

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di kaki Gunung Salak tepatnya terletak di daerah Awi Bengkok. Lokasi Awi Bengkok tersebut termasuk dalam dua kabupaten Bogor dan Sukabumi dan terdapat di dalam hutan lindung. Wilayah Kerja Pertambangan (WKP) Lapangan Panas Bumi Gunung Salak ini adalah 10,000 Ha terdiri dari hutan Gunung dan wilayah perkebunan. Ketinggian lokasi berkisar antara 1,000 hingga 1,300 meter di atas permukaan laut.

Tiap lokasi pengeboran mempunyai nama yang diambil dari nama daerah yaitu Awi Bengkok, diambil Awi sebagai awalan nama lokasi pengeboran. Setiap lokasi pengeboran mempunyai lebih dari satu sumur dan diberi notasi secara berurut sesuai dengan urutan sumur bor. Contoh Awi 9-3, berarti sumur tersebut berada di lokasi Awi 9 dan sumur bor ke tiga.

5.2. Hasil Penelitian

5.2.1. Pemilihan Pembangkit Listrik

5.2.1.1. Jumlah Ketersediaan *Brine*

Dari data operasi harian Chevron Geothermal Salak didapat total *brine* yang diukur dari keluaran *separator*. Sebuah *separator* dapat menampung lebih dari satu sumur produksi.

Tabel 5.1. Laju Alir *Brine* yang Dihasilkan Lapangan Panas Bumi Gn. Salak

Nama Lokasi	Laju Alir <i>Brine</i> Harian (kg/dtk)								
	4-Oct	5-Oct	6-Oct	7-Oct	8-Oct	9-Oct	10-Oct	11-Oct	12-Oct
Awi 7	243	243	244	244	244	244	244	244	244
Awi 8	684	684	691	691	691	691	691	691	691
Awi 9	184	184	180	180	180	180	180	180	180
Awi 10	144	144	144	144	144	144	144	144	144
Awi 11	112	112	112	112	112	112	112	112	112
Awi 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Awi 1	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Awi 13	39	39	41	41	41	41	41	41	41
Awi 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Awi 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	1,414	1,414	1,419	1,419	1,419	1,419	1,419	1,419	1,419

Sumber: Daily Report Chevron Geothermal Salak 4-12 Oktober 2013

Dari data diatas didapat bahwa rata-rata laju alir *brine* yang dihasilkan oleh lapangan Gunung Salak adalah sekitar 1,400 kg/s.

Seperti yang telah dijelaskan di atas, *brine* adalah salah satu bahan bakar energi panas bumi. *Brine* yang masih panas diinjeksikan kembali ke dalam *reservoir*. Dengan memanfaatkan *brine* ini maka temperatur *brine* yang akan diinjeksikan ke sumur injeksi akan semakin menurun. Hal ini dapat memperburuk kondisi *reservoir*. Sehubungan dengan hal tersebut, maka tidak semua *brine* yang akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit listrik tambahan.

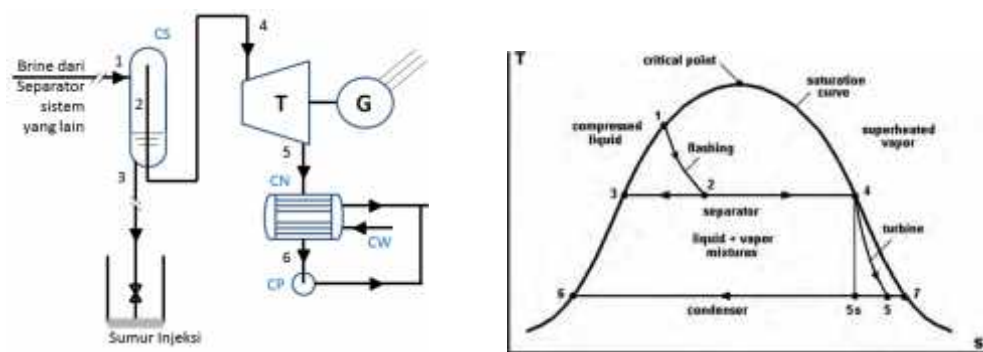
Saat ini, oleh karena alasan tertentu, ada sebuah proyek di Gunung Salak untuk “membuang” sebanyak 3,000 kph atau sekitar 378 kg/dtk *brine* ke luar *reservoir*. Oleh sebab itu, penelitian ini menggunakan laju alir *brine* maksimum sebesar 378 kg/dtk.

Dari laporan harian di Gunung Salak di ketahui temperatur *brine* keluaran dari *separator* adalah sebesar 345°F atau sekitar 174 °C

5.2.1.2. Pembangkit Listrik Tekanan Rendah

Pembangkit listrik tekanan rendah adalah pembangkit listrik yang dibuat untuk sumur produksi yang tidak terlalu besar atau tidak mempunyai temperatur yang cukup tinggi. Biasanya pembangkit listrik ini mempunyai inlet temperatur dibawah 200 °C. Untuk menghindari pengkristalan dari Silica yang terkandung dalam *brine*, maka kondisi *brine* dibuat dalam kondisi bertekanan (dengan menggunakan pompa).

Brine dalam pembangkit listrik ini bisa berasal dari sumur yang rendah temperatur-nya ataupun dari sistem lainnya (misalnya pembuangan *brine* setelah melewati *separator*). Sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem kedua yaitu *brine* yang berasal dari *separator* sistem lainnya sebelum diinjeksikan ke sumur injeksi. Lihat Gambar 5.1.



Sumber: Dipippo, Ronald. 2008.

