



**PENGARUH EMISI GAS BUANG DAN KONSUMSI
BIOGAS SAMPAH KOTA SEMARANG PADA
SEPEDA MOTOR 125 CC**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif**

Oleh

Agus Tri Setiawan

NIM. 5202415004

**PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



**PENGARUH EMISI GAS BUANG DAN KONSUMSI
BIOGAS SAMPAH KOTA SEMARANG PADA
SEPEDA MOTOR 125 CC**

Skripsi

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif**

Oleh

Agus Tri Setiawan

NIM. 5202415004

**PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PENGESAHAN


Skripsi dengan judul “Pengaruh Emisi Gas Buang Biogas Sampah Kota Semarang Pada Sepeda Motor 125 cc” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada 17/10 2019.

Oleh

Nama : Agus Tri Setiawan
NIM : 5202415004
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif S1

Panitia:


Ketua


Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Sekretaris


Dr. Rahmat Doni Widodo ST, MT.
NIP. 197509272006041002


Penguji I


Dr. Hadromi S.Pd., M.T.
NIP. 196908071994031004

Penguji II

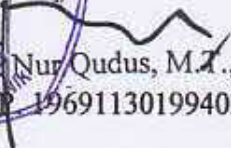

Ahmad Roziqin S.Pd., M.Pd
NIP. 198704192014041002

Pembimbing


Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., ST., MT
NIP. 19690106 1994031003

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang



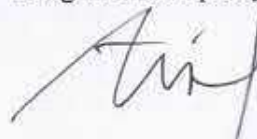

Dr. Nur Qudus, M.T., IPM
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Proposal skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 17/9 2019
Yang membuat pernyataan,



Agus Tri Setiawan
NIM 5202415004

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Hidup adalah perjalanan menuju awal dari akhir, sesulit apapun jalannya melaluinya hanyalah menjadi satu pilihan.

PERSEMBAHAN

Ibu, Bapak, Kakak, Lilis Fanani, Almamater

RINGKASAN

Setiawan, Agus Tri 2019. Pengaruh Emisi Gas Buang dan Konsumsi Biogas Sampah Kota Semarang Pada Sepeda Motor 125 cc. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., S.T., M.T.

Kata kunci: Biogas, Emisi Gas Buang, Konsumsi

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui metode pengompresian biogas yang aman serta kandungan emisi gas buang biogas yaitu CO dan HC dan konsumsinya pada sepeda motor 125 cc. Metode yang digunakan yaitu pengujian eksperimental. Biogas yang digunakan memiliki kandungan 48% CH₄, 39,4% CO₂, 0,4% O₂, dan 12,3% gas pengotor. Hasil pengujian emisi menggunakan biogas CO 0,076 % vol dan HC 1888 ppm vol, pertalite 3198 % vol dan HC 2449 ppm vol serta konsumsi pertalite 4,12e-13 Kg/Cycle dan biogas 4,63e-13 Kg/Cycle. Biogas sampah Kota Semarang dapat dikompresikan dengan aman dalam tabung kaleng dengan tekanan 8 kg/cm² dengan berat gas 6 gram dalam waktu 7 detik.

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul “Pengaruh Emisi Gas Buang Biogas Sampah Kota Semarang Pada Sepeda Motor 125 cc”. Proposal skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat-Nya di yaumul akhir nanti, Amin.

Penyelesaian proposal skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M.T, Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin, Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., S.T., M.T., Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik Mesin atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
2. Dr. Dwi Widjanarko S.Pd., ST., MT. Dosen Pembimbing yang penuh perhatian dan atas berkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.
3. Dr. Hadromi S.Pd., M.T. sebagai penguji 1 yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
4. Ahmad Roziqin S.Pd., M.Pd. sebagai penguji 2 yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.

6. Bapak, ibu, kakak tercinta, serta keluarga yang selalu menyayangi, memberi nasihat, semangat, doa, dan mendukung penulis sampai saat ini.
7. Teman-teman Pendidikan Teknik Otomotif angkatan 2015 yang telah menemani, mendukung, menginspirasi, dan memotivasi penulis untuk terus maju dan semangat.
8. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga bantuan yang telah diberikan mendapatkan imbalan dari Allah SWT. Kritik dan saran penulis terima dengan senang hati. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pelaksanaan pembelajaran di SMK.

Semarang, 17/9 2019



Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| PERSETUJUA PEMBIMBING..... | ii |
| PENGESAHAN | iii |
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH | iv |
| MOTTO DAN PERSEMBAHAN | v |
| RINGKASAN | vi |
| PRAKATA | vii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG | xi |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2. Identifikasi Masalah | 4 |
| 1.3. Pembatasan Masalah | 4 |
| 1.4. Rumusan Masalah | 5 |
| 1.5. Tujuan Penelitian | 5 |
| 1.6. Manfaat Penelitian | 5 |
| BAB II. KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | 7 |
| 2.1. Kajian Pustaka | 7 |
| 2.2. Landasan Teori | 10 |
| 2.2.1. Biogas | 13 |
| 2.2.2. Peralite | 45 |
| 2.2.3. Pengkompresian dan Pengemasan Biogas..... | 14 |
| 2.2.4. Nilai Kalor (<i>Heating Value</i>) | 14 |
| 2.2.5. Pembakaran Stoikiometri | 15 |
| 2.2.6. Perbandingan Udara dan Bahan Bakar | 17 |

| | |
|---|----|
| 2.2.7. Konsumsi Bahan abakar Spesifik | 18 |
| 2.2.8. Proses Pembakaran Motor Bensin 4 Tak | 18 |
| BAB III. METODE PENELITIAN | 22 |
| 3.1. Waku dan Tempat Pelaksanaan | 22 |
| 3.1.1. Waktu Penelitian..... | 22 |
| 3.1.2. Tempat Pelaksanaan | 22 |
| 3.2. Desain Penelitian | 22 |
| 3.2.1. Skema Pengujian..... | 22 |
| 3.2.2. Prosedur Penelitian..... | 23 |
| 3.3. Alat dan Bahan Penelitian | 28 |
| 3.3.1. Alat Penelitian..... | 28 |
| 3.3.2. Bahan Penelitian..... | 36 |
| 3.4. Parameter Penelitian..... | 38 |
| 3.4.1. Variabel Bebas | 38 |
| 3.4.2. Variabel Terikat | 38 |
| 3.4.3. Variabel Kontrol..... | 38 |
| 3.5. Teknik Pengumpulan Data..... | 39 |
| 3.5.1. Pengisian Biogas | 39 |
| 3.5.2. Emisi Gas Buang..... | 39 |
| 3.5.3. Konsumsi Bahan Bakar | 40 |
| 3.6. Kalibrasi Instrumen | 40 |
| 3.7. Teknik Analisis Data | 41 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 42 |
| 4.1. Deskripsi Data..... | 42 |
| 4.2. Analisis Data..... | 44 |
| 4.3. Pembahasan..... | 47 |
| BAB V PENUTUP | 53 |
| 5.1. Kesimpulan..... | 54 |
| 5.2. Saran | 54 |
| DAFTAR PUSTAKA | 56 |
| LAMPIRAN..... | 58 |

