



**PENGARUH MOLARITAS KALIUM HIDROKSIDA
PADA *BROWN* GAS HASIL ELEKTROLISIS
TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI
(PADA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH)**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh
Mukhamad Bagus Setiawan
101910101032

**PROGRAM STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa penguasa alam semesta. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, tokoh revolusioner terbaik sepanjang masa, juga kepada para sahabat serta para penerus risalahnya hingga akhir zaman. Saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Kepada Allah SWT.
2. Rasulullah SAW. Terimakasih atas petunjuk dan keteladanan yang telah engkau berikan hingga jiwa ini penuh dengan keimanan dan perjuangan.
3. Ibu saya Mu'anah dan Ayah saya Mahmud tercinta yang dengan tulus hati merawat, mendidik, dan membimbing hingga kini. Kakak saya Eriek Mustaqim, adik-adik saya Mohammad Thariq Santriadi, Desy Putri Pungkassari, serta si kembar Rizquka Min Arba'ina dan Rizquka Min Arofah tersayang. Keluarga besar orang tua dan teman-teman semua. Terimakasih atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, doa, pengorbanan, motivasi dan bimbingan kalian semua demi terciptanya insan yang beriman, bertaqwa, berakhlak mulia, dan berguna bagi agama, bangsa, serta negara. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya serta membalas semua kebaikan yang telah kalian lakukan.
4. Semua staf pengajar dan staf tata usaha Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya terutama Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc., selaku dosen pembimbing utama, Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T., selaku dosen penguji I, dan Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T., selaku dosen penguji II.
5. Semua guruku dari Taman Kanak-kanak sampai Perguruan Tinggi, dari madrasah ibtidaiyah sampai Tarbiyah. Salam hormat saya, terimakasih telah memberikan ilmu, mendidik, dan membimbingku dengan penuh kesabaran. Almamaterku Universitas Jember dan seluruh teman-teman angkatan 2010 (Mech-X). Terimakasih atas semua dedikasi yang telah diberikan.

MOTTO

“Dan hendaklah ada di antara kamu segolongan umat yang menyeru kepada kebajikan, menyuruh (berbuat) kepada yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar. Dan mereka itulah orang-orang yang beruntung.”

(QS. Ali ‘Imran: 104)

“Berangkatlah kamu baik dengan rasa ringan maupun dengan rasa berat, dan berjihadlah dengan harta dan jiwamu di jalan Allah. Yang demikian itu adalah lebih baik bagimu jika kamu jika kamu mengetahui”

(QS. At-Taubah: 41)

“Wahai orang-orang yang beriman! Jika kamu menolong (agama) Allah, niscaya Dia akan menolongmu dan meneguhkan kedudukanmu.”

(QS. Muhammad: 7)

“Sebaik-baik manusia diantaramu adalah yang paling banyak manfaatnya bagi orang lain.”

(HR. Bukhari dan Muslim)

“Dalam setiap kebangkitan, pemuda ialah rahasia kekuatannya. Dalam setiap fikrah, pemuda ialah pengibar panji-panjinya.”

(Hasan al-Banna)

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : **Mukhamad Bagus Setiawan**

NIM : **101910101032**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “Pengaruh Molaritas Kalium Hidroksida pada *Brown* Gas Hasil Elektrolisis Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi (Pada Motor Bakar 4 Langkah)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggungjawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Mei 2015
Yang menyatakan,

Mukhamad Bagus Setiawan
NIM. 101910101032

SKRIPSI

**PENGARUH MOLARITAS KALIUM HIDROKSIDA
PADA *BROWN* GAS HASIL ELEKTROLISIS
TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI
(PADA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH)**

Oleh

Mukhamad Bagus Setiawan

NIM. 101910101032

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.

Dosen Pembimbing Anggota : Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*Pengaruh Molaritas Kalium Hidroksida pada Brown Gas Hasil Elektrolisis Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi (Pada Motor Bakar 4 Langkah)*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 28 April 2015

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.
NIP. 19680617 199501 1 001

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
NIP. 19681207 199512 1 002

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.
NIP. 19711114 199903 1 002

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.
NIP. 19600812 199802 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Ir. WidyonoHadi, M.T.
NIP. 19610414 198902 1 001

RINGKASAN

Pengaruh Molaritas Kalium Hidroksida pada Brown Gas Hasil Elektrolisis Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi (Pada Motor Bakar 4 Langkah); Mukhamad Bagus Setiawan, 101910101032: 91 Halaman; Program Studi Strata Satu Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Brown gas merupakan gas hasil elektrolisis air, yaitu proses pemisahan molekul H₂O dalam air menjadi gas hidrogen dan oksigen. Untuk mempercepat pemisahan molekul tersebut, digunakan katalis berupa Kalium Hidroksida (KOH). Penelitian ini fokus pada unjuk kerja dan emisi gas buang dari motor bakar 4 langkah yang telah diinjeksi *Brown* gas pada ruang pembakaran dengan variasi molaritas larutan KOH 2M, 3M, dan 4M pada putaran mesin 3.000 rpm sampai 8.000 rpm. Variasi molaritas bertujuan untuk memperbaiki unjuk kerja mesin dan emisi gas buang. Dengan meningkatnya *Brown* gas yang diinjeksi pada ruang pembakaran maka dapat memperbaiki unjuk kerja mesin dan emisi gas buang motor bakar 4 langkah.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember untuk pengujian emisi gas buang. Dan pengujian unjuk kerja mesin dilakukan di bengkel RAT Motorsport Surabaya.

Dari hasil penelitian didapat bahwa semakin tinggi molaritas larutan KOH menghasilkan *Brown* gas lebih banyak, maka semakin memperbaiki unjuk kerja mesin dan emisi gas buang motor 4 langkah. Hal ini dapat dilihat saat penelitian sebelum ditambahkan *Brown* gas, torsi dan daya efektif tertinggi 1,39 Nm dan 8,00 HP. Setelah ditambah gas hasil elektrolisis dengan molaritas 2M, 3M, dan 4M torsi dan daya efektif berturut-turut 1,34 Nm dan 7,77 HP; 1,40 Nm dan 7,97 HP, serta 1,51 Nm dan 8,70 HP. Emisi gas CO sebelum ditambahkan *Brown* gas pada putaran mesin idle dan 7.000 rpm adalah 0,29% dan 1,23%. Setelah ditambah gas hasil elektrolisis dengan molaritas 2M, 3M, dan 4M pada putaran mesin idle dan 7.000 rpm emisi gas CO berturut-turut 5,17% dan 1,63%; 5,39% dan 0,27%; serta

0,22% dan 0,65%. Emisi gas CO₂ sebelum ditambahkan *Brown* gas pada putaran mesin idle dan 7.000 rpm adalah 9,2% dan 11,07%. Setelah ditambah gas hasil elektrolisis dengan molaritas 2M, 3M, dan 4M pada putaran mesin idle dan 7.000 rpm emisi gas CO₂ berturut-turut 5,43% dan 8,76%; 6,17% dan 8,13%; serta 6,27% dan 5,67%. Emisi gas HC sebelum ditambahkan *Brown* gas pada putaran mesin idle dan 7.000 rpm adalah 342,33 ppm dan 65,67 ppm. Setelah ditambah gas hasil elektrolisis dengan molaritas 2M, 3M, dan 4M pada putaran mesin idle dan 7.000 rpm emisi gas HC berturut-turut 454,67 ppm dan 96,67 ppm; 415 ppm dan 27,33 ppm; serta 117 ppm dan 753,67 ppm.

SUMMARY

The Influence of Potassium Hydroxide Molarity on Brown's Gas from the Electrolysis Results to Engine Performance and Its Emissions (On 4 Stroke Engine); Mukhamad Bagus Setiawan, 101910101032: 91 pages; Bachelor Degree Program Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Brown gas is the result of water electrolysis process, which separating H_2O molecules in the water into hydrogen and oxygen gas. In order to increase the speed of molecules separation, Potassium Hydroxide (KOH) is used as the catalyst. This research focuses on the engine performance and exhaust emissions from 4 stroke engine that has been injected with Brown gas in the combustion chamber with the variation of KOH solution molarity 2M, 3M, and 4M on 3,000 rpm to 8,000 rpm. The variation of molarity is used to improve the engine performance and to repair the quality of exhaust emissions. By the increase of brown gas which is injected in the combustion chamber, the engine performance can be improved and the quality of exhaust emissions on 4 stroke engine can be repaired.

This research was conducted at Energy Conversion Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember for the exhaust emissions test and RAT Motorsport Surabaya for the engine performance test.

Based on the research results, the higher the molarity of KOH solution the more brown gas can be produced so that the engine performance can be improved and the quality of the exhaust emission can be repaired on 4 stroke engine. It is showed due to the previous research, without adding the brown gas, the highest torque and effective power are 1.39 Nm and 8.00 HP. But when the brown gas is added with the molarity variation of 2M, 3M, and 4M, the torque and effective power respectively 1.34 Nm and 7.77 HP; 1.40 Nm and 7.97 HP, also 1.51 Nm

dan 8.70 HP. CO gas emission before the addition of the brown gas on idle spin machine and 7000 rpm are 0.29% and 1.23%. After the addition of brown gas with the molarity variation of 2M, 3M and 4M on idle spin machine and 7000 rpm, the CO gas emission respectively 5.17% and 1.63%; 5.39% and 0.27%; also 0.22% and 0.65%. The emission of CO₂ before the addition of brown gas on idle spin machine and 7000 rpm are 9.2% and 11.07%. After the addition of brown gas with the variation of molarity of 2M, 3M, and 4M on idle spin machine and 7000 rpm, the emission of CO₂ gas respectively 5.43% and 8.76%; 6.17% and 8.13%; also 6.27% and 5.67%. The emission of HC before the addition of brown gas on idle spin machine and 7000 rpm are 342.44 ppm and 65.67 ppm. After the addition of brown gas with the variation of molarity of 2M, 3M, and 4M on idle spin machine and 7000 rpm, the emission of HC gas respectively 454.67 ppm and 96.67 ppm; 415 ppm dan 27.33 ppm; also 117 ppm and 753.67 ppm.

PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW, tokoh revolusioner terbaik sepanjang masa, juga kepada para sahabat serta para penerus risalahnya hingga akhir zaman.

Skripsi ini berjudul “Pengaruh Molaritas Kalium Hidroksida pada *Brown Gas* Hasil Elektrolisis Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi (Pada Motor Bakar 4 Langkah)”. Penyusunan skripsi ini digunakan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan arahan kepada penulis selama penyusunan laporan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Ibu dan Ayah tercinta yang dengan tulus hati merawat, mendidik, dan membimbing hingga kini. Keluarga besar serta saudara-saudaraku semua yang telah memberikan doa dan motivasi kepada saya.
2. Bapak Ir. Digdo Listyadi, M.Sc., selaku dosen pembimbing utama, Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan ide, saran, dan motivasi, serta meluangkan waktunya untuk membimbing saya selama proses penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T., selaku dosen penguji I, dan Bapak Ir Dwi Djumhariyanto, M.T., selaku dosen penguji II yang memberikan saran dan kritikan yang bersifat konstruktif untuk penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh staf pengajar dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan membimbing saya selama saya duduk di bangku perkuliahan.
5. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Jember.
6. Seluruh teman-teman angkatan 2010 (Mech-X) yang telah memberikan banyak dukungan, terutama Dani Hari Tunggal yang memberikan ide judul skripsi ini,

juga kepada Wahadi, Arya, Marta, Yogi, Dadang, Dani e.s, memed, Sella, Mega, Silvi, Vina, Eko, Gatut, Hasbi, Bagus, Krida, Luki, Galla, Lukman, Arif, Teddy, Raka, Ubay, Pras, Sandi dan lainnya yang telah membantu selama masa perkuliahan.

7. Semua pihak yang telah membantu proses penelitian dan penyusunan skripsi ini dari awal hingga akhir.

Penulis menyadari sebagai manusia yang tak lepas dari salah, khilaf, serta kekurangan, oleh karena itu diharapkan adanya kritik, saran, dan ide yang bersifat konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini dan penelitian berikutnya yang berkaitan dengan skripsi ini. Semoga hasil dari penelitian pada skripsi ini dapat memberikan manfaat khususnya bagi penulis dan peneliti-peneliti berikutnya.

Jember, Mei 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PEMBIMBING	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR SIMBOL	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Motor Bensin	4
2.2 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah	4
2.3 Pembakaran Bahan Bakar	5
2.4 Bahan Bakar Bensin	7
2.5 Siklus Udara Volume Konstan (Siklus Otto)	7
2.6 Brown Gas	9
2.7 Hidrogen	10
2.8 Kalium Hidroksida (KOH)	11

2.9 Unjuk Kerja Mesin Bensin dan Pengujian dengan Dinamometer	12
2.9.1 Unjuk kerja mesin bensin	12
2.9.2 Torsi (T)	12
2.9.3 Daya Efektif (Ne)	13
2.9.4 Pengujian dengan Dinamometer	13
2.10 Emisi Gas Buang dan Pengujian dengan Gas Analyzer	14
2.10.1 Emisi gas buang	14
2.10.2 Karbon Monoksida (CO)	15
2.10.3 Hidrokarbon (HC)	15
2.10.4 Karbon Dioksida (CO ₂)	15
2.10.5 Oksigen (O ₂)	16
2.10.6 Gas <i>analyzer</i>	16
2.11 Penelitian Sebelumnya Tentang <i>Brown Gas</i>	17
2.12 Hipotesa	18
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Metode Penelitian	19
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.3 Alat dan Bahan	19
3.3.1 Alat Penelitian yang digunakan	19
3.3.2 Bahan penelitian yang digunakan	20
3.4 Variabel Penelitian	20
3.4.1 Variabel Bebas	20
3.4.2 Variabel Terikat	20
3.4.3 Variabel Kontrol	21
3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data	21
3.6 Pengamatan yang Dilakukan	21
3.7 Metode Pengujian	21
3.7.1 Penyajian Data Rancangan Acak Lengkap (RAL)	22
3.7.2 Metode Analisis Ragam (ANOVA)	24
3.7.3 Uji Hipotesis	25

3.8 Tahapan Penelitian dan Prosedur Pengujian	25
3.8.1 Tahap Pembuatan Alat Elektrolisis	25
3.8.2 Tahap Pemasangan.....	25
3.8.3 Pengujian	26
3.8.4 Akhir Pengambilan Data	26
3.8 Rekap Pengambilan Data	26
3.9 Diagram Alir Penelitian	28
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Hasil Pengujian	30
4.2 Analisa Hasil Statistik	32
4.3 Pembahasan	35
4.3.1 Analisa Hubungan Torsi Terhadap Putaran Mesin	35
4.3.2 Analisa Hubungan Daya Efektif Terhadap Putaran Mesin	36
4.3.3 Analisa Hubungan Pengaruh Molaritas Koh Terhadap Emisi Gas Buang	37
BAB 5. PENUTUP	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	46
A. Spesifikasi Alat	46
B. Tabel Penelitian.....	47
C. Perhitungan	65
D. Foto Penelitian.....	68

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
2.1 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah	4
2.2 Diagram P – V Dan T – S pada Siklus Otto Ideal	8
2.3 Proses Pembuatan <i>Brown Gas</i>	10
2.4 Prinsip Kerja Dinamometer	13
2.5 Diagram Informasi Gas <i>Analyzer</i>	17
3.1 Diagram Alir Pengujian pada Peforma Mesin	28
4.1 Grafik hubungan torsi terhadap putaran mesin pada keadaan standar dan pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektolisis dengan variasi molaritas 2 molar, 3 molar, dan 4 molar	35
4.2 Grafik hubungan daya terhadap putaran mesin pada keadaan standar dan pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektolisis dengan variasi molaritas 2 molar, 3 molar, dan 4 molar	36
4.3 Grafik hubungan pengaruh molaritas KOH terhadap emisi gas buang pada keadaan standar dan pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektolisis dengan putaran mesin idle	38
4.4 Grafik hubungan pengaruh molaritas KOH terhadap emisi gas buang pada keadaan standar dan pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektolisis dengan putaran mesin 7000 rpm .	40
4.5 Grafik hubungan pengaruh molaritas KOH terhadap emisi gas buang HC pada keadaan standar dan pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektolisis dengan putaran mesin idle dan 7000 rpm	41

DAFTAR TABEL

HALAMAN

2.1 Perbandingan kalor	11
3.1 Data sampel untuk desain Rancangan Acak Lengkap dua Faktor	23
3.2 Tabel Dua Arah Rancangan Acak Lengkap Dua Faktor	24
3.3 Tabel ANOVA	24
3.4 Tabel Pengukuran Torsi	26
3.5 Tabel Pengukuran Daya Efektif	27
3.6 Tabel Pengukuran Emisi Gas Buang	28
4.1 Rata-rata Hubungan Torsi Terhadap Putaran Mesin	30
4.2 Rata-rata Hubungan Daya Efektif Terhadap Putaran Mesin	31
4.3 Hubungan Pengaruh Molaritas KOH Terhadap Emisi Gas Buang ..	32
4.4 Tabel Anova Pengaruh Molaritas KOH Terhadap Torsi	32
4.5 Tabel Anova Pengaruh Molaritas KOH Terhadap Daya Efektif	33
4.6 Tabel Anova Pengaruh Molaritas KOH Terhadap Emisi Gas CO	33
4.7 Tabel Anova Pengaruh Molaritas KOH Terhadap Emisi Gas CO₂ ..	34
4.8 Tabel Anova Pengaruh Molaritas KOH Terhadap Emisi Gas HC	34

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Pengertian	Keterangan
	Alpha	Menyatakan percepatan sudut dalam gerak melingkar. (Fisika)
	Beta	Menyatakan faktor A. (Statistika)
	Epsilon	Menyatakan faktor B. (Statistika)
	Mu	Menyatakan galat atau error. (Statistika)
μ	Mu	Menyatakan nilai tengah atau rata-rata. (Statistika)
	Omega	Menyatakan kecepatan sudut. (Fisika)
	Pi	Menunjukkan bilangan 3,14.
	Sigma	Menunjukkan penjumlahan.

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin tingginya mobilitas manusia abad 20 saat ini, menjadikan alat transportasi kian hari kian bertambah banyak dan padat. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2012 tercatat jumlah kendaraan bermotor adalah 94.373.324. Dengan 80,9 persennya atau setara dengan 76.381.183 merupakan jenis kendaraan sepeda motor. Dan berdasarkan data penjualan sepeda motor dari Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia (AISI), total penjualan pada tahun 2013 adalah 7.218.606. Dengan 63 persennya atau sebanding dengan 4.553.178 merupakan jenis kendaraan sepeda motor *matic*. Bertambah banyaknya alat transportasi, terutama kendaraan bermotor, mengharuskan konsumsi bahan bakar minyak juga semakin bertambah. Hal ini yang menyebabkan adanya polusi udara dan pemanasan global karena emisi gas buang kendaraan bermotor.

