

**Rencana Penggunaan Konverter Katalitik Sebagai Tindaklanjut  
Permasalahan Emisi PLTMG Luwuk 40MW**

*Daniel Rio Armanda<sup>1\*)</sup>; Indra Widiyanto<sup>2</sup>; Ramma Dwihadiana<sup>2</sup>*

1. PT PLN (Persero) Divisi Konstruksi Sumatera, Kalimantan dan Sulawesi, Jl. Trunojoyo Blok M-I No.135, RT.6/RW.2, Melawai, Kebayoran Baru, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12160, Indonesia
2. Institut Teknologi PLN, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11750 Jakarta, Indonesia

*\*)Email: [danielrioarmanda@gmail.com](mailto:danielrioarmanda@gmail.com)*

*Received: 29 Oktober 2023 / Accepted: 30 Juni 2024 / Published: 30 Juni 2024*

**ABSTRACT**

*Every power plant with thermal energy has flue gas emissions from each energy generation process. In the Luwuk 40 MW gas engine power plant (GEPP) construction project that was built in Banggai Regency, Central Sulawesi Province, in the construction process there were obstacles related to flue gas emissions. With the issuance of the regulation of the minister of environment and forestry of the Republic of Indonesia no.P.15/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 (PerMen LHK no.15/2019), stipulated on April 5<sup>th</sup>, 2019, regarding emission standards for thermal power plants, there needs to be a review and readjustment the construction process of the PLTMG Luwuk 40 MW so that exhaust gas emissions can meet these regulations. As a follow-up, a study of exhaust gas emissions is designed according to the contract and simulated by adding catalytic converter equipment in order to obtain exhaust emissions in accordance with the PerMen LHK no.15/2019.*

**Keywords:** *GEPP, emission, catalytic converter*

**ABSTRAK**

*Setiap pembangkit listrik dengan energi termal memiliki emisi gas buang dari tiap proses pembangkitan energi. Pada proyek pembangunan pembangkit listrik tenaga mesin gas (PLTMG) Luwuk 40 MW yang dibangun di Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah, dalam proses konstruksinya terdapat kendala terkait emisi gas buang. Dengan terbitnya peraturan menteri lingkungan hidup dan kehutanan Republik Indonesia no.P.15/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 (PerMen LHK no.15/2019), ditetapkan tanggal 05 April 2019, tentang baku mutu emisi pembangkit listrik tenaga termal, maka perlu ada peninjauan dan penyesuaian kembali proses konstruksi PLTMG Luwuk 40 MW agar emisi gas buang dapat memenuhi peraturan tersebut. Sebagai tindaklanjutnya, dilakukan analisa terhadap emisi gas buang yang didesain sesuai kontrak dan disimulasikan dengan dilakukan penambahan peralatan konverter katalitik agar didapat emisi gas buang yang sesuai dengan PerMen LHK no.15/2019 tersebut.*

**Kata Kunci:** *PLTMG, emisi, catalytic converter*

## 1. PENDAHULUAN

Proyek pembangunan pembangkit listrik tenaga mesin gas (PLTMG) Luwuk dengan kapasitas 40 MW di Kabupaten Banggai, Propinsi Sulawesi Tengah merupakan proyek strategis nasional yang dibangun dalam rangka pemenuhan target rasio elektrifikasi dan target pembangunan 35.000 MW yang dicanangkan oleh pemerintah [1]. Proses konstruksi dimulai sejak bulan Maret 2018 dengan didanai oleh anggaran internal PLN.

Dalam proses konstruksi ditemui kendala terkait pemenuhan kepatuhan emisi gas buang yang mengacu peraturan pemerintah. Kemudian dari PLN melakukan kajian terhadap perubahan peraturan pemerintah terkait emisi gas buang pembangkit tenaga listrik termal, sebagai upaya untuk memenuhi peraturan pemerintah dan menekan emisi gas buang pada saat PLTMG Luwuk mulai beroperasi.

Penyusunan kajian teknis ini dilatarbelakangi oleh hal – hal sebagai berikut:

- a. Perjanjian kontrak pembangunan PLTMG Luwuk 40 MW, No.0758.PJ/DAN.02.01/DIR/2017 (selanjutnya disebut sebagai “perjanjian kontrak”), tanggal 29 Desember 2017, antara PT PLN (Persero) dengan konsorsium PT Barata Indonesia – PT Dalle Engineering Construction – PT Mitra Energi Batam (selanjutnya disebut sebagai “konsorsium”). Dimana salah satu persyaratan terkait emisi gas buang adalah merujuk kepada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 21 tahun 2008 tentang baku mutu emisi sumber tidak bergerak bagi usaha dan/atau kegiatan pembangkit tenaga listrik termal.
- b. Terbitnya peraturan menteri lingkungan hidup dan kehutanan Republik Indonesia no.P.15/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019, ditetapkan tanggal 05 April 2019, tentang baku mutu emisi pembangkit listrik tenaga termal.