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

sfc = Specific Fuel Consumption

\dot{m} = Massa bahan bakar

P = Waktu

n = Putaran Mesin

T = Suhu

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1.1. Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia Tahun 2015-2017 | 1 |
| Tabel 1.2. Produksi BBM (Bahan Bakar Minyak) Tahun 2013-2015 | 2 |
| Tabel 2.1. Komposisi Dan Penyusun Zat Biogas | 11 |
| Tabel 2.2. <i>Properties</i> Bahan Bakar Peralite | 14 |
| Tabel 2.3. Nilai Kalor Dan Massa Jenis Beberapa Bahan Bakar | 15 |
| Tabel 2.4. Temperatur Penyalaan Sendiri Berbagai Jenis Bahan Bakar | 16 |
| Tabel 2.5. <i>Molecular Weight</i> | 17 |
| Tabel 2.6. Baku Mutu Emisi Gas Buang | 21 |
| Tabel 3.1. Spesifikasi Stargas 898 | 35 |
| Tabel 3.2. Kandungan Biogas Pengujian | 37 |
| Tabel 3.3. Spesifikasi Mesin Karisma X 125 | 37 |
| Tabel 3.4. Lembar Pengujian Pengisian Biogas ke Dalam Tabung Kaleng ... | 39 |
| Tabel 3.5. Lembar Pengujian Emisi Gas Buang (CO dan HC) | 39 |
| Tabel 3.6. Lembar Pengujian Konsumsi Bahan Bakar Peralite | 40 |
| Tabel 3.7. Lembar Pengujian Konsumsi Bahan Bakar Biogas | 40 |
| Tabel 4.1. Hasil Pengisian Biogas..... | 42 |
| Tabel 4.2. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang CO dan HC | 42 |
| Tabel 4.3. Hasil Pengujian Konsumsi Bahan Bakar Biogas | 43 |
| Tabel 4.3. Hasil Pengujian Konsumsi Bahan Bakar Peralite | 43 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1. Rantai Molekul CH ₄ | 12 |
| Gambar 2.2. Rantai Molekul Peralite | 13 |
| Gambar 2.3. Proses Pembakaran Motor Bensin | 18 |
| Gambar 2.4. Proses Pembakaran Mesin Bensin 4 Tak | 19 |
| Gambar 2.5. Diagram P-V Siklus Ideal Otto | 20 |
| Gambar 3.1. Skema Pengemasan Biogas | 22 |
| Gambar 3.2. Skema Pengujian Konsumsi dan Emisi Gas Buang | 23 |
| Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian | 27 |
| Gambar 3.4. Kompresor Dinamik..... | 28 |
| Gambar 3.5. <i>Pressure Gauge</i> | 29 |
| Gambar 3.6. Selang <i>Pnumatic Polyurathane</i> | 29 |
| Gambar 3.7. <i>Naple Pnumatic</i> | 30 |
| Gambar 3.8. Pengatur Tekanan <i>Pnumatic</i> (regulator)..... | 30 |
| Gambar 3.9 <i>One Way Valve</i> | 31 |
| Gambar 3.10. Adapter Gas Kaleng..... | 31 |
| Gambar 3.11. Saklar Otomatis Tekanan..... | 32 |
| Gambar 3.12. <i>Box Alat</i> | 32 |
| Gambar 3.13. Desain <i>Box Alat</i> | 32 |
| Gambar 3.14. Desain <i>Box Alat</i> Tampak Depan..... | 33 |
| Gambar 3.15. Desain <i>Box Alat</i> Tampak Samping Kiri..... | 33 |
| Gambar 3.16. Desain <i>Box Alat</i> Tampak Samping Kanan..... | 34 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.17. Desain <i>Box</i> Alat Tampak Atas | 34 |
| Gambar 3.18. Timbangan Digital | 35 |
| Gambar 3.19. <i>Gas Analyzer</i> Stargas 898 | 36 |
| Gambar 3.20. <i>Tool set</i> | 36 |
| Gambar 3.21. Tabung Gas Kaleng Kompor <i>Portable</i> | 37 |
| Gambar 3.22. Penyetelan <i>Autozero Gas Analyzer</i> | 41 |
| Gambar 4.1 Grafik Pengisian Biogas | 45 |
| Gambar 4.2 Grafik Emisi CO | 45 |
| Gambar 4.3 Grafik Emisi HC | 46 |
| Gambar 4.4 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Biogas | 47 |
| Gambar 4.5 Grafik Emisi Gas HC Peralite | 49 |
| Gambar 4.6 Rantai Molekul CH ₄ | 50 |
| Gambar 4.7 Rantai Molekul Peralite | 51 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1. Usulan Topik Skripsi | 59 |
| Lampiran 2. Surat Keputusan Dosen Pembimbing..... | 60 |
| Lampiran 3 Persetujuan Seminar Proposal..... | 61 |
| Lampiran 4. Berita Acara Seminar Proposal | 62 |
| Lampiran 5. Lembar Selesai Revisi Proposal..... | 63 |
| Lampiran 6. Izin Penelitian Emisi Gas Buang dan Konsumsi..... | 64 |
| Lampiran 7. Izin Penelitian Dinas Lingkungan Hidup | 65 |
| Lampiran 8. Pengecekan Kandungan Biogas PLTSa Jati Barang Sumur 2... | 66 |
| Lampiran 9. Kandungan Biogas PLTSa Jati Barang..... | 67 |
| Lampiran 10. Persiapan Pengisian Biogas | 68 |
| Lampiran 11. Pengisian Biogas..... | 68 |
| Lampiran 12. Tekanan Isi Pengisian | 69 |
| Lampiran 13. Pengujian Api Biogas | 69 |
| Lampiran 14. Pengujian Api Gas Kaleng..... | 70 |
| Lampiran 15. Pemilihan Jenis Bahan Bakar <i>Gasoline Gas Analyzer</i> | 70 |
| Lampiran 16. Pengontrolan Rpm Mesin..... | 71 |
| Lampiran 17. Pengukuran Rpm Mesin | 71 |
| Lampiran 18. Pengukuran Emisi Gas Buang Peralite | 72 |
| Lampiran 19. Penyumbatan Selang Bahan Bakar | 72 |
| Lampiran 20. Hasil Pengujian Pertama Emisi Gas Buang Peralite..... | 73 |
| Lampiran 21. Hasil Pengujian Kedua Emisi Gas Buang Peralite | 74 |

| | |
|---|----|
| Lampiran 22. Hasil Pengujian Ketiga Emisi Gas Buang Pertalite | 75 |
| Lampiran 23. Pengurusan Bahan Bakar..... | 76 |
| Lampiran 24. Pemasukan Selang Gas | 76 |
| Lampiran 25. Pemasangan Biogas Kaleng..... | 77 |
| Lampiran 26. Pemilihan Bahan Bakar <i>Methane Gas Analyzer</i> | 77 |
| Lampiran 27. Pengujian Emisi Gas Buang Biogas | 78 |
| Lampiran 28. Penimbangan Massa Kaleng Isi Biogas..... | 78 |
| Lampiran 29. Hasil Pngujian Pertama Emisi Gas Buang Biogas | 79 |
| Lampiran 30. Hasil Pengujian Kedua Emisi Gas Buang Biogas | 80 |
| Lampiran 31. Hasil Pengujian Ketiga Emisi Gas Buang Biogas | 81 |
| Lampiran 32. Penimbangan Massa Kaleng Kosong..... | 82 |
| Lampiran 33. Pengujian Konsumsi Biogas | 82 |

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan bidang otomotif dewasa ini memberikan dampak semakin banyaknya kendaraan bermotor di berbagai negara baik negara maju maupun negara berkembang. Angka kepemilikan kendaraan bermotor di Indonesia menunjukkan peningkatan setiap tahunnya, menurut data dari BPS (Badan Pusat Statistik) kendaraan bermotor khususnya sepeda motor mengalami peningkatan.

