

STUDY OF THE SELECTION OF GAS REMOVAL SYSTEM IN GEOTHERMAL POWER PLANT

Lina Agustina⁽¹⁾, Abdurrachim⁽²⁾, Bambang Teguh Prasetyo⁽³⁾

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jln MH Thamrin No. 8 Jakarta^{(1),(3)}
Institut Teknologi Bandung, Jln Tamansari Bandung⁽²⁾
Coresponding e-mail⁽¹⁾: lina_033@yahoo.com

ABSTRACT

Utilization of the geothermal resource for power generation is always related to the presence of non condensable gases, as natural components of geothermal fluid. It is necessary to remove the gases in the condenser, in order to optimize thermodynamic efficiency of the power plants. The gases disturb the vacuum process in the condenser, lowering turbine efficiency and decreasing total power output of the power plant. There are 2 (two) types of gas removal system which are commonly used in Indonesia, i.e. steam jet ejector and liquid ring vacuum pump (LRVP). The optimum selection of gas removal system directly affects the power generation, steam consumption and the initial and operational cost of the geothermal power plant. Steam jet ejectors have no moving parts, therefore this is a relatively low-cost device. It requires low maintenance but need a lot of steam to operate the system. On the other hand, vacuum pump does not consume steam in the process but the cost of investment and maintenance can be more than steam jet ejector and consumes electricity. Steam jet ejectors are commonly used in the first generation of geothermal power plants in Indonesia. At present, new geothermal power plants like Kamojang geothermal power plant unit 4 utilize mostly a combination between vacuum pumps and steam jet ejectors (hybrid system), as alternatives to the steam jet ejectors only. The Kamojang geothermal power plant unit 2 and 3 use 2 (two) ejectors which are installed in series. The consumption of the steam is relatively high. The thesis evaluates and analyzes themodynamically and economically the substitution of steam jet ejectors system by hybrid system in Kamojang geothermal power plant unit 2 and 3 which has capacity 2x55 MW with referring to the experience of Kamojang geothermal power plant unit 4. From simulation, it was shown that total saving of steam consumption for hybrid

system application in Kamojang geothermal power plant unit 2 and 3 is 397 kW (each plant).

Keywords: geothermal, steam jet ejector, vacuum pump, motive steam, auxiliary power

1. PENDAHULUAN

Dalam PLTP, *gas removal system* (GRS) merupakan peralatan yang sangat diperlukan untuk mempertahankan/menurunkan tekanan kondensasi supaya kondensor dalam kondisi vakum. Jika tekanan kondensasi ini tidak bisa dicapai, maka dapat menurunkan daya yang dihasilkan. *Non Condensable Gases* (NCG) yang terbawa bersama uap ke dalam turbin, bila tidak dibuang, akan terakumulasi di dalam kondensor dan mengakibatkan naiknya tekanan kondensasi yang imbasnya dapat menyebabkan penurunan efisiensi pembangkit.

Pemilihan GRS untuk mengeluarkan gas dari kondensor yang akan digunakan merupakan sesuatu yang sangat penting karena berkaitan dengan besarnya *net power output* yang dihasilkan dan biaya yang diperlukan untuk investasi sistem GRS dan biaya operasional PLTP. (Marza, 2011)

Paper ini akan membahas kajian pemilihan jenis GRS dilakukan dengan mengambil kasus yang terjadi di Indonesia yaitu dengan menggunakan data-data dari unit pembangkitan Kamojang Unit 2 dan 3 milik PT Indonesia Power.

PLTP Kamojang Unit 2 & 3 menggunakan *gas removal system* dengan konfigurasi 2 (dua) *steam jet ejector* yang disusun seri. *Gas removal* tipe ini membutuhkan jumlah *motive steam* yang tidak sedikit. *Motive steam* ini bila dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin bisa menghasilkan daya yang tidak sedikit pula.

Untuk 1 unit pembangkit, PLTP tersebut membutuhkan *motive steam* sekitar 10.500 kg/hr

atau setara dengan 1,5 MW, angka ini merupakan jumlah yang tidak sedikit. Oleh karena itu perlu dilakukan studi dan kajian pemilihan *gas removal system* di PLTP Kamojang Unit 2 & 3 melalui pendekatan termodynamika dan konservasi energinya. Kajian yang dilakukan yaitu berupa kajian substitusi *gas removal system existing* dengan *gas removal system* tipe *hybrid* yang diharapkan lebih efisien dan dapat meningkatkan kinerja dari pembangkit. Studi yang dilakukan disini hanya dibatasi untuk tujuan keilmuan saja. Adapun pengaruh pengaruh dari kondisi kebijakan pemerintah secara *real* tidak dibahas di studi ini.

