

BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Hasil Simulasi

Simulasi dan optimasi dengan menggunakan HOMER menghasilkan beberapa konfigurasi yang berbeda sesuai dengan batasan minimum kontribusi energi terbarukannya.

4.1.1 Kondisi Awal (PLTD)

Simulasi yang dilakukan dengan kondisi awal adalah sebagai pembanding untuk kondisi kedua. Kondisi awal ini sistem PLTH terdiri dari dua unit PLTD dengan kapasitas 40 kW dan 50 kW, dengan hasil simulasi sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Hasil Simulasi pada Kondisi Awal

Parameter	PLTD
NPC (\$)	965.552
Initial Capital Cost (\$)	49.000
Operating Cost (\$/tahun)	85.861
COE (\$/kWh)	0,503
Kontribusi ET (%)	0%
Total Konsumsi Bahan Bakar (L)	75.332
Diesel 40 kW	62.892
Diesel 50 kW	12.440
Waktu Operasi Pembangkit (jam/tahun)	
PLTD 40 kW	8.030
PLTD 50 kW	1.095
Total Produksi Energi Listrik (kWh/tahun)	181.040
PLTD 40 kW	148.798
PLTD 50 kW	32.242
kelebihan energi listrik (kWh/tahun)	1.314
emisi (kg/tahun)	
Karbon dioksida, CO ₂	198.374
Karbonmonoksida, CO	490
Hydrokarbon, HC	54
PM	37
Sulfur dioksida, SO _x	398
Nitrogen oksida, NO _x	4.369

4.1.2 Kondisi Kedua (PLTH)

Simulasi yang dilakukan pada kondisi kedua dengan batasan minimum kontribusi energi terbarukan adalah 0%. Simulasi pada kondisi ini didapatkan beberapa konfigurasi optimum, seperti terlihat dalam tabel berikut :

Tabel 4.2 Data Hasil Simulasi pada Kondisi Kedua
(Kontribusi Energi Terbarukan Minimum 0%)

Parameter	PLTB- PLTD	PLTS- PLTD	PLTB- PLTS- PLTD
NPC (\$)	943.957	1.039.546	974.452
Initial Capital Cost (\$)	259.445	207.600	325.445
Operating Cost (\$/tahun)	64.124	77.936	60.798
COE (\$/kWh)	0,492	0,542	0,508
Kontribusi ET (%)	57%	20%	62%
PLTB	57		54
PLTS		20	8
PLTD 40 kW	43	80	38
Total Konsumsi Bahan Bakar (L)			
Diesel 40 kW	42.630	59.270	39.512
Waktu Operasi Pembangkit (jam/tahun)			
PLTD 40 kW	5.400	6.499	4.945
PLTB	8.422		8.422
PLTS		4.380	4.380
Total Produksi Energi Listrik (kWh/tahun)	234.465	191.537	246.639
PLTB	133.062		133.062
PLTS		37.643	18.822
PLTD 40 kW	101.402	153.894	94.755
kelebihan energi listrik (kWh/tahun)	44.984	5.448	56.496
Emisi			
Karbon dioksida, CO ₂	112.258	156.076	104.048
Karbonmonoksida, CO	277	385	257
Hydrokarbon, HC	31	43	28
PM	21	29	19
Sulfur dioksida, SO _x	225	313	209
Nitrogen oksida, NO _x	2.473	3.438	2.292

Dari hasil simulasi diambil 3 konfigurasi yang mewakili kombinasi PLTH yaitu PLTS – PLTD, PLTB – PLTD, dan PLTS – PLTB – PLTS. Pada tabel 4.3 berikut dapat dilihat masing – masing kapasitas komponen yang digunakan pada konfigurasi PLTH.

Tabel 4.3 Konfigurasi PLTH

Komponen	Kapasitas (kW)		
	PLTS - PLTD	PLTB – PLTD	PLTS - PLTB - PLTD
Fotovoltaik	24	-	12
Turbin angin	-	37,5	37,5
Diesel generator	40	40	40
Baterai	48	24	24
Konverter	32	32	32

4.2 Analisis Hasil Simulasi

simulasi dilakukan dengan dua kondisi, yaitu kondisi awal dimana hanya terdapat dua PLTD kapasitas 40 kW dan 50 kW, sedangkan kondisi kedua adalah model PLTH yang terdiri dari PLTS-PLTB-PLTD dengan pelengkap baterai dan inverter.