Dengan merujuk pada aturan terbaru, terdapat perbedaan syarat Baku Mutu Emisi (BME), bila dibandingkan dengan persyaratan peraturan lingkungan hidup yang dirujuk pada perjanjian kontrak.

### 1.1. TUJUAN PENELITIAN

Dengan dilakukan penelitiannya ini, diharapkan dapat memberikan gambaran yang cukup jelas terkait lingkup pekerjaan emisi gas buang di proyek pembangunan PLTMG Luwuk 40 MW dengan merujuk pada dokumen kontrak, peraturan terbaru perihal perundangan yang berlaku serta perkembangan dari sisi *engineering* desain proyek dan aspek *engineering best practice*. Untuk tahap selanjutnya, dengan adanya kajian ini diharapkan dari pihak *owner project* dapat mengambil keputusan yang dianggap perlu terkait lingkup pekerjaan dimaksud, sehingga pekerjaan dapat tetap berjalan dan tidak menjadi penyebab terkendalanya pekerjaan lainnya secara umum dan tidak menjadi *item* yang dipermasalahkan di kemudian hari.

## 2. METODE PENELITIAN

Pembangkit tenaga listrik, khususnya yang dibangkitkan dari energi termal, umumnya menghasilkan gas buang [2]. Untuk meminimalisir dampak terhadap lingkungan, pemerintah berupaya untuk membuat aturan atau regulasi berupa persyaratan baku terkait mutu emisi[3].

Emisi adalah zat, energi dan atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar [4], [5]. BME adalah ukuran batas atau kadar maksimum atau beban emisi maksimum yang diperbolehkan masuk atau dimasukkan ke dalam udara ambien [1] [6]. PLTMG merupakan pembangkit listrik dengan kategori pembangkit tenaga termal yang dalam kondisi aktual operasi normalnya menghasilkan emisi gas buang [7], [8] [9].

## 2.1. IMPLEMENTASI KONTRAKTUAL

Mengacu pada perjanjian kontrak, diketahui bahwa emisi gas buang harus memenuhi Baku Mutu Emisi Tidak Bergerak yang ditetapkan Menteri Negara Lingkungan Hidup. Parameter emisi yang ditentukan dalam kontrak tercantum pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Parameter Emisi PLTMG Luwuk 40 MW

No.	Parameter	Batas Maksimum (mg/Nm <sup>3</sup> )	
		Minyak	Gas
1.	Sulphur Dioxide (SO <sub>2</sub> )	650	150
2.	Nitrogen Oxide (NO <sub>2</sub> )	450	320
3.	Total Partikel	100	30
4.	<i>Opacity</i>	20%	-

Catatan:

- Volume gas dalam kondisi standar (25 °C dan 1 atm);
- Opacity* digunakan sebagai indikator praktis untuk pemantauan [10];
- Seluruh parameter dikoreksi sebagai 15% O<sub>2</sub> dalam kondisi kering, kecuali tingkat *opacity*; dan
- BME diterapkan sebesar 95% dari waktu operasi normal tiap tiga (3) bulan.

## 2.2. KEPATUHAN DAN KESESUAIAN ASPEK PERATURAN PERUNDANGAN

Saat ini terdapat pembaharuan peraturan perundangan Republik Indonesia, yang mengatur tentang baku mutu emisi pembangkit listrik tenaga termal, termasuk di dalamnya adalah PLTMG. Peraturan Menteri lingkungan hidup dan kehutanan Republik Indonesia no.P.15/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 (selanjutnya disebut sebagai “PerMen LHK No.15/2019”), ditetapkan tanggal 05 April 2019, tentang baku mutu emisi pembangkit listrik tenaga termal, menjadi aturan termutakhir yang telah ditetapkan pemerintah Republik Indonesia.

Merujuk pada lampiran IV PerMen LHK no.15/2019 tentang Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Termal, baku mutu emisi PLTMG diatur sesuai Tabel 2 sebagai berikut:

**Tabel 2.** Baku mutu emisi pembangkit listrik tenaga mesin gas yang dibangun atau beroperasi sebelum peraturan menteri berlaku

No.	Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm <sup>3</sup> )	
		Minyak	Gas
1.	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	540	325
2.	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> )	2000	350
3.	Karbon Monoksida (CO)	500	250
4.	Partikulat (PM)	50	50

**Tabel 3.** Baku mutu emisi pembangkit listrik tenaga mesin gas yang dibangun setelah peraturan menteri berlaku

No.	Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm <sup>3</sup> )		
		Minyak	Gas ( <i>Dual Fuel</i> )	Gas ( <i>Single Fuel</i> )
1.	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	300	150	150
2.	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> )	1500	400	200

3.	Karbon Monoksida (CO)	250	220	220
4.	Partikulat (PM)	30	30	30

Mempertimbangkan perjanjian kontrak yang ditandatangani pada tanggal 29 Desember 2017 dan proses konstruksi PLTMG Luwuk 40 MW yang masih berlangsung, maka persyaratan yang dirujuk adalah lampiran IV – Tabel A, pada PerMen LHK No.15/2019.