2. OVERVIEW PLTP KAMOJANG

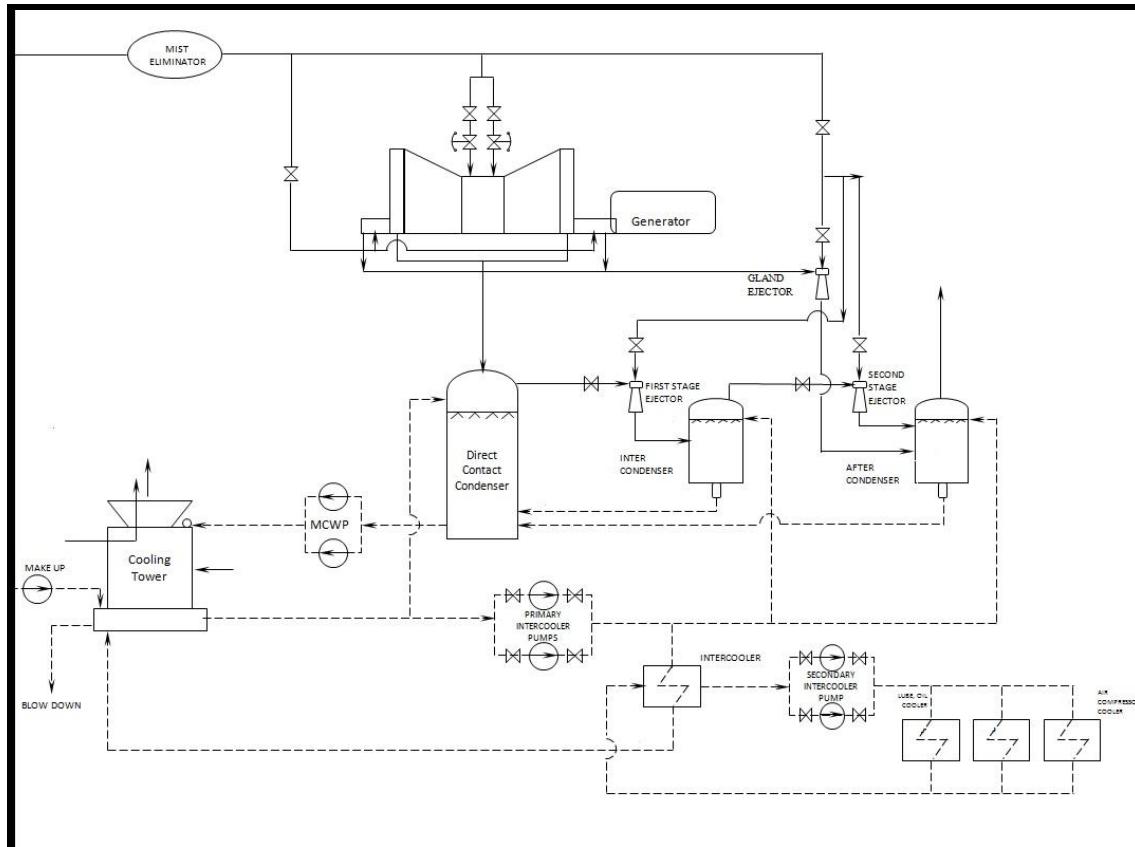
Lapangan panas bumi Kamojang terletak di Jawa Barat, Indonesia. Lapangan panas bumi Kamojang dikembangkan oleh Pertamina dan diperkirakan mempunyai potensi sebesar 300 MW dan hingga saat ini yang dikembangkan baru mencapai 200 MW yang terdiri dari 4 unit pembangkit. Unit 1 (30 MW), Unit 2 & 3 (2x55 MW) dioperasikan oleh PT. Indonesia Power sedangkan Unit 4 (60 MW) dioperasikan oleh PT. Pertamina Geothermal

Energy (PT. PGE). Tambahan kapasitas listrik sebesar 30 MW (Unit 5) dijadwalkan untuk mulai beoperasi komersial pada bulan Mei tahun 2015. (Laporan Studi ESDM, 2012)

Kandungan NCG di lapangan panas bumi Kamojang saat ini sekitar 0,5% s.d 0,8%. Tipe reservoar dari lapangan panas bumi Kamojang adalah dominasi uap. Teknologi yang dipakai pada keempat unit di lapangan tersebut adalah teknologi *direct dry steam*, dimana uap dari sumur langsung bisa dipakai untuk menggerakkan turbin. Skema pembangkit dari PLTP Kamojang unit 2 dan 3 adalah seperti ditunjukkan pada gambar 1.

Pada gambar 1 terlihat bahwa peralatan utama yang dipakai pada PLTP Kamojang Unit 2 dan 3 terdiri dari:

- Mist eliminator atau biasa disebut demister
- Turbin
- Generator
- *Gas removal system* yang terdiri dari 2 (dua) unit steam jet ejector yang disusun seri
- Kondenser, dan
- *Cooling Tower*



Gambar 1. Skema PLTP Kamojang unit 2 dan 3

(Marza, 2011)

3. NON CONDENSABLE GASES (NCG)

Beberapa pengaruh besar kecilnya kandungan NCG terhadap pembangkit listrik panas bumi adalah:

- NCG mengurangi efisiensi perpindahan panas kondensor dimana akan menaikkan tekanan operasi kondensor dan berakibat menurunkan daya keluaran turbin. Konsekuensinya untuk mengurangi efek gas ini, dibutuhkan luasan yang lebih besar untuk memenuhi total perpindahan panas yang terjadi, dimensi kondensor menjadi lebih besar, dan biaya menjadi lebih tinggi.
- NCG akan berkumpul dalam kondensor pada tekanan dibawah tekanan atmosfer membentuk “gas blanketing effect” dimana NCG akan menaikkan temperatur dalam kondensor, melawan tekanan dari turbin dan menurunkan daya keluaran turbin.
- Menyebabkan tingginya biaya investasi dan operasional untuk *gas removal system* dalam pembangkit listrik panas bumi yang mengandung NCG tinggi bila dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis fossil-fuel.
- Gas-gas CO₂ dan H₂S menjadi salah satu penyebab korosif di dalam pipa dan peralatan yang berhubungan dengan uap dan peralatan kondensasi. (Marza, 2011)