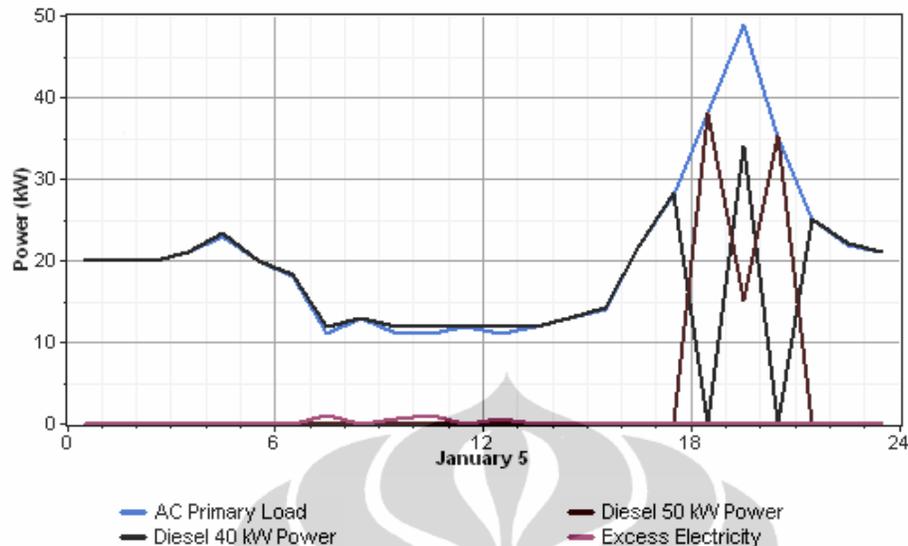
Hasil simulasi yang dianalisis adalah produksi listrik, biaya listrik, dampak lingkungan (emisi CO₂, SO_x, dll), konsumsi BBM oleh PLTD, kelebihan listrik yang tidak terserap oleh beban. Berikut adalah analisis selengkapnya untuk kedua kondisi simulasi.

4.2.1 Kondisi Awal (PLTD)

Analisis hasil simulasi pada kondisi awal ini adalah sebagai pembanding atau yang akan dijadikan patokan untuk menganalisis sistem PLTH optimal hasil simulasi kondisi kedua.

- **Produksi Listrik**

Total produksi listrik yang dihasilkan oleh PLTD kapasitas 40 kW dan 50 kW adalah 181.040 kWh/tahun, kontribusi PLTD kapasitas 40 kW sebesar 148.798 kWh/tahun atau 82% dan kontribusi sebesar 32.2421 kWh/tahun atau 12% oleh PLTD 50 kW.



Gambar 4.1 Kondisi beban harian – daya keluaran PLTD 40 kW dan 50 kW - kelebihan listrik yang tidak terpakai

Gambar di atas adalah kondisi suplai listrik pada tanggal 5 Januari 2009, dapat dilihat PLTD 40 kW beroperasi hampir sepanjang hari kecuali pada jam 18.30 dan jam 20.30 berhenti beroperasi dan digantikan oleh PLTD 50 kW. keluaran daya maksimum PLTD 40 kW adalah sebesar 34 kW, minimumnya 12 kW. Sedangkan keluaran daya maksimum PLTD 50 kW sebesar 38,3 kW dan minimumnya 15 kW.

Pada jam 07.00 sampai dengan jam 13.00 terdapat kelebihan listrik. Kelebihan listrik ini terjadi karena listrik yang diproduksi oleh PLTD 40 kW selama satu tahun berlebihan dibandingkan dengan beban yang ada. Pada kondisi awal ini kelebihan energi listrik tersebut tidak dapat dimanfaatkan, karena tidak terdapat baterai sebagai tempat penyimpanan energi listrik pada sistem ini.

- **Konsumsi BBM**

Total BBM yang dikonsumsi oleh sistem ini selama 1 tahun adalah 75.332 liter, konsumsi oleh PLTD 40 kW sebesar 82% atau 62.892 liter, sedangkan sisanya sebesar 12% atau 12.440 liter dikonsumsi oleh PLTD 50 kW.