**2.3. TEKNOLOGI REDUKSI EMISI KARBON MONOKSIDA**

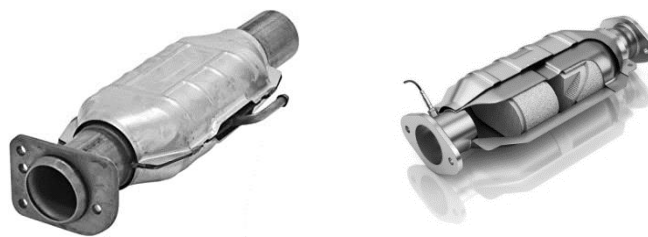
Teknologi dalam memitigasi emisi CO sudah banyak diaplikasikan pada dunia otomotif dengan tujuan mengoksidasi CO menjadi CO<sub>2</sub> [11]. Oksidasi ini terjadi akibat ada penambahan peralatan yaitu *oxidation catalyst* sehingga terjadi reaksi tambahan setelah pembakaran terjadi [12], diantaranya:



Penggunaan katalis untuk mengkonversi emisi biasa disebut dengan istilah konverter katalitik (*catalytic converter*) [13], [14]. Dalam aplikasinya pada dunia otomotif, katalis CO ini biasanya dipasang di antara *exhaust* mesin dan knalpot [3], [12], [13]. Dengan pendekatan tersebut, jika perangkat ini akan diaplikasikan pada pembangkit listrik, maka peralatan perlu dipasang antara *exhaust* mesin dengan *exhaust stack/chimney* [15].

Efisiensi dari katalis disesuaikan dengan kebutuhan *removal* CO [16]. Dalam aplikasinya, konverter katalitik dapat mencapai efisiensi sebesar 95% dengan temperatur operasi minimal pada angka 250-300°C [10], [17].

Jenis katalis umum digunakan adalah *ceramic honeycomb structure* dan *spherical pelletized* [13]. Sedangkan tipe katalitik konverter yang umum digunakan, yaitu *2-way converter* dan *3-way converter* [17], dengan *chromium stainless steel* sebagai material *housing* [5].

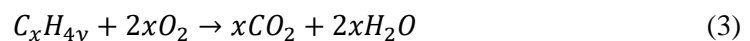


**Gambar 1.** Konverter katalitik (*catalytic converter*)

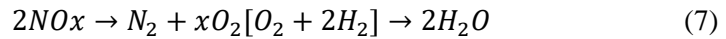
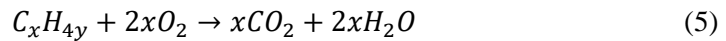
Sumber: Google.com

Detail reaksi pada konverter katalitik adalah sebagai berikut:

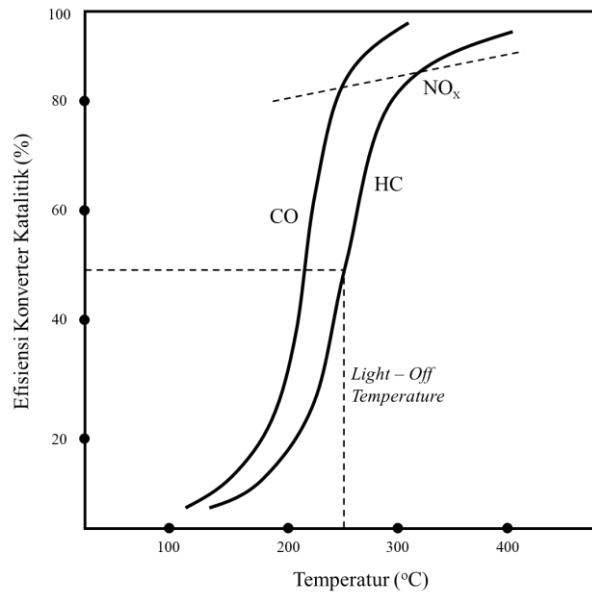
- *2 – way catalytic converter*



- *3 – way catalytic converter*



Untuk masing – masing jenis konverter katalitik, mempunyai temperatur optimalnya tersendiri (Gambar 2).