Selama ini bahan bakar kendaraan bermotor masih terpaku pada bahan bakar fosil, yaitu bensin dan solar. Sementara cadangan bahan bakar fosil sudah sedikit. Manusia membutuhkan bahan bakar alternatif untuk mengurangi kecenderungan terhadap bahan bakar fosil. Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil menjadikan polusi udara semakin tinggi.

Adanya emisi gas buang dari kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar minyak berupa Karbon Monoksida (CO); Karbon Dioksida (CO₂); Hidrokarbon (HC); dan sebagainya, mengakibatkan pemanasan global. Maka konsumsi bahan bakar minyak harus dikurangi untuk melestarikan lingkungan.

Pengembangan bahan bakar alternatif berupa biodiesel dan bioethanol belum cukup menggantikan ketergantungan akan bahan bakar fosil. Karena di Indonesia masih terkendala sumber bahan baku yang belum memadai secara kualitas dan kuantitas. Sebagian bahan bakunya adalah bahan pangan yang masih mungkin mengganggu ketersediaan bahan pangan. Karena di Indonesia belum memungkinkan untuk dikembangkannya biodiesel dan bioethanol, maka perlu cara lain untuk menurunkan konsumsi bahan bakar minyak. (Rosyidi dan Dwikoranto, 2012).

Dibutuhkan inovasi lain untuk mengurangi konsumsi atau ketergantungan masyarakat pada bahan bakar minyak. Salah satu inovasi untuk efisiensi energi adalah menambahkan sistem *Brown gas* pada kendaraan bermotor. Sistem elektrolisis air yang ditambah katalisator (bisa disebut *Brown gas*) dapat menghasilkan hidrogen dan oksigen murni yang mempunyai nilai kalor dan oktan tinggi, sehingga dapat memperbaiki unjuk kerja dan emisi gas buang dari kendaraan, serta dapat mengurangi pemakaian bahan bakar (Rosyidi dan Dwikoranto, 2012).

Brown gas dihasilkan dari elektrolisis air yang ditambahkan katalisator sehingga dapat menghasilkan gas hidrogen dan oksigen murni. Elektrolisis air adalah peristiwa penguraian senyawa air (H_2O) menjadi oksigen (O_2) dan hidrogen gas (H_2) dengan menggunakan arus listrik yang melalui air tersebut (Sebastian dan Sitorus, 2013). Gas hidrogen hasil elektrolisis ini yang akan diinjeksikan pada ruang bakar.

Dalam elektrolisis air dibutuhkan katalis untuk mempermudah pemutusan ikatan, antara gas hidrogen dan oksigen. Salah satu katalis yang dapat digunakan untuk proses elektrolisis air adalah KOH. KOH merupakan senyawa basa, jika dilarutkan dalam air maka akan membentuk larutan KOH. Larutan ini dapat menjadi katalisator yang berfungsi untuk mempermudah pemutusan ikatan gas hidrogen dan oksigen dalam air (Putra, 2010).

Pada penelitian sebelumnya, belum pernah dilakukan pengujian unjuk kerja mesin untuk mengetahui perbandingan unjuk kerja mesin pada motor bakar 4 langkah standar dibandingkan dengan menambahkan sistem *Brown gas*. Selain itu perlu adanya penelitian terhadap kualitas emisi gas buangnya. Maka penelitian tentang “Pengaruh Molaritas Kalium Hidroksida pada *Brown Gas* Hasil Elektrolisis Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi (Pada Motor Bakar 4 Langkah)” perlu untuk dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh molaritas KOH untuk katalis pada elektrolisis air sebagai penghasil *Brown* gas terhadap unjuk kerja motor bakar 4 langkah?
2. Bagaimana pengaruh molaritas KOH sebagai katalis pada elektrolisis air terhadap emisi gas buang motor bakar 4 langkah?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah guna mengetahui pengaruh molaritas KOH untuk katalisator elektrolisis air sebagai penghasil *Brown* gas terhadap unjuk kerja mesin dan emisi gas buang motor bakar 4 langkah.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

- a. mahasiswa dapat mempelajari prinsip kerja dari *Brown* gas;
- b. memberikan pengetahuan tentang pemilihan molaritas KOH yang tepat digunakan pada *Brown* gas;
- c. dapat memberikan gambaran bagi Civitas Akademik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang berkeinginan untuk mengembangkan lebih jauh teknologi *Brown* gas;
- d. memberikan dampak positif kepada masyarakat sehingga mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan memberdayakan energi *Brown* gas.

1.5 Batasan Masalah

Ada beberapa faktor yang tidak terkontrol sehingga dapat mempengaruhi pengambilan data dan analisa. Untuk itu perlu diberikan batasan dan asumsi agar mempermudah menganalisa terhadap permasalahan di atas yaitu:

1. Bahan untuk tempat proses elektrolisis air diabaikan.
2. Dimensi saluran *Brown* gas menuju *intake manifold* diabaikan.
3. Kecepatan reaksi kimia pada elektrolisis air diabaikan.
4. Arus listik untuk elektrolisis air berasal dari aki, yaitu sebesar 5 AH.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

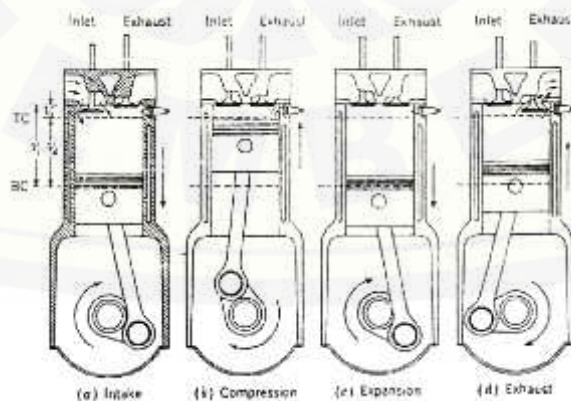
2.1 Motor Bensin

Motor bensin (*spark Ignition*) adalah suatu tipe mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) yang dapat mengubah energi panas dari bahan bakar menjadi energi mekanik berupa daya poros pada putaran poros engkol. Energi panas diperoleh dari pembakaran bahan bakar dengan udara yang terjadi pada ruang bakar (*Combustion Chamber*) dengan bantuan bunga api yang berasal dari percikan busi untuk menghasilkan gas pembakaran. (Wiratmaja, 2010)

Berdasarkan siklus kerjanya motor bensin dibedakan menjadi dua jenis yaitu motor bensin dua langkah dan motor bensin empat langkah. Motor bensin dua langkah adalah motor bensin yang memerlukan dua kali langkah torak, satu kali putaran poros engkol untuk menghasilkan satu kali daya (usaha). Sedangkan motor bensin empat langkah adalah motor bensin yang memerlukan empat kali langkah torak, dua kali putaran poros engkol untuk menghasilkan satu kali usaha. (Wiratmaja, 2010)

2.2 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah

Motor bensin empat langkah memerlukan empat kali langkah torak atau dua kali putaran poros engkol untuk menyelesaikan satu siklus kerja. Keempat langkah tersebut adalah: langkah isap, langkah kompresi, langkah kerja dan langkah pembuangan. (Wiratmaja, 2010)



Gambar 2.1 Prinsip kerja motor bensin 4 langkah. Sumber: Wiratmaja (2010).

Prinsip kerja dari motor bensin 4 langkah adalah sebagai berikut: (Wiratmaja, 2010)

1. Langkah Isap

Langkah isap terjadi ketika torak bergerak dari titik mati atas menuju titik mati bawah akan menghasilkan tekanan yang sangat rendah di dalam ruang silinder sehingga campuran bahan bakar udara akan masuk mengisi silinder melalui katup masuk yang terbuka saat langkah isap sampai torak meninggalkan titik mati bawah, sementara katup buang dalam keadaan tertutup.

2. Langkah Kompresi

Langkah kompresi dimulai torak meninggalkan titik mati bawah menuju titik mati atas, mengkompresikan campuran bahan bakar udara di dalam silinder. Bunga api listrik diumpankan melalui busi ketika torak berada beberapa derajat poros engkol sebelum titik mati atas, membakar campuran bahan bakar udara untuk menghasilkan temperatur dan tekanan yang tinggi.

3. Langkah Kerja (Ekspansi)

Langkah kerja dimulai ketika torak bergerak dari titik mati atas menuju titik mati bawah. Gerakan torak ini terjadi karena gas panas hasil pembakaran berekspansi sehingga memperbesar volume silinder.

4. Langkah Pembuangan

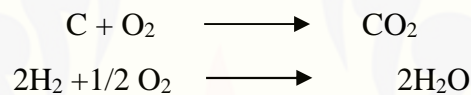
Langkah terakhir adalah langkah pembuangan, terjadi ketika torak bergerak dari titik mati bawah menuju titik mati atas menekan gas sisa hasil pembakaran keluar melalui katup buang yang berada dalam posisi terbuka dan katup masuk dalam keadaan masih tertutup. Katup buang akan tertutup dan katup masuk akan terbuka ketika torak bergerak kembali melakukan langkah isap berikutnya.

2.3 Pembakaran Bahan Bakar

Pembakaran dapat didefinisikan sebagai kombinasi secara kimiawi yang berlangsung secara cepat antara oksigen dan unsur yang mudah terbakar dari bahan bakar pada suhu dan tekanan tertentu (Yeliana, Dkk, 2004). Pembakaran pada motor bensin diawali oleh percikan bunga api listrik dari busi yang terjadi

pada saat beberapa derajat poros engkol sebelum torak mencapai titik mati atas, membakar campuran bahan bakar udara yang telah dikompresikan oleh gerakan torak dari titik mati bawah menuju titik mati atas. Secara umum hanya terdapat tiga unsur yang penting di dalam bahan bakar, yaitu Karbon, Hidrogen, dan Sulfur (Belerang). Dalam proses pembakaran, energi kimia diubah menjadi energi dalam bentuk panas dimana pada setiap pembakaran selalu dihasilkan gas sisa hasil dari proses pembakaran yang dinamakan gas buang yang meliputi beberapa komponen-komponen gas buang antara lain HC, CO, CO₂, H₂O dan O₂. (Wiratmaja, 2010)

Contoh pembakaran secara kimia antara karbon (C), Hidrogen (H₂) dengan oksigen (O₂) dapat dilihat pada reaksi di bawah ini:



Proses pembakaran secara teoritis suatu bahan bakar bensin (isooktan) dapat dilihat pada reaksi di bawah ini:



Secara umum proses pembakaran pada motor bensin dapat dibedakan menjadi 2 bagian yaitu: (Wiratmaja, 2010)

a. Pembakaran Sempurna (Normal)

Pembakaran sempurna adalah pembakaran dimana semua unsur yang dapat terbakar di dalam bahan bakar membentuk gas CO₂, dan H₂O, sehingga tak ada lagi bahan bakar yang tersisa. Mekanisme pembakaran sempurna dalam motor bensin dimulai pada saat terjadi loncatan bunga api listrik pada busi. Selanjutnya api membakar campuran bahan bakar udara yang berada di sekelilingnya dan terus menjalar ke seluruh bagian sampai semua campuran bahan bakar - udara habis terbakar.

b. Pembakaran Tidak Sempurna

Pembakaran yang tidak sempurna akan menimbulkan suatu gejala yang dinamakan dengan detonasi. Hal ini terjadi disebabkan pada proses pembakaran yang tidak serentak pada saat langkah kompresi belum berakhir (busi belum memercikkan bunga api) ditandai dengan adanya pengapian sendiri yang muncul

mendadak pada bagian akhir dari campuran. Campuran yang telah terbakar akan menekan campuran bahan bakar yang belum terbakar. Akibatnya, campuran bahan bakar yang belum terbakar tersebut temperaturnya meningkat sehingga melewati temperatur untuk menyala sendiri.

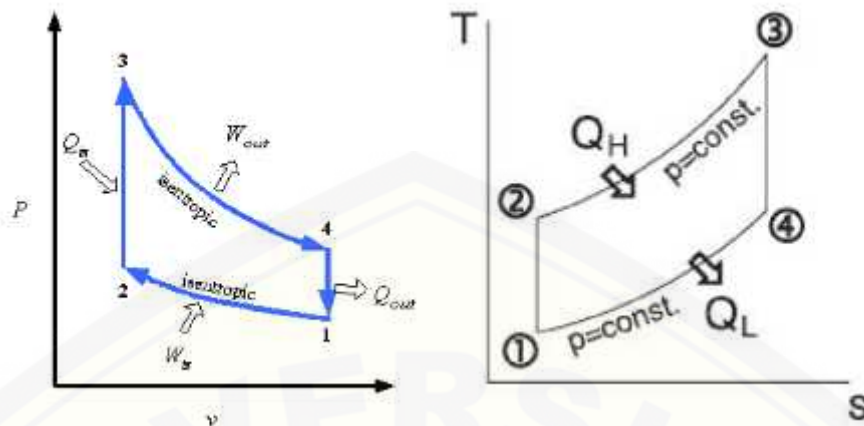
2.4 Bahan Bakar Bensin

Sebagai bahan bakar utama untuk kendaraan bermotor saat ini, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi bensin sebagai bahan bakar yaitu: (Wiratmaja, 2010)

1. Mudah tercampur dengan udara dan terdistribusi merata di dalam *intake manifold*.
2. Tahan terhadap detonasi atau *knocking*.
3. Tidak mudah terbakar sendiri sebelum waktu yang di tentukan (*preignition*).
4. Tidak memiliki kecenderungan menurunkan efisiensi volumetris dari mesin.
5. Mudah ditangani apabila dalam keadaan genting.
6. Murah harganya dan mudah didapat.
7. Menghasilkan pembakaran yang bersih, tanpa menyisakan korosi pada komponen peralatan mesin.
8. Memiliki nilai kalor yang cukup tinggi.
9. Tidak membentuk gum dan varnish yang dapat merusak komponen mesin.

2.5 Siklus Udara Volume Konstan (Siklus Otto)

Siklus udara volume konstan (Siklus Otto) adalah siklus ideal yang menerima tambahan panas yang terjadi secara konstan ketika piston dalam posisi titik mati atas (TMA). Siklus udara volume konstan dapat digambarkan dalam diagram P – V dan diagram T – S. (Wiratmaja, 2010)



Gambar 2.2 Diagram P – V Dan T – S pada Siklus Otto Ideal.

Sumber: Wiratmaja (2010).

Berikut ini sifat ideal yang dipergunakan dan keterangan mengenai proses siklusnya yaitu: (Wiratmaja, 2010)

1. Proses 0 – 1 adalah langkah hisap tekanan konstan yaitu campuran bahan bakar dan udara yang dihisap kedalam silinder.
2. Proses 1 – 2 adalah langkah kompresi adiabatik reversibel yaitu campuran bahan bakar dan udara dikompresikan.
3. Proses 2 – 3 adalah proses pembakaran volume konstan, campuran udara dan bahan bakar dinyalakan dengan bunga api.
4. Proses 3 – 4 adalah langkah ekspansi adiabatik reversibel, kerja yang ditimbulkan gas panas yang berekspansi.
5. Proses 4 – 1 adalah proses pembuangan panas pada volume konstan, panas dibuang melewati dinding ruang bakar.
6. Proses 1 – 0 adalah proses pembuangan kalor, katup buang terbuka maka gas sisa pembakaran terbang keluar menuju ke knalpot.

Proses lengkap pada siklus di atas memerlukan empat langkah dari torak, dua kali putaran poros engkol. Selama proses kompresi dan ekspansi tidak terjadi pertukaran panas, oleh karena itu selisih panas yang masuk dengan panas yang keluar merupakan usaha yang dihasilkan tiap siklus.

2.6 Brown Gas

Pada tahun 1974, seorang warga negara Australia bernama Yull Brown mendapatkan paten dari hasil penemuannya. Beliau berhasil menghasilkan gas H₂ dan O₂ dari proses elektrolisis air. Dari penemuan inilah yang kemudian diberi nama *Brown gas* yang dapat digunakan untuk menggerakkan mesin kendaraan. (Rosyidi dan Dwikoranto, 2012)

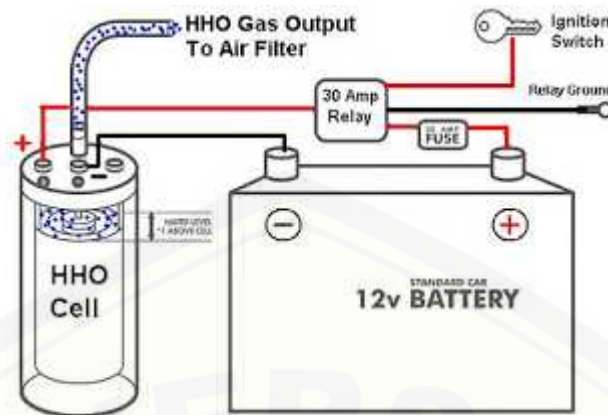
Pada tahun 1980 sampai 1998, Stanley Meyer seorang Amerika yang berasal dari kota Ohio juga telah mengembangkan bahan bakar gas yang dihasilkan dengan elektrolisis air yang digunakan untuk menggerakkan mesin kendaraan. Di Indonesia pada akhir-akhir ini sudah mulai dikembangkan yaitu dengan mencampurkan *Brown gas* yang didapat dari elektrolisis air, dengan bahan bakar pada mesin bensin dengan karburator dan ternyata dapat meningkatkan tenaga, mengurangi pemakaian bahan bakar, serta memperbaiki kualitas emisi gas buang. (Rosyidi dan Dwikoranto, 2012)

Elektrolisis air pada pembuatan Brown gas adalah peristiwa penguraian senyawa air (H₂O) menjadi oksigen (O₂) dan hidrogen gas (H₂) dengan menggunakan arus listrik yang dialirkan ke air tersebut. Pada katoda, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H₂ dan ion hidroksida (OH⁻). Sementara itu pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O₂), melepaskan 4 ion H⁺ serta mengalirkan elektron ke katoda. Ion H⁺ dan OH⁻ mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air. Reaksi keseluruhan yang setara dari elektrolisis air dapat dituliskan sebagai berikut. (Sebastian dan Sitorus, 2013)



Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektroda dan dapat dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen. (Sebastian dan Sitorus, 2013)

Dengan menyediakan energi dari baterai, air (H₂O) dapat dipisahkan ke dalam molekul diatomik hidrogen (H₂) dan oksigen (O₂). (Sebastian dan Sitorus, 2013)



Gambar 2.3 Proses Pembuatan *Brown Gas*.

