



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEK PENAMBAHAN *DIMETHYL ETHER* PADA
LPG TERHADAP EMISI GAS BUANG HASIL
PROSES PEMBAKARAN PADA KOMPOR**

SKRIPSI

**RICHO CANDRA RISKI BASTAMA
0806368093**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
Juni 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEK PENAMBAHAN *DIMETHYL ETHER* PADA
LPG TERHADAP EMISI GAS BUANG HASIL
PROSES PEMBAKARAN PADA KOMPOR**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana

**RICHO CANDRA RISKI BASTAMA
0806368093**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
Juni 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan benar.

Nama : Richo Candra Riski Bastama

NPM : 0809398093

Tanda Tangan :



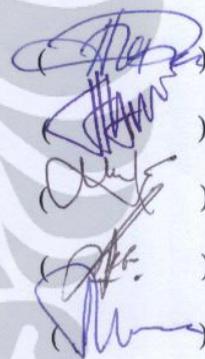
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Richo Candra Riski Bastama
NPM : 0806368093
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Efek Penambahan *Dimethyl Ether* Pada LPG Terhadap Emisi Gas Buang Hasil Proses Pembakaran Pada Kompor.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Bambang Heru Susanto, ST., MT
Pembimbing II : Cahyo Setyo Wibowo, ST., MT
Penguji I : Dr. Ir. Sukirno, M.Eng
Penguji II : Dr. Eny Kusriani, S.Si
Penguji II : Prof. Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.sc., PhD



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah skripsi dengan judul “**Efek Penambahan *Dimethyl Ether* pada LPG Terhadap Emisi Gas Buang Hasil Proses Pembakaran Pada Kompor**”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapat bantuan, bimbingan dan dorongan serta doa dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Prof.Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA, selaku Kepala Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
2. Dra. Yanni Kussuryani, M.Si, selaku Kepala Pusat PPPTMGB “LEMIGAS” yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian.
3. Bapak Ir.Bambang Heru, ST, MT, selaku dosen pembimbing skripsi, yang telah memberikan bimbingan dalam penyusunan makalah skripsi.
4. Bapak Cahyo Setyo Wibowo, ST, MT, selaku pembimbing skripsi memberikan bimbingan serta segala bantuan yang telah diberikan dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi.
5. Bapak Dimitri, Bapak Andre, Bapak Reza, Bapak Bambang serta seluruh staf Laboratorium Bahan Bakar PPPTMGB “LEMIGAS”
6. Bapak Ir. Yuliusman, M.Eng, selaku koordinator mata kuliah skripsi.
7. Dosen Departemen Teknik Kimia UI yang telah memberikan ilmu.
8. Bapak Budi Tjahyono, selaku General Manajer PT.Mutuagung Lestari, yang telah memberikan kesempatan waktu bagi saya untuk kuliah sekaligus bekerja di perusahaan tersebut.
9. Ibu Dian Harini, selaku Manager Lab. Wood and Environment dan Ibu Leli Nurlaeli selaku Koordinator Lab.Wood and Environment, yang telah memberikan dukungan dan bantuannya selama proses kuliah dan penelitian.

10. Orang tua, adik serta keluarga besar saya yang selalu memberikan dukungan moral, material serta doa.
11. Ni'matullah (mate), Iwan priatna (Iwenk) serta teman-teman di PT.Mutuagung Lestari.
12. Teman-teman di Departemen Teknik kimia khususnya program Ekstensi angkatan 2008
13. Semua pihak yang tidak dapat disebut satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan seminar ini masih jauh dari sempurna, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi tercapainya kesempurnaan dari makalah ini. Akhirnya dengan segala kerendahan hati, penulis berharap agar laporan ini dapat memberikan manfaat bagi rekan-rekan mahasiswa dan bagi mereka yang membutuhkannya.

Depok, Juni 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Richo Candra Riski Bastama
NPM : 0806368093
Program studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

EFEK PENAMBAHAN *DIMETHYL ETHER* PADA LPG TERHADAP EMISI GAS BUANG HASIL PROSES PEMBAKARAN PADA KOMPOR

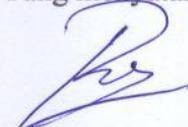
Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2011

Yang menyatakan



(Richo Candra Riski Bastama)

ABSTRAK

Nama : Richo Candra Riski Bastama
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Efek Penambahan *Dimethyl Ether* Pada LPG Terhadap Emisi Gas Buang Hasil Proses Pembakaran Pada Kompor.

Dalam penelitian ini telah dilakukan pencampuran *dimethyl ether* (DME) dan *liquefied petroleum gas* (LPG) sebagai bahan bakar, kemudian menguji emisi gas buang serta nyala api dari hasil pembakaran bahan bakar tersebut pada kompor. DME yang ditambahkan pada LPG sebesar 10%, 20%, 30%, 35%, 40% dan 50% (v/v). Gas emisi yang di analisa adalah gas oksida-oksida sulfur (SO_x), oksida-oksida nitrogen (NO_x), dan karbon monoksida (CO). Pengambilan sampel gas emisi SO_x dan NO_x menggunakan alat *Stack gas sampler* (SGS), sedangkan gas CO menggunakan alat *gas analyzer*. Gas SO_x dianalisa menggunakan spektrofotometer dengan metode turbidimetri sedangkan gas NO_x dianalisa dengan metode *phenol disulfonic acid*.

Efek penambahan DME pada LPG menurunkan emisi gas buang SO_x, NO_x dan CO. Pada LPG 100%, emisi gas SO_x yang dihasilkan sebesar 5,85 mg/m³, sedangkan pada campuran LPG 90%:DME 10%, LPG 80%:DME 20%, LPG 65%:DME 35%, dan LPG 50%:DME 50%, emisi SO_x yang dihasilkan masing-masing sebesar 5,187; 4,565; 4,190; dan 4,083 mg/m³. Emisi gas NO_x yang dihasilkan pada pembakaran LPG 100% sebesar 18 ppm, sedangkan pada campuran LPG 90%:DME 10%, LPG 80%:DME 20%, LPG 65%:DME 35%, dan LPG 50%:DME 50%, emisi yang dihasilkan masing-masing sebesar 10,425; 6,681; 6,870; dan 5,079 ppm. Emisi gas CO yang dihasilkan pada LPG 100% sebesar 9 ppm, sedangkan pada campuran LPG 90%:DME 10%, LPG 80%:DME 20%, LPG 70%:DME 30%, dan LPG 60%:DME 60%, emisi CO yang dihasilkan sebesar 7; 4; 3; dan 3 ppm. Masing-masing nyala yang dihasilkan pada campuran gas LPG-DME lebih biru dibandingkan gas LPG.

Kata kunci : LPG, DME, emisi gas , kompor.

ABSTRACT

Name : Richo Candra Riski Bastama
Study Program : Chemical Engineering
Title : Effect of Addition of Dimethyl Ether in LPG to Emissions of Combustion process On Stove.

In this research has been done mixing dimethyl ether (DME) and LPG as fuel, then test the exhaust emissions and flames from the burning fuel on the stove. DME is added to LPG by 10%, 20%, 30%, 35%, 40% and 50% (v / v). Gas emissions in the analysis is the gas sulfur oxides (SO_x), nitrogen oxides (NO_x) and carbon monoxide (CO). The sampling of gas emissions of SO_x and NO_x using a Stack gas sampler (SGS), while the CO gas using a gas analyzer. SO_x gases were analyzed using a spectrophotometer by the turbidimetri method while NO_x gases were analyzed by the phenol disulfonic acid method.

Effect the addition of DME to LPG is to lower emissions of SO_x, NO_x and CO. In the LPG 100%, SO_x gas emissions generated is 5.85 mg/m³, while the LPG mixture of 90%: 10% DME, LPG 80%: 20% DME, LPG 65%: 35% DME and LPG 50%: DME 50%, SO_x emissions are generated respectively are 5.187; 4.565; 4.190; and 4.083 mg/m³. NO_x emissions generated on combustion of LPG 100% is 18 ppm, while the LPG mixture of 90%: 10% DME, LPG 80%: 20% DME, LPG 65%: 35% DME and LPG 50%: 50% DME, emissions produced respectively are 10.425; 6.681; 6.870; and 5.079 ppm. Emissions of CO gas is produced on 100% LPG is 9 ppm, while the LPG mixture of 90%: 10% DME, LPG 80%: 20% DME, LPG 70%: 30% DME and LPG 60%: 60% DME, emissions CO produced are 7; 4; 3; dan 3 ppm. Each flame generated in LPG-DME gas mixture is more blue than the LPG gas.

Key words : LPG, DME, gas emission, stove.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.1 Rumusan Masalah	4
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1.Liquefied petroleum gas (LPG)	6
2.2.1 Sifat LPG	7
2.2.2 Penggunaan LPG	8
2.2. <i>Dimethyl Eter</i> (DME)	8
2.2.1 Perkembangan DME	9
2.2.2 Proses pembuatan DME	10
2.3 Pembakaran	12
2.3.1 Proses pembakaran	12
2.3.2 Pembakaran Tiga T	13
2.3.3 Sifat bahan bakar	13
2.4 Pencemaran Udara	16
2.4.1 Pengertian Udara	17
2.4.2 Pengertian Pencemaran Udara	18
2.4.3 Sumber Pencemaran Udara	18
2.4.4 Dampak Pencemaran Udara	19
2.4.4.1 Dampak Pencemaran Udara Oleh CO.....	20
2.4.4.2 Dampak Pencemaran Udara Oleh NOx	20
2.4.4.3 Dampak Pencemaran Udara Oleh SOx	21
2.4.4.3 Dampak Pencemaran Udara Oleh HC.....	21
2.5 Stack Gas Sampler	22
2.5.1 Spesifikasi Stack Gas Sampler Model EG-04.....	23

2.5.2 Komponen Stack Gas Sampler	23
2.5.2 Teknik Pengambilan Sample	25
2.6 Spektrofotometer UV-Vis	25
2.6.1 Komponen-komponen Spektrofotometer UV-Vis	26
2.6.1.1 Sumber cahaya	26
2.6.1.2 Pemilih panjang gelombang	27
2.6.1.3 Monokromator	29
2.6.1.4 Cuvet	30
2.6.1.5 Detektor	31
2.6.2 Prinsip Kerja Spektrofotometer UV- Visible	32
BAB 3 METODE PENELITIAN	35
3.1 Diagram Alir Penelitian	35
3.3 Alat dan Bahan	36
3.3.1 Alat	36
3.3.2 Bahan	36
3.2 Skema Alat	38
3.4 Prosedur Penelitian	39
3.4.1 Tahap Blending LPG-DME	39
3.4.2 Tahap Pengambilan Sampel Gas Emisi	40
3.4.2.1 Penentuan gas sulfur dioksida (SO ₂)	40
3.4.2.2 Penentuan gas Nitrogen dioksida (NO ₂)	43
3.4.2.2 Penentuan gas Carbon monoksida (CO)	48
3.4.3 Uji nyala api	50
3.5 Hasil yang diharapkan dari penelitian	50
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Blending Gas LPG dengan DME	52
4.2 Desain peralatan	55
4.3 Pengambilan Sampel Gas Emisi	69
4.3.1 Sampel Gas emisi SO ₂	60
4.3.2 Sampel Gas emisi NO ₂	64
4.3.3 Sampel Gas emisi CO	68
4.4 Nyala api	70
BAB 5 KESIMPULAN	72
DAFTAR REFERENSI	74
LAMPIRAN	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Propana dan Butana.....	7
Tabel 2.2 Perbandingan Karakteristik DME, <i>Propane</i> dan <i>Methane</i>	10
Tabel.2.3 Baku Mutu Emisi Untuk Jenis Kegiatan Lainnya.....	22
Tabel 2.4 Spektrum Tampak dan Warna-Warna <i>Komplementer</i>	28
Tabel 2.5 Spektrum Cahaya Tampak (<i>visible</i>)	29
Tabel 4.1 Sifat Fisik Berbagai Macam Bahan Bakar	52
Tabel 4.2 Berat Gas LPG dan DME dalam Proses <i>Blending</i> Gas	53
Tabel 4.3 Data Sifat-Sifat Fisika LPG.....	54
Tabel 4.4 Sifat-sifat Fisika LPG 80% :DME 20%	55
Tabel.4.5 Sifat-sifat fisika DME	55
Tabel 4.6 Flammability Untuk Campuran Dengan Udara pada 1 atm	58
Tabel 4.7 Ukuran Lubang Pada Sisi Bagian Bawah Cerobong.....	59
Tabel 4.8 Absorbansi Larutan Standar SO ₄	61
Tabel 4.9 Data Volume Gas Emisi SO _x	62
Tabel 4.10 Konsentrasi Gas SO ₄ pada Sampel Gas LPG-DME.....	62
Tabel 4.11 Kadar SO ₂ pada Sampel Gas LPG-DME	63
Tabel 4.12 Absorbansi Standar NO _x	65
Tabel 4.13 Volume Sampel Gas Emisi NO _x	66
Tabel 4.14 Kadar NO ₂ Dalam Larutan Penyerap	66
Tabel 4.15 Kadar Gas NO ₂ pada Sampel Gas LPG-DME	66
Tabel 4.16 Hasil Uji Gas Emisi CO	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Butana dan Propana.....	6
Gambar 2.2	Tabung Gas LPG	8
Gambar 2.3	DME dalam Bentuk Cair	9
Gambar 2.4	Struktur DME	9
Gambar 2.5	Stack Gas Sampler.....	22
Gambar 2.6	Komponen <i>Stack Gas Sampler</i>	23
Gambar 2.7	Skema Peralatan pada <i>UV-Visible</i>	26
Gambar 2.8	Lampu Wolfram	26
Gambar 2.9	Lampu Deuterium.....	27
Gambar 2.10	Spektrum Elektromagnetik	28
Gambar 2.11	Prisma	29
Gambar 2.12	<i>Grating</i>	30
Gambar 2.13	Sel Tempat Sampel.....	31
Gambar 2.14	<i>Photo Tube</i>	32
Gambar 2.15	Photo Multiplier Tube.....	32
Gambar 2.16	Prinsip kerja Spektrofotometer	33
Gambar 3.1	Diagram Alir.....	35
Gambar 3.2	Tabung Gas Campuran LPG-DME	37
Gambar 3.3	Alat LPG-DME <i>Blender</i>	37
Gambar 3.4	Skema Alat <i>Blending</i> LPG-DME	38
Gambar 3.5	Susunan Alat pengambilan Sampel Gas Emisi.....	39
Gambar 3.6	Skema Alat Sampling SO ₂	41
Gambar 3.7	Skema Alat Sampling NO _x	47
Gambar 3.8	Sensor Elektrokimia	49
Gambar 3.9	Membran Hidrofobik.....	49
Gambar 3.10	Skema Uji Gas Emisi CO	50
Gambar 4.1	Grafik %DME terhadap Total Berat Gas Campuran LPG-DME ...	54
Gambar 4.2	Kompor Gas.....	56
Gambar 4.3	proses pengambilan sampel gas emisi	57
Gambar 4.4	Bentuk Lubang Pada Dasar Cerobong	59
Gambar 4.5	Kurva kalibrasi SO ₄	61
Gambar 4.6	Kurva % Berat DME Vs Kadar Gas Emisi SO ₂	63
Gambar 4.7	Kurva Kalibrasi NO _x	65
Gambar 4.8	% berat DME dalam LPG Vs Konsentrasi NO ₂	67
Gambar 4.9	Kurva % DME Dalam LPG Vs Konsentrasi Gas CO.....	69
Gambar 4.10	Struktur Kimia DME dan LPG (propana & butana).....	70
Gambar 4.11	a.nyala api LPG 100%, b.nyala api DME 10%, c.nyala api DME 20%, d.nyala api DME 35% dan e.nyala api DME 50%.....	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Berat LPG dan DME untuk <i>Blending</i>	78
Lampiran 2. Perhitungan Kadar SO _x pada sampel gas LPG-DME	79
Lampiran 3. Perhitungan Kadar NO _x pada Sampel Gas LPG-DME	81
Lampiran 4. Tabel Tekanan Uap Jenuh	82
Lampiran 5. Data Kalibrasi <i>Stack Gas Sampler</i>	84



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Program Nasional Konversi Minyak Tanah ke *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) merupakan salah satu program Pemerintah dalam rangka menjamin penyediaan dan pengadaan bahan bakar dalam negeri. Program ini secara khusus juga dimaksudkan agar mampu mengurangi subsidi bahan bakar minyak (BBM) guna meringankan beban keuangan Negara. (pertamina,2009)

Sebelum Program Konversi Minyak Tanah ke LPG dimulai, Pemerintah menganggarkan dana sekurang-kurangnya 60 triliun rupiah untuk mensubsidi penggunaan BBM oleh masyarakat. BBM yang dimaksud adalah minyak tanah, premium dan solar. Di antara tiga jenis bahan bakar tersebut, minyak tanah mendapat subsidi terbesar, yaitu kurang lebih 50 persen dari total subsidi BBM. Selain itu, karena mendapat subsidi terbesar sehingga harganya menjadi sangat murah, minyak tanah bersubsidi disinyalir sangat mudah untuk disalahgunakan, antara lain penyelundupan, dijual untuk industri, atau dicampur dengan bahan bakar lain. (pertamina,2009)

Penggunaan LPG juga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi karena nilai kalor LPG lebih tinggi dibandingkan minyak. Pemakaian 1 liter minyak tanah setara dengan pemakaian 0.57 kg LPG. Dengan kalkulasi yang didasarkan pada harga keekonomian atas minyak tanah dan LPG, maka bagi Pemerintah, besarnya subsidi yang diberikan untuk setiap pemakaian 0.57 kg LPG dengan sendirinya lebih kecil dibanding besaran subsidi untuk 1 liter minyak tanah. Bila program konversi LPG berjalan sesuai dengan rencana, Pemerintah dipastikan dapat menghemat subsidi BBM lebih dari 20 triliun rupiah per tahun. (pertamina,2009)

Akibat dari program konversi minyak tanah ke LPG, pemakaian LPG untuk keperluan rumah tangga meningkat drastis, sehingga terjadi kelangkaan

LPG di pasaran. Berkaitan dengan hal tersebut, pemerintah bermaksud menggunakan DME (*Dimethyl Ether*) sebagai alternatif pengganti LPG, mengingat DME mempunyai sifat yang hampir sama dengan LPG. Di samping itu DME adalah gas yang dapat terbarukan (*renewable*), tidak beracun, ramah lingkungan, dan harganya lebih murah daripada LPG (Kadarwati, 2010). Berdasar perjanjian pihak PT. Pertamina dan pihak swasta penghasil gas DME, harga DME dipatok 20% lebih murah daripada LPG, sehingga harganya *fluktuatif* mengikuti harga LPG di pasaran (Gentur Putro Jati, 2009).

Saat ini beberapa negara telah menggunakan DME sebagai bahan bakar alternatif untuk substitusi LPG. Karena sifat DME yang hampir sama dengan LPG, yaitu berwujud gas dalam kondisi ruang dan mempunyai titik didih yang berdekatan dengan LPG, sehingga DME mudah dicairkan seperti LPG. (BPPT, 2009)

Pada beberapa tahun terakhir, penelitian tentang DME sebagai pengganti LPG sudah dilakukan. M.Marchionna et al. (2008), melakukan serangkaian studi eksperimental dan model untuk menilai potensi penerapan DME sebagai bahan bakar pengganti LPG. Penelitian yang dilakukan yaitu tes pembakaran, percobaan daya tahan dan stabilitas menggunakan DME murni dan campuran propana dan butana dalam berbagai variasi konsentrasi pada burner dengan pencampur udara (*premixed air*), untuk mengevaluasi keamanan dan kompatibilitas bahan bakar. Kesimpulan dari hasil penelitian yaitu campuran DME/LPG (DME:Vol 15-20%) membawa perbaikan lebih signifikan dibandingkan dengan DME murni.

S.Lee et al. (2011) secara khusus menyelidiki kinerja, karakteristik emisi, dan stabilitas pembakaran mesin *compression ignition* (CI) berbahan bakar n-Butana dicampur dengan DME. Semua hasil eksperimen dibandingkan dengan hasil bahan bakar diesel dengan kondisi percobaan yang sama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa operasi mesin yang stabil untuk berbagai beban mesin adalah campuran 0% hingga 30% (w/w) n-Butana pada DME. Pengukuran emisi gas buang menunjukkan bahwa ketika bahan bakar campuran digunakan pada beban mesin rendah, emisi hidrokarbon dan CO meningkat. Jelaga dan emisi NOx sebanding untuk semua campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan

bakar yang DME dicampur sampai 30% massa n-Butana dapat digunakan sebagai alternatif untuk bahan bakar diesel di mesin CI.

Pada tahun yang sama S.Lee et al. melakukan penelitian tentang mesin *spark ignition* (SI) yang dioperasikan dengan bahan bakar campuran DME-LPG. Secara khusus, S.Lee memeriksa efek n-Butana dan propana pada kinerja, karakteristik emisi (hidrokarbon, CO, dan NO_x), dan stabilitas pembakaran mesin SI berbahan bakar DME-LPG. Empat jenis bahan bakar uji dengan rasio campuran yang berbeda dari n-Butana, propana, dan DME digunakan. Persentase DME dalam campuran bahan bakar adalah 20% massa. Melalui uji emisi dan ekonomi bahan bakar dalam siklus FTP-75, disimpulkan bahwa perbedaan tingkat emisi dan penghematan bahan bakar tidak signifikan. Berdasarkan hasil eksperimen, bahan bakar campuran LPG dan DME 20 % massa dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk LPG.

Pada tahun 2009, PPPTMGB LEMIGAS dan PT.Pertamina bekerja sama melakukan pengujian karakteristik dan Kinerja pada DME dan LPG mix DME sebagai substitusi LPG dan Blended LPG pada penggunaan kompor rumah tangga. Hasil penelitian menunjukkan tidak semua kompor LPG dapat digunakan secara sempurna oleh DME sebagai bahan bakar.

Gas-gas emisi yang dihasilkan dari pembakaran, seperti gas CO, NO_x, SO_x dan hidrokarbon, sangat berbahaya jika terhirup oleh manusia diatas ambang batas karena dapat menyebabkan penyakit bahkan kematian dan memberkan efek yang tidak baik bagi lingkungan. CO dalam darah dapat mengikat Hemoglobin dan menyebabkan kematian. Hujan asam dapat terjadi karena adanya gas NO_x dan SO_x.

