

TESIS

**ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN KOMPOSISI
FUEL GAS PADA *GAS ENGINE GENERATOR*
DI PT. PGN STASIUN PAGARDEWA**



**RIZKI WIJANARTO BUDIMAN
NIM. 03032682125001**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023**

TESIS

**ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN KOMPOSISI
FUEL GAS PADA *GAS ENGINE GENERATOR*
DI PT. PGN STASIUN PAGARDEWA**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik**



**RIZKI WIJANARTO BUDIMAN
NIM. 03032682125001**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023**

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN KOMPOSISI
FUEL GAS* PADA *GAS ENGINE GENERATOR
DI PT. PGN STASIUN PAGARDEWA

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Mendapatkan Gelar Magister Teknik Mesin
Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh :
RIZKI WIJANARTO BUDIMAN
NIM. 03032682125001

Menyetujui,
Pembimbing



Prof.Ir.Riman Sipahutar, M.Sc, Ph.D
NIP.195606041986021001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Prof.Dr.Eng.Ir.H.Joni Arliansyah, MT
NIP.196706151995121002

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, ST, M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul “ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN KOMPOSISI *FUEL GAS* PADA *GAS ENGINE GENERATOR* DI PT. PGN STASIUN PAGARDEWA” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 13 Mei 2023.

Palembang, Mei 2023

Pembimbing:

Prof. Dr. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195606041986021001



(.....)

Tim Penguji Sidang:

1. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.
NIP. 196005281989031002




(.....)

2. Dr. Ir. Darmawi Bayin, M.T., MT.
NIP. 196004071990031003



(.....)

Koordinator Program Studi
Magister Teknik Mesin



Agung Mataram, S.T.,M.T.,Ph.D.
NIP. 197901052003121002

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :**

TESIS

**NAMA : RIZKI WIJANARTO BUDIMAN
NIM : 03032682125001
JURUSAN : TEKNIK MESIN
BIDANG STUDI : KONVERSI ENERGI
JUDUL : ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN
KOMPOSISI *FUEL GAS* PADA *GAS
ENGINE GENERATOR* DI PT.PGN
STASIUN PAGARDEWA
DIBUAT TANGGAL : 03 JANUARI 2023
SELESAI TANGGAL : 28 APRIL 2023**

Palembang, Mei 2023

Menyetujui
Pembimbing



Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D.
NIP. 196307191990032001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rizki Wijanarto Budiman

NIM : 03032682125001

Judul : ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN KOMPOSISI *FUEL GAS* PADA *GAS ENGINE GENERATOR* DI PT. PGN STASIUN PAGARDEWA

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Coresponding Author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Mei 2023



Rizki Wijanarto Budiman

NIM. 03032682125001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rizki Wijanarto Budiman

NIM : 03032682125001

Judul : ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN KOMPOSISI *FUEL GAS*
PADA *GAS ENGINE GENERATOR* DI PT. PGN STASIUN
PAGARDEWA

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi Pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Mei 2023



Rizki Wijanarto Budiman

NIM. 03032682125001

RINGKASAN

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN KOMPOSISI *FUEL GAS* PADA *GAS ENGINE GENERATOR* DI PT. PGN STASIUN PAGARDEWA

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 28 April 2023

Rizki Wijanarto Budiman;Dibimbing oleh Prof.Ir.Riman Sipahutar, M.Sc,Ph.D

The Influences Analysis of Changes in Fuel Gas Composition on Gas Engine Generators at PT. PGN Pagardewa Station

RINGKASAN

Penggunaan gas alam pada mesin pembakaran dalam, merupakan alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak. Komposisi gas alam dapat sangat bervariasi tergantung kepada sumber gas, deposit, dan proses *gas treatment* yang diterapkan. Perubahan pada komposisi gas berpengaruh terhadap sifat fisik, *heating values*, termasuk juga perlakuan saat proses pembakaran di mesin. Hal ini menjadi sangat penting, saat gas alam digunakan sebagai bahan bakar untuk membangkitkan listrik, dalam hal ini *Gas Engine Generator* (GEG). Di salah satu fasilitas Stasiun Gas Bumi yang berlokasi di Sumatera Selatan, Indonesia, yakni PT. Perusahaan Gas Negara (PGN), Stasiun Pagardewa, pada periode tahun 2021-2022 terdapat beberapa kejadian *unplanned shutdown* pada GEG yang berdasarkan analisa kemungkinan disebabkan oleh kenaikan tingkat CO₂ pada komposisi bahan bakar GEG. Tujuan penelitian ini untuk menganalisa pengaruh perubahan komposisi *fuel gas* pada GEG, untuk mengoptimasi agar *reliability* dan *availability* GEG dapat terjaga. Dari hasil analisa nilai *Methane Number*, *High Heating Value*, dan *Low Heating Value*, ditemukan adanya ketidak sesuaian pada parameter *ignition timing* pada *engine*, sehingga berpotensi menyebabkan *knocking*, dan ditambah terjadinya fluktuasi komposisi CO₂ dan CH₄ yang sangat singkat, dapat menyebabkan perubahan pada *heating value* dimana fluktuasi tersebut dapat mengganggu system pembakaran dan menyebabkan *unplanned shutdown* pada GEG.