Gambar 5.1. Pembangkit Listrik Tekanan Rendah dan Diagram T-S

a. Penentuan Temperatur Inlet *Separator*, Inlet Turbin dan Outlet *Separator*

Selama proses pemanfaatan energi dari *brine*, maka *brine* akan melalui berbagai proses perubahan pada temperaturnya. Temperatur *brine* berasal dari

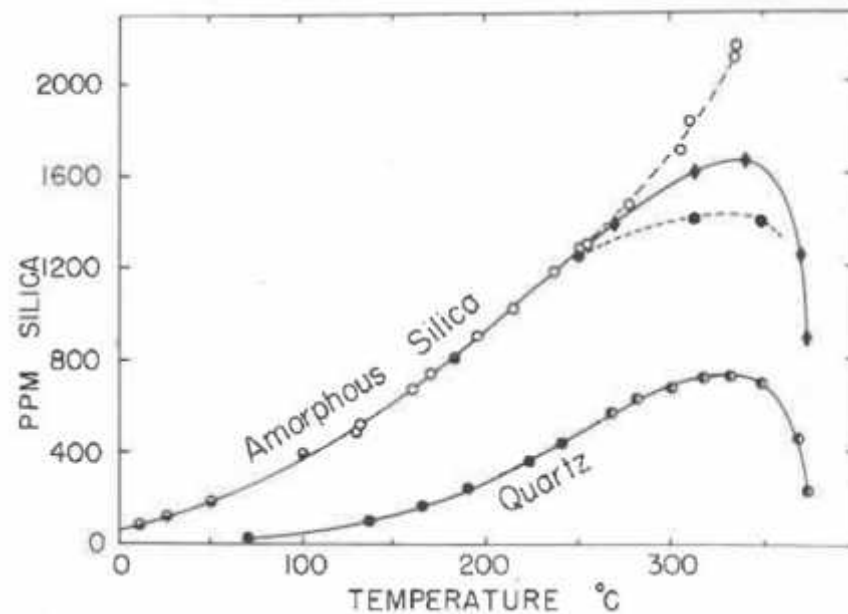
brine yang keluar *separator* di sumur produksi pada tekanan sekitar 110 psig yang memiliki temperatur saturasi sekitar 174 °C.

Pipa *brine* dari *separator* lalu dialirkan dengan menggunakan lapisan isolasi *Calcium Carbonat* setebal 7 cm dan dilapisi oleh pembungkus aluminium, sehingga bisa diasumsikan temperatur selama transportasi *brine* dari *separator* tidak berubah. Untuk keperluan penulisan tesis ini, temperatur *brine* masuk ke sistem pembangkit listrik tekanan rendah ini adalah 170 °C (posisi 1 pada Gambar 5.1).



Gambar 5.2 Pipa *Brine* Insulasi dari *Calcium Carbonat* dan Pembungkus Aluminium.

Untuk mendapatkan maksimum pembangkitan dari pemanfaatan panas *brine*, maka perbedaan temperatur antara masukan dan keluaran sistem pembangkit dengan pressure rendah ini harus dibuat semakin besar. Dari hasil perhitungan efisiensi maksimum didapat pada penurunan temperatur hingga 125 °C yaitu sebesar 29.2% (lihat Gambar 5.4).



Sumber: Fournier, Robert O. 1977.

Gambar 5.3. Solubilitas Silika.

Tabel 5.2. *Silica Saturated Index* untuk Berbagai Penurunan Temperatur.

No.	Temp (°C)	SiO ₂ Ukur (mg/kg)	SiO ₂ Solubility (mg/kg)	SI
1	170	611	740	0,83
2	160	611	650	0,94
3	150	611	600	1,02
4	140	611	540	1,13
5	130	611	500	1,22
6	125	611	480	1,27
7	120	611	440	1,39
8	110	611	380	1,61

Namun penurunan temperatur tersebut dibatasi oleh faktor *scaling* (pengkristalan) dari silica. Potensi pengkristalan silica secara umum direpresentasikan oleh silica *Saturation Index* (SI), yang merupakan rasio dari konsentrasi silica yang diukur dibandingkan dengan solubilitas silika (Gambar 5.4). Angka SI yang aman untuk Gunung Salak adalah berkisar antara 1,2 hingga

1.3. Angka tersebut didapat dari pengalaman diberbagai lokasi panas bumi milik Chevron. Dari Tabel 5.2 didapat nilai temperatur *brine* keluar sistem pembangkit yang diinginkan adalah 125 °C.

b. Penentuan Temperatur Outlet Turbin

Sama halnya dengan penurunan temperatur di *Separator*, penurunan temperatur yang tinggi di turbin akan meningkatkan power output turbin. Tetapi penurunan temperatur outlet turbin dipengaruhi oleh temperatur sekitar (lingkungan) dan kemampuan menara pendingin. Makin kecil temperatur outlet turbine, maka semakin besar pula menara pendingin yang dibutuhkan. Makin besar menara pendingin, maka akan menambah beban biaya kapital.

Untuk penulisan ini, data keluaran menara pendingin yang yang dipakai adalah data yang ada di Gunung yaitu sekitar 40 °C.

