

PENJADWALAN OPTIMAL OPERASI UNIT – UNIT PEMBANGKIT UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN BEBAN DITINJAU DARI PEMAKAIAN BAHAN BAKAR

(Studi Kasus Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Kefamenanu, Timor Tengah Utara)

Agusthinus S. Sampeallo

Staf Dosen Sains dan Teknik Undana Kupang

Email: agustinus_sampeallo@yahoo.com

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) merupakan salah satu jenis pembangkit yang menggunakan bahan bakar minyak (solar) untuk menghasilkan tenaga listrik. Mengingat harga bahan bakar yang mahal, maka perlu dilakukan penjadwalan operasi dari unit-unit pembangkit pada pusat pembangkit sehingga disamping menghasilkan tenaga listrik yang berkualitas sesuai dengan kebutuhan juga pemakaian bahan bakar bisa lebih optimal. Penjadwalan optimal operasi unit-unit pembangkit dapat dilakukan dengan memilih kombinasi operasi dari unit-unit pembangkit tersebut yang menghasilkan daya tertentu dan pemakaian bahan bakar paling sedikit yang lebih dahulu diprioritaskan untuk beroperasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji optimalisasi pemakaian bahan bakar pada PLTD Kefamenanu. Dengan menghitung *Incremental Rate* dari unit-unit pembangkit yang ada dengan menggunakan metode aljabar, dapat diketahui kombinasi optimal operasi dari unit-unit pembangkit dan berapa besarnya pemakaian bahan bakar dari kombinasi operasi unit-unit pembangkit tersebut.

Abstract

Diesel Power Plant (Diesel) is one of the plants that use fuel oil to generate electricity. Because of the high price of fuel, it is necessary to schedule the operation of the generating units, so that in addition of generating electrical power quality in accordance with the needs also fuel consumption can be optimized. Optimal scheduling of generating units can be done by selecting a combination of operating generating units which produce a certain power and the least fuel consumption as a first priority to operate.

This study aims to examine the optimization of fuel consumption in Diesel Kefamenanu. By calculating the Incremental Rate of generating units that exist by using algebraic methods, it can show the optimal combination of operating generating units and how much the fuel consumption of the combined operation of the plant units.

Keywords: Optimal Scheduling, Unit Generators, Fuel Consumptions.

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Kefamenanu Kabupaten Timor Tengah Utara (TTU) merupakan salah satu pembangkit listrik milik PT. PLN (Persero) wilayah Nusa Tenggara Timur (NTT) yang memegang peranan penting dalam penyediaan dan penyaluran tenaga listrik karena merupakan satu-satunya pembangkit tenaga listrik yang melayani kebutuhan tenaga listrik untuk kota Kefamenanu dan sekitarnya. Saat ini PLTD Kefamenanu memiliki 10 unit diesel generator yang membangkitkan tenaga listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dengan daya terpasang

3812 kW dan daya mampu 2470 kW. PLTD Kefamenanu melayani empat penyulang, yaitu: (1) penyulang Kota; (2) penyulang Eban; (3) penyulang Polen dan; (4) penyulang Oelolok dengan jumlah beban sebesar 2425 kW.

Oleh karena penggunaan bahan bakar berhubungan langsung dengan pengoperasian tiap unit diesel generator, maka pengoperasian unit-unit tersebut harus diatur sedemikian rupa, sehingga menghasilkan daya listrik yang berkualitas dengan pemakaian bahan bakar yang seoptimal mungkin. Berdasarkan kondisi ini, maka unit-unit diesel generator tersebut harus dijadwalkan pengoperasiannya dengan

memilih unit-unit tertentu yang mempunyai daya tertentu dan mengkonsumsi bahan bakar yang paling hemat dalam pengoperasiannya.

Untuk dapat melakukan penjadwalan optimal operasi unit-unit diesel generator pada PLTD Kefamenanu, maka perlu diketahui karakteristik tiap unit diesel generator yang ada sehingga dapat menentukan *Incremental Rate* dari unit-unit diesel generator tersebut. Hal ini perlu dilakukan karena bahan bakar yang digunakan oleh unit-unit diesel generator tersebut harganya sama. Untuk perhitungan *losses* juga diabaikan karena yang dilihat adalah daya keluaran dari tiap unit diesel generator dengan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh tiap unit diesel generator tersebut.