Sumber: <http://hhosuperpack.com/Image/hho-electrical-diagram.bmp> (Diakses Tanggal 23 Mei 2014).

2.7 Hidrogen

Hidrogen merupakan unsur paling melimpah di alam semesta, dan nomor tiga terbanyak di permukaan bumi. Tetapi gas hidrogen murni hampir tidak ada di permukaan bumi, karena gas hidrogen bereaksi dengan unsur lain membentuk persenyawaan yang lebih stabil. Kelimpahan persenyawaan hidrogen dalam bentuk air dan bahan bakar fosil, relatif tak terbatas jumlahnya. Karena hidrogen murni hampir tidak ada, maka hidrogen tidak bisa disebut sebagai sumber energi, tetapi sebagai *energy carrier* seperti halnya dengan listrik. *Energy carrier* merupakan media yang praktis untuk menyimpan, mentransfer, maupun menggunakan energi. Sebagai *energy carrier*, hidrogen harus mudah disimpan, mudah digunakan, dan mudah dikonversi menjadi berbagai bentuk energi. Hidrogen alam tidak ada di permukaan bumi, sehingga hidrogen harus dibuat. Pada prinsipnya, hidrogen bisa diperoleh dengan memecah senyawa yang paling banyak mengandung unsur hidrogen. (Salimy dan Ida, 2008)

Beberapa sifat fisika hidrogen adalah sebagai berikut: (Putra, 2010)

Lambang	H
Nomor atom	1
Konfigurasi elektron	1s ¹
Massa atom relatif	1,008

Energi ionisasi/kJ mol ⁻¹	1310
Kerapatan/g cm ⁻³	0,00009
Titik didih/K	20
Temperatur kritis	33
Jari-jari atom/nm	0,037
Potensi elektroda standar/V	0

Pembakaran hidrogen dapat menghasilkan kalor sebanyak 286 kJ per mol hidrogen. Pada Tabel 2.1 dapat dibandingkan kalor yang dihasilkan oleh hidrogen dengan kalor yang dihasilkan oleh bahan bakar lain,

Tabel 2.1 Perbandingan Kalor

Bahan bakar	Kalor yang dihasilkan (kJ)		
	Per gram	Per mol	Per liter
Gas hidrogen	143	286	12
Hidrogen cair	142	285	9970
Gas metan	55	882	36
LPG	50	2220	25600
Oktana cair	48	5512	3400

Sumber: Putra (2010).

2.8 Kalium Hidroksida (KOH)

Kalium hidroksida, biasa disebut potas api dengan rumus KOH. Nama lain kalium hidroksida yaitu kaustik kalium, potash alkali, potassia, dan kalium hidrat. KOH adalah senyawa kimia alkali kaustik yang mudah larut dalam air dan mudah terbakar. Zat ini cepat menyerap karbon dioksida (CO₂) dan air dari udara. Sifat fisik dan kimia dari KOH adalah sebagai berikut:

(<http://id.scribd.com/doc/130309580/KOH-brian>)

Bentuk	padat tetapi dapat dibentuk menjadi butir, stick, gumpalan, dan serpih
Warna	tidak berwarna (putih)
pH	13,5 (0,1 molar larutan)
Titik lebur	360°C

Titik didih	1.320°C – 1.324°C
Massa molar	56,1056 g/mol
Densitas	2,04 g/cm ³ pada 20°C
Kelarutan dalam air	121 g/100 mL (25°C), 178 g/100 mL (100°C)
Indeks bias	1.409
Tekanan uap (mm Hg)	1.0 torr pada 174°C
Berat molekul	56,1047
Reaktivitas	hidroskopis, menyerap karbon dioksida

Untuk mendapatkan molaritas dari suatu larutan, maka digunakan rumus:

$$\text{Konsentrasi Molar } M = \frac{\text{mol zat terlarut } (n)}{\text{liter larutan } (v)} = \frac{m \text{ (gr)}}{Mr} \times \frac{1000}{v \text{ larutan (ml)}}$$

2.9 Unjuk Kerja Mesin Bensin dan Pengujian dengan Dinamometer

2.9.1 Unjuk kerja mesin bensin

Tujuan utama dalam menganalisa unjuk kerja adalah untuk memperbaiki keluaran kerja dan keandalan dari mesin. Pengujian dari suatu motor bakar adalah untuk mengetahui kinerja dari motor bakar itu sendiri. Parameter yang akan dibahas untuk mengetahui kinerja mesin dalam motor empat langkah adalah Torsi (N.m) dan Daya Efektif (HP). (Satwika, 2012)

2.9.2 Torsi (T)

Torsi merupakan gaya putar yang dihasilkan oleh poros mesin. Besarnya torsi dapat diukur dengan menggunakan alat dinamometer. Besarnya torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = I \cdot \alpha \cdot N \cdot m$$

Dengan

T = Momen gaya yang dihasilkan (N.m)

I = $\frac{1}{2} M \cdot r^2$ = inersia roller (N/m²)

= percepatan sudut (rad/sec²)

2.9.3 Daya Efektif (N_e)

Daya efektif merupakan daya yang dihasilkan oleh poros engkol untuk menggerakkan beban. Daya efektif ini dibangkitkan oleh daya indikasi yaitu suatu daya yang dihasilkan torak. Daya efektif didapatkan dengan mengalikan Torsi (T) dengan kecepatan *angular* poros (ω) dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_e = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,2} \text{ (HP)}$$

Dengan:

N_e = daya efektif (HP)

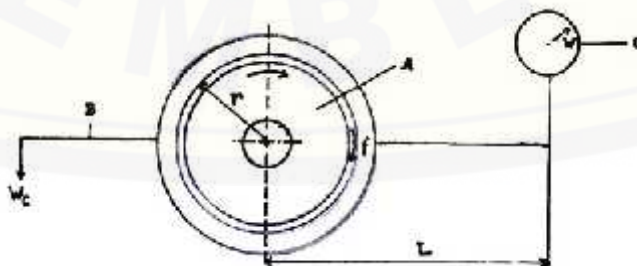
T = torsi (N m)

ω = kecepatan angular poros (rad. Detik⁻¹)

n = putaran poros engkol (Rpm)

2.9.4 Pengujian dengan Dinamometer

Pengukuran daya mesin merupakan pengukuran torsi yang berhubungan dengan tenaga mekanik, baik untuk tenaga yang diperlukan maupun tenaga yang dikembangkan oleh mesin. Untuk menguji torsi dan daya efektif, digunakan dinamometer. Dewasa ini dinamometer digunakan untuk pengukuran pada seluruh perkembangan dari kerja mesin, mulai dari percobaan dan pengetesan motor bersilinder tunggal sampai motor pesawat terbang. Tetapi dalam hal ini bila mesin dalam keadaan tetap atau diam maka pengukuran daya cukup sederhana dan mudah untuk dibuat, tetapi untuk keadaan dinamis sukar untuk menentukan pengukuran daya. Ukuran atau besaran untuk kerja suatu motor biasanya dalam bentuk torsi dan tenaga kuda.



Gambar 2.4 Prinsip Kerja Dinamometer. Sumber: Satwika (2012).

Keterangan Gambar:

r : Jari-jari rotor (ft)

W_c : Beban pengimbang (N)

f : Gaya kopel (ft.lb)

Prinsip kerja dari dinamometer adalah sebagai berikut: (Satwika, 2012)

Rotor (A) diputar oleh sumber daya motor yang ditest, dipasangkan secara mekanis, elektrik, magnetic, hydraulic, dengan stator, dalam keadaan setimbang. Bila dalam keadaan diam maka ditambahkan sebuah beban pengimbang (W_c) yang dipasangkan pada (B) dan diengselkan pada stator. Karena gesekan yang timbul, maka gaya yang terjadi di dalam stator diukur dengan timbangan (C) dan penunjukannya merupakan beban atau muatan dinamometer.

Dalam satu putaran poros, keliling rotor bergerak sepanjang $2 \cdot r$ melawan gaya kopel (f). Jadi kerja tiap putaran adalah $2 \cdot r \cdot f$. Momen luar yang dihasilkan dari pembacaan W pada timbangan (C) dan lengan (L) harus setimbang dengan momen putar yaitu $r \times f$, maka $r \times f = W \times L$. Jika motor berputar dengan n putaran tiap menit, maka kerja per menit harus sama dengan $2 \cdot W \cdot L \cdot n$, harga ini merupakan suatu daya, karena menurut definisi daya dibatasi oleh waktu, kecepatan putar dan kerja yang terjadi.

2.10 Emisi Gas Buang dan Pengujian dengan Gas Analyzer

2.10.1 Emisi gas buang

Emisi gas buang adalah zat atau unsur hasil dari pembakaran di dalam ruang bakar yang dilepas ke udara yang ditimbulkan kendaraan bermotor. Emisi gas buang kendaraan bermotor mengandung karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan partikel molekul tidak semua senyawa yang terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor diketahui dampaknya terhadap lingkungan. Emisi gas buang dari kendaraan bermotor diantaranya: (Satwika, 2012)

2.10.2 Karbon Monoksida (CO)

Pembentukan karbon monoksida di ruang bakar disebabkan oleh proses pembakaran yang tidak sempurna. Oleh karena itu besar atau kecilnya jumlah karbon monoksida yang dihasilkan oleh setiap kendaraan tersebut sangat tergantung pada tingkat kesempurnaan proses pembakaran. Sebagai salah satu contoh, dapat dijelaskan proses terjadinya pembakaran bahan bakar bensin (C_8H_{18}) pada ruang bakar motor otto. Proses pembakaran dapat terjadi sempurna jika kebutuhan oksigen/ udara untuk membakar bahan bakar bensin tersebut dijaga pada rasio yang memadai. Oleh karena itu agar proses pembakaran tersebut terjadi secara sempurna, harus memenuhi reaksi kimia berikut:



Artinya:

Untuk membakar secara sempurna 2 molekul C_8H_{18} diperlukan 25 molekul O_2 . Dengan perkataan lain, untuk membakar sempurna 228 gr C_8H_{18} diperlukan oksigen seberat 800 gr atau 1 gr C_8H_{18} memerlukan 3,5 gr oksigen.

2.10.3 Hidrokarbon (HC)

Bensin adalah senyawa hidrokarbon, jadi setiap HC yang didapat pada gas buang kendaraan menunjukkan adanya bensin yang tidak terbakar dan terbang bersama sisa pembakaran. Apabila suatu senyawa hidrokarbon terbakar sempurna (bereaksi dengan udara) maka hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O). Walaupun rasio perbandingan antara udara dan bensin (AFR= Air Fuel Ratio) sudah tepat dan didukung oleh desain ruang bakar mesin saat ini yang sudah mendekati ideal, tetapi tetap saja ada sebagian bensin yang tidak terbakar sehingga menyebabkan emisi HC yang cukup tinggi.

2.10.4 Karbon Dioksida (CO_2)

Konsentrasi CO_2 menunjukkan secara langsung status proses pembakaran di ruang bakar. Semakin tinggi maka semakin baik. Saat AFR berada di angka ideal, emisi CO_2 berkisar antara 12% sampai 15%. Apabila AFR terlalu kurus atau terlalu kaya, maka emisi CO_2 akan turun secara drastis. Apabila CO_2 berada di

bawah 12%, maka kita harus melihat emisi lainnya yang menunjukkan apakah AFR terlalu kaya atau terlalu kurus.

2.10.5 Oksigen (O₂)

Konsentrasi dari oksigen pada gas buang kendaraan berbanding terbalik dengan konsentrasi CO₂. Untuk mendapatkan proses pembakaran yang sempurna, maka kadar oksigen yang masuk ke ruang bakar harus mencukupi untuk setiap molekul hidrokarbon. Dalam ruang bakar, campuran udara dan bensin dapat terbakar dengan sempurna apabila bereaksi dengan sempurna pada proses pembakaran. Untuk mengurangi emisi HC, maka dibutuhkan sedikit tambahan udara atau oksigen untuk memastikan bahwa semua molekul bensin dapat bercampur dengan molekul oksigen untuk bereaksi dengan sempurna. Ini berarti AFR 14,7:1 ($\lambda = 1.00$) sebenarnya merupakan kondisi yang sedikit kurus. Inilah yang menyebabkan oksigen dalam gas buang akan berkisar antara 0.5% sampai 1%.

2.10.6 Gas analyzer

Gas analyzer adalah suatu alat yang salah satu fungsinya adalah untuk monitoring emisi gas kendaraan yang keluar dari knalpot (HC, CO, CO₂, dan O₂). Prinsip kerja Gas Analyzer: Gas Sample yang diambil melalui probe akan masuk ke setiap sample cell secara bergiliran dimana gas sample akan dibandingkan dengan gas standar melalui pemancaran sistem infrared dimana akan menghasilkan perbedaan panjang gelombang yang akan dikonversi menjadi sinyal analog (4-20) mA. (Hakim, 2014)



Gambar 2.5 Diagram Informasi Gas Analyzer. Sumber: Hakim (2014).

2.11 Penelitian Sebelumnya Tentang Brown Gas

Menurut Rosyidi dan Dwikoranto (2012), dengan mencampurkan *Brown* gas yang didapat dari elektrolisis air, dengan bahan bakar pada mesin bensin dengan karburator ternyata dapat mengurangi pemakaian bahan bakar dan memperbaiki kualitas emisi gas buang.

Poempida Hidayatullah dan Futung Mustari menguji coba 30 kendaraan bermotor roda empat dari berbagai jenis, baik yang berbahan bakar bensin maupun solar. Hasilnya, BBM yang ada dapat mencapai rasio jarak tempuh rata-rata 1:25 kilometer. Penghematan BBM-nya hingga 59 persen. (Rosyidi dan Dwikoranto, 2012).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan Horng Rong-Fang, bahan bakar yang diperkaya dengan hidrogen dapat menurunkan kandungan Nox dan HC pada emisi gas buang. (Rosyidi dan Dwikoranto, 2012).

Muhammadi melakukan penelitian tentang kinerja mesin dengan bahan bakar konvensional diinjeksi dengan hidrogen, ternyata mampu meningkatkan kinerja dan menghilangkan *knock* dan *backfiring*. Penelitian tersebut menerapkan tiga parameter yaitu waktu pengapian, waktu injeksi, dan rasio ekuivalen optimal sehingga mencapai efisiensi termal dan *brake mean effective pressure* yang baik serta emisi Nox yang rendah. (Rosyidi dan Dwikoranto, 2012).

Arbie Marwan Putra (2010) melakukan analisis produktifitas gas hidrogen dan gas oksigen pada elektrolisis larutan KOH. Hasilnya semakin besar konsentrasi larutan ketika proses elektrolisis maka semakin besar pula volume gas yang dihasilkan.

2.12 Hipotesa

Dari permasalahan di atas dapat diambil hipotesa sebagai berikut:

1. Molaritas larutan KOH yang semakin tinggi akan meningkatkan produksi *Brown* gas. Dengan semakin tingginya *Brown* gas yang diinjeksikan pada ruang bakar, dalam batasan tertentu, akan meningkatkan unjuk kerja mesin.
2. Molaritas larutan KOH yang semakin tinggi akan meningkatkan produksi *Brown* gas. Dengan semakin tingginya *Brown* gas yang diinjeksikan pada ruang bakar, dalam batasan tertentu, akan memperbaiki emisi gas buang.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metodelogi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu metode yang digunakan untuk menguji pengaruh molaritas KOH untuk katalis pada elektrolisis air sebagai penghasil *Brown* gas terhadap unjuk kerja mesin dan emisi gas buang motor bakar 4 langkah.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember dan Bengkel RAT Motorsport Surabaya. Waktu penelitian berlangsung selama bulan Desember 2014 sampai bulan Maret 2015.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat penelitian yang digunakan yaitu:

- Satu set alat untuk elektrolisis air
- Neraca
- Gelas ukur 100 ml
- Labu ukur 250 ml
- Dinamometer
- Gas *analyzer*
- Motor *matic* dengan spesifikasi:
 - Merk: Yamaha Mio Sporty
 - Tipe mesin: 4 langkah, SOHC 2-Klep pendingin udara
 - Diameter x langkah: 50 x 57,9 mm
 - Volume silinder: 113,7 CC
 - Perbandingan kompresi: 8,8 : 1
 - Kopling: kering, sentrifugal otomatis
 - Susunan silinder: tunggal
 - Karburator: NCV24x1 (keihin)

- Sistem pengapian: DC-CDI
- Pelumas: wet sump
- Kapasitas oli mesin: 0,9 liter
- Transmisi: V-belt otomatis
- Rasio gigi: 2,399 – 0,829
- Caster / trail: 26,5 derajat/100 mm
- Sistem rem depan: hydraulic single disc
- Sistem rem belakang: drum
- Daya maksimum: 6,54 Km (8,9 ps) / 12.000 rpm
- Torsi maksimum: 7,84 Nm (0,88 kgf.m) / 7.000 rpm

3.3.2 Bahan penelitian yang digunakan yaitu:

- Kalium Hidroksida (KOH)
- Aquades
- Bensin

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah sebagai berikut: Pengujian unjuk kerja mesin ini menggunakan larutan KOH sebanyak 2 Molar, 3 Molar dan 4 Molar.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang meliputi data-data yang diperoleh pada pengujian unjuk kerja mesin dengan menganalisa data-datanya yang meliputi Torsi, Daya Efektif, dan Emisi gas buang.

3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang besarnya sebagai pengendali dalam proses penelitian, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebas dan variabel terikat. Penelitian ini mempunyai variabel kontrol kenaikan putaran mesin (rpm).

3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang dipergunakan dalam pengujian ini meliputi:

- a. Data primer, merupakan data yang diperoleh langsung dari pengukuran pengujian unjuk kerja mesin pada masing-masing pengujian.
- b. Data sekunder, merupakan data yang diperoleh dari literatur perhitungan maupun hasil pengujian unjuk kerja mesin.

