

BAB III

KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA PEMIKIRAN

3.1. Kajian Teori

3.1.1. Energi Listrik

Energi merupakan salah satu kebutuhan penting bagi kehidupan manusia. Berbagai hal mulai dari transportasi, penerangan dan lainnya senantiasa membutuhkan energi. Sebagian besar kebutuhan energi dipenuhi dari minyak bumi sebagai bahan bakunya. Terdapat berbagai sumber energi yang dapat digunakan sebagai bahan bakar bukan dari fosil dan sifatnya terbarukan, diantaranya adalah energi dari angin, energi dari air, energi dari matahari, biofuel dan energi dari panas bumi.

Menurut kamus besar Bahasa Indonesia, energi adalah:

- a. Kemampuan untuk melakukan kerja (misal untuk energi listrik dan mekanika);
- b. Daya (kekuatan) yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan (misal dapat merupakan bagian suatu bahan atau tidak terikat pada bahan spt sinar matahari);
- c. Tenaga.

Energi tidak akan lenyap tetapi dapat berubah bentuk misalnya energi listrik menjadi energi panas atau sebaliknya energi panas menjadi energi listrik. Salah satu pemakaian energi panas yang dirubah menjadi energi listrik adalah pembangkit listrik tenaga panas bumi.

Energi listrik adalah kemampuan untuk melakukan atau menghasilkan usaha listrik (kemampuan yang diperlukan untuk memindahkan muatan listrik dari satu titik ke titik yang lain). Energi listrik dilambangkan dengan W . (crayonpedia. 2008).

3.1.2. Eksergi

Setiap bentuk energi dapat dijelaskan tidak hanya oleh kuantitas, tetapi juga kualitas. Kualitas energi didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan perubahan yang diinginkan. Untuk membandingkan kualitas berbagai bentuk energi biasa digunakan Eksergi (*Exergy*).

1. Hukum Pertama Termodinamika

Hukum pertama termodinamika adalah hukum konservasi energi, yang menyatakan energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Energi dari suatu sistem yang berubah dalam suatu proses bisa bertambah atau berkurang akibat pertukaran dengan kondisi sekitar-nya dan berubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain dalam sistem tersebut. Hukum pertama tidak mengindikasikan apakah konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lain-nya tidak berlangsung sempurna atau seluruhnya dikonversikan ke bentuk lain, batasan-batasan tersebut akan diterangkan pada hukum kedua termodinamika (El-Wakil MM, 1985).

2. Hukum Kedua Termodinamika

Jika hukum pertama termodinamika berbicara tentang konversi energi, yang menyatakan semua bentuk energi bisa berubah ke bentuk

lain-nya, maka hukum kedua meletakkan batasan pada konversi energi dari satu bentuk energi ke bentuk lain (El-Wakil MM, 1985).

3. Entalpi

Entalpi adalah jumlah kandungan panas yang digunakan atau dilepaskan dalam suatu sistem pada tekanan konstan. Entalpi biasanya dinyatakan sebagai perubahan entalpi. Perubahan entalpi berhubungan dengan perubahan energi internal (U) dan perubahan volume (V), yang dikalikan dengan tekanan (P) konstan dari sistem.

4. Entropi

Entropi sering dianggap sebagai ukuran gangguan, atau ukuran kemajuan menuju kesetimbangan termodinamika. Entropi dari sistem terisolasi tidak pernah menurun, karena sistem terisolasi secara spontan berkembang menuju kesetimbangan termodinamika, yang merupakan keadaan entropi maksimum.

5. Isentropik

Dalam termodinamika, proses isentropik adalah satu di mana, untuk tujuan analisis teknik dan perhitungan, dapat berasumsi bahwa proses berlangsung dari inisiasi sampai selesai tanpa peningkatan atau penurunan entropi sistem (entropi sistem tetap).

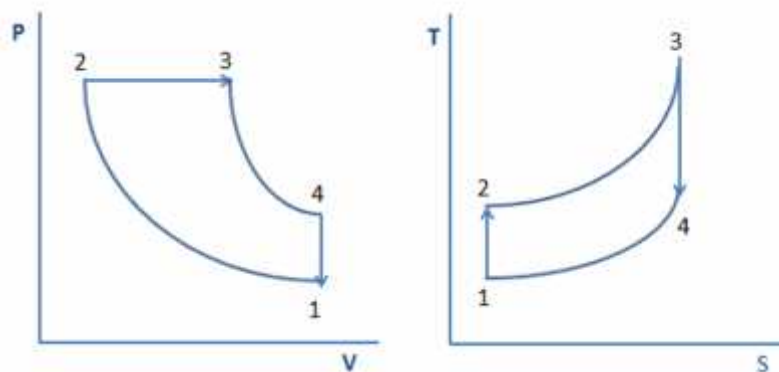
6. Siklus Termodinamika

Dalam rangka mengubah bentuk dari energi, contohnya pada panas, untuk bisa bekerja terus-menerus perlu dioperasikan dalam sebuah siklus. Sebuah proses dimulai pada suatu keadaan dari fluida kerjanya dan berakhir pada keadaan lain-nya. Sebuah siklus, dalam pengertian lain

adalah beberapa proses yang dimulai dan diakhiri pada kondisi yang sama dan dapat berulang-ulang selama waktu yang dibutuhkan (El-Wakil MM, 1984).