Biaya operasi dari sistem tenaga listrik umumnya merupakan biaya terbesar. Secara garis besar biaya operasi dari suatu sistem tenaga listrik adalah: biaya pembelian tenaga listrik, biaya pegawai, biaya material operasi dan bahan bakar dan biaya lain-lain [1]. Dari keempat biaya tersebut diatas, biaya bahan bakar adalah biaya yang terbesar yang mencapai kira-kira 60% dari biaya operasi secara keseluruhan. Biaya bahan bakar merupakan faktor yang harus ditekan dengan melakukan langkah-langkah optimisasi agar menjadi sekecil mungkin dengan tetap mempertahankan mutu dan keandalan. Oleh karenanya diperlukan suatu cara untuk menghitung biaya bahan bakar yang diperlukan dalam mengoperasikan sistem tenaga listrik.

2. Metode Penelitian

2.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PLTD Kefamenanu milik PT. PLN (Persero), jalan Eltari Km 5 Kefamenanu, Kabupaten TTU.

2.2 Metode yang Digunakan

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi lapangan untuk mendapatkan data sekunder, yaitu: data beban, data penggunaan bahan bakar, data teknis dari mesin diesel dan generator yang digunakan berdasarkan data tahun 2007. Selain itu juga dilakukan studi literatur untuk keperluan analisis.

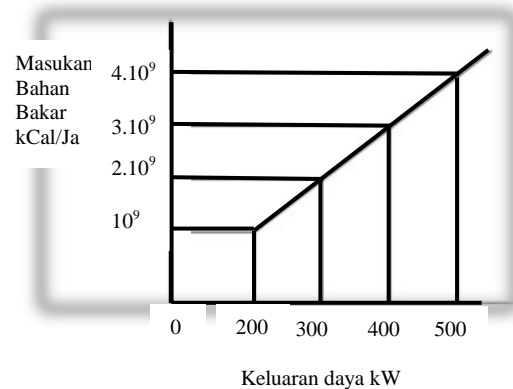
2.3 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menentukan kurva karakteristik *input output* tiap unit diesel generator berdasarkan konsumsi bahan bakar dan daya yang dihasilkan, menentukan nilai α , β dan γ dan selanjutnya menentukan kombinasi optimal unit diesel generator yang beroperasi untuk beban tertentu berdasarkan konsumsi bahan bakar yang paling efisien. Dalam penelitian ini *losses* diabaikan. Untuk mendapatkan data sebagaimana yang

disebutkan diatas, maka ada beberapa tahapan yang dilakukan, diantaranya:

Mencari Kurva Input-Output dari Unit-Unit Dalam Suatu Pembangkit

Untuk menentukan distribusi ekonomis beban diantara berbagai-bagai unit dalam suatu pembangkit yang terdiri dari sebuah diesel dan generator, biaya operasi variabel unit itu dinyatakan sebagai fungsi keluaran daya. Gambar 1 memperlihatkan suatu kurva masukan bahan bakar dan keluaran daya dari unit-unit yang ada. Jika suatu garis lurus ditarik melalui ke setiap titik pada kurva masukan – keluaran itu, kebalikan kemiringan (*slope*) dapat dinyatakan dalam kilowatt dibagi dengan masukan dalam juta kCal per jam, atau sebagai perbandingan keluaran energi dalam megawattjam terhadap masukan bahan bakar yang diukur dalam jutaan kCal. Perbandingan ini adalah merupakan daya guna bahan bakar.



Gambar 1. Kurva Masukan Keluaran untuk Unit Pembangkit yang Menunjukkan Masukan Bahan Bakar Versus Keluaran Daya.

Dari kurva karakteristik input output tiap unit pembangkit seperti pada Gambar 1 dapat ditentukan *Incremental Rate* dari tiap unit pembangkit yang ada dalam suatu PLTD. *Incremental Rate*, yaitu menyamakan konsumsi bahan bakar antara dua atau lebih unit pembangkit. Menurut [2], ada 3 cara menghitung *Incremental Rate* yaitu: (1) menggunakan persamaan aljabar; (2) menggunakan metode grafik dan; (3) menggunakan metode *step by step*.

