

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang begitu pesat. Selama ini, penyediaan energi listrik mayoritas dipenuhi dengan memanfaatkan sumber energi tak terbarukan (*unrenewable*) seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara sedangkan cadangan energi *fossil* mulai menipis. Energi terbarukan merupakan salah satu solusi yang harus dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB) adalah pembangkit listrik energi terbarukan yang sedang dikembangkan saat ini. Listrik telah dibangkitkan secara komersial melalui pemanasan geothermal sejak tahun 1913, dan energi geothermal telah digunakan pada skala ratusan MW selama lima dekade baik untuk pembangkit listrik maupun digunakan secara langsung. Listrik diproduksi melalui energi geothermal di 24 negara. Lima diantaranya menghasilkan 15-22% sebagai produksi listrik nasional dari geothermal (Costa Rica, El Salvador, Iceland, Kenya, dan Filipina), (Bertani, 2005: 2).

Indonesia secara geologis terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama yaitu Lempeng Eropa-Asia, India-Australia, dan Pasifik. Hal ini berperan dalam pembentukan gunung berapi di Indonesia. Beberapa literatur mengatakan bahwa Indonesia dikaruniai banyak gunung berapi yang membuat sekitar 40% potensi panas bumi dunia terdapat di Indonesia. Potensi ini tersebar di 276 titik dengan total potensi sebesar 29.038 MW. Namun melihat kenyataan saat ini potensi panas bumi yang dimanfaatkan di Indonesia baru 4% atau sekitar 1.196 MW (Pambudi, 2013).

STAR ENERGY Ltd., merupakan perusahaan swasta Indonesia yang juga memproduksi listrik menggunakan energi terbarukan yaitu panas bumi/geothermal. Untuk mendukung perusahaan yang telah berdiri sejak tahun 2000 ini, penulis ingin melakukan penelitian tentang studi efisiensi pada proses konversi energi dari steam hingga menjadi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana performansi peralatan konversi energi (turbin dan generator) yang sedang beroperasi saat ini maupun kurva kinerjanya di setiap tahun.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang disusun adalah sebagai berikut :

1. Berapa efisiensi sistem konversi energi tahunan PLTPB STAR ENERGY GEOTHERMAL Ltd., dalam 4 tahun terakhir.
2. Berapa besar perbedaan efisiensi sistem konversi energi saat ini dengan pada saat tahun pertama beroperasi.
3. Upaya apa yang bisa dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sistem konversi.

1.3 Batasan Masalah

Penyusunan penelitian ini menggunakan batasan masalah sebagai berikut:

1. Tahun pertama PLTPB STAR ENERGY GEOTHERMAL Ltd., beroperasi adalah pada tahun 2000 (14 tahun yang lalu).
2. Efisiensi komponen sistem pembangkit yang dimaksud adalah efisiensi pada turbin dan generator.
3. Objek penelitian adalah pada pembangkit Unit 1 PLTPB STAR ENERGY GEOTHERMAL (Wayang Windu) Ltd.
4. Data yang dikumpulkan adalah data pada tahun 2010 sampai dengan tahun 2013.
5. Untuk mendapatkan nilai entalpi dan entropi digunakan aplikasi *Steam Table Add-ins* pada *Microsoft Excel*.
6. Perhitungan efisiensi hanya pada aspek teknis, tidak memperhitungkan aspek ekonomis.

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besarnya efisiensi sistem konversi energi tahunan PLTPB STAR ENERGY GEOTHERMAL (Wayang Windu) Ltd., pada 4 tahun terakhir. Kemudian mengetahui besar perbedaan efisiensi saat ini dengan efisiensi tahun pertama operasi dan mencari upaya yang bisa dilakukan untuk mendapat efisiensi yg lebih tinggi.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi Mahasiswa:

Dapat menambah wawasan tentang energi terbarukan khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi serta ikut berperan dalam pengembangan penelitian tentang energi terbarukan.

2. Bagi Jurusan:

Mendapatkan literatur terkini tentang energi terbarukan sehingga dapat dijadikan masukan untuk menyempurnakan kurikulum di masa mendatang.

3. Bagi Perusahaan:

Hasil pengolahan data bisa dijadikan sebagai bahan evaluasi kinerja dari komponen-komponen pada sistem konversi energi sehingga bisa menjadi masukan untuk mengoptimalkan produksi energi listrik.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan penelitian tersusun dengan urutan sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Berisi latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika pembahasan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Berisi dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian dan untuk mendukung permasalahan yang diungkap.

BAB III : Metodologi Penelitian

Berisi tahapan penyelesaian skripsi ini yang meliputi studi literatur, survey kondisi sistem dan pengambilan data, pengolahan data serta pengambilan kesimpulan dan saran.

BAB IV : Pembahasan

Berisi analisis dan pembahasan masalah yang diajukan dalam penelitian dengan memperhatikan hasil perhitungan yang telah diselesaikan.

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dari tujuan yang akan dibuat serta saran dari penulis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan

Energi Terbarukan atau biasa disebut *renewable energy* merupakan jenis sumber daya energi yang tidak habis dipakai karena dapat diperbaharui kembali baik secara alamiah maupun dengan bantuan teknologi. Contoh energi terbarukan seperti matahari, air, angin, panas bumi, biogas, dan biomass.

2.2 Konversi Energi

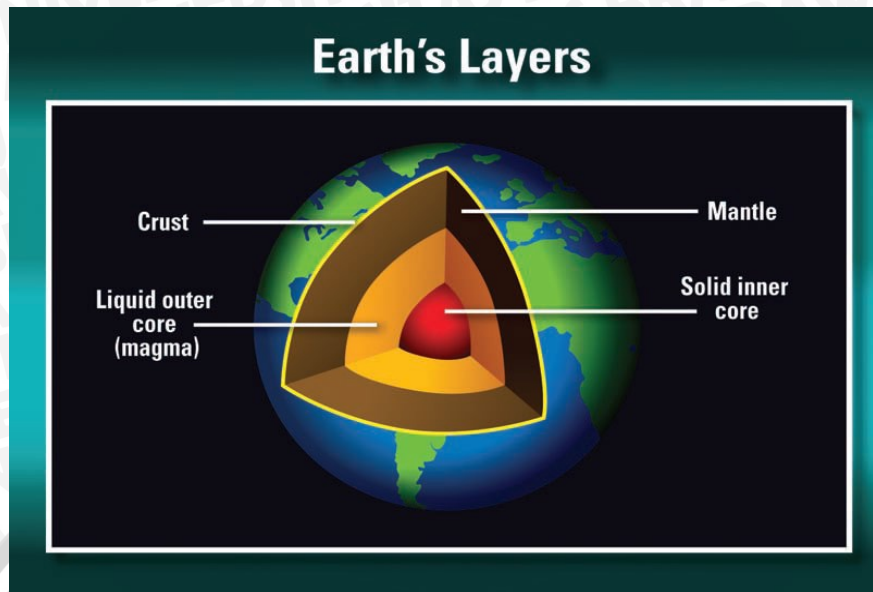
Konversi energi dipahami sebagai proses perubahan energi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain, misalnya dari energi primer menjadi energi sekunder. Pada dasarnya energi primer adalah semua yang berasal dari proses alamiah yang terjadi akibat dari pancaran radiasi energi matahari. Sumber daya energi primer diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu energi tak terbarukan dan energi terbarukan. Sedangkan energi sekunder adalah energi yang membutuhkan proses pengubahan sebelum digunakan seperti bensin dari minyak bumi, atau listrik dari batu bara (Wibawa, 2001).

2.3 Panas Bumi sebagai Sumber Energi

2.3.1 Pengertian Energi Panas Bumi

Energi panas bumi juga dikenal sebagai energi geothermal, “*geo*” berarti bumi dan “*therme*” berarti panas. Energi panas bumi adalah energi yang timbul dari dalam bumi. Energi panas bumi adalah energi terbarukan yang ramah lingkungan dan suatu saat bisa memberikan porsi yang signifikan untuk kebutuhan energi dunia.

Di pusat bumi, sekitar 4.000 mil (6.400 km) di bawah permukaan terdapat inti bumi (disebut *core*) yang memiliki suhu sangat tinggi yaitu sekitar 7600 F (4200 °C). *Core* berbentuk solid dimana panasnya bisa melelehkan batuan menjadi liquid yang disebut magma. Panas dari magma mengalir melalui mantel bumi yang mengelilingi inti.



