

REVIEW APLIKASI BAHAN BAKAR BIOGAS PADA MOTOR BAKAR SI (SPARK IGNITION)

Akhmad Nurdin

Program Magister, Jurusan Teknik Mesin
Universitas Sebelas Maret
Email: akhmadnurdin.89@gmail.com

Dwi Aries H

Jurusan Teknik Mesin
Universitas Sebelas Maret
Email: dwiarieshimawanto@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu macam energi yang dapat diperbarui adalah *biogas* dan dapat diaplikasikan sebagai bahan bakar kendaraan motor bakar (*SI spark ignition*) setelah melalui proses permurnian. Pada *review* tentang *biogas* ini menjelaskan beberapa penelitian tentang pengaruh penambahan gas CO_2 dan H_2 terhadap hasil pembakaran pada motor bakar (*SI spark ignition*). Kandungan CO_2 yang tinggi pada *biogas* menyebabkan nilai pembakaran menurun yang disebabkan pembakaran tidak stabil. Sedangkan penambahan gas H_2 (Hidrogen) dapat meningkatkan propertis pembakaran karena mampu menstabilkan pembakaran. Aplikasi bahan bakar *biogas* pada motor bakar (*SI spark ignition*) juga mampu menurunkan emisi gas buang NO_x serta menaikkan efisiensi pembakaran. Optimasi rasio antara H_2 dengan CO_2 diperlukan untuk mendapatkan efisiensi dan pembakaran yang optimal pada motor bakar (*SI spark ignition*).

Kata kunci: *biogas*; pembakaran dalam; *spark ignition*; rasio CO_2 ; rasio H_2 .

ABSTRACT

Biogas is one type of energy that can be renewed and can be applied as fuel motor vehicle combustion (SI) spark ignition after going through the process of purification. In a review of biogas this explains some research on the effect of adding CO_2 and H_2 gas to combustion results in combustion motor (SI) spark ignition. High CO_2 content in biogas causes the value of burning to decrease caused by unstable combustion. While the addition of H_2 gas (Hydrogen) can increase the property of burning because it is able to stabilize for a combustion. Application of biogas fuel in combustion motor (SI) spark ignition is also able to reduce NO_x exhaust emissions and increase the combustion efficiency. Optimization of the ratio between H_2 and CO_2 is required to obtain optimum efficiency and combustion on combustion (SI) spark ignition motor.

Keywords: *biogas*; internal combustion; *spark ignition*; CO_2 ratio; H_2 ratio.

1. PENDAHULUAN

Biogas dihasilkan melalui proses *digestion anaerobic*, yaitu proses biologis kompleks dimana bahan baku organik diubah menjadi campuran gas metana, karbondioksida, dan gas lainnya (hidrogen, *silaxane*, dll) oleh mikroorganisme yang sebagian atau sepenuhnya tanpa oksigen. Sebagian besar bahan yang digunakan untuk menghasilkan *biogas* merupakan limbah dari suatu produk misalnya produk pertanian (ragi, kentang, pati, sayuran, susu, buah, roti, dll), minuman beralkohol (beer, soft drink, kopi, dll), pabrik kertas (*mechanical pulp*, *recycle paper*, dll), dan dari sektor peternakan (pengolahan daging, kotoran, dll) [1].

Limbah pertanian diubah menjadi *biogas* pada dasarnya mengandung komponen utama *lignose-lulosa* yang disusun oleh selulosa, *lignin*, dan hemi-selulosa. Selain itu juga mengandung karbohidrat, protein, dan lemak. Beberapa bahan baku *biogas* dapat dicampurkan untuk menghasilkan gas yang lebih baik, misalnya limbah pertanian di campur dengan limbah peternakan. Untuk mempercepat dekomposisi dalam proses menghasilkan *biogas* dapat dilakukan perlakuan sebelumnya, misalnya proses kimia, *thermal*, mekanik, maupun penambahan enzim. Berbagai jenis limbah dapat digunakan sebagai produk *biogas* melalui proses *digestion anaerobic*, yang berasal dari limbah pertanian, limbah sampah perkotaan,

dan bentuk limbah lainnya, misalnya limbah dari peternakan (kotoran), sisa makanan, limbah padat organik [2].