Melakukan Pembagian Optimal Beban antara Dua Mesin

Jika P adalah total daya keluaran dari 2 mesin maka, masalahnya adalah bagaimana menentukan pembagian optimal beban antara kedua mesin tersebut. P_1 dan P_2 adalah keluaran dari mesin 1 dan mesin 2, dan masukannya adalah I_1 dan I_2 . Diharuskan menjadwalkan pembangkit sedemikian rupa sehingga total masukan $I_t = I_1 + I_2$ haruslah minimum pada beban P. $\frac{dI_1}{dP_1}$ dan $\frac{dI_2}{dP_2}$ adalah turunan pertama.

Kesimpulan ialah karena masukan total yang minimum, $\frac{d^2 I_1}{dP_1^2}$ dan $\frac{d^2 I_2}{dP_2^2}$ harus positif dan karenanya jumlah mereka perlu juga positif.

$$I_t = I_1 + I_2 \dots\dots\dots(2.1)$$

$$P = P_1 + P_2 \dots\dots\dots(2.2)$$

Melakukan Penjadwalan Optimal untuk Sistem Pembangkitan Multi Mesin

Untuk menemukan nilai maksimum dari fungsi $u = u(x, y, z)$, dimana variabel x, y, z dihubungkan oleh persamaan:

$$\psi(x, y, z) = 0 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan persamaan matematika tersebut, dimulai mencari kondisi untuk total masukan yang minimum, sehingga:

$$I_t = \sum_{k=1}^n I_k \dots\dots\dots(2.4)$$

Untuk menjadwalkan mesin dengan I_t yang minimum untuk jumlah daya P , memiliki batasan bahwa $\sum P_k = P =$ total daya yang diterima di mana P_k adalah keluaran dari satuan k . Selanjutnya:

$$\Psi(P_1, P_2, \dots, P_n) = 0 \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\sum_{k=1}^n P_k - P = 0 \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\sum_{k=1}^n P_k = P \dots\dots\dots(2.7)$$

Jika I adalah harga masukan, biaya masukan minimum adalah :

$$\frac{\partial I}{\partial P_k} = 0 \dots\dots\dots(2.8)$$

$$I = I_t - \lambda \psi \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana $\lambda =$ pengali Lagrangiang

$$\frac{dI_k}{dP_k} = \lambda \dots\dots\dots(2.10)$$

Dari persamaan diatas dapat ditulis ulang dengan menggantikan $k = 1, 2, \dots, n$, yaitu:

$$\frac{dI_1}{dP_1} = \frac{dI_2}{dP_2} = \dots = \frac{dI_k}{dP_k} = \dots = \frac{dI_n}{dP_n} \dots\dots\dots(2.11)$$

Jika *Incremental Rate* dari unit k adalah R_{ik} , maka dapat ditulis:

$$R_{i1} = R_{i2} = \dots = R_{ik} = \dots = R_{in} = \lambda \dots\dots\dots(2.12)$$

Melakukan Perhitungan Pembangkitan Ekonomis dengan Mengabaikan Losses

Dengan mengabaikan *losses*, maka total permintaan P_D adalah jumlah daya mampu dari semua generator. Untuk

mendapatkan daya nyata tiap generator dinyatakan dengan persamaan [3]:

$$I_t = \sum_{i=1}^{n_g} I_i \dots\dots\dots(2.13)$$

$$= \sum \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \dots\dots\dots(2.14)$$

Sedangkan untuk pembangkitan maksimum adalah:

$$\frac{dP_i}{dI_i} = \lambda \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\beta_i + 2\gamma_i P_i = \lambda \dots\dots\dots(2.16)$$

dan untuk kondisi berikutnya adalah:

$$\sum_{i=1}^{n_g} P_i = P_D \dots\dots\dots(2.17)$$

dengan:

$$P_i = \frac{\gamma_i - \beta_i}{2\lambda_i} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dari persamaan (2.17) disebut sebagai fungsi λ sedangkan dari persamaan (2.16) untuk mengganti P_i didapat :

$$\sum_{i=1}^{n_g} \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i} = P_D \dots\dots\dots(2.19)$$

atau:

$$\lambda = \frac{P_D + \sum_{i=1}^{n_g} \frac{\beta_i}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^{n_g} \frac{1}{2\gamma_i}} \dots\dots\dots(2.20)$$