Gambar 2.1. Gambar Lapisan Bumi

Sumber: Watchel, 2010

Energi panas bumi bisa diketahui dari kekuatan gunung berapi, geyser, dan sumber air panas alami. Erupsi gunung berapi adalah salah satu kejadian dari energi panas bumi dimana magma dari bawah tanah keluar melalui kerak bumi atau *crust* dan mengalir ke permukaan sebagai lava. Semakin berjalannya waktu, orang telah mempelajari energi panas bumi untuk penghangat rumah dan membangkitkan energi listrik. (Watchel, 2010: 4).

2.3.2 Penggunaan Sumber Energi Panas Bumi

Energi panas bumi telah digunakan seluruh penjuru dunia. Energi ini digunakan secara langsung atau biasa disebut “*direct use*” oleh lebih dari 70 negara. Maksud dari *direct use* adalah energi panas dari bumi langsung digunakan untuk menghangatkan rumah atau bangunan lain tanpa harus mengalami konversi energi terlebih dulu. Pada prinsipnya cara kerja PLTPB hampir sama dengan PLTU kecuali pada asal steam, pada PLTPB steam diperoleh dari *reservoir* dengan memanfaatkan panas bumi sedangkan pada PLTU steam diperoleh dari hasil boiler (Junaldi, 2012: 1).

Pada tahun 2008, 24 negara menggunakan energi panas bumi untuk membangkitkan listrik. Pengguna terbesar panas bumi untuk listrik di dunia adalah Amerika Serikat, Filipina, Indonesia, Meksiko, Itali, Jepang, Selandia Baru, dan Iceland. (Watchel, 2010: 6).

Saat ini, energi panas bumi dianggap lebih penting dibanding periode sebelumnya. Masyarakat memiliki kesadaran yang besar akan pentingnya energi dalam kehidupan sehari-hari. Semakin banyak negara yang berkembang, maka semakin tinggi kebutuhan masyarakat akan listrik, sehingga semakin banyak energi lebih yang dibutuhkan. Dari uraian tersebut banyak pendapat bahwa energi panas bumi akan memiliki andil besar di masa depan.

Keuntungan panas bumi sebagai sumber energi:

1. Ramah lingkungan.
2. Energi terbarukan.
3. Sumber yang melimpah di Indonesia.
4. Temperatur inti bumi konstan sepanjang tahun.
5. Tidak memerlukan lahan yang luas.

Kekurangan panas bumi sebagai sumber energi:

1. Fluida (cairan) yang diambil dari dalam bumi membawa campuran gas berupa karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), hydrogen sulfide (H_2S), dan ammonia (NH_3).

2.3.3 Potensi Panas Bumi di Indonesia

Indonesia memiliki potensi besar akan energi panas bumi. Gunung berapi yang tersebar di seluruh negeri adalah potensi panas bumi yang bisa dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan listrik negara. Namun hingga saat ini potensi panas bumi di Indonesia memang masih belum dioptimalkan.

Meskipun pemanfaatannya belum optimal, namun hasil energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit di Indonesia termasuk dalam 5 besar teratas. Hal ini bisa kita lihat pada table 2.1 berikut,

Tabel 2.1. Daftar Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi di Dunia

Table A.3 Geothermal power plants: by installed MW for each type of plant.

Country	Dry steam	1-Flash	2-Flash	3-Flash	Binary	Flash-binary	Hybrid	Total
United States	1462	49	707.3	49	257.2	25	6	2555.5
Philippines	0	1325.44	496.74	0	15.73	142	0	1979.91
Mexico	0	480	470	0	3.3	0	0	953.3
Italy	790.5	20	0	0	0.7	0	0	811.2
Indonesia	140	667	0	0	0	0	0	807
New Zealand	55	85	226.8	44.8	21.5	139	0	572.1
Japan	23.5	351.75	160	0	2.49	0	0	537.74
Iceland	0	351.7	60	0	10.7	0	0	422.4
El Salvador	0	160	35	0	9.3	0	0	204.3
Costa Rica	0	144	0	0	19	0	0	163
Kenya	0	116.4	0	0	1.8	12	0	130.2
Nicaragua	0	101.4	0	0	7.5	0	0	108.9
Russia	0	79	0	0	0	0	0	79
Papua-New Guinea	0	56	0	0	0	0	0	56
Guatemala	0	0	0	0	0	44.6	0	44.6
Turkey	0	20.4	0	0	7.4	0	0	27.8
China (Tibet)	0	0.6	26	0	1	0	0	27.6
Portugal (San Miguel)	0	3	0	0	13	0	0	16
France (Guadeloupe)	0	4.7	10	0	0	0	0	14.7
Austria	0	0	0	0	1.25	0	0	1.25
Thailand	0	0	0	0	0.3	0	0	0.3
Germany	0	0	0	0	0.2	0	0	0.2
Australia	0	0	0	0	0.15	0	0	0.15
Totals	2471	4015.39	2191.84	93.8	372.52	362.6	6	9513.15
Percent of total	25.97	42.21	23.04	0.99	3.92	3.81	0.06	100.00

Sumber : DiPippo, 2008 : 417

Tabel di atas menjelaskan bahwa Indonesia berada di peringkat 5 dunia dalam menghasilkan energi listrik dari sumber energi panas bumi. Indonesia menghasilkan 140 MW dari unit *Dry Steam Power Plants* dan 667 MW dari unit *Flash Steam Power Plants* sehingga total produksinya adalah sebesar 807 MW.

Selain informasi di atas, didapatkan juga data persebaran unit-unit pembangkit listrik di Indonesia. Data tersebut disajikan dalam tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2. Persebaran Unit PLTPB di Indonesia

Table A.6.3 Indonesia.

Plant	Year	Type	MW-rated	No. units	MW-total	Comments
Java:						
Kamojang:						
Wellhead unit	1978	Dry steam	0.25	1	(0.25)	Retired
Unit 1	1982	Dry steam	30	1	30	
Unit 2	1987	Dry steam	55	1	55	
Unit 3	1987	Dry steam	55	1	55	
Dieng:						
Wellhead unit	1980	1-Flash	2	1	(2)	Moved
Unit 1	2002	1-Flash	60	1	60	
Darajat:						
Unit I	1994	1-Flash	55	1	55	
Unit II	2000	1-Flash	90	1	90	
Gunung Salak:						
						Aka Awibengkok
Unit 1	1994	1-Flash	55	1	55	
Unit 2	1994	1-Flash	55	1	55	
Unit 3	1997	1-Flash	55	1	55	
Unit 4	1997	1-Flash	55	1	55	
Unit 5	1997	1-Flash	55	1	55	
Unit 6	1997	1-Flash	55	1	55	
Wayang Windu: Unit 1	1999	1-Flash	110	1	110	
North Sulawesi:						
Lahendong:						
Pilot unit	1992	1-Flash	2.5	1	(2.5)	Inactive
Unit 1	2001	1-Flash	20	1	20	
Sumatra:						
Sibayak: Unit 1	2000	1-Flash	2	1	2	From Dieng
Totals				15	807	

Sumber : DiPippo, 2008 : 420

Diketahui bahwa persebaran unit PLTPB di Indonesia sebagian besar beroperasi di wilayah Jawa Barat yaitu daerah Kamojang, Dieng, Darajat, Gunung Salak, dan Wayang Windu. Pada daerah Kamojang terdapat 1 unit *Wellhead* dengan keterangan *retired* atau sedang berhenti beroperasi, dan 1 unit *Wellhead* di Dieng yang di pindahkan ke wilayah Sumatra yaitu daerah Sibayak. Pada wilayah Sulawesi Utara terdapat 2 unit pembangkit namun terdapat keterangan tidak aktif pada *Pilot unit*. Sehingga total unit pembangkit di Indonesia adalah 15 unit aktif.

Jika dari 15 unit PLTPB di Indonesia bisa menghasilkan 807 MW, maka bisa dibayangkan betapa besarnya daya listrik yang dihasilkan jika 276 titik potensial panas bumi

Indonesia dioptimalkan. Dari suatu literatur diinformasikan bahwa saat ini 27 negara di Eropa yang tergabung dalam EU-27 sedang mengembangkan potensi energi panas buminya dengan membuat proyek besar bernama EGS (*Enhanced Geothermal System*). Proyek ini menggunakan teknologi yang disebut “*Hot Dry Rock*” (HDR) yaitu, jika pada suatu wilayah tidak terdapat sumber energi panas bumi alami berupa *steam* atau air panas, maka panas dari batuan bumi bisa dimanfaatkan dengan membuat resapan buatan (*artificial permeability*) untuk fluida yang nanti akan diekstrak panasnya. Metode ini sudah dikembangkan sejak tahun 1970-an dan pemecahan krusialnya sedang dibuat saat ini. (EREC, 2010).