Kata Kunci : *GEG, Methane Number, Fuel Gas*

SUMMARY

THE INFFLUENCES ANALYSIS OF CHANGES IN FUEL GAS COMPOSITION ON GAS ENGINE GENERATORS AT PT. PGN PAGARDEWA STATION

Scientific Paper in the form of Tesis 28th April 2023

Rizki Wijanarto Budiman; Supervised by Prof.Ir.Riman Sipahutar, M.Sc,Ph.D

Analisis pengaruh perubahan komposisi *fuel gas* pada *Gas Engine Generator* di PT. PGN Stasiun Pagardewa

SUMMARY

Using natural gas in internal combustion engines is an alternative to reduce dependence on fuel oil. The composition of natural gas can vary greatly depending on the gas source, the deposit, and the gas treatment process used. Changes in the gas composition affect the physical properties, and heating values, including the treatment during the combustion process in the engine. This becomes very important when natural gas is used as a fuel to generate electricity, in this case, the Gas Engine Generator (GEG) in one of the Natural Gas Station facilities located in South Sumatra, Indonesia, PT. Perusahaan Gas Negara (PGN), Pagardewa Station, In the period 2021-2022, there were several unplanned shutdown events at GEG which, based on analysis, were possibly caused by an increase in CO₂ levels in GEG's fuel composition. The purpose of this study is to analyze the effect of changes in fuel gas composition on GEG, to optimize the reliability and availability of GEG. From the results of the analysis of the Methane Number, High Heating Value, and Low Heating Value, it was found that there was a discrepancy in the ignition timing parameters on the engine, which has the potential to cause knocking, and coupled with very short fluctuations in the composition of CO₂ and CH₄, can cause changes in the heating value. These fluctuations can disrupt the combustion system and cause unplanned shutdowns on GEG

Keywords: GEG, Methane Number, Fuel Gas

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Pertama, penulis mengucapkan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, berkah, karunia, dan anugerah-Nya sehingga Tesis ini dapat diselesaikan. Di samping itu, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan tesis ini, adapun pihak tersebut diantaranya:

1. Keluarga Penulis, Orang tua dan istri yang selalu memberikan dukungan moral dan materi serta doanya yang tulus memotivasi penulis dari awal hingga selesainya tesis ini.
2. Bapak Prof. Ir.Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tesis dan Bapak. Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Prodi Magister S2 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang dimana semuanya dengan ikhlas dan tulus telah membimbing, mengarahkan, mendidik, memotivasi serta banyak memberikan sarana kepada penulis dari awal hingga selesainya tesis ini ini.
3. Bapak Dr.Ir.H.Darmawi Bayin, M.T.,M.T. dan Bapak Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T selaku Tim Penguji Tesis S2 Magister Teknik Mesin di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya yang juga memberikan bimbingan serta arahan dalam ruang lingkup Jurusan Teknik Mesin.
4. Pak Agung Kristian selaku Staf Administrasi Prodi S2 Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah banyak membantu dalam proses administrasi.
5. Rekan-rekan magister jurusan teknik mesin universitas sriwijaya dan rekan sesama peneliti yang telah membantu saya dalam menjalankan penelitian, membuat tesis sehingga bersama-sama Kami diberbagai kondisi suka dan duka.

Dalam penulisan tesis ini, penulis sadar masih terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran serta masukan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk membantu dalam perbaikan. Penulis juga mengharapkan tesis dengan judul “**ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN KOMPOSISI FUEL GAS PADA GAS ENGINE GENERATOR DI PT. PGN STASIUN PAGARDEWA**” dapat memberikan manfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di negara Indonesia serta menjadi referensi bagi yang akan mengkaji dimasa yang akan datang.

Wassalamualaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Palembang, Mei 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'R. S. S.', with a date '2023' written to the right.