Sebuah contoh dari siklus Diesel ideal ditunjukkan dalam diagram P-V dan T-S pada Gambar 3.1. Terdiri dari:

- Proses ideal dan adiabatic pada proses kompresi 1-2,
- Proses penambahan panas pada tekanan konstan 2-3,
- Proses ekspansi ideal dan adiabatic 3-4,
- Proses pembuangan panas pada volume konstan 4-1



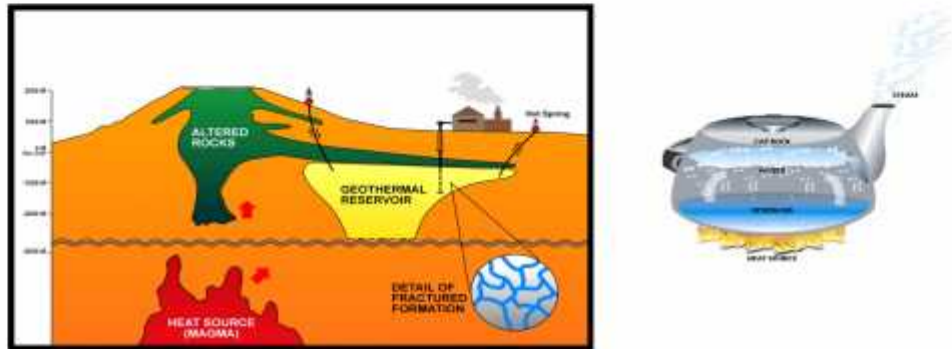
Gambar 3.1. P-V dan T-S Diagram dari Siklus Diesel Ideal.

3.1.3. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Panas bumi atau biasa disebut dengan geothermal adalah berasal dari Yunani “*geo*” dan “*therme*” berarti *geothermal* (panas bumi). Energi panas bumi adalah energi yang diekstraksi dari panas yang tersimpan di dalam bumi. Energi panas bumi berasal dari aktivitas tektonik di dalam bumi yang terjadi sejak planet ini diciptakan.

Dengan adanya batuan panas dan air dalam suatu “wadah” di dalam bumi sehingga terbentuklah sumber energi panas bumi ini. Wadah tersebut disebut

reservoir. Energi panas bumi diambil dengan cara membuat sumur bor dengan kedalaman 2 km atau lebih hingga mencapai *reservoir*.



Sumber: Chevron Geothermal Salak.

Gambar 3.2. Batuan Panas Bumi dan Analogi

Air di dalam *reservoir* bukan merupakan air permukaan sehingga tidak mengganggu pemakaian air permukaan. Air yang digunakan adalah air *reservoir* yang secara natural tidak tercampur dengan air permukaan dikarenakan adanya batuan yang tidak dapat ditembus oleh air permukaan dan air *reservoir*.



Sumber: Chevron Geothermal Salak

Gambar 3.3. Siklus Pembangkit Listrik Panas Bumi dengan Tipe *Wet Steam*

Energi panas bumi dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu:

3.1.3.1. System langsung (*direct Flash*)

Cairan panas dari dalam bumi di alirkan ke *separator* untuk memisahkan uap panas (*steam*) dan air panas (*brine*). Air panas diinjeksikan kembali ke dalam bumi melalui sumur injeksi. Contoh pembangkit listrik panas bumi system langsung adalah:

- a. Energi panas bumi dengan uap kering (*dry steam power plant*).

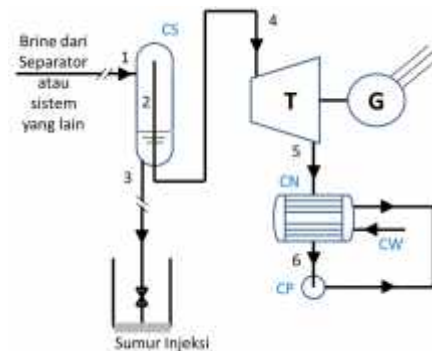
Tipe energi panas bumi ini adalah tipe energi yang ideal karena panas bumi yang keluar dari perut bumi berupa uap panas kering sehingga dapat langsung digunakan untuk menggerakkan turbin generator listrik.

- b. Energi panas bumi dengan uap basah (*wet steam power plant*).

Energi panas bumi tipe uap basah adalah energi panas bumi yang sebagian besar berupa air panas atau kombinasi uap dan air panas. Kombinasi uap dan air panas tersebut dipisahkan secara mekanik dengan menggunakan bejana pemisah (*separator*). Uap panas dialirkan ke turbin untuk menggerakkan turbin-generator listrik sedangkan air panas hasil pemisahan tersebut diinjeksikan kembali kedalam perut bumi. Air panas (*brine*) yang diinjeksikan ke dalam bumi ini mempunyai temperatur dibawah 400 °F (204 °C). Sisa energi panas yang sudah digunakan oleh turbin berubah bentuk menjadi air kondensasi yang salurkan ke menara pendingin untuk didinginkan. Air dingin ini berguna untuk mendinginkan turbin dan kondenser.

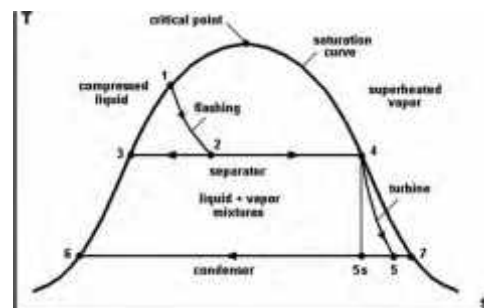
Dalam hal pemanfaatan air panas (*brine*) yang akan diinjeksikan kembali melalui sumur injeksi dapat dilakukan salah satunya adalah dengan membuat pembangkit listrik tipe tekanan rendah (lihat gambar 3.4). *Brine* tersebut

dipompakan ke bejana pemisah (*separator*, CS). Bejana pemisah dibuat dengan tekanan kerja yang rendah sehingga masih dapat memisahkan uap panas dan *brine*. Uap panas dikirim ke turbine sedangkan *brine* diinjeksikan ke sumur injeksi.



Sumber: Dipippo, Ronald. 2008.

Gambar 3.4. Skema Sederhana Tekanan Rendah.



Sumber: Dipippo, Ronald. 2008.

Gambar 3.5. T-S Diagram untuk Model Tekanan Rendah.