Tabel 1.1. Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia Tahun 2015-2017

| Jenis Kendaraan Bermotor | Jumlah Kendaraan (unit) | | |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| | 2015 | 2016 | 2017 |
| Mobil Penumpang | 13.480.973 | 14.580.666 | 15.493.068 |
| Mobil Bus | 2.420.917 | 2.486.898 | 2.509.258 |
| Mobil Barang | 6.611.028 | 7.063.433 | 7.523.550 |
| Sepeda Motor | 98.881.267 | 105.150.082 | 113.030.793 |
| Jumlah | 121.396.200 | 129.283.095 | 138.558.686 |

Sumber: BPS, 2018

Kendaraan bermotor yang semakin meningkat menimbulkan dampak serius, yakni kemacetan, meningkatnya konsumsi bahan bakar dan dampak lingkungan dengan meningkatnya gas polutan dari emisi gas buang yang dihasilkan (Kusumawati, dkk 2013:50). Penelitian yang dilakukan oleh Kementerian Negara Lingkungan Hidup bekerjasama dengan JICA tahun 1997 menunjukkan 70% pencemaran udara berasal dari sektor transportasi, yang

berasal dari jalan raya, kontribusi terbesar disumbangkan oleh asap sisa pembakaran kendaraan bermotor (Kusumawati, dkk 2013:50).

Sebagai contoh di wilayah DKI Jakarta sumber pencemaran utama berasal dari industri dan kendaraan bermotor (Ismiyati, dkk 2014:241) . Dalam hal ini, terhadap beban emisi total, kendaraan bermotor menyumbang sekitar 71% pencemar oksida nitrogen (NOX), 15% pencemar oksida sulfur (SOx), dan 70% pencemar partikulat (PM10) (Ismiyati, dkk 2014:241). Selain itu semakin bertambahnya kendaraan bermotor akan meningkatkan konsumsi bahan bakar fosil yang ada saat ini yang semakin menipis, maka perlu adanya sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil.

Dewasa ini pemerintah telah mengalihkan penggunaan bahan bakar fosil menggunakan bahan bakar gas baik dari alam maupun dari bahan organik.

Tabel 1.2. Produksi BBM (Bahan Bakar Minyak) Tahun 2013-2015

| Bahan Bakar Minyak (BBM) | Produksi Bahan Bakar Minyak (Barel) | | |
|---------------------------------|--|-------------|-------------|
| | 2013 | 2014 | 2015 |
| Premium | 67819 | 70828 | 71733 |
| Pertamax | 2651 | 3629 | 8725 |
| Pertamax Plus | 566 | 545 | 627 |

Sumber: BPS, 2018

Menurut BPS jumlah produksi minyak nasional khususnya BBM mengalami fluktuasi dalam barel. Hal ini tidak diimbangi dengan semakin meningkatnya jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya. Pada umumnya di wilayah perkotaan penggunaan energi dari kendaraan bermotor atau konsumen yang dominan jika dibandingkan dengan sektor lain. Penggunaan energi yang dominan di sektor ini adalah penggunaan BBM, berupa bensin maupun solar, beberapa kota penggunaan Bahan Bakar Nabati (BBN), seperti biodiesel dan bioetanol, dan

Bahan Bakar Gas (BBG) sudah berkembang namun sedikit penyebarannya dipasar (Sugiyono, 2012:104).

Bahan bakar yang saat ini dikembangkan adalah bahan bakar dari bahan-bahan organik, hal ini karena senyawa organik tersebut tergolong energi yang dapat diperbarui (*Renewable Energy*) mudah di dapat dan selain itu ramah lingkungan. (Prastya, dkk 2013:78). Kandungan *methane* yang cukup tinggi dalam biogas dapat menggantikan peran LPG (*Liquified Petroleum Gas*) dan *petrol* (bensin), zat yang memiliki nilai kalor adalah zat metana atau *methane*.

Biogas digunakan secara langsung dari unit instalasi untuk kebutuhan kompor rumah tangga maupun kebutuhan generator pembangkit listrik. Sepeda motor memerlukan adanya pengemasan yang praktis dan efektif untuk mengemas biogas pada kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor bekerja dengan mobilitas tinggi sehingga memerlukan pengemasan bahan bakar yang efektif, yaitu salah satu caranya dengan teknologi pengemasan *compression* dan *botling*. Biogas dihasilkan dari bahan – bahan organik salah satunya dari sampah. Sampah pada Kota Semarang pada tahun 2005 timbunan sampah mencapai 4.275 m³ perhari dan terus meningkat 4.700 m³ perhari pada tahun 2009, pengelolaan sampah di Indonesia juga masih menggunakan pradigma lama yaitu kumpul-angkut-buang (Ernawati, dkk 2012:14). Sampah memerlukan pemanfaatan sesuai dengan kebutuhan yang *reliable* untuk saat ini, yaitu energi dengan memanfaatkan sampah menjadi biogas. Sampah telah dimanfaatkan menjadi sumber pembangkit listrik di PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah) Jati Barang Kota Semarang.

1.2. Identifikas Masalah

Berdasarkan latar belakang, masalah yang dapat diidentifikasi adalah sebagai berikut :

1. Kebutuhan sumber energi terbarukan (*renewble energy*) menggantikan bahan bakar minyak fosil.
2. Diperlukan penelitian tentang bahan bakar alternatif untuk menunjang kebutuhan bahan bakar serta mengurangi dampak emisi gas buang kendaraan
3. Penggunaan biogas yang kurang luas hanya untuk rumah tangga.
4. Perlu adanya inovasi perluasan penggunaan biogas dengan pengemasan tertentu.
5. Biogas sampah kota yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif belum diketahui kandungan emisi yang dihasilkan.
6. Biogas sampah kota sebagai bahan bakar alternatif perlu untuk diketahui efisiensi pada kendaraan.
7. Mengoptimalkan pemanfaatan limbah sampah Kota Semarang.

1.3. Pembatasan Masalah

Permasalahan yang telah diidentifikasi tidak semua dapat dibahas dalam penelitian ini, oleh karena itu penelitian ini dibatasi permasalahan yang diangkat pada:

1. Bahan bakar yang digunakan untuk pengujian emisi gas buang adalah biogas sampah Kota Semarang.
2. Biogas yang digunakan diproduksi dari sampah Kota Semarang tanpa proses pemurnian..

3. Biogas yang digunakan dikemas menggunakan cara pengompresian.

1.4. Rumusan Masalah

Adanya permasalahan yang jelas dalam suatu penelitian akan menjadikan proses pemecahannya dapat terarah dan fokus. Berdasarkan uraian identifikasi masalah dan pembatasan masalah, rumusan masalah yang dapat diuraikan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengemasan dengan cara kompresi pada biogas sampah Kota Semarang?
2. Bagaimana kandungan emisi gas buang menggunakan bahan bakar biogas sampah Kota Semarang dan pertalite pada sepeda motor 125 cc?
3. Bagaimana konsumsi bahan bakar biogas sampah Kota Semarang dan pertalite pada sepeda motor 125 cc?

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menguji pengemasan kompresi pada biogas sampah Kota Semarang.
2. Menguji kandungan emisi gas buang menggunakan bahan bakar biogas sampah Kota Semarang dan pertalite pada sepeda motor 125 cc.
3. Menguji konsumsi biogas sampah Kota Semarang dan pertalite pada sepeda motor 125 cc.