**Gambar 2.** Variasi efisiensi konverter katalitik terhadap fungsi temperatur  
 Sumber: Dokumen penjelasan teknis emisi gas buang PLTMG Luwuk 40 MW

Pada Gambar 2 terlihat bahwa efisiensi konversi terbesar berada pada temperatur 300°C, namun untuk setiap jenis dan manufaktur katalis mempunyai detail efisiensi dengan temperatur masing-masing [12]. Oleh karena itu, harus dipastikan terlebih dahulu bentuk distribusi efisiensi terhadap temperatur *exhaust* mesin sebelum mendesain katalisnya [11], [12], [14]. Selain itu, terdapat beberapa kondisi yang dapat menyebabkan kerusakan katalis [5], [10], [11], [13], [15]–[19]. Pertimbangan ini juga harus diperhatikan pada tahap desain, untuk memastikan bahwa katalis terproteksi dengan baik, saat mendesain dan operasi [18], [20], [21], diantaranya adalah:

- Temperatur *exhaust*: temperatur yang terlalu tinggi (tidak sesuai dengan spesifikasi operasi) akan menyebabkan kerusakan pada bagian dalam peralatan akibat dari *clogging*, sehingga membatasi aliran dari *exhaust* gas dan pada akhirnya dapat mengurangi daya (*power*) dari mesin [18], [22];
- Air – fuel mixture: pembakaran yang terlalu *rich* atau *lean* dapat menyebabkan kerusakan pada konverter katalitik [6], [18].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Terkait dengan perkiraan nilai emisi PLTMG Luwuk 40 MW, diketahui beberapa hal, antara lain:

- a. Dengan mempelajari PerMen LHK no.15/2019, kemudian dilakukan simulasi sederhana dan terindikasi hal-hal sebagai berikut:

**Tabel 4.** Perbandingan kadar maksimum emisi dan simulasi awal

No.	Parameter	Kadar Maksimum PerMen LHK no.15/2019 (Gas – Single Fuel) (mg/Nm <sup>3</sup> )	Indikasi awal emisi PLTMG Luwuk 40 MW (mg/Nm <sup>3</sup> )
1.	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	150	N/A
2.	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> )	200	188
3.	Karbon Monoksida (CO)	220	282
4.	Partikulat (PM)	30	N/A

b. Pada parameter CO, diperoleh hasil 282 mg/Nm<sup>3</sup> terindikasi akan melewati ambang batas BME.

### 3.1. HASIL SIMULASI

Berdasarkan *Engine Technical Data* dalam dokumen perjanjian kontrak pembangunan PLTMG, diketahui data konsumsi bahan bakar (Tabel 5), data kondisi udara ambien (Tabel 6), data spesifikasi pendingin udara (Tabel 7), data gas buang mesin (Tabel 8) dan data analisa komposisi gas ideal (Tabel 9), sebagai berikut:

**Tabel 5.** Data konsumsi bahan bakar

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Spesifikasi konsumsi energi	<i>kJ/kWh</i>	7.280
2.	Konsumsi gas (MCR)	<i>nm<sup>3</sup>/h</i>	1.950
3.	Konsumsi gas (MCR)	<i>kg/h</i>	1.560
4.	Minimum <i>gas feed</i> (MCR):		
	- <i>At engine inlet</i>	<i>barg</i>	4,2
	- <i>To press control module</i>	<i>barg</i>	4,5

Catatan:

Definisi *engine power* sesuai ISO 3046-1 dan ISO 8528-1;

*Maximum continuous rate* (MCR).

**Tabel 6.** Data kondisi udara ambien dan konsumsi udara

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Temperatur maksimum <i>air inlet</i>	°C	Max. +27,7
2.	Temperatur minimum <i>air inlet</i>	°C	Min. 5
3.	<i>Charge air low temp fresh water inlet temperature</i>	°C	Max +45
4.	<i>Heat dissipation (+/- 5%)</i>	°C	+25
5.	Ketinggian laut maksimum di atas permukaan air laut	M	100
6.	Kelembaban relatif	%	86

**Tabel 7.** Spesifikasi pendinginan udara

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Tipe <i>turbocharger</i>	ABB	TPL65VA33 VTG
2.	Tipe <i>charge air cooler</i>	-	RR20V3540B
3.	<i>Air consumption</i>	m <sup>3</sup> n/h	37.900

4.	<i>Air consumption</i>	kg/h	49.000
----	------------------------	------	--------

Catatan:

*Charge air cooler heat dissipation* akan bervariasi menurut suhu *inlet* dan laju aliran air [13].