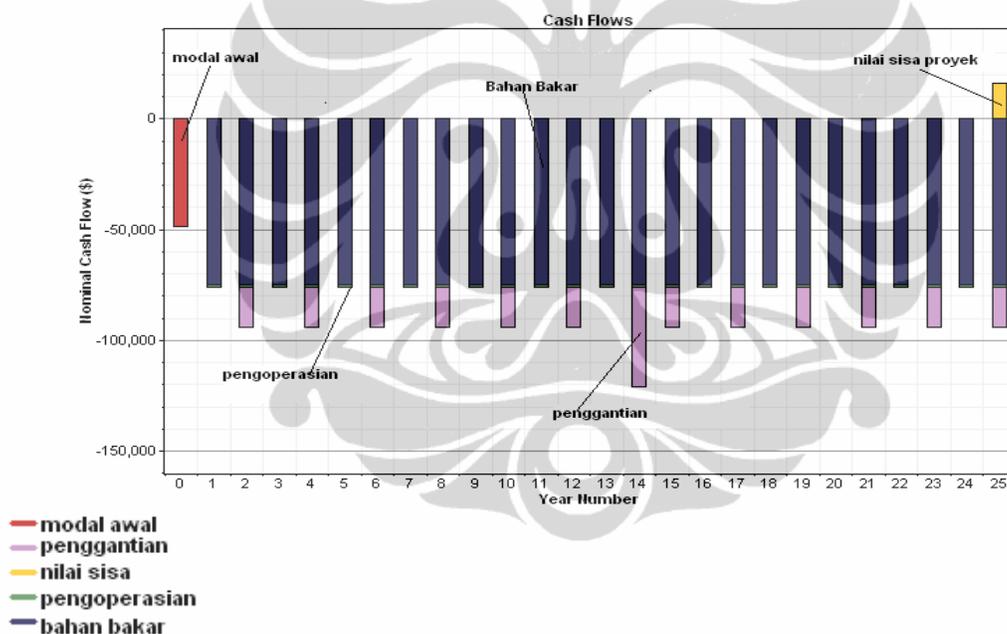
- **Kelebihan listrik yang tidak terpakai**

Kelebihan listrik yang terdapat pada sistem ini adalah sebesar 1.314 kWh pertahun atau sekitar 0,73%. Kelebihan listrik ini adalah selisih total produksi energi listrik selama satu tahun yang dihasilkan oleh kedua PLTD dan total beban yang disuplai.

- **Biaya – Biaya**

Biaya – biaya yang didapatkan dari hasil simulasi sistem kondisi awal ini adalah : modal awal yang diinvestasikan untuk sistem ini sangat murah yaitu sebesar \$ 49.000, biaya pengoperasian sebesar \$ 85.861 pertahun, nilai bersih sekarang (NPC) sebesar \$ 965.552 dan biaya listrik (COE) sebesar \$ 0,503 per kWh.

Seperti yang terlihat pada gambar 4.2, biaya terbesar yang harus dikeluarkan selama 25 tahun adalah biaya bahan bakar yang dikonsumsi oleh PLTD, penggantian PLTD 40 kW dilakukan setiap dua tahun karena telah melampaui jam operasinya selama 15.000 jam, sedangkan penggantian PLTD 50 kW dilaksanakan pada tahun keempat belas. total NPC disini diperoleh dengan tidak memperhitungkan sisi pendapatan dari penjualan listrik.



Gambar 4.2 Aliran biaya PLTD 40 kW dan 50 kW selama 25 tahun

4.2.2 Kondisi Kedua (PLTH)

Pada kondisi kedua, simulasi sistem PLTH menghasilkan beberapa konfigurasi yang berbeda yaitu PLTB-PLTD, PLTS-PLTD, PLTS-PLTB-PLTD. HOMER mensimulasikan sistem PLTH dan mengurutkannya dengan skala prioritas bertumpu pada NPC terendah.