Berkaitan dengan rencana pemerintah untuk mensubstitusi DME dengan LPG, maka diperlukan penelitian tentang efek penambahan DME pada LPG terhadap emisi gas buang yang dihasilkan pada proses pembakaran pada kompor atau *burner* baik untuk industri kecil maupun rumah tangga.

1.1 Rumusan Masalah

Bagaimana dampak penambahan DME pada LPG terhadap emisi gas SO₂, NO₂, CO serta nyala api dari hasil pembakaran gas LPG dan DME pada kompor dengan menggunakan alat *Stack gas sampler* dan *Gas Analyzer*.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

- a) Mendapatkan contoh bahan bakar campuran LPG dengan DME melalui proses *blending* LPG dengan DME, serta mengetahui pengaruh penambahan DME pada LPG terhadap berat akhir campuran Gas LPG-DME pada volume yang tetap.
- b) Mengkaji pengaruh penambahan DME pada LPG terhadap kadar emisi gas buang yang dihasilkan
- c) Mengetahui pengaruh penambahan DME pada LPG terhadap nyala api yang dihasilkan.

1.3 Batasan Masalah

1. Penyiapan Percontoh, meliputi:
 - a) Pengambilan percontoh (DME dan LPG) .
 - b) Pencampuran DME-LPG dengan berbagai variasi Volume (100%LPG;0%DME, 90%LPG:10%DME, 80%LPG:20%DME, 70%LPG:30%DME, 65%LPG:35%, 60%LPG:40%DME, 50%LPG:50%DME) dengan alat *blender* yang ada di LEMIGAS.
2. Uji gas emisi SO₂ dan NO₂ hasil pembakaran campuran DME-LPG dengan alat SGS (*Stack gas sampler*).
3. Uji gas CO dengan *Gas Analyzer* type IMR2800P.
4. Alat pembakaran berupa kompor/*burner* untuk industri kecil yang telah tersedia di BPPTMGB LEMIGAS.
5. LPG yang dipakai berasal dari PT. Pertamina, sedangkan DME yang dipakai berasal dari PT.Bumi Tangerang Gas Industri,serang.

6. Tempat penelitian :

- Laboratorium Pembakaran dan Emisi Kelompok Bahan Bakar Minyak dan Gas, KP3 Teknologi Aplikasi Produk PPPTMGB “LEMIGAS” ,Jakarta.
- Laboratorium Lingkungan PT.Mutuagung Lestari, Depok.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab I : Pendahuluan

Terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penelitian.

Bab II : Tinjauan Pustaka

Berisi teori-teori tentang hal-hal yang berkaitan dengan penelitian yaitu LPG, DME dan pencemaran udara.

Bab III : Metodologi Penelitian

Bagian ini berisi mengenai tahap dan langkah kerja yang dilakukan selama penelitian.

Bab IV : Hasil dan Pembahasan.

Mengemukakan hasil dari penelitian yang telah dilakukan dan memberi informasi sekaligus menganalisis dan membahas seluruh hasil penelitian.

Bab V : Kesimpulan

Merupakan kesimpulan dan saran dari permasalahan yang telah dirumuskan dan hasil akhir pelaksanaan penelitian yang telah dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Liquefied petroleum gas (LPG)*

Liquid Petroleum Gas (LPG) merupakan produk penyulingan minyak bumi yang terdiri atas campuran dari berbagai hidrokarbon fraksi ringan. Elpiji merupakan salah satu merek dagang dari produk gas LPG yang dihasilkan oleh PT.pertamina (persero). Sesuai dengan namanya, LPG digunakan sebagai bahan bakar yang memiliki fase cair pada temperatur dan tekanan tertentu. (PPPTMGB LEMIGAS dan PT Pertamina,2009)



Gambar 2.1 Struktur Butana dan Propana

Dalam kondisi atmosfer, LPG akan berbentuk gas. Volume LPG dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama. Karena itu LPG dipasarkan dalam bentuk cair dalam tabung-tabung logam bertekanan. Untuk memungkinkan terjadinya ekspansi panas (*thermal expansion*) dari cairan yang dikandungnya, tabung LPG tidak diisi secara penuh, hanya sekitar 80-85% dari kapasitasnya. Rasio antara volume gas bila menguap dengan gas dalam keadaan cair bervariasi tergantung komposisi, tekanan dan temperatur, tetapi biasanya sekitar 250:1. Tekanan di mana LPG berbentuk cair, dinamakan tekanan uap-nya, juga bervariasi tergantung komposisi dan temperature. Sebagai contoh, dibutuhkan tekanan sekitar 220 kPa (2.2 bar) bagi butana murni pada 20°C (68 °F) agar mencair, dan sekitar 2.2 MPa (22 bar) bagi propana murni pada 55 °C (131 °F).

Tabel 2.1 Karakteristik Propana dan Butana

Properties	Propane	Butane
Boiling Point, °C	-42,1	-0,5
Vapor Pressure@ 20 °C, bar	8,4	2,1
Liquid Density, @ 20 °C, kg/m ³	501	610
Spesific density, gas	1,52	2,01
Lower Heating Value, kJ/kg	46,36	45,74
Ignition Temperature @ 1 atm, °C	470	365
Explosion/Flammability in air, vol%	2.1-9.4	1.9-8.4

(Sumber: BP p.l.c, snamprogenti)

Menurut spesifikasinya, LPG dibagi menjadi tiga jenis yaitu LPG campuran propana dan butana, LPG propana dan LPG butana. LPG yang dipasarkan Pertamina adalah LPG campuran. (Pertamina, 2009)

2.1.1 Sifat LPG

LPG merupakan senyawa hidrokarbon yang dikenal sebagai butana, Propana, Isobutana atau campuran antara Butana dengan Propana. Secara umum LPG bersifat :

- a) Berat jenis gas LPG lebih besar dari udara, yaitu :
 - o Butana mempunyai berat jenis dua kali berat jenis udara.
 - o Propana mempunyai berat jenis satu setengah kali berat udara.
- b) Tidak mempunyai sifat pelumasan terhadap metal
- c) Merupakan pelarut yang baik terhadap karet, sehingga perlu diperhatikan terhadap kemasan atau tabung yang di pakai.
- d) Tidak berwarna baik berupa cairan maupun dalam bentuk gas.
- e) Tidak berbau. Sehingga LPG komersial perlu ditambah zat odor, yaitu Etil Merkaptan yang berbau menyengat seperti petai untuk keselamatan dan identifikasi kebocoran.
- f) Tidak mengandung racun.
- g) Setiap kilogram LPG cair dapat berubah menjadi kurang lebih 500 liter gas LPG.
- h) Tidak menyebabkan pengkaratan pada besi dan tabung kemasan.

- i) Sensitif terhadap api.
 - j) Mudah terbakar
 - k) Mudah dan aman dalam pengangkutan serta penyimpanannya.
- (PPPTMGB LEMIGAS dan PT.Pertamina,2009)

2.1.2 Penggunaan LPG

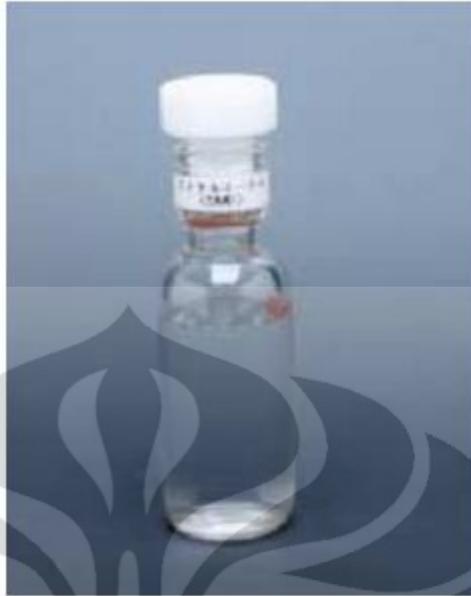
Penggunaan LPG di Indonesia terutama adalah sebagai bahan bakar alat dapur (terutama kompor gas). Selain sebagai bahan bakar alat dapur, LPG juga cukup banyak digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor (walaupun mesin kendaraannya harus dimodifikasi terlebih dahulu). Secara umum, LPG digunakan oleh restoran, rumah makan, rumah sakit, laboratorium. Industri yang menggunakan LPG sebagai bahan bakar adalah pabrik-pabrik, penyulingan, perusahaan keramik, dok perkapalan, bengkel dan sebagainya. Selain digunakan sebagai bahan bakar, gas LPG digunakan pula sebagai bahan penekan. Digunakan untuk hasil produksi yang berjenis spray, seperti deodoran, minyak wangi spray, cat pylox, dan kosmetik sejenisnya. (Aptogazindonesia,2010)



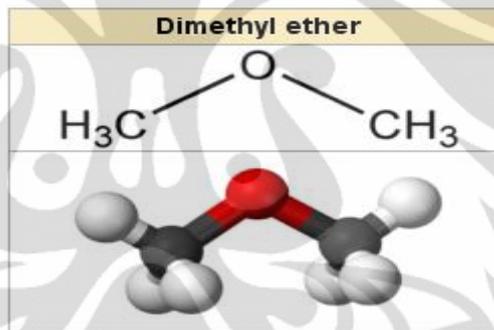
Gambar 2.2 Tabung Gas LPG

2.2 *Dimethyl Ether (DME)*

Dimetil eter (DME) adalah senyawa eter yang sederhana yang memiliki stuktur kimia CH_3OCH_3 . DME bukan produk alami tapi produk sintetis yang dihasilkan baik melalui dehidrasi metanol atau sintesis langsung dari syngas. (Japan DME forum,2007)



Gambar 2.3 DME Dalam Bentuk Cair



Gambar 2.4 Struktur DME

Titik didih dari DME adalah $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan berbentuk gas tidak berwarna pada suhu ruang. DME memiliki tekanan uap yang rendah pada suhu 25°C (0,6 Mpa) sehingga mudah dicairkan. Karena memiliki karakteristik yang mirip dengan propana dan butana, yang merupakan komponen utama LPG, (lihat tabel.2.2) maka teknologi penanganan dan tempat penyimpanan LPG dapat digunakan oleh DME. (Japan DME forum, 2007)

2.2.1 Perkembangan DME

Di China, pabrik DME komersial dengan kapasitas 30 ton per hari (10.000 ton/tahun) telah dibangun oleh Lituanhua Group Incorporation dengan lisensi teknologi dari Toyo Engineering Japan dan dioperasikan pada bulan Agustus

2003. Atas dasar keberhasilan ini, telah dilanjutkan pembangunan lainnya dengan kapasitas yang lebih besar (110.000 ton per tahun) dan telah dioperasikan pada akhir tahun 2005. Pada Desember 2006, China menandatangani kerjasama antara Lituanhua Group dan Toyo Engineering untuk pembangunan DME *Plant* dengan kapasitas 1 juta ton per tahun di Provinsi Mongolia, yang akan menjadi kilang DME terbesar di dunia. (Anam, 2008)

Konsumsi DME di China saat ini diperkirakan mencapai 120.000 ton per tahun, ditujukan untuk memenuhi kebutuhan *aerosol propellant*, bahan baku industri kimia, dan sebagian kecil digunakan untuk bahan bakar rumah tangga di-blending (campuran) antara DME dengan LPG. Di Jepang, konsumsi DME mencapai 10.000 ton per tahun, sebagian besar sebagai untuk *aerosol propellant* pada *hair spray* atau deodoran. Karena sifat dan kualitasnya yang hampir sama dengan LPG, Pemerintah Jepang merencanakan untuk mensubsitisi sebagian pemakaian LPG dengan DME. (Anam, 2008)

Tabel 2.2 Perbandingan Karakteristik DME, *Propane* dan *Methane*

Sifat fisis dan kimia	DME	<i>Propane</i>	<i>Methane</i>
Titik didih (oC)	-25,1	-42	-161,5
Massa jenis cairan (g/ms @ 20 oC)	0,67	0,49	0,42
Viskositas Cair (Kg/ms @25 oC)	0,12 - 0,15	0,2	-
Massa Jenis uap (vs. Udara)	1,59	1,53	0,55
Tekanan Uap (Mpa @ 25 oC)	0,61	0,94	-
Ambang Batas Pembakaran (%)	3,4-17	2,1-0,4	5,0-15
Nomer Cetane	55-60	5	0

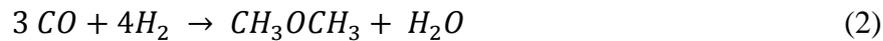
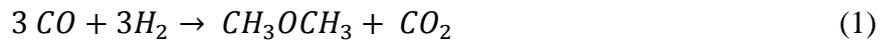
(Sumber : Laksana, 2010)

2.2.2 Proses Pembuatan DME

Proses pembuatan DME, melalui 2 sintesa reaksi langsung dan tidak langsung. Proses reaksi DME langsung merupakan hasil sintesa metanol dari syngas dan dehidrasi metanol yang terproses dalam reaktor yang sama. (Japan DME forum, 2007)

a) Sintesa langsung (*Direct synthesis*)

Reaksi Langsung:



Keuntungan:

- Prosesnya sederhana, peralatan yang dipergunakan sedikit.
- Biaya investasi untuk peralatan yang dipergunakan sedikit.
- Konversinya tinggi, yaitu >75%.

Kerugian:

- Suhu operator tinggi.

b) Sintesa tidak langsung (*Indirect synthesis*)

Proses sintesa tidak langsung yaitu proses sintesa gas alam atau *syngas* menjadi metanol kemudian dilanjutkan dengan proses dehidrasi metanol. Melalui rute ini persamaan reaksi yang terlibat adalah sebagai berikut:

Metanol sintesis-1 :



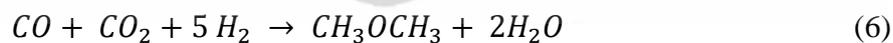
Metanol sintesis-2 :



Metanol dehydration :



Reaksi keseluruhan :



Keuntungan:

- Suhu dan tekanan operasi reaktor relatif rendah.

Kerugian:

- Peralatan yang digunakan lebih banyak.
- Menggunakan asam sulfat yang bersifat korosif sehingga diperlukan peralatan dengan bahan konstruksi yang tahan terhadap korosi yang harganya lebih mahal.

- Konversinya rendah, yaitu : 45%.

2.3 Pembakaran

2.3.1 Proses Pembakaran

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi hanya jika ada pasokan oksigen yang cukup.

Oksigen (O_2) merupakan salah satu elemen bumi paling umum yang jumlahnya mencapai 20.9% dari udara. Bahan bakar padat atau cair harus diubah ke bentuk gas sebelum dibakar. Biasanya diperlukan panas untuk mengubah cairan atau padatan menjadi gas. Bahan bakar gas akan terbakar pada keadaan normal jika terdapat udara yang cukup.

Hampir 79% udara (tanpa adanya oksigen) merupakan nitrogen, dan sisanya merupakan elemen lainnya. Nitrogen dianggap sebagai pengencer yang menurunkan suhu yang harus ada untuk mencapai oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen juga mengurangi perpindahan panas pada permukaan alat penukar panas, juga meningkatkan volum hasil samping pembakaran, yang juga harus dialirkan melalui alat penukar panas sampai ke cerobong.

Karbon, hidrogen dan sulfur dalam bahan bakar bercampur dengan oksigen di udara membentuk karbon dioksida, uap air dan sulfur dioksida, melepaskan panas masing- masing 8.084 kkal, 28.922 kkal dan 2.224 kkal. Pada kondisi tertentu, karbon juga dapat bergabung dengan oksigen membentuk karbon monoksida, dengan melepaskan sejumlah kecil panas (2.430 kkal/kg karbon). Karbon terbakar yang membentuk CO_2 akan menghasilkan lebih banyak panas per satuan bahan bakar daripada bila menghasilkan CO atau asap. (UNEP,2006)

2.3.2 Pembakaran Tiga T

Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “tiga T” pembakaran yaitu

- 1) *Temperature*, suhu yang cukup tinggi untuk menyalakan dan menjaga penyalaan bahan bakar,
- 2) *Turbulence*, pencampuran oksigen dan bahan bakar yang baik, dan
- 3) *Time*, waktu yang cukup untuk pembakaran yang sempurna.

Bahan bakar yang umum digunakan seperti gas alam dan propan biasanya terdiri dari karbon dan hidrogen. Uap air merupakan produk samping pembakaran hidrogen, yang dapat mengambil panas dari gas buang, yang mungkin dapat digunakan untuk transfer panas lebih lanjut.

Gas alam mengandung lebih banyak hidrogen dan lebih sedikit karbon per kg daripada bahan bakar minyak, sehingga akan memproduksi lebih banyak uap air. Sebagai akibatnya, akan lebih banyak panas yang terbawa pada pembuangan saat membakar gas alam.

Terlalu banyak, atau terlalu sedikit nya bahan bakar pada jumlah udara pembakaran tertentu, dapat mengakibatkan tidak terbakarnya bahan bakar dan terbentuknya karbon monoksida. Jumlah O_2 tertentu diperlukan untuk pembakaran yang sempurna dengan tambahan sejumlah udara (udara berlebih) diperlukan untuk menjamin pembakaran yang sempurna. Walau demikian, terlalu banyak udara berlebih akan mengakibatkan kehilangan panas dan efisiensi. Tidak seluruh bahan bakar diubah menjadi panas dan diserap oleh peralatan pembangkit. Biasanya seluruh hidrogen dalam bahan bakar terbakar. (UNEP,2006)

2.3.3 Sifat Bahan Bakar

Berbagai sifat bahan bakar diberikan dibawah ini :

a) Densitas

Densitas didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap volum bahan bakar pada suhu acuan $15^{\circ}C$. Densitas diukur dengan suatu alat yang disebut hidrometer. Pengetahuan mengenai densitas ini berguna untuk penghitungan kuantitatif dan pengkajian kualitas penyalaan. Satuan densitas adalah kg/m^3 .

b) *Specific gravity*

Didefinisikan sebagai perbandingan berat dari sejumlah volum minyak bakar terhadap berat air untuk volum yang sama pada suhu tertentu. Densitas bahan bakar relatif terhadap air, disebut *specific gravity*. *Specific gravity* air ditentukan sama dengan 1. Karena *specific gravity* adalah perbandingan, maka tidak memiliki satuan. Pengukuran *specific gravity* biasanya dilakukan dengan hidrometer. *Specific gravity* digunakan dalam penghitungan yang melibatkan berat dan volum.

c) Viskositas

Viskositas suatu fluida merupakan ukuran resistansi bahan terhadap aliran. Viskositas tergantung pada suhu dan berkurang dengan naiknya suhu. Viskositas diukur dengan Stokes/Centistokes. Kadang-kadang viskositas juga diukur dalam Engler, Saybolt atau Redwood. Tiap jenis minyak bakar memiliki hubungan suhu – viskositas tersendiri. Pengukuran viskositas dilakukan dengan suatu alat yang disebut Viskometer.

Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk penanganan, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. Jika minyak terlalu kental, maka akan menyulitkan dalam pemompaan, sulit untuk menyalakan *burner*, dan sulit dialirkan.

d) Titik Nyala

Titik nyala suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar dapat dipanaskan sehingga uap mengeluarkan nyala sebentar bila dilewatkan suatu nyala api. Titik nyala untuk minyak tungku/ *furnace oil* adalah 66°C .

e) Titik Tuang

Titik tuang suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar akan tertuang atau mengalir bila didinginkan dibawah kondisi yang sudah

ditentukan. Ini merupakan indikasi yang sangat kasar untuk suhu terendah dimana bahan bakar minyak siap untuk dipompakan.

f) Panas Jenis

Panas jenis adalah jumlah kKal yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 kg minyak sebesar 1°C . Satuan panas jenis adalah $\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$. Besarnya bervariasi mulai dari 0,22 hingga 0,28 tergantung pada *specific gravity* minyak. Panas jenis menentukan berapa banyak steam atau energi listrik yang digunakan untuk memanaskan minyak ke suhu yang dikehendaki. Minyak ringan memiliki panas jenis yang rendah, sedangkan minyak yang lebih berat memiliki panas jenis yang lebih tinggi.

g) Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan ukuran panas atau energi yang dihasilkan, dan diukur sebagai nilai kalor kotor/*gross calorific value* atau nilai kalor netto/*nett calorific value*. Perbedaannya ditentukan oleh panas laten kondensasi dari uap air yang dihasilkan selama proses pembakaran. Nilai kalor kotor/*gross calorific value* (GCV) mengasumsikan seluruh uap yang dihasilkan selama proses pembakaran sepenuhnya terembunkan/terkondensasikan. Nilai kalor netto (NCV) mengasumsikan air yang keluar dengan produk pengembunan tidak seluruhnya terembunkan. Bahan bakar harus dibandingkan berdasarkan nilai kalor netto.

h) Sulfur

Jumlah sulfur dalam bahan bakar minyak sangat tergantung pada sumber minyak mentah dan pada proses penyulingannya. Kandungan normal sulfur untuk residu bahan bakar minyak (minyak *furnace*) berada pada 2-4%.

i) Kadar Abu

Kadar abu erat kaitannya dengan bahan inorganik atau garam dalam bahan bakar minyak. Kadar abu pada distilat bahan bakar diabaikan. Residu

bahan bakar memiliki kadar abu yang tinggi. Garam- garam tersebut mungkin dalam bentuk senyawa sodium, vanadium, kalsium, magnesium, silikon, besi, aluminium, nikel, dll. Umumnya, kadar abu berada pada kisaran 0,03–0,07 %. Abu yang berlebihan dalam bahan bakar cair dapat menyebabkan pengendapan kotoran pada peralatan pembakaran. Abu memiliki pengaruh erosi pada ujung *burner*, menyebabkan kerusakan pada *refraktori* pada suhu tinggi dapat meningkatkan korosi suhu tinggi dan penyumbatan peralatan.

j) Residu Karbon

Residu karbon memberikan kecenderungan pengendapan residu padat karbon pada permukaan panas, seperti *burner* atau injeksi nosel, bila kandungan yang mudah menguapnya menguap. Residu minyak mengandung residu karbon 1 persen atau lebih.

k) Kadar Air

Kadar air minyak tungku/*furnace* pada saat pemasokan umumnya sangat rendah sebab produk disuling dalam kondisi panas. Batas maksimum 1% ditentukan sebagai standar. Air dapat berada dalam bentuk bebas atau emulsi dan dapat menyebabkan kerusakan dibagian dalam permukaan tungku selama pembakaran terutama jika mengandung garam terlarut. Air juga dapat menyebabkan percikan nyala api di ujung *burner*, yang dapat mematikan nyala api, menurunkan suhu nyala api atau memperlama penyalaan.