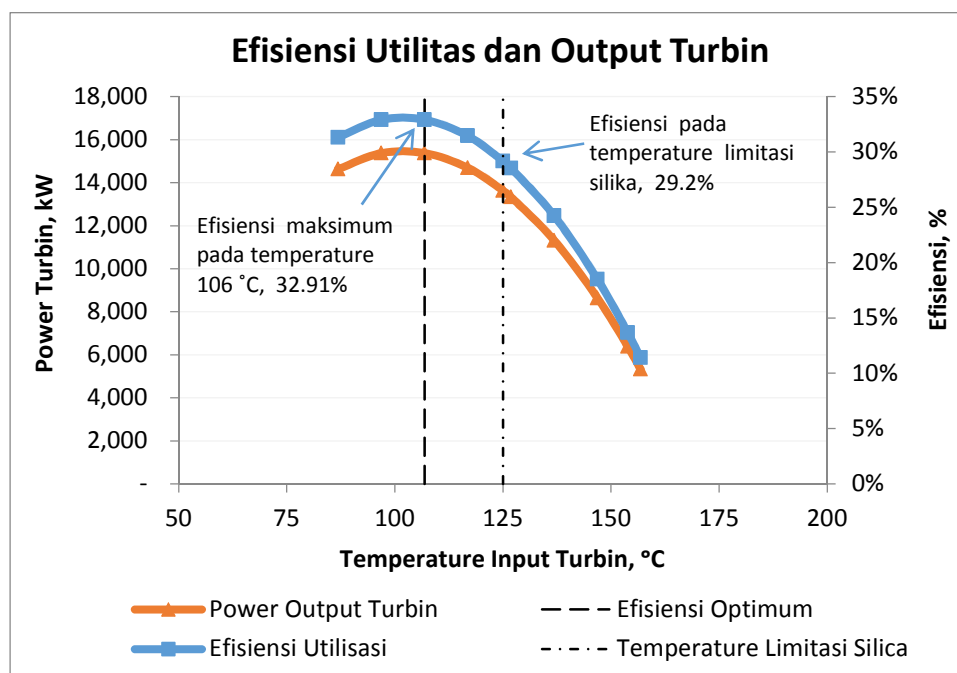
c. Hasil Perhitungan

Tabel 5.3. Nilai Entalpi dari Pembangkit Listrik *Single Flash* dengan Tekanan Rendah Sesuai dengan Gambar 5.1.

Posisi	Tekanan			Temperatur		x_2 %	s kJ/kg.K	H kJ/kg	Keterangan
	Mpa	Bar	PSI	°K	°C				
1	0,7916	7,916	115	443,15	170		2,0420	719,2	Dari tabel
2	0,2343	2,343	34	398,15	125	8,9	2,0689	719,2	Interpolasi
3	0,2343	2,343	34	398,15	125		1,581	525	Dari tabel
4	0,2343	2,343	34		125		7,0785	2713	Dari tabel
5					40		7,4251	2307	
5s					40		7,0785	2205	
6					40		0,5725	167,5	
7					40		8,257	2574	
0				293,15	20		0,2966	83,94	

Tabel 5.4. Efisiensi Utilisasi Pembangkit Listrik Tekanan Rendah Sesuai dengan Gambar 5.5.

Temp. Inlet Turbine		Power Output Turbin, KW	Flash, x %	Laju Aliran Brine, kg/dtk	Efisiensi Utilisasi, %
°K	°C				
360	86.85	14.629	15.52	378	31,3
370	96.85	15.373	13.84	378	32,90
380	106.85	15.376	12.12	378	32,91
390	116.85	14.695	10.35	378	31,5
398,15	125	13.636	8.9	378	29,2
400	126.85	13.335	8.54	378	28,5
410	136.85	11.320	6.67	378	24,2
420	146.85	8.644	4.74	378	18,5
427	153.85	6.391	3.35	378	13,7



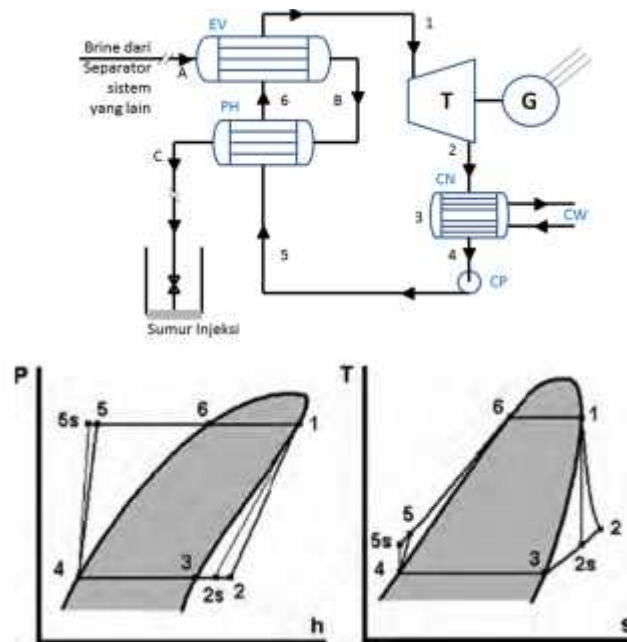
Gambar 5.4. Efisiensi Utilitas pada Temperatur yang Berbeda

Dari hasil perhitungan di atas didapat bahwa efisiensi utilitas maksimum ada pada temperatur inlet turbin sebesar 106.85 °C yaitu sebesar 32.91%. Tetapi dengan adanya limitasi dari silika maka efisiensi utilitas yang optimum ada pada

temperatur 125 C dan efisiensi utilitas sebesar 29.2% dengan keluaran power turbin sebesar 13,636 kW. Perhitungan efisiensi secara detail dapat dilihat dalam Lampiran 1.

5.2.1.3. Pembangkit Listrik Biner Model ORC

Sama halnya dengan pembangkit listrik tekanan rendah, Pembangkit listrik biner dengan model ORC juga dibuat untuk sumur produksi yang tidak terlalu besar atau tidak mempunyai temperatur yang cukup tinggi. Selain itu, *brine* dalam pembangkit listrik ini bisa berasal dari sumur yang rendah temperatur-nya ataupun dari sistem lainnya (misalnya pembuangan *brine* setelah melewati *separator*). Sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem kedua yaitu *brine* yang berasal dari *separator* sistem lainnya sebelum diinjeksikan ke sumur injeksi. Lihat Gambar 5.5.



Gambar 5.5. Pembangkit Listrik Biner Model ORC, Diagram P-h dan T-S

a. Temperatur Inlet dan Outlet Pembangkit Listrik Biner Model ORC

Sama halnya dengan pembangkit listrik tekanan rendah, temperatur inlet untuk pembangkit listrik biner ini juga memanfaatkan *brine* dari *separator* sistem sebelumnya. Sehingga dipakai temperatur *brine* sebesar 170 °C dengan temperatur keluaran *brine* sebesar 125 °C.

b. Pemilihan Fluida Kerja

Pemilihan fluida kerja yang optimal merupakan masalah yang rumit karena jumlah fluida yang tersedia dan juga parameter yang perlu dikaji sangat banyak jumlahnya. Pawel Gabinski merekomendasikan isopentane dan isobutane untuk fluida kerja pembangkit biner. Beberapa kriteria minimal yang bisa digunakan untuk proses screening. Kriteria-kriteria tersebut antara lain adalah:

- Ketersediaan Properti Fluida

Fluida jenis organik dipilih karena properti fisika dan termodinamika fluida-fluida tersebut telah banyak diketahui dan mudah diperoleh.

