

Analisis Tekno Ekonomi Aplikasi Sistem *Combined Cooling Heating and Power* (CCHP) Berbahan Bakar Gas Pada Bangunan Hotel

Muhammad Rizqi, Widodo Wahyu Purwanto

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 16424, Indonesia

Email: muhammad.rizqi78@gmail.com

Abstrak

Tingkat efisiensi penggunaan energi di Indonesia masih rendah, hal ini tentu menjadi masalah serius. Oleh karena itu harus ada upaya konservasi energi. Teknologi CCHP (*Combined Cooling, Heating and Power*) pada bangunan hotel merupakan salah satu jawaban dari tantangan tersebut yang dibahas dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan antara pemakaian energi pada sistem eksisting dengan sistem CCHP berdasarkan analisis teknis dan ekonomi pada hotel referensi. Selain itu, akan dianalisis mengenai skema pengaplikasian sistem CCHP, yaitu sistem CCHP dibangun sendiri oleh pihak hotel atau melakukan kerjasama dengan ESCO melalui model bisnis BOT selama 10 tahun. Sistem CCHP disimulasikan dengan perangkat lunak dengan basis desain *Following the Electric Load*. Hasilnya sistem CCHP mampu menghemat konsumsi energi primer sebesar 45,98% dibandingkan sistem eksisting. Pengaplikasian sistem CCHP pada hotel referensi dengan pembangunan sendiri akan memberikan keuntungan dengan nilai NPV Rp 8.333.856.481, IRR 25,93% dan *payback period* 9 tahun. Sementara jika pembangunan dilakukan melalui skema kerjasama dengan ESCO dengan tarif energi *flat* sebesar Rp 1.402,75/kWh, maka akan mendapatkan keuntungan dengan nilai NPV Rp 15.993.166.682, IRR 34,89% dan *payback period* 7 tahun. Emisi karbon dioksida (CO₂) dan nitrogen oksida (NO_x) yang dihasilkan oleh sistem CCHP lebih sedikit 39% dan 75% jika dibandingkan dengan sistem eksisting.

Techno Economic Analysis of Natural Gas Fired Combined Cooling Heating and Power (CCHP) System Application at Hotel Building

Abstract

Level of efficiency of energy use in Indonesia is still low, it is certainly a serious problem. Therefore, there must be energy conservation efforts. CCHP (Combined Cooling, Heating and Power) technology at the hotel's building is one of the answers to these challenges is discussed here. In this study a comparison between the energy consumption in existing systems with CCHP system based on technical and economic analysis on the hotel reference. In addition, the scheme will be analyzed regarding the application of CCHP system, the CCHP system built by the hotel or cooperating with ESCO through business model BOT for 10 years. CCHP system is simulated with software with design base *Following the Electric Load*. The result CCHP system is able to save primary energy consumption about 45.98% compared to the existing system. CCHP system application in a reference hotel with its own development will provide

benefit to the NPV value of Rp 8,333,856,481, IRR 25.93% and a payback period of 9 years. Meanwhile, if the construction was done through the cooperation scheme with ESCO with flat energy rate of Rp 1402.75 / kWh, it will benefit with a value of Rp 15,993,166,682 NPV, IRR 34.89% and a payback period of 7 years. Emissions of carbon dioxide (CO₂) and nitrogen oxides (NO_x) generated by CCHP system less 39% and 75% when compared with the existing system.

Key words: BOT; CCHP; emission; energy conservation; energy efficiency; ESCO; hotel, natural gas

Pendahuluan

Sampai saat ini, Indonesia masih menghadapi persoalan dalam mencapai target pembangunan bidang energi. Ketergantungan terhadap energi fosil terutama minyak bumi dalam pemenuhan konsumsi di dalam negeri masih tinggi yaitu sebesar 96% (minyak bumi 43%, gas 18% dan batubara 34%) dari total konsumsi energi (KESDM RI, 2015). Tingginya konsumsi energi fosil tersebut diakibatkan oleh kurangnya penggunaan teknologi yang efisien dan adanya subsidi sehingga harga energi menjadi murah dan sikap masyarakat cenderung boros dalam menggunakan energi. Di sisi lain, Indonesia menghadapi penurunan cadangan energi fosil yang terus terjadi dan belum dapat diimbangi dengan penemuan cadangan baru. Hal tersebut memaksa Indonesia menjadi negara importir minyak untuk memenuhi kebutuhannya saat ini. Hasil penelitian dari BPPT, pada tahun 2027 Indonesia akan menjadi *nett energy importer*, (bukan hanya *nett oil importer*) jika kita tetap menggunakan pola dan konsumsi energi seperti sekarang ini.

Total pasokan energi primer Indonesia tumbuh rata-rata sebesar 2,6% pertahun antara tahun 2002 sampai dengan tahun 2012. Selain itu konsumsi energi final Indonesia dari tahun ke tahun juga terus meningkat. Nilai intensitas energi Indonesia pada tahun 2012 mengindikasikan bahwa pemanfaatan energi di Indonesia masih belum produktif (IEA, 2015).

Permasalahan lain yang muncul dari penggunaan energi fosil yang tinggi yaitu timbulnya pencemaran lingkungan dari gas rumah kaca yang dapat menyebabkan pemanasan global yang memiliki dampak buruk bagi kehidupan. Oleh karena itu harus ada upaya percepatan gerakan penggunaan energi secara efisien, sejalan dengan peningkatan penggunaan sumber energi terbarukan dan pengendalian pencemaran udara.

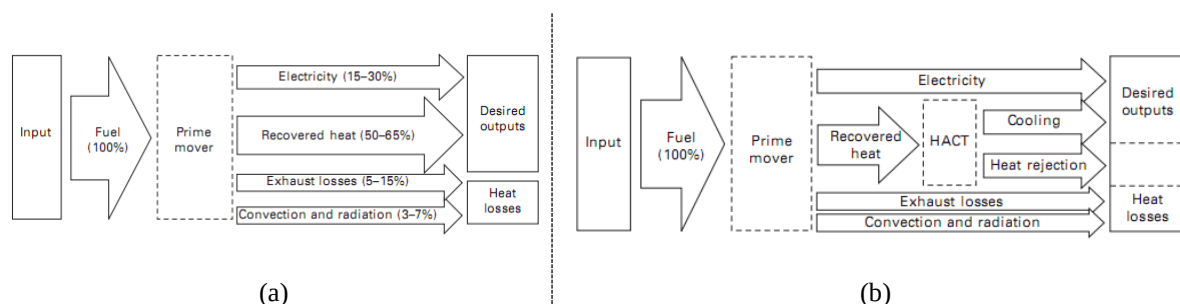
Dalam penelitian ini dibahas mengenai salah satu upaya untuk meningkatkan penggunaan energi secara efektif dan efisien serta mampu mencegah timbulnya pencemaran lingkungan,

yaitu dengan menggunakan teknologi sistem Trigenerasi/CCHP (*Combined Cooling Heating and Power*) pada sektor komersial terutama pada perhotelan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah sistem CCHP dapat diaplikasikan dengan baik pada bangunan hotel referensi ditinjau dari segi teknis dan ekonomi serta pemilihan model bisnis yang tepat untuk membangun sistem CCHP tersebut. Dari segi teknis, akan didapatkan perbandingan jumlah penghematan konsumsi energi primer yang didapat antara sistem CCHP dengan sistem eksisting (listrik dari jaringan PLN sebagai sumber energi) pada hotel referensi dan perbandingan emisi yang dihasilkan antara sistem CCHP dengan sistem eksisting. Sementara dari segi ekonomi akan didapatkan perbandingan antara biaya energi sistem CCHP dengan biaya energi sistem eksisting.