Tabel 2.3. Target EGS EU-27

Table 11.2 Targets for EU-27

Geothermal Electricity EU-27	2007	2010	2020
Electricity conventional (MWe)	815	920	1200
Low temperature (MWe)	15	70	300
Electricity Enhanced Systems (MWe)	–	10	4500
Total Installed Capacity (MWe)	830	1000	6000
Yearly Electricity Production (TWh)	6.5	8	50

Sumber: EGEN 2009a

Tabel di atas menunjukkan target EGS yang ingin dicapai. Dimulai dari tahun 2007, baik target akan produksi listrik konvensional, teknologi pembangkitan dari *low temperature*, *Electricity Enhanced System*, total kapasitas terinstal, dan produksi listrik per tahun terus dinaikkan sampai tahun 2020.

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

2.4.1 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Terdapat beberapa komponen pada PLTPB yaitu:

1. *Production Well* (Sumur Produksi), sumur/pipa penyalur fluida yang pertama kali keluar dari dalam bumi.
2. *Well Pump* (Sumur Pompa), memompa fluida ke permukaan tanah di bawah tekanan.
3. *Silencer*, separator yang digunakan pada lubang angin keadaan darurat.

4. *Well Valves*, digunakan untuk mengontrol aliran/tekanan fluida dari sumur.
5. *Separator*, saluran yang berisi uap basah dimana terjadi fase pemisahan antara uap dan air.
6. *Ball Check Valve*, saluran satu arah untuk uap dari separator.
7. *Moisture Remove*, menghilangkan sisa zat cair dari uap sebelum masuk ke turbin.
8. *Control Stop Valve*, mengatur aliran steam masuk turbin.
9. *Turbine*, mengubah energi termal dari steam menjadi energi mekanik (energi gerak).
10. *Generator*, mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.
11. *Steam Ejector/Condenser*, menghilangkan gas yang tidak bisa terkondensasi (Non Condensable Gas, NCG) dari uap keluaran turbin.
12. *Condenser*, saluran dimana steam yang keluar dari turbin dikondensasi sehingga kembali pada fase *liquid*.
13. *Condensate Pump*, memompa steam yang terkondensi dari *Condenser* menuju *Cooling Tower* untuk selanjutnya didinginkan.
14. *Cooling Tower*, komponen yang menggunakan air dingin untuk menghilangkan sisa panas dari steam yang sudah terkondensi.
15. *Cooling Water Pump*, memompa air dingin dari *Cooling Tower* ke *Condenser*.
16. *Injection Well*, sumur/pipa yang menyalurkan zat cair yang terpisah pada proses pemisahan (proses *flashing* pada *Separator*) dan zat cair dari steam yang terkondensasi menuju tempat semula (dalam bumi).

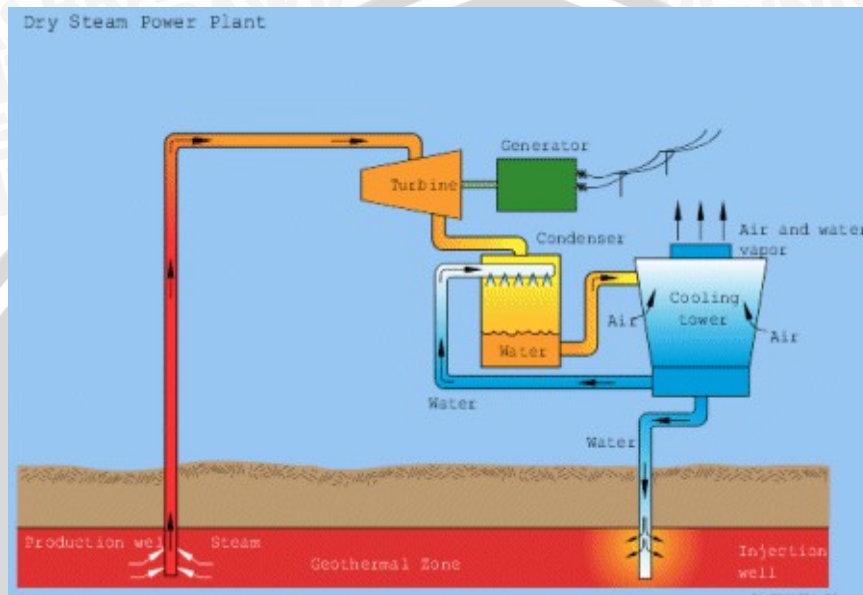
Komponen-komponen di atas biasa digunakan pada PLTPB dengan sistem *flash* (Wisniewski, 2012: 10).

2.4.2 Teknologi yang Digunakan

Saat ini terdapat tiga macam teknologi pembangkit panas bumi (*geothermal power plants*) yang dapat mengkonversi panas bumi menjadi sumber daya listrik, yaitu *dry steam*, *flash steam*, dan *binary cycle*. Ketiga macam teknologi ini pada dasarnya digunakan pada kondisi yang berbeda-beda.

1. *Dry Steam Power Plants*

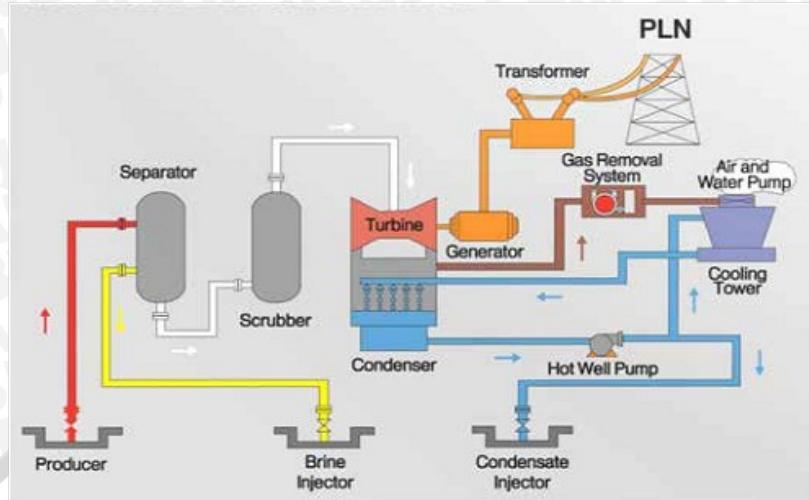
Pembangkit tipe ini adalah yang pertama kali ada. Pada tipe ini uap panas (*steam*) langsung diarahkan ke turbin dan mengaktifkan generator untuk bekerja menghasilkan listrik. Sisa panas dari *production well* dialirkan kembali ke dalam reservoir melalui *injection well*.



Gambar 2.2. Skema PLTPB teknologi *Dry Steam*
 Sumber: <http://sistem-tenaga-listrik.blogspot.com>

2. *Flash Steam Power Plants*

Panas bumi yang berupa fluida misalnya air panas alam (*hot spring*) di atas suhu 175°C dapat digunakan sebagai sumber pembangkit *Flash Steam Power Plants*. Fluida panas tersebut dialirkan ke dalam tangki flash bertekanan lebih rendah sehingga terjadi uap panas secara cepat. Uap panas yang disebut dengan *flash* inilah yang menggerakkan turbin untuk mengaktifkan generator yang kemudian menghasilkan listrik. Sisa panas yang tidak terpakai masuk kembali ke dalam reservoir melalui *injection well*.