3.6. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat membawa manfaat, antara lain:

1. Pengolahan biogas dapat dilaksanakan dengan tepat, sehingga masyarakat dapat memanfaatkan biogas secara optimal khususnya untuk bahan bakar kendaraan bermotor. Sampah kota yang tidak dimanfaatkan dengan baik juga menimbulkan dampak di masyarakat sehingga perlu perluasan pemanfaatan pengolahan sampah kota
2. Pencemaran lingkungan terutama udara akibat emisi kendaraan bermotor semakin meningkat dan memperparah kondisi lingkungan. Biogas sebagai bahan bakar terbarukan (*renewable energy*) dengan mengujinya pada kendaraan bermotor akan diketahui seberapa besar kandungan emisi gas buang yang dihasilkan. Masyarakat dapat menggunakan bahan bakar biogas sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan.
3. Biogas sebagai bahan bakar alternatif mampu menyeimbangkan penggunaan BBM yang tidak dapat diperbarui. Kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar biogas harapannya memiliki konsumsi yang sama dengan BBM sehingga menjadi bahan bakar yang ekonomis bagi masyarakat.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Penggunaan bahan bakar gas khususnya biogas pada kendaraan bermotor bukan pertama kali dilakukan. Sistem kompresi pengemasan biogas juga bukan pertama kali dilakukan. CNG (*Compressed Natural Gass*) yang digunakan dibanyak industri termasuk juga pada mesin pembakaran dalam juga merupakan gas alam berupa metana. Inovasi tersebut dilakukan dengan tujuan biogas sebagai sumber energi alternatif dan sumber energi terbarukan (*renewable energy*) serta mengurangi dampak emisi gas buang yang dirimbulkan oleh bahan bakar fosil. Penelitian tersebut adalah: (1) Prastya, dkk (2013), (2) Hery, dkk (2012), (3) Harbintoro dan Pujianto (2014), (4) Nallamothu, dkk (2013), (5) Putra, dkk (2016), (6) Vijay (2006), (7) Propatham, dkk (2012), dan (8) Propatham, dkk (2007)

Penelitian yang dilakukan Prastya, dkk (2013:84) bahwa emisi gas buang berupa CO₂, O₂, dan CO yang dihasilkan oleh mesin generator set yang memakai bahan bakar biogas sebagian besar lebih rendah jika dibandingkan dengan memakai bahan bakar bensin, emisi CO 2.667% - 5.067% untuk bensin dan 0.033% - 0.200% untuk biogas. Besarnya konsumsi bahan bakar bensin berkisar antara 103,110 – 208,330 mg/dt, dan besarnya konsumsi bahan bakar bakar ketika memakai biogas lebih rendah berkisar 83,333 – 159,997 mg/dt.

Penelitian yang dilakukan Hery, dkk (2012:167) mendapatkan kesimpulan bahwa biogas dengan kandungan metana 50-60% mampu menghidupkan mesin. Biogas yang dihasilkan dari digester sudah mampu menghasilkan biogas yang layak untuk motor bakar. Mesin berbahan bakar biogas mampu menghasilkan listrik hingga 250 Watt, seperempat dari kapasitas normal. Kemungkinan yang terjadi karena *ignition timing* yang kurang pas karena kecepatan pembakaran yang lambat (290 m/s). Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) dihitung menggunakan $SFC = 3600/1000 \times F_b \times \rho$ (kg/jam) diperoleh = 0.717 kg/m³ (Biogas) dan 1,6×10⁸ Kg/jam, (pada kondisi standart: 273 K, 1013 mbar = 0.1013 Mpa).

Penelitian yang dilakukan Harbintoro dan Pujiyanto (2014:42) mendapatkan kesimpulan bahwa tidak ada perbedaan temperatur yang signifikan pada komponen motor bakar yang menggunakan bahan bakar bensin dan bahan bakar gas LPG. Penelitian dilakukan dalam rangka mendukung pengembangan motor bakar berbahan bakar gas alam.

Penelitian yang dilakukan Nallamothe, dkk (2013:37) mendapatkan bahwa biogas dapat dimurnikan, dikompresi, dan disimpan dengan tekanan absolut 5 bar dengan waktu total 12-14 menit dalam silinder LPG.

Penelitian yang dilakukan oleh Putra, dkk (2016:260) mendapati bahwa tabung bekas *refrigerant* dapat dipergunakan kembali sebagai penyimpan biogas dengan bantuan kompresor. Kompresor dengan tekanan 10 psi dapat memasukkan biogas dengan massa 4886 gram dengan waktu 90 menit. Dalam pengisian sebaiknya manometer menunjukkan angka yang maksimal (antara 20-70 psi).

Penelitian yang dilakukan oleh Vijay (2006:628) meneliti bahwa biogas harus di *upgrade* atau di murnikan terlebih dahulu sebelum dikemas. *Upgrade* yang dilakukan pada biogas adalah meningkatkan nilai kalor dan kualitas bahan bakar. Pemurnian biogas *scrubber* mampu menghilangkan 99% kandungan karbon dioksida. Biogas dapat digunakan secara optimal pada kendaraan jika dikompresikan melebihi tekanan 1,0 MPa setelah menghilangkan uap air dan dimasukkan ke dalam *steel cylinder* yang digunakan pada *Natural Compressed Gass (CNG)*.

Penelitian yang dilakukan Propatham, dkk (2012:255) menyimpulkan ada peningkatan level HC dan NO dengan peningkatan perbandingan kompresi. Hal ini terutama disebabkan oleh peningkatan pembakaran oleh perpanjangan batas lean dan peningkatan laju pembakaran. Pada rasio kesetaraan 0,94 rasio kompresi meningkat dari 9,3: 1 menjadi 15: 1, level HC meningkat dari 1184 ppm hingga 2000 ppm dan tingkat NO meningkat dari 2125 ppm ke 2650 ppm, yang signifikan.

Penelitian yang dilakukan Propatham, dkk (2007:1659) menyimpulkan peningkatan konsentrasi metana dalam biogas yang dilantik secara signifikan meningkatkan kinerja dan mengurangi emisi hidrokarbon (HC). Nilai emisi HC yang sesuai adalah 1640 ppm dengan biogas normal dan 1230 dan 1150 ppm dengan kadar CO₂ 20-30%.

Penelitian yang dilakukan diatas telah dibahas penggunaan biogas pada mesin pembakaran dalam serta pengaruh emisi gas buang yang dihasilkan mesin. Biogas juga dapat dilakukan dalam tabung gas dengan jalan mengkompresikannya

pada tekanan tertentu. Biogas dapat disimpan dalam tabung dengan metode pengompresian dengan tekanan tertentu agar bisa dimobilisasi, metode ini cukup murah dan efektif. Biogas langsung dari digester tanpa pemurnian sudah mampu untuk menyalakan mesin pembakaran dalam. Emisi yang dihasilkan juga relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan BBM dengan kadar tertentu.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh bakteri dari proses fermentasi materi organik yang terjadi dalam reaktor (*biodigester*) dalam kondisi tanpa udara atau *anaerob* (Suyitno, dkk 2009:1). Beberapa daftar bahan organik yang bisa didapatkan dan dapat dibuat biogas antara lain biomassa, kotoran manusia, kotoran hewan, dan sampah organik. Indonesia memiliki potensi sampah kota sebagai bahan baku untuk pembuatan biogas.

Kandungan dan produktivitas biogas tergantung pada beberapa faktor dengan parameter tertentu seperti: tekanan, tingkat keasaman, kelembapan, dan temperatur (Suyitno dkk, 2009:8).

Biogas sampah dapat dihasilkan menggunakan teknologi dranco (*anaerobik*), proses dengan kapasitas 7.500 m³ akan dihasilkan 40.000 m³ biogas/hari (54% CH₄) (Sudrajat, 2006:67).

Biodigester ditempat inilah bakteri berkembang dan mencerna materi sehingga menghasilkan biogas dengan kuantitas dan kualitas tertentu. Biogas untuk menggantikan 0,7 kg bahan bakar bensin diperlukan sebanyak 1 m³ (Suyitno dkk, 2009:10).

