

## BAB 4 PERHITUNGAN BIAYA ENERGI

### 4.1 BIAYA ENERGI HOTEL

Hotel “X” saat ini menggunakan sumber energi untuk penerangan, alat-alat elektronik dan lainnya dari listrik PLN, sedangkan untuk pemanasan menggunakan boiler berbahan bakar solar. Jadi total biaya yang dikeluarkan rata-rata tiap bulannya adalah biaya untuk membayar tagihan listrik dan untuk membeli bahan bakar solar. Adapun biaya yang harus dikeluarkan rata-rata tiap bulannya adalah sebagai berikut:

**Tabel IV.1.** Biaya energi listrik dan bahan bakar solar tiap bulan.

BULAN	LISTRIK (Rp)		SOLAR (Rp)
	HOTEL	CLUB	
JAN	276.196.020	168.492.930	131.332.194
FEB	241.816.875	145.687.940	71.080.060
MAR	277.608.805	161.986.525	162.458.652
APR	276.003.105	154.915.665	133.251.691
MAY	286.347.155	114.203.310	141.672.336
JUN	273.289.895	86.607.505	127.677.932
JUL	278.895.055	150.090.500	119.527.892
AUG	291.071.080	148.038.680	159.853.203
SEP	254.945.190	125.387.680	161.103.055
OCT	267.792.353	58.971.120	154.279.562
NOV	277.444.236	138.543.423	210.211.470
DES	233.915.036	164.061.695	752.190.638
<b>RATA-RATA</b>	<b>269.610.400,4</b>	<b>134.748.914,4</b>	<b>193.719.890,4</b>
<b>Total (Rp)</b>	<b>598.079.205,3</b>		

*Sumber: Departemen Engineering Hotel*

Tabel IV.1 di atas adalah rata-rata biaya yang dikeluarkan Hotel dan Club untuk membayar tagihan listrik dan bahan bakar solar untuk boiler pada tahun 2007. Hingga saat ini (2008) tarif listrik belum mengalami kenaikan, namun untuk harga solar industri naik dari harga pada tahun 2007 Rp. 5.043,92 per liter menjadi Rp. 9.231,97 sehingga biaya untuk bahan solar mengalami kenaikan menjadi Rp. 354.507.399,00. Untuk harga saat ini, maka Hotel dan Club rata-rata harus mengeluarkan biaya tagihan listrik dan solar sebesar Rp. 758.862.222,97.

## 4.2 BIAYA BAHAN BAKAR

Perhitungan biaya bahan bakar untuk sistem CCHP dihitung berdasarkan hubungan persentase energi pada subsistem ke energi dari bahan bakar seperti pada Bab III sebelumnya. Di sini perhitungan dimulai dari jumlah persentase daya AC pada hotel dan *club* yang diubah menggunakan sistem absorpsi dimulai dari 0 – 100 % sehingga dari hubungan persentase yang telah disebutkan sebelumnya dapat diperoleh energi yang harus disuplai ke sistem CCHP ( $Q_f$ ) dan energi yang disuplai ke sistem pemanas ( $Q_h$ ). Pada waktu  $t_{WBP}$ ,  $t_{LWBP}$  dan beroperasi selama 24 jam ( $t_{Full}$ ).

Untuk harga bahan bakar, digunakan harga-harga yang berlaku pada tahun 2008 yaitu untuk harga gas alam ( $C_{gss}$ ) = \$ 10,00 / MMBTU, Solar ( $C_{solar}$ ) = Rp. 9.321,97 / liter, dengan rata-rata kurs tukar Rupiah terhadap Dolar Amerika (N) = Rp. 9.200 / \$ dan total biaya adalah biaya yang dikeluarkan tiap bulan. Untuk perhitungan surplus antara lain listrik dan pemanasan dihitung:

$$\bullet \text{ Surplus listrik} = E_L - P_{WBP(e)} - \left[ \frac{100 - xP_{cooling(e)}}{100} \times P_{cooling(e)} \right] \quad (4.1)$$

$$\bullet \text{ Surplus pemanasan} = \dot{Q}_h - P_{heating} \quad (4.2)$$

$$\bullet \text{ Biaya bahan bakar} = \dot{Q}_f \times C \times t \times 30 \quad (4.3)$$

$$\bullet \text{ Biaya solar untuk boiler} = \frac{\dot{Q}_h}{P_{heating}} \times \text{Rp. } 354.507.399,00 \times (-1) \quad (4.4)$$

$$\bullet \text{ Biaya PLN} = \frac{\text{Surplus listrik}}{P_{WBP}} \times \text{Rp. } 404.359.315 \times (-1) \quad (4.5)$$

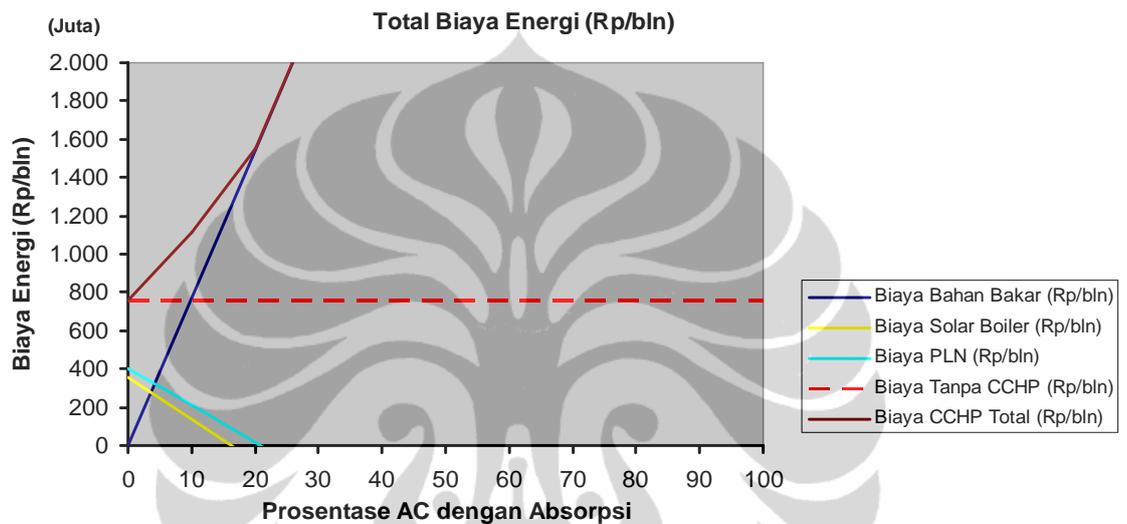
• Biaya energi listrik dengan CCHP

$$c_{EL} = \frac{\text{Biaya Bahan Bakar (Rp/bln)}}{E_L \times t \times 30} \quad (4.6)$$