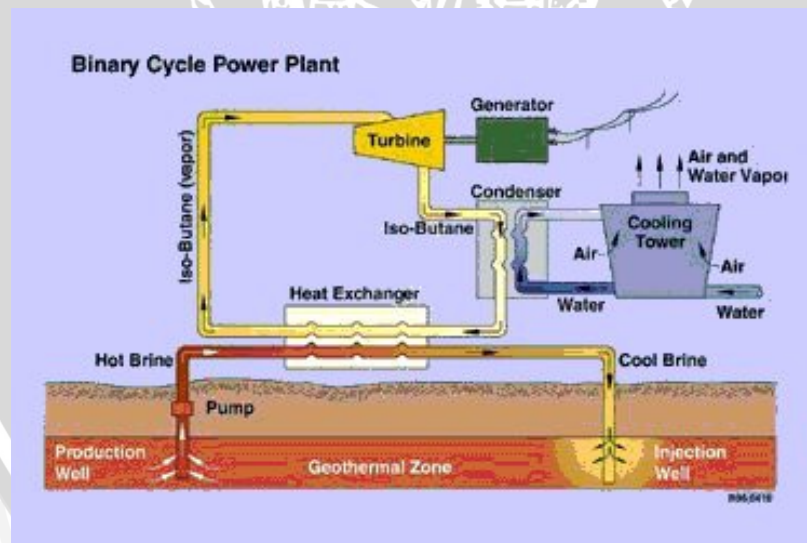


Gambar 2.3. Skema PLTPB teknologi *Flash Steam*

Sumber: <http://sistem-tenaga-listrik.blogspot.com>

3. *Binary Cycle Power Plants (BCPP)*

BCPP menggunakan teknologi yang berbeda dari kedua teknologi sebelumnya, pada BCPP air panas atau uap panas yang berasal dari sumur produksi (*production well*) tidak pernah menyentuh turbin.



Gambar 2.4. Skema PLTPB teknologi *Binary Cycle*

Sumber: <http://sistem-tenaga-listrik.blogspot.com>

Air panas bumi digunakan untuk memanaskan apa yang disebut dengan *working fluid* pada *heat exchanger*. *Working fluid* kemudian menjadi panas dan menghasilkan uap berupa *flash*. Uap tersebut lalu dialirkan untuk memutar turbin dan selanjutnya menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Uap panas yang dihasilkan *heat exchanger* inilah yang disebut sebagai *secondary (binary) fluid*. *Binary Cycle Power Plants* ini sebenarnya merupakan sistem tertutup, jadi tidak ada emisi yang dilepas ke atmosfer.

2.5 Hukum Termodinamika

2.5.1 Hukum Pertama Termodinamika

Hukum pertama termodinamika mengatakan bahwa energi yang dihasilkan suatu mesin, dalam bentuk usaha mekanik, akan sama dengan selisih antara energi yang diserap dan yang terbuang dalam bentuk panas.

Hukum pertama termodinamika dapat ditulis dalam persamaan berikut: (Zemansky, 1999: 434).

$$\Delta U = Q - W \quad \dots(2.1)$$

Dengan memperhatikan bahwa:

1. Semua besaran harus dinyatakan dalam satuan yang sama.
2. Q positif apabila panas masuk ke dalam sistem.
3. W positif apabila gaya dilakukan oleh system dan perpindahan mempunyai tanda yang sama.

Persamaan di atas menjelaskan bahwa perubahan energi dari keadaan 1 ke keadaan 2 pada suatu lintasan tertentu adalah selisih antara Q , energi yang diberikan kepada sistem oleh pemindahan panas (dalam satuan panas) dengan W , energi yang diambil dari sistem oleh kerja usaha (dalam satuan mekanik).

Jika pada suatu sistem terdapat proses dimana energi kembali pada keadaan awal (proses siklis atau reversible) maka :

$$\Delta U = 0 \text{ dan } Q = W \quad \dots(2.2)$$

Suatu sistem yang terisolasi adalah sistem yang tidak melakukan usaha luar dan tidak ada panas yang mengalir ke dalamnya. Maka pada proses tersebut $Q = W$ dan $\Delta U = 0$, yang berarti energi dalam suatu sistem yang terisolasi tetap konstan seperti yang mengacu pada asas kekekalan energi.

2.5.2 Hukum Kedua Termodinamika

Hukum kedua termodinamika mengatakan, “Tidak mungkin ada proses yang hasilnya hanya menyerap panas dari reservoir pada satu suhu dan mengubah seluruh panas ini menjadi usaha mekanik”. (Zemansky, 1999: 452).

Dari kedua hukum di atas dapat disimpulkan bahwa hukum pertama menolak kemungkinan menciptakan atau memusnahkan energi, sedangkan hukum kedua menolak kemungkinan memanfaatkan energi menurut satu cara tertentu.

2.6 Properti Termodinamika

Berikut ini properti yang digunakan pada perhitungan termodinamika:

2.6.1 Temperatur

Temperatur atau suhu pada sistem adalah salah satu data yang dibutuhkan, dinyatakan dalam satuan derajat celcius ($^{\circ}\text{C}$) atau kelvin (K).

2.6.2 Tekanan

Tekanan (pressure) adalah gaya yang menekan fluida per satuan luas, sedangkan pada benda padat tekanan disebut tegangan (stress). Dalam gas terdapat 3 macam tekanan, yaitu:

1. Tekanan Atmosfer : tekanan atmosfer pasti ada selama udara memiliki massa dan ada aksi dari gravitasi bumi. Ukuran 1 atm atau 1 atmosfer sama dengan 14,7 psi atau sama dengan 1,013 bar. Tekanan atmosfer tidak selalu konstan, bias bervariasi tergantung pada posisi ketinggian, temperatur, kelembaban, dan faktor lainnya.
2. Tekanan Gauge : adalah tekanan relatif atau tekanan suatu fluida yang ditunjukkan oleh alat ukur.
3. Tekanan Absolut : adalah tekanan total atau tekanan fluida sebenarnya. Perlu diketahui bahwa tekanan gauge akan mengindikasikan nol pada tekanan atmosfer. Sehingga tekanan absolut sama dengan jumlah tekanan gauge dengan tekanan atmosfer. (Zemansky, 1999 : 299).

2.6.3 Volume Spesifik

Volume spesifik adalah volume benda setiap unit benda, memiliki satuan .

2.6.4 Entalpi

Entalpi merupakan istilah dalam termodinamika yang menyatakan jumlah energi yang dimiliki sistem. Sama halnya dengan energi dalam U , nilai absolut dari entalpi tidak dapat diukur, tetapi perubahan entalpi yang menyertai sistem dapat ditentukan. Perubahan entalpi merupakan kalor reaksi yang terjadi pada tekanan tetap dan memiliki satuan kJ/kg.

2.6.5 Entropi

Mengacu pada hukum kedua termodinamika, istilah entropi digunakan untuk menyatakan banyaknya energi dalam sistem yang tidak bisa diubah menjadi usaha.

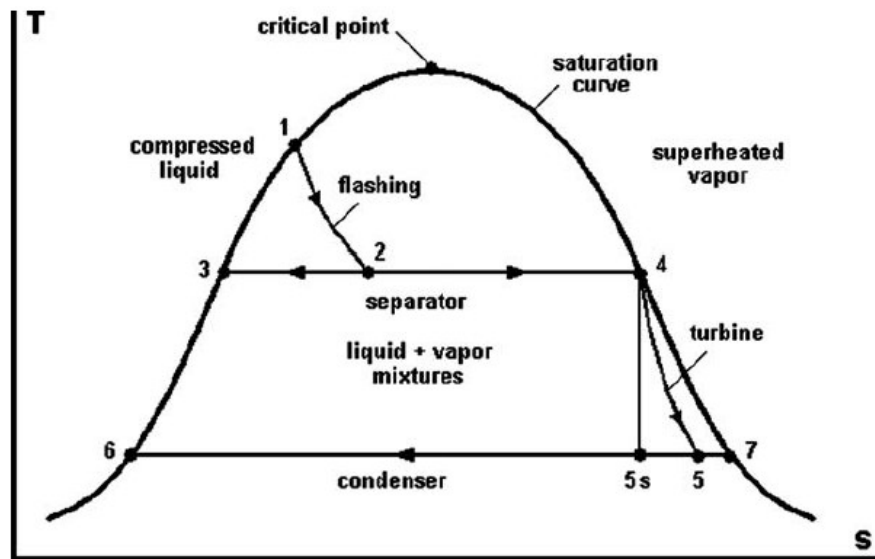
Entropi atau lebih tepat disebut perubahan entropi dilambangkan dengan S dan memiliki satuan kJ/kg.K, memiliki persamaan berikut:

$$....(2.3)$$

Pada suatu sistem dimana ditambahkan sejumlah kalor pada lintasan-lintasan tertentu, maka jika panas yang ditambahkan pada masing-masing titik lintasan dibagi dengan suhu mutlak sistem tersebut kemudian hasil pembagian ini dijumlahkan, maka hasil penjumlahan ini akan bernilai sama di sepanjang lintasan. (Zemansky, 1999: 460).