Pada umumnya kandungan dalam *biogas* terdiri dari dua komponen, yaitu komponen yang terbakar, dan komponen yang tidak dapat terbakar (atau gas pengotor). Komponen yang dapat terbakar misalnya CH_4 , CO , dan H_2 , sedangkan komponen yang tidak dapat terbakar misalnya CO_2 , dan N_2 . Karakteristik pembakaran meliputi kecepatan rambat api, temperatur adiabatik pembakaran, dan proses reaksi kimia dari komponen yang dapat terbakar dengan yang tidak dapat dibakar yang berbeda, karena perbedaan pada kapasitas panas, dan pengaruh terhadap pembakaran maka gas tersebut berpengaruh besar secara keseluruhan pada performa *biogas* [3].

Adanya gas pengotor merupakan fenomena alami pada *biogas*, yaitu saat *digestion anaerobic* terjadi proses komposisi kimia pada bahan organik. Sebagian besar gas tersebut mengandung metana (CH_4) 40-70%, dan karbondioksida (CO_2) 15-60%, serta gas-gas pengotor seperti air 5-10%, hidrogen sulfida 0,0005-2%, silalase 0-0,02%, ammonia kurang dari 1%, halogen hidrokarbon kurang dari 0,6% karbonmonoksida kurang dari 0,6%, dan nitrogen 0-2% [4].

Untuk mendapatkan hasil pembakaran baik dari *biogas* diperlukan beberapa pemurnian, tujuan dari pemurnian tersebut antara lain proses menghilangkan gas-gas yang tidak digunakan, meningkatkan kualitas *biogas* dengan menurunkan kadar CO_2 agar nilai kalor dan kerapatan meningkat. Setelah proses tersebut hasil akhir biasa disebut dengan biometana yang mengandung 95-97% metana dan 1-3% karbondioksida [4].

Pembakaran bahan bakar gas menghasilkan sedikit jumlah emisi gas buang dibandingkan dengan bahan bakar bensin dan bahan bakar diesel. Volume total *biogas* terdiri dari 60-70% CH_4 , 20-25% CO_2 , 0,3-3% N_2 , 1-5% H_2 , dan gas H_2S dengan presentase sangat kecil. Gas H_2S , CO_2 , dan N_2 merupakan gas yang tidak digunakan dalam pembakaran dan menurunkan *Lower Heating Value (LHV)*, burning ratio dan kecepatan rambat api, dan terjadinya penundaan timing pembakaran. Selain itu, gas H_2S merusak dan memperpendek umur mesin. Rasio CO_2 merupakan parameter yang sangat penting dalam penilaian *LHV* dalam *biogas*, sehingga menurunkan rasio CO_2 pada *biogas* akan meningkatkan rambat api dan meningkatkan *LHV* [5].

2. PEMBAHASAN

Seperti yang ditunjukkan pada tabel 1, *biogas* merupakan jenis bahan bakar dengan nilai oktan tinggi yang dapat diaplikasikan pada *spark ignition engine*. Dibandingkan dengan *liquefied petroleum gas (LPG)*, dan *natural gas*, perambatan panas pada *biogas* lebih cepat dengan *heating value* lebih rendah. Selain itu *Autoignition* pada *biogas* lebih tinggi dibandingkan dengan *LPG* dan *natural gas*. Dengan demikian karakteristik fisik dan kimia memiliki banyak pengaruh pada aplikasi *biogas* pada motor bakar *SI (spark ignition)*. Biasanya penelitian aplikasi *biogas* pada motor bakar diikuti dengan karakteristik hasil emisi gas buangnya [3].