- Tekanan Kondensasi

Fluida dengan tekanan kondensasi di bawah 1bar absolute akan dieliminasi. Hal ini disebabkan oleh fluida dengan tekanan kondensasi kurang dari tekanan atmosfer akan beroperasi pada kondisi vakum sehingga menyebabkan kemungkinan terjadinya kebocoran udara masuk ke dalam sistem.

- Pertimbangan Keamanan (Keselamatan dan Kesehatan Kerja)

Fluida yang mempunyai tingkat toxic tinggi atau mudah terbakar (flammable) akan dieliminasi, kecuali fluida-fluida tersebut mempunyai keunggulan menyolok dibandingkan dengan kategori lain.

Berdasarkan pada kriteria-kriteria diatas, fluida kerja yang telah dikaji oleh para ahli bisa dikelompokkan kedalam 4 grup, yaitu: karbondioksida, amonia, halokarbon dan hidrokarbon. Pada proses screening awal, penggunaan karbondioksida dan amonia dapat dieliminasi dengan alasan:

- Temperatur kritis karbondioksida sangat rendah (31 °C).
- Walaupun secara thermal stabil, amonia adalah fluida yang sangat beracun dan mudah terbakar.

Tabel 5.5 Properti Fluida Kerja untuk Rankine Cycle

Parameter	R22	R134a	Isopentane	Isobutane	Unit
Chemical equation			$(\text{CH}_3)_2\text{CH-CH}_2\text{-CH}_3$	$\text{CH}(\text{CH}_3)_3$	
Molar mass	86,47	102,03	72,2	58,13	kg/kmol
Critical temperature	205	214	187,2	135,0	°C
Critical Pressure	50,6	41,3	33,7	36,45	Bar
Specific critical volume	0,002013	0,001914	0,004327	0,004526	M ³ /kg
Flammability			Highly Flamable	Flamable	
Colour			Coulourless	Coulourless	
Smell			Sweetish	Sweetish	

Fluida halokarbon dan hidrokarbon menunjukkan banyak keunggulan dalam hal properti termodinamika untuk penerapannya pada siklus biner. Properti fluida-fluida halokarbon dan hidrokarbon yang telah dipelajari oleh Pawel Gabinski adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Dari hal-hal diatas dapat disimpulkan bahwa hidrokarbon merupakan pilihan terbaik untuk aplikasi fluida kerja pada siklus biner. Saat ini sebagian besar siklus

biner menggunakan hidrokarbon sebagai fluida kerjanya, terutama pentane yang sudah banyak diaplikasikan. Untuk keperluan perancangan ini, dipilih Pentane sebagai fluida kerja dalam perancangan pembangkit listrik biner dengan alasan:

- Telah terbukti pemanfaatannya pada pembangkit listrik biner yang ada.
- Memiliki berat molekul nilai *heat transfer coefficient* yang cukup besar.
- Memiliki sifat fisik yang cocok (temperatur kritis dan tekanan kondensasi).

c. **Penentuan Temperatur Inlet Turbin**

Temperatur inlet turbin pembangkit listrik biner ini sangat dipengaruhi oleh kemampuan heat exchanger. Makin besar kemampuan penukar panas mentransfer panas maka akan besar pula panas yang di pindahkan ke fluida kerja. Untuk tulisan ini dipakai temperatur inlet turbin sebesar 156 °C.

d. **Penentuan Temperatur Outlet Turbine**

Sama halnya dengan pembangkit listrik tekanan rendah, untuk penulisan ini dipakai data keluaran menara pendingin yang ada di Gunung Salak yaitu sekitar 40 °C.

e. **Hasil Perhitungan**

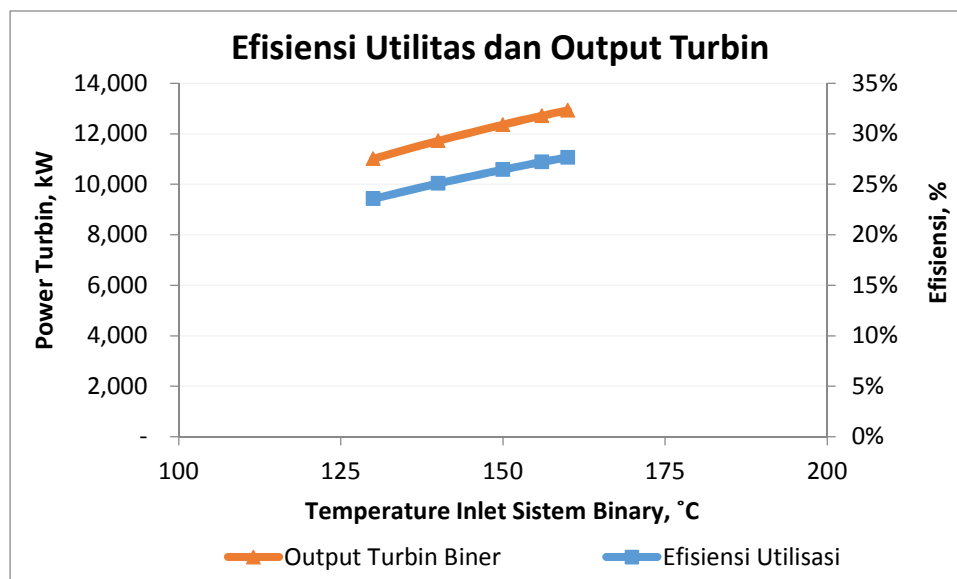
Dari hasil perhitungan didapat hasil dalam Tabel 5.6 dan 5.7, didapat bahwa efisiensi utilitas maksimum ada pada temperatur inlet turbin sebesar 160°C yaitu sebesar 27.66% dengan output turbin sebesar 12,927 kW. Perhitungan efisiensi secara detail dapat dilihat dalam Lampiran 2.