Melakukan Perhitungan Pembangkitan Ekonomis dengan Batas Generator

Tenaga listrik yang dibangkitkan harus lebih besar atau sama dengan daya minimum generator tersebut dan lebih kecil atau sama dengan daya maksimum generator tersebut. Jadi operasi generator harus dalam batas maksimum dan minimumnya. Batasannya didefinisikan sebagai berikut:

$$P_{i(min)} \leq P_i \leq P_{i(max)}, \text{ dengan } i = 1, \dots, n_g \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana $P_{i(min)}$ dan $P_{i(max)}$ adalah batas minimum dan maksimum dari generator ke- i . Untuk pembangkitan yang optimal dengan mengabaikan *losses* dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{dI_i}{dP_i} = \lambda \text{ untuk } P_{i(min)} < P_i < P_{i(max)}$$

$$\frac{dI_i}{dP_i} \leq \lambda \text{ untuk } P_i = P_{i(max)} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$\frac{dI_i}{dP_i} \geq \lambda \text{ untuk } P_i = P_{i(min)}$$

Untuk perhitungan selanjutnya sama seperti sebelumnya dimana P_i dan λ , dihitung menggunakan persamaan (2.18) dan (2.20) dan dihitung ulang hingga diperoleh $\sum P_i = P_D$, dengan : $I_i =$ persamaan karakteristik input-output tiap Unit;

P_i = Daya Generator; α = Beban Nol; β = Beban Rata-Rata; γ = Beban Maksimum.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Penelitian

Tabel 1, 2 dan 3 masing-masing memperlihatkan konsumsi bahan bakar dan energi (kWh) yang dihasilkan tiap unit, nilai persamaan karakteristik input output dari 10 unit diesel generator dan urutan konsumsi bahan bakar mulai dari yang paling irit sampai yang paling boros.

Tabel 1. Konsumsi Bahan Bakar dan Energi yang Dihasilkan Tiap Unit Diesel Generator

No.	Unit Diesel Generator	Daya Terpasang (kW)	Daya Mampu (kW)	Jam Kerja	kWh Output	Konsumsi BBM (litr)	S F C	Konsumsi/kWh (litr)
1.	DEUTZ	260	160	4392.5	589676	189002	0.26831534	0.320518386
2.	SWD 1	336	200	1196	207360	76710	0.23247243	0.369936343
3.	MWM 1	500	300	6978	1824760	521290	0.30104042	0.285675925
4.	MWM 2	500	350	6599	2181696	610005	0.30758085	0.279601283
5.	DEUTZ (mobil unit) 1	192	150	4637.5	505312	143225	0.30341653	0.283438747
6.	MTU 1	500	400	6920.5	2360280	675125	0.30066148	0.286035979
7.	MTU 2	500	400	6441.5	2261040	643040	0.30239089	0.284400099
8.	DEUTZ (mobil unit) 2	192	150	3076	355720	101495	0.30141307	0.285322726
9.	DEUTZ (mobil unit) 3	192	150	4176	461488	130285	0.30462423	0.282315033
10.	SWD 2	336	250	897	188390	60488	0.26784718	0.321078614

Sumber: PT. PLN (Persero) Ranting Kefamenanu

Tabel 2. Urutan Konsumsi Bahan Bakar 10 Unit Diesel Generator dari yang Paling Irit Sampai Paling Boros