2.1 Pengaruh CO_2 pada Pembakaran *Biogas*

Whiston, dkk (1992) mengkalkulasi kecepatan pembakaran turbulen dari CH_4/CO_2 dengan dua buah zona pembakaran pada *spark ignition engine*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan meningkatnya rasio CO_2 mengurangi nilai pembakaran. Nilai Pembakaran turbulen, akan menurun hingga 50% pada rasio CO_2 30% kandungan pada bahan bakar *biogas* [6].

Anand, dkk (2006) mengguakan analisa *artificial neural networks* untuk mengkalkulasi efisiensi dan emisi NO_x pada *spark ignition engine* dengan variasi rasio komposisi dan rasio kompresi CH_4/CO_2 pada bahan bakar *biogas*. Hasil penelitian ini menunjukkan semakin meningkatnya nilai konsentrasi CO_2 pada *biogas*, secara efektif dapat mengurangi emisi NO_x dan pada konsentrasi CO_2 yang tinggi dapat mengurangi resiko terjadinya pembakaran dini (*knocking*) [7].

Porpatham dkk (2012) mempelajari efek dari CO_2 pada performa, emisi, dan pembakaran pada *spark ignition engine* dengan rasio kompresi 13:1 dan dengan rasio *biogas*/ CO_2 41%, 30%, dan 20% pada 1500 RPM. Hasil dari studi ini menunjukkan semakin kecil rasio CO_2 meningkatkan tekanan seiring naiknya kecepatan rambat api, meningkatkan efisiensi *thermal*, serta meningkatkan *power* maksimal pada *engine* [8].

Yadav dkk (2013) meneliti emisi dari bahan bakar *biogas* pada *SI Engine*. Hasil dari penelitian ini menyatakan komposisi dan *molecular structure* dari *biogas* menunjukkan penurunan emisi bahan bakar, diantaranya tidak mengandung emisi gas CO , emisi gas HC dan NO_x dapat direduksi secara signifikan. Namun kandungan CO_2 meningkat terutama pada *biogas* yang belum termurnikan [9].

2.2 Pengaruh H₂ pada Pembakaran Biogas

Dengan tingginya rasio gas pengotor, menyebabkan *heat value* dan kecepatan rambat api dari *biogas* menurun yang menyebabkan hasil pembakaran tidak stabil pada campuran yang mudah terbakar saat penambahan dengan *biogas*. Sebaliknya hidrogen (H₂) memiliki sifat dengan kecepatan rambat api yang tinggi, sehingga penambahan beberapa bagian H₂ pada *biogas* dapat meningkatkan kecepatan rambat api dan menstabilkan pembakaran [3].

Chen dkk (2012) mengaplikasikan campuran H₂/CO pada *spark ignition engine* dan menggunakan CO₂ sebagai pengencer dalam *biogas* untuk mengetahui karakteristik pembakaran serta emisinya. Hasil dari penelitian ini menyatakan semakin meningkatnya konsentrasi H₂ dapat meningkatkan kecepatan rambat api, dan nilai panas yang dihasilkan lebih pekat. Selain itu, dengan meningkatnya H₂ nilai *heat volume* pada campuran gas menurun sehingga akan menurunkan temperatur pembakaran, menurunkan emisi NO_x [10].

Tabel 1. Perbandingan sifat LPG, natural gas, dan biogas [4]

Property	LPG	Natural Gas	Biogas	
Composition (% vol)	C ₂ H ₂ – 30% C ₄ H ₁₀ – 70%	CH ₄ – 85 %	CH ₄ – 51 %	
		C ₂ H ₂ – 7%	CO ₂ – 41%	
		N ₂ – 1%	CO – 0.18%	
		CO ₂ – 5%	H ₂ – 0,18%	
			Trace of other gases	
Lower heating value at 1 atm and 15 ⁰ C (MJ/kg)	45.7	50	17	
Density at 1 atm and 15 ⁰ C	2.26	0.79	1.2	
Flame speed (cm/s)	44	34	25	
Stoichiometric A/F (kg of air/kg of fuel)	15.5	17.7	5.8	
Flammability limits (vol % in air)	2.15	5	7.5	
				Richer
Octane Number	Research	103 – 106	120	130
	Motor	90 – 97	120	-
	Autoignition temp (°C)	406 – 450	540	650