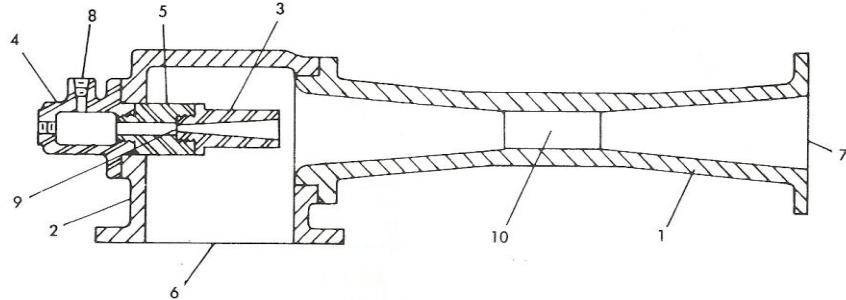
- Tekanan kondensor (derajat kevakuman kondensor).
- Jumlah laju alir massa gas yang akan diambil dari kondensor (besarnya kandungan NCG dalam uap).
- Konsumsi energi yang dibutuhkan oleh peralatan gas ekstraksi untuk memisahkan campuran gas di dalam uap sampai dibuang ke atmosfer.
- Jumlah massa dan temperatur air pendingin yang dibutuhkan di dalam kondensor, baik itu kondensor utama, *intercondenser* maupun *aftercondenser*. (Marza, 2011)

Peralatan ekstraksi gas yang biasa digunakan di PLTP-PLTP di Indonesia adalah *steam jet ejector* dan LRPV. *Compressor* jarang digunakan di Indonesia, karena kandungan rata-rata NCG di beberapa lapangan panas bumi di Indonesia relatif tidak begitu besar. Kandungan NCG di Indonesia berkisar antara 0,5% s.d 5%. *Compressor* merupakan alat ekstraksi gas yang memiliki efisiensi yang besar dan harganya pun mahal. Alat ini sangat cocok apabila diterapkan di lapangan panas bumi yang memiliki kandungan NCG yang cukup tinggi. Sebagai contoh, PLTP yang terdapat lapangan panas bumi di Hatchobaru, Jepang, menggunakan gas removal system tipe kompresor. Lapangan ini memiliki kandungan NCG lebih dari 10%.

4. GAS REMOVAL SYSTEM

Kriteria utama dalam pemilihan peralatan *gas removal system* adalah sebagai berikut:

4.1. Steam Jet Ejector



(Sumber: HEI, 2007)

Gambar 2. Steam Jet Ejector

1. Diffuser	6. Suction
2. Suction Chamber	7. Discharge
3. Steam Nozzle	8. Steam Inlet
4. Steam Chest (if used)	9. Nozzle Throat
5. Extension (if used)	10. Diffuser Throat

Steam jet ejector beroperasi dengan menggunakan prinsip venturi. *Motive steam* dilewatkan melalui *nozzle* untuk menaikkan tekanan sesuai dengan *suction pressure*. Energi tekanan uap diubah menjadi energi kecepatan. Uap akan meninggalkan *nozzle* pada kecepatan tinggi *supersonic*. Kemudian melewati *suction chamber* dan masuk *convergent diffuser*. Di *suction chamber* akan bercampur dengan fluida yang masuk yaitu *noncondensable gases* yang mengandung sedikit steam yang biasanya terikut dalam gas. Bercampurnya *motive steam* dan *suction fluid* akan terus berlangsung sampai batas kecepatan *sonic* tercapai. Pada posisi *throat* kedua campuran fluida ini mulai dimampatkan sampai pada *discharge pressure*. Pemampatan ini pada kenyataannya merupakan konversi kembali energi kecepatan menjadi energi tekanan dan cukup untuk mencegah terjadinya *back pressure*.

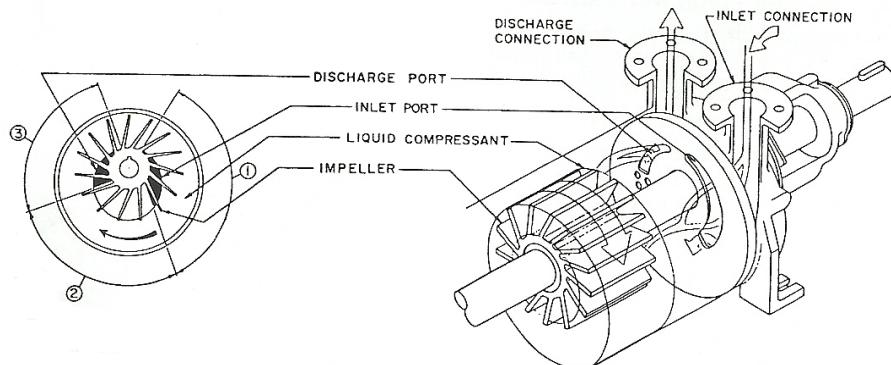
Ejector membuang NCG dari kondensor dan memampatkan gas-gas tersebut ke tekanan atmosfer bersama uap yang terbawa. Oleh karena *ejector* tidak memiliki katup, rotor atau piston ataupun bagian-bagian yang berputar (bukan

