



Analisis *Binary Circle* in Geothermal Power plant dengan Pemasangan *Preheater* Sarulla Operations. Ltd

Poster Harmoko Panggabean¹, Syafiatun Siregar²

^{1,2}Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Universitas Negeri Medan
Teknik Mesin

poster.panggabean@sarulla-geothermal.com



ABSTRAK

Panas Bumi (*Geothermal*) Panas Bumi adalah jenis sumber energi yang termasuk ke dalam jenis energi baru dan *renewable energy*. Untuk menghasilkan energi listrik, proses pembangkitan energi listrik panas bumi pada PLTP Sarulla Operations. Ltd memanfaatkan sumber panas bumi (*Geothermal*) dengan nilai entalpi tinggi banyak sekali cairan brine waste terbuang cairan panas bumi atau brine. Brine ini sendiri mempunyai potensi panas dari 148- 173⁰C sehingga masih layak untuk dimanfaatkan kembali sebagai energi memutar generator untuk menghasilkan listrik dengan mengaplikasikan sistem *binery circle*. *Geothermal Binery circle* adalah siklus pembangkitan listrik dalam siklus ini prosesnya memanfaatkan cairan *brine* sisa atau cairan *brine* bertitik didih rendah untuk meningkatkan uap yang dihasilkan oleh cairan *brine* sisa tersebut dengan *thermal* yang tersisa. cairan *brine* yang digunakan dalam data ini antara lain R134a, n-pentana, dan isobutana. Berdasarkan data ketiga jenis fluida kerja tersebut ditemukan bahwa n-pentana adalah cairan kerja yang paling baik jika dilihat dari daya yang dihasilkan yaitu sebesar 14980kW dan dilihat dari data efisiensi eksergetiknya adalah 68,7%.

Kata kunci – Panas bumi, *Brine Fluid*, *Binary circle*, *preheater*

ABSTRACT

Geothermal is a type energy source that is included in the type of new energy and renewable energy. To produce electrical energy, the process of generating geothermal electricity at Sarulla Operations.ltd *Geothermal Power plant*. Takes advantages of geothermal source (*geothermal*) with high enthalpy valuaes, a lot of brine waste is wasted geothermal liquid or brine. This brine itself has heat potential of 148-1730 C so it sis still feasible tobe reused as energy to rotate a generator to generate electricity by applying the *binary circle* system. *Geothermal binery circle* is a cyrcleof electricity generation in this this circle the residual brine with the remaining thermal. The brine fluid used in this data included R13a, n- pentane, andisobutane. Based on the data of three types of working fluid, it was found that n-pentane is the best working fliud when viewed from the power generated, which is 14980 kW and from the exergetic efficiency data it sis 68,7 %

Keywords – *Geothermal*, *Brine fluid*, *Binary Cycle*, *preheater*

1. Pendahuluan

Geothermal adalah satu sumber energi baru dan *renewable energy* yang terdapat di dalam lapisan perut bumi. Indonesia mempunyai, banyak sumber energi *geothermal* yang besar. *Geothermal* yang dimiliki Indonesia terdiri dari kategori entalpi menengah dan entalpi tinggi. Oleh karena itu, *geothermal* dimanfaatkan menjadi energi alternatif untuk membangkitkan listrik dalam rangka mendukung program pengembangan dan kapasitas rasio elektrifikasi Indonesia (Abdurrahman G., and F. P., 2016)

Sarulla Operations.Ltd PLTP Sarulla menggunakan panas bumi yang di eksplorasi dari sumur produksi yang memanfaatkan tekanan dan suhu memutar turbin generator yang terlebih dahulu melakukan pemisahan di *separator* dan *demister*. *Geothermal power plant* digolongkan sebagai sumber energi baru dan *renewable anergy* dikarenakan cairan sisa (atau *brine* akan di injeksikan kembali kedalam perut bumi melalui proses reinjeksi menggunakan sumur reinjeksi kedalam sumur perut bumi I *reservoir* untuk di eploitasi kedalam sistem secara berkelanjutan.

Air panas bumi merupakan hasil pemisahan antara uap dan cairan panas bumi yang terpisah dari *separator* yang mempunyai enthalpi tinggi dan bersuhu dari cairan panas bumi sendiri 150 C dengan suhu yang tinggi itu mempunyai potensi untuk membangkitkan generator dengan skala lebih kecil.