Tinjauan Teoritis

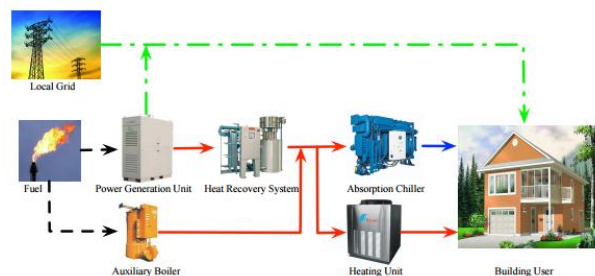
Sistem *combined cooling heating and power* (CCHP) yang disebut juga sistem trigenerasi merupakan gabungan dari sistem pembangkit daya dengan produk umumnya energi listrik, sistem pendingin yang menghasilkan energi dingin dan sistem pemanas (penukar kalor) yang menghasilkan energi panas atau uap yang dioperasikan dalam satu operasi secara simultan dengan maksud untuk menggunakan bahan bakar seefisien mungkin dibandingkan jika sistem-sistem tersebut beroperasi secara terpisah. Sistem CCHP adalah penyempurnaan sistem kogenerasi atau dikenal sebagai CHP (*Combined Heating and Power*), yaitu proses simultan untuk memproduksi energi listrik dan pemanfaatan limbah panas (Gambar 1). Sistem CHP sendiri telah banyak digunakan pada pembangkit listrik dan industri skala besar (Wu & Wang, 2006).



Gambar 1. Skema Aliran Energi dari Sebuah Sistem CHP (a) dan Sistem CCHP (b)

Tipikal sistem CCHP terdiri dari penggerak mula (*prime mover*), *power generation unit* (PGU), sebuah *heat recovery system*, sistem pemanas dan sistem pendingin (Gambar 2). PGU dalam skema ini berperan sebagai penghasil listrik, yang kemudian menghasilkan panas sebagai

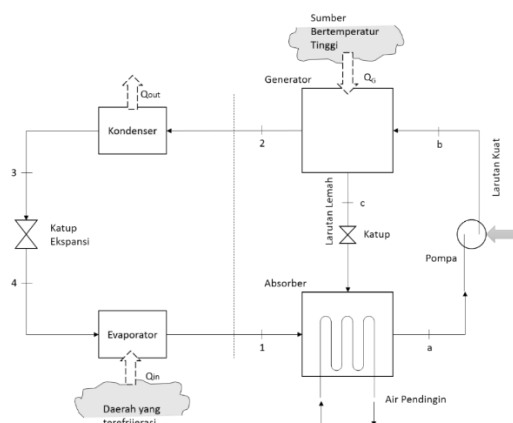
produk sampingnya (limbah panas). Limbah panas ini kemudian dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi panas dan energi dingin melalui unit pemanas (*heating unit*) dan unit pendingin (dalam hal ini menggunakan *absorption chiller*). Apabila PGU tidak mampu menghasilkan cukup energi listrik dan limbah panas, maka diperlukan adanya tambahan energi listrik dari luar (membeli listrik dari jaringan produsen listrik) untuk memenuhi kebutuhan listrik penggunaannya dan tambahan bahan bakar untuk unit pemanas tambahan (*auxiliary boiler*). Melalui cara inilah tiga jenis energi (listrik + panas + dingin) dapat dihasilkan secara simultan.



Gambar 2. Tipikal Konfigurasi Peralatan pada Sistem CCHP

Pada penelitian ini dipilih penggerak mula jenis turbin gas. Pemilihan jenis ini didasarkan pada tingginya *reliability*, kemudahan dalam instalasi karena tidak memerlukan area yang cukup luas, *power* yang dihasilkan oleh turbin gas cukup beragam mulai dari kapasitas kecil hingga besar, rendahnya biaya investasi dan *maintenance*, dan saat ini sudah terdapat teknologi pengontrol emisi NO_x pada turbin gas (Wu & Wang, 2006).

Dari beberapa jenis teknologi sistem pendingin, *absorption chiller* merupakan teknologi yang paling banyak digunakan dan telah dikomersialisasi secara luas pada sistem CCHP (Liu, 2012), oleh sebab itu dalam penelitian ini digunakan sistem pendingin jenis *absorption chiller*.



Gambar 3. Sistem Pendingin Absorpsi Amonia-Air Sederhana

Komponen – komponen utama pada sistem pendingin *absorption chiller* ditunjukkan secara sistemik pada Gambar 3. Pada kasus ini amonia merupakan refrijeran dan air merupakan absorben. Amonia air telah digunakan sejak lama dalam industri es sebelum ada teknologi kompresi uap (Herold, Radermacher, & Klein, 1996).

Amonia sangat larut dalam air, sehingga kelarutannya akan meningkat dengan berkurangnya temperatur pada tekanan tetap (ASHRAE, 2005). Di dalam sistem amonia akan berperan sebagai refrijeran yang akan mengambil panas dari lingkungan sedangkan air akan berperan sebagai absorben yang akan menyerap uap amonia kemudian menjadi larutan sehingga memungkinkan untuk disirkulasi oleh pompa. Tekanan uap larutan amonia air lebih rendah dibandingkan dengan tekanan amonia murni pada temperatur yang sama. Rasio volatilitas yang rendah dari amonia air menjadikan sistem beroperasi pada tekanan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sistem *lithium bromide*.

Pada sistem pemanas digunakan alat penukar kalor (*heat exchanger*) sebagai komponen utamanya. Limbah panas dari gas buang (*flue gas*) dengan temperatur tertentu dari hasil pembakaran pada sistem pembangkitan daya dipindahkan ke fluida bertemperatur lebih rendah dan dapat digunakan langsung sebagai produknya yang dapat berupa air panas atau uap untuk keperluan tertentu.