Diawali pada posisi 1, cairan panas yang terkompresi masuk kedalam pemisah, CS. Sehingga kualitas pemisahan, x_2 , dihitung dengan:

$$x_2 = \frac{h_2 - h_3}{h_4 - h_3} \quad (3.1)$$

Dengan mengabaikan energi kinetik dan energi potensial, tenaga yang dihasilkan oleh pembangkit adalah:

$$W_t = \dot{m}_s(h_4 - h_5) = \dot{m}_{total}x_2(h_4 - h_5) \quad (3-2)$$

W_t = tenaga turbin yang dihasilkan, kW

\dot{m}_s = aliran uap panas, kg/s

h_4 = entalpi pada input turbin, kJ/kg

h_5 = entalpi pada output turbin, kJ/kg

\dot{m}_{total} = aliran *brine* dari sistem lain, kg/s

Kerja maksimum yang dihasilkan jika turbin dioperasikan dengan entropi yang tetap, maka efisiensi turbin adalah:

$$y_t = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_{5s}} \quad (3-3)$$

η_t = efisiensi turbin, %

Dari Gambar. 3.5, jelas bahwa kualitas pada outlet turbin, posisi 5, tergantung pada efisiensi turbin. Posisi 5 ditentukan dengan memecahkan persamaan di atas dengan menggunakan efisiensi turbin dan sifat fluida pada posisi 5s.

$$h_{5s} = h_6 + [h_7 - h_6] * \left[\frac{s_4 - s_6}{s_7 - s_6} \right] \quad (3-4)$$

Kinerja dari keseluruhan keseluruhan pembangkit dihitung dengan membandingkan keluaran listrik aktual dibagi dengan maksimum listrik teoritik yang dapat produksi dari air panas, .

Spesifik eksergi, e , dari cairan yang mempunyai tekanan P dan temperatur T dalam tekanan lingkungan P_0 dan temperatur lingkungan T_0 adalah:

$$e = h(T, P) - h(T_0, P_0) - T_0[s(T, P) - S(T_0, P_0)] \quad (3-5)$$

$$= \dot{m}_{total} * e$$

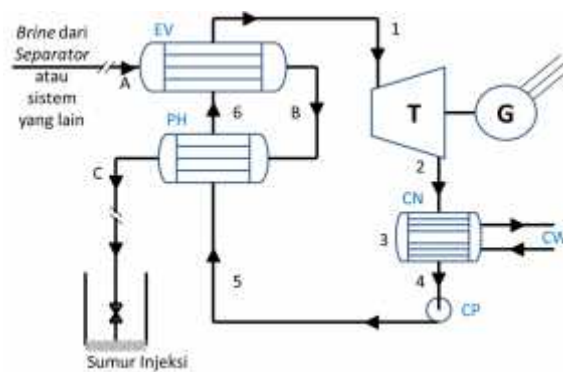
$$y_u = \frac{W_{net}}{E_{Res}} = \frac{W_{net}}{\dot{m}_b[(h_{res} - h_0) - T_0(s_{res} - s_0)]} \quad (3-6)$$

Dimana T_0 adalah temperatur *dead-state*, sebuah keadaan dimana eksergi sistem adalah sama dengan nol, dan h_0 dan s_0 adalah nilai entalpi dan entropi pada temperatur tersebut.

3.1.3.2. Sistem tidak langsung (*indirect system*)

Sistem ini menggunakan air panas sisa dari sistem langsung untuk memanaskan cairan kerja. Salah satu contoh dari pembangkit listrik sistem tidak langsung adalah:

- a. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Siklus Biner dengan Model Siklus Rankine Organik (Organic Rankine Cycle - ORC)



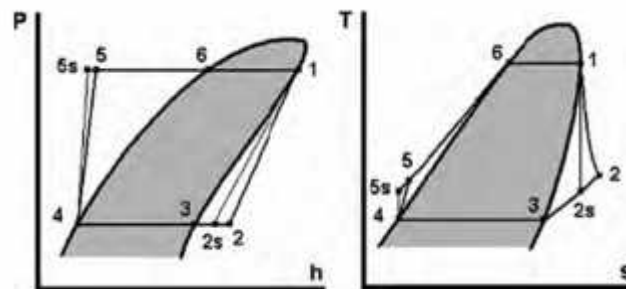
Sumber: Dipippo, Ronald. 2008.

Gambar 3.6. Skema Sederhana Siklus Biner dengan Model ORC.

Simple model ORC dapat dilihat pada Gambar.3.6. Siklus Rankine Organik (ORC) memanfaatkan cairan kerja sekunder yang, memiliki titik didih rendah (dibandingkan dengan uap panas) dan tekanan uap yang tinggi pada temperatur rendah. Dasar siklus Rankine organik terdiri dari 3 komponen dasar: *heat exchanger* (nomer 6 yang terdiri dari *evaporator*, EV,

dan *pre-heater*, PH), turbin (nomer 1 dan 2) dan kondensator, CN, dengan menara pendingin (nomer 3).

Cairan kerja dipanaskan dan diuapkan dalam penukar panas (*heat exchangers*), PH dan E, dimana media pemanas *brine* berasal dari sumber panas bumi (sumur produksi). Uap jenuh cairan kerja yang dihasilkan memasuki turbin dan mengembang (ekspansi) sehingga dapat memutar turbin. Setelah ekspansi dalam turbin, pendinginan dan kondensasi dari cairan kerja berlangsung di kondensator (CN). Dari kondensator cairan kerja dipompa kembali ke dalam penukar panas. Cairan kerja ada dalam sistem loop tertutup yang juga merupakan bagian dari pembangkit listrik.



Sumber: Dipippo, Ronald. 2008.

Gambar 3.7. P-h dan T-S Diagram untuk Model ORC.