3.6 Pengamatan yang Dilakukan

Pada penelitian ini yang akan diamati adalah:

1. Torsi
2. Daya efektif
3. Emisi gas buang.

3.7 Metode Pengujian

Percobaan ini menggunakan dua tahap yaitu tahap pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang. Percobaan ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap dua faktor dengan model matematika sebagai berikut (Sastrosupadi, 2000):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

dimana:

Y_{ijk} = nilai pengamatan dari kelompok ulangan ke-k yang mendapat taraf ke-i dari faktor A dan taraf ke-j dari faktor B

μ = nilai tengah umum

α_i = pengaruh taraf ke-i dari faktor A

β_j = pengaruh taraf ke-j dari faktor B

- ()_{ij} = pengaruh interaksi taraf ke-i dari faktor A dan taraf ke-j dari faktor B
- _{ijk} = pengaruh galat percobaan taraf ke-i dari faktor A dan taraf ke-j dari faktor B pada ulangan yang ke-k

Tahap pengujian unjuk kerja mesin mempunyai dua faktor, yaitu faktor molaritas KOH (M) dan faktor putaran mesin (R). Faktor molaritas KOH terdiri dari beberapa taraf 0 M, 2 M, 3 M, dan 4 M. Sedangkan faktor putaran mesin terdiri dari beberapa taraf 3000 rpm, 3250 rpm, 3500 rpm, 3750 rpm, 4000 rpm, 4250 rpm, 4500 rpm, 4750 rpm, 5000 rpm, 5250 rpm, 5500 rpm, 5750 rpm, 6000 rpm, 6250 rpm, 6500 rpm, 6750 rpm, 7000 rpm, 7250 rpm, 7500 rpm, 7750 rpm, dan 8000 rpm. Pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali. Dengan demikian, terdapat $4 \times 21 \times 3 = 252$ satuan percobaan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA).

Penelitian dilanjutkan dengan tahap pengujian emisi gas buang yang juga mempunyai dua faktor, yaitu faktor molaritas KOH dan faktor putaran mesin. Faktor molaritas KOH terdiri dari beberapa taraf 0 M, 2 M, 3 M, dan 4 M. Sedangkan faktor putaran mesin terdiri dari beberapa taraf idle dan 7000 rpm. Pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali. Dengan demikian, terdapat $4 \times 2 \times 3 = 24$ satuan percobaan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA).

3.7.1 Penyajian Data Rancangan Acak Lengkap (RAL)

Untuk menyajikan data sampel dapat dibuat dalam tabel Rancangan Acak Lengkap dua faktor yang terlihat pada Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Data sampel untuk desain Rancangan Acak Lengkap dua Faktor

Molaritas	Putaran Mesin	Ulangan			Total	Rata-rata
		1	2	3		
M1	R1	Y_{111}	Y_{112}	Y_{113}	$Y_{11.}$	
M1	R2	Y_{121}	Y_{122}	Y_{123}	$Y_{12.}$	
M2	R1	Y_{211}	Y_{212}	Y_{213}	$Y_{21.}$	
M2	R2	Y_{221}	Y_{222}	Y_{223}	$Y_{22.}$	
M3	R1	Y_{311}	Y_{312}	Y_{313}	$Y_{31.}$	
M3	R2	Y_{321}	Y_{322}	Y_{323}	$Y_{32.}$	
M4	R1	Y_{411}	Y_{412}	Y_{413}	$Y_{41.}$	
M4	R2	Y_{421}	Y_{422}	Y_{423}	$Y_{42.}$	
Total		$Y_{..1}$	$Y_{..2}$	$Y_{..3}$	$Y_{...}$	

Sumber: Sastrosupadi, 2000

Dari Tabel 3.1 dapat diketahui Faktor Koreksi (FK), Jumlah Kuadrat Total (JKT), Jumlah Kuadrat Ulangan (JKU), Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP), dan Jumlah Kuadrat Galat (JKG). Masing-masing dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut.

p : jumlah hasil pengujian pada satu interaksi

n : jumlah ulangan

$Y_{...}$: total umum

$(\sum Y_{ij})^2$: jumlah kuadrat hasil pengujian = $[(Y_{111})^2 + (Y_{112})^2 + (Y_{113})^2 + \dots + (Y_{423})^2]$

$(\sum Y_u)^2$: jumlah kuadrat hasil ulangan = $[(Y_{..1})^2 + (Y_{..2})^2 + (Y_{..3})^2]$

m : jumlah taraf molaritas

r : jumlah taraf putaran mesin

$(\sum Y_p)^2$: jumlah kuadrat hasil perlakuan = $[(Y_{11.})^2 + (Y_{12.})^2 + (Y_{21.})^2 + \dots + (Y_{42.})^2]$

$FK = (Y_{...})^2 / p.n$

$JKT = (\sum Y_{ij})^2 - FK$

$JKU = [(\sum Y_u)^2 / (m.r)] - FK$

$JKP = [(\sum Y_p)^2 / n] - FK$

$JKG = JKT - JKP - JKU$

Karena percobaan ini menggunakan faktorial, maka JKP harus diuraikan menjadi JK komponen penyusunnya (JK molaritas, JK putaran mesin, dan JK interaksi). Untuk menghitung JK M, JK R, dan JK MR, maka dibuat Tabel dua arah antara faktor M dan faktor R seperti Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.2 Tabel Dua Arah Rancangan Acak Lengkap Dua Faktor

Molaritas	Putaran Mesin		Molaritas
	R1	R2	
M1	Y _{11.}	Y _{12.}	Y _{1..}
M2	Y _{21.}	Y _{22.}	Y _{2..}
M3	Y _{31.}	Y _{32.}	Y _{3..}
M4	Y _{41.}	Y _{42.}	Y _{4..}
putaran Mesin	Y _{.1.}	Y _{.2.}	Y _{...}

Sumber: Sastrosupadi, 2000

Dari Tabel 3.3 didapat Jumlah Kuadrat Molaritas (JKM), Jumlah Kuadrat Putaran mesin (JKR), dan Jumlah Kuadrat Interaksi (JKMR). Untuk menghitungnya, dapat menggunakan rumus berikut.

$$(\sum Y_m)^2 : \text{jumlah kuadrat dari molaritas} = [(\sum Y_{1..})^2 + (\sum Y_{2..})^2 + (\sum Y_{3..})^2 + (\sum Y_{4..})^2]$$

$$(\sum Y_r)^2 : \text{jumlah kuadrat dari putaran mesin} = [(\sum Y_{.1.})^2 + (\sum Y_{.2.})^2]$$

$$JKM = [(\sum Y_m)^2 / (r.n) - FK]$$

$$JKR = [(\sum Y_r)^2 / (m.n) - FK]$$

$$JKMR = JKP - JKM - JKR$$

3.7.2 Metode Analisis Ragam (ANOVA)

Untuk menyajikan analisis ragam rancangan acak lengkap dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.3 Tabel ANOVA

Sumber Keragaman (SK)	Derajat Bebas (DB)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F hitung	F 5%	F 1%
Perlakuan (p)	DB ₁ = p - 1	JKP	JKP / DB ₁	KTP / KTG		
Galat	DB ₂ = p (n - 1)	JKG	JKG / DB ₂			
Total	(p.n - 1)	JKP + JKG				

Sumber: Sastrosupadi, 2000

Keterangan:

KTP : kuadrat tengah perlakuan = JKP / DB_1

KTG : kuadrat tengah galat = JKG / DB_2

F hitung : hasil perhitungan uji F = KTP / KTG

F 5% dan 1% : Nilai uji F pada tabel

3.7.3 Uji Hipotesis

Berdasarkan tabel sidik ragam, lakukan uji hipotesis dengan membandingkan F. Hitung dengan F. Tabel. Kaidah keputusan yang harus diambil adalah sebagai berikut: (Mustari, 2014)

- Jika F. Hitung $>$ F. Tabel pada taraf 1% ($\alpha = 0,01$), perbedaan diantara nilai tengah baris, kolom, perlakuan (atau pengaruh baris, kolom, dan perlakuan) dikatakan berbeda sangat nyata.
- Jika F. Hitung $>$ F. Tabel pada taraf 5% ($\alpha = 0,05$) tetapi lebih kecil daripada F. Tabel pada taraf 1%, perbedaan di antara nilai tengah baris, kolom atau perlakuan dikatakan berbeda nyata.
- Jika F. Hitung \leq F. Tabel pada taraf 5% ($\alpha = 0,05$), perbedaan diantara nilai tengah baris, kolom atau perlakuan dikatakan berbeda tidak nyata.

3.8 Tahap Penelitian dan Prosedur Pengujian

3.8.1 Tahap pembuatan alat elektrolisis

Dilakukan dengan memotong pipa dan membantuk menjadi alat elektrolisis.

3.8.2 Tahap pemasangan

Alat elektrolisis dipasang melalui celah manifold. Gas elektrolisis dimasukkan ke dalam ruang bakar.

3.8.3 pengujian

1. KOH yang telah dicampur dengan air, hasil elektrolisisnya dimasukkan ke dalam ruang bakar.
2. Diuji dengan menggunakan dinamometer dan gas *analyzer*.
3. Hasil yang diharapkan untuk mengetahui unjuk kerja dan emisi gas buang.

3.8.4 Akhir Pengambilan Data

Setelah proses pengujian dan pengambilan data selesai, langkah selanjutnya adalah merekap dan menyimpan data pengujian unjuk kerja mesin diantaranya torsi dan daya efektif, serta emisi gas buang.

3.9 Rekap Pengambilan Data

Untuk mengetahui unjuk kerja mesin dengan penambahan *Brown* gas pada variasi molaritas 2 M, 3 M, dan 4 M dengan kecepatan putaran 3000 sampai 8000 rpm. Data tersebut ditampilkan dalam Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.4 Tabel Pengukuran Torsi

No.	Putaran Mesin (rpm)	Torsi (Nm) Pada Molaritas KOH		
		Tanpa <i>Brown</i> gas	2 Molar	3 Molar
1	3000			
2	3250			
3	3500			
4	3750			
5	4000			
6	4250			
7	4500			
8	4750			
9	5000			
10	5250			
11	5500			
12	5750			
13	6000			

14	6250
15	6500
16	6750
17	7000
18	7250
19	7500
20	7750
21	8000

Tabel 3.5 Tabel Pengukuran Daya Efektif

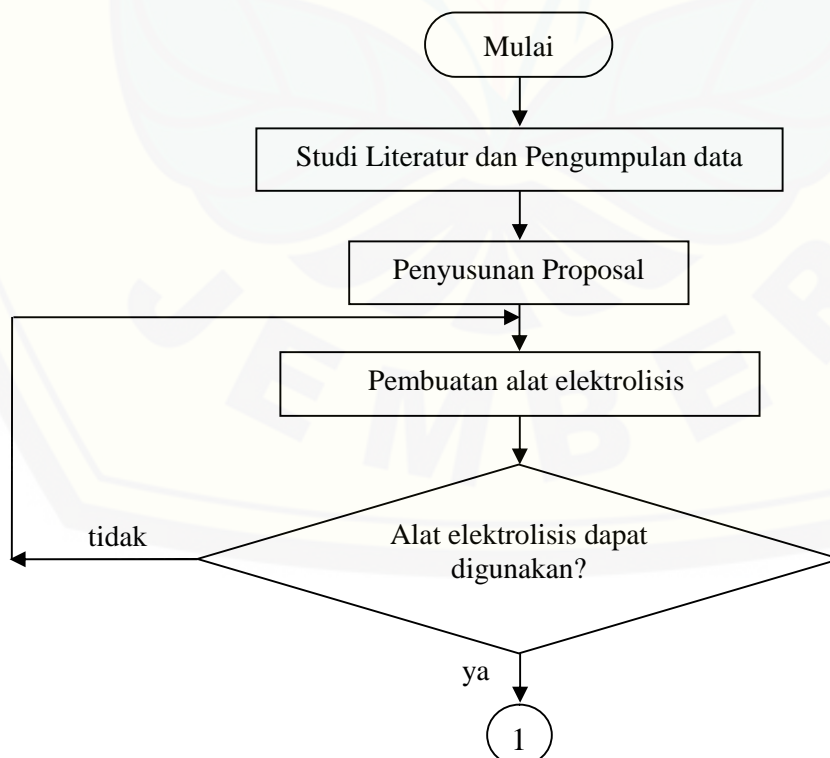
No.	Putaran Mesin (rpm)	Daya Efektif (HP) Pada Molaritas KOH			
		Tanpa <i>Brown</i> gas	2 Molar	3 Molar	4 Molar
1	3000				
2	3250				
3	3500				
4	3750				
5	4000				
6	4250				
7	4500				
8	4750				
9	5000				
10	5250				
11	5500				
12	5750				
13	6000				
14	6250				
15	6500				
16	6750				
17	7000				
18	7250				
19	7500				
20	7750				
21	8000				

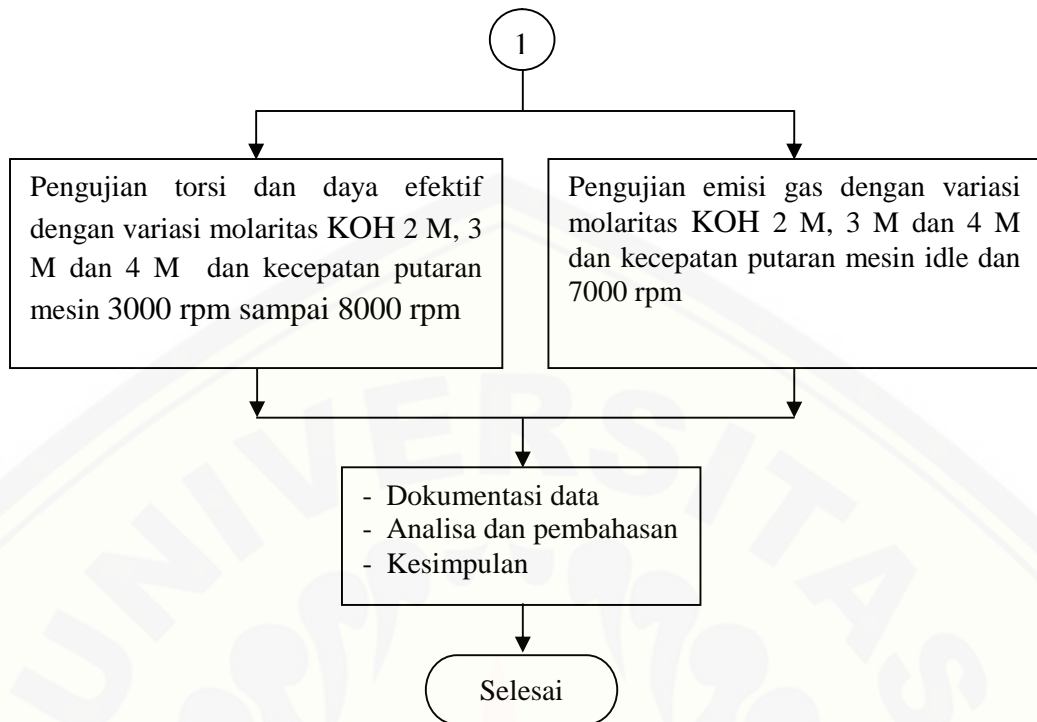
Untuk mengetahui emisi gas buang pada motor dengan penambahan *Brown* gas pada variasi molaritas katalis yaitu sebanyak 2 Molar, 3 Molar, dan 4 Molar dengan keadaan *idle* (tanpa putaran mesin) dan kecepatan putaran mesin 7000 rpm. Data tersebut ditampilkan dalam Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.6 Tabel Pengukuran Emisi Gas Buang

Emisi Gas Buang	Putaran Mesin (rpm)	Molaritas KOH		
		Tanpa <i>Brown</i> Gas	2 Molar	3 Molar
CO (%)	<i>Idle</i>			
	7000			
CO ₂ (%)	<i>Idle</i>			
	7000			
O ₂ (%)	<i>Idle</i>			
	7000			
HC (ppm)	<i>Idle</i>			
	7000			

3.10 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Pengujian pada Unjuk kerja Mesin

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

Tabel 4.1 Rata-rata Hubungan Torsi Terhadap Putaran Mesin

No.	Putaran Mesin (rpm)	Torsi (Nm) Pada Molaritas KOH			
		Tanpa <i>Brown</i> gas	2 Molar	3 Molar	4 Molar
1	3000	1,35	1,28	1,37	1,41
2	3250	1,37	1,33	1,40	1,44
3	3500	1,36	1,32	1,37	1,46
4	3750	1,33	1,30	1,33	1,42
5	4000	1,30	1,21	1,29	1,35
6	4250	1,18	1,14	1,19	1,24
7	4500	1,11	1,04	1,00	1,02
8	4750	0,91	0,87	0,88	0,93
9	5000	0,76	0,82	0,87	0,91
10	5250	0,79	0,82	0,87	0,89
11	5500	0,80	0,81	0,84	0,86
12	5750	0,78	0,79	0,82	0,84
13	6000	0,76	0,77	0,79	0,80
14	6250	0,74	0,74	0,77	0,77
15	6500	0,71	0,73	0,75	0,76
16	6750	0,69	0,71	0,72	0,72
17	7000	0,67	0,68	0,70	0,70
18	7250	0,63	0,66	0,67	0,67
19	7500	0,61	0,64	0,65	0,64
20	7750	0,56	0,61	0,61	0,60
21	8000	0,53	0,58	0,58	0,58

Tabel 4.2 Rata-rata Hubungan Daya Efektif Terhadap Putaran Mesin

No.	Putaran Mesin (rpm)	Daya Efektif (HP) Pada Molaritas KOH			
		Tanpa <i>Brown</i> gas	2 Molar	3 Molar	4 Molar
1	3000	6,40	6,07	6,53	6,77
2	3250	6,90	6,87	7,17	7,40
3	3500	7,40	7,23	7,47	8,03
4	3750	7,70	7,50	7,70	8,30
5	4000	7,90	7,37	7,93	8,30
6	4250	7,50	7,37	7,67	7,97
7	4500	7,50	7,00	6,73	6,87
8	4750	6,30	6,10	6,20	6,57
9	5000	5,50	6,00	6,40	6,73
10	5250	6,10	6,40	6,67	6,87
11	5500	6,40	6,57	6,80	6,97
12	5750	6,60	6,67	6,90	7,10
13	6000	6,60	6,80	6,93	7,00
14	6250	6,70	6,77	6,97	7,10
15	6500	6,70	6,90	7,13	7,20
16	6750	6,70	6,90	7,03	7,07
17	7000	6,70	6,87	7,03	7,07
18	7250	6,60	6,90	7,00	7,03
19	7500	6,50	6,87	6,97	6,97
20	7750	6,20	6,80	6,77	6,73
21	8000	6,00	6,70	6,67	6,70

Tabel 4.3 Hubungan Pengaruh Molaritas KOH Terhadap Emisi Gas Buang

Emisi Gas Buang	Putaran Mesin (rpm)	Molaritas KOH			
		Tanpa <i>Brown</i> Gas	2 Molar	3 Molar	4 Molar
CO (%)	<i>Idle</i>	0,28	5,17	5,39	0,22
	7000	1,23	1,62	0,27	0,65
CO ₂ (%)	<i>Idle</i>	9,20	5,43	6,16	6,26
	7000	11,1	8,67	8,13	5,67
O ₂ (%)	<i>Idle</i>	20,43	22,43	21,23	20,56
	7000	21,53	23,02	21,13	22,06
HC (ppm)	<i>Idle</i>	342,33	454,67	415,00	117,00
	7000	65,667	96,667	27,333	753,67

4.2 Analisa Hasil Statistik

Tabel 4.4 Tabel Anova Pengaruh Molaritas KOH Terhadap Torsi

SK	db	JK	KT	F hitung	F 5%	F 1%
ulangan	2	0,005	0,002			
perlakuan	83	19,63	0,24	149,74		
M	3	0,13	0,04	26,61	2,66	3,90
R	20	19,35	0,97	612,66	1,63	1,99
MR	60	0,15	0,003	1,60	1,40	1,60
galat	168	0,27	0,002			
total	253	19,90				

Hasil perhitungan Anova di atas dapat dilihat nilai F hitung dari M (26,61) lebih besar dari F tabel 5% (2,66) dan F tabel 1% (3,90), ini menunjukkan variasi M berbeda sangat nyata. Artinya ada pengaruh sangat nyata dari variasi molaritas KOH terhadap torsi.