Sarulla Operations.Ltd adalah salah satu pembangkit listrik *geothermal power plant* yang menggunakan *thermal* yang bersumber dari perut bumi untuk membangkitkan tenaga listrik. *Thermal* yang terdapat di perut bumi ini terdiri dari uap panas atau *vapour* dan air panas atau *brine* yang kemudian dimanfaatkan memutar turbin yang disabungkan langsung dengan *rotor generator* untuk membangkitkan energi listrik. Untuk *geothermal* di lokasi Sumatera Utara yang menjadi tempat pengambilan data penelitian, suhu *brine* dari sumur produksi hingga 173⁰C dengan *mass flow rate* 252kg/s dan entalpi sekitar 732,4kJ/kg (Antal and T. M., 2001)

Dibeberapa negara yang menggunakan *geothermal* sebagai energi pembangkit, *air panas bumi* dijadikan hanya sebagai limbah

panas bumi atau *geothermal waste* tanpa memanfaatkan kembali. Bagi industri, menginjeksikan air panas bumi atau *brine* langsung ke waduk perut bumi atau *reservoir* lebih efisien dan aman menjaga keberlangsungan waduk perut bumi. Disisi lain sisa *brine* pada sistem masih berpeluang di mamfaatkan kembali dalam membangkitkan energi listrik dengan skala kecil untuk memenuhi kebutuhan masyarakat perusahaan pembangkit juga tidak akan rugi karena potensi suhu air panas atau *brine* meskipun pada akhirnya *brine* tersebut akan di injeksikan kembali ke waduk perut bumi atau *reservoir* sehingga keberlangsungan *reservoir* akan tetap terjaga (Antal and T. M., 2001)

Dalam mamfaatkan *brine* sisa dengan memisahkan panas dari *brine* dengan menggunakan komponen *heat exchanger* (HE). Dengan memisahkan panas *termal* dari *brine*, *termal* tersebut kemudian akan memanaskan fluida kerja yang kemudian akan disalurkan untuk memutar kembali turbin. Sisa *brine* yang dari tubin yang di ekstraksi dari *heat exchanger* akan di pompakan kembali kedalam perut bumi untuk menjaga manajemen keberlangsungan *reservoir*.

2. Tinjauan Literasi

Analisis Eksergi

Tujuan dari kalkulasi analisis eksergi untuk mendapat data besaran ketersediaan energi dalam *binary circle geothermal brine*. Analisis sendiri dilakukan dengan memahami setiap komponen dan *possibility* terjadinya pemusnahan energi pada setiap komponen siklus biner *geothermal brine*.

Tahap- tahap yang dianalisis pada siklus ini, adalah sebagai berikut:

Heat Exchanger

1. Suhu *brine* masuk *heat exchanger*
2. Suhu *brine* keluar *heat exchanger*
3. Kecepatan aliran *brine* masuk *heat exchanger*
4. Kecepatan aliran *brine* keluar *heat exchanger*
5. Suhu udara masuk *heat exchanger*
6. Suhu udara keluar *heat exchanger*
7. *Pressure* udara masuk *heat exchanger*
8. *Pressure* *brine* masuk *heat exchanger*
9. *Pressure* *brine* keluar *heat exchanger*

Turbin

1. Suhu uap panas masuk turbin
2. *Pressure* uap panas *r* masuk turbin
3. Suhu uap panas keluar turbin
4. *Pressure* uap panas keluar turbin kondensor
1. Suhu uap panas masuk kondensor
2. *Pressure* uap panas masuk kondensor
3. Kecepatan aliran air pendingin
4. Suhu air pendingin keluar kondensor
5. *Pressure* air pendingin keluar kondensor
6. Kecepatan aliran air pendingin keluar kondensor
7. Suhu air pendingin saluran masuk
8. Suhu pendingin saluran keluar
9. *Pressure* air pendingin saluran masuk
10. *Pressure* air pendingin saluran keluar

Kalkulasi analisis eksergi pada data ini sendiri dilakukan dengan menggunakan rumus persamaan:

$$x_{state} = h_{state} - h_{lingkungan} - (T_{lingkungan} \times (s_{state} - s_{lingkungan}))$$