2.7 Efisiensi

Proses pembangkitan energi pada PLTPB dari *steam* hingga menjadi listrik melalui beberapa tahap. Di bawah ini adalah gambar diagram T-S yang menunjukkan beberapa proses yang dialami oleh geofluida dari awal hingga akhir.



Gambar 2.5. Diagram T-S (Temperatur-Entropi)

Sumber: DiPippo, 2008: 92.

2.7.1 Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin didapatkan dari perbandingan antara kerja actual turbin dengan kerja pada keadaan ideal (isentropik). Formulanya diberikan dalam bentuk berikut: (DiPippo, 2008: 93).

$$\dots(2.4)$$

Keterangan :

= entalpi inlet turbin (fase gas) kJ/kg

= entalpi outlet turbin kJ/kg

= entalpi oulet turbin pada keadaan isentropic kJ/kg

Untuk mendapatkan digunakan persamaan berikut:(DiPippo, 2008: 94).

$$= + . (\dots(2.5)$$

Keterangan :

= entalpi outlet turbin (fase liquid) kJ/kg

= entalpi outlet turbin (fase gas) kJ/kg

= fraksi uap inlet turbin

Persamaan fraksi uap dari persamaan:

$$= \dots (2.6)$$

Keterangan :

= entropi inlet turbin fase gas, kJ/kg

= entropi outlet turbin fase liquid, kJ/kg

= entropi outlet turbin fase gas, kJ/kg

Kemudian didapatkan dari persamaan berikut:

$$\dots (2.7)$$

Dimana factor A didefinisikan sebagai

$$A = 0.425 \dots (2.8)$$

2.7.2 Efisiensi Generator

Generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Efisiensi dari generator adalah daya keluarannya yaitu daya listrik dibagi dengan daya masukan berupa energi mekanik dari turbin.

Persamaan efisiensi generator adalah sebagai berikut: (DiPippo, 2008: 93).

$$\dots (2.9)$$

Dimana:

= efisiensi generator

= daya yang dihasilkan generator (kW)

= daya yang dihasilkan turbin (kW)

Untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh turbin digunakan persamaan :

$$\dots (2.10)$$

Dimana :

= laju aliran massa uap, kg/s

= kerja spesifik turbin, kJ/kg

= fraksi uap pada separator

= laju aliran massa total, kg/s

Untuk mendapatkan nilai kerja turbin spesifik, digunakan persamaan berikut:

$$\dots(2.11)$$

Sedangkan nilai fraksi uap pada separator dinyatakan dalam persamaan berikut: (DiPippo, 2008: 92).

$$\dots(2.12)$$

2.7.3 Adiabatic Efficiency

Adiabatic efficiency digunakan untuk mengetahui performansi proses konversi energi dari steam menjadi listrik. Pada perusahaan, adiabatic efficiency dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Adiabatic efficiency} = \dots(2.13)$$

Turbine eff diasumsikan konstan 98.9%

Generator eff diasumsikan konstan 98.7%

$$\text{Overall efficiency} = \dots(2.14)$$

$$\text{Act. Diff. enthalpy} = , \text{ kJ/kg} \dots(2.15)$$

$$\text{Ideal Diff. Enthalpy} = , \text{ kJ/kg} \dots(2.16)$$

Sedangkan pada perhitungan penulis dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Adiabatic efficiency} = \dots(2.17)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini secara umum dalam digram alir:

Gambar .3.1. Diagram Alir Penelitian

3.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilaksanakan berupa kajian pustaka terhadap sumber-sumber bacaan yang relevan sehingga mampu menunjang dalam proses penulisan tugas akhir. Studi literatur yang diperlukan sebagai bahan acuan dalam proses penelitian yaitu:

1. Mempelajari teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.
2. Mempelajari konversi energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.
3. Mempelajari komponen-komponen yang bekerja pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.
4. Mempelajari perhitungan efisiensi pada komponen-komponen tertentu.

3.2 Pengambilan Data

Dalam penulisan skripsi dibutuhkan data dari perusahaan. Data-data ini meliputi jenis teknologi yang digunakan, diagram T-S pada sistem pembangkit, dan data-data lain yang menunjang penulisan skripsi. Data tersebut sebagai *variable* yang akan diolah dalam rumus-rumus yang ada pada daftar pustaka untuk dihitung nilai-nilai efisiensinya. Terdapat 2 jenis data yang digunakan yaitu:

1. Data Primer

Data primer adalah data yang langsung diambil dari sumber, atau data yang masih asli dan masih memerlukan analisis lebih lanjut. Pada bagian ini data yang dihimpun adalah:

- a. Temperatur, tekanan dan laju aliran massa *steam* pada masing-masing state yang ada pada diagram T-S.
- b. Daya spesifik yang dibangkitkan.
- c. Temperatur dan tekanan lingkungan (atmosfer) pada daerah tersebut.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung. Data ini berasal dari bahan perpustakaan atau juga dari peneliti melalui media perantara. Dalam hal ini data yang dihimpun adalah:

- a. Jenis teknologi pembangkitan yang digunakan dalam pabrik (*dry steam, flash steam, dan binary cycle*).
- b. Teori-teori yang berhubungan dengan energi panas bumi.

- c. Rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung atau mengolah data primer yang telah didapatkan.
- d. *Steam table* atau tabel properti untuk mendukung perhitungan.

Sedangkan sumber data untuk penelitian ini yaitu:

- a. Informan adalah orang yang dimanfaatkan untuk memberikan informasi mengenai situasi dan kondisi latar penelitian.
- b. Dokumen yang berkaitan dengan penelitian yaitu berupa arsip, jurnal, artikel yang berhubungan dengan analisis efisiensi pada proses konversi energi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.

3.3 Analisis Data

Setelah mendapatkan data-data yang dibutuhkan maka dilakukan pengolahan data kemudian dianalisis hasilnya. Pengolahan data direncanakan sebagai berikut:

Perhitungan Efisiensi Sistem Konversi Energi per Tahun

Perhitungan efisiensi sistem konversi dilakukan pada data tahun pertama operasi hingga saat ini. Namun karena data didapatkan adalah data dari tahun 2010 sampai dengan 2013 maka perhitungan hanya dilakukan pada kondisi 4 tahun terakhir. Hasil perhitungan ditulis dalam bentuk tabel seperti di bawah ini:

Tabel 3.1. Hasil Perhitungan

Tahun	Effisiensi Turbin	Efisiensi Generator	Efisiensi Adiabatik
2010			
2011			
2012			
2013			

Dari tabel di atas kemudian dibuat kurva agar dapat dilihat berapa besar perbedaan efisiensi per tahun.

Analisis Tekanan Separator dan Temperatur Kondenser Optimum

Dengan mensimulasikan atau membuat plotting perubahan tekanan separator terhadap efisiensi dan temperatur kondenser terhadap efisiensi pada Microsoft Excel untuk mendapatkan nilai optimum variable termodinamika tersebut sehingga dicapai nilai efisiensi yang lebih tinggi.

3.4 **Kesimpulan dan Saran**

Setelah perhitungan dan analisis dari perhitungan selesai dikerjakan maka sebagai akhir dari kegiatan penelitian disusunlah suatu kesimpulan yang menjawab tujuan penulisan skripsi, selain itu penulisan saran juga disusun ditujukan kepada perusahaan maupun untuk para peneliti selanjutnya agar bisa lebih bermanfaat di masa mendatang.



BAB IV



ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Perusahaan

Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd., berada 40km sebelah utara kota Bandung, yaitu berlokasi di Wayang Windu, Perkebunan Kertamanah, Desa Margamukti, Pangalengan, Jawa Barat. Pada perjanjian kontrak jual energi antara Star Energy, Pertamina, dan PLN, Star Energy berkewajiban menghasilkan energi listrik hingga 400 MW selama 42 tahun.



Gambar 4.1 Peta Lokasi PLTPB Wayang Windu

Sumber: www.starenergy.co.id

Unit pembangkit pertama sebesar 110 MW selesai dibangun pada tahun 1999, dan mulai memproduksi listrik dengan kapasitas penuh sejak tahun 2000. Pada saat itu, unit 1 Wayang Windu Star Energy adalah pembangkit geothermal terbesar di dunia.