(UNEP,2006)

2.4 Pencemaran Udara

Pada umumnya, di kota-kota besar terjadi pertambahan penduduk dan pertumbuhan ekonomi yang amat pesat, sehingga meningkatnya tempat-tempat pemukiman, transportasi, dan perindustrian dalam rangka memenuhi kebutuhan manusia itu sendiri baik berupa sarana dan prasarana. Selain itu, kemajuan teknologi yang dicapai oleh manusia dalam upaya untuk meningkatkan kualitas

dan kenyamanan hidupnya memberi dampak yang positif dan negatif . Dampak negatifnya berupa kerugian bagi keseimbangan lingkungan hidup.

Salah satu bentuk dampak negatifnya, yaitu sulitnya untuk memperoleh udara berkualitas baik dan bersih. Pencemaran udara yang terjadi merupakan masalah pencemaran lingkungan yang terberat bagi daerah perkotaan. Akibat pencemaran udara dapat membahayakan kesehatan manusia, kelestarian tanaman dan hewan, dapat merusak bahan-bahan, menurunkan daya penglihatan, serta menghasilkan bau yang tidak menyenangkan (BAPEDAL, 1999).

2.4.1 Pengertian Udara

Udara adalah suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi dan komponen campuran gas tersebut tidak selalu konstan (Fardiaz, 1992). Udara juga merupakan atmosfer yang berada di sekeliling bumi yang fungsinya sangat penting bagi kehidupan manusia di dunia ini. Dalam udara terdapat oksigen untuk bernafas, karbondioksida untuk proses fotosintesis oleh klorofil daun dan ozon untuk menahan sinar ultraviolet.

Wallace and Hobbs (1977) dan Barry (1976), menyatakan bahwa udara dalam istilah meteorologi disebut dengan atmosfer. Atmosfer merupakan campuran gas-gas yang tidak bereaksi satu dengan lainnya (*innert*). Menurut Rozari (1986), atmosfer terdiri dari selapis campuran gas-gas, sehingga sering tidak tertangkap oleh indera manusia kecuali apabila berbentuk cairan (uap air) dan padatan (awan dan debu). Lutgens dan Tarbuck (1982) menyatakan bahwa lapisan atmosfer mempunyai ketinggian sekitar 110 km dari permukaan tanah dan bagian terbesar berada di bawah ketinggian 25 km, karena tertahan oleh gaya gravitasi bumi.

Kastiyowati (2004), menyatakan bahwa udara mengandung sejumlah oksigen, merupakan komponen esensial bagi kehidupan, baik manusia maupun makhluk hidup lainnya. Udara yang normal merupakan campuran gas-gas meliputi 78 % N₂; 20 % O₂; 0,93 % Ar ; 0,03 % CO₂ dan sisanya terdiri dari neon (Ne), helium (He), metan (CH₄) dan hidrogen (H₂). Sebaliknya, apabila terjadi penambahan gas-gas lain yang menimbulkan gangguan serta perubahan komposisi tersebut, maka dikatakan udara sudah tercemar/terpolusi. Giddings (1973) mengemukakan bahwa atmosfer pada keadaan bersih dan kering akan

didominasi oleh 4 gas penyusun atmosfer, yaitu 78,09% N₂; 20,95% O₂; 0,93% Ar; dan 0,032% CO₂; sedangkan gas-gas lainnya sangat kecil konsentrasinya. Komposisi udara kering, yaitu semua uap air telah dihilangkan dan relatif konstan.

2.4.2 Pengertian Pencemaran Udara

Menurut "The Engineers" Joint Council in Air Pollution and Its Control, yang telah diterjemahkan ke dalam bahasa Indonesia, bahwa pencemaran udara diartikan hadirnya satu atau beberapa kontaminan di dalam udara atmosfer di luar, antara lain oleh debu, busa, gas, kabut, bau-bauan, asap atau uap dalam kuantitas yang banyak, dengan berbagai sifat maupun lama berlangsungnya di udara tersebut, hingga menimbulkan gangguan terhadap kehidupan manusia, tumbuh-tumbuhan atau binatang maupun benda, atau tanpa alasan jelas sudah dapat mempengaruhi kelestarian organisme maupun benda.

Menurut Peraturan Pemerintah RI No.41 tahun 1999, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya.

Pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam udara dan atau berubahnya tatanan (komposisi) udara oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (KEPMEN KLH No. 02/Men-KLH/I/1988).

2.4.3. Sumber Pencemaran Udara

Sumber bahan pencemar dapat menjadi dua golongan besar, yaitu:

1. Sumber alamiah

Beberapa kegiatan alam bisa menyebabkan pencemaran udara seperti kegiatan gunung berapi, kebakaran hutan, petir, kegiatan mikroorganisme dan lain-lain. Bahan pencemar yang dihasilkan umumnya asap, debu, grit dan gas-gas (CO dan NO).

2. Sumber buatan manusia

Kegiatan manusia yang menghasilkan bahan pencemar bermacam-macam, antara lain adalah :

- a) Pembakaran, Misalnya pembakaran sampah, pembakaran pada kegiatan rumah tangga, industri, kendaraan bermotor yang menghasilkan asap, debu, pasir dan gas.
- b) Proses peleburan, seperti peleburan baja, pembuatan keramik, soda, semen dan aspal yang menghasilkan debu, asap dan gas.
- c) Pertambangan dan penggalian, seperti tambang mineral dan logam. Bahan yang dihasilkan terutama adalah debu.
- d) Proses pengolahan, seperti pada proses pengolahan makanan, daging, ikan, penyamakan dan pengasapan yang menghasilkan asap, debu dan bau.
- e) Pembuangan limbah, baik limbah industri maupun limbah rumah tangga.
- f) Proses percobaan atom nuklir yang menghasilkan gas dan debu radioaktif dll.

2.4.4. Dampak Pencemaran Udara

Dampak terhadap kesehatan yang disebabkan oleh pencemaran udara akan terakumulasi dari hari ke hari. Pemaparan dalam jangka waktu lama akan berakibat pada berbagai gangguan kesehatan, seperti bronchitis, emphysema, dan kanker paru-paru. Dampak kesehatan yang diakibatkan oleh pencemaran udara berbeda-beda antar individu. Populasi yang paling rentan adalah kelompok individu berusia lanjut dan balita. Menurut penelitian di Amerika Serikat, kelompok balita mempunyai kerentanan enam kali lebih besar jika dibandingkan dengan orang dewasa. Kelompok balita lebih rentan karena mereka lebih aktif dan dengan demikian menghirup udara lebih banyak, sehingga mereka lebih banyak aktif dan dengan demikian menghirup udara lebih banyak, sehingga mereka lebih banyak menghirup zat-zat pencemar. (WALHI Jabar, 2007)

2.4.4.1 Dampak Pencemaran Udara Oleh Karbon Monoksida (CO)

Ciri-ciri Karbon Monoksida (CO):

- 1) Tidak berbau
- 2) Tidak berasa
- 3) Tidak berwarna
- 4) Bersifat racun metabolis
- 5) Lebih stabil berikatan dengan darah daripada oksigen

Dampak CO bagi kesehatan manusia adalah pada konsentrasi tinggi menyebabkan gangguan kesehatan & menimbulkan kematian. Gas CO masuk ke paru-paru kemudian menuju peredaran darah, akan menghalangi masuknya O₂ yang dibutuhkan dalam tubuh.



(Depkes)

2.4.4.2 Dampak Pencemaran Nitrogen Oksida (NO_x)

Pencemaran gas Nox dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Gas nitrogen monoksida (NO)

Konsentrasi Gas NO yg tinggi dapat menyebabkan gangguan pada sistem syaraf yg mengakibatkan kejang-kejang.

Gas NO sulit diamati karena tidak berwarna & tidak berbau.

2. Gas nitrogen dioksida (NO₂)

Paru-paru yang terkontaminasi oleh gas NO₂ akan membengkak sehingga sulit bernafas yg dpt mengakibatkan kematian.

Gas NO₂ mudah diamati karena baunya menyengat & berwarna coklat kemerahan. Sifat racun/ toksisitas gas NO₂ 4x lebih kuat daripada toksisitas gas NO. Menyebabkan *Peroxy Acetil Nitrates* (PAN) yang menyebabkan iritasi pada mata & kabut foto kimia yg mengganggu lingkungan (bercampur dgn senyawa kimia lain di udara). (Depkes)

2.4.4.3 Dampak pencemaran oleh Belerang Oksida (SO_x)

Sebagian besar pencemaran udara oleh gas belerang oksida (SO_x) berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, terutama batubara.

1. Menyebabkan hujan asam
 - $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$
 - $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$
 - $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
2. Dampak hujan asam bagi lingkungan : terjadi kerusakan pada tanaman akibat kenaikan pH tanah menjadi asam menyebabkan ketandusan lingkungan
3. Dampak bagi manusia adalah mengganggu pernafasan. Pengaruh SO₂ pada manusia banyak dipertimbangkan dalam kalangan kedokteran. Jika konsentrasi SO₂ naik, orang mulai merasa terganggu. Kadar 6 bps SO₂ akan melumpuhkan dan merusak organ pernafasan. (Depkes)

2.4.4.4 Dampak Pencemaran oleh Hidrokarbon (HC)

Senyawa ini hanya mengandung unsur-unsur hidrogen dan karbon, semacam senyawa yang termasuk hidrokarbon. Pencemaran gas dari knalpot mobil mengandung sekitar 200 meter senyawa hidrokarbon. Hidrokarbon yang dihasilkan manusia hanya sebesar 15 %. Hal ini banyak terkumpul di kota-kota yang padat penduduknya. Yang termasuk unsur hidrokarbon manusia adalah proses perindustrian, penguapan, pelarut organik dan pembakaran sampah. Tiap hari pembakaran batu bara dihasilkan 10 kg hidrokarbon. Hidrokarbon berperan dalam penyebab kanker. (Depkes)

Tabel.2.3 Baku Mutu Emisi Untuk Jenis Kegiatan Lainnya

No	Parameter Analisis	Metode Analisis	Batas Maksimum (mg/Nm ³)
	Bukan Logam :		
1	Ammonia (NH ³)	Indophenol blue	0,5
2	Gas Klorin (Cl ₂)	DPD (Tentative)	10
3	Hidrogen Klorida (Hcl)	Mercury Thiocyanate	5
4	Hidrogen Fluorida (HF)	Lantanum Alizarin	10
5	Nitrogen Oksida (No _x)	Phenol Disulfonic Acid	1000
6	Opasitas	Opacimeter	35%
7	Sulfur Dioksida (So _x)	Turbidity	800
8	Partikel/Debu	Gravimetry	350
9	Total Sulfur Tereduksi (H ₂ S)	Nethlyne Blue	35
	Logam :		
10	Air Raksa (Hg)	AAS- Flameless	5
11	Timah Hitam (Pb)	AAS- Flame	12
12	Kadmium (Cd)	AAS- Flame	8
13	Seng (Zn)	AAS- Hydride/GF	50
14	Arsen (As)	AAS- Hydride/GF	8
15	Antimon (Sb)	AAS- Hydride/GF	8

2.5 Stack Gas Sampler



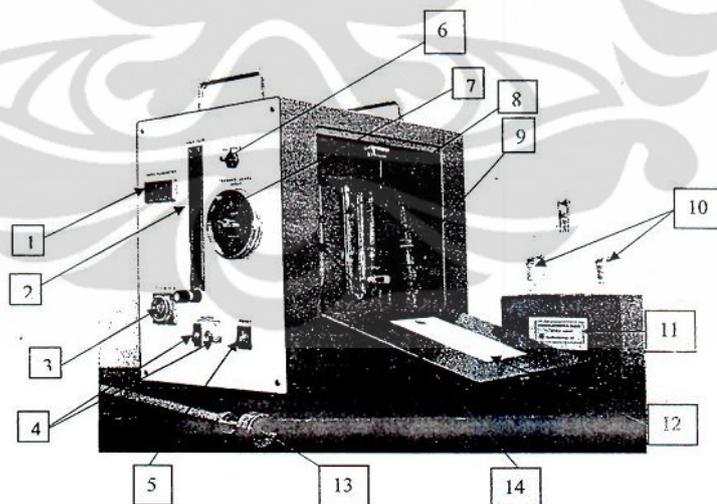
Gambar 2.5 Stack Gas Sampler

Stack Gas sampler adalah suatu perangkat peralatan yang berguna untuk pengambilan sampel gas-gas emisi seperti HCl, Cl₂, SO_x, NO_x, NH₃, H₂S, HF dan uap Hg yang keluar dari cerobong.

2.5.1 Spesifikasi Stack Gas Sampler Model EG-04

- a) Chasis perangkat alat ini dibuat dari aluminium dengan ketebalan 2 - 3 mm dan di cat metalik (oven).
- b) Dimensi Chasis: 450 (L) x 300 (W) x 370 (H) mm
- c) *Sampling Probe* dari bahan gelas/stainless steel : 900 (L) x 10 (OD) mm
- d) Pintu samping terbuat dari aluminium : 310 (L) x 280 (H) mm
- e) Flowmeter :
 - Temperatur maks. Operasional : 121 oC
 - *Floats* : Gelas/Stainless Steel
 - Panjang Keseluruhan : 150 mm
- f) Barometer Aneroid : \approx 780 mm Hg
- g) Manometer : \approx 80 mm Hg
- h) Timer : \approx 60 menit
- i) *Voltage* : 220 Volt/50/60 Hz.
- j) Berat keseluruhan : \pm 20 kg.

2.5.2 Komponen Stack Gas Sampler



Gambar 2.6 Komponen Stack Gas Sampler

Keterangan gambar :

1. Suhu flowmeter, untuk mengukur suhu udara yang melewati flowmeter digunakan untuk mengetahui tekanan uap air jenuh flue gas (P_v) yang disampling.

2. Laju alir ,alat ini mempunyai besaran skala dari 0-150 dan digunakan sebagai pengukuran kecepatan gas emisi yang disampling yaitu berkisar 0-20 liter/menit .
3. Waktu lamanya sampling
4. Pemanas dengan sumber arus listriknya terletak dibagian dalam dari pintu samping SGS, digunakan untuk mencegah terjadinya kondensasi waktu contoh uji uap air flue gas disampling.
5. Tombol start.
6. Ke Sampler ,maksudnya adalah hubungkan nipple tubing (sambungan slang) yang ada pada alat *Stack gas sampler*(SGS) ke sampler baik berupa sampling probe menggunakan slang plastik.
7. Tekanan udara ,alat ini untuk mengetahui beberapa tekanan udara ambient saat sampling udara emisi dilakukan agar dapat diketahui jumlah volume koreksi gas emisi (liter) yang disampling.
8. Manometer raksa, untuk mengetahui tekanan udara emisi yang disampling melewati flow meter.
9. Tabung pengering yang berisi silika gel untuk mencegah uap air dari stack/cerobong masuk ke dalam pompa.
10. Botol sampling uap air dari udara, tempat terjadinya reaksi absorpsi antara gas emisi yang disampling dengan larutan pengangkap tertentu. Botol absorpsi ini untuk gas-gas yang bukan gas Nox, masing-masing terdiri dari empat (4) unit botol.
11. Wadah pendingin untuk mendinginkan botol sampling uap air
12. Tutup pintu alat SGS
13. Sampling probe yang terbuat dari stainless steel.
14. Tombol pengatur laju alir, alat ini mempunyai besaran skala dari 0-150 dan digunakan sebagai pengukuran kecepatan gas emisi yang disampling yaitu berkisar 0 - 20 liter/menit .

Komponen lain yang diperlukan :

Thermo sensor : berupa sensor suhu yang dilindungi dengan pipa stainless steel dan dihubungkan dengan termo display.

2.5.3 Teknik Pengambilan Sample

Adapun teknik pengambilan sample gas-gas emisi tersebut di atas terdiri dari beberapa tahap yaitu :

- 1) Pengambilan sample gas emisi dilakukan dengan suatu alat sampling yaitu sampling Probe. Menggunakan suatu pompa hisap yang telah ada di Stack Gas Sampler (*internal pump*) atau dapat juga dengan pompa yang lain (*External pump*). gas-gas emisi ini dilewatkan ke dalam dua buah botol gelas yang dipasang secara seri dimana ke dua botol ini berisikan larutan penangkap tertentu sesuai dengan gas emisi yang akan disampling.
- 2) Gas-gas emisi yang telah disampling kemudian ditambahkan dengan pereaksi kimia lainnya untuk dapat ditentukan dengan metode konvensional (titrimetri dsb) maupun metode instrumental (spektrofotometri, elektrode selektif ion, AAS).
- 3) Untuk menghitung konsentrasi gas-gas emisi perlu juga diketahui beberapa hal yaitu : suhu contoh uji gas emisi yang dilewati Gas meter (T_m), laju alir flue gas, tekanan uap air jenuh, tekanan udara ambient (P_{bar}), jumlah gas emisi (Liter) yang disampling.

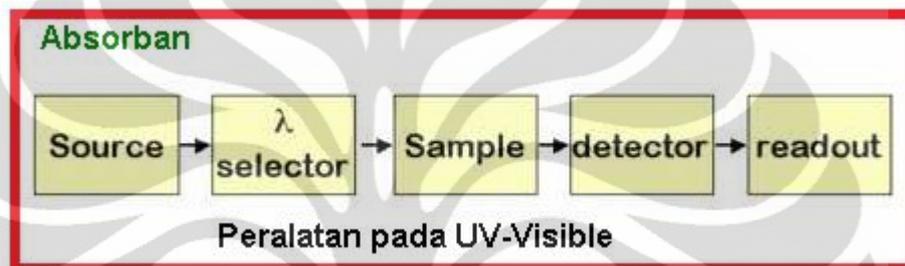
2.6 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer adalah sebuah instrumen untuk mengukur absorpsi/penyerapan cahaya dengan energi (panjang gelombang) tertentu oleh suatu atom/molekul. Spektrofotometer dikembangkan beberapa puluh tahun lalu untuk keperluan para fisikawan dan kimiawan dalam mempelajari struktur molekul dan mengembangkannya dengan teori molekul. Kini, spektrofotometer juga banyak digunakan untuk berbagai keperluan seperti studi bahan, lingkungan ataupun untuk mengontrol suatu proses kimiawi dalam industri. (Underwood,1986)

2.6.1 Komponen-komponen Spektrofotometer *UV-Visible*

Alat ini memiliki komponen-komponen berikut :

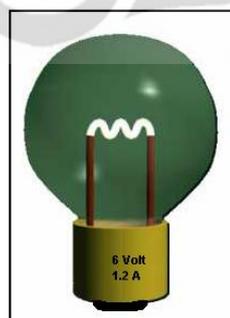
- Sumber radiasi
- Permilih panjang gelombang
- Sel tempat sampel (kuvet)
- Detektor
- Penampil data



Gambar 2.7 Skema Peralatan Pada *UV-Visible*

2.6.1.1 Sumber Cahaya

Sebagai sumber cahaya pada spektrofotometer, haruslah memiliki pancaran radiasi yang stabil dan intensitasnya tinggi. Sumber energi cahaya yang biasa untuk daerah tampak, ultraviolet dekat, dan inframerah dekat adalah sebuah lampu pijar dengan kawat rambut terbuat dari wolfram (tungsten). Lampu ini mirip dengan bola lampu pijar biasa, daerah panjang gelombang (λ) adalah 350 – 2200 nanometer (nm).

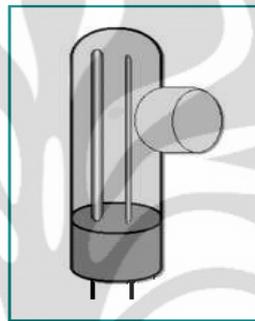


Gambar 2.8 Lampu Wolfram

Di bawah kira-kira 350 nm, keluaran lampu wolfram itu tidak memadai untuk spektrofotometer dan harus digunakan sumber yang berbeda. Paling lazim

adalah lampu tabung tidak bermuatan (*discas*) hidrogen (atau deuterium) 175 ke 375 atau 400 nm. Lampu hidrogen atau lampu deuterium digunakan untuk sumber pada daerah ultraviolet (UV).

Kebaikan lampu wolfram adalah energi radiasi yang dibebaskan tidak bervariasi pada berbagai panjang gelombang. Sumber cahaya untuk spektrofotometer inframerah, sekitar 2 ke 15 μm menggunakan pemijar Nernst (*Nernst glower*).



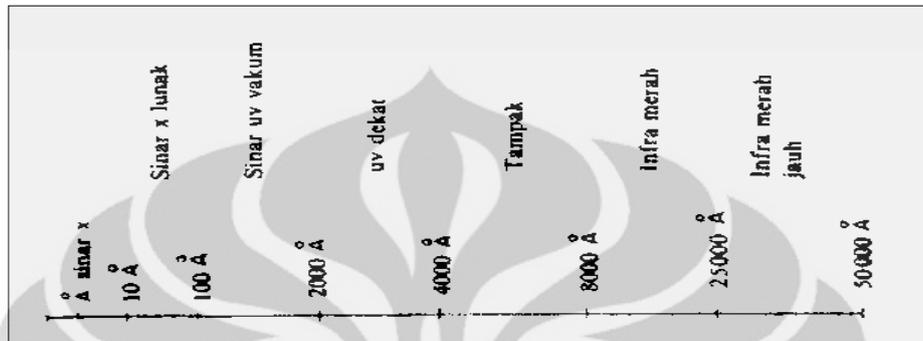
Gambar 2.9 Lampu Deuterium

2.6.1.2 Pemilih panjang gelombang

Berbagai satuan digunakan untuk panjang gelombang, bergantung pada daerah spektrum, untuk radiasi UV dan tampak digunakan satuan \AA dan nanometer dengan meluas. Sedangkan mikrometer merupakan satuan yang lazim untuk daerah inframerah. Satu mikrometer, μm , didefinisikan sebagai 10^{-6} m dan satu nanometer, nm, 10^{-9} m atau 10^{-7} cm. Satu satuan \AA adalah 10^{-10} atau 10^{-8} cm. Jadi $1 \text{ nm} = 10 \text{ \AA}$.