**Tabel 8.** Data gas buang mesin

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1.	<i>Mass flow</i>	kg/h	50.600
2.	<i>Volume flow</i> (setelah turbin)	m <sup>3</sup> /h	94.100
3.	Temperatur setelah silinder	°C	505
4.	Temperatur setelah turbin	°C	375
5.	<i>Back pressure</i> maksimum	mmWG	400
6.	Emisi (MCR):		
	- NO <sub>x</sub> – emisi pada 5% O <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> n	500
	- CO – emisi pada 5% O <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> n	750
	- NMHC – emisi pada 5% O <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> n	225

**Tabel 9.** Analisa komposisi gas ideal

No.	Komposisi	Hasil (% mol)	GHV (BTU/SCF) 60°F 14,69psia	Standar Acuan
1.	Nitrogen	0,7919	0	GPA 2261:2000
2.	Karbon dioksida	0,0000	0	
3.	Metana	91,0452	919,5565	
4.	Etana	4,1785	73,9469	
5.	Propana	2,0093	50,5580	
6.	Iso Butana	0,5165	16,7961	
7.	N-Butana	0,6378	20,8069	
8.	Iso Pentana	0,2641	10,5664	
9.	N-Pentana	0,1996	8,0014	
10.	Heksana Plus	0,3571	18,3164	

### 3.2. ANALISA BAHAN BAKAR

Dengan mengacu pada tabel-tabel tersebut di atas, diperoleh hasil perhitungan *heating value* yang disajikan pada Tabel 10 berikut.

**Tabel 10.** Estimasi nilai heat of combustion (Hc) dari bahan bakar gas

No.	Komposisi	% mol	% massa	Hc (kcal/kg)
1.	CH <sub>4</sub>	91,0452	0,79886	9.553,65
2.	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	4,1785	0,06872	780,47
3.	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2,0093	0,04846	536,71
4.	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,5165	0,01642	178,82
5.	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,6378	0,02028	221,58
6.	i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,2641	0,01042	112,72
7.	n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,1996	0,00788	85,37
8.	n-C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,3571	0,01683	181,46
9.	N <sub>2</sub>	0,7919	0,01213	9.553,65
<i>Hc average</i>				11.650,77

Catatan : nilai Hc komponen didapat dari ASME PTC 22

Dari Tabel 6 diketahui bahwa nilai *heat of combustion* (Hc) gas bahan bakar berada pada angka 11.650,77 kcal/kg dengan tambahan asumsi bahwa gas masuk ke dalam sistem pembangkit mesin gas pada temperatur yang sama dengan temperatur referensi (*T-reference*), sehingga tidak ada *heat credits* dari panas sensibel (*sensible heat*) bahan bakar yang masuk ke *engine* [23].

### 3.3. ANALISA PEMBAKARAN (*COMBUSTION*)

Berdasarkan Tabel 8 Data gas buang mesin, diketahui data temperatur dan konsentrasi emisi pada kondisi *maximum continuous rate* (MCR). Konsentrasi diketahui dalam satuan mg/Nm<sup>3</sup> dan 5% O<sub>2</sub>. Pada Analisa dan perhitungan selanjutnya, diasumsikan bahwa kondisi yang dimaksud oleh manufaktur (*Bergen Rolls Royce*) adalah kondisi yang sudah sesuai dengan kondisi persyaratan pada PerMen LHK no.15/2019.

Tahap pertama dalam analisa pembakaran adalah dengan mengidentifikasi udara pembakaran [21], [23]. Berdasarkan informasi data kondisi udara ambien (*ambient air*) dan konsumsi udara, diketahui bahwa udara masuk pada temperatur 27,7°C (maksimum) dan kelembaban (*relative humidity*) 86%. Dengan metode *psychrometric* [21]–[23], didapat nilai kelembaban absolut (*absolute humidity*) pada 0,02029 kg/m<sup>3</sup> dry air. Komposisi tipikal udara masukan (*inlet*) dapat dilihat pada Tabel 11.

**Tabel 11.** Komposisi tipikal udara *inlet*

No.	Komposisi	% mol	% massa
1.	N <sub>2</sub>	0,7564	0,7402
2.	O <sub>2</sub>	0,2029	0,2268
3.	CO <sub>2</sub>	0,0003	0,0005
4.	H <sub>2</sub> O	0,0316	0,0199
5.	Ar	0,0091	0,0127
Total		1,0000	1,0000

Pembakaran yang dikombinasikan dengan data yang didapat dari informasi data konsumsi bahan bakar, data kondisi udara ambien dan konsumsi udara, serta data gas buang, menghasilkan pembakaran yang secara analisa stoikiometrik dirangkum pada Tabel 12.