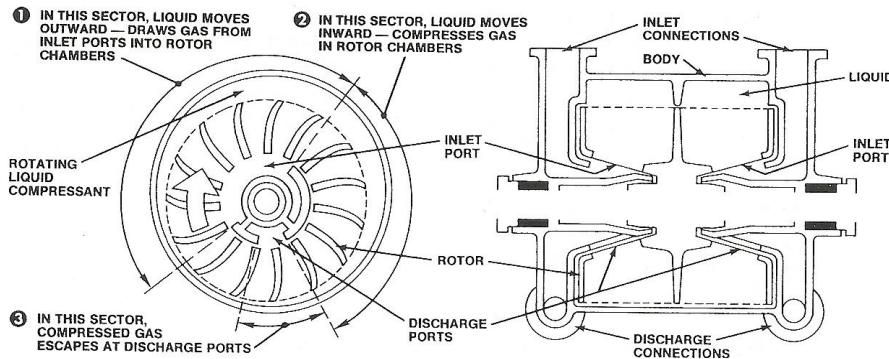
rotating equipment), maka *ejector* merupakan peralatan yang relatif berbiaya rendah, mudah dalam mengoperasikan dan memeliharanya namun membutuhkan sejumlah uap yang sangat besar sebagai *motive steam*. (Marza, 2011)

Sebuah *steam jet ejector* memiliki batasan tingkat kompresi yang bisa dicapai dan akan beroperasi secara efisien hanya sampai dengan tingkat rasio kompresi yang terbatas. Rasio kompresi merupakan tekanan *discharge* absolut dibagi dengan tekanan *suction* absolut. Untuk bisa mencapai rasio kompresi yang lebih tinggi bisa dilakukan dengan memasang lebih dari satu steam jet ejector secara seri, dimana biasa disebut *multi-stage ejector*. Sebuah *ejector* memiliki kapasitas tertentu sesuai dengan dimensinya, sehingga secara teknis memiliki keterbatasan dalam menarik dan melewatkannya fluida. (HEI, 2007)

Kebutuhan uap untuk *motive steam* tergantung dari jumlah aliran gas yang akan diekstraksi. Kondisi *motive steam* harus uap kering dan jenuh. Jika terdapat *moisture* di dalam steam, separator dan steam trap dapat ditambahkan untuk meningkatkan kualitas steam. Minimum *dryness steam* yang dianjurkan adalah 99,5%. Kualitas uap yang buruk tidak akan membahayakan sistem, tetapi dapat menyebabkan erosi di *steam nozzle* dan *diffuser*. (Butzbach et al., 1993)

4.2. Liquid Ring Vacuum Pump





(Sumber: HEI, 2011)

Gambar 3. Liquid Ring Vacuum Pump (LRVP)

LRVP merupakan kelompok pompa *positive displacement*. LRVP menaikkan tekanan gas dengan memutar baling-baling impeler (*impeller vanes*) dalam sebuah silinder casing yang eksentris. Ketika impeler dari pompa berputar, gaya sentrifugal akan melempar liquid membentuk lingkaran konsentris di sekeliling casing dan melakukan kerja kompresi.

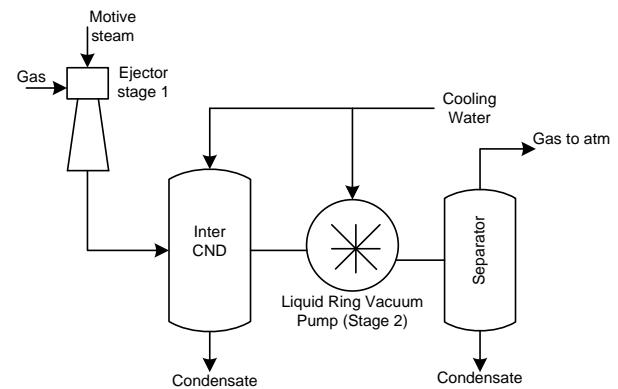
Fluida yang biasanya air akan membentuk cincin silinder (*cylinder fluid*) pada bagian dalam casing. Cincin air (*liquid ring*) ini menghasilkan perapatan / sealing di bagian antara baling-baling impeler yang membentuk ruang bertekanan.

Posisi impeler terhadap casing menyebabkan melebarnya jarak antara blade impeler dengan casing di sisi inlet dan menyempitnya jarak di sisi keluaran. *Eccentricity* antara perputaran sumbu impeler dengan sumbu geometris casing menghasilkan sebuah siklus volume ditutup oleh baling-baling dan *liquid ring*. Kemudian gas ditarik masuk ke dalam pompa melalui inlet port di bagian akhir casing. Gas selanjutnya terjebak di dalam ruang kompresi yang terbentuk oleh *impeller vanes* dan *liquid ring*. Ketika gas masuk ke dalam *inlet port*, gas tersebut akan terperangkap antara *blade impeler* dan *liquid ring*. Kemudian adanya putaran impeler, *liquid ring* akan menekan gas dan mendorongnya keluar ke *outlet port*. Cairan yang ada di bagian keluaran gas kemudian dipisahkan yang selanjutnya didinginkan atau disirkulasikan dalam sebuah sistem pemisahan. (Marza, 2011)