Dari hasil simulasi, diperoleh urutan nilai NPC terendah adalah sebagai berikut :

- PLTB-PLTD sebesar adalah untuk \$ 943.957
- PLTB-PLTS-PLTD sebesar \$ 974.452
- PLTS-PLTD sebesar \$ 1.039.546

Kriteria yang ditetapkan penulis untuk mendapatkan suatu sistem PLTH yang optimum adalah :

- Nilai NPC nya terendah
- Memiliki dampak lingkungan yang sedikit (emisinya rendah)

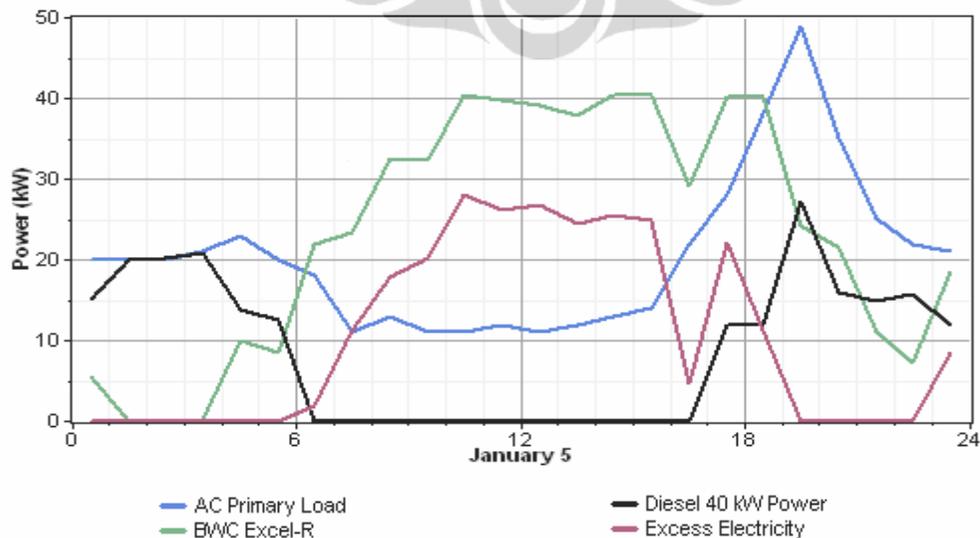
Berdasarkan hasil simulasi dan kriteria di atas, konfigurasi yang memenuhi syarat sebagai sistem PLTH optimum adalah sistem PLTH yang terdiri dari PLTB-PLTD. Konfigurasi sistem PLTH optimum terdiri dari :

- unit PLTB 7,5 kW DC dengan kapasitas total 37,5 kW DC
- 1 unit PLTD kapasitas 40 kW
- 24 buah baterai 6 V 360 Ah
- Inverter kapasitas total 32 kW

analisis selengkapnya sebagai berikut :

• **Produksi Listrik**

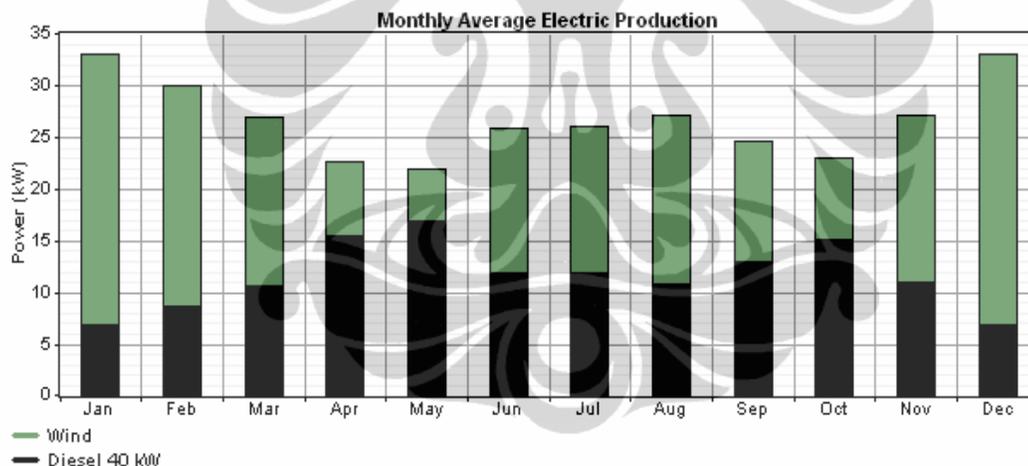
Total produksi listrik yang dihasilkan oleh PLTB - PLTD adalah 234.465 kWh/tahun dengan kontribusi PLTB sebesar 57% atau 133.062 kWh/tahun sedangkan kontribusi PLTD sebesar 43% atau 101.402 kWh/tahun.