Spesifikasi model ORC adalah sebagai berikut:

- Temperatur *brine* (masukan dank keluaran)
- Jumlah aliran *brine*
- Tekanan *brine* pada kepala sumur

Dengan mengabaikan energi kinetik dan energi potensial, tenaga yang dihasilkan oleh pembangkit adalah:

$$W_t = \dot{m}_{wf}(h_1 - h_2) = \dot{m}_{wf} \eta_t (h_1 - h_{2s}) \quad (3-7)$$

W_t = tenaga turbin yang dihasilkan, kW

\dot{m}_{wf} = aliran cairan kerja, kg/s

h_1 = entalpi pada input turbin, kJ/kg

h_2 = entalpi pada output turbin, kJ/kg

η_t = efisiensi turbin, %

Kerja maksimum yang dihasilkan jika turbin dioperasikan dengan entropi yang tetap, maka efisiensi turbine adalah:

$$y_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \quad (3-8)$$

Dalam *heat exchanger* berlaku rumus berikut (lihat Gambar 3.4 dan 3.5):

$$\dot{m}_{ml}(h_A - h_C) = \dot{m}_{wf}(h_1 - h_4) \quad (3-9)$$

\dot{m}_b = aliran *brine*, kg/s

Kinerja Pembangkit dapat dicari dengan menggunakan efisiensi utilisasi (*utilization efficiency*), η_u , yang didefinisikan sebagai perbandingan antara listrik pembangkitan aktual dengan maksimum listrik yang bisa dihasilkan dari sumber, dalam hal ini sumber adalah *reservoir*, secara teoritis.

$$y_u = \frac{W_{net}}{E_{Res}} = \frac{W_{net}}{\dot{m}_b[(h_{res} - h_0) - T_0(s_{res} - s_0)]} \quad (3-10)$$

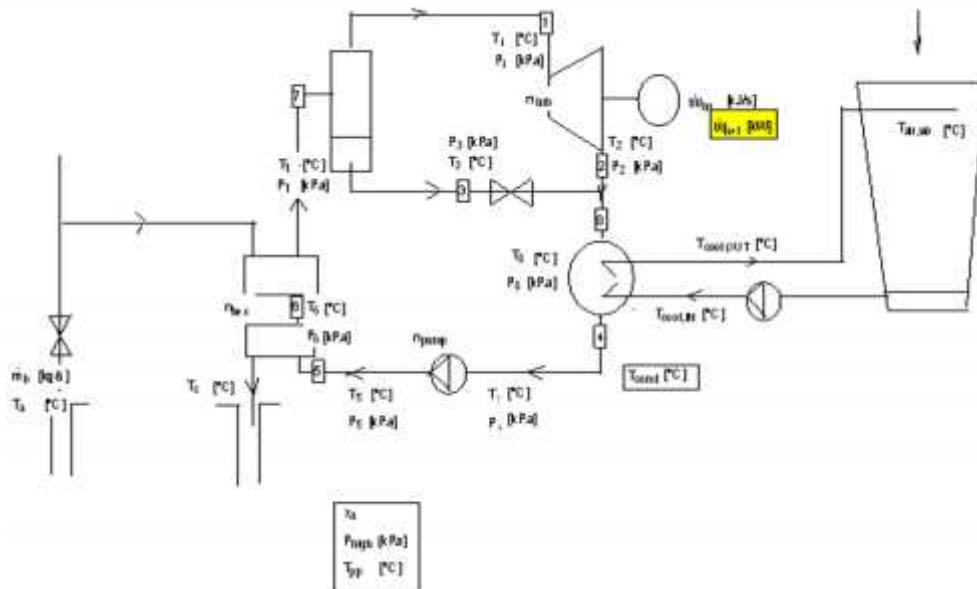
Dimana T_0 adalah temperatur *dead-state*, sebuah keadaan dimana eksergi sistem adalah sama dengan nol, dan h_0 dan s_0 adalah nilai entalpi dan entropi pada temperatur tersebut.

b. Model Siklus Biner Kalina (Kalina Binary Cycle - ORC)

Simple model untuk siklus biner Kalina dapat dilihat pada Gambar.3.8.

Siklus biner Kalina didasari pada prinsip yang sama seperti siklus Rankine

Organik tetapi dengan cairan kerja yang berbeda. Pada siklus Kalina, campuran amonia dan air digunakan sebagai cairan kerja.



Sumber: *Engineering Equation Solver (EES)*.

Gambar 3.8. Skema Siklus Biner Kalina.

Model siklus biner Kalina dibangun dari perangkat yang sama dengan siklus Rankine Organik, namun *separator* ditempatkan antara penukar panas dan turbin untuk memisahkan (secara mekanis) campuran uap amonia dan air, yang sudah dipisahkan secara kimia dengan pemanasan dan penguapan di penukar panas. Amonia uap jenuh memasuki turbin dan air memasuki kondensor setelah menurunkan tekanan dengan *throttle*. Ekshaus uap amonia dari keluaran turbin bercampur kembali dengan air dari *separator*. Air dari *separator* disemprotkan ke dalam kondensor yang mengandung uap amonia.

Campuran amonia-air memiliki parameter tertentu yang secara signifikan meningkatkan efisiensi siklus dengan menurunkan generasi entropi dan kerugian termodinamika dengan membiarkan perbedaan temperatur yang

lebih rendah antara sumber panas dan cairan kerja. Campuran amonia memiliki titik didih yang berbeda dan temperatur kondensasi dan karenanya peningkatan entropi dalam penukar panas menurun. Amonia mempunyai titik didih lebih rendah (dibandingkan dengan air) dan temperatur titik kondensasi dan amonia lebih stabil daripada air. Pada saat amonia menguap, konsentrasi dalam campuran menurun yang menyebabkan peningkatan temperatur titik didih dari campuran itu. (Kopuni ová, Martina. 2009).

Spesifikasi model siklus biner Kalina adalah sebagai berikut:

- Temperatur *brine* (masukan dan keluaran)
- Jumlah aliran *brine*
- Tekanan *brine* pada kepala sumur

Kedua tipe biner tersebut di atas mengasumsikan:

- Kondisi operasi *steady state*
- Tidak ada kerugian panas dari penukar panas dan penukar panas tidak terhubung dengan transfer massa
- Konstan keseluruhan koefisien perpindahan panas
- Spesifik panas dari sumber panas konstan
- Perubahan energi kinetik dan potensial diabaikan
- kondisi lingkungan seperti temperatur lingkungan, curah hujan, kelembaban relatif, suhu mencair (due point), dan kecepatan angin yang dapat mempengaruhi output dari pembangkit listrik akan dibahas pada bab 5

3.1.4. Analisa Kelayakan Proyek

Salah satu tujuan sebuah perusahaan didirikan adalah mencari keuntungan. Tujuan lainnya adalah bersifat sosial. Agar tujuan perusahaan tersebut dapat tercapai sesuai dengan tujuan perusahaan, maka sebaiknya didahului dengan suatu studi. Tujuannya adalah untuk menilai apakah investasi yang akan ditanamkan layak atau tidak untuk dijalankan. Sekalipun telah dilakukan studi secara baik dan benar faktor kegagalan suatu proyek tetap ada disebabkan oleh banyaknya hambatan yang akan dihadapi dan resiko yang mungkin timbul setelah usaha berjalan. Studi ini dikenal dengan nama analisa kelayakan. Salah satu tujuan analisa kelayakan adalah untuk mencari jalan keluar agar dapat meminimalkan hambatan dan resiko yang mungkin timbul dimasa yang akan datang yang belum tentu kepastiannya.