Tabel 4.5 Tabel Anova Pengaruh Molaritas KOH Terhadap Daya Efektif

SK	db	JK	KT	F hitung	F 5%	F 1%
Ulangan	2	0,23	0,11			
perlakuan	83	67,24	0,81	10,55		
M	3	8,26	2,75	35,86	2,66	3,90
R	20	51,72	2,59	33,66	1,63	1,99
MR	60	7,26	0,12	1,58	1,40	1,60
galat	168	12,91	0,08			
total	253	147,62				

Hasil perhitungan Anova di atas dapat dilihat nilai F hitung dari M (35,86) lebih besar dari F tabel 5% (2,66) dan F tabel 1% (3,90), ini menunjukkan variasi M berbeda sangat nyata. Artinya ada pengaruh sangat nyata dari variasi molaritas KOH terhadap daya efektif.

Tabel 4.6 Tabel Anova Pengaruh Molaritas KOH Terhadap Emisi Gas CO

SK	db	JK	KT	F hitung	F 5%	F 1%
ulangan	2	0,16	0,08			
perlakuan	7	99,14	14,16	272,46		
M	3	39,29	13,10	251,97	3,24	5,29
R	1	19,98	19,98	384,44	4,49	8,53
MR	3	39,87	13,29	255,64	3,24	5,29
galat	16	0,83	0,05			
total	25	100,14				

Hasil perhitungan Anova di atas dapat dilihat nilai F hitung dari M (251,97) lebih besar dari F tabel 5% (3,24) dan F tabel 1% (5,29), ini menunjukkan variasi M berbeda sangat nyata. Artinya ada pengaruh sangat nyata dari variasi molaritas KOH terhadap emisi gas CO.

Tabel 4.7 Tabel Anova Pengaruh Molaritas KOH Terhadap Emisi Gas CO₂

SK	db	JK	KT	F hitung	F 5%	F 1%
ulangan	2	3,80	1,90			
perlakuan	7	84,78	12,11	13,05		
M	3	57,53	19,18	20,67	3,24	5,29
R	1	15,68	15,68	16,90	4,49	8,53
MR	3	11,57	3,86	4,16	3,24	5,29
galat	16	14,84	0,93			
total	25	103,43				

Hasil perhitungan Anova di atas dapat dilihat nilai F hitung dari M (20,67) lebih besar dari F tabel 5% (3,24) dan F tabel 1% (5,29), ini menunjukkan variasi M berbeda sangat nyata. Artinya ada pengaruh sangat nyata dari variasi molaritas KOH terhadap emisi gas CO₂.

Tabel 4.8 Tabel Anova Pengaruh Molaritas KOH Terhadap Emisi Gas HC

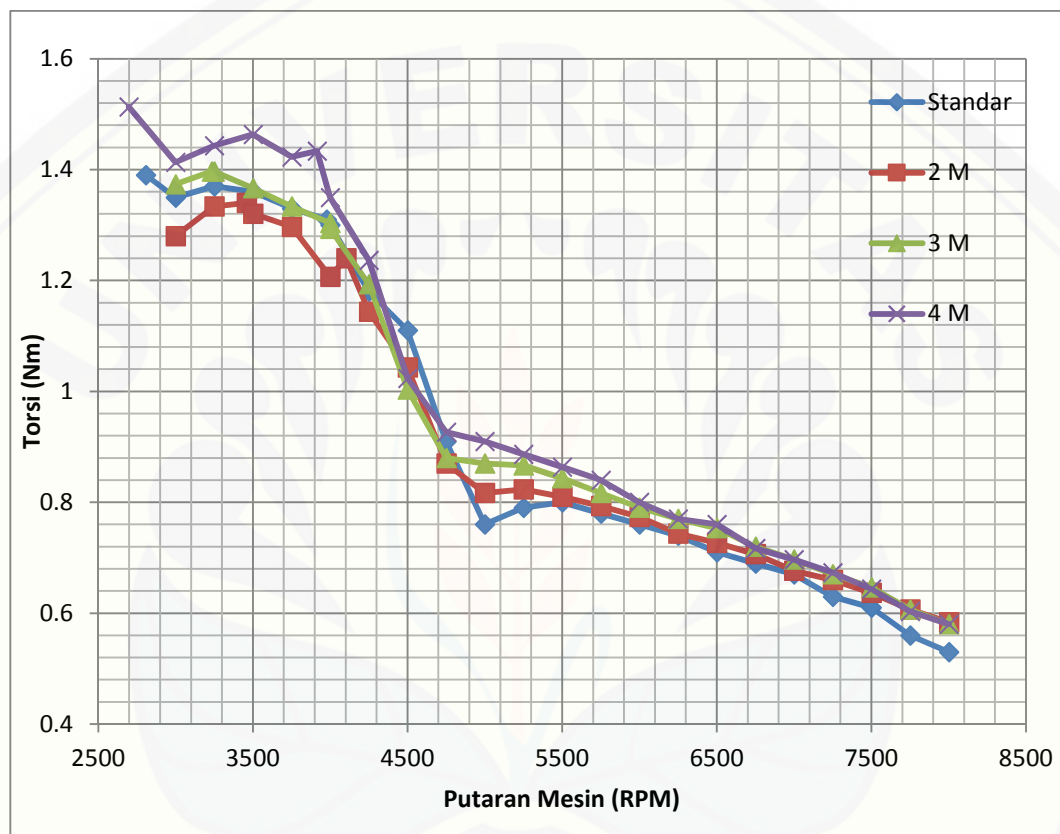
SK	db	JK	KT	F hitung	F 5%	F 1%
Ulangan	2	9689,58	4844,79			
Perlakuan	7	1340422,96	191488,99			
M	3	199915,46	66638,49	9,55	3,24	5,29
R	1	55777,04	55777,04	8,00	4,49	8,53
MR	3	1084730,46	361576,82	51,84	3,24	5,29
Galat	16	111596,42	6974,78			
Total	25	1461708,96				

Hasil perhitungan Anova di atas dapat dilihat nilai F hitung dari M (9,55) lebih besar dari F tabel 5% (3,24) dan F tabel 1% (5,29), ini menunjukkan variasi M berbeda sangat nyata. Artinya ada pengaruh sangat nyata dari variasi molaritas KOH terhadap emisi gas HC.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Analisa Hubungan Torsi Terhadap Putaran Mesin

Hubungan torsi terhadap putaran mesin pada keadaan standar dan pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis dengan variasi molaritas 2 molar, 3 molar, dan 4 molar pada proses pembakaran motor bensin 4 langkah adalah sebagaimana terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik hubungan torsi terhadap putaran mesin pada keadaan standar dan pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis dengan variasi molaritas 2 molar, 3 molar, dan 4 molar.

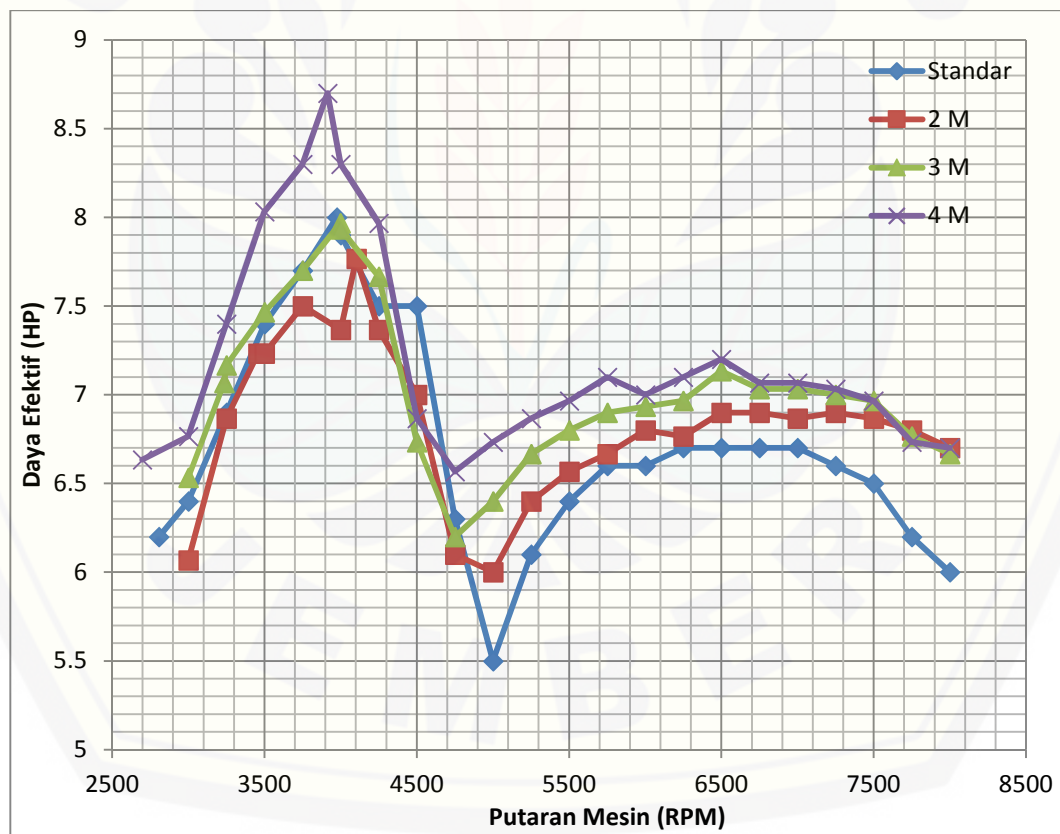
Secara umum dengan penambahan gas hasil elektrolisis (*Brown gas*) pada pembakaran motor bensin 4 langkah, dapat meningkatkan torsi. Torsi rata-rata tertinggi pada pengujian ini terdapat pada keadaan setelah ditambakkannya gas hasil elektrolisis dengan molaritas 4. Yaitu sebesar 1,51 Nm pada putaran mesin 2697 rpm. Berbeda dengan torsi tertinggi pada keadaan standar yang hanya 1,39 Nm pada kecepatan putaran mesin 2806 rpm. Sedangkan torsi rata-rata tertinggi

pada variasi molaritas 2 dan 3, berturut-turut adalah 1,34 Nm pada putaran mesin 3459 rpm dan 1,40 Nm pada putaran mesin 3234 rpm.

Peningkatan torsi pada keadaan setelah adanya penambahan gas hasil elektrolisis terjadi karena memungkinkannya pembakaran lebih sempurna. Dengan adanya tambahan Brown gas yang memiliki sifat lebih mudah terbakar, akan dapat mempercepat pembakaran. Percepatan pembakaran inilah yang kemudian dapat meningkatkan torsi.

4.3.2 Analisa Hubungan Daya Terhadap Putaran Mesin

Hubungan daya terhadap putaran mesin pada keadaan standar dan pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis dengan variasi molaritas 2 molar, 3 molar, dan 4 molar pada proses pembakaran motor bensin 4 langkah adalah sebagaimana terlihat pada Gambar grafik berikut ini:



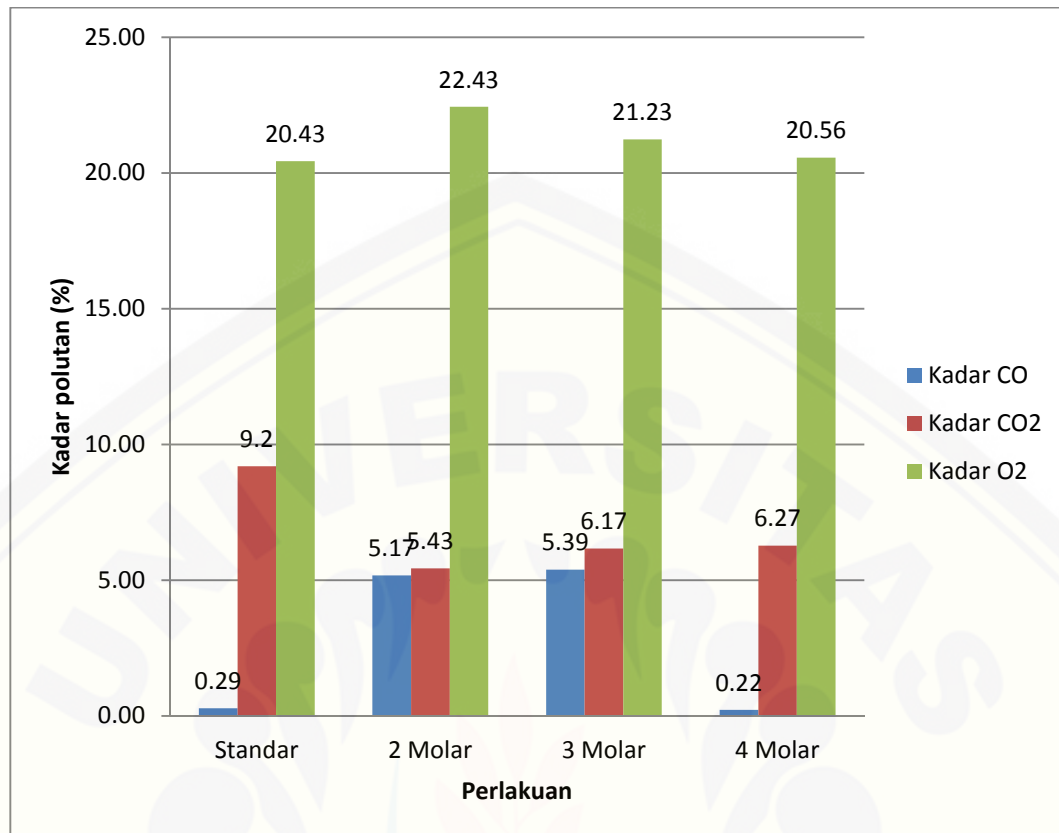
Gambar 4.2 Grafik hubungan daya terhadap putaran mesin pada keadaan standar dan pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis dengan variasi molaritas 2 molar, 3 molar, dan 4 molar.

Sama halnya dengan torsi, penambahan gas hasil elektrolisis (Brown gas) pada pembakaran motor bensin 4 langkah, dapat meningkatkan daya. Daya rata-rata tertinggi pada pengujian ini terdapat pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis dengan molaritas 4. Yaitu sebesar 8,70 HP pada putaran mesin 3914 rpm. Berbeda dengan daya tertinggi pada keadaan standar yang hanya 8,00 HP pada kecepatan putaran mesin 3976 rpm. Sedangkan daya rata-rata tertinggi pada variasi molaritas 2 dan 3, berturut-turut adalah 7,77 pada putaran mesin 4104 rpm dan 7,97 pada putaran mesin 3999 rpm.

Pada grafik di atas dapat dilihat dengan menambahkan Brown gas, daya pada putaran mesin tinggi selalu lebih besar dibandingkan dengan keadaan standar. Peningkatan daya pada keadaan setelah adanya penambahan gas hasil elektrolisis terjadi karena memungkinkannya pembakaran lebih sempurna. Dengan adanya tambahan Brown gas yang memiliki sifat lebih mudah terbakar, akan dapat mempercepat pembakaran. Percepatan pembakaran inilah yang kemudian dapat meningkatkan daya.

4.3.3 Analisa Hubungan Pengaruh Molaritas KOH Terhadap Emisi Gas Buang

Analisa hubungan pengaruh molaritas KOH terhadap besarnya emisi gas buang pada pembakarang motor bensin 4 langkah ini dilakukan pada putaran mesin idle dan 7000 rpm. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh molaritas KOH sebagai katalis pada elektrolisis air, yang menghasilkan gas oksihidrogen, terhadap besarnya emisi gas buang. Hubungan pengaruh molaritas KOH terhadap emisi gas buang pada keadaan standar dan pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis dengan variasi molaritas 2 molar, 3 molar, dan 4 molar pada proses pembakaran motor bensin 4 langkah adalah sebagaimana terlihat pada Gambar grafik berikut ini:



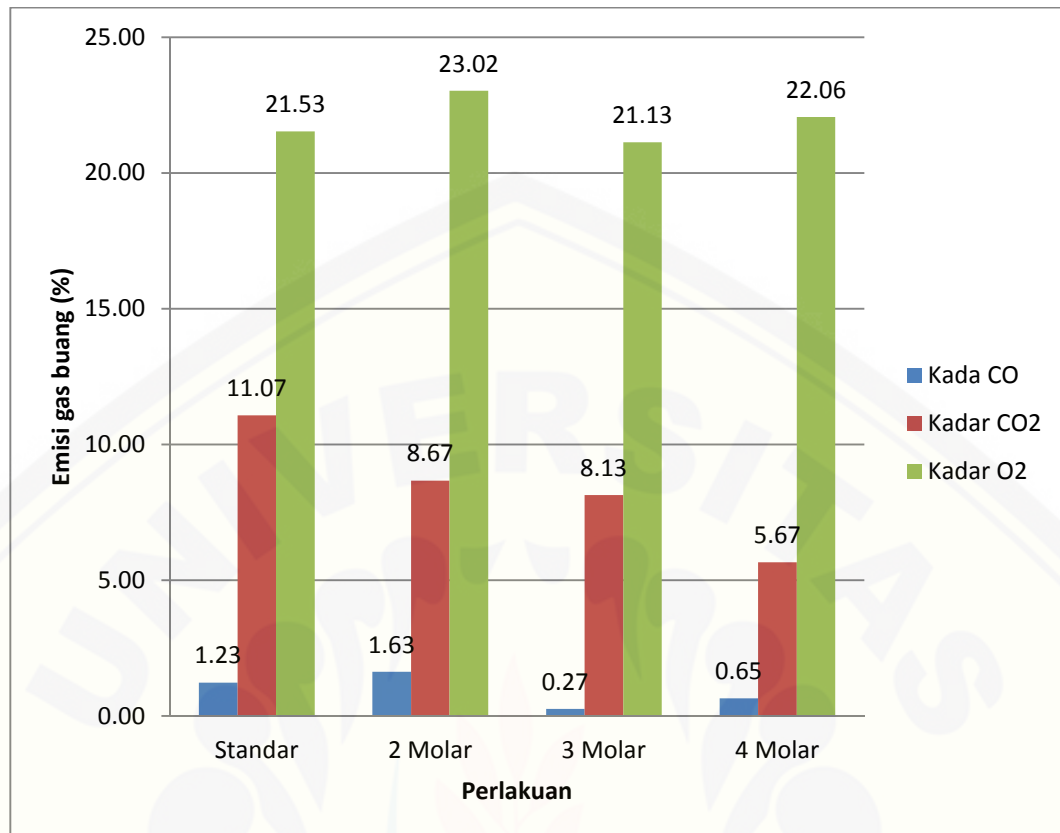
Gambar 4.3 Grafik hubungan pengaruh molaritas KOH terhadap emisi gas buang pada keadaan standar dan pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis dengan putaran mesin idle.