Chung dkk (2013) mempelajari performa pembakaran dari H₂/*biogas* pada *spark ignition engine* menggunakan simulasi numerik. Hasil dari studi ini menunjukkan meningkatnya kandungan H₂ akan menaikkan nilai puncak dari tekanan dan panas yang dihasilkan, dan memperpendek delay time dalam silinder [11]. Porpatham (2007) mempelajari pengaruh perbedaan rasio H₂ 5%, 10%, dan 15% pada campuran *biogas* terhadap performa *spark ignition engine*. Hasil studi menunjukkan semakin meningkatnya kandungan H₂ nilai pembakaran meningkat. Saat kandungan H₂ lebih dari 15% menunjukkan terjadinya pembakaran dini (knocking) dan menurunkan efisiensi thermal [12].

Park dkk (2011) mempelajari performa dan karakter emisi dari *biogas* yang dicampur dengan hidrogen pada *spark ignition engine*. Hasil studi menunjukkan gas pengotor pada *biogas* dapat meningkatkan efisiensi thermal-nya dan menurunkan emisi NO_x. Namun emisi HC meningkat. Bercampurnya bahan bakar hidrogen pada *biogas* dapat meningkatkan kestabilan pembakaran. Selain itu kerugian heat transfer akan meningkat seiring bertambahnya kandungan hidrogen, yang berarti menurunkan efisiensi thermal-nya. Studi ini menyimpulkan saat volume hidrogen antara 5% sampai 10% menunjukkan tingkat efisiensi yang tinggi [13].

Park dkk (2011,2012) juga mempelajari efek EGR pada efisiensi dan emisi di *spark ignition engine* menggunakan bahan bakar *biogas*/hidrogen. Hasil studi menunjukkan hidrogen dapat digunakan untuk meningkatkan kestabilan pada bahan bakar *biogas*, namun menyebabkan emisi NO_x semakin meningkat. Semakin meningkatnya EGR *rate* akan meningkatkan *heat capacity* dalam silinder yang artinya menurunkan kompresi dan temperaturnya, sehingga tidak hanya meningkatkan *ignition delay time* namun juga menurunkan kecepatan rambat api, dan menurunkan temperatur pembakaran. Selain itu, dengan meningkatnya EGR *rate* kestabilan pembakaran menurun, MBT *spark timing* maju, dan emisi THC naik, meskipun NO_x menunjukkan level penurunan. Dengan meningkatnya EGR, efisiensi pembakaran sedikit menurun, dan efisiensi *thermal* meningkat [14][15].

2.3 Pengaruh Penambahan Bahan Bakar Komersial pada Pembakaran Biogas

Karlsson dkk (2008) membandingkan antara bahan bakar bensin konvensional, *biogas* yang terkompresi, dan etanol pada mobil berbahan bakar bensin dan mobil penumpang ethanol/petrol. Hasil

studi untuk mobil CNG/petrol CBG fuel menunjukkan konsumsi energi paling kecil, dan emisi NO_x, PM, dan PN paling rendah. Namun emisi CH₄ naik dibandingkan petrol [16].

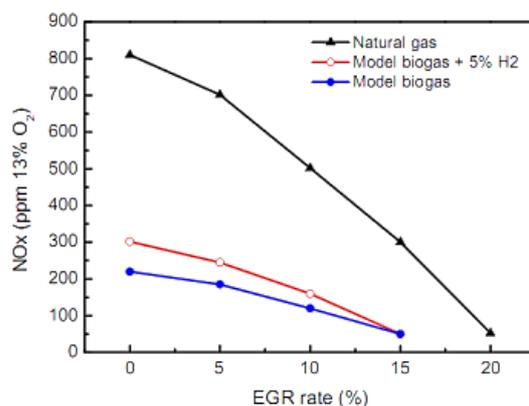
Yadav SD dkk (2013) membandingkan efek gasoline, purified *biogas*, dan *biogas* pada performa *spark ignition engine* berdasarkan kenaikan rasio kompresi dan optimizing ignition timing. Studi ini menunjukkan semakin tinggi kandungan CO₂ dan gas non-combustion lainnya pada *biogas* menurunkan efisiensi gas engine, power maksimum dari engine menurun, serta penggunaan bahan bakar naik [17].