Benda bercahaya seperti matahari atau bohlam listrik memancarkan spektrum yang lebar terdiri atas panjang gelombang. Panjang gelombang yang dikaitkan dengan cahaya tampak itu mampu mempengaruhi selaput pelangi mata manusia dan karenanya menimbulkan kesan subyektif akan ketampakan (*vision*). Namun, banyak radiasi yang dipancarkan oleh benda panas terletak di luar daerah di mana mata itu peka, mengenai daerah UV dan inframerah dari spektrum yang terletak di kiri dan kanan daerah tampak. Dalam analisis secara spektrofotometri terdapat tiga daerah panjang gelombang elektromagnetik yang digunakan, yaitu:

- Daerah UV ; $\lambda = 200 - 380 \text{ nm}$
- Daerah *visible* (tampak); $\lambda = 380 - 700 \text{ nm}$
- Daerah inframerah (IR); $\lambda = 700 - 0,3 \mu$



Gambar 2.10 Spektrum Elektromagnetik

Manusia dengan ketampakan warna yang normal, dapat mengkorelasikan panjang gelombang cahaya yang mengenai mata dengan indera subjektif mengenai warna, dan memang warna kadang-kadang digunakan agar tidak repot untuk menandai porsi-porsi spektrum tertentu, seperti dipaparkan dalam klasifikasi kasar dalam tabel 4 di bawah ini.

Tabel 2.5 Spektrum Tampak dan Warna-warna Komplementer

Panjang gelombang (nm)	Warna	Warna Komplementer
400 – 435	Lembayung (<i>violet</i>)	Kuning-hijau
435 – 480	Biru	Kuning
480 – 490	Hijau-biru	Jingga
490 – 500	Biru-hijau	Merah
500 – 560	Hijau	Ungu (<i>purple</i>)
560 – 580	Kuning-hijau	Lembayung (<i>violet</i>)
580 – 595	Kuning	Biru
595 – 610	Jingga	Hijau-biru
610 – 750	Merah	Biru-hijau

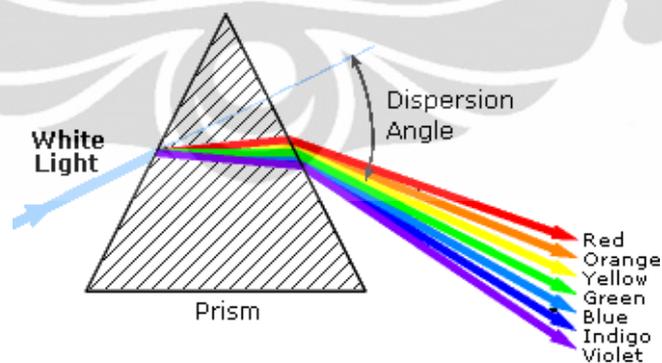
Tabel 2.6 Spektrum Cahaya Tampak (*visible*)

Warna	Interval λ	Interval ν
Red	625 to 740 nm	480 to 405 THz
Orange	590 to 625 nm	510 to 480 THz
Yellow	565 to 590 nm	530 to 510 THz
Green	520 to 565 nm	580 to 530 THz
Cyan	500 to 520 nm	600 to 580 THz
Blue	430 to 500 nm	700 to 600 THz
Violet	380 to 430 nm	790 to 700 THz

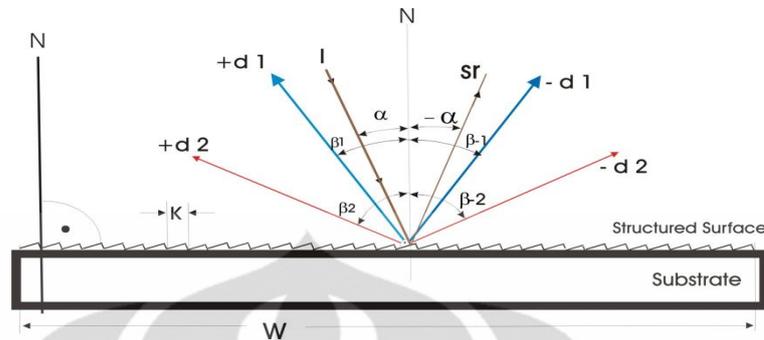
2.6.1.3 Monokromator

Monokromator adalah alat yang berfungsi untuk menguraikan cahaya polikromatis menjadi beberapa komponen panjang gelombang tertentu (monokromatis) yang berbeda (terdispersi). Ada 2 macam monokromator yaitu :

1) Prisma

**Gambar 2.11** Prisma

2) *Grating* (kisi difraksi)



Gambar 2.12 *Grating*

Keuntungan menggunakan kisi difraksi :

- Dispersi sinar merata
- Dispersi lebih baik dengan ukuran pendispersi yang sama
- Dapat digunakan dalam seluruh jangkauan *spectrum*

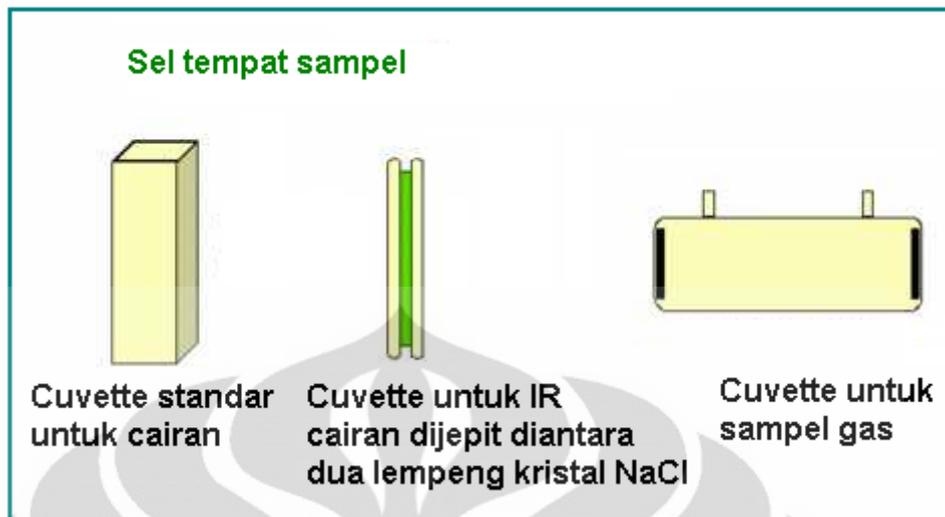
Cahaya monokromatis ini dapat dipilih panjang gelombang tertentu yang sesuai untuk kemudian dilewatkan melalui celah sempit yang disebut slit. Ketelitian dari monokromator dipengaruhi juga oleh lebar celah (*slit width*) yang dipakai.

2.6.1.4 Cuvet

Cuvet spektrofotometer adalah suatu alat yang digunakan sebagai tempat contoh atau cuplikan yang akan dianalisis. Cuvet harus memenuhi syarat- syarat sebagai berikut :

- 1) Tidak berwarna sehingga dapat mentransmisikan semua cahaya.
- 2) Permukaannya secara optis harus benar- benar sejajar.
- 3) Harus tahan (tidak bereaksi) terhadap bahan- bahan kimia.
- 4) Tidak boleh rapuh.
- 5) Mempunyai bentuk (*design*) yang sederhana.

Cuvet biasanya terbuat dari kwars, plexiglass, kaca, plastic dengan bentuk tabung empat persegi panjang 1 x 1 cm dan tinggi 5 cm. Pada pengukuran di daerah UV dipakai cuvet kwarsa, sedangkan cuvet dari kaca tidak dapat dipakai sebab kaca mengabsorpsi sinar UV. Semua macam cuvet dapat dipakai untuk pengukuran di daerah sinar tampak (*visible*)



Gambar 2.13 Sel Tempat Sampel

2.6.1.5 Detektor

Peranan detektor penerima adalah memberikan respon terhadap cahaya pada berbagai panjang gelombang. Detektor akan mengubah cahaya menjadi sinyal listrik yang selanjutnya akan ditampilkan oleh penampil data dalam bentuk jarum penunjuk atau angka digital.

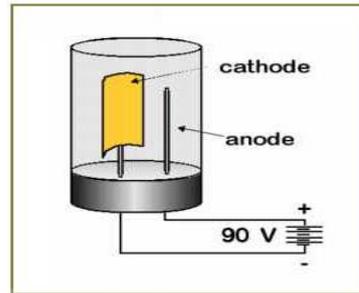
Syarat-syarat ideal sebuah detektor :

- 1) Kepekan yang tinggi
- 2) Perbandingan isyarat atau signal dengan bising tinggi
- 3) Respon konstan pada berbagai panjang gelombang.
- 4) Waktu respon cepat dan signal minimum tanpa radiasi.
- 5) Signal listrik yang dihasilkan harus sebanding dengan tenaga radiasi.

Sebagai detektor untuk Spektrofotometer UV - Vis biasanya digunakan :

1) *Photo tube*

Bekerja berdasarkan efek fotolistrik. Sebuah foton menumbuk permukaan katode yang bersifat foto emisif. Bahan foto emisif : logam alkali atau oksida logam alkali, Cs_3Sb , K_2CsSb , Na_2KSb , yang dikotori dengan Cs, Ag atau O.

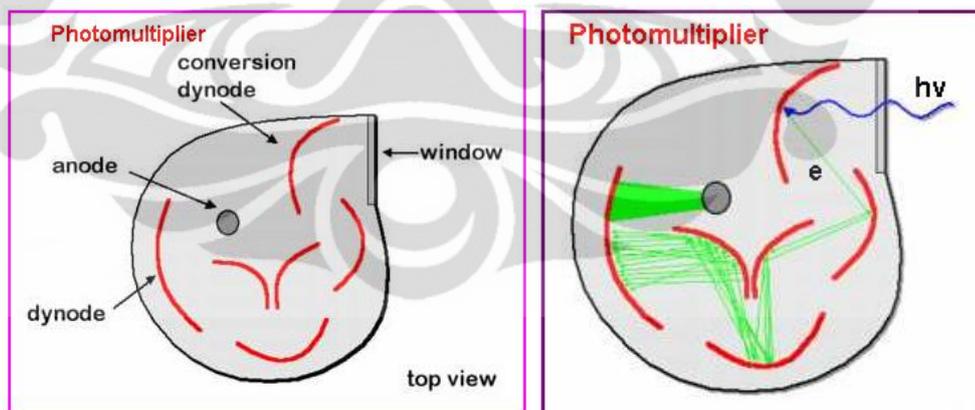


Gambar 2.14 Photo Tube

2) Photo Multiplier Tube

Detektor ini bekerja mirip dengan *Phototube* tetapi sinyal diperkuat karena adanya “dynoda”. Sebuah elektron dipancarkan oleh katode pertama, menumbuk permukaan katode ke dua (dynoda yang potensialnya lebih negatif 90 Volt) dihasilkan elektron yang jumlahnya lebih banyak dan seterusnya hingga dynoda yang terakhir. Terjadi penguatan hingga $10^6 - 10^7$ kali dari semula.

Arus listrik yang dihasilkan oleh detektor kemudian diperkuat dengan amplifier dan akhirnya diukur oleh indikator biasanya berupa recorder analog atau komputer.



Gambar 2.15 Photo Multiplier Tube

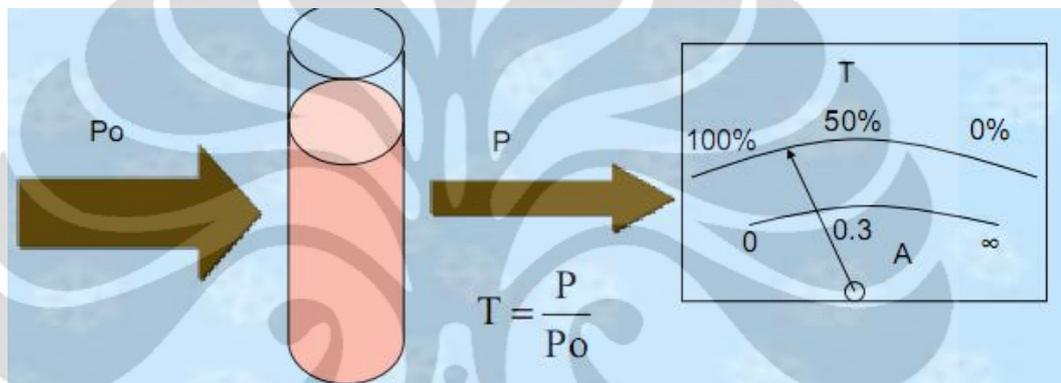
2.6.3 Prinsip Kerja Spektrofotometer UV- Visible

Cahaya saat mengenai larutan bening akan mengalami 2 hal yaitu :

- Transmisi
- Absorpsi

Nilai dari Transmittansi berbanding terbalik dengan absorbansi. Transmittansi larutan T merupakan bagian dari cahaya yang diteruskan melalui larutan.

Cahaya akan diserap jika energi cahaya tersebut sesuai dengan energi yang dibutuhkan untuk mengalami perubahan dalam molekul. Absorbansi larutan bertambah dengan pengurangan kekuatan sinar. Nilai Absorbansi berbanding lurus dengan ketebalan dan konsentrasi. Nilai Absorbansi berbanding terbalik dengan transmittan.



Gambar 2.16 Prinsip Kerja Spektrofotometer

Hukum Lambert-Beer:

Jika suatu cahaya monokromatis dengan kekuatan P_0 dilewatkan kepada balok yang tegak lurus pada permukaan dengan ketebalan b dan mengandung n partikel pengabsorpsi, maka kekuatan cahaya menurun menjadi P .

Syarat Hukum Beer :

- a) Konsentrasi harus rendah
- b) Zat yang diukur harus stabil
- c) Cahaya yang dipakai harus monokromatis
- d) Larutan yang diukur harus jernih

$$P = P_0 10^{-abc}$$

$$-\log P/P = abc$$

$$-\log T = abc$$

$$A = abc$$

$$A = -\log T \text{ atau}$$

$$A = \log(1/T)$$

Keterangan :

A = absorbansi

T = Transmittansi

a = absorptivitas

b = ketebalan larutan

c = konsentrasi larutan

Energi maksimum yang diserap oleh larutan ditunjukkan pada panjang gelombang yang memiliki nilai absorbansi tertinggi dan % transmittansi terendah. Energi maksimum dinyatakan dengan

$$E = h f \text{ atau}$$

$$E = h c / \lambda$$

dimana, E = energi cahaya

h = konstanta Planck ($6,67492 \times 10^{-34} \text{ j sec}$)

f = frekuensi

C = panjang gelombang cahaya (3×10^8)

λ = panjang gelombang

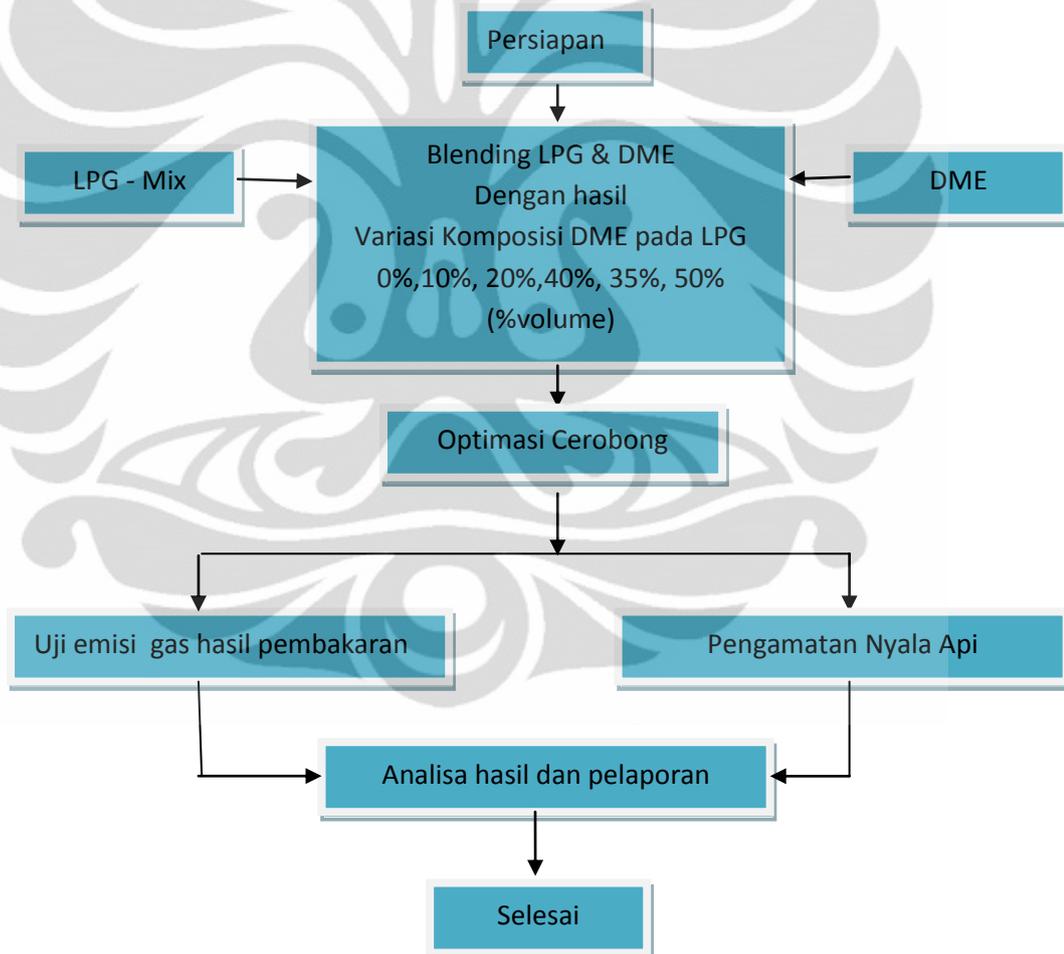
Prinsip Kerja Alat Spektrofotometer UV- Visible :

1. Sinar dari sumber radiasi diteruskan menuju monokromator
2. Cahaya dari monokromator diarahkan terpisah melalui blangko dan sampel dengan sebuah cermin berotasi
3. Kedua cahaya lalu bergantian berubah arah karena pemantulan dari cermin yang berotasi secara kontinyu
4. Detektor menerima cahaya dari blangko dan sampel secara bergantian secara berulang – ulang
5. Sinyal listrik dari detektor diproses, diubah ke digital dan dibandingkan antara sampel dan blangko. Perhitungan dilakukan dengan komputer yang sudah terprogram.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini, akan disajikan prosedur penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan data emisi gas hasil pembakaran dari campuran LPG dan DME dengan rasio tertentu sebagai bahan bakar sektor rumah tangga yang dilakukan dengan cara aplikasi langsung pada kompor gas.. Bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahap awal penelitian yang akan dilakukan yaitu menyiapkan contoh uji yaitu LPG 100%, DME 100%, campuran LPG dan DME dengan variasi volume DME 10%, 20% 30%, 35%, 40% dan 50%. Pencampuran LPG dan DME

dilakukan dengan menggunakan alat *blender gas*. Kemudian menguji hasil pembakaran dari kompor yang menggunakan bahan bakar campuran LPG dan DME tersebut.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

- a) LPG-DME blender
- b) Dehumidifier
- c) Selang regulator
- d) Timbangan
- e) flowmeter
- f) kompor gas
- g) Stack gas sampler
- h) Cerobong
- i) Tabung gas kosong
- j) Botol abspsi
- k) Pipet volume 5 ml ; 10ml ; 25ml ;50ml
- l) Pipet ukur 5 ml
- m) Labu takar 100 ml
- n) Beaker gelas 250 ml
- o) Spektrofotometer
- p) Batu magnet
- q) *Magnetic stirrer*
- r) Labu bulat ukuran ± 1 liter
- s) Pompa vakum
- t) Botol semprot
- u) Labu 50 ml
- v) Labu takar 100ml

3.3.2 Bahan

- a) LPG
- b) Dimetyl eter (DME)
- c) H_2SO_4

- d) Gliserol
- e) HCl pekat
- f) Alkohol 95%
- g) NaCl p.a
- h) BaCl₂
- i) H₂O₂ 30%
- j) Na₂SO₄



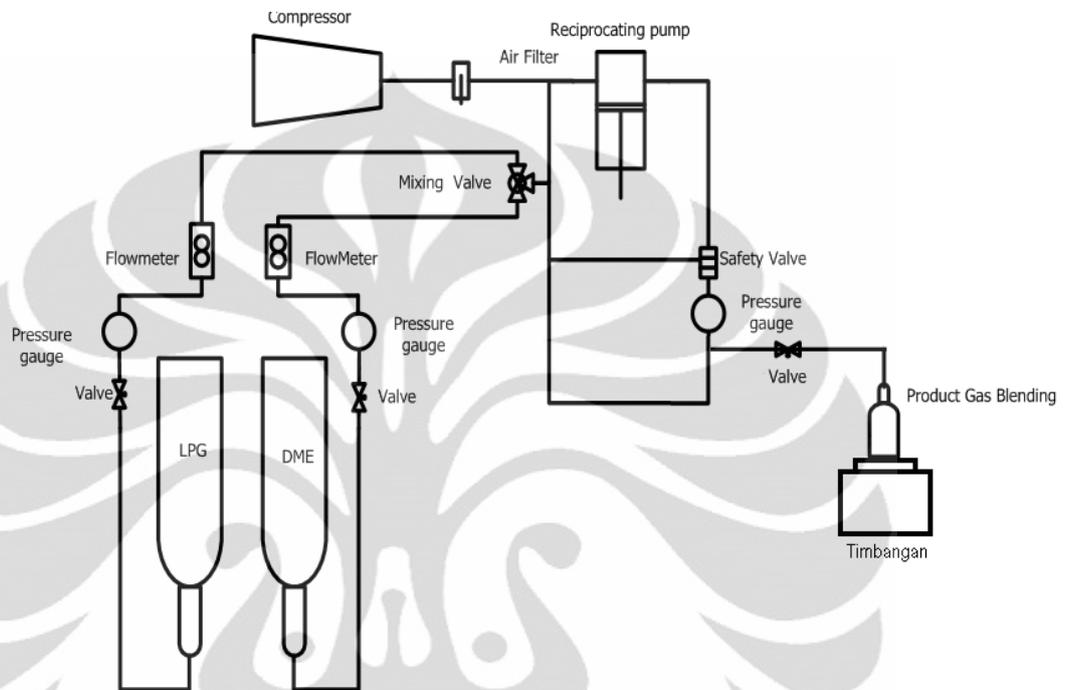
Gambar 3.2 Tabung Gas Campuran LPG-DME



Gambar 3.3 Alat LPG-DME Blender

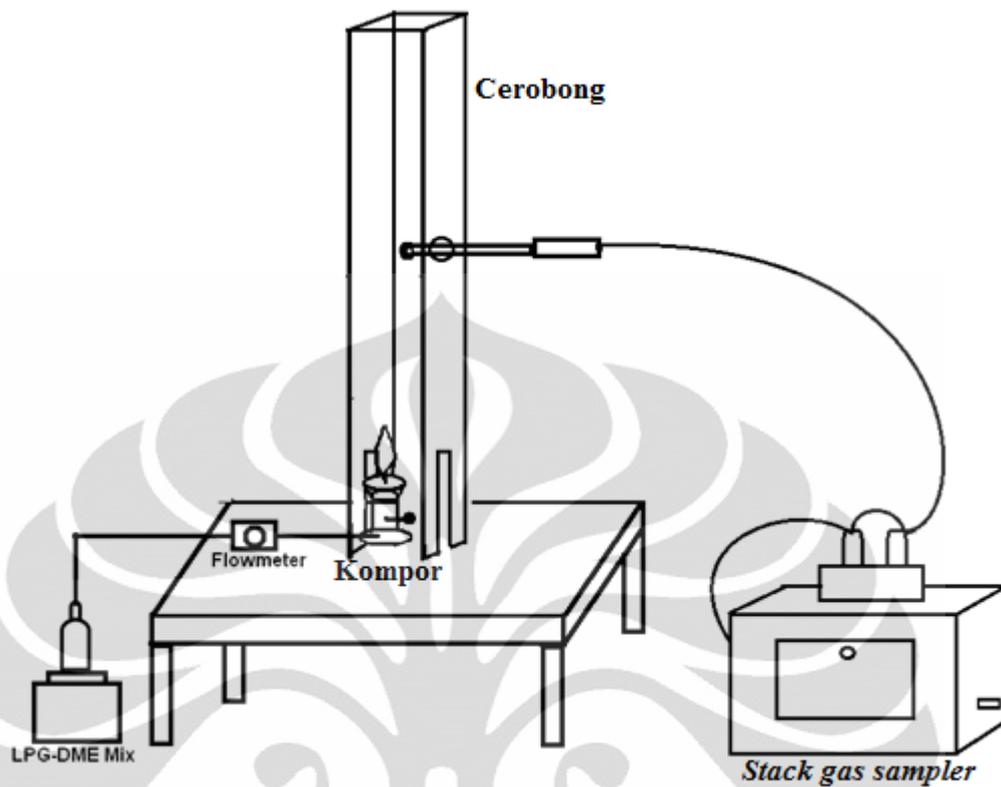
3.2 Skema Alat

Skema rancangan alat yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan 3.3



Gambar 3.4 Skema Alat *Blending* LPG-DME

Skema percobaan seperti pada gambar 3.2 digunakan untuk mencampur LPG dan DME agar diperoleh contoh campuran LPG dan DME dengan berbagai variasi persen berat. Peralatan yang diperlukan untuk melakukan pencampuran LPG dan DME adalah *blender gas*, selang regulator, tabung gas dan timbangan. Sebelum memasang selang regulator yang menghubungkan tabung LPG dan tabung DME ke alat blender, tabung gas yang berisi LPG dan DME harus dibalik hal ini agar LPG dan DME yang berfase cair berada dibagian bawah dekat lubang keluaran gas. Tabung yang digunakan untuk menampung campuran gas LPG dan DME di letakkan diatas timbangan agar dapat diketahui berat kosong tabung dan sebagai alat pemantau kapan pengisian gas harus dihentikan.