**Tabel 12.** Analisa pembakaran secara stoikiometrik

No.	Komposisi	% mol	Mass Fraction	Massa (kg/h)	Udara Stoikiometrik (kmol/h)	Combustion Product (kmol/h)
1.	CH <sub>4</sub>	91,0452	0,7989	1.246,2250	765,854	0
2.	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	4,1785	0,0687	107,2034	61,5103	0
3.	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2,0093	0,0485	75,5977	42,2546	0
4.	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,5165	0,0164	25,6142	14,1203	0
5.	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,6378	0,0203	31,6297	17,4364	0
6.	i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,2641	0,0104	16,2580	8,88623	0
7.	n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,1996	0,0079	12,2873	6,71598	0
8.	n-C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,3571	0,0168	26,2568	14,2683	0
9.	N <sub>2</sub>	0,7919	0,0121	18,9280		1.295,3920
10.	CO	0	0	0		0,0000



11.	CO <sub>2</sub>	0	0	0	85,1557	
12.	H <sub>2</sub> O	0	0	0	223,3733	
13.	H <sub>2</sub> S	0	0	0	0,0000	
14.	H <sub>2</sub>	0	0	0	0,0000	
15.	He	0	0	0	0,0000	
16.	O <sub>2</sub>	0	0	0	158,3779	
17.	Ar	0	0	0	15,5766	
Total		100,0000	1,0000	1.560,0000	931,0464	1.777,8755

Pada Tabel 12, terlihat bahwa nilai kebutuhan udara secara stoikiometrik adalah pada angka 931,0464 kmol/h, dengan asumsi bahwa seluruh hidrokarbon terbakar sempurna tanpa menghasilkan sisa/residu [6], [18], [23]. 931,0464 kmol/h udara pembakaran jika dikonversi menjadi basis massa adalah setara dengan 26.651,86 kg/h.

Jika dibandingkan dengan data konsumsi udara untuk *combustion* sebesar 49.000kg/h, maka nilai *excess air* yang digunakan pada MCR adalah:

$$Excess\ Air\ (MCR) = \frac{Konsumsi\ udara - Kebutuhan\ udara\ (stoikiometrik)}{Kebutuhan\ udara\ (stoikiometrik)} \quad (8)$$

$$Excess\ Air\ (MCR) = \frac{49.000\ kg/h - 26.651,86\ kg/h}{26.651,86\ kg/h}$$

$$Excess\ Air\ (MCR) = 83,85\%$$

Dengan nilai kandungan O<sub>2</sub> (*volume dry basis*) adalah sebesar 10,19%.

### 3.4. ANALISA EMISI GAS BUANG

Berdasarkan informasi dari pihak manufaktur, diketahui nilai emisi gas buang unit mesin gas pada PLTMG Luwuk 40 MW sebagai berikut:

**Tabel 13.** Data emisi dari pihak manufaktur

No.	Komposisi	% O <sub>2</sub>	Satuan	Nilai
1.	NO <sub>x</sub>	5	mg/Nm <sup>3</sup>	500
2.	CO	5	mg/Nm <sup>3</sup>	750
3.	NMHC	5	mg/Nm <sup>3</sup>	225

Dengan penyesuaian kondisi sesuai persyaratan PerMen LHK no.15/2019, nilai emisi di Tabel 13 terkoreksi menjadi:

**Tabel 14.** Data emisi dari manufaktur terkoreksi

No.	Komposisi	% O <sub>2</sub>	Satuan	Nilai
1.	NO <sub>x</sub>	15	mg/Nm <sup>3</sup>	185,53
2.	CO	15	mg/Nm <sup>3</sup>	278,30
3.	NMHC	15	mg/Nm <sup>3</sup>	83,89

Pada Tabel 14 dapat dilihat bahwa emisi CO terindikasi melewati batas yang disyaratkan oleh PerMen LHK no.15/2019 sebesar 278,30 mg/Nm<sup>3</sup>, terjadi deviasi sebesar 10,2% dibandingkan nilai yang dipersyaratkan atau dengan kata lain diperlukan CO *removal* untuk memenuhi BME yang disyaratkan. Berdasarkan data emisi manufaktur dan data bahan bakar gas, diketahui nilai CO –

*emission factor* pada unit mesin gas PLTMG Luwuk 40 MW berada pada angka 0,3703 lb/MMBTU. Jika dibandingkan dengan standar US EPA AP-42 bagian 3.2, nilai *emission factor* untuk *4-stroke lean burn engines* adalah 0,317 lb/MMBTU. Hal ini menunjukkan bahwa CO – *emission factor* dari manufaktur lebih tinggi dibandingkan referensi US EPA AP-42.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada masalah emisi PLTMG Luwuk 40 MW, dibutuhkan *removal* CO sebesar +/- 10,2%. Sebelum memutuskan untuk memakai konverter katalitik sebagai sistem mitigasi emisi CO, perlu dilakukan langkah-langkah pengecekan awal yang direkomendasikan untuk dilakukan, antara lain:

1. Memastikan basis perhitungan manufaktur seperti yang disampaikan melalui informasi pada dokumen teknis, diantaranya:
  - a. Basis perhitungan % O<sub>2</sub>, apakah menggunakan basis kering (*dry*) atau basah (*wet*);
  - b. Kondisi normal yang digunakan, apakah sudah sama dengan kondisi normal yang dipersyaratkan pada PerMen LHK no.15/2019, yaitu 25°C dan 1 atm;
2. Koordinasi dengan manufaktur terkait proses pendistribusian konsentrasi emisi. Manufaktur umumnya mempunyai data faktor koreksi kondisi di luar ISO standar dan *load* di luar MCR. Adanya koreksi untuk kondisi aktual lapangan dan aktual beban, mempunyai kemungkinan menghasilkan koreksi emisi gas buang yang tidak sebesar perhitungan pada desain awal;
3. Koordinasi dengan pihak manufaktur terkait desain kondisi *excess air*. Berdasarkan analisa awal, diketahui bahwa *excess air* pada unit mesin gas PLTMG Luwuk 40 MW adalah di angka 10,19%. Apakah besaran ini (*excess air*) dapat disetting ulang (*adjust*). Karena emisi CO sangat erat kaitannya dengan besaran *combustion air* dan *residence time* [6], [18], [20]–[23]. Ada kemungkinan jika nilai *excess air* dlebihkan, produksi emisi CO dapat menurun [13], [21], [23].

Ketika seluruh tahapan pengecekan awal telah dilakukan dan diketahui bahwa usaha penurunan emisi CO belum dapat diperoleh secara signifikan, langkah-langkah selanjutnya yang dapat ditempuh adalah dengan melakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Melakukan pengecekan secara langsung menggunakan *portabel analyzer* atau uji sampel *flue gas*, untuk mengidentifikasi nilai emisi aktual;
2. Melakukan kajian lebih lanjut untuk pemakaian konverter katalitik dan pekerjaan detail desain terkait.

Mempertimbangkan bahwa penggunaan peralatan sejenis konverter katalitik sebagai mitigasi [13], [19], adalah dilakukan dengan memodifikasi bagian dan/atau peralatan yang masuk dalam lingkup pekerjaan manufaktur. Harapannya adalah perubahan dan/atau modifikasi yang dilakukan dapat memberikan efek terbaik pada sistem dengan tanpa menghilangkan jaminan (*warranty*) dari pihak manufaktur.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada tiap personil yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu dari PT PLN (Persero) dan civitas Institut Teknologi PLN yang telah banyak membantu kami dalam proses penelitian ini sampai dengan jurnal ini diterbitkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Yudiantono, W. Jaka, and A. Adiarso, “Dekarbonisasi Sektor Ketenagalistrikan Sampai 2050 Dalam Kerangka Kebijakan Energi Nasional,” *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 2, pp. 1–17, Sep. 2023, doi: 10.14710/jebt.2023.16966.
- [2] M. Marhaini, M. Mardwita, and A. Suranda, “Analisa Efisiensi Bahan Bakar Dan Dampak Lingkungan Emisi Gas Buang Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (Pltd) Terhadap Pembangkit Listrik Mesin Gas (PLTMG),” *JURNAL SURYA ENERGY*, vol. 6, no. 2, p. 57, May 2022, doi: 10.32502/jse.v6i2.4215.
- [3] I. Prasetyo and M. Fahrurrozi, “Penggunaan Catalytic Converter dari Bahan Kuningan dengan Ketebalan 0,2 mm Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Pada Motor 2 Tak,” *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, vol. 1, no. 2, pp. 1–5, Oct. 2020, doi: 10.35970/accurate.v1i2.284.
- [4] R. Ismahani, D. W. Anurogo, and K. Kunci, “Indonesian Journal of Conservation Pemodelan AERMOD Untuk Proyeksi Pola Penyebaran Emisi Heat Recovery Steam Generator PT X dan PT Y,” *Indonesian Journal of Conservation*, vol. 11, no. 2, pp. 51–63, 2022, doi: 10.15294/ijc.v11i2.37953.
- [5] A. Vembathu Rajesh, C. Mathalai Sundaram, V. Sivaganesan, B. Nagarajan, and S. Harikishore, “Emission reduction techniques in CI engine with catalytic converter,” in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2020, pp. 98–103. doi: 10.1016/j.matpr.2019.05.369.
- [6] H. Chen, J. He, and X. Zhong, “Engine combustion and emission fuelled with natural gas: A review,” *Journal of the Energy Institute*, vol. 92, no. 4. Elsevier B.V., pp. 1123–1136, Aug. 01, 2019. doi: 10.1016/j.joei.2018.06.005.
- [7] A. Chalis and H. Novianto, “EVALUASI UNJUK KERJA GAS ENGINE 11 WARTSILA W2034SG DI PT PJB UBJOM PLTMG ARUN,” 2022.
- [8] M. Almin Wahid, I. Gunawan, and M. Fadly Hi Abbas, “Analisis Pemakaian Bahan Bakar Solar (HSD) dan Biosolar (B20) Terhadap Performance Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) Kastela,” 2020.
- [9] M. Azhari Fakma, S. Pengaruh Perubahan Beban, P. Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Elektro, and P. Negeri Lhokseumawe, “STUDI PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP PERFORMA MESIN GAS 18 MW PADA PLTMG SUMBAGUT-2 PEAKER,” vol. 06, no. 01, 2022.
- [10] K. N. Heck, S. Garcia-Segura, P. Westerhoff, and M. S. Wong, “Catalytic Converters for Water Treatment,” *Acc Chem Res*, vol. 52, no. 4, pp. 906–915, Apr. 2019, doi: 10.1021/acs.accounts.8b00642.
- [11] E. Kritsanaviparkporn, F. M. Baena-Moreno, and T. R. Reina, “Catalytic Converters for Vehicle Exhaust: Fundamental Aspects and Technology Overview for Newcomers to the Field,” *Chemistry (Switzerland)*, vol. 3, no. 2. MDPI, pp. 630–646, Jun. 01, 2021. doi: 10.3390/chemistry3020044.
- [12] D. Feriyanto, H. Pranoto, H. Carles, and A. M. Leman, “Comparison of metallic (FeCrAl) and Ceramic Catalytic Converter (CATCO) in reducing exhaust gas emission of gasoline engine fuelled by RON 95 to develop health environment,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2020. doi: 10.1088/1755-1315/485/1/012004.
- [13] M. A. Siregar, C. A. Siregar, Muharnif, A. M. Siregar, and I. Maulana, “Application of catalytic converter copper catalyst with honeycomb surfaces to reduce emissions of flue gas in motorcycles,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Nov. 2019. doi: 10.1088/1757-899X/674/1/012060.