Tabel 2.1. Komposisi dan Penyusun Zat Biogas

| Penyusun sifat | CH ₄ | CO ₂ | H ₂ | H ₂ S | 60%CH ₄ / 40%CO ₂ | 65%CH ₄ / 34%CO ₂ / 1%lain |
|---|-----------------|-----------------|----------------|------------------|--|--|
| Volume (%) | 55-70 | 27-44 | 1 | 3 | 100 | 100 |
| Nilai kalori (kWh/m ³) | 9,9 | - | 3,0 | 6,3 | 6,0 | 6,8 |
| Ambang bakar (% udara) | - | 5-15 | - | 4-80 | 4-4,5 | 6-12 7,7-23 |
| Suhu bakar (°C) | 650-750 | - | 585 | - | 650-750 | 650-750 |
| Tekanan kritis (bar) | 47 | 75 | 13 | 89 | 75-89 | 75-89 |
| Suhu kritis (°C) | -82,5 | 31 | -240 | 100,0 | -82,5 | -82,5 |
| Kerapatan normal (g/l) | 0,72 | 1,98 | 0,09 | 1,54 | 1,2 | 1,15 |
| Rasio kerapatan gas | 0,55 | 2,5 | 0,07 | 1,2 | 0,83 | 0,91 |
| Indeks wobbe, K(kWh/m ³) | - | 13,4 | - | - | - | 6,59 7,15 |
| Spec.panas, cp (Kj/m ³ .0°C) | - | 1,6 | 1,6 | 1,3 | 1,4 | 1,6 |
| Pancaran api (cm/dt) | - | 43 | - | 47 | - | 36 38 |

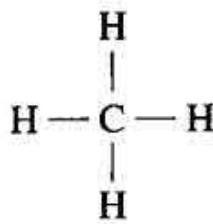
Sumber: Uli dkk, 1989 dalam Junus, 1995

Pertiwiningrum, (2015:4) menyatakan bahwa: nilai energi biogas jika dibandingkan dengan nilai energi bahan bakar yang lain yaitu kalori dalam 1 m³ biogas setara dengan: 6 kWh listrik, 0,62 liter minyak tanah, 0,52 liter minyak solar atau minyak diesel, 0,46 kg LPG, 3,50 kg kayu bakar, 0,80 liter bensin, dan 1,5 m³ gas kota.

Atom karbon membentuk empat ikatan struktur sedangkan atom hidrogen membentuk satu ikatan dalam struktur, molekul hidrokarbon jenuh tidak akan membentuk dua atau tiga ikatan karbon, sedangkan molekul hidrokarbon jenuh membentuk dua atau tiga ikatan karbon (Pulkrabek, 2014:134).

Menurut Pulkrabek, (2014:134), gas metana (CH_4) merupakan salah satu famili hidrokarbon parafin (biasa disebut *alkanes*) dengan kombinasi C_nH_{2n+2}

Menurut Pulkrabek, (2014:134), rantai molekul CH_4 adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1. Rantai Molekul CH_4

(sumber: Pulkrabek, 2014)

Gas alam yang mengandung 60-98 % dalam penggunaannya dibagi menjadi dua yaitu: CNG (*Compressed Natural Gas*) yang disimpan pada tekanan 15-25 Mpa (150-250 bar), dan LNG (*Liquid Natural Gas*) yang disimpan pada tekanan 70-210 kPa (0,7-2,1 bar) dan temperatur sekitar -160°C (Pulkrabek, 2014:158).

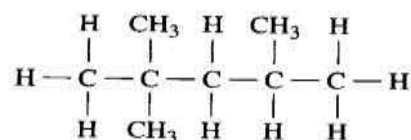
Menurut Pulkrabek, (2014:158) gas alam sebagai bahan bakar memiliki keuntungan sebagai berikut: (1) angka oktan 120 sehingga baik untuk mesin kompresi tinggi dan penyalaan busi, (2) rendah emisi dibandingkan metanol, dan (3) ketersediaan bahan bakar yang melimpah.

LPG (*Liquified Petroleum Gas*) merupakan molekul hidrokarbon yang berasal dari alam komponennya didominasi oleh propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) (Yunianto, 2009:1). LPG di Indonesia dikemas dengan tabung dengan berat gas 3 kg dan 12 kg pada tekanan 24 bar (Malau, 2010).

2.2.2. Peralite

Peralite merupakan jenis BBM yang cukup baru yang telah diluncurkan Pertamina untuk memenuhi Surat Keputusan Dirjen Migas Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 313 Tahun 2013 yang isinya menetapkan standar mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis bensin 90 yang dipasarkan di dalam negeri (Ningrat dkk, 2016:60).

Menurut Pulkrabek, (2014:135) bensin (*gasoline*) merupakan jenis bahan bakar isooktana, dengan rumus molekul C_8H_{18} (masuk dalam famili parafin) dan memiliki rantai molekul sebagai berikut:



Gambar 2.2. Rantai Molekul Peralite

(sumber: Pulkrabek, 2014)

Isooktana juga disebut 2,2,4-trimethylpentana, pentana karena memiliki 5 atom karbon dalam rantai utama, trimethyl karena terdapat tiga methyl radikal (CH_3) yang menggantikan atom hidrogen, dan 2,2,4 karena CH_3 berada pada rantai dua dua empat (Pulkrabek, 2014:136).

Tabel 2.2. *Properties* Bahan Bakar Peralite

| <i>Properties</i> | Peralite |
|---|-----------------|
| <i>Specific gravity</i> | 0,77 |
| <i>Heat of evaporation (Kj/Kg)</i> | 343 |
| <i>Laminar burning velocity (m/s) pada $\lambda=1$</i> | 0,5 |
| <i>Lower heating value (MJ/Kg)</i> | 43,84 |
| <i>Research Octane Number (RON)</i> | 90.00 |

Sumber: Gurnito dan Sudarmanta, 2016

2.2.3. Pengkompresian dan Pengemasan Biogas

Kompresi biogas dilakukan dengan kondisi sedekat mungkin secara isothermal dan adibatik, isothermal untuk menjaga temperatur tidak naik serta adibatik untuk jangan sampai kehilangan temperatur dan menjaga proses kompresi kontinyu, pengemasan dilakukan dengan tekanan maksimum *pressure gauge* 30 bar akurasi 0,5 bar (Bajracharya dkk, 2009:3).

2.2.4. Nilai Kalor (*Heating Value, HV*)

Nilai kalor adalah jumlah energi yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar terbakar sempurna dalam proses aliran tunak (*steady*) dan produk dikembalikan lagi ke keadaan reaktan (Suyitno dkk, 2009:48).

$$\text{Nilai kalor} = |\Delta H_c|$$

Menurut Suyitno dkk (2009:48) terdapat dua jenis nilai kalor, yaitu :

2. *Higher Heating Value (HHV)*, yaitu nilai kalor atas, ditentukan saat H₂O pada produk pembakaran berbentuk cair.
3. *Lower Heating Value (LHV)*, yaitu nilai kalor bawah, ditentukan saat H₂O pada produk pembakaran berbentuk gas.