Dari kamus besar Bahasa Indonesia, arti kata layak adalah wajar, pantas atau patut. Arti kata kelayakan adalah (1) perihal layak (patut, pantas); kepantasan; kepatutan; (2) perihal yg dapat (pantas, patut) dikerjakan.

Analisa kelayakan dilakukan untuk mengidentifikasi masalah dimasa yang akan datang, sehingga dapat meminimalkan kemungkinan melesetnya hasil yang ingin dicapai dalam suatu investasi. Dengan kata lain, analisa kelayakan dapat memperhitungkan hal-hal yang akan menghambat atau peluang dari investasi yang akan dijalankan. Jadi dengan adanya analisa kelayakan minimal dapat memberikan pedoman atau arahan kepada proyek yang akan dijalankan nantinya.

Analisa kelayakan bisnis adalah suatu kegiatan yang mempelajari secara mendalam tentang suatu usaha atau bisnis yang akan dijalankan, dalam rangka menentukan layak atau tidak usaha tersebut dijalankan (Kasmir. 2012).

Mempelajari secara mendalam artinya meneliti secara sungguh-sungguh data dan informasi yang ada, kemudian diukur, dihitung dan dianalisis hasil penelitian tersebut dengan menggunakan metode-metode tertentu.

Kelayakan artinya penelitian yang dilakukan secara mendalam dilakukan untuk menentukan apakah usaha yang akan dijalankan akan memberikan manfaat yang lebih besar dibanding dengan biaya yang akan dikeluarkan. Layak disini diartikan juga akan memberikan keuntungan tidak hanya bagi perusahaan yang menjalankannya tetapi juga bagi investor, kreditur, pemerintah dan masyarakat luas.

Pengertian bisnis adalah usaha yang dijalankan yang tujuan utamanya untuk memperoleh keuntungan. Keuntungan yang dimaksud dalam perusahaan bisnis adalah keuntungan finansial. Jadi dengan dilakukannya analisa kelayakan bisnis akan dapat memberikan gambaran apakah usaha atau bisnis yang diteliti layak atau tidak untuk dijalankan.

Aspek-aspek yang dinilai dalam analisa kelayakan bisnis meliputi:

a. Aspek hukum

Aspek hukum digunakan untuk meneliti kelengkapan, kesempurnaan dan keaslian dari dokumen yang dimiliki mulai dari badan usaha, izin-izin sampai dokumen lainnya

b. Aspek pasar dan pemasaran

Aspek pasar dan pemasaran meneliti seberapa besar pasar yang akan dimasuki dan seberapa besar kemampuan perusahaan untuk menguasai pasar serta bagaimanans strategi yang akan dijalankan nantinya

c. Aspek keuangan

Aspek keuangan adalah untuk menilai kemampuan perusahaan dalam memperoleh pendapatan serta besarnya biaya yang dikeluarkan. Dari sini akan terlihat pengembalian uang yang ditanamkan seberapa lama akan kembali.

Payback Period (PP)

Payback Period merupakan teknik penilaian terhadap jangka waktu pengembalian investasi suatu proyek atau usaha.

$$PP = \frac{\text{Investasi}}{\text{Kas Bersih per Tahun}} \times 1 \text{ Tahun} \quad (3.11)$$

Nilai kas bersih merupakan penjumlahan laba setelah pajak ditambah dengan penyusutan.

Average Rate of Return (ARR)

Average Rate of Return merupakan cara untuk mengukur rata-rata pengembalian bunga dengan cara membandingkan antara rata-rata sebelum pajak (*Earning After Tax* - EAT) dengan rata-rata investasi.

$$ARR = \frac{\text{Rata-rata EAT}}{\text{Rata-rata Investasi}} \quad (3.12)$$

$$\text{Rata-rata EAT} = \frac{\text{Total EAT}}{\text{Umur Ekonomis (n)}} \quad (3.13)$$

$$\text{Rata-Rata Investasi} = \frac{\text{Investasi}}{2} \quad (3.14)$$

Net Present Value (NPV)

Net Present Value atau nilai bersih sekarang merupakan perbandingan antara nilai sekarang kas bersih (*PV of Proceed*) dan nilai investasi sekarang (*capital outlays*) selama umur investasi. Selisih antara kedua nilai sekarang tersebutlah yang dikenal sebagai NPV. Untuk menghitung NPV, perlu dihitung nilai sekarang kas bersih dengan membuat dan menghitung *cash flow* perusahaan selama umur investasi.

$$NPV = \frac{\text{Kas Bersih 1}}{(1+r)} + \frac{\text{Kas Bersih 2}}{(1+r)^2} + \dots + \frac{\text{Kas Bersih N}}{(1+r)^n} - \text{Investasi} \quad (3.15)$$

- Jika NPV positif, maka investasi diterima
- Jika NPV negatif, maka investasi ditolak

Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate of Return merupakan alat untuk mengukur tingkat pengembalian hasil intern, berupa tingkat bunga pada saat NPV = 0. Ada dua rumus yang dapat digunakan.