Pada minggu kedua Maret 2009, Menteri Sumber Daya dan Energi meresmikan pembangkit Unit 2 Wayang Windu, dengan kapasitas pembangkit dari single turbin/generator sebesar 117 MW. Maka, saat ini Wayang Windu telah menyalurkan energi listrik sebesar 227

MW yang dibeli oleh PLN yang mana energi listrik tersebut disalurkan ke jaringan transmisi Jawa Barat.

4.2 Data Hasil Pengukuran

Pada bulan Januari dilakukan pengambilan data. Data yang didapatkan adalah kumpulan data dari tahun 2010 sampai dengan 2013. Data-data tersebut terdiri dari nilai Tekanan, Temperatur, dan Laju Airan Massa yang disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.1 Data Tekanan, Temperatur, Laju Airan Massa dan Daya Output Generator Tahun 2010

Bulan	Temperatur Inlet Turbin [°C]	Temperatur Outlet Turbin [°C]	Tekanan Inlet Turbin [bar(gauge)]	Tekanan Outlet Turbin [bar(gauge)]	Tekanan atmosfer [mbar]	Laju Aliran Massa [kg/s]	Daya Output Generator [MW]
Januari	182,11	49,42	9,79	-0,706	833,09	210,61	114,85
April	182,149	47,963	9,7896	-0,715	833,557	209,55	115,623
Agustus	182,007	50,056	9,7574	-0,704	833,426	210,242	114,6
Rata-rata	182,089	49,146	9,5753	-0,709	833,358	210,134	115,024

Tekanan dalam bar absolute, $\text{bar(a)} = \text{bar (gauge)} + \text{bar (atmospheric)}$

Tekanan inlet turbin = $9,5753 + 0,8334 = 10,4086$ bara

Tekanan outlet turbin = $-0,7088 + 0,8334 = 0,1246$ bara.

Tabel 4.2 Data Tekanan, Temperatur, Laju Airan Massa dan Daya Output Generator Tahun 2011

Bulan	Temperatur Inlet Turbin [°C]	Temperatur Outlet Turbin [°C]	Tekanan Inlet Turbin [barg]	Tekanan Outlet Turbin [mbarg]	Tekanan atmosfer [mbara]	Laju Aliran Massa [kg/s]	Daya Output Generator [MW]
Februari	182,171	48,9576	9,79148	-714,519	831,062	214,266	114,889
Juni	182,195	49,107	9,79257	-715,028	832,826	214,063	114,517
Oktober	182,186	50,5206	9,79324	-704,817	829,885	214,535	113,28
Rata-rata	182,1843	49,5284	9,556367	-711,4547	831,2577	214,288	114,2287

Tekanan dalam bar absolute, $\text{bar(a)} = \text{bar (gauge)} + \text{bar (atmospheric)}$

Tekanan inlet turbin = $9,5564 + 0,8313 = 10,3876$ bara

Tekanan outlet turbin = $-0,7115 + 0,8313 = 0,1198$ bara

Tabel 4.3 Data Tekanan, Temperatur, Laju Airan Massa dan Daya Output Generator Tahun 2012

Bulan	Temperatur Inlet Turbin [°C]	Temperatur Outlet Turbin [°C]	Tekanan Inlet Turbin [barg]	Tekanan Outlet Turbin [mbarg]	Tekanan atmosfer [mbara]	Laju Aliran Massa [kg/s]	Daya Output Generator [MW]
Januari	182,113	49,7982	9,79048	-707,509	831,136	215,888	114,168
April	182,108	50,3484	9,78708	-706,413	832,37	216,036	113,704
Juni	182,203	48,2897	9,81712	-717,017	831,823	213,272	115,857
September	182,111	48,5975	9,78934	-717,07	833,443	212,381	115,606
Rata-rata	182,1338	48,5975	9,592	-712,0023	832,193	213,8963	114,8338

Tekanan dalam bar absolute, $\text{bar(a)} = \text{bar (gauge)} + \text{bar (atmospheric)}$

Tekanan inlet turbin = $9,592 + 0,8322 = 10,4242$ bara

Tekanan outlet turbin = $-0,712 + 0,8322 = 0,1202$ bara

Tabel 4.4 Data Tekanan, Temperatur, Laju Airan Massa dan Daya Output Generator Tahun 2013

Bulan	Temperatur Inlet Turbin [°C]	Temperatur Outlet Turbin [°C]	Tekanan Inlet Turbin [barg]	Tekanan Outlet Turbin [mbarg]	Tekanan atmosfer [mbara]	Laju Aliran Massa [kg/s]	Daya Output Generator [MW]
April	182,545	50,5376	9,88778	-705,913	832,054	212,311	113,23
Juni	182,023	47,9795	9,80673	-708,371	830,134	212,329	113,678
Oktober	182,366	49,2607	9,84844	-715,883	834,077	213,748	113,967
Rata-rata	182,37	49,8597	9,599637	-710,0557	832,0883	212,796	113,5983

Tekanan dalam bar absolute, $\text{bar(a)} = \text{bar (gauge)} + \text{bar (atmospheric)}$

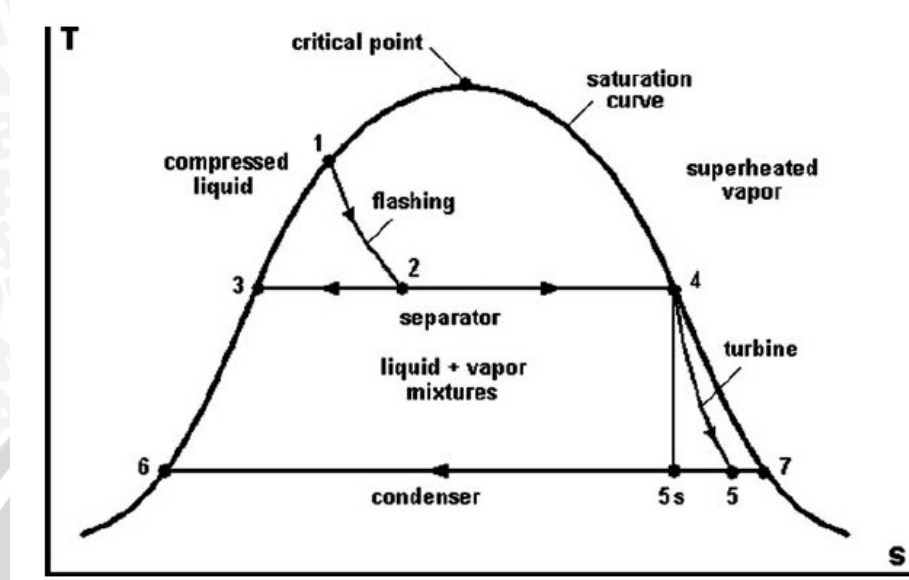
Tekanan inlet turbin = $9,5996 + 0,83209 = 10,4371$ bar(a)

Tekanan outlet turbin = $-0,7101 + 0,83209 = 0,1219$ bar(a).

4.3 Data Entalpi dan Entropi dari *Steam Table*

4.3.1 Diagram T-s

Di bawah ini adalah kurva diagram T-s yang menunjukkan proses steam berlangsung.



Gambar 4.2 Diagram T-s

Keterangan :

State 1 (fase liquid) ke state 2(fase mixtures) adalah proses flashing, yaitu pemisahan antara uap dan air.

State 2(fase mixtures) ke state 3(fase liquid) adalah keluaran separator menuju brain.

State 2 (fase mixtures) ke state 4(fase vapor) adalah keluaran separator menuju turbin.

State 3 (fase liquid) ke state 6 (fase liquid) adalah moisture/air dari brain menuju pipa injector.

State 4 (fase vapor) ke state 5 (fase mixtures) adalah uap keluaran turbin menuju condenser.

State 5 (fase mixture) ke state 6 (fase liquid) adalah moisture/air dari kondenser menuju pipa injector.