No.	Unit Diesel Generator	Tahun Pembuatan	Daya Mampu (kW)	Jam kerja	Konsumsi/kWh (liter)	Effisiensi (%)
1.	MWM 2	1996	350	6599.00	0.279601	30.76
2.	DEUTZ (mobil unit) 3	1992	150	4176.00	0.282315	30.46
3.	DEUTZ (mobil unit) 1	1992	150	4637.50	0.283439	30.34
4.	MTU 2	2002	400	6441.50	0.284400	30.24
5.	DEUTZ (mobil unit) 2	1992	150	3076.00	0.285323	30.14
6.	MWM 1	1996	300	6978.00	0.285676	30.10
7.	MTU 1	2002	400	6920.50	0.286036	30.07
8.	DEUTZ	1985	160	4392.50	0.320518	26.83
9.	SWD 2	1974	250	897.00	0.321079	26.78
10.	SWD 1	1974	200	1196.00	0.369936	23.25

Tabel 3. Karakteristik Input-Output Unit-Unit Diesel Generator

No.	Unit Diesel Generator	Daya Maksimum (kW)	α	β	γ
1	DEUTZ	150	5896.5	3190.8	0.2191
2	SWD 1	170	11443	3459.4	0.9926
3	MWM 1	300	18764	2800.3	0.0113
4	MWM 2	390	238028	2063.2	0.0441
5	DEUTZ mu 1	150	56532	2263.2	0.0672
6	MTU 1	380	263238	2089	0.0218
7	MTU 2	400	57976	2678.2	0.0195
8	DEUTZ mu 2	150	124349	1791.9	0.065
9	DEUTZ mu 3	150	47187	2401.6	0.0512
10	SWD 2	230	19344	3289.1	0.479

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa selama tahun 2007 unit MTU 1 merupakan unit yang paling banyak jam operasinya dengan pemakaian bahan bakar selama tahun 2007 adalah 675.125 liter dan energi yang dihasilkan sebesar 2.360.280 kWh. Unit SWD2 adalah unit yang paling sedikit jam operasinya, yaitu 897 jam dengan pemakaian bahan bakar sebesar 60.488 liter dan energi yang dihasilkan sebesar 188390 kWh. Tabel 2 memperlihatkan urutan konsumsi

bahan bakar dari masing-masing unit diesel generator mulai dari yang paling irit sampai dengan yang paling boros. Sedangkan Tabel 3 memperlihatkan persamaan karakteristik input output dari 10 unit diesel generator. Untuk unit-unit diesel generator yang memiliki nilai α yang besar lebih cocok untuk melayani kebutuhan daya yang besar, sedangkan untuk kebutuhan daya yang kecil dioperasikan unit-unit yang memiliki α yang kecil. Dari persamaan 2.15,

nilai α menunjukkan konsumsi bahan bakar dalam liter/jam dari setiap unit diesel generator pada saat mesin dihidupkan tetapi belum terhubung ke sistem yang sedang beroperasi ($P=0$ kW).

Dalam operasinya untuk memenuhi kebutuhan beban di kota Kefamenanu dan sekitarnya, unit-unit diesel generator pada PLTD Kefamenanu selalu beroperasi secara paralel sesuai

dengan kebutuhan beban. Kerja paralel dari 10 unit diesel generator meliputi kombinasi 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan operasi 10 unit diesel generator tersebut. Urutan pengoperasian generator berdasarkan penggunaan bahan bakar yang paling ekonomis untuk beberapa kombinasi dapat dilihat dalam Tabel 4.1 – 4.7.

Tabel 4. Optimalisasi dari Kombinasi 4 Unit Diesel Generator antara Beban 900 kW – 1100kW

Beban Daya (kW)	Unit Pembangkit yang Beroperasi (kW)	Daya Output (kW)	Jumlah Total Pemakaian BBM (Liter/Jam)	Keterangan
900	DEUTZ, MWM 1, DEUTZ mu 1, MTU 2	110, 240, 150, 400	151,272	Paling Optimal
	SWD 1, MWM 1, DEUTZ mu 1, MTU 2	170, 180, 150, 400	161,310946	Jika DEUTZ mengalami gangguan penggantinya adalah SWD 1
1000	DEUTZ, MWM 1, DEUTZ mu1, MTU 2	150, 300, 150, 400	181,101545	Paling Optimal
	DEUTZ, MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 2	150, 300, 150, 400	181,210145	Jika MWM1 mengalami gangguan penggantinya adalah MWM2
1100	DEUTZ, MWM 1, MTU 1, MTU 2	150,170, 380, 700	210,896794	Paling Optimal
	DEUTZ, MWM 1, MWM 2, MTU 2	130, 270, 300, 400	212,520326	Jika MTU 1 mengalami gangguan penggantinya adalah MWM2