Rumus di atas dipakai untuk menghasilkan data eksergi spesifik pada bagian-bagian yang sudah ditetapkan terlebih dahulu. Setelah diperoleh hasil eksergi spesifik, maka kemudian dilanjutkan perhitungan kecepatan eksergi menggunakan rumus persamaan:

$$E_{state} = m_{state} \times x_{state}$$

E adalah kecepatan eksergi dan kecepatan aliran. Analisis pemanfaatan sistem pembangkit panas bumi ini banyak memakai analisis eksergetik (Spatiadji N., 2009). Sebelum melakukan analisis efisiensi eksergetik pada sistem ini, pertama-tama harus dihitung terlebih dahulu rugi eksergi yang terjadi pada komponen pembangkitan. rugi eksergi dapat dihitung dengan memakai rumus persamaan:

$$\text{Rugi Eksergi} = E_{in} - E_{out} - W$$

Hasil Perhitungan rugi eksergi yang didapat pada komponen, kemudian dilanjutkan melakukan perhitungan efisiensi eksergetik pada sistem memakai rumus persamaan :

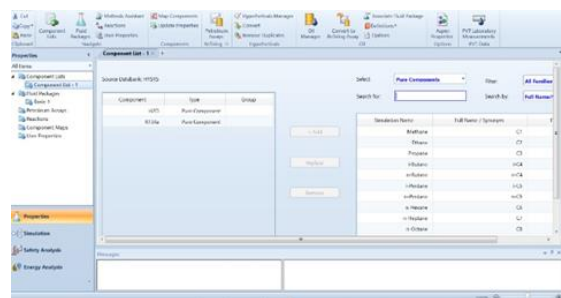
$$\eta = \frac{E - \text{Rugi Eksergi}}{E}$$

3. Simulasi

Pertama-tama kita melakukan simulasi untuk mendapat hasil performa *heat exchanger* sebagai proses ekstraksi *thermal* dari *brine* Sebelumnya dilakukan terlebih dahulu simulasi untuk mengetahui performa *heat exchanger* sebagai proses ekstraksi panas dari geothermal *brine*. Tahapan perhitungan simulasi *heat exchanger*, terlebih dahulu yang dilakukan adalah menetapkan daftar komponen yang dialir fluida- fluida didalam *heat exchanger* yaitu R13a, n-pentana dan isobutana.

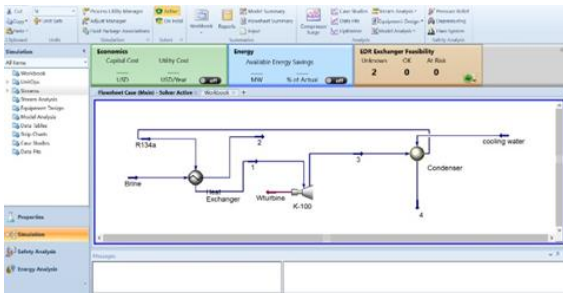
Hasil tahapan sebelumnya diatas dilanjutkan dengan memilih *property package* pada pilihan *fluid packages* di menu *property package* pilihlah model Peng- Robinson. Tahapan berikutnya adalah menetapkan komponen- komponen yang termasuk dalam proses setelah itu lanjutkan simulasi Menyusun sesuai model pembangkitan yang di sesuaikan. Model yang sesuai adalah komponen-komponen yang termasuk didalamnya meliputi *evaporator*, *ekspander (turbine)* serta kondensor.

Di dalam *evaporator* selanjutnya menentukan aliran yang masuk dan keluar dari system *heat exchanger*. Fluida yang mengalir pada *heat exchanger* adalah *brine* yang keluar dari *separator* dan fluida yang keluar dari *heat exchanger* adalah uap panas yang dihasilkan akibat pemanasan fluida kerja dan geothermal *brine* yang suhu thermalnya terpisahkan.



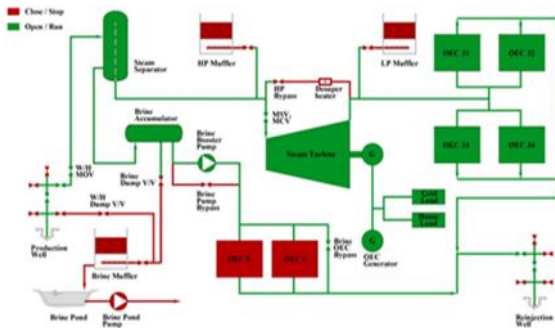
Gambar 1. Setup Fluida

Set up fluida dengan menggunakan program Hysys untuk mesimulasikan perhitungan aliran fluida