Tabel 5.6. Nilai Entalpi dari Pembangkit Listrik Sistem Biner Model ORC Sesuai dengan Gambar 5.6.

Posisi	Tekanan			Temperatur		V m ³ /kg	S kJ/kg.K	h kJ/kg	Keterangan
	Mpa	Bar	PSI	°K	°C				
1	2,2146	22,1455	321	433	160		2,21	747.8	Dari tabel
2	0,1524	1,5235	22,09					656.5	Interpolasi
2s	0,1524	1,5235	22,09				2,21	640.4	Dari tabel
3	0,1524	1,5235	22,09	313	40		1,98	567.6	Dari tabel
4	0,1524	1,5235	22,09	313	40	0,001666	0,91	233.23	
5	2,2146	22,1455	321	313				233.23	
5s	2,2146	22,1455	321					233.23	
6	2,2146	22,1455	321	433				566.9	

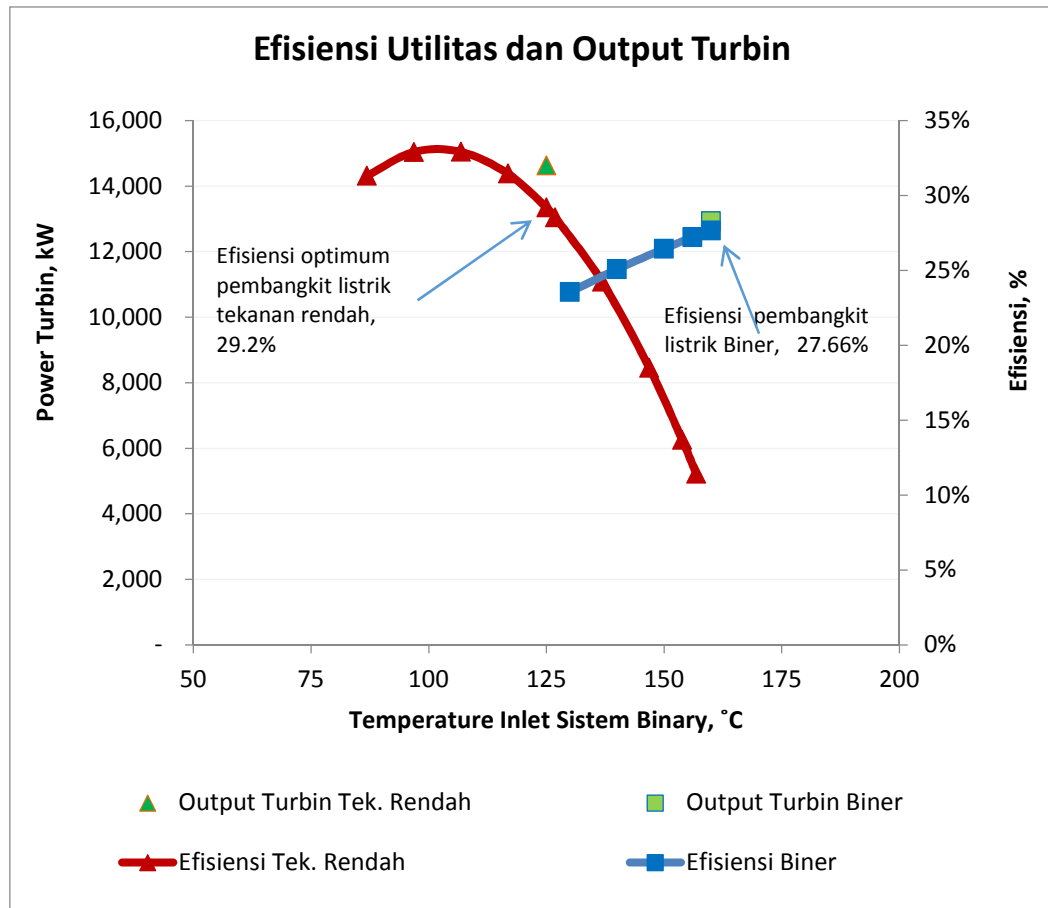
Tabel 5.7. Efisiensi Utilisasi Sesuai dengan Gambar 5.5.

Temp. Inlet Turbine		Power Output Turbin, KW	Laju Aliran Fluida Kerja, kg/dtk	Laju Aliran Brine, kg/dtk	Efisiensi Utilisasi, %
°K	°C				
373	130	8.412	155	378	23,56
413	140	11.719	150	378	25,08
423	150	12.360	146	378	26,45
429	156	12.713	144	378	27,20
433	160	12.927	143	378	27,66



Gambar 5.6. Efisiensi Utilitas Pembangkit listrik Sistem Biner ORC pada Temperatur yang Berbeda

5.2.1.4. Perbandingan Antara Pembangkit Listrik Tekanan Rendah dan Pembangkit Listrik Biner Model ORC



Gambar 5.7. Perbandingan Efisiensi Utilitas antara Pembangkit Listrik Tekanan Rendah dan Pembangkit Listrik Biner Model ORC.

Dari Gambar 5.7 dan Tabel 5.8, efisiensi utilitas optimum untuk pemanfaatan panas dari *brine* adalah pembangkit listrik tekanan rendah yaitu 29,2%.

Tabel 5.8. Perbandingan Efisiensi Utilitas antara Pembangkit Listrik Tekanan Rendah dan Pembangkit Listrik Biner Model ORC.