Tabel 5 Optimalisasi Kombinasi 5 Unit Diesel Generator antara Beban 1200 kW – 1500kW

Beban Daya (kW)	Unit Pembangkit yang Beroperasi (kW)	Daya Output (kW)	Jumlah Total Pemakaian BBM (Liter/Jam)	Keterangan
1200	MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, DEUTZ mu2, DEUTZ mu3	370, 150, 380 150, 150	326,835	Paling Optimal
	MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 2, DEUTZ mu2, DEUTZ mu3	350, 150, 400, 150, 150	329,862575	Jika MTU 1 mengalami gangguan penggantinya adalah MTU 2
1300	MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu 1 MTU 1, DEUTZ mu2	300, 320, 150, 380, 150	361,496	Paling Optimal
	MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1, DEUTZ mu3	300, 320, 150 380, 150	362,894776	Jika unit DUTZ mu2 mengalami gangguan penggantinya adalah DUTZ
1400	MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu2	320, 150, 380, 400, 150	388,747	Paling Optimal
		300, 380, 320 150, 150	389,852	Jika unit DUTZ mu1 mengalami gangguan penggantinya adalah DUTZ
1500	MWM 1, MWM 2, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu2	300, 300, 380, 370, 150	422,720	Paling Optimal
	MWM 1, MWM 2, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu1	300, 300, 150, 380, 270	423,013	Jika unit DUTZ mu2 mengalami gangguan penggantinya adalah DUTZ mu 1

Tabel 6 Optimalisasi Kombinasi 6 Unit Diesel Generator antara Beban 1500 kW – 1800Kw

Beban Daya (kW)	Unit Pembangkit yang Beroperasi (kW)	Daya Output (kW)	Jumlah Total Pemakaian BBM (Liter/Jam)	Keterangan
1500	MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, DEUTZ mu2, SWD 2	300, 370, 150 380, 150, 150	412,822	Paling Optimal
	MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu, MTU 2, DEUTZ mu2, SWD2	300, 350, 150 380, 150, 150	415,849	Jika unit MTU 1 mengalami gangguan penggantinya adalah MTU 2
1600	MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1 MTU 2, DEUTZ mu2, DEUTZ mu3	370, 150, 380 400, 150, 150	440,073	Paling Optimal
	MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1 MTU 2, DEUTZ mu2, DEUTZ mu3	150, 370, 150 400, 150, 150	448,159	Jika unit DEUTZ mu3 mengalami gangguan penggantinya adalah DEUTZ mu3

1700	MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu2	300, 320, 150, 380,400, 150	474,743	Paling Optimal
	MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu3, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu2	300, 320, 380 400, 150, 150	475,839	Jika unit DUTZ mu1 mengalami gangguan penggantinya adalah DUTZ mu 3
1800	MWM 1, MWM 2, MTU 1 MTU 2, DEUTZ mu2, SWD 2	300, 340, 380 400, 150, 230	519,283	Paling Optimal
	MWM 1, MWM 2, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu1, SWD 2	300, 340, 380 150, 380, 230	519,576	Jika unit DUTZ mu2 mengalami gangguan penggantinya adalah DUTZ mu 1

Tabel 7 Optimalisasi Kombinasi 7 Unit Diesel Generator antara Beban 1800 kW – 2000kW

Beban Daya (kW)	Unit Pembangkit yang Beroperasi (kW)	Daya Output (kW)	Jumlah Total Pemakaian BBM (Liter/Jam)	Keterangan
1800	MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu2, DEUTZ mu3	300, 300, 150, 380, 370, 150, 150	503,331	Paling Optimal
	MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu2, DEUTZ	150, 300, 350, 150, 380, 320,150	508,419	Jika DEUTZ mu3 mengalami gangguan penggantinya adalah DEUTZ
1900	MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu2, DEUTZ mu3	300,370,150,380, 400, 150, 150	526,060	Paling Optimal
	MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ, SWD 2	150, 300, 300, 150, 380, 290, 230	530,547	Jika DEUTZ mu2 dan DEUTZ mu3 mengala-mi gangguan penggantinya adalah DEUTZ, dan SWD 2
2000	MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu3, SWD 2	300, 390,150, 380, 400,150, 230	569,513	Paling Optimal
	MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu2, SWD 2	300, 390, 380, 400 150, 150, 230	570,618	Jika unit DEUTZ mu1 mengalami gangguan penggantinya DEUTZ mu2