#### 4.2.1. Biaya Bahan Bakar Konfigurasi dengan *Diesel Engine*

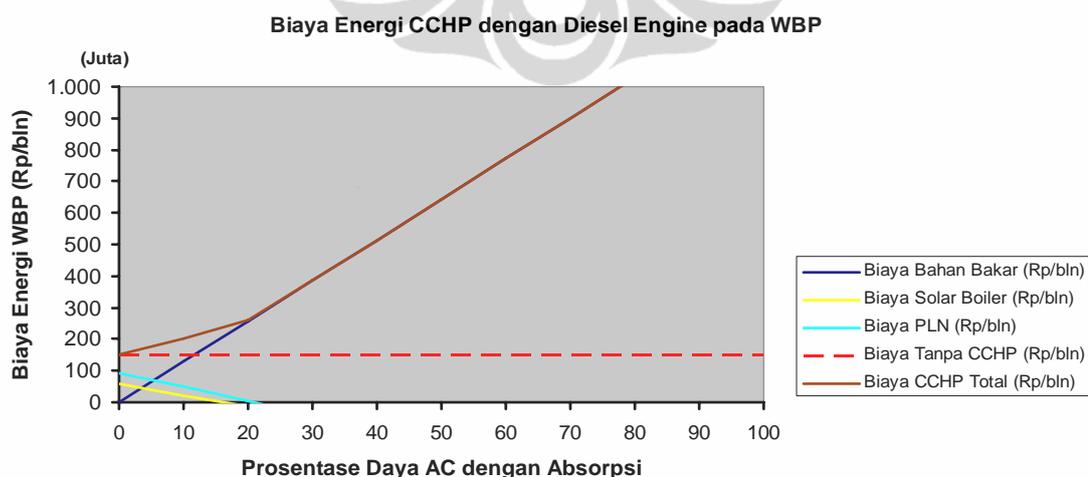
Berikut ini hasil perhitungan untuk konfigurasi sistem CCHP dengan *Diesel engine* berurut turut yang beroperasi selama 24 jam penuh, pada WBP dan pada LWBP. Selanjutnya dari tabel-tabel pada Lampiran II di plot hubungan antara persentase daya AC yang diubah ke sistem absorpsi dengan biaya sistem CCHP tiap bulannya:

Plot dari Tabel II.A dan II.B pada Lampiran II:

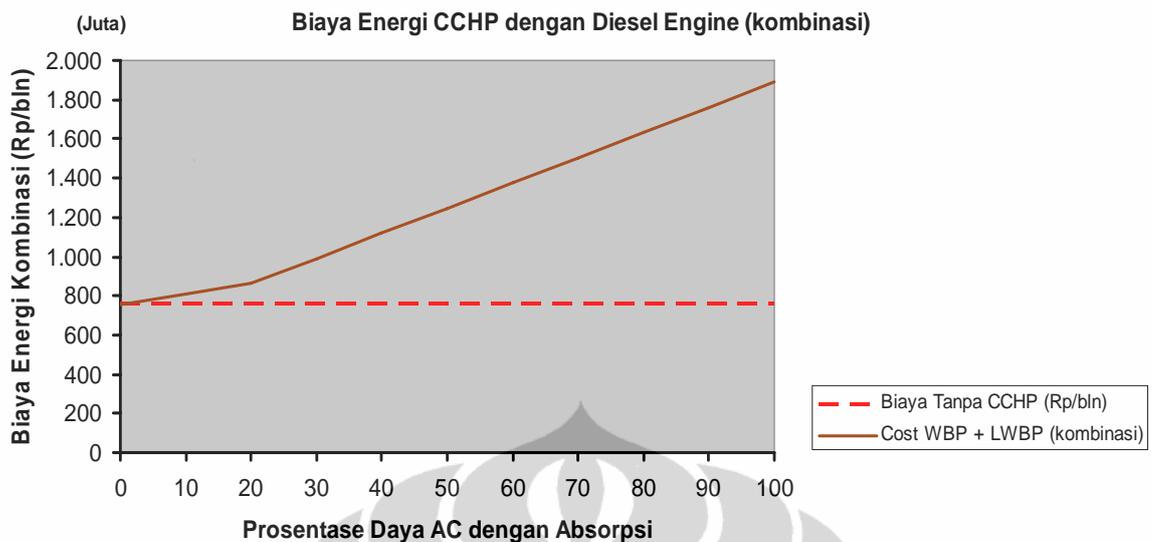


**Gambar 4.1.** Biaya-biaya yang dikeluarkan pada sistem CCHP dengan *Diesel engine* beroperasi 24 jam.

Plot dari Tabel II.C dan II.D pada Lampiran II:

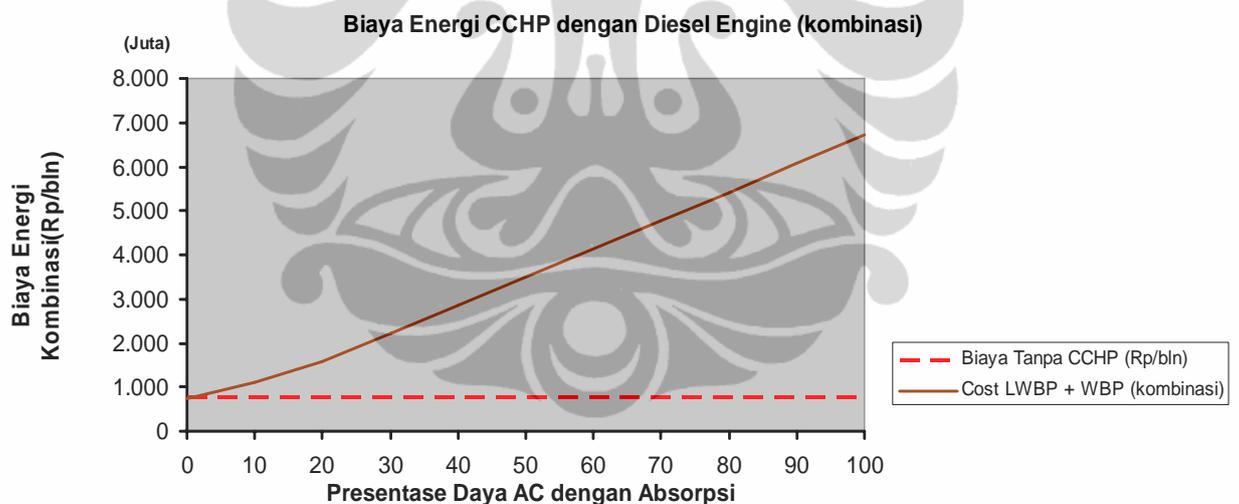


**Gambar 4.2.** Biaya-biaya yang dikeluarkan pada WBP CCHP dengan *Diesel engine*.



**Gambar 4.3.** Biaya kombinasi (sistem CCHP dengan *Diesel engine* pada WBP).

Plot dari Tabel II.E dan II.F pada Lampiran II:



**Gambar 4.4.** Biaya kombinasi (sistem CCHP dengan *Diesel engine* pada LWBP).

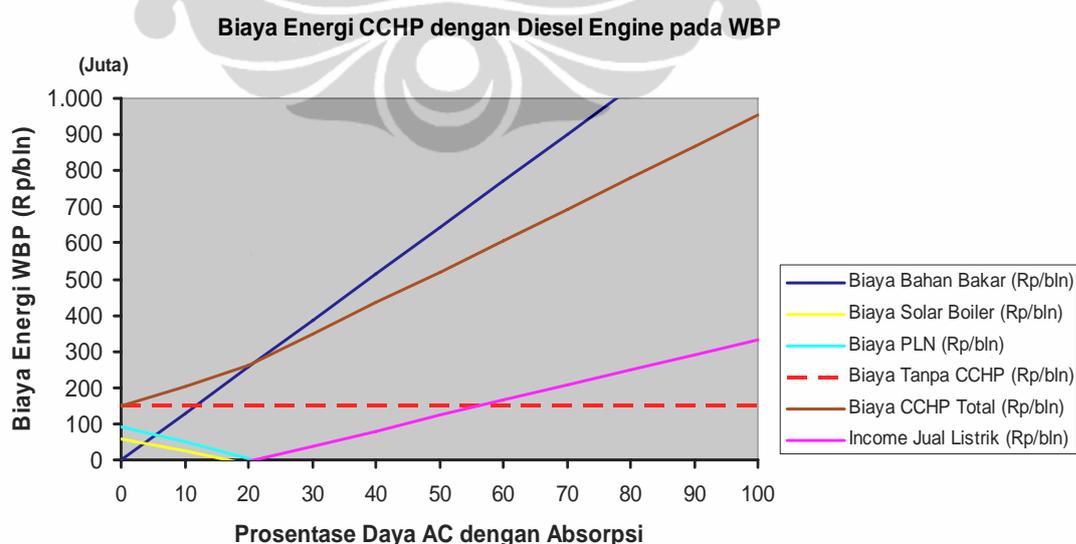
Di sini diperoleh harga listrik untuk sistem CCHP dengan konfigurasi dengan *Diesel engine*, dari persamaan (4.6) yaitu:

$$c_{EL(DE)} = \text{Rp. } 2.733,37 / \text{kWh.}$$

Dari plot grafik biaya bahan bakar sistem CCHP dengan konfigurasi dengan *Diesel engine* di atas, terlihat bahwa untuk sistem ini tidak dapat digunakan mengingat biaya bahan bakar total akan selalu di atas biaya rata-rata yang dikeluarkan oleh hotel tanpa menggunakan sistem CCHP. Hal ini disebabkan karena memang harga bahan bakar untuk *Diesel engine* yang cukup mahal, di mana harga solar di sini adalah harga untuk kalangan industri yang merupakan harga bukan subsidi sehingga harga listriknya pun cukup tinggi dan jauh berbeda dengan harga jual PLN yaitu pada kisaran Rp. 452,00 / kWh dan Rp. 902,00 / kWh yang merupakan harga subsidi.

Untuk waktu operasi kombinasi yaitu sistem CCHP dengan *Diesel engine* aktif hanya pada saat LWBP dan WBP saja juga tidak mungkin dilakukan mengingat pada waktu ini harga jual listrik dari PLN hanya sebesar Rp. 452,00/kWh dan Rp. 902/kWh. yang berbeda cukup jauh dengan biaya listrik dengan konfigurasi ini yang sebesar Rp. Rp. 2.733,37 / kWh. Selanjutnya diambil asumsi untuk menjual surplus energi listrik yang terjadi dari sistem CCHP pada harga jual yang wajar yaitu Rp. 400,00/kWh pada waktu LWBP dan Rp. 800,00/kWh pada WBP. Harga ini diambil masih di bawah harga jual listrik dari PLN dengan maksud agar terjual ke kalangan bisnis lainnya.

Berikut plot grafik biaya dari Tabel II.G. Lampiran II:



**Gambar 4.5.** Biaya-biaya yang dikeluarkan pada WBP CCHP dengan *Diesel engine* dan menjual surplus energi listrik.

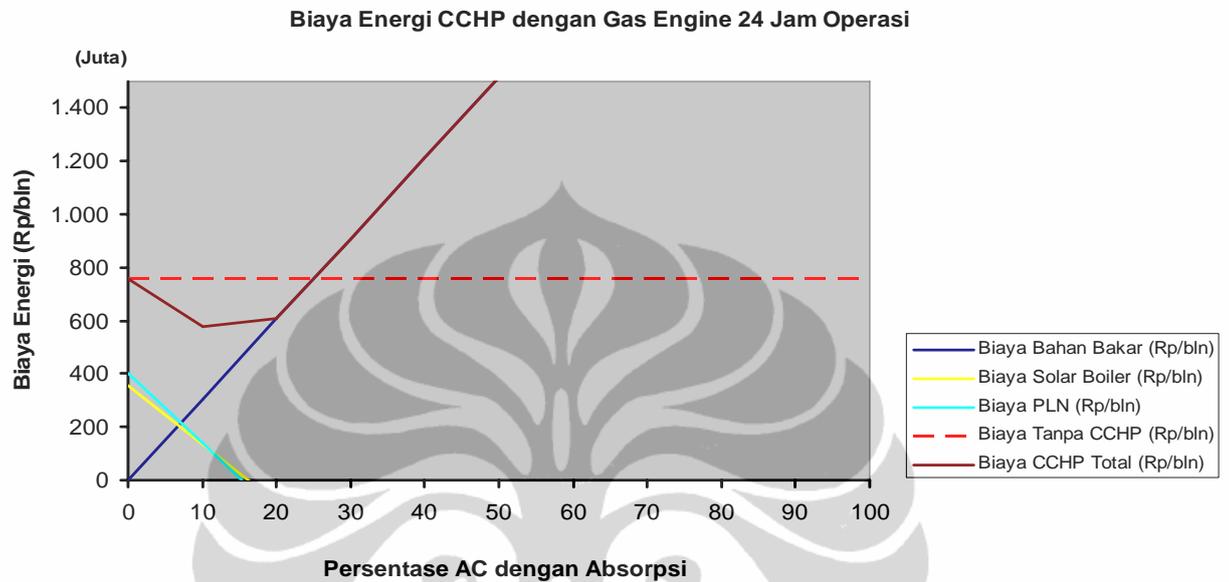
Untuk sistem CCHP dengan konfigurasi *Diesel Engine* yang aktif pada WBP dan menjual surplus listrik yang terjadi, tidak memungkinkan untuk digunakan mengingat total biaya yang dikeluarkan untuk bahan bakar minyak solar selalu lebih tinggi dari biaya yang dikeluarkan hotel jika tanpa menggunakan sistem ini. Ini disebabkan *income* dari hasil menjual listrik masih tidak cukup untuk mengurangi biaya minyak solar untuk bahan bakarnya. Dengan menjual listrik pada harga Rp.800,00/kWh justru mengalami kerugian karena biaya listrik dengan konfigurasi ini yang sebesar Rp. 2.733,37 / kWh yang terdapat selisih yang cukup besar.