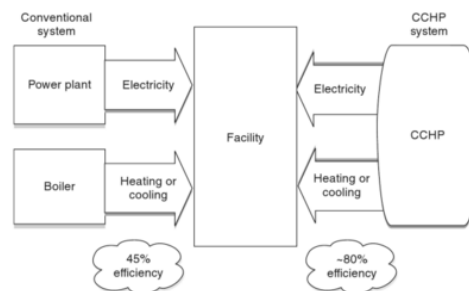
Secara umum, perkembangan sistem CCHP akhir-akhir ini berhubungan erat dengan kemunculan konsep pembangkit listrik terdistribusi (*distributed power generation*) dalam melakukan suplai energi. Sistem CCHP sebagai sistem pembangkit listrik terdistribusi yang tidak hanya menghasilkan energi listrik, tetapi juga energi panas dan energi dingin dapat diaplikasikan pada bangunan dengan berbagai ukuran atau bahkan satu sistem CCHP dapat dipakai untuk beberapa bangunan secara bersamaan. Pengaplikasian sistem CCHP dan ukurannya dapat dilihat pada Tabel 1 (Mago & Smith, 2015).

Tabel 1. Tipikal Kategori Penggunaan Sistem CCHP

Application	General Scale Terminology	System Size (Mwe)	Thermal Energy	Electrical Energy
Residential	Micro	0,001 - 0,05	Demand for heating in winter, cooling in summer	Likely to be sized for thermal load, with additional electricity required
Commercial	Small to Medium	0,05 - 1	Demand for heating and hot water in winter, cooling and possibly hot water in summer	Likely to be sized for thermal load, with additional electricity required
Industrial	Medium to Large	Jan-50	Demand for process steam likely, and significant cooling or refrigeration needs; may sell steam or chilled water to other sites	May meet all or a portion of the electrical needs of the facility; may sell electricity to other sites
District/Community	Large	>50	Steam or hot water sent to various buildings	May meet all or a portion of the electrical needs for these buildings

Jika dibandingkan dengan sistem pembangkit listrik konvensional, sistem CCHP memiliki beberapa keuntungan, yaitu :

- Menghasilkan tiga jenis energi dari satu sumber bahan bakar (energi listrik, energi dingin dan energi panas)
- Meningkatkan efisiensi penggunaan/konsumsi bahan bakar primer (Gambar 4)
- Mengurangi limbah panas yang terbuang percuma tanpa dimanfaatkan
- Mengurangi biaya operasional pembangkitan energi
- Meningkatkan *reliability* suplai energi karena konsep sistem CCHP sebagai pembangkit listrik terdistribusi
- Meningkatkan keamanan/ketahanan sektor energi
- Mengurangi emisi gas rumah kaca yang dapat menyebabkan *global warming*



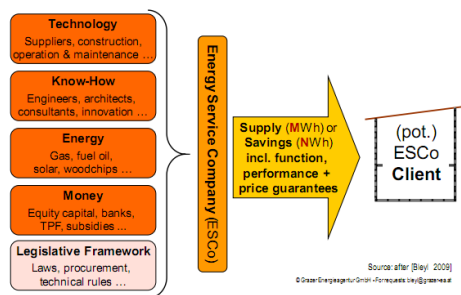
Gambar 4. Perbandingan Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Konvensional dengan Sistem CCHP

Pemanfaatan sistem CCHP sebagai pembangkit listrik terdistribusi pada suatu bangunan dapat dikontrol berdasarkan beberapa kemungkinan strategi operasional (Cho, Smith, & Mago, 2014), yaitu menyesuaikan kebutuhan energi listrik pada suatu bangunan (FEL/*Following the Electric Load*), menyesuaikan kebutuhan energi panas pada suatu bangunan (FTL/*Following the Thermal Load*) dan menyesuaikan kebutuhan energi minimum dari suatu bangunan (*Base Load Operation*).

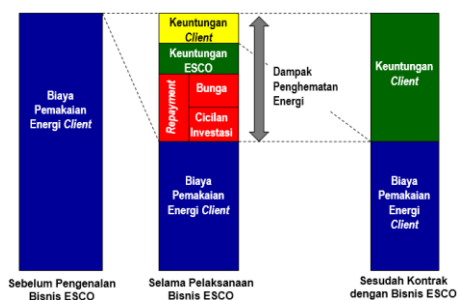
Namun dibalik berbagai keuntungan yang dimiliki sistem CCHP, upaya pengimplementasian efisiensi energi di sektor publik masih mengalami berbagai kendala. Selain diperlukannya kebijakan Pemerintah untuk mendukung kegiatan efisiensi energi, diperlukan pihak lain yang mendukung investasi efisiensi energi ini yang dapat menjembatani secara *business to business*, salah satunya adalah Perusahaan Jasa Energi/*Energy Services Company* (ESCO). ESCO adalah Perusahaan yang memberikan jasa untuk mendukung implementasi efisiensi dan konservasi energi secara terintegrasi di sektor industri dan bangunan gedung. Analogi ESCO di sektor

pekerjaan umum dan konstruksi adalah seperti perusahaan *Engineering, Procurement and Construction* (EPC).

Dalam melaksanakan pekerjaanya, ESCO melakukan kontrak kerjasama dengan perusahaan yang menjadi kliennya dengan pilihan beberapa skema model bisnis. Skema model bisnis dalam kontrak kerjasama yang biasa digunakan oleh ESCO disebut *Energy Contracting Models* (Gambar 5 dan Gambar 6) (Jan W. Bleyl, 2011). Pada jenis kontrak kerjasama *Energy Contracting* dalam penelitian ini yang akan dipilih yaitu BOT (*Build – Operate - Transfer*) atau bangun – kelola – alih milik.



Gambar 5. *Energy Contracting* : Komponen dari Paket Servis Suatu ESCO



Gambar 6. Skema Model Bisnis Dalam Mendukung Implementasi Efisiensi Energi di Sektor Publik

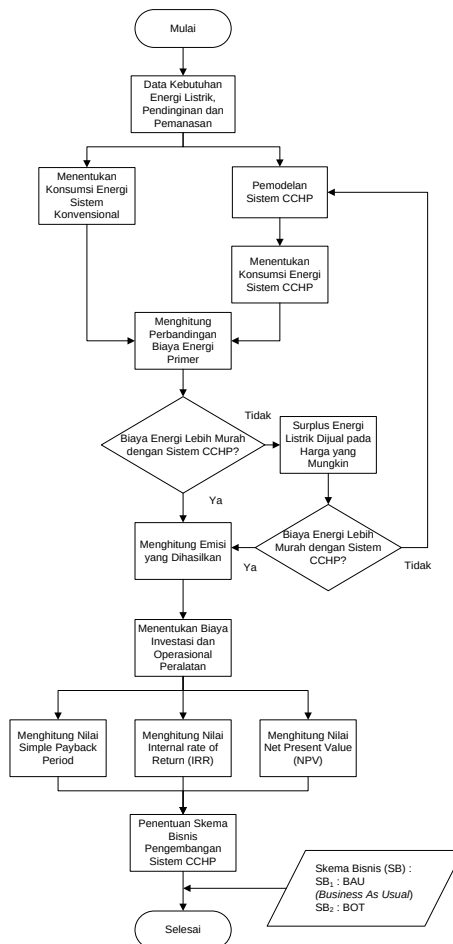
BOT merupakan salah satu kerjasama antara pemilik dengan *investor* (biasanya antara pemerintah dengan swasta) dalam pengadaan suatu fasilitas. Fasilitas ini dapat berupa properti komersial ataupun infrastruktur. Dalam skema pengadaan ini suatu badan yang disebut *investor* atau promotor, diberi konsesi atas penggunaan suatu hak (biasanya berupa lahan), dan bertanggungjawab untuk membangun, membiayai, mengoperasikan dan memelihara fasilitas tersebut dalam jangka waktu konsesi sebelum akhirnya menyerahkan pada pemilik (pemberi konsesi) tanpa biaya sama sekali (Hayusudina, 2008). Perbandingan keuntungan dan kelemahan pembangunan fasilitas secara bot dibandingkan dengan pembiayaan sendiri dapat dilihat pada Tabel 2 (Walker & Smith, 1995).