Tabel 8. Optimalisasi Kombinasi 8 Unit Diesel Generator antara Beban 2000 kW – 2100kW

Beban Daya (kW)	Unit Pembangkit yang Beroperasi (kW)	Daya Output (kW)	Jumlah Total Pemakaian BBM (Liter/Jam)	Keterangan
2000	DEUTZ, MWM 1, MWM 2., DEUTZ mu1 MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu2, DEUTZ mu3	150, 300, 320, 150 380, 400, 150, 150	564,536	Paling Optimal
	DEUTZ, SWD 2, MWM 2, DEUTZ mu1 MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu2, DEUTZ mu3	150, 390, 150, 380, 400, 150,150, 230	573,328	Jika MWM 1 mengalami gangguan penggantinya adalah SWD 2
2100	MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1, MTU 2, DUTZ mu2, DEUTZ mu3, SWD 2	300, 340, 150, 380, 400, 150, 150, 230	599,894	Paling Optimal
	MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1, MTU 2, DUTZ mu2, DEUTZ, SWD 2	140, 300, 340, 150, 380, 400, 150, 230	607,980	Jika DEUTZ 3 mengalami gangguan penggantinya adalah DEUTZ

Tabel 9. Optimalisasi Kombinasi 9 Unit Diesel Generator antara Beban 2200 kW – 2300kW

Beban Daya (kW)	Unit Pembangkit yang Beroperasi (kW)	Daya Output (kW)	Jumlah Total Pemakaian BBM (Liter/Jam)	Keterangan
2200	DEUTZ, SWD 1, MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu2 DEUTZ mu3	150, 170, 300, 350 150, 380, 400, 150 150	633,637	Paling Optimal
	DEUTZ, SWD 2, MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu2 DEUTZ mu3	150, 300, 320, 150, 380, 370, 150, 150 230	636,574	Jika unit SWD 1 mengalami gangguan penggantinya adalah SWD 2
2300	DEUTZ, MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu2, DEUTZ mu3 SWD 2	150, 300, 390, 150 380, 400, 150, 150 230	659,315	Paling Optimal
	SWD 1, MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu2, DEUTZ mu3 SWD 2	150, 300, 390, 150, 380, 400, 150, 150 230	665,639	Jika unit DEUTZ mengalami gangguan penggantinya adalah SWD 1

Tabel 10. Optimalisasi Kombinasi 10 Uni tDiesel Generator dengan Beban 2425 kW

Beban Daya (kW)	Unit Pembangkit yang Beroperasi (kW)	Daya Output (kW)	Jumlah Total Pemakaian BBM (Liter/Jam)	Keterangan
2425	10 unit pembangkit	150, 160, 300, 390, 150, 360, 400, 150, 215	715,0367	Sebelum optimal
		150, 155, 300, 390, 150, 380, 400,150, 150, 200	705,980	Setelah Optimal

3.2 Pembahasan Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka terlihat bahwa untuk beban dari 300 kW sampai 900 kW dapat dilayani dengan kombinasi 2 sampai 4 unit diesel generator sehingga diperoleh penghematan penggunaan bahan bakar. Adapun hasil optimasi yang telah dilakukan, yakni: beban 300 kW (kombinasi antara DEUTZ mu 1 dan DEUTZ mu 2) = 79,21205 liter/jam; beban 400 kW (kombinasi DEUTZ dan MWM 2) = 110,9267 liter/jam; beban 500 kW (kombinasi MWM 2 dan DEUTZ mu 1) = 135,5681 liter/jam; beban 600 kW (DEUTZ mu 1, MTU 1, dan DEUTZ mu 2) = 153,150 liter/jam; beban 700 kW (kombinasi unit MWM 2 dan MTU 2) = 193,9476 liter/jam; beban 800 kW (unit MWM 2, DEUTZ mu 1, dan MTU 1)= 231,751 liter/jam; beban 900 kW (unit DEUTZ, MWM 1, DEUTZ mu 1, dan MTU 2) = 151,272 liter/jam.