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa dalam keadaan putaran mesin rendah atau idle, kadar emisi gas buang CO mengalami peningkatan pada penambahan molaritas KOH 2 dan 3 molar. Namun turun, bahkan lebih rendah dari keadaan standar pada variasi molaritas KOH 4 molar. Jika pada keadaan standar besarnya emisi gas CO pada putaran mesin idle ini 0,29%. Pada variasi 2 dan 3 molar meningkat menjadi 5,17% dan 5,39%. Akan tetapi turun dibandingkan dengan keadaan standar pada variasi 4 molar sebesar 0,22%. Hal ini disebabkan pembakaran pada variasi 2 molar dan 3 molar tidak sempurna, sehingga dapat meningkatkan kadar CO. Sedangkan pada variasi 4 molar, pembakaran yang terjadi adalah pembakaran sempurna dibuktikan dengan menurunnya kadar CO.

Kadar CO_2 pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis secara umum lebih rendah dibandingkan dengan pada keadaan standar. Jika pada keadaan standar besarnya kadar CO_2 mencapai 9,2%. Pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis larutan KOH dengan variasi molaritas 2, 3, dan 4 molar berturut-turut adalah 5,43%, 6,17%, dan 6,27%. Penurunan dari keadaan standar dibandingkan dengan keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis ini disebabkan pembakaran yang tidak sempurna. Namun semakin besar molaritas dari larutan KOH yang menghasilkan Brown gas, besarnya kadar emisi gas CO_2 semakin meningkat. Hal ini disebabkan pada molaritas lebih tinggi, pembakaran yang terjadi lebih sempurna dibandingkan dengan molaritas yang lebih rendah.

Emisi gas buang O_2 cenderung meningkat setelah adanya penambahan gas hasil elektrolisis, dibandingkan dengan pada keadaan standar. Jika pada keadaan standar besarnya kadar O_2 adalah 20,43%. Pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis larutan KOH dengan variasi molaritas 2, 3, dan 4 molar berturut-turut adalah 22,43%, 21,23%, dan 20,56%. Peningkatan ini dikarenakan tidak sempurnanya pembakaran. Namun semakin besar molaritas dari larutan KOH yang menghasilkan Brown gas, besarnya kadar emisi gas O_2 semakin menurun. Hal ini disebabkan pada molaritas lebih tinggi, pembakaran yang terjadi lebih sempurna dibandingkan dengan molaritas yang lebih rendah.

Untuk perbandingan pengaruh molaritas KOH terhadap emisi gas buang pada keadaan standar dan pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis dengan putaran mesin 7000 rpm, dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut:



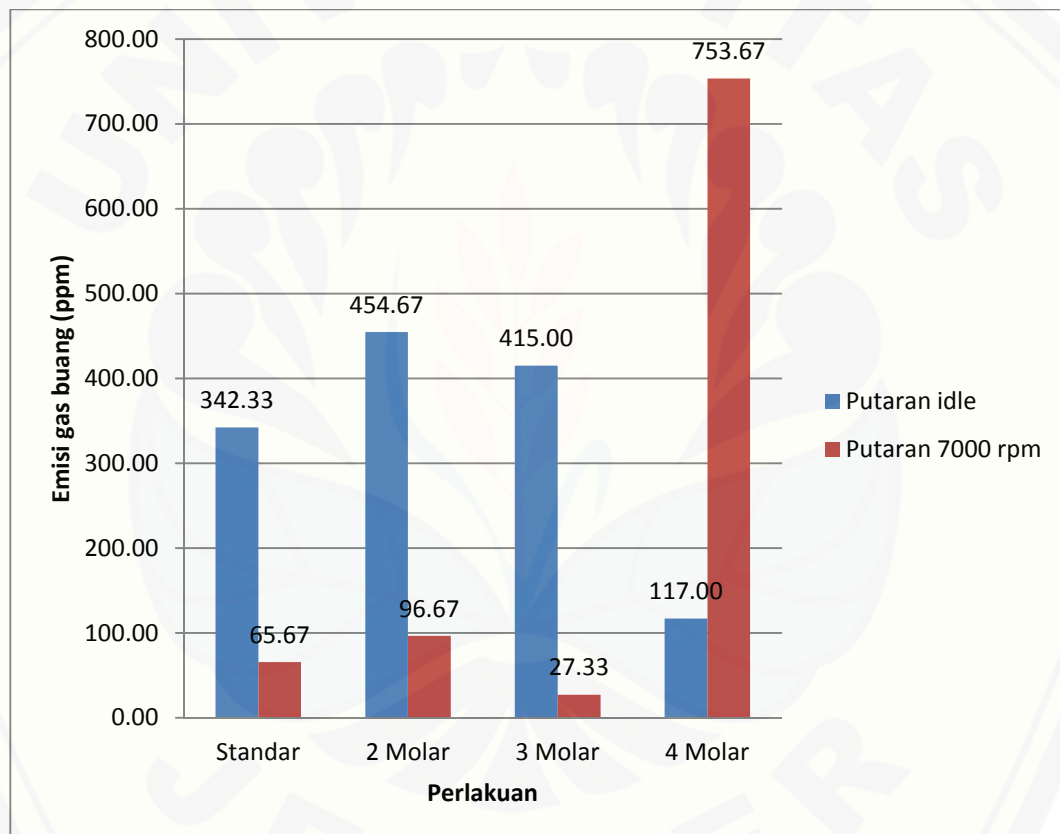
Gambar 4.4 Grafik hubungan pengaruh molaritas KOH terhadap emisi gas buang pada keadaan standar dan pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis dengan putaran mesin 7000 rpm.

Pada putaran mesin tinggi (7000 rpm), kadar CO cenderung lebih rendah setelah adanya penambahan gas hasil elektrolisis. Jika pada keadaan standar besarnya kadar CO adalah 1,23%. Pada keadaan setelah adanya penambahan gas hasil elektrolisis dengan variasi molaritas KOH 2, 3, dan 4 molar berturut-turut adalah 1,63%, 0,27%, dan 0,65%. Menurunnya kadar CO ini menunjukkan adanya perbaikan emisi gas buang.

Begitu juga dengan kadar CO₂ yang juga mengalami penurunan secara bertahap. Jika pada keadaan standar besarnya kadar CO₂ adalah 11,07%. Pada keadaan setelah adanya penambahan gas hasil elektrolisis dengan variasi molaritas KOH 2, 3, dan 4 molar berturut-turut adalah 8,76%, 8,13%, dan 5,67%. Penurunan kadar emisi gas CO₂ ini menunjukkan pembakaran kaya. Dimana terdapat bahan bakar yang tidak terbakar yang cukup tinggi.

Sedangkan kadar O_2 masih cenderung mengalami kenaikan. Jika pada keadaan standar besarnya kadar O_2 adalah 21,53%. Pada keadaan setelah adanya penambahan gas hasil elektrolisis dengan variasi molaritas KOH 2, 3, dan 4 molar berturut-turut adalah 23,02%, 21,13%, dan 22,06%. Kenaikan ini disebabkan pembakaran kaya yang terjadi.

Kemudian perbandingan pengaruh dari molaritas KOH terhadap besarnya kadar HC pada putaran mesin idle dan 7000 rpm dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Grafik hubungan pengaruh molaritas KOH terhadap emisi gas buang HC pada keadaan standar dan pada keadaan setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis dengan putaran mesin idle dan 7000 rpm.

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat pada putaran mesin rendah atau idle, penambahan gas hasil elektrolisis meningkatkan kadar HC. Hanya saja pada keadaan setelah ditambahkan gas elektrolisis dengan molaritas KOH 4 molar,

hasilnya lebih rendah dibandingkan dengan keadaan standar. Jika pada keadaan standar besarnya kadar HC adalah 342,33 ppm. Pada keadaan setelah adanya penambahan gas hasil elektrolisis dengan variasi molaritas KOH 2 dan 3 molar meningkat menjadi 454,67 ppm dan 415 ppm. Sedangkan pada variasi 4 molar mengalami penurunan bahkan dibandingkan dengan keadaan standar menjadi 117 ppm. Hal ini disebabkan pembakaran pada variasi 2 molar dan 3 molar tidak sempurna, sehingga dapat meningkatkan kadar HC. Sedangkan pada variasi 4 molar, pembakaran yang terjadi adalah pembakaran sempurna dibuktikan dengan menurunnya kadar HC.

Sama halnya pada putaran 7000 rpm, kadar HC meningkat setelah ditambahkan gas hasil elektrolisis dibandingkan pada keadaan standar. Bahkan pada variasi 4 molar peningkatan kadar HC jauh lebih besar. Jika pada keadaan standar besarnya kadar HC adalah 65,67 ppm. Pada keadaan setelah adanya penambahan gas hasil elektrolisis dengan variasi molaritas KOH 2, 3 dan 4 molar berturut-turut menjadi 96,67 ppm, 27,33 ppm dan 753,67 ppm. Peningkatan ini disebabkan pembakaran kaya yang terjadi.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian Pengaruh Molaritas Kalium Hidroksida (KOH) untuk Katalis pada Elektrolisis Air Sebagai Penghasil *Brown* Gas Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Motor 4 Langkah yaitu:

1. Semakin besar molaritas KOH, menghasilkan unjuk kerja mesin lebih baik, dibuktikan dengan meningkatnya torsi dan daya efektif.
2. Semakin besar molaritas KOH, menghasilkan emisi gas buang yang lebih baik, dibuktikan dengan menurunnya kadar CO, O₂, dan HC serta meningkatnya kadar CO₂.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini antara lain:

1. Pemilihan selang yang akan mengalirkan gas hasil elektrolisis ke intake manifold lebih baik menggunakan selang yang kuat atau tidak mudah menyusut.
2. Sebaiknya untuk aliran listrik dari aki sepeda motor yang akan digunakan untuk elektrolisis menggunakan saklar agar dapat disambung dan diputus tanpa membongkar pasang kabel.

DAFTAR PUSTAKA

- Hakim, Lukman. 2014. “Variasi Kuat Arus Dan Arah Medan Magnet Pada Saluran Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar Empat Langkah Dengan Bahan Bakar e10”. *Skripsi*. Universitas Jember: Tidak dipublikasikan.
- Mustari, Kahar. 2014. “Rancangan Percobaan Dengan SPSS”. Makassar: Masagena Press.
- Putra, A. M., 2010. “Analisis Produktifitas Gas Hidrogen dan Gas Oksigen pada Elektrolisis Larutan KOH”. *Jurnal Neutrino*. Vol. 2, No. 2. Halaman 141-154.
- Rosyidi, Fiktor dan Dwikoranto. 2012. “WGES (*Water Gas Electrolyzer System*) : Studi Eksperimental Elektrolisis Air Terhadap Emisi Gas Buang dan Konsumsi Bahan Bakar pada Kendaraan Bermotor”. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika Unesa*.
- Salimy, D. H. dan Ida N. F. 2008. “Perbandingan Produksi Hidrogen dengan Energi Nuklir Proses Elektrolisis dan *Steam Reforming*”. Seminar nasional IV SDM Teknologi Nuklir. Halaman 175-182.
- Sastrosupadi, Adji. 2000. “Rancangan Percobaan Praktis Bidang Pertanian”. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Satwika, Gahan. 2012. “Pengaruh Variasi Volume Silinder (*Stroke Up*) dan Variasi Perbandingan Kompresi Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah”. *Skripsi*. Universitas Jember: Tidak dipublikasikan.
- Sebastian, Otto dan Sitorus, T. B. 2013. “Analisa Efisiensi Elektrolisis Air dari *Hydrofill* pada Sel Bahan Bakar”. *Jurnal Dinamis*. Volume II, No. 12. Halaman 16-25.
- Wibawa, Ngurah Putra. 2004. Mesin Pembakaran. Jurusan Teknik Mesin. Denpasar: Universitas Udayana.
- Wiratmaja, I Gede. 2010. “Analisa Unjuk Kerja Motor Bensin Akibat Pemakaian Biogasoline”. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M*. Vol. 4, No. 1. Halaman 16-25.

Yeliana, Adnyana, B.I.W., Wibawa, N.P. 2004. Bahan Bakar dan Teknik Pembakaran Bahan Bakar. Program Studi Teknik Mesin. Denpasar: Universitas Udayana.

<http://id.scribd.com/doc/130309580/KOH-brian> (diakses tanggal 12 Juni 2014)

http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php?tabel=1&id_subyek=17¬ab=12
(diakses tanggal 7 Juni 2014).

<http://www.otonity.com/4878/pabrikan-motor-terlaris-di-indonesia-2014.html>
(diakses tanggal 7 Juni 2014).



LAMPIRAN

LAMPIRAN A. SPESIFIKASI ALAT

A.1 Spesifikasi Dinamometer

Merk : Rextor Sportdyno

Type : Motor Cycle SP1/SP2/SP3 V3.3

Perlengkapan pendukung:

- Terminal sensor Dyno test
- Sensor kecepatan putaran mesin
- Alat penstabil tegangan
- Magnet (elektromagnetik)
- Avo meter
- Tachometer
- Tabung Pengukur (Buret)
- Gelas ukur
- Stop watch
- Komputer
- Blower

A.2 Spesifikasi Gas Analyzer

Merk : Qrotech 401

Type : 5-gas

Parameters :

- O₂ range 0 – 25%, resolution 0,01%
- CO range 0 – 9,999%, resolution 0,1%
- CO₂ range 0 – 20%, resolution 0,01%
- HC range 0 – 10.000 ppm, resolution 1 ppm
- NO_x range 0 – 5.000 ppm, resolution 1 ppm
- AFR range 0,0 – 99,0, resolution 0,01

Measuring item : CO, HC, CO₂, O₂, (air surplus rate), AFR, NO_x.

Measuring method :

- HC, CO, CO₂ – NDIR (*Non-dispersive infrared*)
- O₂, NO_x – *Electro chemical*

Repeatability : less than $\pm 2\%$ FS

Response time : within 10 seconds (*more than 90%*)

Warming up time : 2 – 8 minutes

Flow rate : 4 – 6 L/min

Power supply : 220V

Printer tipe : *Built-in thermal printer*

LAMPIRAN B. TABEL PENELITIAN

B.1 Hasil Hubungan Torsi Terhadap Putaran Mesin

Hasil pengujian hubungan antara torsi terhadap putaran mesin adalah sebagai berikut:

Tabel Hubungan torsi terhadap putaran mesin pada keadaan standar

No.	Putaran Mesin (RPM)	Torsi (Nm)			Rata-rata Torsi (Nm)
		P1	P2	P3	
1	2806	1,39	1,39	1,39	1,39
2	3000	1,35	1,35	1,35	1,35
3	3250	1,37	1,37	1,37	1,37
4	3500	1,36	1,36	1,36	1,36
5	3750	1,33	1,33	1,33	1,33
6	3976	1,31	1,31	1,31	1,31
7	4000	1,30	1,30	1,30	1,30
8	4250	1,18	1,18	1,18	1,18
9	4500	1,11	1,11	1,11	1,11
10	4750	0,91	0,91	0,91	0,91
11	5000	0,76	0,76	0,76	0,76
12	5250	0,79	0,79	0,79	0,79
13	5500	0,80	0,80	0,80	0,80
14	5750	0,78	0,78	0,78	0,78
15	6000	0,76	0,76	0,76	0,76
16	6250	0,74	0,74	0,74	0,74
17	6500	0,71	0,71	0,71	0,71

18	6750	0,69	0,69	0,69	0,69
19	7000	0,67	0,67	0,67	0,67
20	7250	0,63	0,63	0,63	0,63
21	7500	0,61	0,61	0,61	0,61
22	7750	0,56	0,56	0,56	0,56
23	8000	0,53	0,53	0,53	0,53

Tabel Hubungan torsi terhadap putaran mesin setelah ditambahkan Brown gas dengan variasi molaritas KOH sebesar 2 molar