Gambar 2. Setup Model Pembangkitan

Setup model pembangkitan dengan menggunakan program Hysys untuk mensimulasikan perhitungan besar aliran fluida dan besar pembangkitan

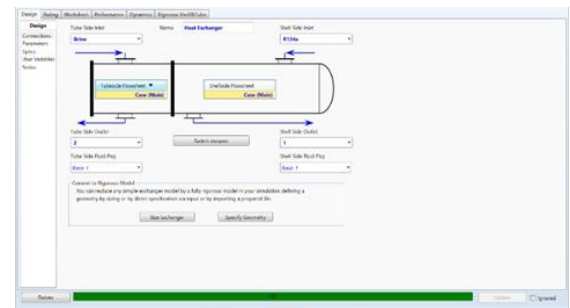


Gambar 3 Process Flow Diagram Energy Converter (OEC) Brine

Process flow diagram energy pada sarulla geothermal power plant dari well- sampai pada turbine generator

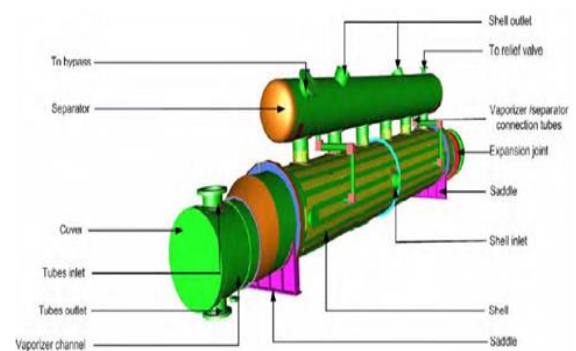
Sirkulasi cairan yang ada dalam tahapan simulasi ini ditetapkan keadaan - keadaan termofisikanya. Dalam Sirkulasi brine ditetapkan suhu, tekanan, fraksi substansi, faksi mol, dan jumlah rata- rata aliran. Selanjutnya menetapkan keadaan-keadaan dari cairan kerja yang diharapkan, kemudian baru mengetahui kinerja *heat exchanger* ditunjukan dalam table.tahapan simulasi selanjutnya adalahmengetahui perubahan yang terjadi pada tahapan pembangkitan dengan *binary circle* dengan *geothermal brine* dengan melakukan penyusunan setiap komponen pada siklus yang melibatkan *heat exchanger* yang erlebih dahulu diaturdengan turbin. selanjutnya turbin disetting sirkulasi yang saling berkaitan. Tahap selanjutnya menentukan parameter-parameter pada unit turbin yang berkaitan dengan sirkulasi selanjutnya mengetahui kerja turbin dengan *lembar kerja pada simualsi ini* Uap dan *brine* yang dihasilkan dari sumur

produksi dialirkan ke Separator, kemudian dengan metode sentrifugal uap mengalir ke pipa utama sedangkan brine mengalir ke *brine accumulator* yang kemudian dipompakan dengan menggunakan *Brine Booster pump*. *Brine booster* nantinya akan memompakan *brine* ke unit *brine OEC* untuk memanaskan pentane kemudian uap pentane ini yang dipakai untuk memutar *turbine unit brine OEC*. Pompa *brine* yang sering mengalami pecah pada *mechanical seal* membuat *brine* keluar dari pompa sehingga mengharuskan pompa untuk dihentikan. Disamping itu juga *sealing water* yang sering mengalami *drop pressure* dan jeleknya kualitas kondensator dapat mentrigger pompa untuk trip. Sehingga diperlukan sistem *double mechanical seal plan 53B*.



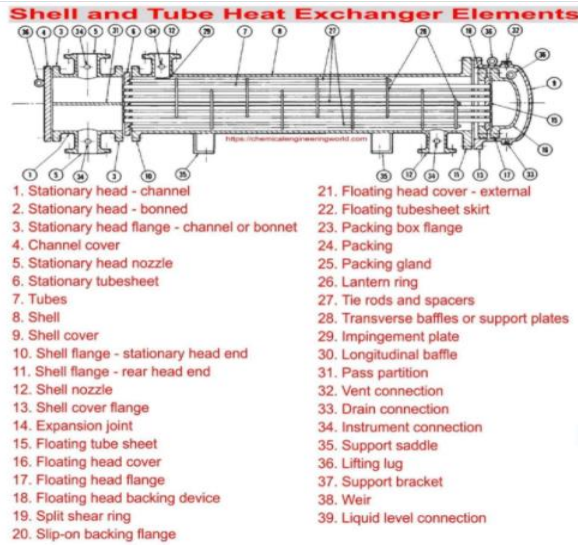
Gambar 4. Setup Evaporator

Setup Evaporator dengan menggunakan program Hysys untuk mensimulasikan perhitungan besar aliran fluida pada evaporator