Gambar 4.3 Kondisi beban harian – daya keluaran PLTB - PLTD 40 kW -kelebihan listrik yang tidak terpakai

Gambar 4.4 adalah kondisi suplai listrik pada tanggal 5 Januari 2009, dapat dilihat PLTB beroperasi hampir sepanjang hari kecuali pada jam 01.30 sampai dengan pukul 03.30 berhenti beroperasi dan digantikan oleh PLTD 40 kW. Keluaran daya maksimum PLTB adalah sebesar 40,4 kW terjadi pada pukul 14.30 - 15.30. PLTD 40 kW tidak beroperasi pada pukul 06.30 – 16.30 ketika produksi listrik PLTB bisa memenuhi kebutuhan energi listrik.

Kelebihan listrik yang tidak terpakai pada sistem ini cukup besar yaitu 44,984 kWh pertahun atau 19,2%, hal ini terjadi karena listrik yang diproduksi oleh PLTB selama satu tahun berlebihan dibandingkan dengan beban yang ada. Pada gambar 4.3 kelebihan listrik terbesar terjadi pada pukul 06.30 - 19.30, 24 buah baterai yang digunakan tidak mencukupi untuk menyerap kelebihan listrik ini. Selain menggunakan baterai, kelebihan listrik dapat juga diserap dengan menambahkan beban deferrable ke sistem ini.

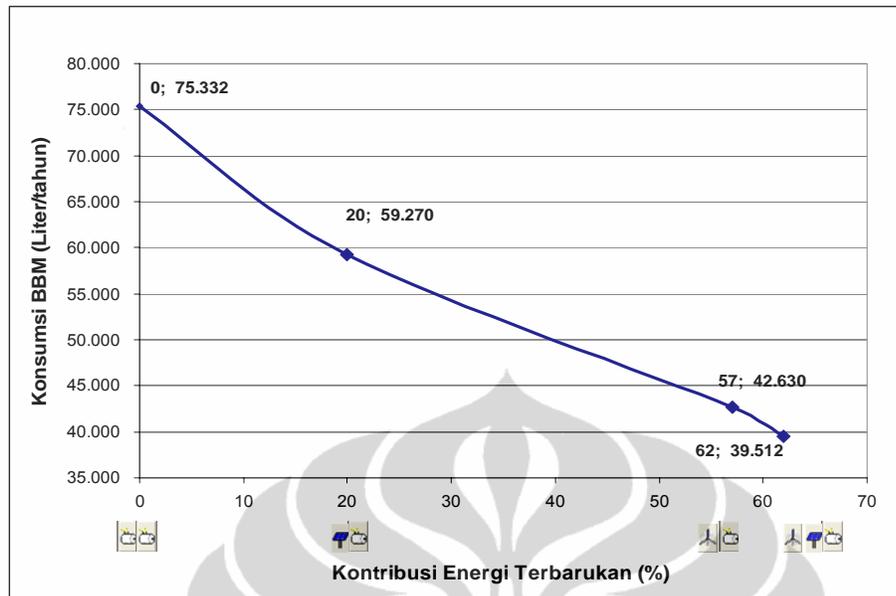


Gambar 4.4 Kontribusi PLTB - PLTD

Pada gambar 4.4 diatas menunjukkan kontribusi masing-masing pembangkit. Kontribusi PLTB sebesar 57% dan kontribusi PLTD sebesar 43%.

- **Konsumsi BBM**

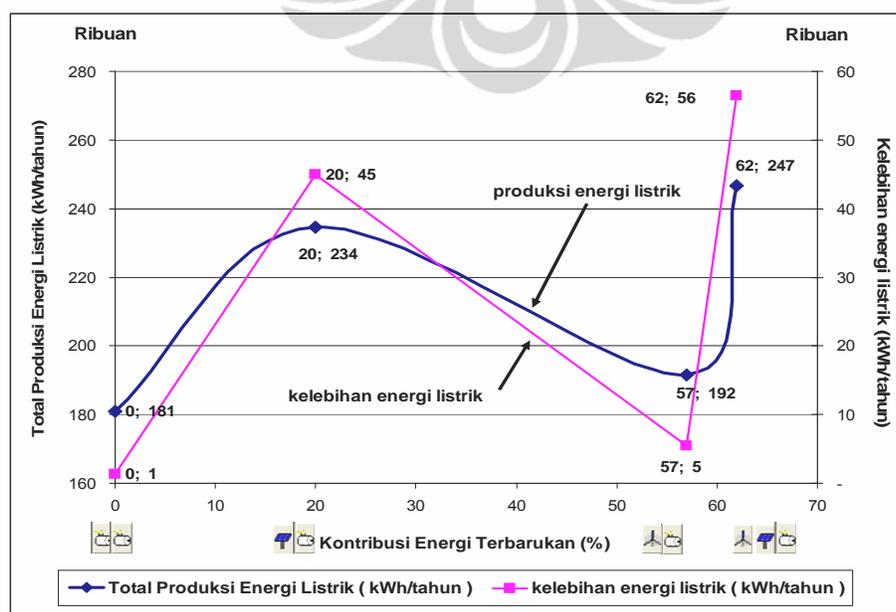
Pada gambar 4.5 konsumsi BBM pada konfigurasi sistem PLTH terdiri dari PLTB-PLTD adalah sebesar 42.630 liter pertahun. Pada konfigurasi ini penggunaan BBM bisa dihemat sebesar 32.702 liter pertahun atau 43,4 % pertahun.