4.3. Hybrid System

Hybrid system merupakan bentuk *gas removal system* yang menempatkan *steam jet ejector* sebagai ekstraksi gas tingkat pertama dan diserikan

dengan LRVP sebagai ekstraksi gas tingkat kedua. Sistem ini merupakan metode yang lebih efisien untuk menghasilkan kevakuman di kondensor. *Hybrid system* ini biasa digunakan di lapangan panas bumi. Pertama kali sistem ini diterapkan adalah di Onikobe Power di Jepang. (Marza, 2011)



Gambar 3. Skema gas removal system tipe hybrid system

5. PERHITUNGAN HEAT AND MASS BALANCE

Asumsi dan parameter yang digunakan dalam perhitungan ini adalah:

- ✓ Data-data kondisi proses yang digunakan adalah data-data yang berasal dari PLTP Kamojang unit 2 dan 3.
- ✓ Nett power output pembangkit adalah sebesar 55.000 kW
- ✓ Tekanan inlet dan outlet turbin yang digunakan adalah 6,5 dan 0,1 bar abs.
- ✓ Sistem dianalisis pada kondisi tunak (*steady state*).

- ✓ Pengaruh energi kinetik dan energi potensial diabaikan.
- ✓ Sistem dalam keadaan terisolasi sempurna sehingga diasumsikan tidak ada rugi-rugi panas yang keluar maupun masuk.
- ✓ Efisiensi turbin dan generator yang digunakan adalah sebesar 88% dan 97%.
- ✓ Harga efisiensi pompa umumnya berkisar antara 70-90% (R.H. Perry, 1987), yang digunakan adalah 80%. Efisiensi motor listrik adalah 85% dan fan masing-masing 55%.
- ✓ Proses kondensasi di dalam kondenser, *intercondenser* ataupun *aftercondenser* adalah sempurna, dimana semua uap yang masuk dapat terkondensasikan 100% menjadi air.
- ✓ *Drop temperature* antara uap yang masuk ke kondensor dengan air yang meninggalkan kondensor menuju cooling tower adalah 3°C (Marza, 2011). Wet bulb temperature yang digunakan adalah pada 18°C.
- ✓ Perhitungan daya *auxiliary* yang diperhitungkan adalah daya LRV, daya *hot well pump*, *auxiliary cooling water* dan fan untuk *cooling tower*.

Perangkat lunak yang digunakan dalam perhitungan heat and mass balance ini adalah EES (*Engineering Equation Solver*). EES adalah jenis perangkat lunak yang dapat memecahkan persoalan persamaan linear, non-linear, variabel komplek, dan optimasi dalam termodinamika.

2 (dua) bentuk tipe *gas removal system* PLTP yang disimulasikan di tesis ini adalah sebagai berikut :

1) *Ejector system*

Model ini menggunakan tipe *gas removal system* yang terdiri dari 2 *stage ejector*. Model ini adalah model yang dipakai di PLTP Kamojang Unit 2/3. Hasil pemodelan ini akan divalidasikan dengan kondisi proses di PLTP Kamojang Unit 2/3.

2) *Hybrid system*

Model ini menggunakan tipe *gas removal system* yang terdiri dari kombinasi antara *steam jet ejector* dengan LRV. *Steam jet ejector* yang dipasang di *stage* pertama dan diserikan dengan LRV di *stage* kedua. Model ini dihasilkan dari perhitungan yang divalidasikan dengan kondisi proses di PLTP Kamojang Unit 4 karena PLTP Kamojang Unit 4 menggunakan tipe GRS *hybrid system* yang

merupakan kombinasi antara *steam jet ejector* dengan LRV.

6. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Hasil pemodelan yang divalidasikan, selanjutnya dipakai untuk menghitung kondisi proses kedua model *gas removal system* dengan menggunakan data kondisi PLTP Kamojang unit 2 dan 3. Tujuan dari perhitungan kesetimbangan massa dan energi pada masing-masing model adalah terutama untuk membandingkan besarnya jumlah total steam dan daya *auxiliary* yang diperlukan untuk membangkitkan pembangkit dengan kapasitas nett sebesar 55 MW.

Adapun angka 55 MW ini adalah besarnya daya bersih yang dihasilkan pembangkit, yaitu merupakan daya pembangkit setelah dikurangi daya-daya *auxiliary* seperti daya *hot well pump*, daya LRV serta motor fan *cooling tower*.

Perbandingan hasil perhitungan untuk kedua model dapat dilihat di tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Perbandingan hasil perhitungan dua model GRS untuk PLTP Kamojang 2/3

Parameter	Units	Ejector System	Hybrid System
Geofluid			
Total steam	kg/h	390.600	387.000
Generator			
Net output	kW	55.000	55.000
Gross output	kW	56.579	56.742
Turbine (Main Steam Inlet)			
Pressure	bar abs	6,5	6,5
\dot{m} steam	kg/h	380.160	381.240
\dot{m} gas	kg/h	1.901	1.906
Condenser Inlet			
Pressure	bar abs	0,1	0,1
Gas Removal System			
First stage ejector (motive steam)	kg/h	5.162	5.962
Second stage ejector	kg/h	5.321	---
W LRV	kW	---	155
Auxiliary			
Hot Well Pump	kW	892	881
Auxiliary CW Pump	kW	15	7
Cooling tower fan	kW	673	674

Dari tabel 1 tersebut dapat dilihat bahwa jumlah total steam yang dibutuhkan untuk membangkitkan *net power output* sebesar 55 MW untuk *hybrid system* lebih kecil dari *ejector system* yaitu sebesar

387.000 kg/hr (387 ton/hr). *Ejector system* membutuhkan total steam sebesar 390.600 kg/hr (391 ton/hr). Hal ini disebabkan karena *hybrid system* membutuhkan *motive steam* yang lebih sedikit untuk menarik NCG.