No.	Putaran Mesin (RPM)			Rata-rata Putaran Mesin (RPM)	Torsi (Nm)			Rata-rata Torsi (Nm)
	P1	P2	P3		P1	P2	P3	
1	3000	3000	3000	3000	1,24	1,29	1,31	1,28
2	3250	3250	3250	3250	1,32	1,33	1,35	1,33
3	3288	3475	3613	3459	1,32	1,34	1,36	1,34
4	3500	3500	3500	3500	1,27	1,34	1,35	1,32
5	3750	3750	3750	3750	1,25	1,33	1,31	1,30
6	4000	4000	4000	4000	1,09	1,31	1,22	1,21
7	3727	4366	4218	4104	1,26	1,24	1,22	1,24
8	4250	4250	4250	4250	0,95	1,28	1,2	1,14
9	4500	4500	4500	4500	1,01	1,20	0,92	1,04
10	4750	4750	4750	4750	0,83	0,94	0,84	0,87
11	5000	5000	5000	5000	0,76	0,82	0,87	0,82
12	5250	5250	5250	5250	0,81	0,81	0,85	0,82
13	5500	5500	5500	5500	0,79	0,80	0,84	0,81
14	5750	5750	5750	5750	0,76	0,79	0,83	0,79
15	6000	6000	6000	6000	0,76	0,78	0,78	0,77
16	6250	6250	6250	6250	0,73	0,74	0,76	0,74
17	6500	6500	6500	6500	0,72	0,71	0,75	0,73
18	6750	6750	6750	6750	0,71	0,69	0,72	0,71
19	7000	7000	7000	7000	0,68	0,66	0,69	0,68
20	7250	7250	7250	7250	0,67	0,64	0,67	0,66
21	7500	7500	7500	7500	0,65	0,62	0,64	0,64
22	7750	7750	7750	7750	0,62	0,60	0,60	0,61
23	8000	8000	8000	8000	0,60	0,57	0,58	0,58

Tabel Hubungan torsi terhadap putaran mesin setelah ditambahkan Brown gas dengan variasi molaritas KOH sebesar 3 molar

No.	Putaran Mesin (RPM)			Rata-rata Putaran Mesin (RPM)	Torsi (Nm)			Rata-rata Torsi (Nm)
	P1	P2	P3		P1	P2	P3	
1	3000	3000	3000	3000	1,44	1,32	1,36	1,37
2	3235	3320	3148	3234	1,46	1,35	1,38	1,40
3	3250	3250	3250	3250	1,46	1,35	1,38	1,40
4	3500	3500	3500	3500	1,41	1,33	1,36	1,37
5	3750	3750	3750	3750	1,36	1,34	1,30	1,33
6	3964	4017	4016	3999	1,33	1,29	1,29	1,30
7	4000	4000	4000	4000	1,30	1,29	1,29	1,29
8	4250	4250	4250	4250	1,23	1,18	1,17	1,19
9	4500	4500	4500	4500	1,04	1,00	0,97	1,00
10	4750	4750	4750	4750	0,86	0,87	0,91	0,88
11	5000	5000	5000	5000	0,85	0,86	0,90	0,87
12	5250	5250	5250	5250	0,84	0,87	0,89	0,87
13	5500	5500	5500	5500	0,82	0,85	0,86	0,84
14	5750	5750	5750	5750	0,78	0,82	0,85	0,82
15	6000	6000	6000	6000	0,76	0,80	0,81	0,79
16	6250	6250	6250	6250	0,75	0,77	0,79	0,77
17	6500	6500	6500	6500	0,74	0,76	0,76	0,75
18	6750	6750	6750	6750	0,71	0,72	0,73	0,72
19	7000	7000	7000	7000	0,68	0,70	0,71	0,70
20	7250	7250	7250	7250	0,66	0,66	0,69	0,67
21	7500	7500	7500	7500	0,63	0,65	0,66	0,65
22	7750	7750	7750	7750	0,59	0,61	0,62	0,61
23	8000	8000	8000	8000	0,56	0,57	0,61	0,58

Tabel Hubungan torsi terhadap putaran mesin setelah ditambahkan Brown gas dengan variasi molaritas KOH sebesar 4 molar

No.	Putaran Mesin (RPM)			Rata-rata Putaran Mesin (RPM)	Torsi (Nm)			Rata-rata Torsi (Nm)
	P1	P2	P3		P1	P2	P3	
1	2298	2298	3495	2697	1,52	1,52	1,50	1,51
2	3000	3000	3000	3000	1,44	1,44	1,36	1,41
3	3250	3250	3250	3250	1,45	1,45	1,43	1,44
4	3500	3500	3500	3500	1,45	1,45	1,49	1,46
5	3750	3750	3750	3750	1,45	1,45	1,37	1,42
6	4123	4123	3495	3914	1,40	1,40	1,50	1,43
7	4000	4000	4000	4000	1,41	1,41	1,23	1,35
8	4250	4250	4250	4250	1,31	1,31	1,09	1,24
9	4500	4500	4500	4500	1,06	1,06	0,95	1,02
10	4750	4750	4750	4750	0,93	0,93	0,92	0,93
11	5000	5000	5000	5000	0,92	0,92	0,89	0,91
12	5250	5250	5250	5250	0,89	0,89	0,88	0,89
13	5500	5500	5500	5500	0,87	0,87	0,85	0,86
14	5750	5750	5750	5750	0,84	0,84	0,84	0,84
15	6000	6000	6000	6000	0,80	0,80	0,80	0,80
16	6250	6250	6250	6250	0,77	0,77	0,77	0,77
17	6500	6500	6500	6500	0,76	0,76	0,76	0,76
18	6750	6750	6750	6750	0,71	0,71	0,73	0,72
19	7000	7000	7000	7000	0,69	0,69	0,71	0,70
20	7250	7250	7250	7250	0,67	0,67	0,68	0,67
21	7500	7500	7500	7500	0,64	0,64	0,65	0,64
22	7750	7750	7750	7750	0,59	0,59	0,63	0,60
23	8000	8000	8000	8000	0,57	0,57	0,60	0,58

B.2 Hasil Hubungan Daya Efektif Terhadap Putaran Mesin**Tabel Hubungan daya efektif terhadap putaran mesin pada keadaan standar**

No.	Putaran Mesin (RPM)	Daya Efektif (HP)			Rata-rata Daya Efektif (HP)
		P1	P2	P3	
1	2806	6,20	6,20	6,20	6,20
2	3000	6,40	6,40	6,40	6,40
3	3250	6,90	6,90	6,90	6,90
4	3500	7,40	7,40	7,40	7,40
5	3750	7,70	7,70	7,70	7,70
6	3976	8,00	8,00	8,00	8,00
7	4000	7,90	7,90	7,90	7,90
8	4250	7,50	7,50	7,50	7,50
9	4500	7,50	7,50	7,50	7,50
10	4750	6,30	6,30	6,30	6,30
11	5000	5,50	5,50	5,50	5,50
12	5250	6,10	6,10	6,10	6,10
13	5500	6,40	6,40	6,40	6,40
14	5750	6,60	6,60	6,60	6,60
15	6000	6,60	6,60	6,60	6,60
16	6250	6,70	6,70	6,70	6,70
17	6500	6,70	6,70	6,70	6,70
18	6750	6,70	6,70	6,70	6,70
19	7000	6,70	6,70	6,70	6,70
20	7250	6,60	6,60	6,60	6,60
21	7500	6,50	6,50	6,50	6,50
22	7750	6,20	6,20	6,20	6,20
23	8000	6,00	6,00	6,00	6,00

Tabel Hubungan daya efektif terhadap putaran mesin setelah ditambahkan Brown gas dengan variasi molaritas KOH sebesar 2 molar

No.	Putaran Mesin (RPM)			Rata-rata (RPM)	Daya Efektif (HP)			Rata-rata Daya Efektif (HP)
	P1	P2	P3		P1	P2	P3	
1	3000	3000	3000	3000	5,90	6,10	6,20	6,07
2	3250	3250	3250	3250	6,80	6,90	6,90	6,87
3	3288	3475	3613	3459	6,80	7,30	7,60	7,23
4	3500	3500	3500	3500	6,90	7,40	7,40	7,23
5	3750	3750	3750	3750	7,20	7,70	7,60	7,50
6	4000	4000	4000	4000	6,60	8,10	7,40	7,37
7	3727	4366	4218	4104	7,20	8,30	7,80	7,77
8	4250	4250	4250	4250	6,10	8,30	7,70	7,37
9	4500	4500	4500	4500	6,80	8,10	6,10	7,00
10	4750	4750	4750	4750	5,80	6,60	5,90	6,10
11	5000	5000	5000	5000	5,60	6,00	6,40	6,00
12	5250	5250	5250	5250	6,30	6,30	6,60	6,40
13	5500	5500	5500	5500	6,40	6,50	6,80	6,57
14	5750	5750	5750	5750	6,40	6,60	7,00	6,67
15	6000	6000	6000	6000	6,70	6,80	6,90	6,80
16	6250	6250	6250	6250	6,70	6,70	6,90	6,77
17	6500	6500	6500	6500	6,80	6,80	7,10	6,90
18	6750	6750	6750	6750	7,00	6,70	7,00	6,90
19	7000	7000	7000	7000	6,90	6,70	7,00	6,87
20	7250	7250	7250	7250	7,00	6,70	7,00	6,90
21	7500	7500	7500	7500	7,00	6,70	6,90	6,87
22	7750	7750	7750	7750	7,00	6,70	6,70	6,80
23	8000	8000	8000	8000	6,90	6,50	6,70	6,70

Tabel Hubungan daya efektif terhadap putaran mesin setelah ditambahkan Brown gas dengan variasi molaritas KOH sebesar 3 molar

No.	Puratan Mesin (RPM)			Rata-rata Putaran Mesin (RPM)	Daya Efektif (HP)			Rata-rata Daya Efektif (HP)
	P1	P2	P3		P1	P2	P3	
1	3000	3000	3000	3000	6,90	6,2	6,5	6,53
2	3235	3320	3148	3234	7,40	7,00	6,80	7,07
3	3250	3250	3250	3250	7,50	6,90	7,10	7,17
4	3500	3500	3500	3500	7,70	7,30	7,40	7,47
5	3750	3750	3750	3750	7,90	7,70	7,50	7,70
6	3964	4017	4016	3999	8,10	7,90	7,90	7,97
7	4000	4000	4000	4000	8,00	7,90	7,90	7,93
8	4250	4250	4250	4250	7,90	7,60	7,50	7,67
9	4500	4500	4500	4500	7,00	6,70	6,50	6,73
10	4750	4750	4750	4750	6,10	6,10	6,4	6,20
11	5000	5000	5000	5000	6,30	6,30	6,60	6,40
12	5250	5250	5250	5250	6,50	6,70	6,80	6,67
13	5500	5500	5500	5500	6,60	6,90	6,90	6,80
14	5750	5750	5750	5750	6,60	7,00	7,10	6,90
15	6000	6000	6000	6000	6,70	7,00	7,10	6,93
16	6250	6250	6250	6250	6,80	7,00	7,10	6,97
17	6500	6500	6500	6500	7,00	7,20	7,20	7,13
18	6750	6750	6750	6750	6,90	7,10	7,10	7,03
19	7000	7000	7000	7000	6,90	7,00	7,20	7,03
20	7250	7250	7250	7250	6,90	6,90	7,20	7,00
21	7500	7500	7500	7500	6,80	7,00	7,10	6,97
22	7750	7750	7750	7750	6,60	6,80	6,90	6,77
23	8000	8000	8000	8000	6,40	6,60	7,00	6,67

**Tabel Hubungan daya efektif terhadap putaran mesin setelah ditambahkan
Brown gas dengan variasi molaritas KOH sebesar 4 molar**

No.	Putaran Mesin (RPM)			Rata-rata Putaran Mesin (RPM)	Daya Efektif (HP)			Rata-rata Daya Efektif (HP)
	P1	P2	P3		P1	P2	P3	
1	2298	2298	3495	2697	5,80	5,80	8,30	6,63
2	3000	3000	3000	3000	6,90	6,90	6,50	6,77
3	3250	3250	3250	3250	7,40	7,40	7,40	7,40
4	3500	3500	3500	3500	7,90	7,90	8,30	8,03
5	3750	3750	3750	3750	8,50	8,50	7,90	8,30
6	4123	4123	3495	3914	8,90	8,90	8,30	8,70
7	4000	4000	4000	4000	8,70	8,70	7,50	8,30
8	4250	4250	4250	4250	8,50	8,50	6,90	7,97
9	4500	4500	4500	4500	7,10	7,10	6,40	6,87
10	4750	4750	4750	4750	6,60	6,60	6,50	6,57
11	5000	5000	5000	5000	6,80	6,80	6,60	6,73
12	5250	5250	5250	5250	6,90	6,90	6,80	6,87
13	5500	5500	5500	5500	7,00	7,00	6,90	6,97
14	5750	5750	5750	5750	7,10	7,10	7,10	7,10
15	6000	6000	6000	6000	7,00	7,00	7,00	7,00
16	6250	6250	6250	6250	7,10	7,10	7,10	7,10
17	6500	6500	6500	6500	7,20	7,20	7,20	7,20
18	6750	6750	6750	6750	7,00	7,00	7,20	7,07
19	7000	7000	7000	7000	7,00	7,00	7,20	7,07
20	7250	7250	7250	7250	7,00	7,00	7,10	7,03
21	7500	7500	7500	7500	6,90	6,90	7,10	6,97
22	7750	7750	7750	7750	6,60	6,60	7,00	6,73
23	8000	8000	8000	8000	6,60	6,60	6,90	6,70

B.3 Hasil Hubungan Pengaruh Molaritas KOH Terhadap Emisi Gas Buang**Tabel Hubungan pengaruh molaritas KOH terhadap emisi gas buang CO**

Molaritas Larutan KOH (M)	Putaran Mesin (RPM)	Kadar gas CO (%)			Rata-rata Kadar gas CO (%)
		P1	P2	P3	
0	IDLE	0,28	0,29	0,29	0,28
	7000	1,23	1,21	1,25	1,23
2	IDLE	5,67	4,71	5,14	5,17
	7000	1,51	1,50	1,87	1,62
3	IDLE	5,42	5,51	5,24	5,39
	7000	0,38	0,32	0,10	0,27
4	IDLE	0,17	0,23	0,27	0,22
	7000	0,82	0,17	0,96	0,65

Tabel Hubungan pengaruh molaritas KOH terhadap emisi gas buang CO₂

Molaritas Larutan KOH (M)	Putaran Mesin (RPM)	Kadar CO ₂ (%)			Rata-rata Kadar CO ₂ (%)
		P1	P2	P3	
0	IDLE	9,20	9,20	9,20	9,20
	7000	10,8	11,2	11,2	11,1
2	IDLE	6,00	5,10	5,20	5,43
	7000	8,90	9,30	7,80	8,67
3	IDLE	6,10	6,30	6,10	6,16
	7000	9,70	9,90	4,80	8,13
4	IDLE	6,20	6,20	6,40	6,26
	7000	5,80	5,80	5,40	5,67

Tabel Hubungan pengaruh molaritas KOH terhadap emisi gas buang O₂

Molaritas Larutan KOH (M)	Putaran Mesin (RPM)	Kadar O ₂ (%)			Rata-rata Kadar O ₂ (%)
		P1	P2	P3	
0	IDLE	19,95	20,43	20,90	20,43
	7000	21,37	21,37	21,85	21,53
2	IDLE	22,31	22,31	22,67	22,43
	7000	23,02	23,02	23,02	23,02
3	IDLE	20,90	21,23	21,57	21,23
	7000	21,57	21,23	20,58	21,13
4	IDLE	20,22	20,56	20,90	20,56
	7000	21,22	21,80	23,17	22,06

Tabel Hubungan pengaruh molaritas KOH terhadap emisi gas buang HC

Molaritas Larutan KOH (M)	Putaran Mesin (RPM)	Kadar HC (ppm)			Rata-rata Kadar HC (ppm)
		P1	P2	P3	
0	IDLE	360	342	325	342,33
	7000	70,0	73,0	54,0	65,667
2	IDLE	471	447	446	454,67
	7000	108	98,0	84,0	96,667
3	IDLE	380	415	450	415,00
	7000	39,0	21,0	22,0	27,333
4	IDLE	158	103	90,0	117,00
	7000	588	645	1028	753,67

B.4 Hasil Data Sampel Desain Rancangan Acak Lengkap Dua Faktor**Tabel data sampel desain rancangan acak lengkap dua faktor pada torsi**

Molaritas	Putaran Mesin	Ulangan			Total	Rata-rata
		1	2	3		
M1	R1	1,35	1,35	1,35	4,05	1,35
	R2	1,37	1,37	1,37	4,11	1,37
	R3	1,36	1,36	1,36	4,08	1,36
	R4	1,33	1,33	1,33	3,99	1,33

	R5	1,3	1,3	1,3	3,9	1,3
	R6	1,18	1,18	1,18	3,54	1,18
	R7	1,11	1,11	1,11	3,33	1,11
	R8	0,91	0,91	0,91	2,73	0,91
	R9	0,76	0,76	0,76	2,28	0,76
	R10	0,79	0,79	0,79	2,37	0,79
	R11	0,8	0,8	0,8	2,4	0,8
	R12	0,78	0,78	0,78	2,34	0,78
	R13	0,76	0,76	0,76	2,28	0,76
	R14	0,74	0,74	0,74	2,22	0,74
	R15	0,71	0,71	0,71	2,13	0,71
	R16	0,69	0,69	0,69	2,07	0,69
	R17	0,67	0,67	0,67	2,01	0,67
	R18	0,63	0,63	0,63	1,89	0,63
	R19	0,61	0,61	0,61	1,83	0,61
	R20	0,56	0,56	0,56	1,68	0,56
	R21	0,53	0,53	0,53	1,59	0,53
M2	R1	1,24	1,29	1,31	3,84	1,28
	R2	1,32	1,33	1,35	4	1,33
	R3	1,27	1,34	1,35	3,96	1,32
	R4	1,25	1,33	1,31	3,89	1,30
	R5	1,09	1,31	1,22	3,62	1,21
	R6	0,95	1,28	1,2	3,43	1,14
	R7	1,01	1,2	0,92	3,13	1,04
	R8	0,83	0,94	0,84	2,61	0,87
	R9	0,76	0,82	0,87	2,45	0,82
	R10	0,81	0,81	0,85	2,47	0,82
	R11	0,79	0,8	0,84	2,43	0,81
	R12	0,76	0,79	0,83	2,38	0,79
	R13	0,76	0,78	0,78	2,32	0,77
	R14	0,73	0,74	0,76	2,23	0,74
	R15	0,72	0,71	0,75	2,18	0,73
	R16	0,71	0,69	0,72	2,12	0,71
	R17	0,68	0,66	0,69	2,03	0,68
	R18	0,67	0,64	0,67	1,98	0,66
	R19	0,65	0,62	0,64	1,91	0,64
	R20	0,62	0,6	0,6	1,82	0,61
	R21	0,6	0,57	0,58	1,75	0,58
M3	R1	1,44	1,32	1,36	4,12	1,37
	R2	1,46	1,35	1,38	4,19	1,40
	R3	1,41	1,33	1,36	4,1	1,37