Gambar 3.5 Susunan Alat pengambilan Sampel Gas Emisi

Skema percobaan pada gambar 3.3 merupakan skema pengambilan contoh emisi gas. Peralatan yang digunakan yaitu gas LPG-DME, kompor gas, flow meter dan *Stack Gas Sampler*. Kompor gas ditutup oleh cerobong berbentuk kubus. Maksud penggunaan kubus ini agar emisi gas tidak tercampur oleh udara lingkungan. Lubang bagian bawah dibuat sebagai tempat masuknya udara atau oksigen, agar saat kompor dinyalakan akan timbul api. Sedangkan lubang dibagian atas digunakan sebagai tempat masuknya probe untuk mengambil sampel emisi.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Tahap Blending LPG-DME

Proses blending LPG-DME :

1. Tutup valve in dan valve out pada alat LPG-DME Blender.

2. Balikkan posisi tabung DME dan LPG, pasang selang regulator sehingga tabung DME dan tabung LPG sehingga terhubung dengan alat LPG-DME Blender.
3. Letakkan tabung gas untuk campuran LPG-DME diatas timbangan.
4. Pasangkan selang regulator dari tabung gas untuk campuran LPG-DME ke alat LPG-DME Blender.
5. Catat berat kosong tabung.
6. Rasio LPG-DME adalah rasio persen berat.
7. Nyalakan alat LPG-DME Blender.
8. Buka valve in pada jalur gas DME, buka perlahan valve out pada saluran gas tabung kosong. Atur tekanan minimal 5 bar.
9. Setelah mencapai berat yang diinginkan tutup valve out pada saluran gas tabung kosong dan tutup valve in pada jalur gas DME.
10. Buka valve in pada jalur gas LPG, buka perlahan valve out pada saluran gas tabung kosong. Atur tekanan minimal 9 bar.
11. Setelah mencapai berat yang diinginkan tutup valve out pada saluran gas tabung kosong dan tutup valve in pada jalur gas LPG.
12. Cabut selang regulator yang masih menempel pada setiap tabung.

3.4.2 Tahap pengambilan sampel gas emisi

3.4.2.1 Penentuan gas sulfur dioksida (SO₂)

Gas sulfur yang keluar dari cerobong asap (*stack*) berupa gas SO₂. konsentrasi gas tersebut dapat ditentukan dengan terlebih dahulu merubah gas SO₂ menjadi H₂SO₄ menggunakan larutan penyerap H₂O₂ 3 %. Ion sulfat yang terbentuk dalam larutan absorber direaksikan dengan Kristal BaCl₂ membentuk suspensi Barium Sulfat. Kestabilan suspensi dipengaruhi oleh penggunaan larutan *Conditional Reagen* pada waktu pengocokan dan pada waktu reaksi. *Suspensi* barium sulfat ini diukur dengan alat spektrofotometer pada panjang gelombang 420 nm.

Pembuatan pereaksi :

a) H_2O_2 3 %

Tuangkan 100 ml H_2O_2 pekat (30%) ke dalam labu takar 1000 ml encerkan dengan aquades sampai tanda batas.

b) Conditioning reagen

Campeurkan 50 ml gliserol kedalam larutan yang mengandung 30 ml HCl pekat dalam 300 ml aquades kemudian tambahkan 100 ml alkohol 95 % dan 75 gr NaCl, kocok dengan stirrer sampai larut sempurna.

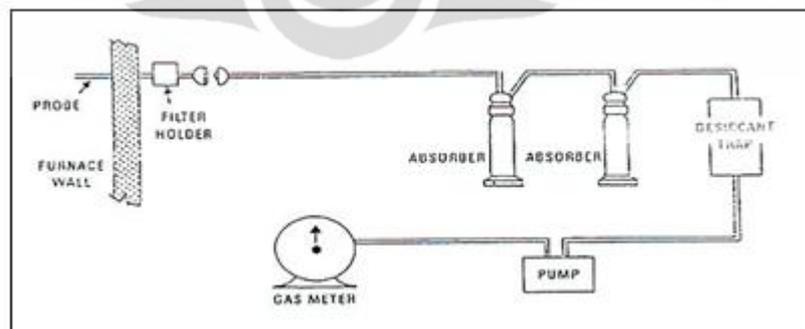
c) BaCl p.a

d) Larutan standar sulfat stock 1000 ppm

Timbang 1,749 gr Na_2SO_4 anhidrus, larutkan dengan aquades sedikit-sedikit lalu masukkan kedalam labu takar 1 liter. Setelah semua larut encerkan dengan aquades sampai tanda batas.

Tahapan pengambilan sampel gas emisi :

- 1) Penangkap gas SO_2 pada botol absorpsi
- 2) 100 ml H_2O_2 3 % dimasukkan kedalam botol absorpsi kemudian di susun sedemikian rupa seperti gambar dibawah
- 3) Peralatan sample probe dipanaskan pada suhu kira-kira 120°C
- 4) Laju alir diatur pada skala 20 dengan float berwarna hitam.
- 5) Penarikan gas dilakukan selama 10 menit



Gambar 3.6 Skema Alat Sampling SO_2

Analisa sampel gas emisi :

a) Pembuatan kurva standar

- 1) Kedalam 6 buah labu takar 100 ml, masukkan 0 ; 1 ; 2; 3 ; 4 ; 5 ml standar SO_4 1000 ppm
- 2) Encerkan dengan aquades sampai tanda batas
- 3) Tuangkan masing-masing larutan tersebut kedalam 250 ml
- 4) Tempatkan diatas stirrer dan masukan batu magnet , lalu kocok
- 5) Tambahkan kedalamnya 5 ml conditioning reagen sambil dikocok terus
- 6) Tambahkan 0,2-0,3 gr BaCl_2 kocok 1 menit dan biarkan selama 5 menit
- 7) Ukur serapannya dengan alat spektrofotometer dengan panjang gelombang 420 nm

b) Penentuan sulfat secara spektrofotometer

- 1) Pipet 100 ml larutan diatas tadi dimasukkkan kedalam beaker glass 250 ml
- 2) Tempatkan diatas stirrer, masukkan *magnetic stirrer* dan kocok
- 3) Tambahkan kedalamnya 5 ml conditioning reagen sambil dikocok terus
- 4) Tambahkan 0,2-0,3 gr BaCl_2 kocok 1 menit dan biarkan selama 5 menit
- 5) Ukur serapannya dengan alat spektrofotometer dengan panjang gelombang 420 nm

c) Perhitungan :

1. Perhitungan jumlah contoh uji gas yang disampling

$$V_s = V \times \frac{298}{273 + ^\circ t} \times \frac{(P_a + P_m - P_v)}{760}$$

Keterangan :

V_s = jumlah volume contoh uji gas yang disampling (liter)

V = jumlah volume contoh uji gas selama disampling yang dibaca pada skala Flowmeter dikali dengan lamanya sampling (liter)

P_a = tekanan atmosfer di udara dari barometer (mmHg)

dimana : mmHg = 1,333mBar

p_m = tekanan gauge (manometer terbuka) yang ada dalam alat SGS dari Flowmeter (mmHg) sewaktu melakukan sampling.

P_v = tekanan uap jenuh pada temperatur gas dari Stack (mmHg), dapat dibaca pada tabel

$^{\circ}t$ = suhu gas dari Stack yang dibaca menggunakan dengan alat thermo sensor dari alat ($^{\circ}c$).

2. Perhitungan konsentrasi sulfur dioksida (SO_x)

$$mmol SO_2 = mmol SO_4 \times \frac{Mr SO_2}{Mr SO_4}$$

$$SO_2 \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{jumlah mmol } SO_2 \text{ dalam contoh}}{V_s} \times 64,1 \times 10^3$$

3.4.2.2 Penentuan gas Oksidasi Nitrogen (NO_x)

Gas NO_x dari dalam *Stack* (cerobong) dapat berupa NO,NO₂. Gas ini dapat ditentukan konsentrasinya terlebih dahulu dengan mereaksi dalam larutan campuran H₂SO₄ (3 + 997) + H₂O₂ 3% menjadi NO₃. Ion NO₃ terbentuk terbentuk konsentrasinya dapat ditentukan dengan menggunakan gelombang 405 nm.

Pembuatan pereaksi :

a) larutan penangkap

1) H₂SO₄ 3 + 997

Encerkan 3ml H₂SO₄ pekat kedalam 997ml aquades kosok hingga homogen.

2) H₂O₂ 3%

Encerkan 10ml H₂O₂ 30% kedalam 90ml aquades kosok hingga homogen.

3) Larutan 100ml H₂SO₄ (3 + 997) dicampurkan kedalam 3ml larutan H₂O₂ 3%, kemudian larutkan ini dikocok sehingga homogen. Dimana larutan campuran ini tahan selama 1 minggu.

b) Reagen *fenol disulfonic acid*

larutkan 25 gram didalam 150gram H_2SO_4 pekat, kemudian tambahkan dengan hati-hati 75ml H_2SO_4 fuming (mengandung 15-18 % SO_3) dan kocok sampai homogen. Panaskan di atas penangas air pada temperature $100^\circ C$ selama 2 jam. Kemudian dinginkan dan simpan selama didalam botol tertutup berwarna gelap (coklat).

c) Stok standar kalium nitrat (1ml= 1mg NO_2)

keringkan KNO_3 pada 100^0-105^0C selama 2 jam. Timbang 0,2198 gram KNO_3 .larutkan dalam labu takar 100ml.kocok hingga homogen.

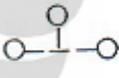
d) Larutan kerja (1ml = 1 μg NO_2)

pipet 10ml larutan stok kemudian masukan kedalam labu takar 100ml kemudian encerkan dengan aquades sampai tanda batas kocok.

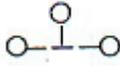
Tahapan pengambilan sampel gas :

a) Cara menangkap gas NO_x dalam stack :

- Tahap persiapan.

1. Kran labu bundar diatur pada posisi netral seperti 
2. Kran ke manometer tertutup
3. Penuhi tabung sebelah kiri manometer pipa U tertutup dengan cairan Hg hingga sampai tidak ada udara yang terperangkap di tabung manometer tersebut. Kemudian catat tinggi cairan Hg (mmHg) pada tabung sebelah kanan pada manometer pipa U tertutup.
4. Hubungkan kran ke manometer dengan pompa

- Tahap pem-vakuman labu :

1. Isi labu dengan larutan 25 ml H_2O_2 3% .
2. Putar kran botol labu ke posisi netral  ke posisi siap ke

pem-vakuman 

3. Lakukan pem-vakuman udara dari botol labu bundar sampai larutan H_2O_2 3% tersebut mendidih, ukur temperature labu (bila tidak mendidih mungkin ada kebocoran)

4. Setelah botol labu selesai di vakum,putar posisi kran ke netral

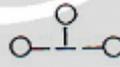


5. Putar kran labu dari posisi netral ke posisi kran siap melakukan sampling dimana lubang tengah kran menghadap ke arah *sampling*



6. Matikan pompa

7. Putar kran botol labu dari posisi netral



8. Hubungkan kran labu bundar sebelah kanan manometer pia U tertutup menggunakan selang silicon

9. Kemudian putar kran labu bundar ke posisi



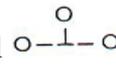
10. Lihat permukaan Hg sebelah kiri manometer pipa U tertutup, tidak boleh ada udara dan terisi penuh dengan cairan merkuri dan catat berapa tinggi permukaan cairan merkuri (mmHg) disebelah kanan manometer pipa U tertutup.

11. Buka kran pada manometer pipa U tertutup perlahan-lahan

12. Maka permukaan Hg ditabung sebelah kanan akan naik, catat kenaikanya (mmHg)

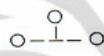
13. Tutup lagi kran pada pipa U tertutup

14. Putar kran labu bundar pada posisi netral



- Tahap sampling :

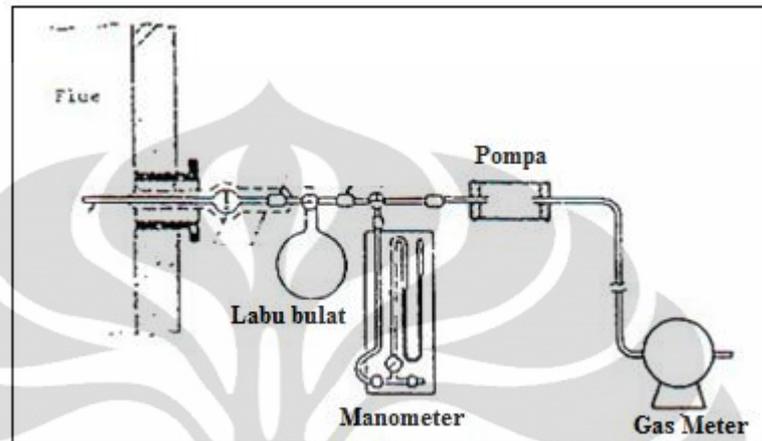
1. Panaskan sampling probe dengan sampling probe pada heater bagian dalam alat SGS

2. Masukkan sampling probe kedalam sampling point dari sampai $\frac{1}{2}$ atau $\frac{1}{3}$ dari diameter stack dan tutup lubang stack dengan menggunakan sarung asbes
3. Hidupkan pompa, sampai contoh uji gas emisi pada sampling probe terisi contoh uji gas emisi kemudian segera putar kran labu bundar pada posisi siap sampling gas NO_x yaitu pada posisi  dan biarkan beberapa saat (10 detik) atau sampai bunyi gas yang masuk berhenti berbunyi
4. Setelah selesai sampling tutup labu bundar pada posisi netral yaitu 
5. Lepaskan labu bundar dari segala sambungannya kecuali joint labu dengan kran
6. Kocok larutan labu bundar selama ± 5 menit biarkan semalam ditempat ruang ruang gelap
7. Pindahkan larutan kedalam gelas kimia 100ml dan bilaskan labu dengan aquades sampai bersih
8. Didihkan larutan sampai pH 7,5 dengan NaOH 1N
9. Uapkan larutan water bash sampai kistat

b) Pengukuran NO_x dengan reagan *fenol disulfonic acid* :

1. Pipet 1,2,3,4 dan 5 ml larutan kerja NO_2 ($1\text{ml} = 1 \mu\text{g NO}_2$) lalu masing-masing masukkan ke dalam beaker glass 100 ml
2. Tambahkan masing-masing 25 ml larutan penangkap NO_x
3. Atur ph menjadi 7,5 dengan penambahan NaOH 1 N
4. Uapkan diatas water bath sampai kistat
5. Kemudian tambahkan 2ml reagen fenol disulfonic acid baik untuk standar maupun untuk sample
6. Tambahkan 1 ml air dan 4 tetes H_2SO_4 pekat lalu panaskan diatas water bath selama ± 3 menit samba diaduk- aduk sekali-sekali sampai residu larut dengan sempurna
7. Dinginka tambah 10ml aquades dan aduk

8. Tambahkan NH_4OH segar dan diaduk
9. Saring jika keruh kedalam labu takar 50 ml, kocok hingga homogen.
10. Baca absorbansinya pada panjang gelombang 405 nm



Gambar 3.7 Skema Alat Sampling NO_x

c) Perhitungan :

a) Menghitung jumlah NO₂

1. Buat kurva kalibrasi yaitu hubungan antara konsentrasi dan absorbansi
2. Plotkan absorbansi NO₂ dari sample sehingga diperoleh konsentrasinya
3. Hitung jumlah NO₂ (μg) dari contoh

b) Menghitung volume gas yang ditangkap

$$V_s = (V - 25) \times \frac{298}{760} \times \left(\frac{P_f - P_{nf}}{273 + t_f} - \frac{P_i - P_{ni}}{273 + t_i} \right)$$

Dimana :

V_s = jumlah volume contoh uji gas yang disampling (liter)

V = Volume labu didih (ml)

25 = Volume reagen absorber (ml)

P_f = tekanan udara dalam labu bundar setelah sampling (mmHg)

P_{nf} = tekanan uap jenuh diukur pada t_f

P_i = tekanan udara dalam labu bundar sewaktu pem-vakuman (mmHg)

P_{ni} = tekanan uap jenuh diukur pada t_i

t_i = suhu udara pada waktu pem-vakuman ($^{\circ}\text{K}$)

t_f = suhu udara labu bundar pada waktu setelah sampling dilakukan ($^{\circ}\text{K}$)

c) Menghitung ppm NO_2 dari gas stack

$$\text{ppm NO}_2 = \frac{24,47 \times W \times 10^3}{46 \times V_s}$$

Dimana:

24,47 = volume gas dalam 1 mol udara pada 25°C

W = jumlah NO_2 (μg)

V_s = volume udara yang disampling (ml)

46 = BM NO_2

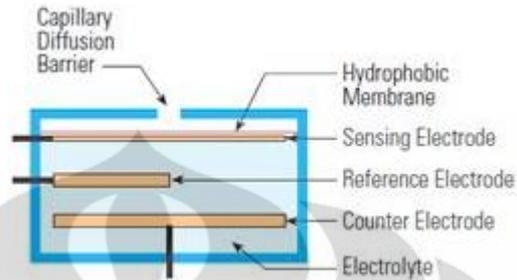
d) Menghitung NO_2 mg/m^3 udara

$$\text{Konsentrasi gas NO}_2 (\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{46}{24,47} \times \text{ppm NO}_2$$

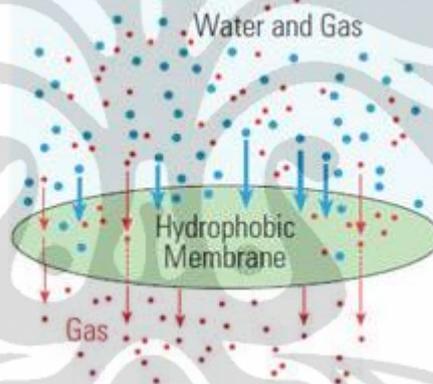
3.4.2.3 Penentuan Gas Carbon Monoksida (CO)

Analisa gas CO ini menggunakan *gas analyzer* dengan menggunakan sensor elektrokimia. Sensor elektrokimia beroperasi dengan bereaksi dengan gas dan menghasilkan sinyal listrik yang sebanding dengan konsentrasi gas. Sebuah sensor elektrokimia terdiri dari elektroda *sensing* (atau elektroda kerja), dan elektroda *counter* yang dipisahkan oleh sebuah lapisan elektrolit yang tipis. Gas yang datang akan kontak dengan sensor. Pertama-tama gas akan melalui lubang kapiler yang kecil dan kemudian berdifusi melalui membran hidrofobik dan akhirnya mencapai permukaan elektroda. Fungsi membran hidrofobik menghindari air masuk ke dalam elektrolit dan juga mencegah elektrolit bocor keluar dari sensor. Gas yang berdifusi melalui pembatas hidrofobik bereaksi pada permukaan elektroda *sensing* sebagai mekanisme reaksi oksidasi atau reduksi.

Reaksi ini menyebabkan potensi elektroda naik atau turun yang akan direspon oleh elektroda *counter*.