Sehingga dapat dinyatakan bahwa:

$$\text{HHV} = \text{LHV} + (m \times h_{fg}) \text{ H}_2\text{O}$$

Dimana:

m = massa uap air

h_{fg} = entalpi penguapan uap air

Tabel 2.3. Nilai Kalor Dan Massa Jenis Beberapa Bahan Bakar

| Bahan Bakar | HHV (MJ/kg) | LHV (MJ/kg) | Massa Jenis (kg/m ³) |
|--|----------------|----------------|-------------------------------------|
| Karbon monoksida (CO) | 10,9 | 10,9 | 1,165 |
| Metana (CH ₄) | 55,5 | 50,1 | 0,667 |
| Propana (C ₃ H ₈) | 48,9 | 45,8 | 1,833 |
| Bensin umumnya oktana (C ₈ H ₁₈) | 46,7 | 42,5 | |
| Solar umumnya dodekana (C ₁₂ H ₂₆) | 45,9 | 43,0 | |
| Hidrogen (H ₂) | 141,9 | 120,1 | 0,084 |
| <i>Producer gas</i> | 5,81 | 5,30 | 1,089 |

*Pada 1 atm , 37°C

Sumber: Suyitno dkk, 2009

Karena biogas umumnya terdiri dari CH₄ dan CO₂, maka nilai kalor dapat dihitung dengan konsentrasi CH₄ didalam biogas. Konsentrasi CH₄ dalam biogas umumnya disajikan dalam prosen volume, sehingga perlu konversi satuan jika mengacu pada tabel.

2.2.5. Pembakaran Stoikiometri

Pembakaran merupakan reaksi kimia yang berlangsung cepat dan menimbulkan panas serta cahaya, pembakaran akan memecah molekul dan membentuk senyawa baru (Suyitno dkk, 2009:49). Pada umumnya, reaksi pembakaran dapat menghasilkan energi.

Menurut Suyitno dkk (2009:49) syarat terjadinya pembakaran adalah jika tiga kondisi terpenuhi, yaitu: “(1) terdapat bahan bakar, (2) terdapat udara (oksigen), dan (3) terdapat sumber api atau mencapai kondisi penyalaan sendiri.”

Motor bensin mempunyai sumber api berupa busi sedangkan diesel mempunyai mekanisme penyalan sendiri (*auto ignition temperature*) (Suyitno dkk, 2009:49).

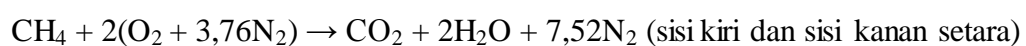
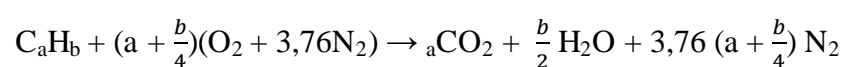
Tabel 2.4. Temperatur Penyalan Sendiri Untuk Berbagai Jenis Bahan Bakar

| Jenis Bahan Bakar | Temperatur Penyalan Sendiri (°C) |
|-------------------|----------------------------------|
| Bensin | 260 |
| Karbon | 400 |
| Hidrogen | 580 |
| CO | 610 |
| CH ₄ | 630 |
| Minyak tanah | 230 |

Sumber: Suyitno dkk, 2009

Suyitno, dkk (2009:50) menyatakan bahwa: “Pembakaran sempurna atau disebut juga pembakaran stoikiometri adalah pembakaran dimana semua konstituen yang dapat terbakar di dalam bahan bakar membentuk gas CO₂ dan uap air (H₂O) sehingga tak tersisa lagi bahan yang dapat terbakar”. Nitrogen dan argon merupakan unsur kimia alami yang tidak bereaksi dalam proses pembakaran kecuali dengan temperatur dan tekanan tertentu, nitrogen merupakan unsur terbesar pada atmosfer sehingga tidak bisa diabaikan dalam proses pembakaran, atmosfer terdiri dari 21 % oksigen dan 79 % nitrogen sehingga perhitungan mol menjadi 0,79/0,21 dimana 1 mol akan terdapat 3,76 mol nitrogen (Pulkrabek, 2014:123).

Menurut Heywood (1988:69) persamaan reaksi pembakaran bahan bakar sebagai berikut:



Pada pembakaran sempurna 1 mol metana membutuhkan 2 mol udara dan dihasilkan 1 mol CO₂ + 2 mol H₂O + 7,52 mol N₂. Stoikiometri dihitung dengan tujuan untuk menakar berapa banyak udara yang diperlukan untuk proses pembakaran yang menghasilkan CO₂ dan H₂O (Suyitno dkk, 2009:50)

2.2.6. Perbandingan Udara dan Bahan Bakar

Suyitno, dkk (2009:50) menyatakan perbandingan udara dan bahan bakar sebagai berikut “AFR (*AirFuelRatio*) adalah perbandingan antara massa udara terhadap massa bahan bakar”.

$$AFR_{\text{stoi}} = \frac{\text{massa udara}}{\text{massa bahan bakar}}$$

Suyitno dkk, 2009:50 menyatakan bahwa AFR memiliki maksud dan pengertian sebagai berikut:

“Besarnya AFR yang dihitung pada saat pembakaran stoikiometri disebut AFR_{stoikiometri}. Besarnya AFR yang dihitung dari perbandingan massa udara aktual dengan massa bahan bakar aktual selama proses pembakaran disebut dengan AFR_{aktual}. Besarnya perbandingan antara AFR_{aktual} dengan AFR_{stoikiometri} disebut λ (Suyitno dkk, 2009). Jika $\lambda < 1$ disebut pembakaran kaya (*rich combustion*). Jika $\lambda = 1$ disebut pembakaran stoikiometri. Jika $\lambda > 1$ disebut pembakaran miskin (*lean combustion*). λ sendiri merupakan kebalikan dari perbandingan ekivalen (*equivalence ratio*)”.

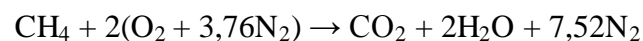
$$\lambda = \frac{AFR \text{ aktual}}{AFR \text{ stokiometri}}$$

Tabel 2.5. *Molecular Weight*

| <i>Substance</i> | <i>Molecular Weight (Kg/Kg.mole)</i> |
|-------------------|--|
| <i>Air</i> | 28,97 |
| <i>Argon (Ar)</i> | 39,95 |
| <i>Carbon (C)</i> | 12,01 |

| <i>Substance</i> | <i>Molecular Weight (Kg/Kg.mole)</i> |
|--|--|
| <i>Carbon Monoxide (CO)</i> | 28,01 |
| <i>Carbon Dioxide (CO₂)</i> | 44,01 |
| <i>Hydrogen (H₂)</i> | 2,02 |
| <i>Water Vapour (H₂O)</i> | 18,02 |
| <i>Helium (He)</i> | 4,00 |
| <i>Nitrogen (N₂)</i> | 28,01 |

Sumber: Pulkrabek, 2014



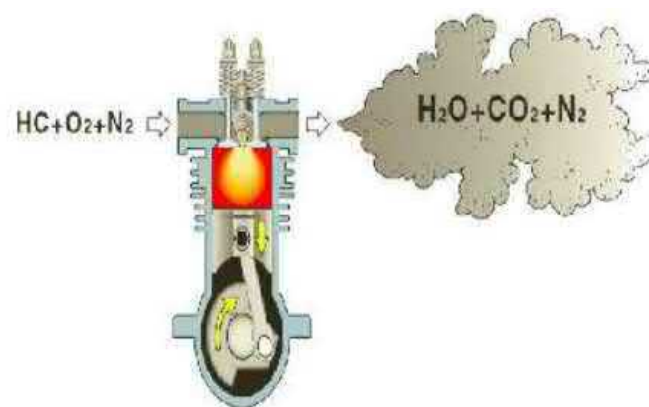
$$\begin{aligned} \text{AFR}_{\text{stoi}} &= \frac{\text{massa udara}}{\text{masaa bahan bakar}} = \frac{2(2 \times \text{Ar O} + 2 \times 3,76 \times \text{Ar N})}{1 \times \text{Ar C} + 4 \times \text{Ar H}} \\ &= \frac{2(2 \times 16 + 2 \times 3,76 \times 14)}{1 \times 12 + 4 \times 1} = 17,2 \end{aligned}$$