- [14] Q. Zuo *et al.*, “Effect of different exhaust parameters on NO conversion efficiency enhancement of a dual-carrier catalytic converter in the gasoline engine,” *Energy*, vol. 191, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2019.116521.
- [15] J. Gao, G. Tian, A. Sornioti, A. E. Karci, and R. Di Palo, “Review of thermal management of catalytic converters to decrease engine emissions during cold start and warm up,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 147. Elsevier Ltd, pp. 177–187, Jan. 25, 2019. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.10.037.
- [16] Q. Zuo *et al.*, “Effect of critical dual-carrier structure parameters on performance enhancement of a dual-carrier catalytic converter and the gasoline engine system,” *Energy Convers Manag*, vol. 204, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2019.112325.
- [17] H. Liu, Z. Li, H. Xu, X. Ma, and S. Shuai, “Nucleation mode particle evolution in a gasoline direct injection engine with/without a three-way catalyst converter,” *Appl Energy*, vol. 259, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114211.
- [18] R. B. R. da Costa, R. M. Valle, J. J. Hernández, A. C. T. Malaquias, C. J. R. Coronado, and F. J. P. Pujatti, “Experimental investigation on the potential of biogas/ethanol dual-fuel spark-ignition engine for power generation: Combustion, performance and pollutant emission analysis,” *Appl Energy*, vol. 261, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114438.
- [19] R. Manojkumar, S. Haranethra, M. Muralidharan, and A. Ramaprabhu, “I.C. Engine emission reduction using catalytic converter by replacing the noble catalyst and using copper oxide as the catalyst,” in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2021, pp. 769–773. doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.804.
- [20] L. Cui *et al.*, “Environmental and economic impact assessment of three sintering flue gas treatment technologies in the iron and steel industry,” *J Clean Prod*, vol. 311, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127703.
- [21] F. Lin *et al.*, “Flue gas treatment with ozone oxidation: An overview on NO<sub>x</sub>, organic pollutants, and mercury,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 382. Elsevier B.V., Feb. 15, 2020. doi: 10.1016/j.cej.2019.123030.
- [22] M. Krishnamoorthi, R. Malayalamurthi, Z. He, and S. Kandasamy, “A review on low temperature combustion engines: Performance, combustion and emission characteristics,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 116. Elsevier Ltd, Dec. 01, 2019. doi: 10.1016/j.rser.2019.109404.
- [23] M. Si *et al.*, “Review on the NO removal from flue gas by oxidation methods,” *Journal of Environmental Sciences (China)*, vol. 101. Chinese Academy of Sciences, pp. 49–71, Mar. 01, 2021. doi: 10.1016/j.jes.2020.08.004.