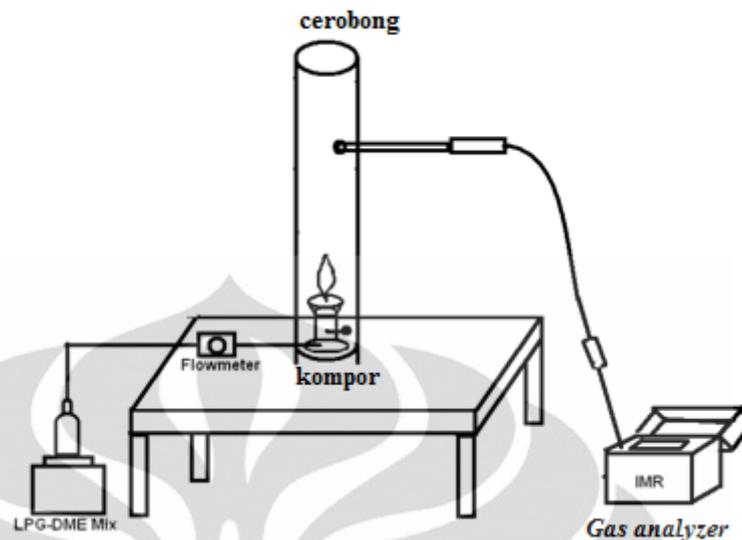


Gambar 3.8 Sensor Elektrokimia



Gambar 3.9 Membran Hidrofobik

Reference electrode (RE) dipakai untuk mengukur koreksi potensial dari elektrokimia yang dibangkitkan oleh masing-masing elektroda dan elektrolit. Dengan resistor yang terhubung melintasi elektroda, arus yang terjadi proporsional dengan konsentrasi gas yang mengalir diantara anoda dan katoda. Arus dapat diukur untuk menentukan konsentrasi gas.



Gambar 3.10 skema Uji Gas Emisi CO

Prosedur mengoperasikan alat IMR :

1. Hubungkan probe gas sampling dan ambient air plug.
2. Tekan tombol “on/off”
3. Tunggu 3 menit untuk kalibrasi otomatis
4. Tekan sembarang tombol setelah selesai kalibrasi.
5. Pilih *fuel type* menggunakan tombol “▲” atau “▼” lalu tekan “→”
6. *Fuel type* yang dipilih adalah propane/butane
7. Masukkan probe ke lubang sampling.
8. Tunggu hasil pembacaan alat sampai stabil
9. Setelah selesai tekan “on/off”

3.4.3 Uji Nyala Api

Pada uji nyala, laju alir gas LPG-DME sebesar 5 liter/menit. Pengujian dilakukan di tempat yang gelap. Nyala api di foto dengan Kamera Digital.

3.5 Hasil Yang Diharapkan Dari Penelitian

Mendapatkan data-data tentang kandungan gas emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran kompor dengan menggunakan bahan bakar LPG dan campuran LPG dengan DME. Parameter gas yang akan dianalisa yaitu : SO_x , NO_x ,

dan CO serta nyala api. Sehingga dapat dianalisa hubungan pengaruh penambahan DME pada LPG terhadap emisi gas yang dihasilkan pada pembakaran menggunakan kompor .



BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dianalisa tentang *blending* gas LPG dan DME, proses pengambilan sampel, analisa sample gas emisi, hasil Emisi gas SO_x, NO_x, dan CO dari bahan bakar campuran gas LPG dan DME pada kompor, serta nyala dari masing-masing bahan bakar gas tersebut.

4.1 Blending gas LPG dengan DME

DME adalah senyawa eter yang mempunyai rumus kimia CH₃OCH₃. Sedangkan LPG adalah campuran gas propana (C₃H₈) dan butana (C₄H₁₀). Karakteristik dari DME memiliki kemiripan dengan propana dan butana, yang merupakan komponen utama LPG. DME menjadi uap pada tekanan dan temperatur ruang dan dijaga agar tetap liquid pada suhu 25 °C dengan memberikan tekanan paling tidak 5 bar. Hal ini sangat mirip dengan tekanan uap LPG. Pada suhu 25°C, LPG dapat berbentuk liquid dengan memberikan tekanan sekitar 7 hingga 8 bar. Titik didih DME adalah - 24,9°C dan mendekati LPG yang mempunyai titik didih sekitar -42 °C, sehingga mudah dicairkan. Karena itulah LPG dapat dicampur dengan DME pada tabung gas yang di desain untuk LPG.

Tabel 4.1 Sifat Fisik Berbagai Macam Bahan Bakar

Properties	DME	Propane	Butane	Methanol
Boiling Point, °C	-24,9	-42,1	-0,5	65
Vapor Pressure@ 20 °C, bar	5,1	8,4	2,1	0,3
Liquid Density, @ 20 °C, kg/m ³	668	501	610	790
Spesific density,gas	1,59	1,52	2,01	1,11
Lower Heating Value,kj/kg	28,430	46,360	45,740	46,500
Ignition Temperature @ 1 atm, °C	235-350	470	365	465
Explosion/Flammability in air, vol%	3.4-17	2.1-9.4	1.9-8.4	7.3-36.0

Sember: BP p.l.c;snamprogenti

Komposisi yang digunakan pada penelitian ini yaitu 100%LPG, 90% LPG:10%DME, 80%LPG:20%DME, 70%LPG:30%DME 65%LPG:35%DME, 60%LPG:40%DME serta 50%LPG:50%DME. Nilai persen tersebut merupakan nilai persen volume. Sampel gas dengan perbandingan LPG dengan DME diatas dipakai pada percobaan karena dianggap sudah mewakili data yang akan diperoleh.

Pada proses *blending*, saat memasukkan gas DME ke tabung gas campuran LPG-DME, gas DME diberikan tekanan sekitar 5 bar. Hal tersebut dilakukan agar fase gas DME yang akan dipindahkan dalam bentuk cairnya. Begitu juga dengan gas LPG, gas LPG diberikan tekanan 9 bar agar gas LPG masih dalam bentuk cair saat dipindahkan ke tabung gas campuran LPG-DME.

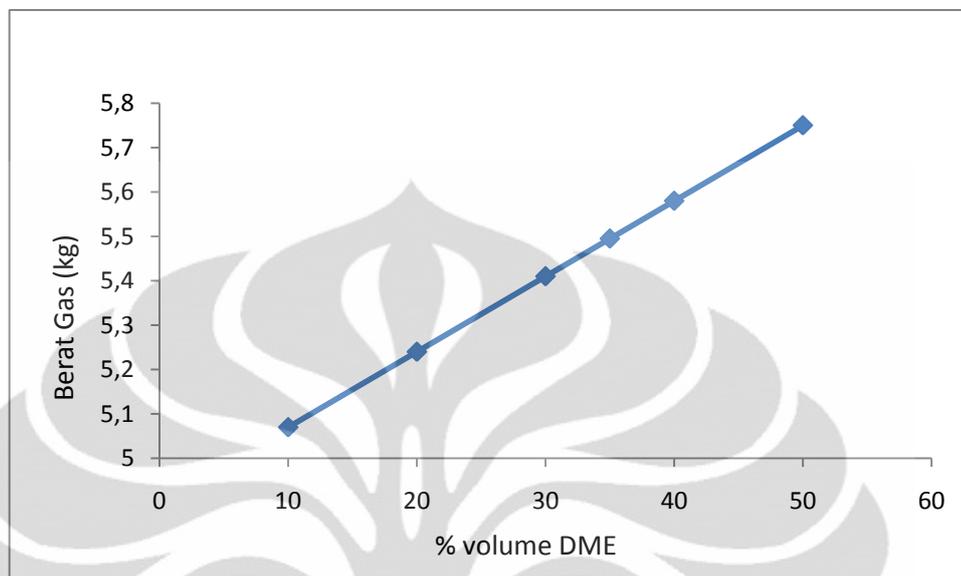
Sebelum proses *blending* dilakukan yang perlu ditentukan terlebih dahulu adalah volume gas campuran yang akan dibuat, kemudian nilai densitas dari masing-masing gas. Pada percobaan ini volume gas yang akan dibuat adalah 10 liter. Nilai densitas dari LPG dan DME masing-masing sebesar $0,49 \text{ gr/cm}^3$ dan $0,66 \text{ gr/cm}^3$. Berat LPG dan DME yang dibutuhkan merupakan hasil kali antara volume gas yang ingin dibuat, densitas gas serta fraksi berat gas. Tabel dibawah ini merupakan berat dari masing-masing gas yang dibutuhkan untuk membuat gas campuran LPG-DME.

Tabel.4.2 Berat Gas LPG dan DME dalam Proses *Blending* Gas

% LPG-DME	Berat (kg)		Total Berat LPG-DME mix (kg)
	LPG	DME	
90-10	4,410	0,660	5,070
80-20	3,920	1,320	5,240
70-30	3,430	1,980	5,410
65-35	3,185	2,310	5,495
60-40	2,940	2,640	5,580
50-50	2,450	3,300	5,750

Dalam percobaan ini dipakai tabung gas LPG 8 kg. Gas campuran LPG-DME dibuat dengan volume 10 Liter. Dengan membuat gas campuran 10 liter maka akan menghasilkan gas campuran LPG-DME dengan berat tidak melebihi 8

kg. Dari data diatas dapat diketahui bahwa dengan penambahan DME mengakibatkan bertambahnya berat total campuran gas LPG-DME.



Gambar 4.1 Grafik %DME terhadap Total Berat Gas Campuran LPG-DME

Bertambahnya berat total gas campuran LPG dengan penambahan DME disebabkan karena densitas DME yang lebih besar dibandingkan dengan LPG. Sehingga semakin besar jumlah DME pada LPG pada volume yang sama maka semakin berat gas campuran yang terbentuk.

Tabel 4.3 Data Sifat-Sifat Fisika LPG

No.	Karakteristik	satuan	Sampel LPG	Batasan		metode uji	
				Min	max	ASTM	Lain
1	specific gravity	-	0,65	to be reported	to be reported	D-1657	-
2	vapour pressure @ 100 oF	Psig	112	-	145	D-1267	-
3	wheating test @ 36 oF	% vol.	97,5	95	-	D-1837	-
4	copper Corrosion 1 hour		1a	ASTM No.1	ASTM No.1	D-1838	-
5	Total Sulphur	grain/100cuft	2,21	-	15	D-2784	-
6	Water Content		No free water	No free water		-	Visual
7	Composition :						
	C2	% vol.	0,38		0,8		
	C3 and C4	% vol.	99,19	97			
	C5+ (C5 and heavier)	% vol.	0,45		2		

Sumber : PPPTMBG Lemigas

Tabel.4.4 Sifat-sifat fisika LPG 80% :DME 20%

No.	Karakteristik	Satuan	Sampel DME 20 %	Batasan		metode uji	
				Min	max	ASTM	lain
1	specific gravity	-	0,57	to be reported		D-1657	-
2	vapour pressure @ 100 oF	Psig	100	-	145	D-1267	-
3	wheatering test @ 36 oF	% vol.	98	95	-	D-1837	-
4	copper Corrosion 1 hour		1A	ASTM No.1		D-1838	-
5	Total Sulphur	grain/100cuft	1,61	-	15	D-2784	-
6	Water Content		No free water	No free water		-	visual

Sumber :PPPTMGB Lemigas

Tabel.4.5 Sifat-sifat fisika DME

No.	Karakteristik	Satuan	Sampel DME	Batasan		metode uji	
				Min	max	ASTM	Lain
1	specific gravity	-	0,74	to be reported		D-1657	-
2	vapour pressure @ 100 oF	Psig	110	-	145	D-1267	-
3	wheatering test @ 36 oF	% vol.	99,95	95	-	D-1837	-
4	copper Corrosion 1 hour		1a	ASTM No.1		D-1838	-
5	Total Sulphur	grain/100cuft	1,13	-	15	D-2784	-
6	Water Content		No free water	No free water		-	Visual
7	Composition : DME	% vol.	99,96	-	-	D-2163	

Sumber :PPPTMGB Lemigas

4.2 Desain Peralatan

Pada percobaan ini digunakan alat dan perlengkapan berupa kompor gas yang biasa digunakan tukang gorengan atau tukang nasi goreng, *Stack Gas Sampler* (SGS) yang digunakan untuk menarik gas agar melewati larutan penyerap, flowmeter untuk mengukur laju alir gas yang mengalir menuju kompor, cerobong yang berguna sebagai jalur tempat keluarnya gas emisi menuju atmosfer, barometer, termohigrometer, *gas analyzer* serta meja sebagai tempat diletakkannya kompor.



Gambar 4.2 Kompor Gas

Dalam percobaan digunakan meja setinggi 1 meter. Hal ini disesuaikan pada perilaku masyarakat yang meletakkan kompor gas di atas meja atau penyangga yang tingginya sekitar 1 meter.

Cerobong yang digunakan terbuat dari seng yang berbentuk seperti balok yang kosong tengahnya dengan panjang sisi-sisinya 35 cm. Nyala api yang terbentuk pada kompor memiliki diameter sekitar 10-15 cm. Dengan panjang sisi cerobong 35 cm, maka masih menyisakan jarak sepanjang kurang lebih 10 cm antara nyala api dengan sisi cerobong, sehingga kontak langsung antara api dan sisi cerobong dapat dihindari.

Cerobong tersebut dilengkapi dengan lubang sampling berbentuk lingkaran dengan diameter 10 cm pada ketinggian 1 meter dari dasar cerobong. Sehingga total ketinggian titik sampling adalah 2 meter dari tanah/lantai. Ada dua alasan mengapa pemilihan tinggi titik sampling tersebut dipilih, yang pertama yaitu tujuan dalam percobaan ini ingin mengetahui dampak gas emisi yang dihasilkan dari pembakaran pada kompor terhadap manusia, terutama pada pengguna kompor. Rata-rata tinggi orang dewasa sekitar 1,5 meter hingga 2 meter, dimana letak saluran pernapasan tempat masuknya gas emisi ke dalam tubuh melalui hidung berada pada ketinggian tersebut sehingga dipilih lah ketinggian tersebut. Yang kedua adalah dengan ketinggian tersebut akan memudahkan peneliti dalam mengambil sampel gas emisi.

Pada percobaan ini tempat terjadinya proses pembakaran berada di kompor sehingga pembakaran yang terjadi termasuk dalam jenis pembakaran luar (*external combustion*). Pembakaran merupakan suatu runutan reaksi kimia antara

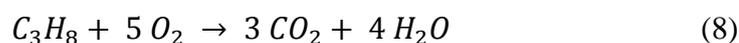
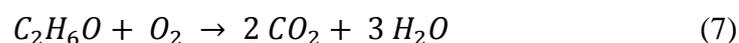
suatu bahan bakar dan suatu oksidan, disertai dengan produksi panas yang kadang disertai cahaya dalam bentuk pendar atau api.

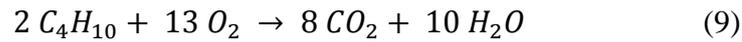


Gambar 4.3 Proses Pengambilan Sampel Gas Emisi

Nyala api berdasarkan metode pencampuran dari reaktan dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu nyala api *premix* dan nyala api difusi. Pada pembakaran *premixed*, bahan bakar gas dan oksidan secara sempurna dicampur terlebih dahulu sebelum pengapian (*ignition*). Sedangkan pada pembakaran *Diffusion Flame*, bahan bakar dan oksidan (udara) pada awalnya terpisah. Pembakaran akan berlangsung pada daerah dimana bahan bakar dan udara kemudian bercampur. Aliran bahan bakar yang keluar dari ujung nosel akan bercampur dengan udara secara difusi. Jika diberi pengapian campuran ini akan terbakar bila konsentrasi bahan bakar dan udara terdapat dalam jangkauan batas nyalanya (*flammability limit*). Karena pada percobaan ini bahan bakar gas dan oksidan tidak dicampur terlebih dahulu sebelum pengapian, maka nyala api yang dihasilkan termasuk kedalam jenis nyala difusi.

Dalam pembakaran reaksi yang terjadi adalah reaksi oksidasi. Berikut adalah reaksi pembakaran DME dan LPG yang terjadi :





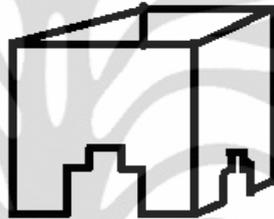
Yang perlu diperhatikan agar suatu gas dapat terbakar adalah batas-batas konsentrasi suatu gas di udara, yang diperlukan untuk terpicu dan terbakar (*flammability limit*). Setiap gas memiliki dua ambang pembakaran, yaitu ambang pembakaran bawah (*lower flammability limit*, LFL) dan ambang pembakaran atas (*upper flammability limit*, UFL). Jika konsentrasi gas tersebut berada dibawah LFL, maka ledakan tidak akan terjadi karena kurangnya bahan bakar. Jika konsentrasi berada diatas UEL, maka tidak tersedia cukup oksigen untuk memulai reaksi. Flammability dari propana, butana dan DME dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6 Flammability untuk campuran dengan udara pada 1 atm

Bahan bakar	Lower limit (% volume)	Upper limit (% volume)
DME	3,4	27
Propane	2,2	9,5
Butane	1,9	8,5

Agar proses pembakaran dalam percobaan ini dapat terjadi, maka dilakukan optimasi lubang masuknya oksigen pada dasar cerobong. Kompor memiliki tinggi 14 cm. Bagian dasar cerobong diberi lubang berbentuk persegi panjang agar oksigen dapat masuk ke dalam cerobong. Dalam percobaan pembakaran LPG 80% : DME 20%, pertama-tama lubang yang dibuat berukuran panjang 15 cm dengan tinggi 5 cm. Setelah kran gas dibuka pada kecepatan laju alir 5 lt/menit dan diberi api pada sisi kompor dengan menggunakan korek api ternyata tidak terjadi pembakaran. Hal ini disebabkan karena kandungan

oksigen/udara kurang atau dengan kata lain konsentrasi gas bahan bakar melebihi *upper flammability limit*. Kemudian tinggi lubang ditambah menjadi 10 cm. Awalnya api menyala namun beberapa detik kemudian api tersebut padam. Hal ini masih mengindikasikan bahwa kandungan oksigen/udara masih kurang. Kemudian ukuran lubang ditambah seluas 40 cm^2 dengan ukuran $5 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$. Pada ukuran lubang tersebut api dapat menyala. Dengan tinggi kompor 14 cm dan panjang sisi-sisi cerobong 35 cm, luas lubang pada sisi-sisi bagian bawah cerobong sebesar 190 cm^2 dapat memenuhi *flammability limit* dari LPG dan DME.



Gambar 4.4 Bentuk Lubang Pada Dasar Cerobong

Tabel 4.7 Ukuran Lubang Pada Sisi Bagian Bawah Cerobong

Ukuran lubang pada sisi bagian bawah cerobong Panajng (cm) x tinggi (cm)	kondisi pembakaran
15 x 5	api tidak menyala
15x 10	api menyala sesaat kemudian padam
$(15 \times 10) + (5 \times 8)$	api dapat menyala

4.3 Pengambilan Sampel Gas Emisi

Pada proses pengambilan sampel gas emisi ini, gas-gas yang dianalisa adalah gas SO_x , NO_x dan CO dari masing-masing gas campuran LPG-DME. Untuk uji emisi gas SO_x dan NO_x , digunakan sampel gas dengan variasi % volume 100%LPG, 90%LPG:10%DME, 80%LPG:20%DME, 65%LPG:35%DME, dan 50%LPG:50%DME. Sedangkan untuk uji emisi gas CO

digunakan sampel gas dengan variasi % berat 100%LPG, 90%LPG:10%DME, 80%LPG:20%DME, 70%LPG: 30%DME, serta 60%LPG:40%DME.

4.3.1 Sampel Gas Emisi SO_x

Metode yang digunakan dalam pengujian sampel gas emisi SO_x adalah turbidimetri menggunakan spektrofotometer UV-vis. Standar acuan yang digunakan yaitu SNI 19-7117.3.1-2005. Pengambilan gas SO_x dilakukan dengan menggunakan alat *Gas stack Sampler* (SGS). Gas disedot oleh pompa yang terdapat pada alat SGS sehingga gas tersebut melewati probe yang dipanaskan dengan suhu 120 °C lalu melewati saringan udara kemudian melewati larutan penyerap (*absorber*).

Sulfur ,sebagai pengotor dalam bahan bakar, akan diubah selama proses pembakaran. Sekitar 98% dari sulfur menjadi SO₂ dan sisanya sebagai SO₃. Reaksi terbentuknya SO₂ dan SO₃ dapat dilihat pada reaksi no(4) dan (5).

Pada saat pengambilan sampel gas emisi, peralatan sampling probe dipanaskan hingga suhu 120 °C. Hal tersebut bertujuan agar gas yang disedot menuju larutan absorber tidak terkondensasi (berada pada kondisi gas). Pada penangkapan gas SO_x digunakan larutan penangkap yaitu H₂O₂ 3 %. Larutan tersebut akan merubah gas SO₂ menjadi H₂SO₄ dengan reaksi sebagai berikut :



Ion sulfat yang terbentuk dalam larutan absorber direaksikan dengan BaCl₂ membentuk suspensi Barium Sulfat dengan rekasi sebagai berikut :



Penambahan *conditioning reagent* ke dalam sampel ataupun standar berfungsi untuk menstabilkan suspensi. Suspensi barium sulfat yang terbentuk diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 430 nm.

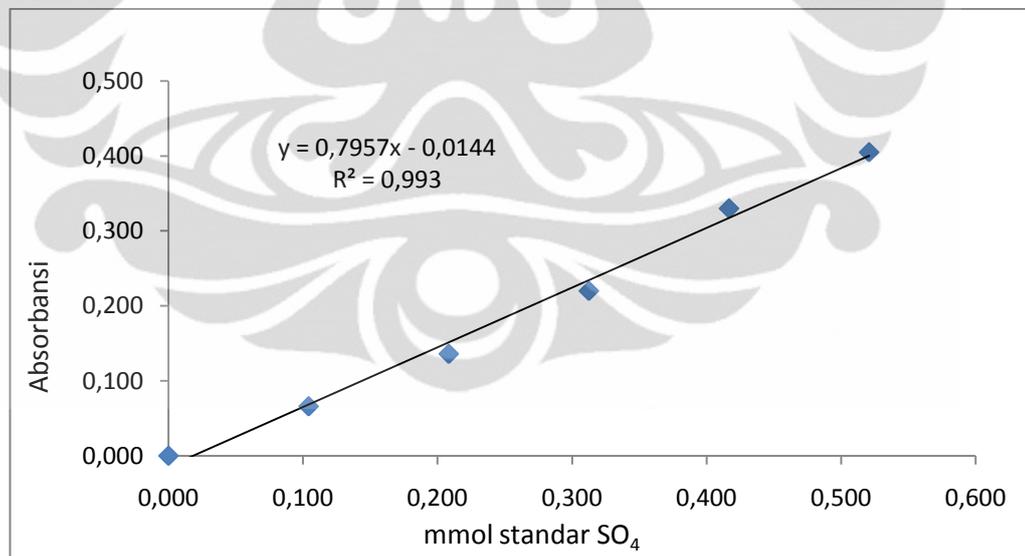
Untuk membuat kurva kalibrasi dipipet 1ml ; 2ml; 3ml; 4ml; dan 5ml larutan standar SO₄ 1000 µg/ml ke dalam labu takar 100 ml sehingga didapat deret standar SO₄ dalam mmol yang dapat dilihat pada tabel 4.4.