2.2.7. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Heywood (1988:51) menyatakan bahwa konsumsi bahanbakar spesifik merupakan laju aliran massa bahan bakar per satuan waktu, ini digunakan untuk mengukur seberapa efisien mesin menggunakan bahan bakar yang disediakan untuk menghasilkan daya yang dinyatakan dalam:

$$\text{sfc} = \frac{\dot{m}}{P}$$

2.2.8. Proses Pembakaran Motor Bensin 4 tak

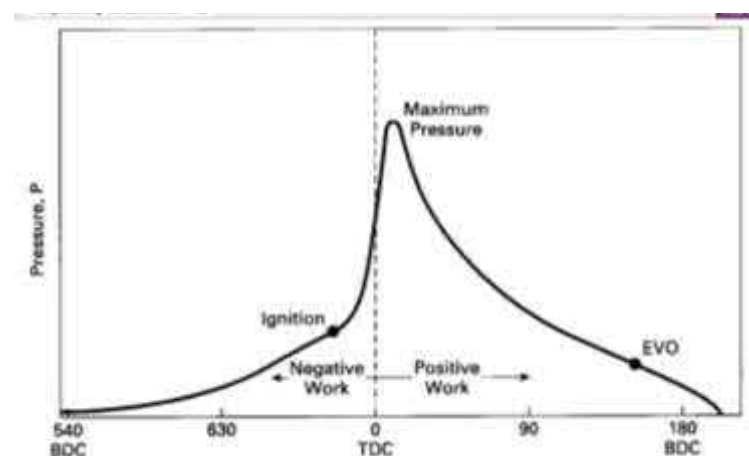


Gambar 2.3. Proses Pembakaran Motor Bensin

(sumber: Jatnika dan Najib, 2018)

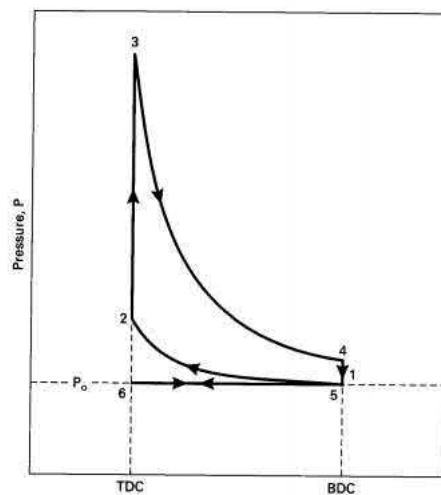
Proses pembakaran dimulai dari percikan api oleh busi pada akhir langkah pemampatan, terdapat 2 tahap pembakaran yaitu bagian yang terbakar dan tidak terbakar, suhu pembakaran berkisar 2100 K sampai 2500 K dan lamanya kira-kira 0,003 s (Jatnika dan Najib 2018:14). Pulkrabek (2014:229) menyatakan proses pembakaran terjadi menjadi tiga bagian besar, yaitu:

“ (1) pengembangan pengapian dan nyala api, (2) perambatan nyala api, dan (3) penghentian nyala api. Pengembangan api umumnya dianggap sebagai konsumsi 5% pertama dari campuran udara-bahan bakar (beberapa sumber menggunakan 10% pertama). Selama periode pengembangan nyala, pengapian terjadi dan proses pembakaran dimulai, tetapi kenaikan tekanan sangat sedikit terlihat dan sedikit atau tidak ada usaha yang berguna dihasilkan. Hampir semua usaha bermanfaat yang dihasilkan dalam suatu siklus mesin adalah hasil dari periode perambatan nyala dari proses pembakaran. Ini adalah periode ketika sebagian besar bahan bakar dan massa udara dibakar yaitu, 80-90%, tergantung pada bagaimana didefinisikan.”



Gambar 2.4. Proses Pembakaran Mesin Bensin 4 Tak
(sumber: Pukrabek, 2014)

Pembakaran motor bensin 4 tak menggunakan siklus otto mulai dari langkah hisap sampai dengan langkah buang pada proses pembuangan (Jatnika dan Najib 2018:15). Siklus otto berupa siklus standar dengan siklus udara standar untuk kepentingan analisis (Pulkrabek, 2014:72)



Gambar 2.5. Diagram P-V Siklus Ideal Otto
(sumber: Pulkrabek, 2014)

Menurut Pulkrabek (2014:73) ada 6 tahap analisis dalam siklus ideal otto, yaitu:

“(1) 6-1, tekanan konstan, pemasukkan udara, katup hisap dan buang tertutup, (2) 1-2, isentropik, langkah kompresi, semua katup tertutup, (3) 2-3, konstan volume, pemasukkan panas (pembakaran), semua katup tertutup, (4) 3-4, isentropik, langkah ekspansi, semua katup tertutup, (5) 4-5, volume konstan, pelepasan panas (*exhaust blowdown*), katup buang terbuka dan katup hisap tertutup, dan (6) 5-6, tekanan konstan, langkah buang, katup buang terbuka dan katup masuk tertutup”.

Dalam proses pembakaran menghasilkan 4 emisi gas buang yang harus dikontrol, yaitu: Nitrogen Oksida (NO_x), Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), dan partikulat padat (Pulkrabek, 2014:62). NO_x terutama berbentuk NO,

NO₂, dan N₂O tidak berwarna dan berbau dan sulit larut dalam air, akibat yang ditimbulkan (3-5 ppm) sukar tidur dan batuk-batuk, (30-50 ppm) iritasi mata dan hidung, (10-30) menimbulkan *photo chemical smoke* yang bila terkena sinar matahari menimbulkan mata pedas (Arifin dan Sukoco, 2009:39). HC timbul karena ikatan antara unsur karbon (C) dan hidrogen (H), bila terlalu pekat akan merusak pernafasan manusia (tenggorokan) dan menimbulkan *photo chemical smoke* (Arifin dan Sukoco, 2009:38). CO merupakan gas yang tidak berwarna, berbau, dan sulit larut dalam air, akibat yang ditimbulkan akan berikatan dengan hemoglobin dalam darah sehingga menghalangi pengaliran oksigen dalam darah (Arifin dan Sukoco, 2009:38). Partikulat berupa partikel debu yang berukuran (\pm 0,01 μ m), akibat yang ditimbulkan akan mengendap dalam paru-paru sehingga mengganggu kerja paru-paru serta menimbulkan warna hitam pada paru-paru (Arifin dan Sukoco, 2009:39).

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2006, baku mutu emisi kendaraan bermotor sebagai berikut:

Tabel 2.6. Baku Mutu Emisi Gas Buang

| Kategori | Tahun Pembuatan | Parameter | | Metode uji |
|--|-----------------|-----------|----------|------------|
| | | CO (%) | HC (ppm) | |
| Sepeda motor 2 langkah | < 2010 | 4,5 | 12.000 | Idle |
| Sepeda motor 4 langkah | < 2010 | 5,5 | 2.400 | Idle |
| Sepeda motor (2 langkah dan 4 langkah) | \geq 2010 | 4,5 | 2.000 | Idle |

Sumber: Permen LH No. 5 tahun 2006

BAB V

PENUTUP

7.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Biogas sampah Kota Semarang dapat dikemas dengan cara dikompresi secara aman ke dalam tabung kaleng selama 7 detik dan menghasilkan tekanan isi 8 kg/cm² dengan massa gas rata-rata 6 gram
2. Emisi gas buang yang dihasilkan biogas Sampah Kota Semarang yaitu CO 0,076 % vol dan HC 1888 ppm vol, sedangkan pertalite CO 3,198 % vol dan HC 2449 ppm vol pada 1512 rpm dan suhu mesin 73°C, maka emisi biogas sampah Kota Semarang lebih rendah dibandingkan pertalite. Standar emisi Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2006 untuk kendaraan 4 langkah dibawah tahun 2010, yaitu CO 5,5 % dan HC 2400 ppm, sehingga emisi gas buang biogas sudah memenuhi standar, sedang emisi HC pertalite tidak sesuai standar dikarenakan hal yang sudah dibahas dalam pembahasan.
3. Konsumsi biogas sampah Kota Semarang yaitu biogas 0,08 g/s pada 1532 rpm dengan suhu mesin 74°C, sedangkan pertalite 0,07 g/s pada 1497 rpm, maka konsumsi biogas sampah Kota Semarang lebih tinggi dibandingkan pertalite, karena tidak adanya pemrnia pada biogas yang diuji.