Penulis

DAFTAR ISI

TESIS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
TESIS	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	vii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
<i>1.1 Latar Belakang</i>	<i>1</i>
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Klasifikasi Gas Engine Caterpillar	3
2.2 Terminologi dan Prinsip Operasi Gas Engine Caterpillar	4
2.3 Pertimbangan Kandungan Bahan Bakar Gas Terhadap Aplikasi Gas Engine.....	5
2.4 Methane Number (MN).....	7
2.5 Wobbe Index (WI).....	8
2.6 Engine Slobbering	8
2.7 Dampak Variasi dari Komposisi Fuel Gas	9
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1 Rancangan Penelitian	11
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	12
3.3 Pengumpulan data dan variable penelitian.....	13
3.4 Hasil yang diharapkan	14

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Spesifikasi Gas Engine Generator (GEG).....	15
4.2 <i>Root Cause Failure Analysis</i>	15
4.3 Analisa Perbandingan Komposisi Basis Desain dan Saat Ini.	16
4.4 Analisa dampak komposisi bahan bakar terhadap performansi engine 19	
4.5 Analisa fluktuasi perubahan komposisi gas	19
4.6 Analisa Komposisi Gas Alternatif.....	23
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	27
5.1 Kesimpulan	27
5.2 Saran.....	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN A: DESAIN BASIS FUEL GAS COMPOSITION	32
LAMPIRAN B: SPESIFIKASI GAS ENGINE GENERATOR.....	34
LAMPIRAN C: CONTOH PRINT OUT PEMBACAAN METERING SYSTEM	38
LAMPIRAN D: TABEL PHYSICAL PROPERTIES OF GAS.....	40
LAMPIRAN E: HASIL KALKULASI METHANE NUMBER CALCULATOR.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Spesifikasi <i>Gas Engine Generator</i>	15
Tabel 4. 2 Rekap GEG Trip dikarenakan peningkatan komposisi CO ₂	15
Tabel 4. 3 Basis Desain Komposisi Bahan Bakar GEG (Sumber: PGN, 2008).....	16
Tabel 4. 4 Hasil MN, WI, HHV dan LHV dari basis desain (Sumber: PGN, 2008).....	16
Tabel 4. 5 Komposisi Bahan Bakar GEG Saat ini (PGN, 2023).....	17
Tabel 4. 6 Hasil MN, WI, HHV dan LHV pada kondisi saat ini.....	17
Tabel 4. 7 Perbandingan MN, WN, HHV dan LHV basis desain dan saat ini	18
Tabel 4. 8 <i>Derate factor/Engine timing vs Methan Number</i> (Sumber: Utama, 2009).....	18
Tabel 4. 9 RPC berdasarkan komposisi bahan bakar terkini.....	19
Tabel 4. 10 Komposisi Gas Jaringan Pipa Fasa II (Sumber: PGN, 2023)	24
Tabel 4. 11 Komposisi gas hasil pencampuran (Sumber: PGN, 2023).....	25

**ANALISIS PERUBAHAN KOMPOSISI *FUEL GAS* PADA
GAS ENGINE GENERATOR DI PT. PGN STASIUN PAGARDEWA**

Rizki Budiman¹, Riman Sipahutar^{1*}
Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia

ABSTRAK

Penggunaan gas alam pada mesin pembakaran dalam merupakan alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak. Komposisi gas alam dapat sangat bervariasi tergantung kepada sumber gas, deposit, dan proses *gas treatment* yang diterapkan. Perubahan pada komposisi gas berpengaruh terhadap sifat fisik, *heating values*, termasuk juga perlakuan saat proses pembakaran di mesin. Hal ini menjadi sangat penting, saat gas alam digunakan sebagai bahan bakar untuk membangkitkan listrik, dalam hal ini *Gas Engine Generator (GEG)*. Di salah satu fasilitas Stasiun Gas Bumi yang berlokasi di Sumatera Selatan, Indonesia, yakni PT. Perusahaan Gas Negara (PGN), Stasiun Pagardewa. Pada periode tahun 2021-2022 terdapat beberapa kejadian *unplanned shutdown* pada GEG yang berdasarkan analisa kemungkinan disebabkan oleh kenaikan tingkat CO₂ pada komposisi bahan bakar GEG. Tujuan penelitian ini untuk menganalisa pengaruh perubahan komposisi *fuel gas* pada GEG, untuk mengoptimasi agar *reliability* dan *availability* GEG dapat terjaga. Dari hasil analisa nilai *Methane Number*, *High Heating Value*, dan *Low Heating Value*, ditemukan adanya ketidak sesuaian pada parameter *ignition timing* pada engine, sehingga berpotensi menyebabkan *knocking*, dan ditambah terjadinya fluktuasi komposisi CO₂ dan CH₄ yang sangat singkat, dapat menyebabkan perubahan pada *heating value* dimana fluktuasi tersebut dapat mengganggu system pembakaran dan menyebabkan *unplanned shutdown* pada GEG.