4.3.2 Data Entalpi dan Entropi

Dari data temperature dan tekanan, maka dengan menggunakan *steam table* dapat diperoleh data entalpi dan entropi pada masing-masing state. Data entalpi dan entropi disajikan dalam tabel 4.5:

Tabel 4.5 Data Entalpi dan Entropi Inlet dan Outlet Turbin Tahun 2010 s/d 2013

Tahun	Entalpi Inlet		Entropi Inlet		Entalpi Outlet		Entropi Outlet	
	h3	h4	s3	s4	h6	h7	s6	s7
2010	770,408	2778,628	2,1553	6,5711	210,075	2591,622	0,7061	8,0718
2011	770,0165	2778,553	2,1545	6,5718	201,0771	2587,817	0,6782	8,1095
2012	770,6984	2778,684	2,1559	6,5706	207,0505	2590,344	0,6967	8,0844
2013	770,9383	2778,73	2,1565	6,5702	208,2301	2590,843	0,7003	8,0795

4.4 Perhitungan Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin didapatkan dari persamaan (6.4)

Karena sudah tersedia dari *steam table* maka untuk menentukan kerja aktual turbin (*actual work*, w) perlu dilakukan perhitungan. Begitu juga untuk mendapatkan nilai kerja turbin pada keadaan ideal (*isentropic work*, w_i) maka dihitung terlebih dahulu.

4.4.1 Perhitungan *Isentropic Work* Turbin ()

Sebelum mendapatkan nilai kerja actual turbin maka perlu dihitung terlebih dahulu nilai fraksi uap dan entalpi inlet turbin.

➤ Perhitungan Fraksi Uap (

Sesuai dengan persamaan (6.6), maka dengan memasukkan data di atas didapatkan:

=

$$= 0,7963$$

➤ Perhitungan Entalpi *Isentropic* Turbin (

Entalpi *isentropic* turbin didapat dari persamaan (6.5), perhitungan sebagai berikut:

= + × (

$$= 210,075 + 0,7963 \times (2591,622 - 210,075)$$

$$= 2106,4 \text{ kJ/kg}$$

Setelah mendapatkan kedua parameter di atas dapat dihitung nilai pada tahun 2010 sebagai berikut:

=

= 2106,4

= 678,228 kJ/kg

4.4.2 Perhitungan *Actual Work Turbin* ()

Untuk mendapatkan daya actual turbin perlu dilakukan perhitungan entalpi outlet turbin dan faktor A .

➤ Perhitungan Faktor A Tahun 2010:

Sesuai persamaan (6.8), $A = 0,425 \times ($

$A = 0,425 \times ($

$A = 285,695$

➤ Perhitungan Entalpi Outlet Turbin () Tahun 2010 :

Dari persamaan (6.7) perhitungan dikerjakan seperti berikut:

= 2248,4 kJ/kg

Setelah mendapatkan kedua parameter di atas dapat dihitung nilai wpada tahun 2010 sebagai berikut:

$w =$

$w =$

$w = 530,22 \text{ kJ/kg}$

sehingga efisiensi turbin :

0,7888

Hasil selengkapnya bisa dilihat pada tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin Tahun 2010 s/d 2013

Tahun	(kJ/kg)	(kJ/kg)	A	(kJ/kg)		(%)
2010	2778,628	2248,41	285,695	2106,404	0,796259	78,8752
2011	2778,553	2239,161	290,9467	2093,972	0,793088	78,79158
2012	2778,684	2245,149	287,5951	2101,99	0,795093	78,84432
2013	2778,73	2246,291	286,969	2103,509	0,795462	78,85403

4.5 Perhitungan Efisiensi Generator

Sesuai persamaan (6.9) efisiensi generator didapatkan dari perhitungan berikut:

Dengan

= laju aliran massa uap, kg/s

= kerja spesifik turbin, kJ/kg

= fraksi uap pada separator

= laju aliran massa total, kg/s

➤ Fraksi Uap separator Tahun 2010 :

adalah entalpi pada kondisi dua fasa, nilainya sama dengan entalpi inlet turbin fasa gas (dikurangi entalpi inlet turbin fasa liquid (

=

=

= 2008,22 kJ/kg

Sehingga

= 0,616373

➤ Daya Output Turbin

=

didapatkan dari data sebesar 400 kg/s

= $0,616373 \times 400 \times 530,22$

= 130,72MW

Maka didapatkan daya generator () pada tahun 2010 :

$$=$$

$$= 0,8799$$

Hasil perhitungan selengkapnya bisa dilihat pada tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Efisiensi Generator Tahun 2010 s/d 2013

Tahun		Pgen (MW)	(MW)	(%)
2010	0,616373	115,0243	130,7247	87,9864
2011	0,616628	114,2287	133,0416	85,8603
2012	0,616183	114,8338	131,5021	87,3218
2013	0,616027	113,5983	131,1987	86,8911

4.6 Perhitungan Efisiensi Adiabatik

Efisiensi adiabatik didapatkan dengan membandingkan efisiensi overall hasil perhitungan dengan efisiensi overall pada kondisi ideal. Dimaksud dengan efisiensi overall adalah perkalian efisiensi turbin dan generator, sedangkan efisiensi overall pada kondisi ideal adalah perkalian efisiensi turbin dan generator pada saat pertama kali beroperasi.

Berikut ini adalah nilai efisiensi turbin dan generator pada kondisi ideal:

$$\text{Efisiensi turbin} = 98,9 \%$$

$$\text{Efisiensi generator} = 98,7 \%$$

Kedua nilai di atas diasumsikan konstan dalam perhitungan.

➤ Efisiensi Adiabatik pada Tahun 2010:

Sesuai persamaan (6.15)

$$\text{Adiabatic efficiency} =$$

$$\text{Adiabatic efficiency} =$$

$$\text{Adiabatic efficiency} = 71.0956\%$$

Hasil selengkapnya bisa dilihat pada tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Efisiensi Adiabatik

Tahun	Effisiensi Turbin	Efisiensi Generator	Efisiensi Adiabatik
2010	78,8752	87,9864	71,0956
2011	78,7916	85,8603	69,304
2012	78,8443	87,3218	70,5309
2013	78,8540	86,8911	70,1917

Berikut adalah tampilan kurva efisiensi tahun 2010 s/d 2013

Gambar 4.4 Kurva Efisiensi Komponen Konversi Energi Tahun 2010 s/d 2013

4.7 Upaya Optmasi Efisiensi

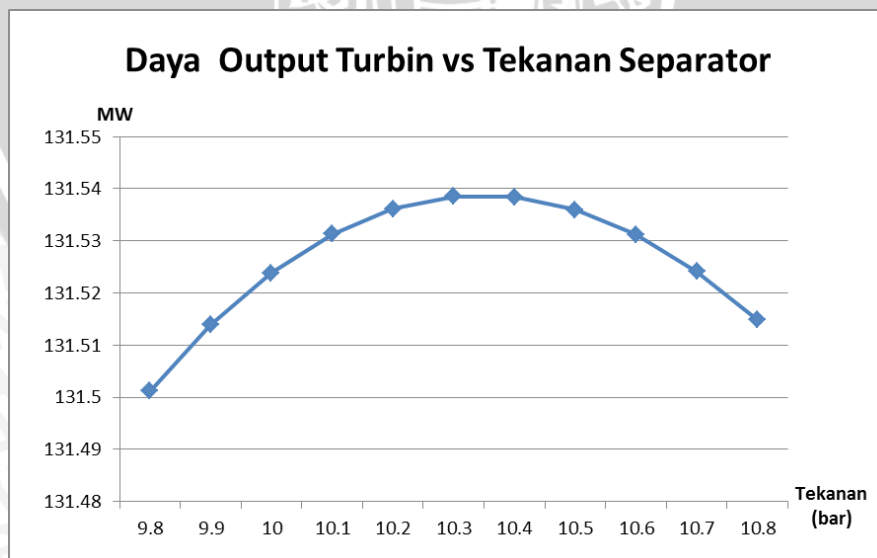
4.7.1 Penentuan Tekanan Optimum pada *Separator*.

Data pada tahun terakhir (2013) diketahui bahwa temperatur outlet turbin sebesar 49.86 C dan massflow total sebesar 400 kg/s. Perhitungan tekanan optimum separator adalah dengan mengubah-ubah nilai temperatur sedangkan tekanan outlet turbin dan massflow total dianggap konstan.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Tekanan Optimum Separator

No	Tekanan Separator [bar]	Daya Output Turbin [MW]	Efisiensi Turbin (%)
1	9,8	131,5011	78,92153
2	9,9	131,5138	78,90864
3	10	131,5239	78,89586
4	10,1	131,5313	78,88321
5	10,2	131,5361	78,87067
6	10,3	131,5385	78,85825
7	10,4	131,5384	78,84594
8	10,5	131,536	78,83374
9	10,6	131,5312	78,82165
10	10,7	131,5241	78,80967

Dari tabel di atas ditarik kurva dengan tampilan berikut:



Gambar 4.5 Kurva Daya Turbin terhadap Tekanan Separator

Gambar 4.6 Kurva Efisiensi Turbin terhadap Tekanan Separator

Dari hasil plotting di atas dapat diketahui bahwa pada tekanan sebesar 10,3 bar dihasilkan daya output turbin maksimal sebesar 131,54 MW dan efisiensi sebesar 78,86%.