7.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian terdapat saran-saran sebagai berikut:

1. Pengisian biogas Sampah Kota Semarang kedalam tabung kaleng dengan metode pengompresian perlu dioptimalkan dengan memerhatikan laju aliran, kontrol elektronik, dan tabung penyimpanan yang diperhitungkan, sehingga pengompresian biogas dapat dilakukan secara optimal dan aman.
2. Emisi gas buang dapat dikontrol atau diminimalisir dengan mekanisme penggunaan bahan bakar yang tepat. *Dual fuel* yaitu BBM dan BBG merupakan salah satu mekanisme penggunaan bahan bakar yang cukup efisien untuk meminimalisir emisi gas buang, dengan mekanisme seperti ini untuk penggunaan beban fungsional yang berarti dapat menggunakan BBM sehingga tidak mengurangi efektifitas kerja yang seharusnya, namun saat penggunaan beban ringan dapat menggunakan BBG sehingga emisi gas buang dapat di minimalkan.
3. Konsumsi biogas perlu diujikan kembali dengan memperhatikan beberapa faktor pemurnian serta kandungan metana dalam biogas, sehingga pengujian menjadi optimal. Konsumis yang dihasilkan BBM berasal dari BBM yang sudah sesuai standard pembakaran, maka perlu adanya pengolahan biogas yang sesuai dengan standard pembakaran, agar konsumsi dapat dibandingkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin. Z., dan Sukoco. 2009. *Pengendalian Emisi Kendaraan*. Edisi Pertama. Bandung: Alfabeta.
- Bajracharya, T. R., Dhungana, A., Thapaliya, N., & Hamal, G. 2009. Purification And Compression of Biogas: A Research Experience. *Journal of the Institute of Engineering*, 7(1), 90-98.
- BPS, 2019. *Perkembangan Kendaraan Bermotor Menurut Jenis 1949-2017*. <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133>. 19 Februari 2019 (07.09).
- BPS, 2019. *Produksi Bahan Bakar Minyak (BBM), 1996-2015*. <https://www.bps.go.id/dynamicTable/2016/01/28/1125/produksi-bahan-bakar-minyak-bbm-1996-2015.html>. 19 Februari 2019 (07.10).
- Ernawati, D., Budiastuti, S., & Masykuri, M. (2012). Analisis Komposisi, Jumlah dan Pengembangan Strategi Pengelolaan Sampah di Wilayah Pemerintah Kota Semarang Berbasis Analisis SWOT. *Ekosains*, 4(2).
- Harbintoro, S. 2016. Studi Eksplorasi Motor Bakar Berbahan Bakar Ganda dalam Upaya Mendukung Pengembangan Motor Bakar Berbahan Bakar Gas Alam. *Metal Indonesia*, 36(1), 34-42.
- Hery, A. F., Septiropa, Z., Riansyah, S., & Romadhi, F. 2012. Pemanfaatan Biogas/Landfillgas Sebagai Bahan Bakar Mesin Bensin 1silinder 4 Langkah. *Jurnal Teknik Industri*, 12(2), 162-168.
- Heywood, J. B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. USA: McGraw-Hill, Inc.
- Ika. 2014. *UGM Kembangkan Tabung Biogas*. <https://ugm.ac.id/id/berita/8908-ugm.kembangkan.tabung.biogas>. 24 Februari 2019 (08.02).
- Ismiyati, I., Marlita, D., & Saidah, D. 2014. Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, 1(3), 241-248.
- Jatnika, D., dan Najib, R. 2018. Pengaruh Perubahan Timing Pengapian Terhadap Emisi Gas Buang Pada Kendaraan 1500 Cc. *Jurnal Online Sekolah Tinggi Teknologi Mandala*, 13(1), 13-21.
- Junus, M.1995. *Teknik Membuat dan Memanfaatkan Biogas*. Edisi Kedua. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kusumawati, P. S., Tang, U. M., & Nurhidayah, T. 2013. Hubungan Jumlah Kendaraan Bermotor, Odometer Kendaraan dan Tahun Pembuatan Kendaraan dengan Emisi CO₂ di Kota Pekanbaru'. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 7(1), 49-59.
- Malau. A. 2010. *Pertamina Rilis Spesifikasi dan Komposisi LPG*. <http://www.tribunnews.com/bisnis/2010/10/01/pertamina-rilis-spesifikasi-dan-komposisi-lpg>. 24 Februari 2019 (08.02).
- Manual Book Stargas 898. 2001

- Nallamothe, R. B., Teferra, A., & Rao, B. A. 2013. Biogas purification, compression and bottling. *Global journal of engineering, design and technology*, 2(6), 34-38.
- Ningrat, A. W. K., Kusuma, I. G. B. W., & Adnyana, I. W. B. (2016). Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Pertalite Terhadap Akselerasi dan Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor Bertransmisi Otomatis. *Jurnal METTEK*, 2(1), 59-67.
- Pedoman Reparasi Karisma X 125, 2007.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006. *Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Lama*. Kementerian Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Pertiwinigrum, A. 2016. *Instalasi Biogas*. Cetakan Pertama. Yogyakarta: CV Kolom Cetak.
- Porpatham, E., Ramesh, A., & Nagalingam, B. (2007). Investigation on the Effect of Concentration of Methane in Biogas When Used As A Fuel For A Spark Ignition Engine. *fuel*, 87(8-9), 1651-1659.
- Porpatham, E., Ramesh, A., & Nagalingam, B. (2012). Effect Of Compression Ratio On The Performance And Combustion Of A Biogas Fuelled Spark Ignition Engine. *Fuel*, 95, 247-256.
- Prastya, R., Susilo, B., & Lutfi, M. 2013. Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Biogas terhadap Emisi Gas Buang Mesin Generator Set. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 1(2), 77-84.
- Pulkrabek, W. W. 2014. *Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Putra, W. T. 2016. Analisa Hasil Penyimpanan Energi Biogas Ke Dalam Tabung Bekas. *Prosiding SENIATI*, 255-260.
- Sudrajat, H. R. (2006). *Mengelola Sampah Kota*. Niaga Swadaya.
- Sugiyono, A. 2013. Prakiraan Kebutuhan Energi untuk Kendaraan Bermotor di Perkotaan: Aspek Pemodelan. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia* 14(2): 104-109.
- Sugiyono, M. P. P. 2007. *Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Cetakan Kedua. Bandung: Alfabeta..
- Suyitno, Agus. S., dan Dharmanto. 2009. *Teknologi Biogas*. Cetakan Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Vijay, V. K., Chandra, R., Subbarao, P. M., dan Kapdi, S. S. 2006. Biogas Purification and Bottling Into CNG Cylinders: Producing Bio-CNG From Biomass for Rural Automotive Applications. *The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment"*, 1-6.
- Waluyanti. S., Djoko. S., Slamet., dan Umi. R. 2007. *Alat Ukur dan Teknik Pengukuran*. Edisi Pertama. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.