No.	Type Pembangkit	Efisiensi Utilitas, %	Power Turbin, kW
1.	Tekanan Rendah	29,2	13.636
2.	Biner Model ORC	27,66	12.927

5.2.2. Analisa Kelayakan

5.2.2.1. Biaya Investasi Pembangkit Listrik Tekanan Rendah

a. Biaya Pembangunan Pembangkit Listrik Tekanan Rendah

Untuk perhitungan ini, digunakan perkiraan biaya pembangunan pembangkit listrik yang ditulis oleh Sanyal (2005):

$$CC = 2500 * e^{-0.003(P-5)}$$

Dimana:

P = Kapasitas dari pembangkit dengan satuan MW.

CC = *Capital Cost* dengan satuan \$/kW.

Tabel 5.9. Biaya Pembangunan Pembangkit Listrik

Tipe Pembangkit	Power Turbin, kW	Biaya Pembangkit, \$M
Tekanan Rendah	13.636	33,22

\$M adalah juta dolar

b. Biaya Pembangunan Lapangan (Field Cost)

Biaya untuk sistem pengumpul uap adalah 95 \$/kW untuk sistem biner (pipaan 41 \$/kW + pompa produksi 54 \$/kW) dan 55 \$/kW untuk sistem *flashing* (Entingh & McLarty. 1997 dalam Hance. 2005).

Tabel 5.10. Biaya Pembangunan Lapangan

Tipe Pembangkit	Power Turbin, kW	Biaya Pengumpul Uap, \$M
Tekanan Rendah	13.636	0,75

\$M adalah juta dolar

c. Biaya Pengeboran Sumur

Biaya pengeboran tidak ada dalam penulisan ini karena sumber air panas atau *brine* diambil dari *separator* sistem sebelumnya.

d. Total Biaya Investasi

Tabel 5.11. Total Biaya Pembangunan Pembangkit Listrik

Tipe Pembangkit	Power Turbin, kW	Biaya Pembangkit Listrik, \$M	Biaya Pengumpul Uap, \$M	Total Biaya, \$M	Biaya Tiap MWg (\$M/MW)
Tekanan Rendah	13.636	33,22	0,75	33,97	2,49

\$M adalah juta dolar

e. Biaya Operasi dan Perawatan

Biaya operasi dan perawatan adalah semua biaya yang timbul selama tahap operasional pembangkit listrik. Dalam kasus produksi listrik panas bumi, biaya variable relatif rendah dan biaya marjinal peningkatan produksi listrik dengan demikian dianggap minimal. Akibatnya, operator pembangkit listrik tenaga panas bumi akan menjaga kapasitas setinggi mungkin untuk meminimalkan biaya dari setiap kWh yang dihasilkan.

Biaya operasi meliputi semua biaya yang berhubungan dengan operasi pembangkit listrik. Suatu bagian penting dari biaya ini adalah tenaga kerja. Komponen biaya lainnya termasuk pengeluaran untuk barang-barang konsumsi (misalnya pelumas, bahan kimia untuk pengurangan *scaling* dan pengendalian korosi, bahan bakar kendaraan, suku cadang, dll), dan biaya lain-lain (misalnya pembuangan limbah, berbagai jenis pompa, pencahayaan dan penggunaan listrik lainnya). Rata-rata jumlah tenaga kerja untuk perusahaan pembangkit listrik adalah 0.52 pekerja/MW dengan biaya operasi sebesar 7 \$/MWh (Hance. 2005. Hal 39).

Biaya pemeliharaan mencakup semua biaya yang berhubungan dengan pemeliharaan peralatan (pipa lapangan, turbin, pembangkit, kendaraan, bangunan,

dll). Ini termasuk berbagai macam tugas (misalnya perbaikan mesin, pengecatan, perbaikan jalan, dll) dan beberapa kegiatan dapat dikontrakkan kepada perusahaan ketiga (out sourcing). Estimasi rata-rata biaya perawatan adalah sebesar \$9/MWh (Hance. 2005. Hal 40).

Tabel 5.12. Biaya Operasional dan Perawatan

Tipe Pembangkit	Power Turbin (kW)	Tenaga Kerja (Orang)	Biaya Operasional (\$M)	Biaya Perawatan (\$M)	Total Biaya O&M (\$M)
Tekanan Rendah	13.636	7	0,84	1,08	1,91

\$M adalah juta dolar

5.2.2.2. Penilaian Investasi

a. Perkiraan Pendapatan Tahunan

Mayoritas paket proyek PLTP dalam wilayah kerja panas bumi memiliki harga jual listrik di bawah 9.7 sen dollar US untuk setiap kWh. Untuk lapangan panas bumi Gunung Salak mempunyai harga sekitar 7.5 sen dollar US untuk setiap kWh dengan 5% pengurangan produksi untuk perawatan.

Tabel 5.13. Perkiraan Pendapatan Kotor Tahunan

No.	Tipe Pembangkit	Power Turbin (kW)	Produksi, (kWh)	Pendapatan Tahunan (\$M)
1	Tekanan Rendah	13.636	113.478.792	8,51

\$M adalah juta dolar

b. Penilaian Investasi

- *Average Rate of Return*

Investasi awal yang dibutuhkan untuk membangun pembangkit listrik tekanan rendah adalah \$33.97M dan biaya operasional adalah sebesar \$1.91M.

Pembangkit ini mempunyai perkiraan usia ekonomis selama 16 tahun tanpa nilai sisa dan disusut dengan metode garis lurus. Penghasilan untuk pembangkit listrik tekanan rendah adalah \$8.51M tiap tahunnya.

Tabel 5.14. *Rate of Return* Pembangkit Listrik Tekanan Rendah

Pembangkit Listrik Tekanan Rendah	
Investasi	33,97 \$M
Usia	16 th
Penghasilan dr Penjualan	8,51 \$M
Biaya-Biaya:	
Biaya Operasional	1,91
Penyusutan	2,12
	4,03 \$M
Laba Sebelum Pajak	4,48 \$M
Pajak 38%	1,70 \$M
Laba Setelah Pajak	2,78 \$M
Rate of return	8,2%

\$M adalah juta dolar

Rate of return pembangkit tekanan rendah tiap tahunnya adalah 8,2%. Angka *rate of return* tersebut dapat diterima dalam analisa kelayakan karena lebih besar dari bunga pinjaman 7%.