Setelah menambahkan *conditioning reagen* dan BaCl_2 kedalam masing-masing larutan standar, kemudian dikocok dengan *magnetic stirrer*, maka didapat hasil pembacaan spektrofotometer pada panjang gelombang 420 nm dengan nilai absorbansi dari setiap larutan standar yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.8 Absorbansi Larutan Standar SO_4

vol. Standar induk SO_4 yang dipipet (ml)	standar SO_4 (10^{-1} mmol)	Absorbansi
0	0,000	0,000
1	0,104	0,066
2	0,208	0,136
3	0,313	0,220
4	0,417	0,330
5	0,521	0,405

Dari data di atas dibuat grafik dimana mmol SO_4 sebagai sumbu X dan nilai absorbansi sebagai sumbu Y, sehingga di dapat kurva seperti dibawah ini.



Gambar 4.5 Kurva kalibrasi SO_4

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa semakin banyak kandungan SO_4 dalam larutan standar maka nilai absorbansinya pun semakin besar.

Saat melakukan percobaan pengambilan contoh emisi gas SO_2 didapat data sebagai berikut :

Tabel 4.9 Data Volume Gas Emisi SO_x

Sampel (%LPG: %DME)	v * (liter)	t (°C)	P _v (mmHg)	P _a (mmHg)	P _m (mmHg)	V _s (liter)
100:0	18,835	79	68,3	769	712,678	29,654
90:10	18,835	72	61,5	769	712,678	30,401
80:20	18,835	68	55,3	769	712,678	30,892
65:35	18,835	69	71,9	769	712,678	30,443
50:50	18,835	68	68,3	769	712,678	30,611

* = volume gas pada skala 20 float berwarna hitam (pada flowmeter) dalam waktu 10 menit

Keterangan :

P_a = tekanan atmosfer di udara dari pembacaan alat barometer (mmHg)

p_m = tekanan manometer yang ada dalam alat SGS dari Flowmeter (mmHg) sewaktu melakukan sampling.

P_v = tekanan uap jenuh pada temperatur gas dari Stack (mmHg).

°t = suhu gas dari Stack yang dibaca menggunakan dengan alat thermo sensor dari alat (°c).

kemudian mengukur kadar gas SO_x yang terdapat pada sampel gas LPG-DME dengan menggunakan spektrofotometer sehingga didapat data sebagai berikut :

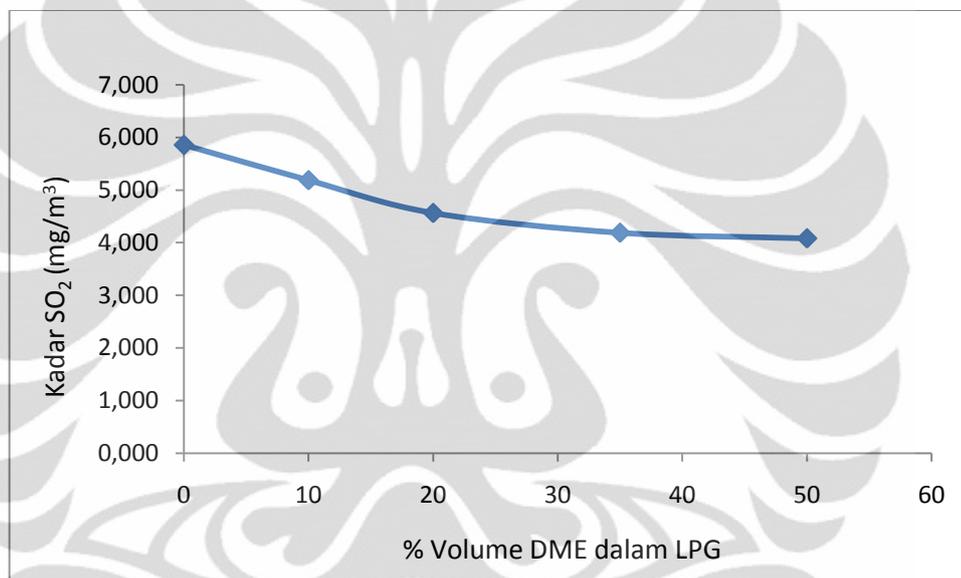
Tabel 4.10 Konsentrasi Gas SO₄ Pada Sampel Gas LPG-DME

sampel (%LPG:% DME)	absorbansi	Konsentrasi SO ₄ (10 ⁻¹ mmol)
100:0	0,007	0,0271
90:10	0,005	0,0246
80:20	0,003	0,0220
65:35	0,001	0,0199
50:50	0,001	0,0195

Dengan menggunakan rumus mmol SO₂ Didapat data sbb :

Tabel 4.11 Kadar SO₂ pada Sampel Gas LPG-DME

sampel (% DME)	absorbansi	Konsentrasi SO ₄ (10 ⁻¹ mmol)	Vs (liter)	kadar SO ₂ (mg/m ³)	kadar SO ₂ (ppm)
0	0,007	0,0271	29,654	5,858	2,238
10	0,005	0,0246	30,401	5,187	1,982
20	0,003	0,0220	30,892	4,565	1,744
35	0,001	0,0199	30,443	4,190	1,601
50	0,001	0,0195	30,611	4,083	1,560

**Gambar 4.6** Kurva % Volume DME Vs Kadar Gas Emisi SO₂

Dari grafik di atas terlihat bahwa semakin besar kandungan DME dalam LPG maka semakin kecil gas SO_x yang terbentuk. Pembentukan gas SO_x dipengaruhi oleh ada tidaknya kandungan sulfur di dalam bahan bakar (*fuel*). LPG yang berasal dari minyak bumi biasanya mengandung sulfur sebagai zat pengotornya. Berdasarkan data sifat fisik gas DME dari BPPT LEMIGAS, Kandungan sulfur pada DME 1,13 grain/cuft dan kandungan sulfur pada gas LPG adalah sebesar 2,21 grain/cuft. Sedangkan kandungan sulfur pada campuran gas 80% LPG : 20% DME adalah sebesar 1,61 grain/cuft (lihat tabel. 4.3-4.5). Hal tersebut menunjukkan bahwa kandungan sulfur pada LPG 100% paling besar jika dibandingkan dengan DME dan campuran LPG dengan DME.

4.3.2 Sampel Gas Emisi NO_x

Metode yang digunakan dalam pengujian sampel gas emisi NO_x adalah *phenol disulfonic acid* menggunakan spektrofotometer UV-vis. Standar acuan yang digunakan yaitu SNI 19-7117.5-2005. Pengambilan gas NO_x dilakukan dengan menggunakan alat *Gas stack Sampler* (SGS) dengan pompa luar. Gas disedot dengan pompa sehingga gas tersebut melewati probe yang dipanaskan dengan suhu 120 °C lalu melewati saringan udara kemudian melewati labu bulat yang berisi larutan penyerap (*absorber*).

Senyawa oksida-oksida nitrogen (NO_x) yang terdiri dari gas NO dan NO₂ yang dihasilkan dari proses pembakaran dan proses oksidasi nitrogen. Pembentukan NO dan NO₂ mencakup reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara sehingga membentuk NO, kemudian reaksi selanjutnya antara NO dengan lebih banyak oksigen membentuk NO₂. Persamaan reaksinya dapat dilihat pada reaksi no. (6) dan (7).

Labu bulat yang berisi larutan penyerap H₂SO₄ (3 + 997) + H₂O₂ 3% divakumkan menggunakan pompa luar. Setelah labu dalam keadaan vakum, labu tersebut dihubungkan dengan selang yang menuju *probe*, lalu labu bulat tersebut dibuka sehingga gas mengalir ke dalam labu. Gas emisi dapat masuk ke dalam labu setelah divakumkan. Hal tersebut mengikuti prinsip gas, dimana gas akan bergerak dari tempat yang bertekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah. Saat labu bulat divakumkan berarti ada pengurangan tekanan di dalam labu bulat tersebut. Setelah itu labu disimpan selama satu malam kemudian dilakukan analisa. Hal tersebut dilakukan karena reaksi yang terjadi antara H₂O₂ dengan gas NO_x berlangsung lambat. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Larutan sampel yang mengandung nitrat dibuat sedikit basa dan diuapkan sampai kering hingga terbentuk endapan. Endapan tersebut dilarutkan dengan penambahan *fenol disulfonic acid* sehingga terbentuk *nitrofenol disulfonic acid*. Ketika dibuat sedikit basa maka *nitrofenol disulfonic* akan membentuk warna

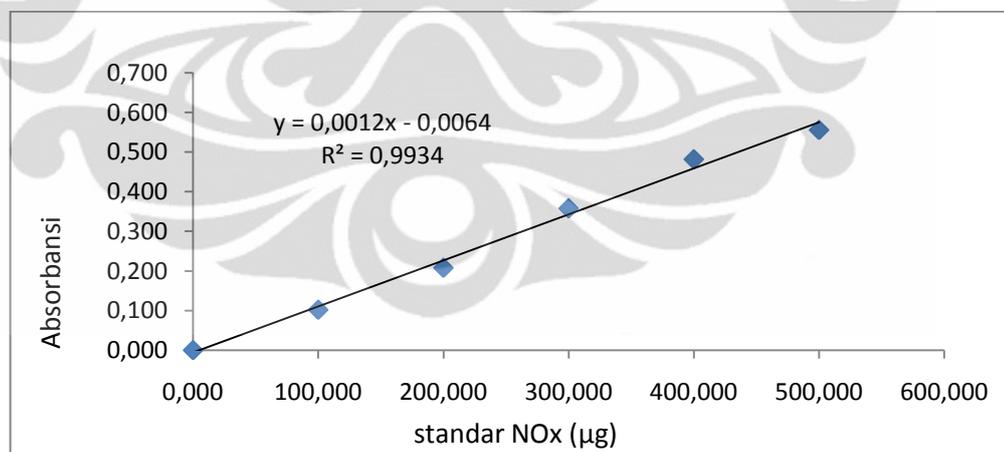
kuning yang kemudian diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 405 nm.

Untuk membuat kurva kalibrasi dipipet 0ml; 1ml ; 2ml; 3ml; 4ml; dan 5ml larutan standar NO₂ 100 µg/ml ke dalam labu ukur 100 ml. Sehingga dalam setiap labu ukur 100 ml tersebut mengandung masing-masing 0; 100; 200; 300; 400; 500 µg NO₂.

Dari hasil pengukuran spektrofotometer didapat data kurva kalibrasi NO₂ sebagai berikut:

Tabel 4.12 Absorbansi standar NO_x

vol. Standar induk Nox yang dipipet (ml)	standar Nox µg	Absorbansi
0	0,000	0,000
1	100,000	0,102
2	200,000	0,208
3	300,000	0,358
4	400,000	0,482
5	500,000	0,556



Gambar 4.7 Kurva Kalibrasi NO_x

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa semakin banyak kandungan NO_x dalam larutan standar maka nilai absorbansinya pun semakin besar.

Saat melakukan percobaan pengambilan contoh emisi gas NO₂, didapat data temperatur ruang saat pemvakuman (Ti), tekanan udara saat pemvakuman

(Pi), suhu (Tf) dan tekanan (Pf) setelah sampling, data tekanan uap air jenuh (Pn) dan Volume gas yang disampling (V). Data selengkapnya sebagai berikut :

Tabel 4.13 Volume Sampel Gas Emisi NOx

sampel (%LPG: %DME)	v (ml)	Ti (K)	Pi (mmHg)	Pni (mmHg)	Tf (K)	Pf (mmHg)	Pnf (mmHg)	Vs (ml)
100:0	1005	303	42	31,8	305,9	760	36,7	918,502
90:10	1005	303,4	40	31,8	305,8	760	36,7	921,422
80:20	1005	303,3	41	31,8	305,7	760	36,7	920,424
65:35	1005	303	42	31,8	305,9	760	36,7	918,502

Setelah melakukan sampling gas emisi kemudian mengukur gas emisi tersebut dengan spektrofotometer, didapat data sebagai berikut :

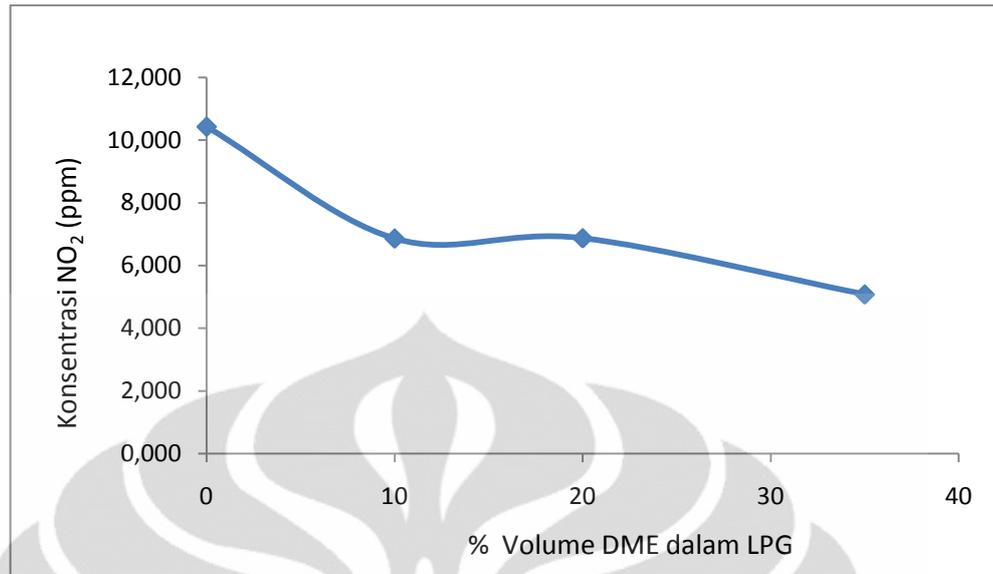
Tabel 4.14 Kadar NO₂ Dalam Larutan Penyerap

sampel (%LPG:% DME)	Absorbansi	NO2 (μg)
100:0	0,017	18,000
90:10	0,009	11,846
80:20	0,009	11,888
65:35	0,005	8,769

Dengan menggunakan rumus kadar ppm NOx maka didapat kadar NOx dari masing-masing gas sebagai berikut

Tabel 4.15 Kadar Gas NO₂ pada Sampel Gas LPG-DME

Sampel (% DME)	Absorbansi	NO2 (μg)	NO2 (ppm)
0	0,017	18,000	10,425
10	0,009	11,846	6,861
20	0,009	11,888	6,870
35	0,005	8,769	5,079



Gambar 4.8 Kurva % Volume DME dalam LPG Vs Konsentrasi NO₂

Pembentukan gas NO_x membutuhkan sumber nitrogen (N), dua sumber nitrogen yaitu :

- Molekul Nitrogen dari udara



Reaksi diatas dapat terjadi saat keadaan oksigen berlebih.

- Nitrogen terikat dalam bahan bakar

Untuk menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi terbentuknya gas NO_x, maka digunakan teori dari Westenberg (1971) yang mengatakan bahwa dalam keadaan steady state, kecepatan pembentukan NO ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{d[NO]}{dt} = 1,45 \times 10^{17} T^{-1/2} \exp \left[\frac{-69460}{T(K)} \right] [O_2]_{aq}^{1/2} \cdot [O_2]_{aq} \text{ mol/cm}^3 \cdot s$$

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur maka makin bnyak NO yang terbentuk. Semakin besar jumlah konsentrasi O₂ , maka makin banyak NO yang terbentuk.

Dari grafik 4.7 diatas dapat disimpulkan bahwa pada pembakaran LPG 100 % dapat menghasilkan emisi gas NOx yang paling tinggi dibandingkan dengan campuran gas LPG-DME. Hal ini berarti mengindikasikan bahwa panas pembakaran yang terjadi dari pembakaran gas LPG 100% lebih tinggi dari pada panas pembakaran yang terjadi dari pembakaran campuran gas LPG-DME, sehingga gas NOx yang terbentuk semakin banyak. Hal tersebut disebabkan karena DME memiliki nilai kalori yang lebih rendah (28,41 MJ/kg) dibandingkan dengan LPG (50,06 MJ/kg). Selain itu adanya kemungkinan terdapatnya *impurities* unsur N pada gas LPG yang lebih besar dibandingkan dengan DME, Sehingga emisi gas NOx pada LPG 100% semakin besar.

4.3.3 Sampel Gas Emisi CO

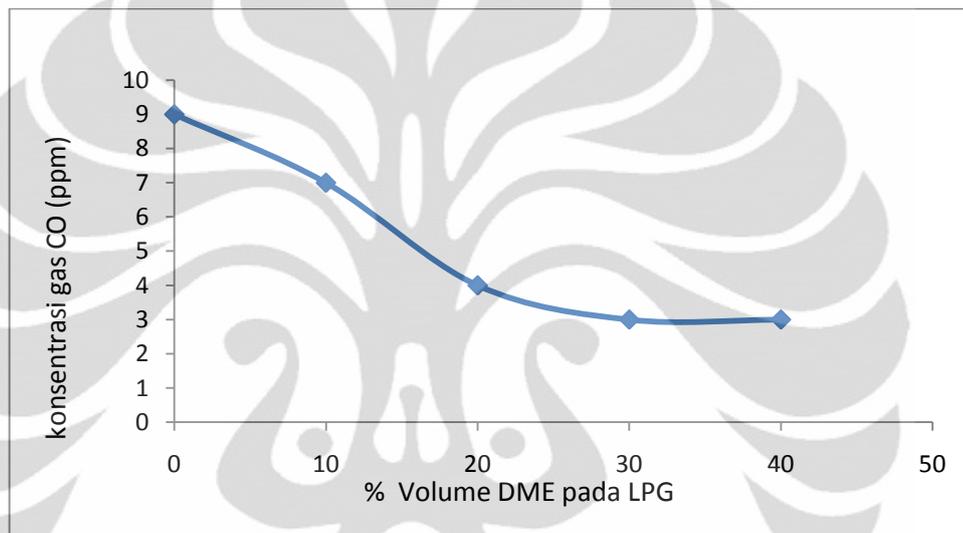
Analisa gas CO ini menggunakan *gas analyzer* dengan menggunakan sensor elektrokimia. Sensor elektrokimia beroperasi dengan bereaksi dengan gas dan menghasilkan sinyal listrik yang sebanding dengan konsentrasi gas. Gas yang datang akan melalui lubang kapiler yang kecil dan kemudian berdifusi melalui membran hidrofobik dan akhirnya mencapai permukaan elektroda. Gas yang berdifusi melalui pembatas hidrofobik bereaksi pada permukaan elektroda *sensing* sebagai mekanisme reaksi oksidasi atau reduksi. Reaksi ini menyebabkan potensi elektroda naik atau turun yang akan direspon oleh elektroda *counter*. Dengan resistor yang terhubung melintasi elektroda, arus yang terjadi *proporsional* dengan konsentrasi gas yang mengalir diantara anoda dan katoda. Reaksi reduksi oksidasi yang terjadi pada gas CO adalah sebagai berikut :



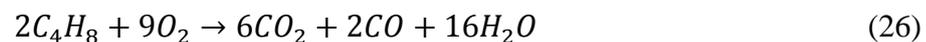
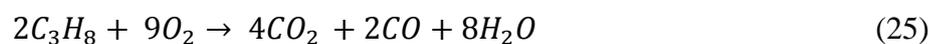
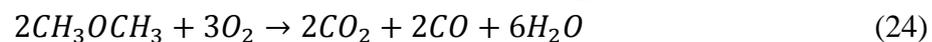
Dari hasil pengujian didapat data emisi gas co sebagai berikut:

Tabel 4.16 Hasil Uji Gas Emisi CO

Sampel (% LPG: % DME)	kadar gas CO (ppm)
100-0	9
90-10	7
80-20	4
70-30	3
60-40	3

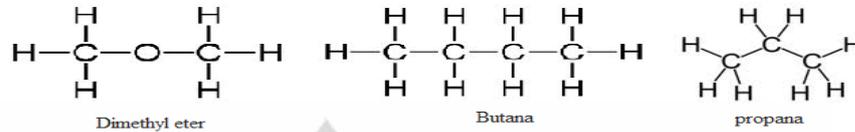
**Gambar 4.9** Kurva % DME Dalam LPG Vs Konsentrasi Gas CO

Dari data di atas dapat dilihat bahwa semakin banyak kandungan DME pada LPG maka emisi gas CO yang dihasilkan dari proses pembakaran akan berkurang. Reaksi yang terjadi sebagai berikut :



Karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran tak sempurna dari senyawa karbon yang terjadi pada proses pembakaran. Karbon monoksida terbentuk apabila terdapat kekurangan oksigen dalam proses pembakaran. (wikipedia)

Dilihat dari rumus kimia masing-masing gas, gas DME memiliki rumus kimia $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$ dan LPG memiliki rumus kimia C_3H_8 (propana) dan C_4H_{10} (butana).



Gambar 4.10 struktur kimia DME dan LPG (propana & butana)

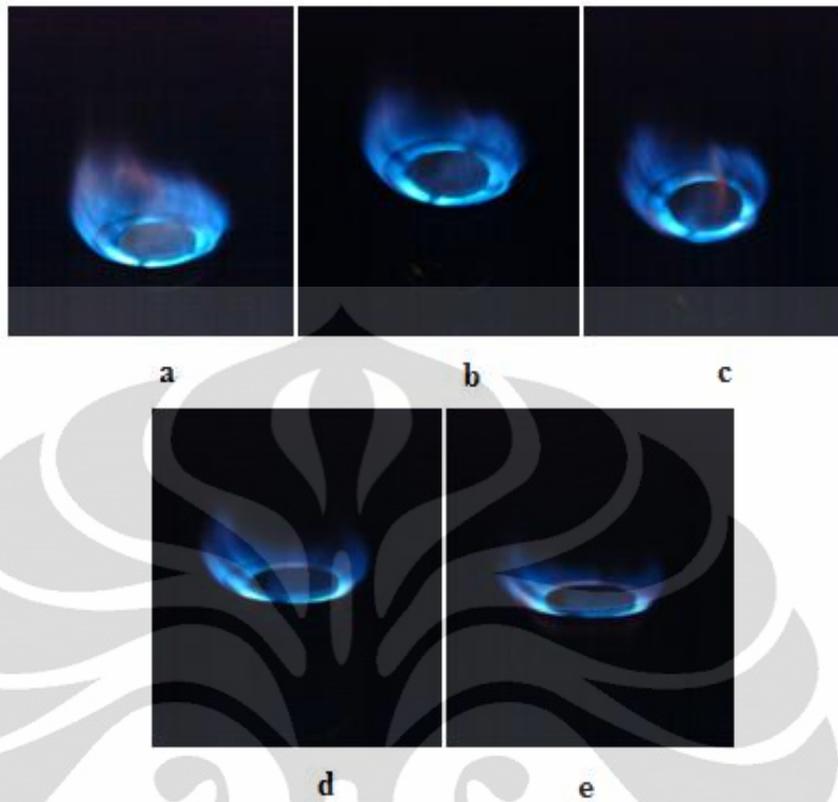
Berdasarkan struktur kimianya, DME memiliki kandungan unsur oksigen, (sekitar 35% berat) sehingga dapat mengurangi proses pembakaran tidak sempurna akibat kekurangan oksigen. Oleh sebab itulah emisi gas CO yang dihasilkan dari proses pembakaran campuran LPG-DME lebih rendah dibandingkan gas LPG 100%.