- Interpolasi

$$IRR = r_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \times (r_2 - r_1) \quad (3.16)$$

Dimana:

r_1 = Tingkat bunga 1 (tingkat *discount rate* yang menghasilkan NPV₁)

r_2 = Tingkat bunga 2 (tingkat *discount rate* yang menghasilkan NPV₂)

NPV₁ = *Net Present Value* 1

NPV₂ = *Net Present Value* 2

- Cara coba-coba

Memasukan nilai berulang-ulang sehingga didapatkan $NPV = 0$.

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} = 0 \quad (3.17)$$

Dimana:

C_n = Arus kas

- Jika IRR lebih besar dari bunga pinjaman, maka diterima
- Jika IRR lebih kecil dari bunga pinjaman, maka ditolak

Profitability Index (PI)

Profitability Index atau *benefit and cost Ratio (B/C Ratio)* merupakan rasio aktivitas dari jumlah nilai sekarang penerimaan bersih dengan nilai sekarang pengeluaran investasi selama umur investasi.

$$PI = \frac{\sum PV \text{ Kas Bersih}}{\sum PV \text{ Investasi}} \times 100\% \quad (3.18)$$

- Jika PI lebih besar dari 1, maka diterima
- Jika PI lebih kecil dari 1, maka ditolak

(Kasmir. 2012. Hal: 100 – 109 dan Husnan, Suad. 2008. Hal: 206 - 211)

d. Aspek teknis/operasional

Aspek teknis atau produksi adalah menentukan lokasi, layout gedung dan ruangan serta teknologi yang akan dipakai.

e. Aspek manajemen dan organisasi

Aspek manajemen dan organisasi adalah untuk mengukur kesiapan dan kemampuan sumber daya manusia yang akan menjalankan usaha

tersebut dan mencari bentuk organisasi yang sesuai dengan usaha yang akan dijalankan.

f. Aspek ekonomi dan sosial

Aspek ekonomi dan sosial adalah untuk melihat seberapa besar pengaruh ekonomi dan sosial terhadap masyarakat yang ditimbulkan jika sebuah proyek dijalankan dengan memberikan peluang untuk meningkatkan pendapatannya.

g. Aspek dampak lingkungan

Aspek dampak lingkungan adalah untuk menilai dampak lingkungan disekitarnya baik darat, air dan udara yang ditimbulkan nantinya apabila bisnis ini dijalankan termasuk metode penanggulangannya.

(Kasmir. 2012. Hal: 16-17).

Pihak-pihak yang berkepentingan dalam analisa kelayakan bisnis adalah:

- a. Pemilik usaha
- b. Kreditur
- c. Pemerintah
- d. Masyarakat Luas
- e. Manajemen

(Kasmir. 2012. Hal: 14-15).

3.1.4.1. Tingkat Bunga Pinjaman

Tingkat bunga pinjaman adalah tingkat dimana bunga dibayarkan oleh peminjam (debitur) atas penggunaan uang yang mereka pinjam dari pemberi pinjaman (kreditur). Secara khusus, tingkat bunga adalah persen pokok yang

dibayarkan dalam sejumlah kali tertentu per satuan waktu (biasanya per tahun). Sebagai contoh, sebuah perusahaan meminjam modal dari bank untuk membeli aset baru untuk bisnis, dan sebagai imbalannya pemberi pinjaman menerima bunga pada tingkat bunga ditentukan untuk menunda penggunaan dana. Suku bunga biasanya dinyatakan sebagai persentase dari pokok untuk jangka waktu satu tahun.

Tingkat suku bunga rata-rata untuk pinjaman usaha kecil tergantung pada sejumlah faktor. Salah satu faktor adalah ukuran pinjaman. Misalnya, pinjaman di bawah \$ 100.000 memiliki tingkat bunga lebih tinggi dari pinjaman lebih dari \$ 100.000, Hal ini karena pinjaman lebih kecil akan dibayar kembali pada tingkat yang lebih cepat daripada pinjaman yang lebih besar. Pada tahun 2011, pinjaman di bawah \$ 100.000 memiliki tingkat bunga sebesar 7 hingga 8 persen, sedangkan pinjaman lebih dari \$ 100.000 memiliki tingkat bunga 6 sampai 7 persen. (Bender, Jennifer F. 2013).

3.1.5. Biaya Investasi Pembangkit Listrik

Menurut undang-undang Republik Indonesia Nomer 7 Tahun 1983 Tentang Pajak Penghasilan Pasal 11 ayat (3) dan (9): Untuk menghitung penyusutan, harta yang dapat disusutkan dibagi menjadi golongan-golongan harta sebagai berikut:

- Golongan 1 dengan umur sampai dengan 4 tahun dengan penyusutan 50% per tahun.
- Golongan 2 dengan umur 4 – 8 tahun dengan penyusutan 25% per tahun.

- Golongan 3 dengan umur lebih dari 8 tahun dengan penyusutan 10% per tahun.
- Golongan bangunan dengan penyusutan 5% per tahun

Tarif Untuk pembangkit listrik tekanan rendah memakai golongan 3 dengan umur asset selama 16 tahun dengan penyusutan garis lurus.

Dalam pakteknya, biaya pembangunan Pembangkit Listrik meliputi pembayaran untuk tanah, pematangan proyek dari segi keteknikan, pembuatan atau pembelian mesin atau pembangkit listrik dan perlengkapannya dan biaya-biaya pendahuluan lainnya sebelum mulai operasi. Pembayaran tanah dan pematangan proyek tidak dihitung dalam tulisan ini karena tanah sudah masuk dalam Wilayah Kerja Pertambangan (WKP) dan pematangan proyek dilakukan oleh para engineer perusahaan.

Ada banyak faktor yang mempengaruhi biaya pembangkit listrik tenaga panas bumi. Secara umum, pembangkit panas bumi dipengaruhi oleh biaya baja, logam lain dan tenaga kerja, yang universal untuk industri listrik. Biaya pengeboran dapat bervariasi juga. Proyek panas bumi adalah merupakan proyek yang spesifik terhadap lokasi, sehingga biaya untuk terhubung ke jaringan listrik bervariasi dari proyek ke proyek. Namun dari segi pembangunan pembangkit listrik tenaga panas bumi, hal-hal yang mempengaruhi biaya adalah sebagai berikut:

- Besar Pembangkit. Makin besar pembangkit, maka akan makin murah biaya pembangunannya
- Teknologi yang dipakai. Makin baru teknologi maka akan semakin mahal

- Pengetahuan dari sumber panas.
- Temperatur dari sumber panas. Pengetahuan sumber panas memperkecil jumlah sumur “percobaan”
- Sifat kimia panas bumi
- Kedalaman sumber panas and permeability

(*Geothermal Energy Association website*, diakses tanggal 14 Nov 2013).