Gambar 4.5 Konsumsi BBM Diesel 40 kW

- Kelebihan listrik yang tidak terpakai**

Dengan beban harian yang tetap, kelebihan listrik yang tidak terpakai memiliki nilai yang berfluktuasi seiring dengan total produksi listrik pada sistem PLTH. Kelebihan listrik terbesar terjadi pada sistem PLTH yang terdiri dari PLTS-PLTB-PLTD sebesar 22,9% atau 56.496 kWh pertahun dengan total produksi energi listrik sebesar 246.639 kWh pertahun.

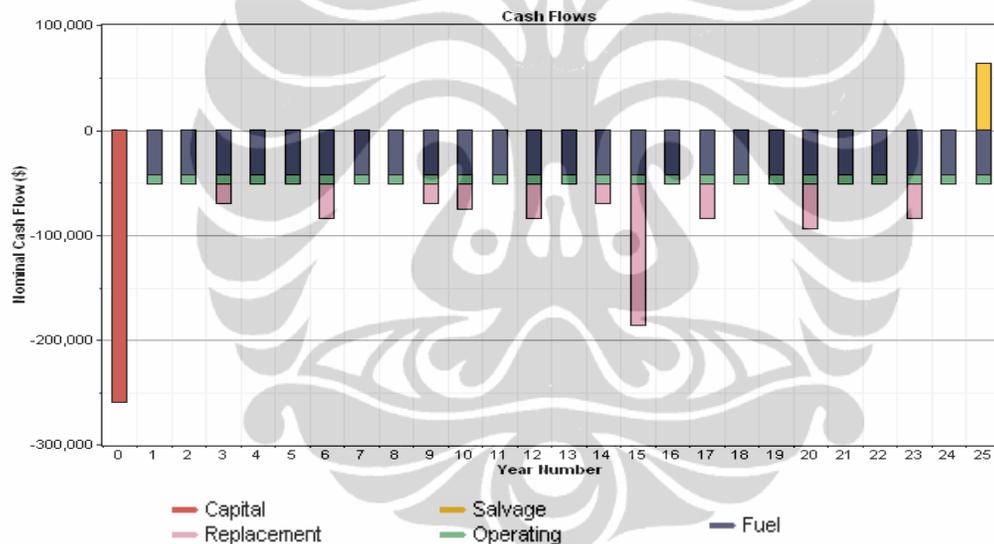


Gambar 4.6 Kelebihan energi listrik – kontribusi ET – total produksi energi listrik PLTH

- **Biaya - Biaya**

Secara keseluruhan Sistem yang optimal adalah sistem PLTH yang terdiri dari PLTB-PLTD, biaya – biaya yang didapatkan dari hasil simulasi adalah sebagai berikut : modal awal yang diinvestasikan sebesar \$ 259.445, biaya pengoperasian sebesar \$ 64.124 pertahun, nilai bersih sekarang (NPC) sebesar \$ 943.957, biaya listrik (COE) sebesar \$ 0,492 per kWh.