Lee K dkk (2010) membandingkan pembakaran dan karakteristik emisi dari *natural gas*, *biogas*, dan *biogas/H₂* dengan berbagai EGR rate dengan optimum spark timing untuk mendapatkan efisiensi tertinggi. Seperti yang ditunjukkan gambar 1, emisi NO_x dan efisiensi pada umumnya menurun seiring naiknya EGR rate. Pada bahan bakar *biogas* emisi NO_x lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar *natural gas*. Selain itu, antara penambahan gas hidrogen (H₂) pada *biogas* menunjukkan kenaikan emisi NO_x dan efisiensi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kombinasi bahan bakar hidrogen/bio-gas pada berbagai EGR rate dan optimum spark timing menunjukkan potensi terbaik secara optimum untuk dikembangkan [18].

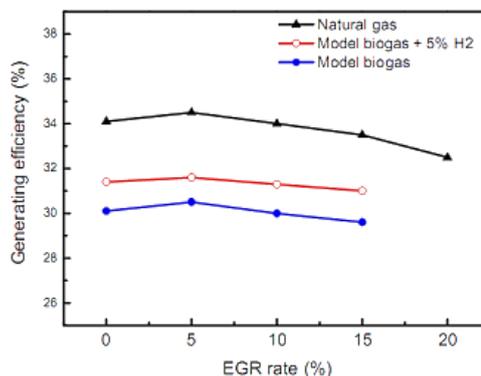
2.4 Aplikasi Biogas pada Mesin Diesel-Modifikasi SI (Spark Ignition)

Biogas merupakan jenis bahan bakar dengan nilai oktan yang tinggi, sehingga sulit digunakan pada *compression ignition engine* [3]. Beberapa penelitian memodifikasi mesin diesel menggunakan *spark ignition* sebagai pematik api, diantaranya adalah Karagos dkk (2018) memodifikasi mesin genset berbahan bakar diesel dengan menambahkan *spark plug*. Dengan modifikasi tersebut, dilakukan penelitian pengaruh kandungan CO₂ sebanyak 13%, dan 49% terhadap *gas pressure* dan *spesifik fuel consumption*. Gambar 2 dan gambar 3 merupakan hasil yang bervariasi dari tekanan di dalam silinder dengan perbedaan kandungan CO₂ pada *biogas* dan nilai beban *versus crack angle*. Pada kandungan CO₂ 13% menunjukkan nilai tekanan maksimum lebih tinggi 24% pada beban daya 1,5 kW dan lebih tinggi 14% pada beban daya 9 kW dibandingkan pada kandungan CO₂ 49% [5].

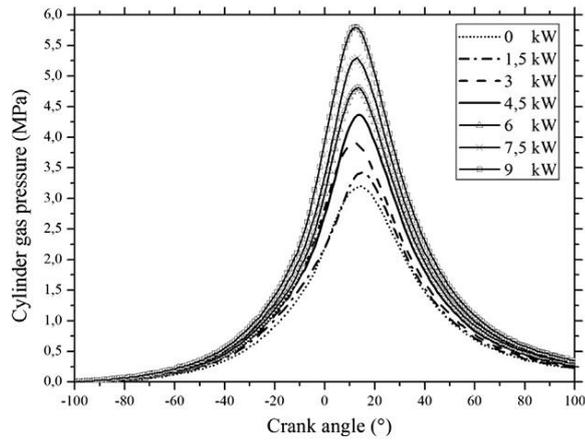
Gambar 4 menunjukkan nilai bahan bakar yang dikonsumsi setiap jam tiap daya yang dihasilkan atau *BSFC*, pada kandungan CO₂ 49% memiliki nilai *BSFC* lebih tinggi dibandingkan pada kandungan CO₂ 13%. Pada beban daya 1,5 kW kandungan CO₂ 49% menghasilkan 24% lebih besar *BSFC* dibandingkan kandungan CO₂ 13%. Sedangkan pada beban daya 9 kW kandungan CO₂ 49% menghasilkan 14% lebih besar *BSFC* dibandingkan kandungan CO₂ 13% [5].