Kata Kunci: *GEG, Methane Number, Fuel Gas*

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin

Agung Mataram, ST, MT, Ph.D
NIP. 197901052003121002

Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc, Ph.D
NIP. 195606041986021001

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gas Engine Generator (GEG) adalah salah satu solusi yang digunakan untuk pemenuhan kebutuhan listrik, yang merupakan bahan bakar menjanjikan, dan menawarkan keuntungan substantial termasuk biaya bahan bakar yang lebih murah, emisi yang lebih bersih. (Byun & Park, 2015)

PT. Perusahaan Gas Negara, Tbk (PGN) merupakan perusahaan yang bergerak di transportasi dan distribusi gas bumi, salah satu Stasiun Gas milik PGN, terletak di Kabupaten Muara Enim, Propinsi Sumatera Selatan, yakni Stasiun Gas Pagardewa, memiliki fasilitas dua unit *Gas Engine Generator* dengan kapasitas 1088 kVA (870kW) yang bekerja secara *redundant* dan satu unit *Diesel Engine Generator* (DEG) dengan kapasitas, 475 kW sebagai *Emergency Back Up* untuk menyuplai kebutuhan listrik kegiatan operasional Stasiun.

Gas Engine Generator telah beroperasi semenjak tahun 2008 dengan menggunakan suplay bahan bakar dari jaringan pemanisasi yang bersumber dari PT. Pertamina Hulu Rokan (PHR), seiring perjalanan waktu, terjadi perubahan komposisi gas, di mana terdapat peningkatan nilai CO₂ dan fluktuasi *heating value* pada *fuel gas*, yang dapat mempengaruhi kinerja dari GEG.

Selama periode tahun 2022 terjadi beberapa kejadian GEG *unplanned shutdown*, dimana enam kejadian, kemungkinan disebabkan karena tingginya komposisi CO₂, dan fluktuasi *heating value*

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan diatas, inti permasalahan yang diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh peningkatan CO₂ terhadap performansi GEG?
2. Bagaimana pengaruh perubahan *heating value* terhadap performansi GEG?

3. Bagaimana mengantisipasi perubahan CO₂ dan *heating value* bahan bakar, agar GEG tetap terjaga baik *availability* dan *reliability*nya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menganalisis pengaruh perubahan komposisi *fuel gas* terhadap performansi *Gas Engine Generator* di Stasiun Pagardewa.
2. Menganalisis opsi untuk meningkatkan *reliability* dan *availability* GEG, terhadap perubahan komposisi *fuel gas*.

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam tesis ini tidak jauh dari penelitian yang dilakukan sehingga lebih terarah dan terfokus, untuk itu disusunlah suatu batasan masalah dalam penulisannya yaitu :

1. Simulasi menggunakan software CAT *Methane Number*, untuk mengetahui nilai Methan Number, HHV, LHV dan Wobbe Index pada *fuel gas*.
2. Sumber data *event failure* berupa dokumen *failure recording* PT. PGN Stasiun Pagardewa pada periode 2021-2022.
3. Sumber data komposisi *fuel gas* berupa logbook PT PGN Stasiun Pagardewa, dari periode bulan Oktober 2022 – Maret 2023

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini antara lain untuk memberikan kontribusi kepada industri dalam hal ini lokasi peneliti bekerja, dalam mengoptimalkan performansi *equipment* yang ada, dan menjaga *availability* dan *reliability* dari *Gas Engine Generator* PT. PGN Stasiun Pagardewa