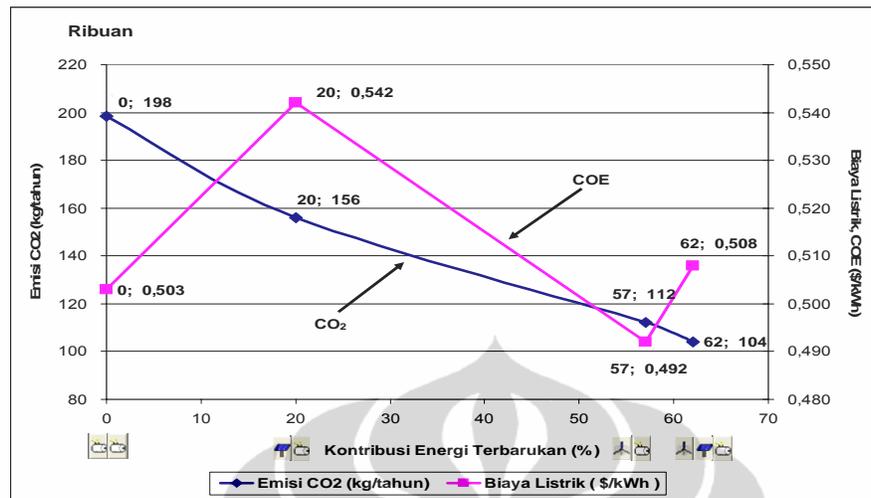
Pada sistem ini biaya investasi awal tinggi namun selama 25 tahun biaya bahan bakar dapat dikurangi sebesar 32.702 liter pertahun atau 43,4 %. Pada gambar 4.7 dapat dilihat penggantian PLTD 40 kW dilaksanakan setiap tiga tahun karena telah melampaui jam operasinya selama 15.000 jam lebih lama waktu pengantiannya dibandingkan jika sistem hanya terdiri dari PLTD.



Gambar 4.7 Aliran biaya PLTB - PLTD 40 kW selama 25 tahun

Merujuk pada gambar 4.8, nilai emisi CO₂ semakin turun ketika kontribusi ET meningkat. Sedangkan nilai COE berfluktuasi terhadap perubahan nilai kontribusi ET. Ketika nilai kontribusi ET minimum 0%, beban disuplai oleh PLTD 40 kW dan 50 kW dengan nilai COE \$ 0,503 per kWh. Saat nilai kontribusi ET 4% konfigurasi sistem PLTH terdiri dari PLTS - PLTD, nilai COE naik menjadi \$ 0,542 per kWh. Nilai COE terendah sebesar \$ 0,492 per kWh terjadi pada nilai kontribusi ET 57% yang terdiri dari PLTB - PLTD. Nilai COE kembali naik menjadi \$ 0,508 per kWh ketika kontribusi ET 62% konfigurasi sistem terdiri dari PLTS – PLTB - PLTD.

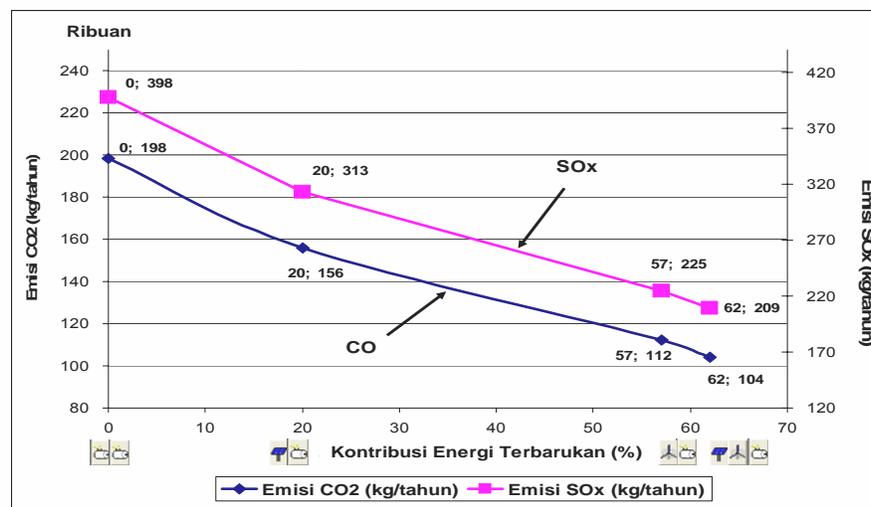
Dengan melihat kondisi diatas, dapat disarankan untuk memilih sistem PLTH dengan konfigurasi PLTB - PLTD dengan nilai COE terendah.