Tabel 2. Perbandingan Keuntungan dan Kelemahan Pembangunan Fasilitas Secara BOT Dibandingkan dengan Pembiayaan Sendiri

<i>Decision/Success Criteria</i>	Pembangunan dengan Pembiayaan Sendiri	Pembangunan dengan Kerjasama Secara BOT
<i>Investmen Costs</i>	100%	0 – 100%
<i>Economic and Technical Risks</i>	Owner	ESCO
<i>Facility with Optimal Function and Performance</i>	Hanya dengan komitmen yang kuat dari owner	Menjadi perhatian utama pihak ESCO
<i>Performance Warranties</i>	Tidak	Ya
<i>Guaranteed Operation</i>	Hanya selama periode garansi	Selama masa kontrak kerjasama
<i>Cost Limit</i>	Tidak	Ya
<i>Service Package</i>	Tidak	Ya

Metode Penelitian

Tahapan penelitian yang digunakan dalam menganalisis sistem CCHP pada bangunan hotel dan strategi pengembangannya meliputi tahap-tahap yang diilustrasikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

Tahapan analisis tersebut meliputi dua skenario utama, yaitu :

1. Analisis Aspek Teknis dan Lingkungan pada Sistem CCHP
2. Analisis Aspek Ekonomi dan Skema Bisnis Pembangunan Sistem CCHP.

1. Analisis Aspek Teknis dan Lingkungan pada Sistem CCHP

Langkah awal yaitu mendapatkan kebutuhan energi listrik, pendingin dan pemanas eksisting pada hotel yang akan dijadikan referensi pengaplikasian sistem CCHP. Selanjutnya melakukan pemodelan konfigurasi peralatan pada sistem CCHP seperti pada Gambar 2. Konfigurasi sistem CCHP itu kemudian dianalisis mengenai seberapa besar konsumsi energi yang dipakai dan

seberapa banyak energi yang dihasilkan dengan melakukan simulasi menggunakan perangkat lunak berbasis analisis termodinamika dan konservasi energi.

Desain sistem CCHP pada penelitian ini akan menggunakan nilai maksimum pemakaian energi listrik (*Following the Electrical Load/FEL*) pada hotel referensi. Kapasitas penggerak mula dapat dilihat pada *database gas turbine* yang ada dalam perangkat lunak. Dari *database gas turbine* kemudian didapatkan *heat rate*, temperatur keluar dari turbin gas, *pressure ratio*, hingga jumlah energi yang dihasilkan oleh penggerak mula. Sedangkan spesifikasi *absorption chiller* dalam desain CCHP adalah seperti pada Tabel 3 (ASHRAE, 2005).

Tabel 3. Asumsi Desain *Absorption Chiller* pada Sistem CCHP

Assumptions
• <i>Steady state</i> • <i>No pressure changes except through flow restrictors and pump</i> • <i>Flow restrictors are adiabatic</i> • <i>Pump is isentropic</i> • <i>No liquid carryover from evaporator to absorber</i> • <i>Vapor leaving generator is at equilibrium temperature of entering solution stream</i>

Pemodelan sistem CCHP :

a. Lingkungan

Parameter – parameter lingkungan antara lain adalah :

Temperatur (T_o) = 25 °C

Tekanan (P_o) = 1,013 bar

b. Sistem Pembangkitan Daya Listrik

Perangkat lunak berbasis analisis termodinamika dan konservasi energi yang dipakai dalam melakukan analisis disini memiliki data berbagai macam dan merk turbin gas dari daya 200 kW hingga 300.000 kW dan dapat dipilih salah satunya untuk proses perhitungan selanjutnya. Pemodelan pada penelitian ini menggunakan turbin gas dengan *power rating* 815 kW dengan rasio tekanan 8.8.

c. Sistem Pendingin

- *Generator (Reboiler)*

T_{out1} = Temperatur keluaran campuran = 120°C

ΔT_L = Selisih temperatur campuran masuk dan gas asap keluar = 10,02°C

- Kondenser

ΔT_L = Selisih temperatur air pendingin masuk dengan amoniak murni keluar = 18,99°C

- Katup Ekspansi

P_{out} = Tekanan keluar amoniak = 2,83 bar

ΔH = Entalpi drop = 0 (asumsi proses ekspansi ideal)

- Absorber

ΔT_H = Selisih temperatur air pendingin keluar dengan amoniak masuk = 15°C

- Regenerator

ΔT_L = Selisih temperatur campuran masuk dari absorber dengan campuran masuk dari generator = 35,82°C

d. Sistem Pemanas

- Alat Penukar Kalor

T_{out2} = Temperatur gas asap keluar alat penukar kalor = 131,28°C

- *Heat Sink*

P_{out} = Tekanan air sebelum pompa = 1,013 bar

T_{in} = Temperatur air panas = 65°C

T_{out} = Temperatur air dingin = 25°C

- Pompa

P_{out} = Tekanan air panas = 5 bar

$\eta_{mekanis}$ = 0,99

$\eta_{isentropi}$ = 0,65

e. *Stack*

P_{in} = Tekanan gas asap masuk stack = 1,013 bar

Dari hasil simulasi pemodelan seperti pada gambar di atas akan didapatkan :

Total energi listrik listrik yang dihasilkan oleh penggerak mula :

$$E_L = Fuel (\dot{Q}_f) - Waste Heat \quad (1)$$

Efisiensi penggerak mula :

$$\eta_{PGU} = \frac{E_L}{Fuel (\dot{Q}_f)} \quad (2)$$

Nilai COP (*Coefficient of Performance*) pada *absorption chiller* :

$$COP_{ch} = \frac{Q_c}{Q_{ch}} \quad (3)$$

Total energi listrik yang disuplai ke bangunan (apabila digunakan secara paralel antara sistem CCHP dengan listrik konvensional dari jaringan/*grid*) :

$$E_{building} = E_{grid} + E_L \quad (4)$$

Konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan untuk *auxiliary boiler* :

$$F_{boiler} = \frac{Q_{boiler}}{\eta_{boiler}} \quad (5)$$

hal ini hanya dibutuhkan pada saat produksi *heat* dari *boiler* tidak mampu mencukupi kebutuhan energi panas pada bangunan.