Gambar 6. Heat Exchanger and komponen

Diatas komponen pada *exchanger tube*, *Shell*, *Nozzle*, *Front-End* dan *Rear-End Head*, *Baffle*. Jenis diatas adalah *baffle hea texchanger tube tubesheet* dan dibawah adalah komponen-komponen Internal heat exchanger



Gambar 7. Internal komponen Heat Exchanger

4. Hasil Perhitungan dan Simulasi

a. Perhitungan Eksergi

Data perhitungan ini memakai perhitungan eksergi terhadap siklus biner *brine* dengan variasi 3 cairan sekunder atau fluida kerja yang berbeda.

Tabel 1. Laju Eksergi R134a

State	Temp °C	Press kPa	h kJ/kg	s kJ/kg	m kg/s	E kW
0	18	71.41	0.25	5		
1	981	161	675.67	1.94	244.5	140663.27
2	976	138.	582.34	1.72	244.3	118757.8
3	2978	110	468.16	1.78	200	15154
4	800	33.2	246.40	1.15	200	4977.550
5	200	22	88.18	0.31	96	1021.346
6	80	32	129.96	0.45	96	5096.335
7	2985	20.6	421.6	1.09	2100	33272.98

Tabel 2. Rugi Eksergi R134a

Heat Exchanger	40025.367
Turbin	3932.448
Kondensor	902.559

Hasil perhitungan eksergi total dari I geothermal brine dan jumlah rugi eksergi pada tahap ini, ditemukan efisiensi eksergetik sekitar 68 percent.

Tabel 3. Laju Eksergi n- pentana

State	T °C	P kPa	h kJ/kg	s kJ/kg	m kg/s	E kW
0		17	71.42	0.25	3	
1	980	160	675.6	1.84	244.4	141082.4
2	975	137.	621.3	1.63	244.38	128638.5
3	2977	110	394.7	1.24	100	16496
4	900	30.0	476.4	1.12	100	28531.44
5	100	21	88.19	0.31	98	1021.346
6	90	31	129.99	0.45	98	5158.272
7	2980	10	226.41	1.02	100	13884.1

Tabel 4. Rugi n-pentana

Heat Exchanger	9832.062
Turbin	1007.448
Kondensor	24394.523

Hasil perhitungan eksergi total dari I geothermal brine dan jumlah rugi eksergi pada tahap ini, ditemukan efisiensi eksergetik sekitar 68,7 percent

Tabel 3. Laju Eksergi Isobutana

State	T °C	P kPa	h kJ/kg	s kJ/kg	m kg/s	E kW
0		17	71.42	0.25	3	
1	980	160	675.68	1.94	244.4	140663.27

				2	1	
2	975	138.	582.33	1.72	244.38	118757.85
		3		1		4
3	2977	110	401.29	1.51	100	12823.800
				3		
4	900	31.8	241.2	1.15	100	4453.552
				9		
5	100	21	88.19	0.31	98	1021.346
				1		
6	90	31	129.99	0.45	98	5124.402
				0		
7	2980	20.6	421.8	1.09	100	33272.950
		5		4		

Tabel 6. Rugi Eksergi Isobutana

Heat Exchanger	42354.567
Turbin	2228.248
Kondensor	350.496

Hasil perhitungan eksergi total dari I geothermal brine dan jumlah rugi eksergi pada tahap ini, ditemukan efisiensi eksergetik sekitar 68 percent

b. Simulasi

Simulasi N- pentana dan simulasi Isobutana, untuk aliran fluida kerja untuk menentukan apakah pembangkitan membutuhkan preheater