Selanjutnya, untuk beban 1000 kW sampai 1500 kW dapat dilayani dengan kombinasi 4 sampai 6 unit diesel generator dengan kombinasi sebagai berikut: beban 1000 kW (DEUTZ, MWM 1, DEUTZ mu 1, dan MTU 2) = 181,101545 liter/jam; beban 1100 kW (DEUTZ, MWM 1, MTU 1, dan MTU 2) = 210,896794 liter/jam; beban 1200 kW (MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, DEUTZ mu 3, dan DEUTZ mu 3) = 326,835 liter/jam; beban 1300 kW (MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, dan DEUTZ mu 2) = 361,496 liter/jam; beban 1400 kW (MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, MTU 2 dan DEUTZ mu 2) = 388,747 liter/jam; beban 1500 kW (unit MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, DEUTZ mu 2, dan SWD 2) = 412,822 liter/jam.

Kemudian dengan berdasarkan Tabel 6 dan 7 terlihat bahwa untuk beban 1600 kW sampai 2000 kW dapat dilayani dengan kombinasi 6 sampai 8 unit diesel generator. Adapun kombinasinya sebagai berikut: beban 1600 kW (MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu 2, dan DEUTZ mu 3) = 440,073 liter/jam; beban 1700 kW (MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, MTU 2, dan DEUTZ mu 2) = 474,743 liter/jam; beban 1800 kW (MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu 2, dan DEUTZ mu 3) = 503,331 liter/jam; beban 1900 kW (MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu 2, dan DEUTZ mu 3)= 526,060 liter/jam; beban 2000 kW (DEUTZ, MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu 2, dan DEUTZ mu 3) = 564,536 liter/jam.

Demikian halnya dengan beban 2100 sampai 2425 kW (Tabel 8 – Tabel 10) dapat dilayani oleh kombinasi 8 sampai 10 unit diesel generator. Dengan optimalisasi yang telah dilakukan, maka diperoleh penggunaan bahan bakar sebagai berikut: beban 2100 kW (MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu 2, DEUTZ mu 3 dan SWD 2) =599,894 liter/jam; beban 2200 kW (DEUTZ, SWD 1, MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu 2, dan DEUTZ mu 3)= 633,637 liter/jam; beban 2300 kW (DEUTZ, MWM 1, MWM 2, DEUTZ mu 1, MTU 1, MTU 2, DEUTZ mu 2, DEUTZ mu 3 dan SWD 2) = 659,315 liter/jam. Sedangkan untuk beban 2425 kW, maka 10 unit diesel generator beroperasi dan pemakaian bahan bakar yang paling irit adalah 705,980 liter/jam.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa optimalisasi unit-unit pembangkit pada PLTS Kefamenanu, Kabupaten Timor Tengah Utara menunjukkan adanya penghematan penggunaan biaya yang cukup signifikan. Dari hasil optimalisasi yang telah dilakukan, maka dapat dibagi menjadi tiga kategori, yakni pada beban rendah (300 kW – 900 kW) dapat dilayani dengan kombinasi 2 – 4 unit diesel, beban menengah (1600 kW – 2000 kW) dapat dilakukan dengan kombinasi 6 – 8 unit diesel pembangkit, dan pada beban tinggi (2100 kW – 2145 kW) dapat dilayani dengan kombinasi 8 – 10 unit.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada saudara Yeheszkriel Pisdon dan PT PLN (Persero) Ranting Kefamenanu, Kabupaten TTU atas segala bantuan yang diberikan terutama dalam menyiapkan data-data yang dibutuhkan selama penelitian ini dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Marsudi, Djiteng. 1990. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. ISTN, Jakarta.
 [2] K. A., Ganggadhhar. 1984. *Electric Power Sistem*. Khana Publisher. New Delhi.
 [3] Saadat, Hadi, 1999, *“Power System Analysis”*, Mc Graw-Hill International.