Bila ditinjau dari besarnya jumlah penghematan steam yang digunakan, yaitu dibandingkan dengan *ejector system*, *hybrid system* dapat menghemat pemakaian steam sebesar 3.600 kg/hr atau setara dengan sekitar 550 kW.

Kebalikannya, bila ditinjau dari besarnya pemakaian daya *auxiliary*, pemakaian daya *auxiliary* dari *hybrid system* lebih tinggi dibanding dengan *ejector system*. Itu disebabkan karena *hybrid system* memerlukan daya listrik tambahan untuk dapat mengoperasikan LRPV. Untuk daya net output 55 MW, pemakaian daya *auxiliary* dari *hybrid system* sebesar 1718 kW dan *ejector system* sebesar 1564 kW. Selisih pemakaian daya *auxiliary* itu adalah sebesar 153 kW. Angka ini setara dengan besarnya daya listrik LRPV yang dipasang jika menggunakan *hybrid system*.

Jika dibandingkan antara besarnya penghematan steam sebesar 550 kW dengan besarnya daya LRPV yang harus ditambahkan pada *hybrid system* yang sebesar 153 kW, maka total steam yang dapat dihemat adalah setara dengan 397 kW. Bila diasumsikan 1 (satu) rumah memiliki daya listrik 1 kW (1000 W) maka besarnya penghematan ini bisa untuk mengaliri daya listrik 397 rumah. Angka ini merupakan jumlah yang relatif besar, mengingat masih ada rumah-rumah di Jawa khususnya di sekitar pembangkit yang belum teraliri listrik.

Jika diasumsi pembangkit beroperasi selama 25 tahun (1 tahun operasi = 8760 jam) maka selama 25 tahun pemakaian *hybrid system* bisa menghemat sebesar 86.943 MWh. Bila menggunakan harga listrik PLTP sekarang sebesar 0,11 USD/kWh, maka penghematan tersebut setara dengan 9.563.730 USD.

Selanjutnya, bila mempertimbangkan adanya penurunan produksi dari sumur-sumur di lapangan panas bumi Kamojang, penggunaan *hybrid system* dapat dikatakan memperpanjang umur sumur karena *gas removal system* ini lebih menghemat pemakaian steam. Sasradipoera pada tahun 2000 telah menganalisis bahwa sumur-sumur di lapangan panas bumi Kamojang rata-rata memiliki penurunan produksi sebesar 5% tiap tahunnya.

7. ANALISA SENSITIFITAS

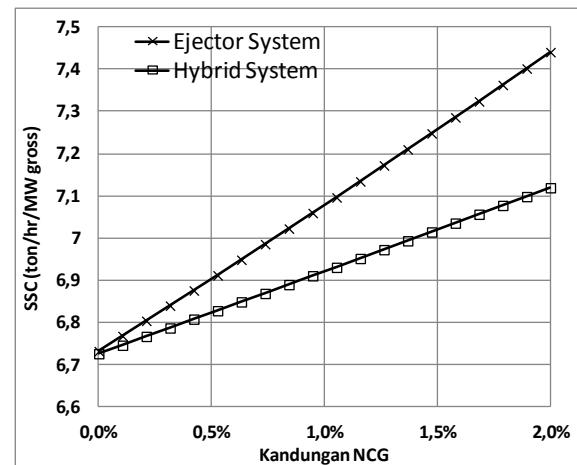
Faktor-faktor yang akan dianalisa adalah besarnya kandungan NCG, tekanan inlet turbin (tekanan *motive steam*) dan tekanan kondensasi.

Salah satu parameter yang umum digunakan untuk menyatakan performa sebuah PLTP adalah jumlah steam spesifik yang dikonsumsi (*Specific Steam Consumption* – SSC) oleh PLTP tersebut. Jumlah uap spesifik yang dikonsumsi dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara jumlah uap yang tersedia dengan daya yang dihasilkan, atau secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$SSC = \frac{\text{Jumlah uap tersedia (ton/hr)}}{\text{Daya yang dihasilkan (MW)}}$$

Dengan mempertimbangkan hal tersebut, maka dilakukan analisa hubungan antara SSC dari masing-masing GRS dengan parameter-parameter pemilihan *gas removal system* yaitu kandungan NCG, tekanan inlet turbin dan tekanan kondensasi.