Langkah selanjutnya yaitu menghitung efisiensi energi pada sistem CCHP atau biasa juga disebut efisiensi termal. Total efisiensi sistem dapat dinyatakan dengan persamaan (6).

$$\eta_0 = \frac{\dot{W}_E + \sum \dot{Q}_{TH}}{\dot{Q}_{Fuel}} \quad (6)$$

Setelah dilakukan simulasi dan didapatkan konsumsi energi yang dipakai oleh konfigurasi sistem CCHP tersebut, selanjutnya dapat dilakukan analisis terkait penghematan penggunaan energi utamanya (*primary energy consumption savings, PEC_s*) dengan menggunakan persamaan (7).

$$PEC_s = \sum_{i=1}^{8760} \frac{(F_{m_{ref}} PF_{NG} + E_{grid_{ref}} PF_{elec}) - (F_{m_i} PF_{NG} + E_{grid_i} PF_{elec})}{(F_{m_{ref}} PF_{NG} + E_{grid_{ref}} PF_{elec})} \quad (7)$$

Setelah melakukan perbandingan terhadap PEC pada analisis teknis untuk konfigurasi sistem CCHP, tahap selanjutnya dilakukan analisis terhadap emisi yang dibuang ke lingkungan dari konfigurasi sistem CCHP tadi. Kemudian dilakukan perbandingan terhadap emisi yang dihasilkan oleh sistem eksisting. Emisi yang dibahas dalam analisis ini yaitu karbon dioksida ($Em_{s,CD}$), dan nitrogen oksida ($Em_{s,NX}$). Persamaan dalam melakukan perhitungan emisi yang dihasilkan yaitu similar untuk ketiga jenis emisi tersebut seperti pada persamaan (8) sampai (10).

$$Em_{s,g} = \sum_{i=1}^{8760} \frac{Em_{conv} - Em_{CCHP}}{Em_{conv}} \quad (8)$$

$$Em_{CCHP} = F_m EF_{NG,g} + E_{grid} EF_{elec,g} \quad (9)$$

$$Em_{conv} = F_{m_{conv}} EF_{NG,g} + E_{grid_{conv}} EF_{elec,g} \quad (10)$$

2. Analisis Aspek Ekonomi dan Skema Bisnis Pembangunan Sistem CCHP

Tahap selanjutnya yaitu akan dilakukan perbandingan keekonomian antara sistem CCHP dengan sistem eksisting (listrik dari jaringan PLN/konvensional) pada hotel referensi dan analisis skema bisnis pembangunan sistem CCHP dengan metode *cash flow nalysis*. Akan ada dua skema pembangunan sistem CCHP yang akan dianalisis dalam penelitian ini, yaitu :

i. Pembangunan Sendiri

Pada skema pembangunan ini, pemilik hotel referensi membangun sendiri seluruh fasilitas sistem CCHP dengan modal pinjaman 100% dari bank. Pada proses pembangunan awal akan melibatkan pihak ketiga seperti kontraktor dan konsultan pembangunan. Seluruh kegiatan operasional dan pemeliharaan sistem CCHP dilakukan sendiri oleh pemilik hotel hingga umur pakai sistem CCHP berakhir.

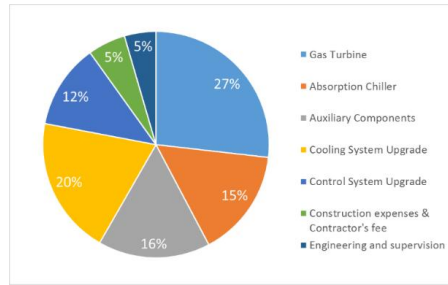
ii. Kerjasama dengan ESCO melalui model bisnis BOT

Untuk skema pembangunan ini, pemilik hotel referensi bekerjasama dengan ESCO melalui model bisnis BOT dengan jangka waktu konsesi selama 10 tahun. Sesuai dengan namanya, BOT (*Build-Operate-Transfer*), maka selama proses kerjasama tersebut ESCO bertanggung jawab penuh atas segala biaya investasi serta operasional dan pemeliharaan sistem CCHP. Pemilik hotel hanya akan membayar tarif energi sesuai dengan perjanjian yang ditawarkan oleh ESCO. Kemudian setelah masa kerjasama berakhir, ESCO wajib menyerahkan sistem CCHP tersebut kepada pihak hotel sebagai asset baru mereka. Modal pembangunan sistem CCHP dari ESCO diasumsikan juga 100% berasal dari bank dengan jangka waktu pengembalian pinjaman selama 5 tahun.

Komponen biaya investasi (*capital expenditure*) dan biaya operasional (*operational expenditure*) yang digunakan dalam melakukan analisis keekonomian disini dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 8.

Tabel 4. Komponen Biaya Capex dan Opex Sistem CCHP

Capital Expenditure		
a. Equipment :		
Gas Turbine (815 kW)	Rp	7.551.967.500,00
Absorption Chiller (1112 kW)	Rp	4.357.003.500,00
Auxiliary Components	Rp	4.516.020.762,63
Cooling System Upgrade	Rp	5.548.004.854,84
Control System Upgrade	Rp	3.409.632.676,83
Total Direct Cost	Rp	25.382.629.294,30
b. Construction expenses & Contractor's fee (6% of direct cost)	Rp	1.522.957.757,66
c. Engineering and supervision (5% of direct cost)	Rp	1.269.131.464,71
- Total investment cost (a+b+c)	Rp	28.174.718.516,67
Operational Expenditure		
- Gas Turbine O&M cost	108,000	Rp/kWh
- Annual Gas Turbine Operations and Maintenance Cost	733.378.037,04	Rp/year
- Absorption Chiller O&M cost	108,000	Rp/kW
- Annual Absorption Chiller Operations and Maintenance Cost	1.442.318.400,00	Rp/year
- Staff, Administration	18,990	\$/kWh
- Annual Administration Cost	128.952.304,85	Rp/year
- Total O&M cost	2.304.648.741,89	Rp/year
- Annual Operations and Maintenance Adjustor	6%	
Fuel Cost		
- Heat Rate Gas Turbine Generator	14.656,90	kJ/kWh
- Natural Gas Price	135.000	Rp/MMBTU



Gambar 8. Perbandingan Komponen Biaya Investasi Sistem CCHP

Selain itu, terdapat *variable input* yang akan digunakan dalam melakukan *cash flow analysis* seperti pada Tabel 5. Disini diasumsikan tarif dasar listrik untuk bangunan hotel berada pada golongan tarif B-3 dengan biaya pemakaian LWBP adalah sebesar Rp 1.034,09/kWh dan biaya pemakaian WBP adalah Rp 2.068,18/kWh (nilai faktor K = 2).