Ada banyak perhitungan untuk menentukan biaya pembangkit. Sanyal (2005) merumuskan biaya pembangkit dengan rumus:

$$CC = 2500 * e^{-0.003(P-5)} \quad (3.18)$$

Dimana:

CC = Capital Cost dengan satuan \$/kW.

P = kapasitas dari pembangkit dengan satuan MW.

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

Biaya operasi dan maintenance adalah biaya tahunan pembangkit yang dikeluarkan untuk mempertahankan produksi sesuai dengan spesifikasi pembangkit. Sanyal (2005) merumuskan besarnya biaya sebagai berikut:

$$Cd = 2.0 * e^{-0.0025(P-5)} \quad (3.19)$$

Dimana:

Cd = Biaya operasi dan maintenance per tahun, ¢/kWh.

P = kapasitas dari pembangkit dengan satuan MW.

3.2. Penelitian Terdahulu

Dari data-data jurnal dan internet yang dikumpulkan tentang biaya pembangkit dan biaya operasi dan maintenance dapat dilihat dalam tabel berikut ini.

Tabel 3.1. Biaya Pembangkit dari Berbagai Sumber

| No. | Referensi | Tahun | Biaya Pembangkit | | | Biaya O&M | |
|-----|----------------------------------|-------|------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| | | | \$/kW | \$/kW | \$/kW | sen/kWh | sen/kWh |
| | | | Rendah | Sedang | Tinggi | Tinggi | Rendah |
| 1 | Sanyal, Subir K. | 2005 | | 2.436 | | 1,96 | |
| 2 | Entingh and McVeigh dalam Sanyal | 2003 | 1.600 | | 2.500 | 2,00 | 1,40 |
| 3 | Engle , David | 2008 | 2.000 | | 4.000 | | |
| 4 | Nazif, Havidh | 2011 | 2.300 | | 2.800 | | 0,75 |
| 5 | International Energy Agency | 2011 | 2.000 | | 4.000 | 2,40 | 1,90 |
| 6 | Geirdal, Carlos Atli Cordova | 2013 | 1.700 | | | 2,00 | |
| 7 | Geothermal Energy Association | | | | 3.400 | | |
| 8 | World Bank | 2005 | | 2.140 | | | |
| | Average | | 1.920 | 2.288 | 3.340 | 2,09 | 1,35 |
| | Median | | 2.000 | 2.288 | 3.400 | 2,00 | 1,40 |

Selain biaya pembangkit dalam table 3.1, penelitian mengenai teknologi dan analisa kelayakan proyek pembangkit listrik siklus biner juga banyak dilakukan antara lain adalah:

- a. Teguh, Bambang P dan Suyanto dan Trisno, MD. 2011. *Model of Binary Cycle Power Plants Using Brine as Thermal Energy Sources and Development Potential in Sibayak.*

Kesimpulan: Disain dan tes performa dari 2 Kilo Watt PLTP dengan siklus biner telah berhasil. Hal yang penting dalam analisa dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Pembangkit listrik sistem biner dapat diaplikasikan dengan menggunakan sumber panas dengan *enthalpy* yang relatif rendah.
- Metode untuk mendisain peralatan-peralatan telah terbukti akurat.

- Sibayak mempunyai sebuah potensi pengembangan untuk pembangkit listrik siklus biner
- b. Siahaya, Yusuf. September 2011. *Energy, Exergy and Thermo-economic Analysis of Lahendong Binary Cycle Geothermal Power Plant at North Sulawesi – Indonesia.*

Kesimpulan: Siklus biner dari Pembangkit listrik Lahendong diinvestigasi dengan analisa energi, eksergi dan *thermo-economic*. Hasil analisa menunjukkan bahwa total investasi kapital dari pembangkit listrik siklus biner Lahendong adalah sekitar 1,850 \$/kW, dan biaya tahunan dari listrik sekitar 5.8 \$sen/kWH. Sehingga *thermo-economic* adalah alat yang sangat berguna untuk mengetahui hubungan antara termodinamik dan ekonomi.

- c. Barse, Kirtipal. DKK. 2011. *Preliminary Study of Binary Power Plant using Co-produced Geothermal Waters.*

Kesimpulan:

- Model *Organic Rankine Cycle (ORC)* untuk pembangkit listrik biner berhasil dibangun dengan menggunakan proses simulator Aspen HYSYS.
- Besarnya *output power* bergantung pada temperatur dan jumlah aliran sumber panas bumi dan temperatur pendinginnya.
- Pendinginan dengan udara dimungkinkan untuk temperatur lingkungan yang rendah.
- Analisa kelayakan ekonomi adalah hal yang paling sensitif terhadap harga listrik.

- Biaya kapital yang rendah dan harga listrik yang tinggi dapat mempercepat pengembalian.
- d. DiPippo, Ronald. 1999. *Small Geothermal Power Plants: Design, Performance and Economics*.

Tabel 3.2. Biaya Kapital dan Biaya O&M untuk Pembangkit Listrik Siklus Biner

| Net Power, kW | Resource Temperature, C | | | Total O&M Cost \$/year |
|---------------|-------------------------|-------|-------|---------------------------|
| | 100 | 120 | 140 | |
| | Capital Cost, \$/kW | | | |
| 100 | 2,535 | 2,210 | 2,015 | 19,100 |
| 200 | 2,340 | 2,040 | 1,860 | 24,650 |
| 500 | 2,145 | 1,870 | 1,705 | 30,405 |
| 1,000 | 1,950 | 1,700 | 1,550 | 44,000 |

Sumber: DiPippo, Ronald. 1999.