Jika kita bandingkan kondisi terakhir dengan hasil optimasi, maka didapat perbedaan:

➤ Daya output turbin:

Tahun 2013 sebesar 131,2 MW.

Hasil optimasi sebesar 131,54 MW.

Kenaikan daya sebesar 0,34 MW.

➤ Efisiensi turbin :

Tahun 2013 sebesar 78,85%.

Hasil optimasi sebesar 78,87%.

Terjadi kenaikan efisiensi sebesar 0,02%.

Dari upaya optimasi temperatur separator di atas dapat diambil kesimpulan bahwa, dengan mengubah-ubah nilai temperatur separator bisa didapatkan daya turbin maksimal. Namun nilai daya turbin maksimal ini tidak relevan dengan nilai efisiensi turbin.

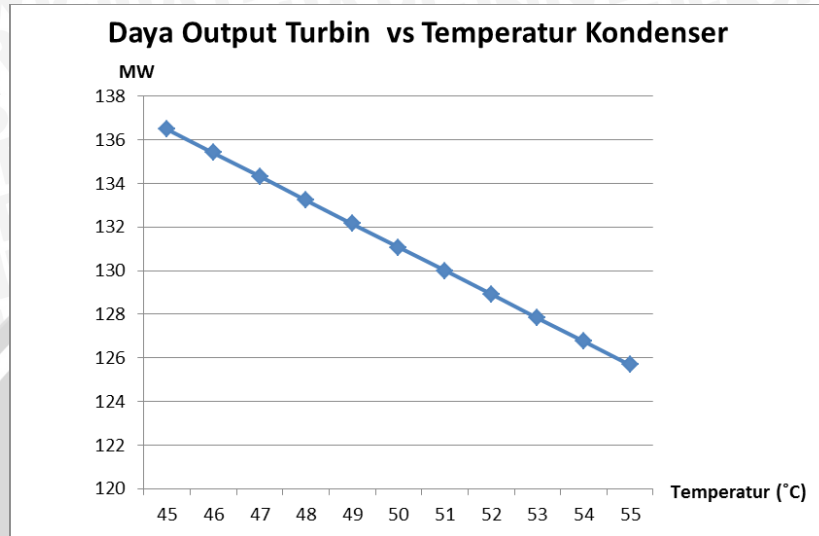
4.7.2 Penentuan Temperatur Optimum pada Kondenser.

Penentuan temperature optimal condenser dilakukan dengan mengubah-ubah temperatur outlet turbin seperti ditunjukkan pada table 4.11. Variabel selain itu, yaitu laju aliran massa dan temperatur inlet turbin diasumsikan tetap.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Temperatur Optimum Kondenser

No	Temperatur Kondenser [°C]	Daya Output Turbin [MW]	Efisiensi Turbin (%)
1	45	136,49	78,69
2	46	135,41	78,73
3	47	134,32	78,77
4	48	133,24	78,81
5	49	132,15	78,85
6	50	131,07	78,89

7	51	129,99	78,93
8	52	128,91	78,97
9	53	127,83	79,01
10	54	126,76	79,05



Gambar 4.7 Kurva Daya Turbin terhadap Temperatur Kondenser

Gambar 4.8 Kurva Efisiensi Turbin terhadap Temperatur Kondenser

Dari hasil plotting di atas, temperatur kondenser dinaikkan dari 45 °C sampai 55 °C, semakin naik suhu kondenser maka semakin turun daya output turbin secara linear, maka daya listrik optimum tidak dapat diperoleh dari meninjau temperatur kondenser (outlet turbin).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis efisiensi konversi energi Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd., Unit 1 maka dapat disimpulkan:

b.i.1. Efisiensi turbin dari tahun 2010 sampai dengan 2013 berturut-turut adalah sebesar 78,88%, 78,79%, 78,84%, 78,85%. Efisiensi generator dari tahun 2010 sampai dengan 2013 berturut-turut adalah sebesar 87,99%, 85,86%, 87,32%, 86,89%. Efisiensi overall dari tahun 2010 sampai dengan 2013 berturut-turut adalah sebesar 69,39%, 67,65%, 68,85%, dan 68,52%.

b.i.2. Besar perbedaan efisiensi sistem konversi energi saat ini dibanding saat tahun pertama beroperasi (efisiensi adiabatik) adalah sebesar 70,19%.

b.i.3. Dengan menentukan tekanan optimum pada separator maka didapatkan daya keluaran turbin maksimal, namun tidak dengan efisiensinya. Tekanan optimum separator adalah sebesar 10,3 bar, akan menghasilkan daya listrik sekitar 131,54 MW dan efisiensinya berkisar 78,858%.

b.i.4. Penentuan temperatur optimum kondenser tidak bisa dilakukan, karena semakin naik suhu kondenser maka daya output turbin akan naik secara linear sehingga tidak didapatkan nilai temperatur kondenser optimum.

5.2 Saran

1. Pada perhitungan dan analisis selanjutnya, disarankan mengambil sampel data sebanyak-banyaknya agar hasil perhitungan dan analisis lebih akurat. Dilihat dari kesimpulan hasil

perhitungan efisiensi generator yang turun pada tahun 2011 kemudian naik pada tahun berikutnya, hal ini dimungkinkan karena jumlah sampel data yang terbatas.

2. Hasil perhitungan dan analisis menunjukkan sistem konversi energi pada Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd., selama 4 tahun terakhir berada dalam kondisi optimal. Kondisi seperti ini diharapkan selalu dipertahankan yaitu dengan perawatan dan pengecekan kondisi komponen pengonversi secara rutin dan berkala.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2013. Wilayah Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd., Jawa Barat. Unit 1. Diambil Februari 2013.
- Bertani, Ruggero. 2009. *Geothermal Energy: An Overview On Resources And Potential. International Geothermal Days Slovakia 2009 Conference & Summer School I.1.*, 1-3.
- DiPippo, Ronald. 2008. *Geothermal Power Plant: Principles Applications, Case Studies, and Environmental Impact*. Oxford OX2 8DP, UK: Elsevier.
- Balqis, Eka Rachmania Dimitri., Katherin Indriawati, dan Bambang Leksono W. 2012. *Optimasi Daya Listrik pada PT Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang, Jawa Barat*. Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1, (2012) 1-6.
- EREC. 2010. *Renewable Energy in Europe (Market, Trends and Technologies)*. United Kingdom dan Amerika Serikat: Earthscan.
- <http://sistem-tenaga-listrik.blogspot.com> diakses pada Maret 2014
- Junaldi dan Katherin Indriawati. 2012. *Prediksi Daya Listrik Geothermal Power Plant Berdasarkan Metode Weighted Moving Average di PT. Geo Dipa Energi Unit*. Dieng.jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1, (2012) 1-6.
- Koretsky, M.D. 2004. *Engineering and Chemical Thermodynamics*. Jhon Willey & Sons.

Moran, Michael J dan Howard N Saphiro. 2006. *Fundamental of Engineering Thermodynamics Fifth Edition*. England: Jhon Willey and Sons Ltd.

Pambudi, Nugroho Agung., Ryuichi Itoi., Saeid Jalilinasrabady, & Khasani. 2013. *Performance evaluation of Double Flash Geothermal Power Plant at Dieng Using Second Law of Thermodynamic*. Proceeding, Thirty-Eight Workshop on Geothermal Reservoir Engineering.

Watchel, Alan. 2010. *Energy Today: Geothermal Energy*. New York: Infobase Publishing.

Wibawa, Unggul. 2001. *Sumber Daya Energi Alternatif*. Malang: Universitas Brawijaya.

Wisniewski, Richard. 2012. *A Brief Overview of Geothermal Energy and Its Reliability Complication*. The Jurnal of The Reliability Information Analysis Center.

www.esdm.go.id, diakses pada Rabu, 23 Juli 2014.

Zemansky, Mark W dan Francis Weston Sears. 1999. *Fisika untuk Universitas IMekanika – Panas – Bunyi*. Jakarta: Yayasan Dana Buku Indonesia.