7.1 Kandungan NCG vs Specific Steam Consumption

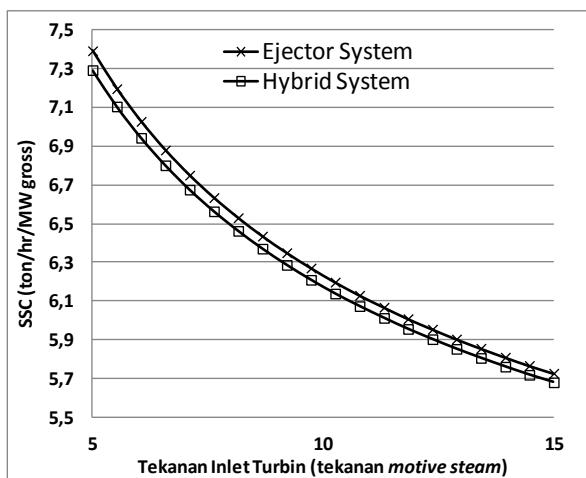


Gambar 4. Grafik hubungan pengaruh kandungan NCG terhadap SSC_{gross} dari masing-masing tipe gas removal system

Gambar 4 merupakan grafik yang menggambarkan hubungan antara kandungan NCG dengan SSC_{gross} dari masing-masing tipe *gas removal system*. SSC_{gross} disini adalah besarnya steam spesifik yang dikonsumsi untuk membangkitkan daya turbin gross dari masing-masing GRS. Daya turbin gross untuk *hybrid system* akan lebih besar dari *ejector system* karena *hybrid system* membutuhkan daya *auxiliary* yang lebih besar untuk dapat menggerakkan LRPV.

Dari gambar 4 dapat disimpulkan bahwa SSC akan meningkat seiring meningkatnya kandungan NCG. *Hybrid system* memerlukan SSC lebih kecil dari *ejector system*. Hal ini dapat diartikan konsumsi steam total untuk membangkitkan PLTP dengan mempertimbangkan daya auxiliary pada tipe *hybrid system* lebih hemat daripada *ejector system*. Besarnya daya LRPV yang dibutuhkan oleh *hybrid system* masih lebih sedikit bila dibandingkan besarnya daya yang dapat dibangkitkan oleh *motive steam* yang diperlukan *ejector* untuk membuang NCG dengan jumlah yang sama.

7.2 Tekanan Inlet Turbin vs Specific Steam Consumption



Gambar 5. Grafik hubungan pengaruh tekanan inlet turbin terhadap SSC_{gross} dari masing-masing tipe gas removal system

Gambar 5 merupakan grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh antara tekanan inlet turbin dengan SSC dari masing-masing tipe *gas removal system*. Dalam PLTP, karakteristik *motive steam* (P,T) yang masuk ke *ejector* biasanya sama dengan steam yang masuk ke turbin. Tekanan inlet turbin yang dimaksud disini sama dengan tekanan *motive steam*.

Semakin tinggi tekanan *motive steam*, akan semakin kecil jumlah laju alir *motive steam* yang diperlukan untuk membuang NCG. Semakin tinggi tekanan berarti akan semakin besar energi kinetik yang dikandung oleh *motive steam* sehingga *motive steam* tersebut memerlukan laju alir yang lebih sedikit untuk membuang NCG.

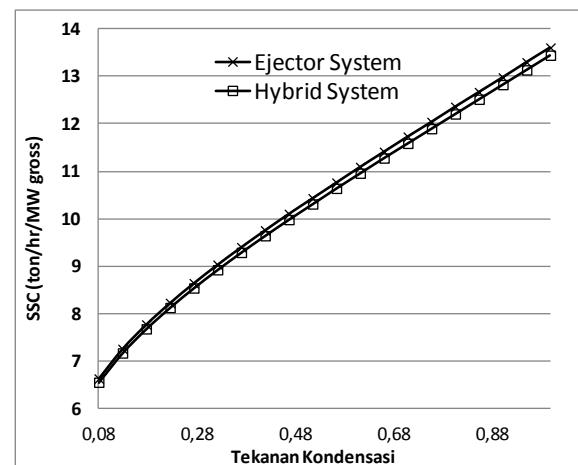
Selain itu, dengan semakin tingginya tekanan *motive steam* yang dalam hal ini sama dengan tekanan inlet turbin, *enthalpi drop* di turbin akan semakin besar sehingga laju alir steam yang

diperlukan untuk membangkitkan listrik pada kapasitas yang sama akan semakin kecil.

Gambar 5 merupakan grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh tekanan inlet turbin (tekanan *motive steam*) dengan SSC_{gross} dari masing-masing tipe GRS.

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa semakin besar tekanan inlet turbin, SSC yang diperlukan oleh masing-masing tipe GRS akan semakin kecil. Hal ini berarti konsumsi steam spesifik yang diperlukan semakin kecil. *Hybrid system* memiliki SSC yang lebih rendah daripada *ejector system*.

7.3 Pengaruh Tekanan Kondensor vs Specific Steam Consumption



Gambar 6. Grafik hubungan pengaruh tekanan kondensasi terhadap SSC_{gross} dari masing-masing tipe gas removal system

Semakin tinggi tekanan kondensasi, entalpi drop yang dihasilkan akan semakin kecil sehingga menyebabkan semakin besar laju alir steam yang diperlukan untuk mencapai kapasitas yang sama.

Gambar 6 merupakan grafik yang menggambarkan hubungan antara tekanan kondensasi dengan SSC yang diperlukan oleh masing-masing tipe *gas removal system*.