4.4 Nyala Api

Nyala api dari masing-masing gas dapat dilihat pada gambar 4.10. Dilihat secara visual oleh mata dapat diketahui bahwa nyala api yang dihasilkan Oleh campuran gas LPG dan DME lebih biru dibandingkan dengan gas LPG 100% . Pada nyala api gas LPG 100% terdapat warna kuning diujung lidah api.

Hal ini menunjukkan bahwa pembakaran yang terjadi pada campuran LPG-DME lebih sempurna dibandingkan pembakaran yang terjadi pada LPG 100%. Kandungan unsur O yang terdapat pada DME membuat nyala api lebih sempurna karena pasokan oksigen yang lebih banyak. Ketika partikel-partikel karbon yang berpendar mencapai bagian puncak nyala, hampir semuanya mendapatkan oksigen yang memadai untuk terbakar.

Warna kuning yang timbul pada nyala api disebabkan karena udara tidak dapat mengalir cukup cepat untuk membuat bahan bakar terbakar seluruhnya menjadi karbon dioksida dan air. Di bawah pengaruh panas, sebagian paraffin yang tidak terbakar terurai, antara lain menjadi partikel-partikel karbon sangat kecil. Partikel-partikel ini, karena panas dari pembakaran menjadi berpendar, membara dengan cahaya berwarna kuning benderang.



Gambar 4.11 a.nyala api LPG 100%, b.nyala api DME 10%, c.nyala api DME 20%, d.nyala api DME 35% dan e.nyala api DME 50%.

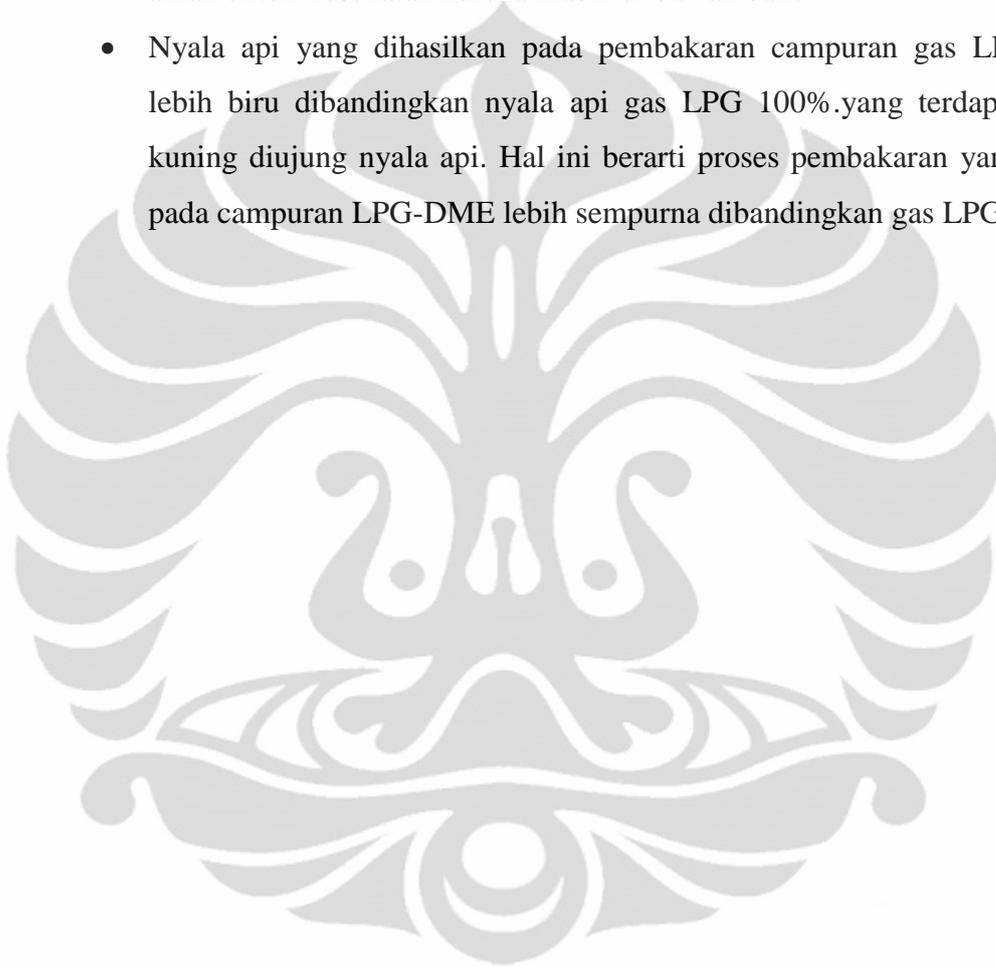
BAB V KESIMPULAN

Dari penelitian tentang efek penambahan DME pada LPG terhadap emisi gas buang yang dihasilkan dari proses pembakara pada kompor diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Gas LPG dan DME dapat diblending dan ditempatkan pada tabung LPG karena LPG dan DME memiliki titik didih yang mirip. Semakin besar jumlah DME pada LPG akan membuat gas campuran LPG-DME semakin berat pada volume yang sama. Pada 10 liter campuran gas LPG 90% : DME 10 % memiliki berat 5,07 kg sedangkan pada 10 liter campuran gas LPG 90% : DME 10% memiliki bobot 5,24 kg. Terjadi peningkatan sebesar 3,35 %
- Berdasarkan hasil analisis gas SO_x pada sampel gas LPG dan Campuran gas LPG-DME menunjukan bahwa semakin banyak kandungan DME pada gas LPG maka jumlah emisi gas SO_x yang dihasilkan semakin berkurang. Pada LPG 100% emisi gas SO_x yang dihasilkan sebesar 5,85 mg/m³, sedangkan pada campuran LPG 90% :DME 10%, LPG 80% :DME 20%, LPG 65% :DME 35%, dan LPG 50% :DME 50%, emisi SO_x yang dihasilkan masing-masing sebesar 5,187; 4,565; 4,190; dan 4,083 mg/m³.
- Hasil analisis gas emisi NO_x pada LPG dan campuran gas LPG-DME menunjukan bahwa semakin banyak kandungan DME pada gas LPG maka jumlah emisi gas NO_x yang dihasilkan semakin sedikit. Pada LPG 100% emisi gas NO_x yang dihasilkan sebesar 18 ppm, sedangkan pada campuran LPG 90% :DME 10%, LPG 80% :DME 20%, LPG 65% :DME 35%, dan LPG 50% :DME 50%, emisi SO_x yang dihasilkan masing-masing sebesar ppm 10,425; 6,681; 6,870; dan 5,079 ppm
- Hasil analisis gas CO pada LPG dan campuran gas LPG-DME menunjukan bahwa semakin banyak kandungan DME pada gas LPG maka jumlah emis gas CO yang dihasilkan semakin sedikit. Pada LPG 100%

emisi gas CO yang dihasilkan sebesar 9 ppm, sedangkan pada campuran LPG 90% :DME 10%, LPG 80% :DME 20%, LPG 70% :DME 30%, dan LPG 60% :DME 60%, emisi CO yang dihasilkan sebesar 7; 4; 3; dan 3 ppm.

- Gas emisi SO_x, NO_x, dan CO yang dihasilkan pada percobaan ini masih aman untuk kesehatan karena masih di bawah baku.
- Nyala api yang dihasilkan pada pembakaran campuran gas LPG-DME lebih biru dibandingkan nyala api gas LPG 100%. yang terdapat warna kuning diujung nyala api. Hal ini berarti proses pembakaran yang terjadi pada campuran LPG-DME lebih sempurna dibandingkan gas LPG 100 %.



DAFTAR PUSTAKA

- Anam, Ahsonul. (n.d).jurnal teknologu volume .1 No.7.2008. *Dimethyl Eter Dari Batubara Sebagai Bahan Bakar Gas Alternatif Selain LPG.*
- Aptogazindonesia. (2010). *About LP*. <http://aptogaz.wordpress.com/lpg/about-lpg/>
- BAPEDAL. (1999). *Badan Pengendalian Dampak Lingkungan*. Catatan Kursus pengelolaan Kualitas Udara. Jakarta
- Barry, R.G. 1969. Precipitation. In Richard, J.G. (Ed.). *Introduction to Physica Hydrology*. Methuen and Co. Ltd., Bungay Sufflok
- BPPT. (2009). *Pemanfaatan Dimethyl Eter(DME) sebagai bahan pengganti LPG pada penggunaan Kompor Rumah Tangga*. BPPT Annual Report 2009.
- Depkes. (n.d). *Parameter pencemaran Udara dan dampaknya terhadap kesehatan*. www.depkes.go.id/downloads/Udara.PDF
- Gentur Putro Jati .(2009). *Pertamina hanya sebagai pembeli*. <http://www.kontan.co.id/index.php/news/20429>
- Japan DME Forum. (2007). *DME handbook*. Japan :Ohmsha,Ltd.
- Jati, Gentur Putro. (2009) *.Pertamina hanya sebagai pembeli*. <http://www.kontan.co.id/index.php/news/20429>
- Kadarwati, Sri. (2010). Kajian Penerapan SNI 7368:2007 Syarat Mutu Kompor Gas LPG Dan SNI Terkait Lainnya Untuk Bahan Bakar Dimethyl Ether (DME). *Jurnal Standarisasi* vol.12 No.2 tahun 2010.

Laksana, yan provinta. (2010). *Menguak Rahasia Sumber Energi Masa Depan Bag. 2 (Dimethyl Ether)*.

<http://green.kompasiana.com/iklim/2010/08/22/menguak-rahasia-sumber-energi-masa-depan-bag-2-dimethyl-ether/>

LEMIGAS dan PT. Pertamina.(2009). *Kajian Pengujian Karakteristik Dan Kinerja DME dan LPG mix DME Sebagai Substitusi LPG dan Blended LPG Pada Penggunaan Kompor Rumah tangga*. Jakarta :Author.

M.Marchionna et al. (2008). Fundamental Investigations on di-methyl ether (DME) as LPG Substitute or Make-Up for Domestic Uses. *Fuel Processing Technology* 89.1255-1261

Pertamina. (2009) . *Program Konversi Minyak Tanah ke LPG*.
<http://blog.unila.ac.id/redha/2009/11/19/program-nasional-konversi-minyak-tanah-ke-lpg/>

S.Lee, S.Oh, Y.Choi, K.Kang. (2011). Effect of n-Butane and Propane on Performance and Emission Characteristic of an SI Engine Operated with DME-blended LPG Fuel. *Fuel* 90. 1678-1680

S.Lee, S.Oh, Y.Choi, K.Kang. (2011). Performance and Emission Characteristics of a CI Engine Operated with n-Butane Blended DME Fuel. *Applied Thermal Engineering* 31.1929-1935

Underwood.(1992). *Analisis kimia kuantitatif*. Erlangga. Bandung

United Nations Environment Programme (UNEP). (2006) . *Pedoman Efisiensi Energi Untuk Industri di Asia*. 16 juni, 2011.

<http://www.energyefficiencyasia.org>

WALHI Jabar. (Desember, 2007). *Advokasi Pencemaran Udara*.

<http://walhijabar.wordpress.com/2007/12/31/advokasi-pencemaran-udara-2/>

Wallace, J.M. and P.V. Hobbs. (1977). Atmospheric Science and Introductory Survey. Academic Press, London



LAMPIRAN

Lampiran 1

Perhitungan Berat LPG dan DME untuk *Blending*

Untuk menentukan berat LPG dan DME yang dibutuhkan untuk membuat campuran gas LPG-DME dengan komposisi tertentu maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Berat LPG atau DME} = \text{fraksi berat (LPG atau DME)} \times \rho \times \text{Volume}$$

Untuk membuat campuran gas 90% LPG:10% DME maka berat LPG dan DME yang dibutuhkan maka perhitungannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{berat LPG} &= 0,9 \times 0,49 \text{ g/cm}^3 \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ dm}^3} \times \frac{1 \text{ dm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \times 10 \text{ L} \\ &= 4,410 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{berat DME} &= 0,1 \times 0,66 \text{ g/cm}^3 \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ dm}^3} \times \frac{1 \text{ dm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \times 10 \text{ L} \\ &= 0,66 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Maka total berat LPG dan DME adalah sebesar 5,07 Kg.

Dengan menggunakan rumus diatas didapat data kebutuhan berat LPG dan DME sebagai berikut :

% LPG-DME	Berat (kg)		Total Berat LPG-DME mix (kg)
	LPG	DME	
90-10	4,410	0,660	5,070
80-20	3,920	1,320	5,240
70-30	3,430	1,980	5,410
65-35	3,185	2,310	5,495
60-40	2,940	2,640	5,580
50-50	2,450	3,300	5,750

Lampiran 2

Perhitungan Kadar SO_x pada sampel gas LPG-DME

a) Kurva kalibrasi gas SO_x

Untuk membuat kurva kalibrasi dipipet 1ml ; 2ml; 3ml; 4ml; dan 5ml lar standar SO_4 1000 $\mu\text{g/ml}$. Sehingga dapat nilai mmol SO_4 dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{mmol } SO_4 = \frac{\text{vol. lar. standar } SO_4 \text{ (ml)} \times \text{ppm lar. standar } SO_4 \text{ (}\mu\text{g / ml)}}{Mr \text{ } SO_4}$$

Contoh perhitungan mmol standar SO_4 :

$$\text{mmol } SO_4 = \frac{1\text{ml} \times 1000 \mu\text{g/ml}}{96 \text{ mg/mmol}} = 0,104 \times 10^{-1} \text{ mmol}$$

b) Kadar SO_x pada sampel gas LPG-DME

Untuk menghitung kadar SO_x sebagai SO_2 dengan menggunakan rumus :

$$\text{mmol } SO_2 = \text{mmol } SO_4 \times \frac{Mr \text{ } SO_2}{Mr \text{ } SO_4}$$

$$SO_2 \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{jumlah mmol } SO_2}{V_s} \times 64 \times 10^3$$

$$V_s = V \times \frac{298}{273 + ^\circ t} \times \frac{(P_a + P_m - P_v)}{760}$$

Keterangan :

V_s = jumlah volume contoh uji gas yang disampling (liter)

V = jumlah volume contoh uji gas selama disampling yang dibaca pada skala Flowmeter dikali dengan lamanya sampling (liter)

P_a = tekanan atmosfer diudara dari barometer (mmHg)

dimana : mmHg = 1,333mBar

p_m = tekanan gauge (manometer terbuka) yang ada dalam alat SGS dari Flowmeter (mmHg) sewaktu melakukan sampling.

P_v = tekanan uap jenuh pada temperatur gas dari Stack (mmHg), dapat dibaca pada tabel

$^{\circ}t$ = suhu gas dari Stack yang dibaca menggunakan dengan alat thermo sensor dari alat ($^{\circ}c$).

Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut.

Untuk LPG 100 % :

$$mmol SO_2 = 0,00271 mmol \times \frac{64}{96} = 0,0018 mmol$$

$$V_s = 18,835 \times \frac{298}{273 + 79} \times \frac{(769 + 712,618 - 68,3)}{760} = 29,654 l$$

$$SO_2 (mg/m^3) = \frac{0,0018}{29,654} \times 64 \times 10^3 = 5,858 mg/m^3$$

Lampiran 3

Perhitungan Kadar NO_x pada Sampel Gas LPG-DME

e) Menghitung volume gas yang ditangkap

$$V_s = (V - 25) \times \frac{298}{760} \times \left(\frac{P_f - P_{nf}}{273 + t_f} - \frac{P_i - P_{ni}}{273 + t_i} \right)$$

Dimana :

V_s = jumlah volume contoh uji gas yang disampling (liter)

V = Volume labu didih (ml)

25 = Volume reagen absorber (ml)

P_f = tekanan udara dalam labu bundar setelah sampling (mmHg)

P_{nf} = tekanan uap jenuh diukur pada t_f

P_i = tekanan udara dalam labu bundar sewaktu pem-vakuman (mmHg)

P_{ni} = tekanan uap jenuh diukur pada t_i

t_i = suhu udara pada waktu pem-vakuman ($^{\circ}\text{K}$)

t_f = suhu udara labu bundar pada waktu setelah sampling dilakukan ($^{\circ}\text{K}$)

f) Kadar NO_x pada sampel gas LPG-DME

Untuk menentukan kadar NO_x digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{ppm } \text{NO}_x = \frac{24,47}{46} \times \frac{\mu\text{g } \text{NO}_2 \text{ dari pembacaan spektro}}{V_s(\text{ml})} \times 1000$$

Contoh perhitungan untuk LPG 100 % :

Menghitung volume gas yang ditangkap :

$$V_s = (1030 - 25) \times \frac{298}{760} \times \left(\frac{760 - 36,7}{305,9} - \frac{42 - 31,8}{303} \right) = 918,502 \text{ ml}$$

$$\text{ppm } \text{NO}_x = \frac{24,47}{46} \times \frac{18,0 \mu\text{g}}{918,502 \text{ ml}} \times 1000 = 10,425 \text{ ppm}$$

Lampiran 4

Tekanan Uap Air Jenuh (mmhg)					
Suhu °C	Nilai Pv		Suhu °C	Nilai Pv	
	0	5		0	5
0	4,6	4,8			
1	4,7	5,1	31	33,7	34,7
2	4,8	5,5	32	35,7	36,7
3	4,9	5,9	33	37,7	38,8
4	4,10	6,3	34	39,9	41,0
5	4,11	6,8	35	42,2	43,4
6	4,12	7,3	36	44,6	45,8
7	4,13	7,8	37	47,1	48,4
8	4,14	8,3	38	49,7	51,1
9	4,15	8,9	39	52,5	53,9
10	4,16	9,5	40	55,3	56,8
11	4,17	10,2	41	58,4	59,9
12	4,18	10,9	42	61,5	63,1
13	4,19	11,6	43	64,8	66,5
14	4,20	12,4	44	68,3	70,1
15	4,21	13,2	45	71,9	73,7
16	4,22	14,1	46	75,7	77,6
17	4,23	15,0	47	79,6	81,6
18	4,24	16,0	48	83,7	85,8
19	4,25	17,0	49	88,0	90,2
20	4,26	18,1	50	92,5	94,8
21	4,27	19,2	51	97,2	99,6
22	4,28	20,4	52	102,1	104,6
23	4,29	21,7	53	107,2	109,8
24	4,30	23,1	54	112,5	115,2
25	4,31	24,5	55	118,0	120,9
26	4,32	26,0	56	123,8	126,7
27	4,33	27,5	57	130,8	132,9
28	4,34	29,2	58	136,0	139,2
29	4,35	30,9	59	142,5	145,9
30	4,36	32,8	60	149,3	152,8

keterangan:

Nilai 0 dan 5 pada kolom Pv menerangkan desimal kolom suhu seperti 12,0;12,1;12,2;12,3;12,4;dan12,5;12,6 dsb termasuk kolom nilai 5 pada kolom Pv.

sumber: steam Table from Perry's Chemical Engineering Handbook,1986.



Lampiran 5

**Kalibrasi Flowmeter Stack Gas Sampler Model EG-05C
Menggunakan Wet Test Meter Buatan Sinagawa - Jepang**

No.	Pembacaan Skala Flowmeter	Total Volume Udara (Liter) yang Diukur Selama		Keterangan
		5 menit	10 menit	
I. Float Berwarna Hitam (Gelas)				
	15	7,228	12,42	} Menggunakan Pompa Dalam (Internal Pump)
	20	11,658	18,835	
	30	17,624	30,266	
	40	24,426	44,241	
	50	31,271	62,128	
	60	36,195	72,163	
II. Float Berwarna Putih Metalik (Stainless Steel)				
	5	3,051	7,280	} Menggunakan Pompa Dalam (Internal Pump)
	10	13,342	28,372	
	20	31,271	56,482	
	30	44,744	96,339	
	40	58,818	113,200	
	80	101,608	206,388	} Menggunakan Pompa Luar (External Pump)
	85	112,052	215,210	

Keterangan :

1. Bilamana melakukan **sampling terhadap gas-gas emisi** dari cerobong industri sebaiknya gunakan SKALA 20 DENGAN FLOAT BERWARNA HITAM selama 5 menit maupun 10 menit. Pompa yang digunakan adalah **Pompa Dalam (Internal Pump)**. Ini sesuai dengan persyaratan Japan Industrial Standard (JIS) Tahun 1998.
2. Bilamana melakukan **sampling terhadap debu udara emisi** dari cerobong industri sebaiknya gunakan SKALA 80 atau 85 DENGAN FLOAT BERWARNA PUTIH METALIK selama 5 menit pada setiap TITIK LINTAS. Pompa yang digunakan adalah **Pompa Luar (External Pump)**. Ini sesuai dengan persyaratan Japan Industrial Standard (JIS) Tahun 1998. **Atau bisa juga menggunakan Skala lebih kecil dari Skala 80** dan pompa yang digunakan **Pompa Dalam** bergantung kepada perhitungan Q_m (kecepatan Isokinetik).
3. Pembacaan Skala pada Flowmeter didasarkan kepada posisi Bagian Tengah Float berada pada garis Skala.
4. Lakukan Kalibrasi Ulang minimal setiap satu (1) kali dalam setahun atau setiap ada perubahan pada alat Flowmeter.

Demikian Surat Keterangan ini kami buat dengan sesungguhnya. Semoga bermanfaat adanya. Terima kasih.

Bandung, 10 Februari 2011

Dikalibrasi secara internal Calibration oleh :

Drs. Ardeniswan, MT.
Pusat Penelitian Kimia – LIPI, Bandung