Dengan skenario yang sama dengan menjual listrik Rp.400,00/kWh pada LWBP, biaya-biaya yang dikeluarkan pada waktu ini juga masih lebih tinggi jika dibandingkan tanpa menggunakan sistem ini yang dapat dilihat pada Tabel II.H pada Lampiran II. Ini disebabkan harga jual listrik yang mungkin semakin rendah dan semakin jauh selisihnya dengan biaya listrik dengan sistem ini.

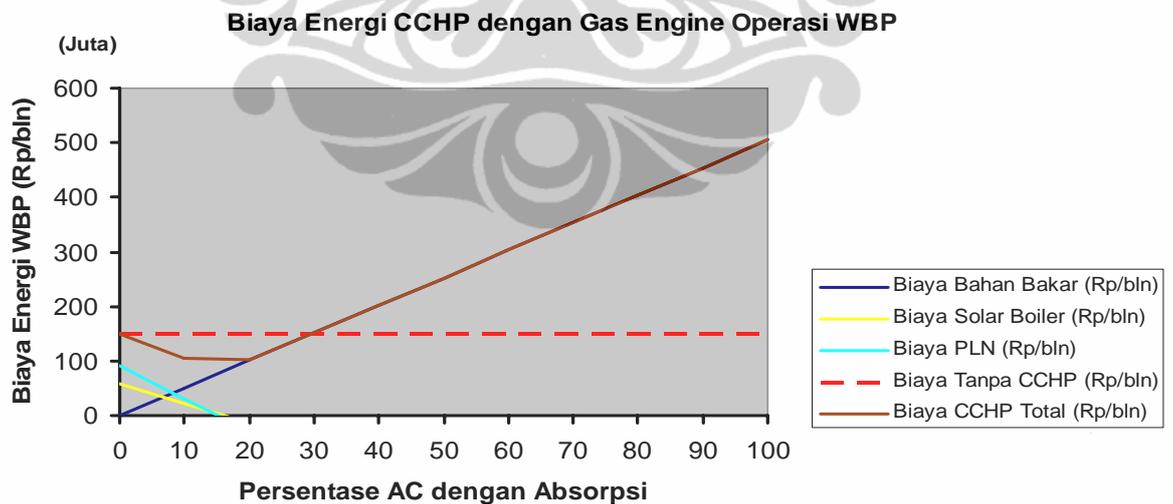
Begitu pula jika sistem dengan konfigurasi ini aktif 24 jam, namun dengan menjual surplus energi listrik dengan harga berbeda pada WBP dan LWBP nya, masih lebih tinggi jika dibandingkan hotel tanpa sistem CCHP ini. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel II.I pada Lampiran II.

#### 4.2.2. Biaya Bahan Bakar Konfigurasi dengan *Gas Engine*

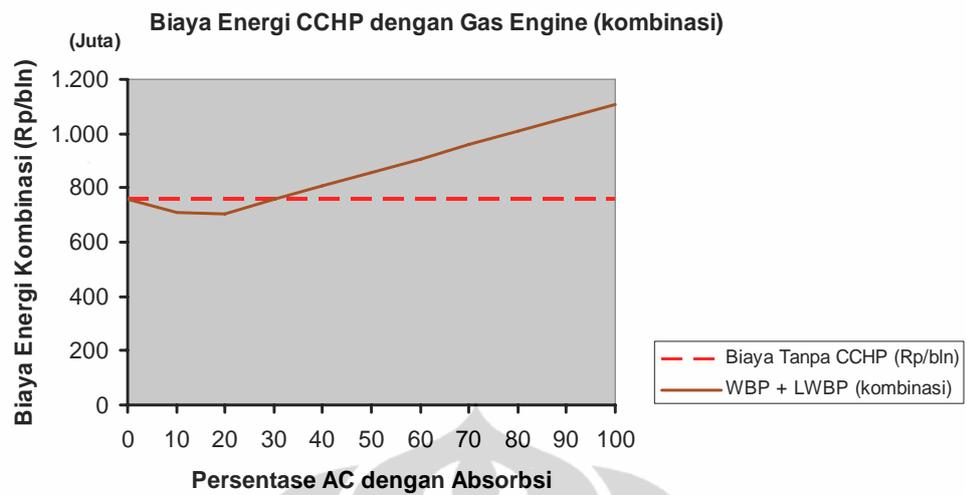
Berikut ini plot hasil perhitungan pada Lampiran III untuk konfigurasi sistem CCHP dengan *gas engine* yang beroperasi selama 24 jam penuh, pada WBP dan pada LWBP.



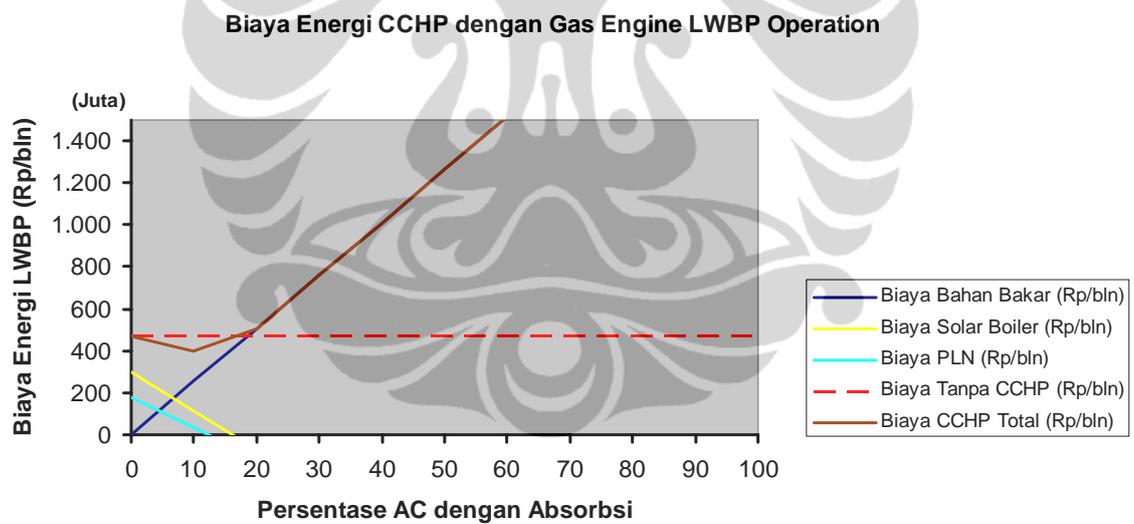
**Gambar 4.6.** Biaya-biaya yang dikeluarkan pada sistem CCHP dengan *Gas engine* beroperasi 24 jam.