3.3. Kerangka Pikir

Minat dalam memproduksi tenaga listrik panas bumi di Indonesia terus meningkat karena Indonesia memiliki potensi panas bumi sebesar 40% dari potensi panas bumi yang ada di dunia. Namun, hingga saat ini baru sekitar 1,200 MW energi panas bumi yang digunakan atau hanya sekitar empat persen dari keseluruhan potensi yang ada. Kendala mengenai wilayah kerja pertambangan dan biaya investasi yang cukup besar adalah masalah yang paling mempengaruhi investor dibidang panas bumi.

Minat tersebut juga didorong oleh konsumsi listrik Indonesia yang setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Rata-rata peningkatan kebutuhan listrik dari tahun 2003 hingga tahun 2011 adalah sebesar 6,9% per tahun hingga tahun 2020 (Buku Statistik PLN 2011, 2012).

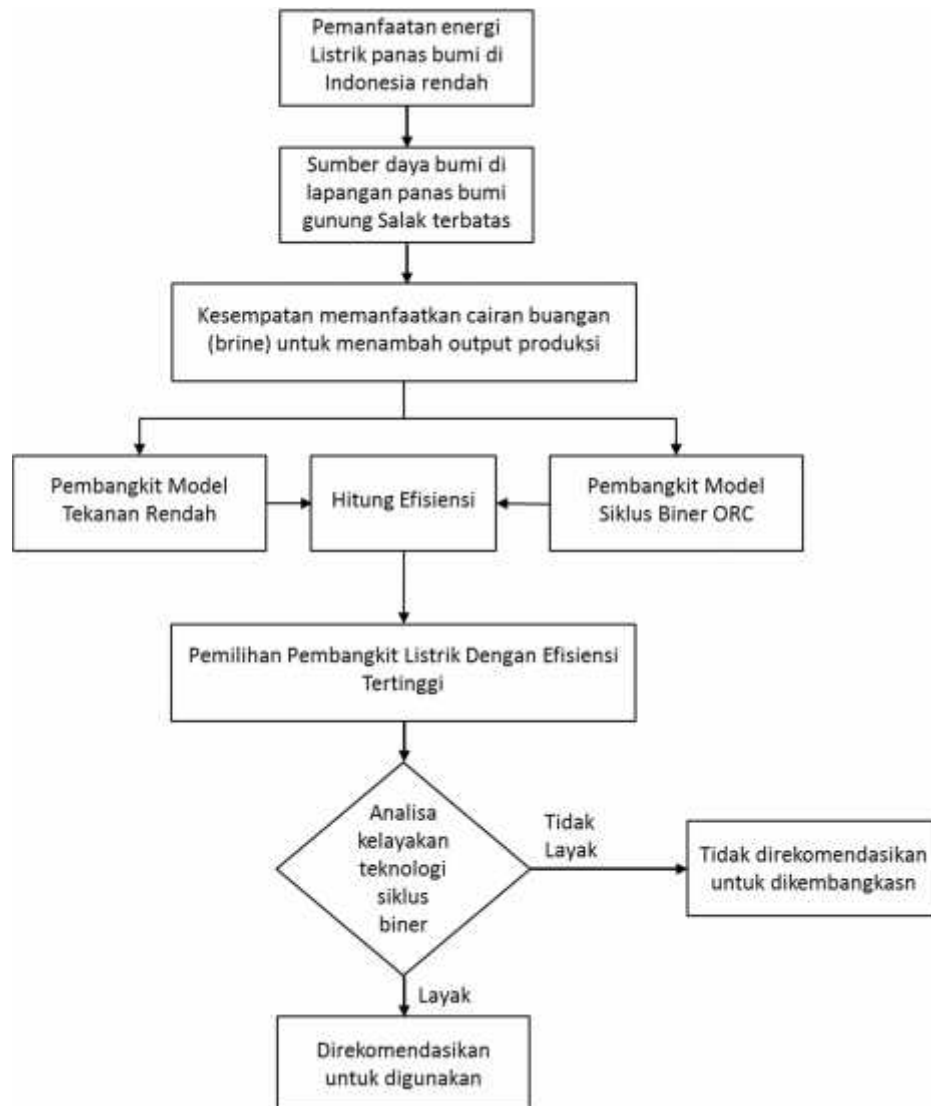
Oleh karena itu, para pengembang pembangkit listrik tenaga panas bumi yang sudah berjalan berusaha untuk meningkatkan produksi listriknya dengan berbagai cara seperti:

- a. Menurunkan pemakaian listrik beban sendiri (*house load*)
- b. Meningkatkan efisiensi
- c. Membangun pembangkit listrik dengan memanfaatkan *waste brine*

Kedua cara di atas (a dan b) meningkatkan output produksi yang kurang signifikan (sekitar kurang dari setengah persen dari total produksi yang ada). Sedangkan cara ke-tiga (c) di atas dapat meningkatkan produksi lebih dari lima persen dari total produksi.

Alur kerangka berfikir dimulai dari pemanfaatan panas bumi di Indonesia yang rendah, yaitu hanya sekitar 4%. Angka tersebut sudah termasuk pembangkit panas bumi yang terletak di gunung Salak yang merupakan pembangkit listrik energi panas bumi terbesar di Indonesia. Permasalahan timbul karena sumber daya panas bumi di gunung Salak terbatas. Sehingga perlu cara untuk meningkatkan output pembangkit listrik panas bumi tersebut. Kesempatan meningkatkan pembangkit listrik dengan memanfaatkan buangan air panas (*waste brine*).

Ada dua model siklus biner yang paling sering digunakan dalam dunia panas bumi yaitu model Siklus Rankine Organik dan Model Siklus Kalina. Tetapi dalam penulisan ini, akan dihitung efisiensi dari model Siklus Rankine Organik (biner) dan pembangkit tekanan rendah dan dipilih efisiensi yang paling besar untuk dihitung kelayakan dari segi keuangan.



Gambar 3.9. Alur Kerangka Berfikir