Tabel 5. Variabel Input dalam Melakukan Analisis Cash Flow

Summarize the input variables		
- Electricity price		
LWBP	1.034,09	Rp/kWh
K factor	2	
WBP	2068,1800	Rp/kWh
- Operational Hours (97% from annual hours)	8497,2	h/year
- Project Life	20	years
- MARR	15%	
- Inflation rate	6%	
- Annual Production Degradation	0,25%	
- Depreciation Life	20	years
- Salvage Value : % from Capital Cost	10%	
- Depreciation rate	5%	
- Financing Assumption : % Finance w/ Loan	100%	
- Interest	12%	
- Loan Period	10	years
- Tax (Pajak Penerangan Jalan) : Dihasilkan sendiri	1,5%	
- Tax (Pajak Penerangan Jalan) : Berasal dari Sumber Lain	3,0%	

Perhitungan tarif pajak dalam melakukan analisis keekonomian ini akan disesuaikan dengan peraturan daerah dimana hotel referensi berada yaitu Peraturan Daerah Provinsi DKI Jakarta Nomor 15 Tahun 2010 tentang Pajak Penerangan Jalan. Untuk sistem CCHP yang dibangun sendiri, maka tarif pajak penerangan jalan ditetapkan sebesar 1,5%. Sementara untuk sistem CCHP yang dibangun oleh ESCO maka selama 10 tahun proses BOT tarif pajak penerangan jalan ditetapkan sebesar 2,4%. Setelah proses BOT selesai, maka tarif pajak penerangan jalan akan berubah menjadi 1,5% dikarenakan asset sistem CCHP sudah mejadi asset hotel referensi.

Biaya total operasional tahunan (*Annual Operating Cost – AOC*) dari sistem CCHP dan sistem eksisting dapat dinyatakan dengan penjumlahan biaya yang dikeluarkan selama setahun untuk pemakaian bahan bakar dan energi listrik yang terukur. Selain itu, untuk sistem CCHP harus dihitung pula biaya operasional dan pemeliharannya dengan menggunakan persamaan (11) dan (12).

$$AOC_{PM} = \sum_{i=1}^{8760} F_m C_{NG} + E_{grid} C_{elec} + P_{PM} C_{OM} \quad (11)$$

$$AOC_{conv} = \sum_{i=1}^{8760} F_{m_{conv}} C_{NG} + E_{grid_{conv}} C_{elec} \quad (12)$$

Dari kedua persamaan (11) dan (12) tersebut, kita dapat menghitung penghematan biaya selama setahun (*annual savings*). Penghematan biaya selama setahun didapat dari perbedaan biaya operasional tahunan sistem CCHP dengan biaya operasional tahunan sistem energi konvensional seperti pada persamaan (13).

$$AS = AOC_{conv} - AOC_{PM} \quad (13)$$

Setelah didapatkan penghematan biaya selama setahun dan diketahui nilai investasi sistem CCHP, dengan demikian dapat dihitung pula *simple payback period* (SPP) sesuai dengan persamaan (14).

$$SPP = \frac{IC}{AS} \quad (14)$$

Untuk perhitungan indikator keekonomian yang lebih presisi dari penggunaan sistem CCHP ini dapat pula dilakukan dengan analisa *discounted cash flow*. Yaitu dengan menghitung nilai *internal rate of return* (IRR) dan mengevaluasi nilai *Net Present Value* (NPV) untuk sistem CCHP. Perhitungan kedua indikator itu dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (15) dan (16).

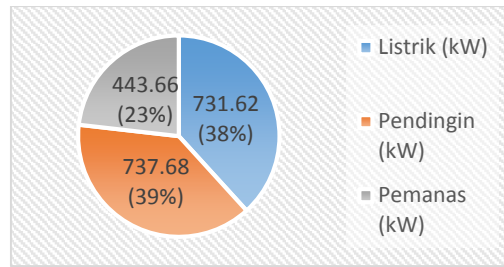
$$IC = AS \left[\frac{(1+IRR)^{LPM}-1}{IRR(1+IRR)^{LPM}} \right] \quad (15)$$

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{AS}{(1+i)^n} - IC \quad (16)$$

Setelah secara teknis dan keekonomian penggunaan sistem CCHP dapat diterima, maka tahap selanjutnya adalah menyusun strategi skema pembangunan sehingga sistem CCHP ini dapat diaplikasikan secara massal guna mencapai tujuan pemerintah dalam mengurangi emisi gas rumah kaca serta peranan penting konservasi energi dalam mencapai sasaran kebijakan energi nasional seperti yang tercantum pada PP No. 79 Tahun 2014.

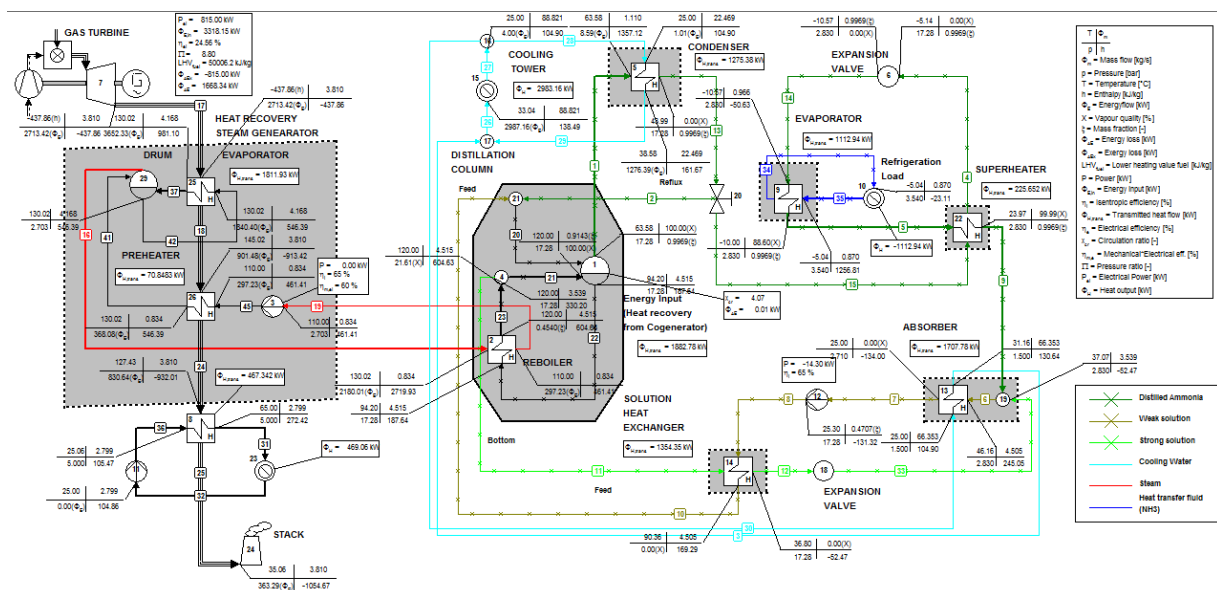
Pembahasan

Distribusi beban total untuk hotel referensi berdasarkan data yang didapatkan adalah sebagai berikut.