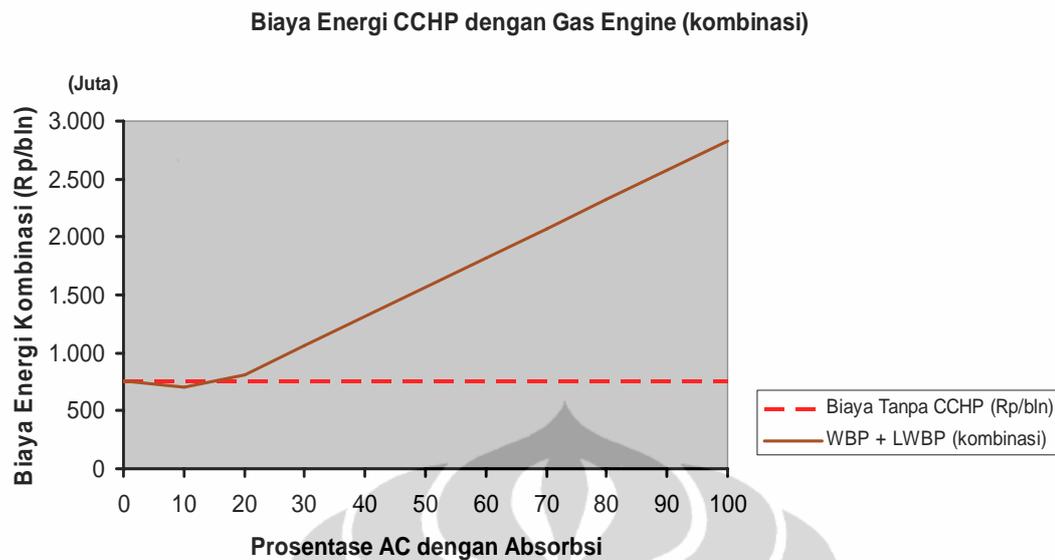
**Gambar 4.7.** Biaya-biaya yang dikeluarkan pada WBP CCHP dengan *Gas engine*.



**Gambar 4.8.** Biaya kombinasi (sistem CCHP dengan *Gas engine* pada WBP).



**Gambar 4.9.** Biaya-biaya yang dikeluarkan pada LWBP CCHP dengan *Gas engine*.



**Gambar 4.10.** Biaya kombinasi (sistem CCHP dengan *Gas engine* pada LWBP).

Dari plot-plot biaya terhadap persentase daya AC absorpsi untuk konfigurasi dengan *gas engine* sebelumnya dapat terlihat bahwa untuk konfigurasi ini dapat digunakan pada aplikasi perhotelan karena biaya energi untuk konfigurasi ini pada kondisi tertentu lebih rendah dari biaya energi hotel tanpa menggunakan sistem CCHP. Untuk penggunaan sistem CCHP ini pun terlihat dapat lebih murah dibanding tanpa menggunakan sistem CCHP baik pada operasi 24 jam, WBP dan LWBP.

- Untuk pengoperasian 24 jam, dari Tabel III.B. pada Lampiran III terlihat bahwa minimum biaya yang dikeluarkan tiap bulan adalah untuk persentase AC dengan absorpsi pada 10 % yaitu dengan biaya CCHP keseluruhan sebesar Rp. 578.271.885,65. Hal ini dimungkinkan karena dengan menggunakan sistem ini pada posisi tersebut energi untuk pemanas yang tersedia sebesar 317,88 kW dapat mengurangi beban boiler berbahan bakar solar, sebesar tersebut. Untuk energi listrik yang dibangkitkan adalah sebesar 545,43 kW dan ini juga mengurangi beban listrik ke PLN. Di sini hotel sudah dapat mengurangi bebannya pada boiler dengan bahan bakar minyak solar dan listrik dari PLN, sehingga biaya untuk keduanya sekarang masing-masing adalah sebesar

Rp. 135.235.894,90 dan Rp. 140.008.397,81 dengan pengurangan untuk beban keduanya adalah Rp. 483.617.930,2. Untuk biaya bahan bakar pada kondisi ini adalah sebesar Rp. 303.027.592,94, dan jika ditambahkan dengan biaya solar untuk boiler dan PLN adalah sebesar Rp. 578.271.885,65, yang terdapat selisih atau *saving cost* sebesar Rp. 180.590.337,31 setiap bulannya.

- Sedangkan untuk operasi pada WBP dan LWBP saja, maksimum penurunan biaya tiap bulan adalah sebesar Rp. 53.884.993,53 dan Rp. 59.877.248,98 pada posisi yang sama yaitu 20 % dan 10 % AC dengan absorpsi yang dapat dilihat pada Tabel III.C, III.D, III.E, dan III.F pada Lampiran III.

Dari hasil perhitungan tersebut di atas, konfigurasi sistem CCHP dengan *Gas Engine* yang maksimum dalam hal penekanan biayanya (*saving cost*), yaitu pada operasi selama 24 jam penuh dengan konfigurasi:

- *Power System* dengan daya listrik ( $E_L$ ) = 545,43 kW.
- *Cooling Sytem* yaitu dengan merubah 10% AC dengan absorpsi yaitu daya sebesar ( $P_{cooling(th)}$ ) = 145,18 kW.
- Suplai bahan bakar ( $\dot{Q}_f$ ) = 1.340,12 kW.
- Untuk energi pada sistem pemanas:
  - Dari persamaan (2.3) data-datanya diperoleh bahwa jumlah persentase energi yang dibawa oleh air pendingin ( $\dot{Q}_{cw}$ ) = 18,08% dari bahan bakar ( $\dot{Q}_f$ ), sehingga diperoleh energi yang tersedia untuk sistem pemanas dari aliran air pendingin mesin
 
$$\dot{Q}_{h1} = \frac{18,08}{100} \times 1.340,12 kW$$

$$= 242,29 kW.$$
  - Untuk energi yang diserap sistem pemanas dari aliran *flue gas* ( $\dot{Q}_{h2}$ ) dapat dihitung dari hubungan persamaan (3.6) di mana total energi yang diserap baik dari aliran air pendingin dan *flue gas* total

$(\dot{Q}_h) = 5,64 \% \dot{Q}_f$ , sehingga diperoleh energi yang dapat diserap dari aliran *flue gas*