Gambar 4.8 Emisi CO₂ – Kontribusi energi terbarukan – Biaya Listrik

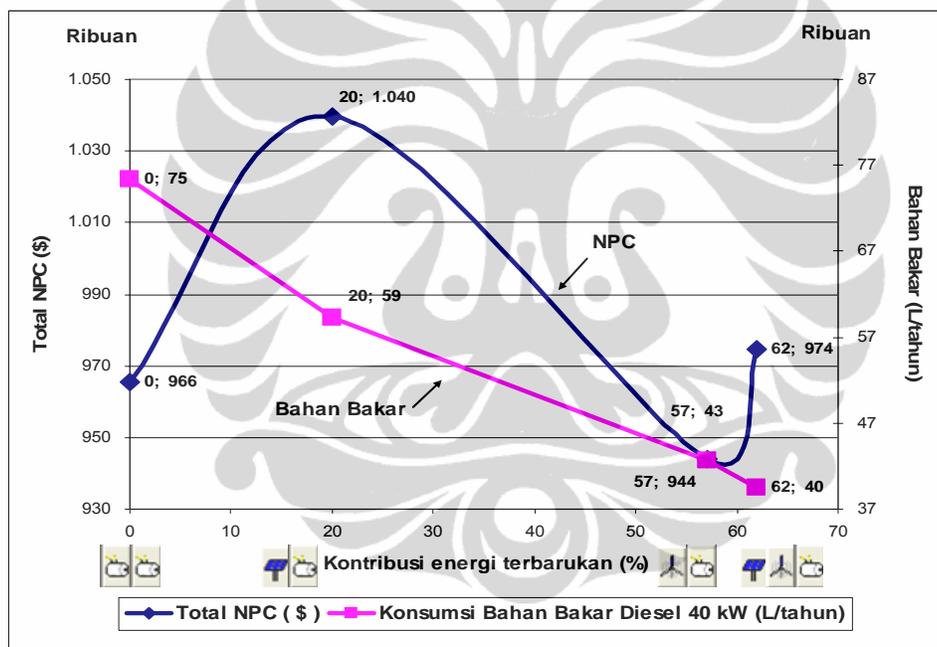
- **Dampak Lingkungan (emisi)**

Ketika disain PLTH disimulasi dan dioptimasi dengan nilai kontribusi energi terbarukan minimum 0%, maka didapatkan tingkat emisi CO₂ dan SO_x semakin menurun seiring dengan menurunnya pemakaian bahan bakar pada PLTD, Seperti terlihat pada gambar 4.9. Pada garis emisi CO₂, nilai tertinggi terjadi ketika kontribusi ET 0% dengan nilai emisi CO₂ adalah 198 ton pertahun. Nilai emisi CO₂ menjadi 104 ton pertahun ketika kontribusi ET 62% berkurang sebanyak 47,5% atau 94 ton pertahun. Hal yang sama juga terjadi pada garis emisi SO_x, ketika kontribusi ET 0% nilai emisi SO_x adalah 398 kg pertahun. Nilai emisi SO_x menjadi 209 kg pertahun ketika kontribusi ET 62% berkurang sebanyak 47,5% atau 189 kg pertahun.



Gambar 4.9 Emisi CO₂ – Kontribusi energi terbarukan – Emisi SO_x

Secara keseluruhan kondisi yang optimum berdasarkan simulasi dengan perangkat lunak HOMER adalah pada harga nilai bersih sekarang (NPC) terendah. Kombinasi PLTH yang secara keseluruhan optimum adalah PLTD dan PLTB. Pada kondisi ini NPC sistem sebesar \$ 943.957, investasi awal sebesar \$ 259.445, biaya pengoperasian pertahun sebesar \$ 64.124, COE per kWh adalah sebesar \$ 0,492, konsumsi BBM adalah 42.630 liter pertahun, Emisi CO₂ nya sebesar 112.258 kg pertahun, Kelebihan energinya selama setahun sebesar 44.984 kWh. Ketika kontribusi ET dinaikkan menjadi 62%, maka NPC akan naik menjadi \$ 974.452. Gambar 4.10 menunjukkan titik optimum sistem PLTH PLTB- PLTD dengan NPC termurah dan konsumsi bahan bakar yang rendah pada kontribusi ET 57%.



Gambar 4.10 NPC – Konsumsi Bahan Bakar