Improving the *thermal* performance of coaxial borehole *Heat Exchangers*. *Energy*, 35, 657–666. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.10.038>.

Zarrouk, S. J., Woodhurst, B. C., & Morris, C. (2014). Silica scaling in *Geothermal Heat Exchangers* and its impact on pressure drop and performance: Wairakei *Binary Plant*, New Zealand. *Geothermics*, 51, 445–459. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2014.03.005>