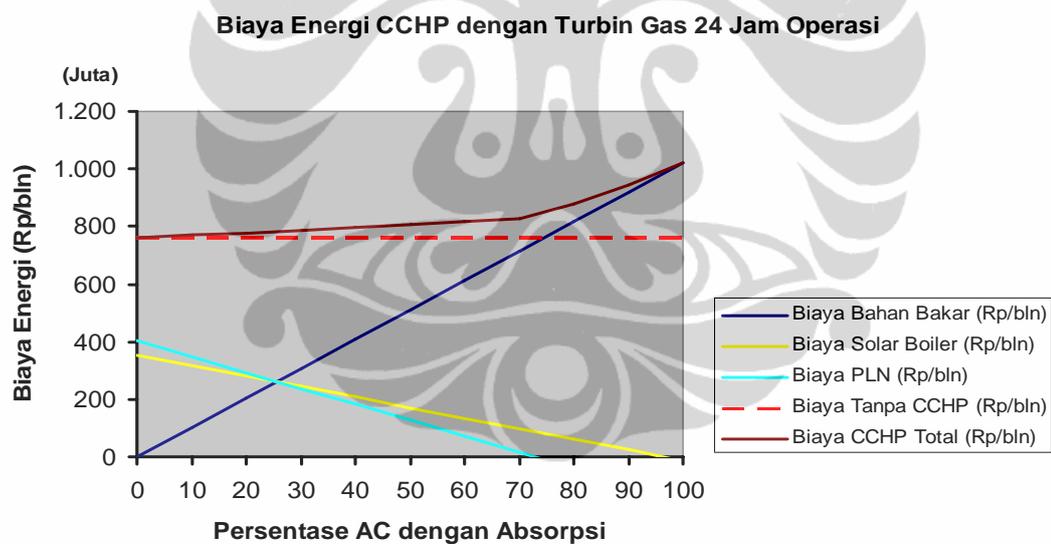
$$\begin{aligned}\dot{Q}_{h2} &= (23,72\% - 18,08\%) \times 1.340,12 kW \\ &= 75,58 kW.\end{aligned}$$

Di sini juga diperoleh harga listrik untuk sistem CCHP dengan konfigurasi dengan *gas engine*, dari persamaan (4.6) yaitu:

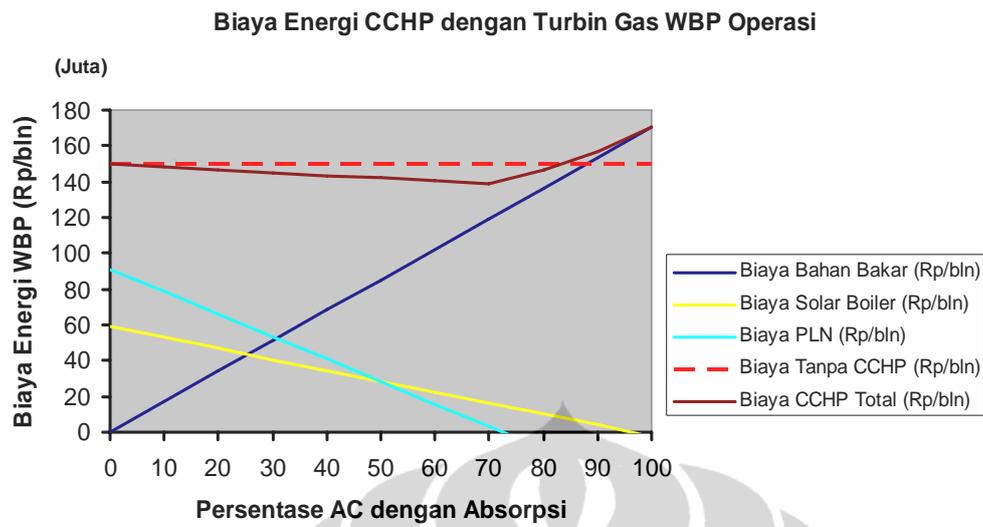
$$c_{EL(GE)} = \text{Rp. } 771,63 / \text{kWh}.$$

#### 4.2.3. Biaya Bahan Bakar Konfigurasi dengan Turbin Gas

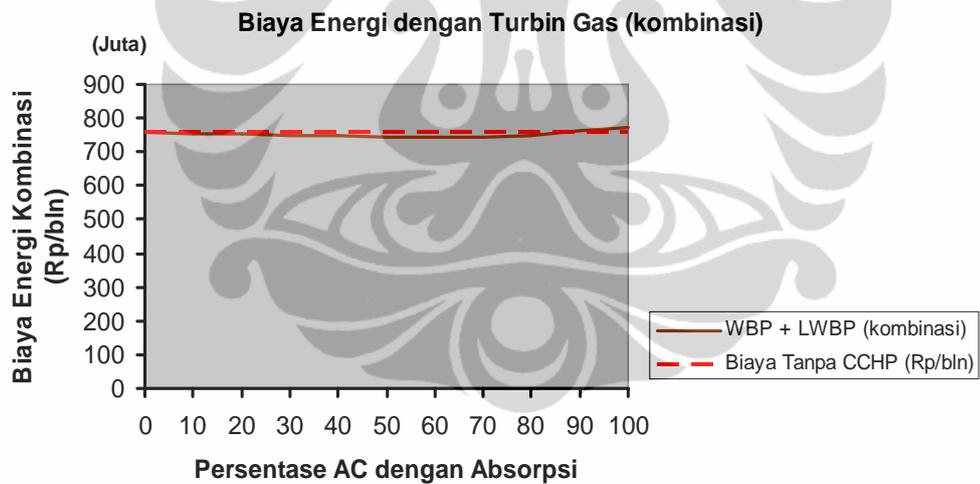
Berikut ini plot hasil perhitungan pada Lampiran IV untuk konfigurasi sistem CCHP dengan turbin gas yang beroperasi selama 24 jam penuh, pada WBP dan LWBP.



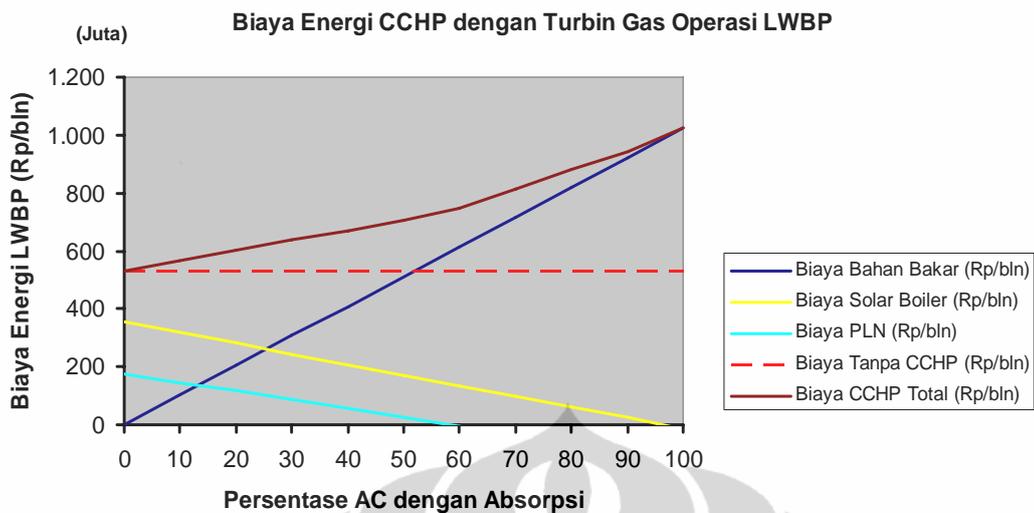
**Gambar 4.11.** Biaya-biaya yang dikeluarkan pada sistem CCHP dengan turbin gas beroperasi 24 jam.