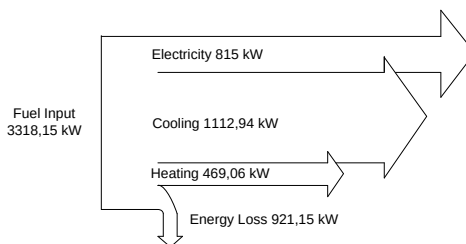


Gambar 9. Distribusi Beban Total Hotel Referensi

Hasil pemodelan sistem CCHP dengan menggunakan perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11 di bawah ini.

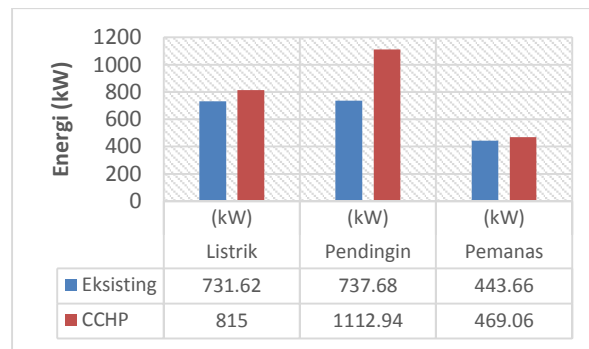


Gambar 10. Perhitungan Model Sistem CCHP Menggunakan Perangkat Lunak



Gambar 11. Sankey Diagram pada Pemodelan Sistem CCHP

Setelah didapatkan energi hasil simulasi sistem CCHP maka dapat dilakukan perbandingan antara energi yang dihasilkan dari simulasi sistem CCHP dengan kebutuhan energi hotel referensi. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Perbandingan Kebutuhan Energi Hotel Referensi dengan Energi yang Dihasilkan Sistem CCHP

Disini terlihat bahwa kebutuhan energi hotel referensi dapat terpenuhi seluruhnya. Energi listrik yang dihasilkan dari sistem CCHP 11,4% lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan energi listrik pada sistem eksisting hotel referensi. Sedangkan energi dingin yang dihasilkan sistem CCHP 50,87% lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan energi dingin pada sistem eksisting hotel referensi. Begitu juga untuk energi panas, sistem CCHP mampu menghasilkan energi panas 5,73% lebih banyak dari energi panas yang dibutuhkan pada sistem eksisting hotel referensi.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan perangkat lunak diperoleh efisiensi sistem CCHP. Pada pemodelan sistem CCHP dalam penelitian ini digunakan tiga unit pompa yang menyebabkan adanya konsumsi daya tambahan, yaitu sebesar 16,04 kW. Nilai inilah yang akan menyebabkan pengurangan *gross efficiency* pada sistem CCHP (24,56%) menjadi *net efficiency* (24,08%). Hasil simulasi juga menunjukkan pemanfaatan gas buang turbin menjadi energi panas yang dimanfaatkan untuk peralatan sistem pendingin dan sistem pemanas memiliki nilai persentase yang cukup tinggi yaitu sebesar 47,68%. Dengan demikian total efisiensi sistem CCHP adalah 71,76%.

Penghematan konsumsi energi (*primary energy consumption savings, PEC_s*) pada sistem CCHP menunjukkan bahwa nilai PECs sistem CCHP dalam penelitian ini adalah sebesar 0,4598. Artinya sistem CCHP memiliki penghematan konsumsi energi sebesar 45,98% jika dibandingkan dengan konsumsi energi dari sistem eksisting.

Berdasarkan persamaan (8) – (10) maka pembangkit listrik sistem konvensional menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) 39% lebih banyak dibandingkan dengan sistem CCHP. Begitu juga dengan emisi nitrogen oksida (NO_x) yang dihasilkan oleh sistem konvensional, 75% lebih banyak dibandingkan dengan emisi nitrogen oksida yang dihasilkan oleh sistem CCHP.

Secara keekonomian pembangunan sistem CCHP pada hotel referensi dengan skema pembangunan sendiri oleh pihak hotel referensi dan dengan skema skema pembangunan oleh pihak ESCO melalui kerjasama BOT dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. Perbandingan Keekonomian Pembangunan Sistem CCHP dengan Dilakukan oleh Pihak Hotel Sendiri dan Kerjasama BOT dengan ESCO

No.	Parameter	Pembangunan Sendiri	BOT dengan ESCO	ESCO
1	NPV	Rp8.333.856.481	Rp15.993.166.682	Rp8.469.750.250
2	IRR	25,93%	34,89%	45,39%
3	Payback Period	Tahun ke-9	Tahun ke-7	Tahun ke-6

Dari tabel perbandingan di atas terlihat bahwa pembangunan Sistem CCHP di hotel referensi akan lebih menguntungkan jika dibangun dengan skema kerjasama secara BOT dengan ESCO. Dengan skema ini, dari sisi ESCO pun akan mengalami keuntungan sebesar 30,06% dari biaya investasi yang dikeluarkan pada awal pembangunan. Semakin besar margin keuntungan dari pihak ESCO, maka akan semakin kecil keuntungan yang diraih oleh pihak kliennya dalam hal ini hotel. Meskipun tarif energi yang ditawarkan oleh pihak ESCO selama 10 tahun masa konsesi BOT, tetapi hal itu akan tetap memberikan keuntungan berupa penghematan biaya energi hotel sebesar hampir dua kalinya dibandingkan jika tetap menggunakan energi listrik sistem eksisting.

Pembangunan sistem CCHP sendiri oleh pihak hotel juga akan memberikan keuntungan. Namun pembangunan sistem CCHP sendiri oleh pihak hotel ini perlu dipertimbangkan secara matang oleh pemilik hotel, karena pembangunan sendiri sistem CCHP oleh pemilik hotel memiliki beberapa risiko, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Kesimpulan

A. Aspek Teknis

1. Sistem CCHP mampu memenuhi kebutuhan energi hotel referensi dengan *output* :
 - Energi listrik sebesar 815 kW (11,4% lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan energi listrik eksisting pada hotel referensi, yaitu 731,62 kW)
 - Energi dingin sebesar 1.112,94 kW (50,87% lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan energi dingin eksisting pada hotel referensi, yaitu 737,68 kW)
 - Energi panas sebesar 468,87 kW (5,68% lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan energi panas eksisting pada hotel referensi, yaitu 443,66 kW)

2. Penggunaan sistem CCHP dapat meningkatkan efisiensi energi. Efisiensi energi pada sistem CCHP secara total adalah 71,76%, dengan efisiensi energi listriknya sebesar 24,08% dan nilai COP *absorption chiller* sebesar 0,59.
3. Penggunaan sistem CCHP dapat menghemat konsumsi energi primer (*primary energy consumption savings, PEC_s*) sebesar 45,98% jika dibandingkan dengan konsumsi energi dari sistem eksisting pada hotel referensi.
4. Sistem CCHP menghasilkan emisi CO₂ dan NO_x yang lebih sedikit dibandingkan dengan sistem eksisting yang dipakai hotel referensi. Emisi CO₂ yang dihasilkan sistem CCHP sebesar 5.261,13 ton/tahun sedangkan pada sistem kelistrikan eksisting menghasilkan Emisi CO₂ sebesar 8.692,02 ton/tahun. Sementara untuk emisi NO_x yang dihasilkan sistem CCHP sebesar 24,82 kg/tahun dan pada sistem kelistrikan eksisting menghasilkan Emisi NO_x sebesar 98,7 kg/tahun.