Tabel 5.15. Investasi Tahunan dan Rata-Rata

Pembangkit Listrik Tekanan Rendah			
Tahun	Investasi	Tahun	Investasi
0	33,97 \$M	9	29,72 \$M
1	31,85 \$M	10	29,12 \$M
2	31,71 \$M	11	28,31 \$M
3	31,54 \$M	12	27,18 \$M
4	31,36 \$M	13	25,48 \$M
5	31,14 \$M	14	22,65 \$M
6	30,88 \$M	15	16,99 \$M
7	30,57 \$M	16	0,00 \$M
8	30,20 \$M	Total	462,65 \$M

Investasi Rata-rata	27,21 \$M
Average Rate of Return	10,20%

\$M adalah juta dolar

Jika digunakan investasi rata-rata, maka rata-rata dana yang pada investasi pembangkit akan berkurang setiap tahunnya karena penyusutan.

Dengan demikian, maka *average rate return* dari rata-rata investasi pembangkit tekanan rendah ini adalah 10,2%. Angka *average rate return* tersebut dapat diterima dalam analisa kelayakan karena lebih besar dari bunga pinjaman 7%.

- *Payback Period*

Aliran kas operasional tiap tahun adalah laba setelah pajak ditambah dengan penyusutan. Untuk Pembangkit tekanan rendah adalah \$5,71M.

Tabel 5.16. *Payback Period*

Pembangkit Listrik Tekanan Rendah	
Investasi	33,97 \$M
Aliran Kas	4,9 \$M
Payback Period	6,9 Tahun

\$M adalah juta dolar

Dari perhitungan diatas, didapat bahwa *payback period* untuk pembangkit listrik tekanan rendah adalah 6,9 tahun. Angka *payback period* tersebut dapat diterima dalam analisa kelayakan karena lebih kecil dari umur investasi 16 tahun.

- *Net Present Value*

NPV merupakan salah satu alat ukur untuk mengetahui profitabilitas investasi yang ditanamkan. Metode NPV mempunyai keunggulan yaitu diantaranya adalah dapat mengetahui nilai uang berdasarkan waktu dan aliran biaya yang dimiliki proyek digunakan seluruhnya untuk perhitungan.

Dengan menggunakan tingkat bunga sebesar 7.0%, maka didapat NPV dari aliran kas operasional untuk pembangkit listrik tekanan rendah adalah \$12.31M. Angka NPV tersebut dapat diterima dalam analisa kelayakan karena mempunyai nilai positif.

Tabel 5.17. *Net Present Value*

Rate bunga: 7%

Pembangkit Listrik Tekanan Rendah				
Penyusutan per tahun =		2,12	Laba setelah Pajak	
			2,78	
Tahun	Nilai Sekarang	Tahun	Nilai Sekarang	
0	33,97 \$M	9	2,66 \$M	
1	4,58 \$M	10	2,49 \$M	
2	4,28 \$M	11	2,33 \$M	
3	4,00 \$M	12	2,18 \$M	
4	3,74 \$M	13	2,03 \$M	
5	3,49 \$M	14	1,90 \$M	
6	3,26 \$M	15	1,78 \$M	
7	3,05 \$M	16	1,66 \$M	
8	2,85 \$M	NPV	12,31 \$M	

\$M adalah juta dolar

- *Internal Rate Return*

Tabel 5.18. *Internal Rate Return*

Pembangkit Listrik Tekanan Rendah				
Investasi, \$M	Penyusutan per Tahun, \$M	Laba Setelah Pajak, \$M	Aliran Kas Tiap Tahun, \$M	IRR
33,97	2,12	2,78	4,9	12,10%

\$M adalah juta dolar

Dengan menggunakan *trial and error*, maka didapat *internal rate return* untuk pembangkit tekanan rendah adalah 12,1%. Angka *internal rate return* tersebut dapat diterima dalam analisa kelayakan karena mempunyai persentase lebih besar dari bunga pinjaman 7%.

- ***Profitability Index***

PI adalah nilai tunai semua kas masuk yang diterima setelah investasi awal dibagi dengan investasi awal.

Profitability index pembangkit tekanan rendah mempunyai angka 1,36 (lebih besar dari satu) sehingga dapat dikatakan proyek pembangunan pembangkit listrik ini adalah menguntungkan.

Tabel 5.19. *Profitability Index*

Rate bunga: 7%

Pembangkit Listrik Tekanan Rendah			
Penyusutan per tahun = 2,12		Laba setelah Pajak 2,78	
Tahun	Nilai Sekarang	Tahun	Nilai Sekarang
0	33,97 \$M	9	2,66 \$M
1	4,58 \$M	10	2,49 \$M
2	4,28 \$M	11	2,33 \$M
3	4,00 \$M	12	2,18 \$M
4	3,74 \$M	13	2,03 \$M
5	3,49 \$M	14	1,90 \$M
6	3,26 \$M	15	1,78 \$M
7	3,05 \$M	16	1,66 \$M
8	2,85 \$M	PI	1,36

\$M adalah juta dolar

5.2.3. Hasil Penelitian

Hasil perhitungan dari proyek pembangkit listrik tekanan rendah yang dibicarakan dalam tesis ini dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Beberapa data ditentukan dan diambil dari data-data lapangan maupun dari sumber-sumber lainya seperti *web-site*. Penentuan maupun pengambilan data sudah diterangkan dalam bab-bab terdahulu termasuk sumber datanya.