DAFTAR PUSTAKA

- Amirante, R.; Distaso, E.; Di Iorio, S.; Sementa, P.; Tamburrano, P.; Vaglieco, BM; Reitz, RD Effects of Natural Gas Composition on Performance and Regulated, Greenhouse Gas and Particulate Emissions in Spark-Ignition Engines. *Energy Converse. Manage.* 2017, 143, 338–347.DOI: 10.4271/981918.
- BSI Standards Publication, Natural gas – calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index form composition (ISO 6976:2016), 2016.
- Budiman & Sipahutar, *Gas quality impact on gas engine performance: Case of an indonesia natural gas station*, Indonesian Journal of Multidisciplinary Sciece, 2023
- Byun, J., & Park, J. Journal of Natural Gas Science and Engineering Predicting the performance and exhaust NO X emissions of a spark-ignition engine generator fueled with methane based biogases containing various amounts of CO 2. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 22(X), 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2014.11.031>, 2015
- Devine, A Michael. *The Electronic Age of Engines: The Best of All Worlds*. Caterpillar, 2013
- Feist, M.D.; Landau, M.; Harte, E. The Effect of Fuel Composition on Performance and Emissions of a Variety of Natural Gas Engines. *SAE Int. J. Fuels Lubr.* 2010, 3(2), 100–117.
- Hiltner, J.; Religion, R.; Mauss, F.; Johansson, B.; Christensen, M. Homogeneous Charge Compression Ignition Operation with Natural Gas: Fuel Composition Implications. *J.Eng. Gas Turbines Power* 2003, 125(3), 837–44.
- J. Kubesh, S. R. King, and W. E. Liss, Effect of Gas Composition on Octane Number of Natural Gas Fuels, Technical Paper 922359, SAE International, USA, 1992.
- J. Liu and C. E. Dumitrescu, “Numerical investigation of methane number and wobbe index effects in lean-burn natural gas spark-ignition combustion,” *Energy & Fuels*, vol. 33, no. 5, pp. 4564-4574, 2019.
- Kakaee, A.-H .; Rahnama, P.; Paykani, A. Influence of Fuel Composition on Combustion and Emissions Characteristics of Natural Gas/Diesel RCCI Engine. *J.Nat. Gas Sci. Eng.* 2015, 25.58–65.

- Khalil, E.; Karim, G. A Kinetic Investigation of the Role of Changes in the Composition of Natural Gas in Engine Applications. *J.Eng. Gas Turbines Power* 2002, 124(2), 404–411.
- Kim, K.; Kim, H.; Kim, B.; Lee, K.; Lee, K. Effect of Natural Gas Composition on the Performance of a CNG Engine. *Oil Gas Sci. Technol.* 2009, 64(2), 199–206.
- L. R. Juliussen, M. J. Kryger, and A. Andeasen, “MAN B&W ME-GI engines. Recent research and results,” *Proceedings of the International Symposium on Marine Engineering (ISME)*, 585, 2011.
- M. Chorowski, P. Duda, J. Polinski, and J. Skrzypacz, “LNG systems for natural gas propelled ships,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 101, p. 012089, 2015.
- M. Malenshek and D. B. Olsen, “Methane number testing of alternative gaseous fuels,” *Fuel*, vol. 88, no. 4, pp. 650- 656, 2009.
- M. Ott, I. Nylund, R. Alder, T. Hirose, Y. Umemoto, and T. Yamada, “The 2-stroke low-pressure dual-fuel technology:from concept to reality,” *CIMAC Congress*, vol. 233, 2016.
- McTaggart-Cowan, GP; Rogas, SN; Munshi, SR; Hill, PG; Bushe, WK The Influence of Fuel Composition on a Heavy-Duty, Natural-Gas Direct-Injection Engine. *Fuel* 2010, 89(3), 752–759.
- Mikulski, M.; Wierzbicki, S. Numerical Investigation of the Impact of Gas Composition on the Combustion Process in a Dual Fuel Compression-Ignition Engine. *J.Nat. Gas Sci. Eng.* 2016, 31,525–537.
- Min, BH; Bang, K.H.; Kim, HY; Chung, JT; Park, S. Effects of Gas Composition on the Performance and Hydrocarbon Emissions for CNG Engines. *SAE Tech. pap Ser.* 1998,
- Naber, J.D.; Siebers, DL; Di Julio, SS; Westbrook, CK Effects of Natural Gas Composition on Ignition Delay under Diesel Conditions. *Combust. Flames* 1994, 99
- S. -K. Hwang and B.-G Jung, “Methane number control of fuel gas supply system using combined cascade/feed-forward control,” *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 8, no. 5, p. 307, 2020.
- S. Kuczynski, M. Laciak, A. Szurlej, and T. Wlodk, “Impact of liquefied natural gas composition changes on methane number as a fuel quality requirement,” *Energies*, vol. 13, no. 19, p. 5060, 2020.
- Utama, P. T. (2009). *Modul GESOM Trakindo.pdf*.

- Vavra, J.; Takats, M.; Klir, V.; Skarohlid, M. Influence of Natural Gas Composition on Turbocharged Stoichiometric SI Engine Performance. SAE Tech. pap Ser. 2012, DOI: 10.4271/2012-01-1647.
- Y. Shao, S. Yun, and H. Kang, "Dynamic simulation of fuel tank ageing for LNG-fueled ship apparatus in an X-DF Otto cycle engine," *Energy Science & Engineering*, vol. 7, no. 6, pp. 3005-3019, 2019.