Tabel 7. Simulasi n-pentana

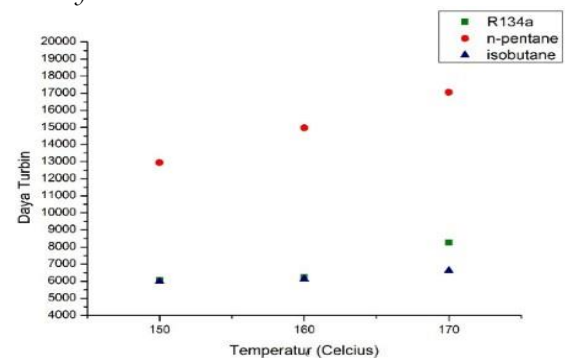
Daya Turbin	12940 kW		
State	P kPa	T °C	h kJ/kg
Brine	980	150	632.49
n-pentana	2980	10	226.41
HE-Turbin	2977	100	358.89
Turbin-Cond	900	30.05	232.40
Cooling Water	100	21	88.19
Reservoir	975	130.2	570.35
Cooling Tower	90	31	129.99

Tabel 9. Simulasi Isobutana

Daya Turbin	5986 kW		
State	P kPa	T °C	h kJ/kg
Brine	980	150	632.49
Isotana	2980	15	238.47

HE-Turbin	2977	100	392.58
Turbin-Cond	900	31.8	241.2
Cooling Water	100	21	88.19
Reservoir	975	131.4	552.83
Cooling Tower	90	31	129.99

Dari Perhitungan simulasi ini dapat di artikan bahwa cairan sekunder pada binary circle yang terbaik dilihat dari daya yang di bangkitkan adalah n- pentana. Walaupun demikian, Hasil perhitungan simulasi data di atas dan hasil Perhitungan eksergi dapat disimpulkan bahwa panas yang terbuang untuk proses pemompaan kembali kedalam waduk perut bumi atau *reservoir* jumlahnya cukup besar. Maka dari itu dibutuhkan rekayasa *engineering* untuk pemodelan pembangkitan dengan menambahkan komponen *preheater* (*heat exchanger*) pada *binary circle*.



Gambar 10. Simulasi Dengan preheater

Grafik dapat terlihat perbedaan ketiga fluida sekunder atau fluida kerja yang digunakan dalam data ini dilihat dari daya pada turbin yang dihasilkan pada proses pembangkitan. Dapat disimpulkan bahwa n-pentane adalah fluida sekunder atau fluida kerja terbaik

Tabel 10. Simulasi dengan preheater (R134a)

Daya Turbin	5986 kW		
State	Press kPa	Temp °C	h kJ/kg
Brine	980	150	632.49
Isotana	2980	15	238.47
HE-Turbin	2977	100	392.58
Turbin-Cond	900	31.8	241.2
Cooling Water	100	21	88.19
Reservoir	975	131.4	552.83
Cooling Tower	90	31	129.99

5. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil Perhitungan data analisis simulasi diatas maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Sarulla Operation. Ltd dapat menguunakan Binari circle untuk memamfaatkan Fluida sisa sebelum di reinjeksi ke reservoir dengan meninstal preheater Heat exchanger pada system untuk meningkatkan daya kW yang di generate .
- b. Brine Fluid kerja atau fluida tambahan yang paling baik jika dilihat dari penghematan eksergetik dan daya yang dihasilkan jika dilihat dari daya turbin yang digenerate. penambahan komponen preheater pada binary cirlce, dapat menghasilkan penambahan daya yang diproduksi oleh siklus ini. Dapat disimpulkan juga panas yang akan dipompakan kedalam reservoir tidak memiliki potensi thermal untuk proses pembangkitan lagi.
- c. n-pentana adalah fluida yang mampu menghasilkan daya hingga 17060 kW dengan tingkat efisiensi eksergetik sekitar 68,7%.
- d. Untuk memfaatkan thermal sebelum reinjeksi maka pelu komponen *preheater*.

6. Daftar Pustaka

- Abdurrahman G., and F. P. 2016, *Geothermal Brine Alternative Thermal Energy Source*, Academia.edu
- Antal and T. M., 2001, *Power Feneration From Low-Enthalpy Geothermal Resource*, Research Jurnal
- Dilipippo R., 2008 *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies, and Environmental Impact*.
Procedia Engineering
- Spatiadji N., 2009, *Energi Panas Bumi (Geothermal Energy)*, ITB Bandung 1
- Yun H.S, 2015, *Operation and Maintenance Manual*, Sarulla Geothermal Power Plant, Hyundai Engineering Korea