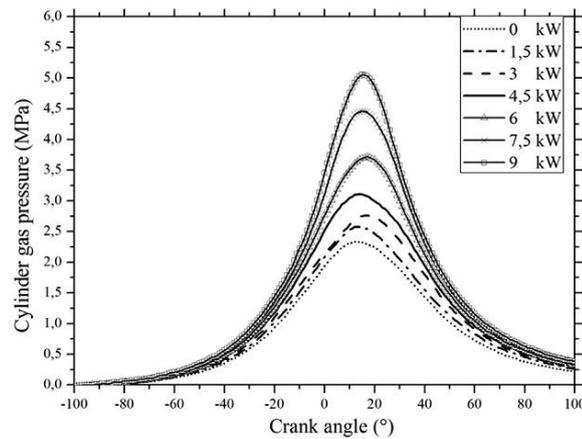
Gambar 1. Efek EGR Rate Pada Emisi NO_x dari SI Engine Bahan Bakar Biogas/Hidrogen [18]



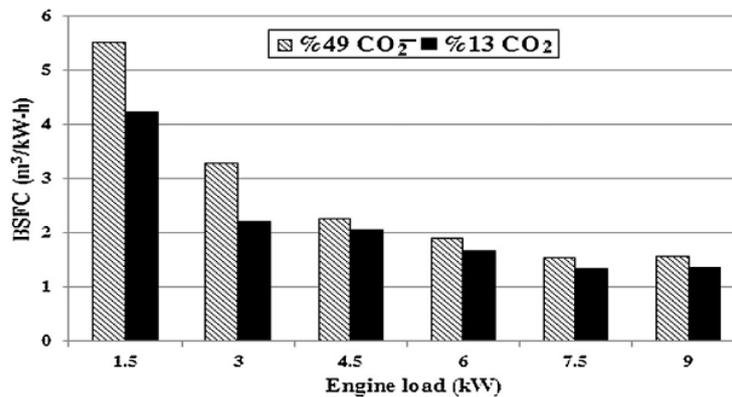
Gambar 2. Efek EGR Rate Pada Efisiensi Dari SI Engine Bahan Bakar Biogas/Hidrogen [18]



Gambar 3. Pengaruh 13% CO₂ Pada Tekanan Dalam Silinder [5]



Gambar 4. Pengaruh 49% CO₂ Pada Tekanan Dalam Silinder [5]



Gambar 5. Pengaruh CO₂ BSFC [5]

3. KESIMPULAN

Biogas merupakan energi yang dapat diperbarui dan dapat diaplikasikan sebagai bahan bakar kendaraan motor bakar (*SI spark ignition*). Berdasarkan *review* yang telah dipelajari, dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Biogas* yang dihasilkan dari reaktor tidak bisa langsung digunakan sebagai bahan bakar motor bakar (*SI spark ignition*), namun harus dimurnikan dahulu dari gas-gas pengotor.