Tabel 5.20. Hasil Penelitian

Pembangkit Listrik Tekanan Rendah			
No.	Parameter	Notasi	Unit
Teknikal			
1	Laju Alir Brine	m ^b	378 kg/dtk
2	Temperature Masuk Brine	T ^A	170 Deg C
3	Temperatur Keluaran Brine	T ^C	125 Deg C
4	Efisiensi Utilitas	h ^u	29.2 %
5	Power Turbin	We	13.636 kW
Keekonomian			
6	Biaya Pembangkit		33,22 \$M
7	Biaya Pengumpul Uap Panas		0,75 \$M
8	Total Biaya		33,97 \$M
9	Biaya Tiap MW		2,49 \$M/MW
10	Biaya Perawatan		1,91 \$M
11	Pendapatan Kotor per Tahun		8,51 \$M
Penilaian Investasi / Studi Kelayakan			
12	Bunga	r	7 %
13	Usia Produktif		16 Tahun
12	<i>Average Rate of Return</i>	ARR	10,20 %
13	<i>Payback Period</i>	PP	6,9 Tahun
14	<i>Net Present Value</i>	NPV	12,31
15	<i>Internal Rate Return</i>	IRR	12,10 %
16	<i>Profitability Index</i>	PI	1,36

\$M adalah juta dolar

5.3. Pembahasan Hasil Penelitian

Dengan spesifikasi *brine* yang ada di pembangkit listrik panas bumi Gunung Salak, yaitu 174 C dengan aliran masa *brine* sebesar 378 kg/detik didapat output listrik sebesar 13.636 kWh dengan menggunakan teknologi pembangkit listrik tekanan rendah atau sebesar 12.927 dengan menggunakan teknologi pembangkit listrik system biner.

Dari kedua proyek pembangkit listrik tersebut di atas, pada dasarnya kedua pembangkit tersebut dapat diaplikasikan di lapangan panas bumi Gunung Salak. Tetapi dari hasil perhitungan, efisiensi utilitas dan output turbin pembangkit listrik tekanan rendah lebih besar dari pada pembangkit listrik biner sebesar 5,6%. Begitu juga dengan listrik yang dibangkitkan, pembangkit tekanan rendah

mempunyai output 5,4% lebih tinggi dibandingkan dengan pembangkit biner model ORC. Hal ini menghasilkan pendapatan kotor tahunan pembangkit listrik tekanan rendah mempunyai angka yang lebih besar juga dibandingkan dengan pembangkit listrik biner model ORC yaitu sebesar persentase perbedaan output produksi, 5,4%. Hasil perhitungan analisa kelayakan pembangkit listrik tekanan rendah adalah sebagai berikut:

Tabel 5.21. Ringkasan Hasil Pembangkit Listrik Tekanan Rendah

	Notasi	Nilai	Unit	Keterangan
Bunga Pinjaman	R	7	%	
Masa Produktif		16	Tahun	
<i>Average Rate of Return</i>	ARR	10,2	%	Lebih besar dari bunga Pinjaman
<i>Payback Period</i>	PP	6,9	Tahun	Lrbih kecil dari umur investasi
<i>Net Present Value</i>	NPV	12,31	\$M	Bernilai Positif
<i>Internal Rate Return</i>	IRR	12,10	%	Lebih besar dari bunga Pinjaman
<i>Profitability Index</i>	PI	1,36		Lebih besar dari satu

Dari hasil perhitungan kelayakan di atas, dapat disimpulkan bahwa pembangkit listrik tekanan rendah dapat dikembangkan di lapangan panas bumi Gunung Salak. Dilihat dari segi kelayakan, pembangunan pembangkit ini juga layak dikembangkan karena sesuai dengan prinsip kelayakan.

5.4. Kondisi Lingkungan

Perubahan kondisi lingkungan tidak diharapkan dapat mempengaruhi secara signifikan keluaran dari pembangkit listrik tenaga panas bumi. Tetapi untuk mendapatkan hasil optimum sesuai dengan hasil perhitungan pembangkit listrik tekanan rendah sesuai dengan perhitungan di atas, maka kondisi lingkungan di bawah ini perlu diperhatikan.

1. Temperatur lingkungan.

Temperatur di gunung Salak rata-rata berkisar antara 19 – 21 °C. Perubahan temperatur akan mempengaruhi efisiensi turbin dan menara pendingin. Perubahan temperatur juga akan mempengaruhi temperatur *brine* yang ada di pipa *brine*.

2. Curah Hujan.

Sama halnya dengan temperature, curah hujan akan mempengaruhi temperatur *brine* yang ada dalam pipa *brine*. Makin besar atau makin banyak curah hujan maka akan semakin menurunkan temperatur *brine* yang pada akhirnya akan mempengaruhi output turbin.

Saat ini rata-rata curah hujan di gunung Salak mencapai 1.4mm per tahun 2012.

3. Ketersediaan *Brine*.

Saat ini jumlah *brine* yang ada di gunung Salak mencapai 1,400 kg/s, tetapi hanya 378 kg/s (27%) saja yang dimanfaatkan dalam tulisan ini. Sehingga untuk mendapatkan energi listrik sesuai perhitungan, maka ketersediaan *brine* harus tetap dijaga. Penurunan jumlah aliran *brine* akan menurunkan energi listrik juga.

4. Jumlah *Non Condensable Gas* (NCG – gas yang tidak dapat dikondensasikan) dalam uap air panas.

Makin tinggi NCG maka akan makin besar pula *NCG removal* (penghilang NCG) yang dibutuhkan. Makin besar penghilang NCG maka akan semakin besar uap panas yang dibutuhkan sehingga akan

mempengaruhi keluaran turbin. Saat ini NCG dalam uap panas yang ada di gunung Salak adalah maksimum sebesar 1.5%.

5. Kondisi Lingkungan lainnya

- a. Rata-rata kelembaban relatif (Rh) adalah berkisar antara 81% – 89%.
- b. Suhu mencair (*dew point*) berkisar antara 16.44 – 18.57 °C.
- c. Kecepatan angin berkisar antara 1-4 km/jam.