B. Aspek Ekonomi

1. Penggunaan sistem CCHP dapat menghemat pengeluaran biaya energi oleh pihak hotel referensi yang terus meningkat setiap tahunnya dibandingkan jika menggunakan sistem eksisting.
2. Pengaplikasian sistem CCHP pada hotel referensi dengan pembangunan sendiri akan memberikan keuntungan dari segi ekonomi dengan nilai NPV Rp 8.333.856.481, IRR 25,93% dan *payback period* 9 tahun. Sementara jika pembangunan dilakukan melalui skema kerjasama BOT dengan ESCO, dengan tarif energi *flat* sebesar Rp 1.402,75/kWh, maka akan mendapatkan keuntungan sebesar Rp 15.993.166.682, IRR 34,89% dan *payback period* 7 tahun.
3. Pembangunan sistem CCHP dengan skema pembangunan melalui kerjasama BOT dengan ESCO adalah pilihan yang lebih menguntungkan jika dibandingkan membangun sistem CCHP sendiri. Hal ini juga cocok untuk mempercepat pengaplikasian sistem CCHP secara massal dalam rangka melakukan konservasi energi.

Saran

1. Data kebutuhan energi panas yang dibutuhkan hotel referensi pada penelitian masih menggunakan data dari literatur. Sebaiknya digunakan data yang diperoleh langsung dari narasumber hotel.

2. Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP di Jakarta diasumsikan bernilai 2. Agar penelitian menghasilkan analisis yang lebih presisi maka perlu dilakukan analisa tren nilai faktor tersebut.
3. Pada penelitian ini hanya dilakukan perbandingan antara sistem CCHP dengan sistem kelistrikan eksisting (konvensional melalui jaringan listrik PLN) pada bangunan hotel dengan kebutuhan energi total sebesar 1,9 MW. Untuk mengetahui sejauh mana keuntungan sistem CCHP dibandingkan dengan sistem kelistrikan konvensional (melalui jaringan listrik) maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan kasus kebutuhan energi yang berbeda-beda.

Daftar Referensi

- ASHRAE. (2005). *ASHRAE Handbook*. Atlanta: ASHRAE.
- BPPT. (2013). *Perencanaan Efisiensi dan Elastisitas Energi 2013 Roadmap Teknologi Efisiensi Energi pada Industri Baja*. Jakarta.
- Cho, H., Smith, A. D., & Mago, P. (2014). Combined Cooling, Heating and Power : A Review of Performance Improvement and Optimization. *Applied Energy* 136, 168-185.
- Hayusudina, N. D. (2008). *Kajian Pemilihan Investasi Proyek Bangunan Gedung dengan Skema Build - Operate - Transfer (BOT)*. Depok: Universitas Indonesia.
- Herold, K., Radermacher, R., & Klein, S. (1996). *Absorption Chillers and Heat Pumps*. Boca Raton: CRC Press Inc.
- IEA. (2015). *Kebijakan Energi Luar Negara IEA : Indonesia 2015*. Paris: International Energy Agency (IEA).
- Jan W. Bleyl, A. R. (2011). *The New Integrated Energy Contracting Model to Combine Energy Efficiency and Renewable Supply in Large Buildings and Industry*. Paris: International Energy Agency.
- KESDM RI. (2015). *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia*. Jakarta.
- Lasman, F. (2011). Penerapan & Perkembangan ESCO serta Peran APKENINDO dalam Konservasi ENergi. *Seminar Energi Nasional - UNS Solo* . Solo.
- Liu, M. (2012). *Energy Efficient Operation Strategy Design for the Combined Cooling, Heating and Power System*. Victoria: University of Victoria.
- Mago, P. J., & Smith, A. D. (2015). Combined Cooling, Heating and Power (CCHP) Systems. In J. Yan, *Handbook of Clean Energy Systems, 6 Volume Set* (pp. 1197-1211). John Wiley and Sons.

Wu, D., & Wang, R. (2006). Combined Cooling, Heating and Power : A Review. *Progress in Energy and Combustion Science* 32, 459-495.

Simbol

F_m	Bahan bakar yang dibutuhkan untuk penggerak mula dan <i>boiler</i>
C_{NG}	<i>Cost of natural gas</i> (\$/BTU)
C_{elect}	<i>Cost of electric per kWh</i>
E_{grid}	Energi listrik yang berasal dari jaringan (kW)
P_{PM}	<i>Prime mover rate capacity</i>
C_{OM}	<i>Cost of Operation and Maintenance</i> (Rp)
L_{PM}	<i>Lifetime</i> dari penggerak mula (tahun)
H	<i>hour</i>
E_m	Emisi yang dihasilkan
Q_f	Laju energi termal pada generator
E_L	Daya listrik dari sistem
Q_L	Energi <i>Output</i> dari sistem pendingin
Q_{gen}	Energi <i>Output</i> dari generator
W_{pump}	Kerja dari pompa
Q	Laju perpindahan panas (W)
U	Koefisien perpindahan panas ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)
A	Luas area perpindahan panas (m^2)
ΔT_{lmtd}	<i>Log Mean Temperature Difference</i> ($^\circ C$)
C_p	<i>Specific heat capacity</i>
$\dot{\eta}_0$	Total efisiensi dari sistem CCHP
$\dot{W}_E$	Jumlah total <i>net power</i> yang dihasilkan sistem CCHP
$\sum \dot{Q}_{TH}$	Jumlah total termal yang dihasilkan sistem CCHP
$\dot{Q}_{Fuel}$	Jumlah pemakaian bahan bakar
$\dot{m}$	Laju massa (kg/detik)
CV	Nilai kalor (kJ/liter)
PF_{elec}	<i>primary energy conversion factor</i> untuk energi listrik
PF_{NG}	<i>primary energy conversion factor</i> untuk <i>natural gas</i>
V	<i>Volt</i>
P	<i>Pressure/Tekanan</i>
T	<i>Temperatur</i>
$\eta_{th,Brayton}$	Efisiensi termal siklus Brayton

Subscript

Conv	<i>Conventional</i>
NG	<i>Natural gas</i>
Grid	Jaringan listrik
Elec	Listrik konvensional
OM	<i>Operation & Maintenance</i>
s	<i>saving/penghematan</i>
CD	Karbon Dioksida
NX	Nitrogen Oksida