- b) Salah satu gas pengotor yang harus dikurangi adalah CO₂. Kandungan CO₂ yang tinggi pada *biogas* menyebabkan nilai pembakaran menurun dan menurunkan *BSFC*, yang disebabkan nilai kecepatan rambat api, dan *heat value* yang rendah dengan pembakaran yang tidak stabil. Namun tingginya *fraksi volume* dapat menghambat emisi NO_x dan menghindari terjadinya *knocking*. Sedangkan penambahan gas H₂ (Hidrogen) dapat meningkatkan properties pembakaran karena mampu menstabilkan pembakaran. Optimasi rasio antara H₂ dengan CO₂ diperlukan untuk mendapatkan efisiensi dan pembakaran yang optimal pada motor bakar (*SI spark ignition*).
- c) *Biogas* dapat diaplikasikan pada mesin diesel dengan modifikasi pada pembakaran, yaitu menggunakan *spark ignition* sebagai pematik api.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Borja and B. Rincón, *Biogas Production* ★, no. April 2016. 2017.
- [2] S. Achinas, V. Achinas, and G. J. W. Euverink, "A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste," *Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 299–307, 2017.
- [3] Y. Qian, S. Sun, D. Ju, X. Shan, and X. Lu, "Review of the state-of-the-art of biogas combustion mechanisms and applications in internal combustion engines," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, no. September 2016, pp. 50–58, 2017.
- [4] E. Ryckebosch, M. Drouillon, and H. Vervaeren, "Techniques for transformation of biogas to biomethane," *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 5, pp. 1633–1645, 2011.
- [5] M. Karagöz, S. Sarıdemir, E. Deniz, and B. Çiftçi, "The effect of the CO₂ratio in biogas on the vibration and performance of a spark ignited engine," *Fuel*, vol. 214, no. May 2016, pp. 634–639, 2018.
- [6] P. J. Whiston, R. J. Abdel-Gayed, N. S. Girgis, and M. J. Goodwin, "Turbulent Burning Velocity of a Simulated Biogas Combustion in a Spark Ignition Engine." SAE International , 1992.
- [7] G. Anand, S. Gopinath, M. R. Ravi, I. N. Kar, and J. P. Subrahmanyam, "Artificial Neural Networks for Prediction of Efficiency and NO_x Emission of a Spark Ignition Engine." SAE International , 2006.
- [8] E. Porpatham, A. Ramesh, and B. Nagalingam, "Effect of compression ratio on the performance and combustion of a biogas fuelled spark ignition engine," *Fuel*, vol. 95, pp. 247–256, 2012.
- [9] S. D. Yadav, B. Kumar, and S. S. Thipse, "Characteristics of Biogas Operated Automotive SI Engine to Reduce Exhaust Emission for Green Development." The Automotive Research Association of India , 2013.
- [10] L. Chen, S. Shiga, and M. Araki, "Combustion characteristics of an SI engine fueled with H₂-CO blended fuel and diluted by CO₂," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 19, pp. 14632–14639, 2012.
- [11] K. Chung and K.-M. Chun, "Combustion Characteristics and Generating Efficiency Using Biogas with Added Hydrogen." SAE International , 2013.
- [12] E. Porpatham, A. Ramesh, and B. Nagalingam, "Effect of hydrogen addition on the performance of a biogas fuelled spark ignition engine," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 32, no. 12, pp. 2057–2065, 2007.
- [13] C. Park, S. Park, Y. Lee, C. Kim, S. Lee, and Y. Moriyoshi, "Performance and emission characteristics of a SI engine fueled by low calorific biogas blended with hydrogen," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 36, no. 16, pp. 10080–10088, 2011.
- [14] C. Park, S. Park, C. Kim, and S. Lee, "Effects of EGR on performance of engines with spark gap projection and fueled by biogas-hydrogen blends," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 19, pp. 14640–14648, 2012.
- [15] S. Park, C. Park, and C. Kim, "Effect of Exhaust Gas Recirculation on a Spark Ignition Engine Fueled with Biogas-Hydrogen Blends." SAE International , 2011.
- [16] H. Karlsson, J. Gässte, and P. Åsman, *Regulated and Non-regulated Emissions from Euro 4 Alternative Fuel Vehicles*. 2008.
- [17] S. D. Yadav, B. Kumar, and S. S. Thipse, "Effects of Bio-Gas Fuel Composition on Engine Performance." The Automotive Research Association of India , 2013.
- [18] K. Lee, T. Kim, H. Cha, S. Song, and K. M. Chun, "Generating efficiency and NO_xemissions of a gas engine generator fueled with a biogas-hydrogen blend and using an exhaust gas recirculation system," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 11, pp. 5723–5730, 2010.