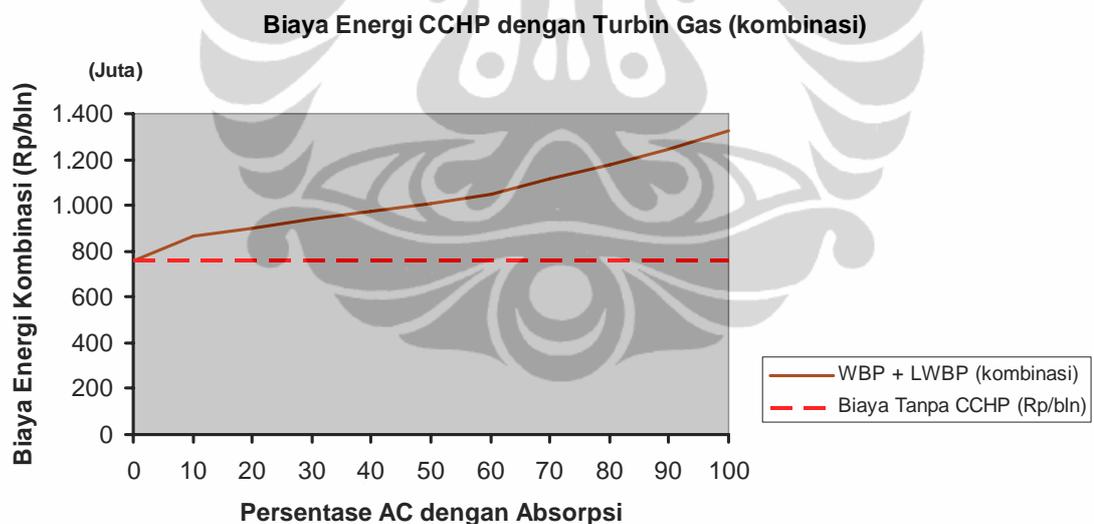
**Gambar 4.12.** Biaya-biaya yang dikeluarkan pada WBP CCHP dengan Turbin gas.



**Gambar 4.13.** Biaya kombinasi (sistem CCHP dengan Turbin gas pada WBP).



**Gambar 4.14.** Biaya-biaya yang dikeluarkan pada LWBP CCHP dengan Turbin gas.



**Gambar 4.15.** Biaya kombinasi (sistem CCHP dengan Turbin gas pada LWBP).

Untuk konfigurasi sistem CCHP dengan turbin gas ini, tidak semua untuk semua waktu dapat digunakan. Dari tabel-tabel dan plot grafik biaya, terlihat untuk sistem ini hanya mungkin digunakan pada WBP saja.

- Untuk operasi pada WBP saja, maksimum penurunan biaya (*saving cost*) tiap bulan adalah sebesar Rp. 16.267.421,97, Sedangkan pada pengoperasian pada 24 jam dan LWBP tidak mungkin dilakukan karena biaya total untuk bahan bakar akan lebih tinggi dibandingkan tanpa menggunakan sistem CCHP yang dapat dilihat dari plot pada gambar 4.14, 4.15 dan pada Tabel IV.E dan IV.F pada Lampiran IV.

Dari hasil perhitungan tersebut di atas, konfigurasi sistem CCHP dengan Turbin Gas yang maksimum dalam hal penekanan biayanya, yaitu pada operasi selama 24 jam penuh dengan konfigurasi:

- *Power System* dengan daya listrik ( $E_L$ ) = 566,71 kW.
- *Cooling Sytem* yaitu dengan merubah 70% AC dengan absorpsi yaitu daya sebesar ( $P_{cooling(th)}$ ) = 1.016,27 kW.
- Suplai bahan bakar ( $\dot{Q}_f$ ) = 3.165,98 kW.
- Dari persamaan (3.2), energi yang dapat diserap pada sistem pemanas ( $\dot{Q}_h$ ) = 373,59 kW.

Di sini juga diperoleh harga listrik untuk sistem CCHP dengan konfigurasi dengan *gas engine*, dari persamaan (4.6) yaitu:

$$c_{EL(GT)} = \text{Rp. } 1.754,48 / \text{kWh.}$$

### 4.3 BIAYA INVESTASI

Dari perhitungan sebelumnya dan karakteristik dari segi biaya bahan bakar untuk konfigurasi sistem CCHP yang berbeda-beda, terlihat yang paling mungkin untuk diterapkan pada hotel “X” adalah konfigurasi dengan *gas engine*. Untuk konfigurasi dengan turbin gas mungkin diterapkan juga namun biaya bahan bakarnya masih relatif lebih mahal dari *gas engine*.

Di sini dipilih konfigurasi dengan *gas engine* dan turbin gas beroperasi selama 24 jam untuk selanjutnya diperhitungkan biaya investasi yang harus dikeluarkan oleh hotel “X” untuk membeli peralatan utamanya yaitu sistem pembangkit daya, sistem pendingin dan penukar kalor yang sesuai. Berikut ini pada tabel dapat terlihat untuk masing-masing konfigurasi dan waktu aktifnya penurunan biaya maksimumnya:

**Tabel IV.2.** Penurunan biaya untuk konfigurasi sistem CCHP berbeda.

Konfigurasi Sistem CCHP	Penurunan Biaya Energi (Rp/bulan)		
	Aktif 24 jam	Aktif WBP	Aktif LWBP
Diesel Engine	-	-	-
Gas Engine	180.590.337,31	53.884.993,53	59.877.248,98
Turbin Gas	-	16.267.421,97	-

#### 4.3.1. Biaya Komponen Utama Sistem CCHP

Untuk memperhitungkan estimasi harga-harga *gas engine* dan turbin gas diperoleh dari [22] dan untuk alat penukar kalor [23] di mana harga untuk *Gas Engine* dan Turbin Gas masing-masing adalah \$ 600/kW<sub>e</sub> dan \$ 700/kW<sub>e</sub> dan untuk harga mesin pendingin absorpsi \$ 800/TR. Biaya lainnya antara lain biaya transportasi pekerja proyek dan lainnya diestimasi sekitar 100% dari harga komponen utamanya, dan perhitungan luas perpindahan panas pada penukar kalor dilampirkan pada Lampiran V dapat disusun dalam tabel berikut:

**Tabel IV.3.** Biaya investasi untuk konfigurasi dengan *gas engine*.

	<b>Daya (kW)</b>	<b>Cooling (kW)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Harga (Rp)</b>
<b>Power</b>	545,43	-	-	3.010.773.600,00
<b>Cooling</b>	-	145,18	-	303.821.489,65
<b>Heating (fg)</b>	-	-	13,25	149.040.000,00
<b>Heating (cw)</b>	-	-	57,01	291.640.000,00
<b>Sub Total</b>	-	-	-	3.755.275.089,65
<b>Biaya Lain-lain</b>	-	-	-	3.755.275.089,65
<b>Total</b>	-	-	-	7.510.550.179,30

**Tabel IV.4.** Biaya investasi untuk konfigurasi dengan turbin gas.

	<b>Daya (kW)</b>	<b>Cooling (kW)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Harga (Rp)</b>
<b>Power</b>	566,71	-	-	3.649.612.400,00
<b>Cooling</b>	-	1.016,27	-	2.126.750.427,56
<b>Heating (fg)</b>	-	-	65,05	216.200.000,00
<b>Sub Total</b>	-	-	-	5.992.562.827,56
<b>Biaya Lain-lain</b>	-	-	-	5.992.562.827,56
<b>Total</b>	-	-	-	11.985.125.655,12

#### 4.3.2. *Payback Period*

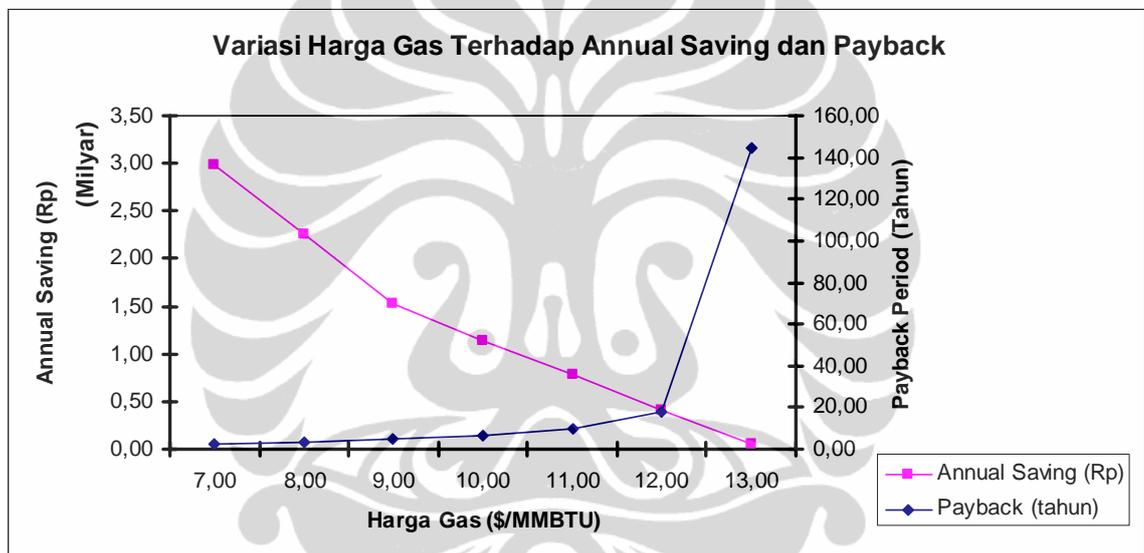
Penurunan biaya energi dari Tabel IV.2 untuk masing-masing konfigurasi dari *gas engine* dan turbin gas yaitu: Rp. 180.590.337,31 dan Rp. 16.267.421,97 dan dari biaya total investasi pada Tabel IV.3 dan IV.4 diperoleh *payback period* masing-masing 5,78 dan 61,4 tahun.

Untuk selanjutnya juga akan diperhitungkan biaya operasional dan perawatan hanya pada *gas engine* saja karena untuk konfigurasi dengan turbin gas tidak mungkin dilakukan karena jika hanya diperhitungkan dari sisi biaya untuk peralatan dan pemasangannya saja seperti di atas, *payback period* yang terjadi dinilai tidak layak karena terlalu lama akibat dari *saving cost* yang rendah. Dari [24] dan [23] untuk biaya *operating and maintenance* konfigurasi *gas engine* dan *absorption water chiller* adalah sekitar \$ 0,012/kWh(e) dan untuk penukar kalornya diperkirakan sebesar € 140 / hari sehingga masing-masing biaya yang harus dikeluarkan adalah sebesar Rp. 43.355.139,84 dan Rp. 42.000.000,00 dengan total Rp. 85.355.139,84 tiap bulannya. Maka total *saving* tiap bulannya menjadi sebesar Rp. 95.235.197,47 dan diperoleh *payback period* untuk konfigurasi dengan *gas engine* adalah 6,57 tahun.

Perhitungan-perhitungan biaya energi untuk sistem CCHP sebelumnya adalah dihitung berdasarkan pada harga gas alam ( $C_{gas}$ ) = \$ 10/MMBU dan diperoleh konfigurasi yang maksimum dari segi biaya bahan bakarnya adalah konfigurasi dengan *gas engine* yang beroperasi selama 24 jam. Selanjutnya akan coba dilihat efeknya jika ada sedikit perubahan harga gas tersebut di atas yaitu mengalami penurunan dan kenaikan terhadap penurunan biaya yang mungkin dan terhadap *payback period* untuk konfigurasi tersebut. Harga gas diasumsikan mengalami penurunan hingga mencapai \$ 7/MMBTU dan naik hingga mencapai harga \$ 16/MMBTU, sehingga akan mempengaruhi *Annual Saving (AS)* yaitu total penurunan biaya dengan konfigurasi ini selama satu tahun. Di sini hanya diambil perubahan yaitu pada harga gas saja, sedangkan untuk biaya lainnya antara lain biaya-biaya untuk pembelian komponen utama konfigurasi dan biaya lainnya (pemasangan, pekerja, dan lain-lain) diasumsikan tetap.

**Tabel IV.5.** Perubahan harga gas terhadap *Annual Saving* dan *Payback Period*

Gas Price (\$/MMBTU)	Penurunan Biaya (Rp/bulan)	Annual Saving (Rp)	Payback (tahun)
7,00	334.623.592,84	2.991.221.436,04	2,51
8,00	274.018.074,25	2.263.955.212,98	3,32
9,00	213.412.555,67	1.536.688.989,91	4,89
10,00	180.590.337,31	1.142.822.369,67	6,57
11,00	150.287.578,02	779.189.258,14	9,64
12,00	119.984.818,72	415.556.146,61	18,07
13,00	89.682.059,43	51.923.035,08	144,65



**Gambar 4.16.** Efek perubahan harga gas terhadap *Annual Saving* dan *Payback Period*.