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa semakin besar tekanan kondensasi, SSC yang diperlukan oleh masing-masing tipe GRS akan semakin besar. Hal ini berarti dengan naiknya tekanan kondensasi, konsumsi steam spesifik yang diperlukan semakin banyak. *Hybrid system* memiliki SSC yang lebih rendah daripada *ejector system*.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, *ejector* membutuhkan *motive steam* untuk dapat membuang NCG sedangkan LRPV membutuhkan

daya untuk dapat menarik NCG. Untuk memenuhi kebutuhan daya LRVP tersebut, maka daya gross turbin yang dihasilkan oleh *hybrid system* harus lebih besar daripada *ejector system*. Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa SSC_{gross} yang diperlukan tipe *hybrid system* pada setiap range kandungan NCG, tekanan inlet turbin dan tekanan kondensor masih lebih rendah dari *ejector system*. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kebutuhan daya LRVP masih lebih kecil dari daya yang dapat dibangkitkan *motive steam* yang diperlukan *ejector* untuk membuang NCG pada jumlah yang sama.

Dengan melihat hasil analisa tersebut, dapat disimpulkan bahwa dari pendekatan termodynamika, secara umum *hybrid system* lebih efisien daripada *ejector system*.

8. KESIMPULAN

Dari analisa yang sudah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Pemilihan *gas removal system* (GRS) untuk mengeluarkan gas dari kondensor yang akan digunakan merupakan sesuatu yang sangat penting karena berkaitan dengan besarnya *net power output* yang dihasilkan dan biaya yang diperlukan untuk investasi sistem GRS dan biaya operasional PLTP.
- Dari hasil perhitungan, jumlah total steam yang dibutuhkan untuk membangkitkan *net power output* di PLTP Kamojang Unit 2 dan 3 sebesar 55 MW untuk *hybrid system* lebih kecil dari *ejector system*. Hal ini disebabkan karena *hybrid system* membutuhkan *motive steam* yang lebih sedikit untuk menarik NCG.
- Bila ditinjau dari besarnya jumlah penghematan steam yang digunakan, yaitu dibandingkan dengan *ejector system*, *hybrid system* dapat menghemat pemakaian steam sebesar 3.600 kg/hr atau setara dengan sekitar 550 kW.
- Kebalikannya, bila ditinjau dari besarnya pemakaian daya *auxiliary*, pemakaian daya *auxiliary* dari *hybrid system* lebih tinggi dibanding dengan *ejector system*. Selisih pemakaian daya *auxiliary* itu adalah sebesar 153 kW. Angka ini setara dengan besarnya daya listrik LRVP yang dipasang jika menggunakan *hybrid system*.
- Jika dibandingkan antara besarnya penghematan steam sebesar 550 kW dengan besarnya daya LRVP yang harus ditambahkan pada *hybrid*

system yang sebesar 153 kW, maka total steam yang dapat dihemat adalah setara dengan 397 kW. Bila diasumsikan 1 (satu) rumah memiliki daya listrik 1 kW (1000 W) maka besarnya penghematan ini bisa untuk mengaliri daya listrik 397 rumah. Angka ini merupakan jumlah yang relatif besar, mengingat masih ada rumah-rumah di Jawa khususnya di sekitar pembangkit yang belum teraliri listrik.

- Jika diasumsi pembangkit beroperasi selama 25 tahun (1 tahun operasi = 8760 jam) maka selama 25 tahun pemakaian *hybrid system* bisa menghemat sebesar 86.943 MWh. Bila menggunakan harga listrik PLTP sekarang sebesar 0,11 USD/kWh, maka penghematan tersebut setara dengan 9.563.730 USD.
- Dengan mempertimbangkan adanya penurunan produksi dari sumur-sumur di lapangan panas bumi Kamojang, penggunaan *hybrid system* dapat dikatakan memperpanjang umur sumur karena *gas removal system* ini lebih menghemat pemakaian steam. Dari hasil analisa penelitian sebelumnya, sumur-sumur di lapangan panas bumi Kamojang rata-rata memiliki penurunan produksi sebesar 5% tiap tahunnya.
- Dari hasil analisa sensitifitas, SSC_{gross} yang diperlukan tipe *hybrid system* pada setiap range kandungan NCG, tekanan inlet turbin dan tekanan kondensor masih lebih rendah dari *ejector system*. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kebutuhan daya LRVP masih lebih kecil dari daya yang dapat dibangkitkan *motive steam* yang diperlukan *ejector* untuk membuang NCG pada jumlah yang sama sehingga dapat disimpulkan bahwa dari pendekatan termodynamika, secara umum *hybrid system* lebih efisien daripada *ejector system*.

9. REFERENSI

Butzbach et al. (1993) : *Designing Steam Jet Vacuum Systems*, Chemical Engineering.

ESDM. (2012) : *Laporan Akhir Optimalisasi Pemanfaatan Sumur-Sumur Non Komersial di Lapangan Panas bumi Kamojang dan Lahendong, Unpublished Report*, Jakarta

Fabricators Inc. et al. (2011) : *Performance Standard for Liquid Ring Vacuum Pumps*, Heat Exchange Institute, Ohio.

Marza, S. (2011) : *Pengaruh Non-Condensable Gas (NCG) dalam Pemilihan Jenis Sistem Ekstraksi Gas pada Pembangkit Listrik Panas bumi*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Perry, R.H., and Green, D. (1984) : *Perry's Chemical Engineering Handbook*, McGraw-Hill, Inc., New York.

Reynolds et al. (2007) : *Standards for Steam Jet Vacuum Systems*, Heat Exchange Institute, Ohio.