	R4	1,36	1,34	1,3	4	1,33
	R5	1,3	1,29	1,29	3,88	1,29
	R6	1,23	1,18	1,17	3,58	1,19
	R7	1,04	1	0,97	3,01	1,00
	R8	0,86	0,87	0,91	2,64	0,88
	R9	0,85	0,86	0,9	2,61	0,87
	R10	0,84	0,87	0,89	2,6	0,87
	R11	0,82	0,85	0,86	2,53	0,84
	R12	0,78	0,82	0,85	2,45	0,82
	R13	0,76	0,8	0,81	2,37	0,79
	R14	0,75	0,77	0,79	2,31	0,77
	R15	0,74	0,76	0,76	2,26	0,75
	R16	0,71	0,72	0,73	2,16	0,72
	R17	0,68	0,7	0,71	2,09	0,70
	R18	0,66	0,66	0,69	2,01	0,67
	R19	0,63	0,65	0,66	1,94	0,65
	R20	0,59	0,61	0,62	1,82	0,61
	R21	0,56	0,57	0,61	1,74	0,58
M4	R1	1,44	1,44	1,36	4,24	1,41
	R2	1,45	1,45	1,43	4,33	1,44
	R3	1,45	1,45	1,49	4,39	1,46
	R4	1,45	1,45	1,37	4,27	1,42
	R5	1,41	1,41	1,23	4,05	1,35
	R6	1,31	1,31	1,09	3,71	1,24
	R7	1,06	1,06	0,95	3,07	1,02
	R8	0,93	0,93	0,92	2,78	0,93
	R9	0,92	0,92	0,89	2,73	0,91
	R10	0,89	0,89	0,88	2,66	0,89
	R11	0,87	0,87	0,85	2,59	0,86
	R12	0,84	0,84	0,84	2,52	0,84
	R13	0,8	0,8	0,8	2,4	0,80
	R14	0,77	0,77	0,77	2,31	0,77
	R15	0,76	0,76	0,76	2,28	0,76
	R16	0,71	0,71	0,73	2,15	0,72
	R17	0,69	0,69	0,71	2,09	0,70
	R18	0,67	0,67	0,68	2,02	0,67
	R19	0,64	0,64	0,65	1,93	0,64
	R20	0,59	0,59	0,63	1,81	0,60
	R21	0,57	0,57	0,6	1,74	0,58
Total		76,85	77,73	77,27	231,85	77,28

**Tabel data sampel desain rancangan acak lengkap dua faktor
pada daya efektif**

Molaritas	Putaran Mesin	Ulangan			Total	Rata- rata
		1	2	3		
M1	R1	6,4	6,4	6,4	19,2	6,4
	R2	6,9	6,9	6,9	20,7	6,9
	R3	7,4	7,4	7,4	22,2	7,4
	R4	7,7	7,7	7,7	23,1	7,7
	R5	7,9	7,9	7,9	23,7	7,9
	R6	7,5	7,5	7,5	22,5	7,5
	R7	7,5	7,5	7,5	22,5	7,5
	R8	6,3	6,3	6,3	18,9	6,3
	R9	5,5	5,5	5,5	16,5	5,5
	R10	6,1	6,1	6,1	18,3	6,1
	R11	6,4	6,4	6,4	19,2	6,4
	R12	6,6	6,6	6,6	19,8	6,6
	R13	6,6	6,6	6,6	19,8	6,6
	R14	6,7	6,7	6,7	20,1	6,7
	R15	6,7	6,7	6,7	20,1	6,7
	R16	6,7	6,7	6,7	20,1	6,7
	R17	6,7	6,7	6,7	20,1	6,7
	R18	6,6	6,6	6,6	19,8	6,6
	R19	6,5	6,5	6,5	19,5	6,5
	R20	6,2	6,2	6,2	18,6	6,2
	R21	6	6	6	18	6
M2	R1	5,9	6,1	6,2	18,2	6,07
	R2	6,8	6,9	6,9	20,6	6,87
	R3	6,9	7,4	7,4	21,7	7,23
	R4	7,2	7,7	7,6	22,5	7,50
	R5	6,6	8,1	7,4	22,1	7,37
	R6	6,1	8,3	7,7	22,1	7,37
	R7	6,8	8,1	6,1	21	7,00
	R8	5,8	6,6	5,9	18,3	6,10
	R9	5,6	6	6,4	18	6,00
	R10	6,3	6,3	6,6	19,2	6,40
	R11	6,4	6,5	6,8	19,7	6,57
	R12	6,4	6,6	7	20	6,67
	R13	6,7	6,8	6,9	20,4	6,80
	R14	6,7	6,7	6,9	20,3	6,77
	R15	6,8	6,8	7,1	20,7	6,90

	R16	7	6,7	7	20,7	6,90
	R17	6,9	6,7	7	20,6	6,87
	R18	7	6,7	7	20,7	6,90
	R19	7	6,7	6,9	20,6	6,87
	R20	7	6,7	6,7	20,4	6,80
	R21	6,9	6,5	6,7	20,1	6,70
M3	R1	6,9	6,2	6,5	19,6	6,53
	R2	7,5	6,9	7,1	21,5	7,17
	R3	7,7	7,3	7,4	22,4	7,47
	R4	7,9	7,7	7,5	23,1	7,70
	R5	8	7,9	7,9	23,8	7,93
	R6	7,9	7,6	7,5	23	7,67
	R7	7	6,7	6,5	20,2	6,73
	R8	6,1	6,1	6,4	18,6	6,20
	R9	6,3	6,3	6,6	19,2	6,40
	R10	6,5	6,7	6,8	20	6,67
	R11	6,6	6,9	6,9	20,4	6,80
	R12	6,6	7	7,1	20,7	6,90
	R13	6,7	7	7,1	20,8	6,93
	R14	6,8	7	7,1	20,9	6,97
	R15	7	7,2	7,2	21,4	7,13
	R16	6,9	7,1	7,1	21,1	7,03
	R17	6,9	7	7,2	21,1	7,03
	R18	6,9	6,9	7,2	21	7,00
	R19	6,8	7	7,1	20,9	6,97
	R20	6,6	6,8	6,9	20,3	6,77
	R21	6,4	6,6	7	20	6,67
M4	R1	6,9	6,9	6,5	20,3	6,77
	R2	7,4	7,4	7,4	22,2	7,40
	R3	7,9	7,9	8,3	24,1	8,03
	R4	8,5	8,5	7,9	24,9	8,30
	R5	8,7	8,7	7,5	24,9	8,30
	R6	8,5	8,5	6,9	23,9	7,97
	R7	7,1	7,1	6,4	20,6	6,87
	R8	6,6	6,6	6,5	19,7	6,57
	R9	6,8	6,8	6,6	20,2	6,73
	R10	6,9	6,9	6,8	20,6	6,87
	R11	7	7	6,9	20,9	6,97
	R12	7,1	7,1	7,1	21,3	7,10
	R13	7	7	7	21	7,00
	R14	7,1	7,1	7,1	21,3	7,10

R15	7,2	7,2	7,2	21,6	7,20
R16	7	7	7,2	21,2	7,07
R17	7	7	7,2	21,2	7,07
R18	7	7	7,1	21,1	7,03
R19	6,9	6,9	7,1	20,9	6,97
R20	6,6	6,6	7	20,2	6,73
R21	6,6	6,6	6,9	20,1	6,70
Total	577,5	583,5	581,8	1742,8	580,93

**Tabel data sampel desain rancangan acak lengkap dua faktor
pada emisi gas CO**

Molaritas	Putaran Mesin	Ulangan			Total	Rata- rata
		1	2	3		
M1	R1	0,28	0,29	0,29	0,86	0,29
	R2	1,23	1,21	1,25	3,69	1,23
M2	R1	5,67	4,71	5,14	15,52	5,17
	R2	1,51	1,5	1,87	4,88	1,63
M3	R1	5,42	5,51	5,24	16,17	5,39
	R2	0,38	0,32	0,10	0,80	0,27
M4	R1	0,17	0,23	0,27	0,67	0,22
	R2	0,82	0,17	0,96	1,95	0,65
total		15,48	13,94	15,12	44,54	14,85

**Tabel data sampel desain rancangan acak lengkap dua faktor
pada emisi gas CO₂**

Molaritas	Putaran Mesin	Ulangan			Total	Rata- rata
		1	2	3		
M1	R1	9,20	9,20	9,20	27,60	9,20
	R2	10,80	11,20	11,20	33,20	11,07
M2	R1	6,00	5,10	5,20	16,30	5,43
	R2	8,90	9,30	7,80	26,00	8,67
M3	R1	6,10	6,30	6,10	18,50	6,17
	R2	9,70	9,90	4,80	24,40	8,13
M4	R1	6,20	6,20	6,40	18,80	6,27
	R2	5,80	5,80	5,40	17,00	5,67
Total		62,70	63,00	56,10	181,80	60,60

**Tabel data sampel desain rancangan acak lengkap dua faktor
pada emisi gas HC**

Molaritas	Putaran Mesin	Ulangan			Total	Rata- rata
		1	2	3		
M1	R1	360	342	325	1027	342,33
	R2	70	73	54	197	65,67
M2	R1	471	447	446	1364	454,67
	R2	108	98	84	290	96,67
M3	R1	380	415	450	1245	415,00
	R2	39	21	22	82	27,33
M4	R1	158	103	90	351	117,00
	R2	588	645	1028	2261	753,67
Total		2174	2144	2499	6817	2272,33

Tabel Dua Arah Rancangan Acak Lengkap Dua Faktor pada torsi

Molaritas	Putaran Mesin										
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11
M1	4,05	4,11	4,08	3,99	3,9	3,54	3,33	2,73	2,28	2,37	2,4
M2	3,84	4	3,96	3,89	3,62	3,43	3,13	2,61	2,45	2,47	2,43
M3	4,12	4,19	4,1	4	3,88	3,58	3,01	2,64	2,61	2,6	2,53
M4	4,24	4,33	4,39	4,27	4,05	3,71	3,07	2,78	2,73	2,66	2,59
putaran Mesin	16,25	16,63	16,53	16,15	15,45	14,26	12,54	10,76	10,07	10,1	9,95

Lanjutan tabel dua arah rancangan acak lengkap dua faktor pada torsi

Molaritas	Putaran Mesin										Molaritas
	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20	R21	
M1	2,34	2,28	2,22	2,13	2,07	2,01	1,89	1,83	1,68	1,59	56,82
M2	2,38	2,32	2,23	2,18	2,12	2,03	1,98	1,91	1,82	1,75	56,55
M3	2,45	2,37	2,31	2,26	2,16	2,09	2,01	1,94	1,82	1,74	58,41
M4	2,52	2,4	2,31	2,28	2,15	2,09	2,02	1,93	1,81	1,74	60,07
putaran Mesin	9,69	9,37	9,07	8,85	8,5	8,22	7,9	7,61	7,13	6,82	231,85

Tabel Dua Arah Rancangan Acak Lengkap Dua Faktor pada daya efektif

Molaritas	Putaran Mesin										
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11
M1	19,2	20,7	22,2	23,1	23,7	22,5	22,5	18,9	16,5	18,3	19,2
M2	18,2	20,6	21,7	22,5	22,1	22,1	21	18,3	18	19,2	19,7
M3	19,6	21,5	22,4	23,1	23,8	23	20,2	18,6	19,2	20	20,4
M4	20,3	22,2	24,1	24,9	24,9	23,9	20,6	19,7	20,2	20,6	20,9
putaran Mesin	77,3	85	90,4	93,6	94,5	91,5	84,3	75,5	73,9	78,1	80,2

Lanjutan tabel dua arah rancangan acak lengkap dua faktor pada daya efektif

Molaritas	Putaran Mesin										Molaritas
	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20	R21	
M1	19,8	19,8	20,1	20,1	20,1	20,1	19,8	19,5	18,6	18	422,7
M2	20	20,4	20,3	20,7	20,7	20,6	20,7	20,6	20,4	20,1	427,9
M3	20,7	20,8	20,9	21,4	21,1	21,1	21	20,9	20,3	20	440
M4	21,3	21	21,3	21,6	21,2	21,2	21,1	20,9	20,2	20,1	452,2
putaran Mesin	81,8	82	82,6	83,8	83,1	83	82,6	81,9	79,5	78,2	1742,8

Tabel Dua Arah Rancangan Acak Lengkap Dua Faktor pada emisi gas CO

Molaritas	Putaran Mesin		Molaritas
	R1	R2	
M1	0,86	3,69	4,55
M2	15,52	4,88	20,40
M3	16,17	0,80	16,97
M4	0,67	1,95	2,62
putaran Mesin	33,22	11,32	44,54

Tabel Dua Arah Rancangan Acak Lengkap Dua Faktor pada emisi gas CO₂

Molaritas	Putaran Mesin		molaritas
	R1	R2	
M1	27,6	33,2	60,8
M2	16,3	26	42,3
M3	18,5	24,4	42,9
M4	18,8	17	35,8
putaran Mesin	81,2	100,6	181,8

Tabel Dua Arah Rancangan Acak Lengkap Dua Faktor pada emisi gas HC

Molaritas	Putaran Mesin		molaritas
	R1	R2	
M1	1027	197	1224
M2	1364	290	1654
M3	1245	82	1327
M4	351	2261	2612
putaran Mesin	3987	2830	6817

LAMPIRAN C. PERHITUNGAN**C.1 Pembuatan Larutan**

$$\text{Konsentrasi Molar } M = \frac{m \text{ (gr)}}{Mr} \times \frac{1000}{v \text{ larutan (ml)}}$$

- Mencari massa KOH (gr) yang dibutuhkan untuk membuat larutan KOH dengan molaritas 2 M

$$Mr \text{ KOH} = 56, v \text{ zat pelarut} = 1 \text{ liter} = 1000 \text{ ml}$$

$$2 \text{ M} = \frac{m \text{ KOH (gr)}}{56} \times \frac{1000}{1000 \text{ ml}} = 112 \text{ gr}$$

- Mencari massa KOH (gr) yang dibutuhkan untuk membuat larutan KOH dengan molaritas 3 M

Mr KOH = 56, v zat pelarut = 1 liter = 1000 ml

$$3 M = \frac{m \text{ KOH (gr)}}{56} \times \frac{1000}{1000 \text{ ml}} = 168 \text{ gr}$$

- Mencari massa KOH (gr) yang dibutuhkan untuk membuat larutan KOH dengan molaritas 4 M

Mr KOH = 56, v zat pelarut = 1 liter = 1000 ml

$$4 M = \frac{m \text{ KOH (gr)}}{56} \times \frac{1000}{1000 \text{ ml}} = 224 \text{ gr}$$

C.2 Perhitungan Statistik

Sebelum memperoleh nilai dalam tabel ANOVA, terlebih dahulu harus diketahui Faktor Koreksi (FK), Jumlah Kuadrat Total (JKT), Jumlah Kuadrat Ulangan (JKU), Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP), Jumlah Kuadrat Galat (JKG), Jumlah Kuadrat Molaritas (JKM), Jumlah Kuadrat Putaran mesin (JKR), dan Jumlah Kuadrat Interaksi (JKMR).

- Perhitungan Statistik pada torsi

$$FK = 231,85^2 / (63 \times 4) = 213,31$$

$$JKT = (1,35^2 + 1,35^2 + 1,35^2 + 1,37^2 + \dots + 0,60^2) - 213,31 = 19,90$$

$$JKU = [(76,85^2 + 77,73^2 + 77,27^2) / (4 \times 21)] - 213,31 = 0,005$$

$$JKP = [(4,05^2 + 4,11^2 + 4,08^2 + 3,99^2 + \dots + 1,74^2) / 3] - 213,31 = 19,63$$

$$JKG = 19,90 - 19,63 - 0,005 = 0,27$$

$$JKM = [(56,82^2 + 56,55^2 + 58,44^2 + 60,07^2) / (21 \times 3)] - 213,31 = 0,13$$

$$JKR = [(16,25^2 + 16,63^2 + 16,53^2 + \dots + 6,82^2) / (4 \times 3)] - 213,31 \\ = 19,35$$

$$JKMR = 19,63 - 0,13 - 19,35 = 0,15$$

- Perhitungan Statistik pada daya efektif

$$FK = 1742,8^2 / (63 \times 4) = 12052,98$$

$$JKT = (6,4^2 + 6,4^2 + 6,4^2 + 6,9^2 + \dots + 6,9^2) - 12052,98 = 80,38$$

$$JKU = [(577,5^2 + 583,5^2 + 581,8^2) / (4 \times 21)] - 12052,98 = 0,23$$

$$JKP = [(19,2^2 + 20,7^2 + 22,2^2 + 23,1^2 + \dots + 20,1^2) / 3] - 12052,98 = 67,24$$

$$JKG = 80,38 - 67,24 - 0,23 = 12,91$$

$$JKM = [(422,7^2 + 427,9^2 + 440^2 + 452,2^2) / (21 \times 3)] - 12052,98 = 8,26$$

$$JKR = [(77,3^2 + 85^2 + 90,4^2 + \dots + 78,2^2) / (4 \times 3)] - 12052,98 = 51,72$$

$$JKMR = 67,24 - 8,26 - 51,72 = 7,26$$

- Perhitungan Statistik pada emisi gas CO

$$FK = 44,54^2 / (6 \times 4) = 82,66$$

$$JKT = (0,28^2 + 0,29^2 + 0,29^2 + 1,23^2 + \dots + 0,96^2) - 82,66 = 100,14$$

$$JKU = [(15,48^2 + 13,94^2 + 15,12^2) / (4 \times 2)] - 82,66 = 0,16$$

$$JKP = [(0,86^2 + 3,69^2 + 15,52^2 + 4,88^2 + 16,17^2 + 0,8^2 + 0,67^2 + 1,95^2) / 3] - 82,66 = 99,14$$

$$JKG = 100,14 - 99,14 - 0,16 = 0,83$$

$$JKM = [(4,55^2 + 20,40^2 + 16,97^2 + 2,62^2) / (2 \times 3)] - 82,66 = 39,29$$

$$JKR = [(33,22^2 + 11,32^2) / (4 \times 3)] - 82,66 = 19,98$$

$$JKMR = 99,14 - 39,14 - 19,98 = 39,87$$

- Perhitungan Statistik pada emisi gas CO₂

$$FK = 181,8^2 / (6 \times 4) = 1377,14$$

$$JKT = (9,2^2 + 9,2^2 + 9,2^2 + 10,8^2 + \dots + 5,4^2) - 1377,14 = 103,42$$

$$JKU = [(62,7^2 + 63^2 + 56,1^2) / (4 \times 2)] - 1377,14 = 3,80$$

$$JKP = [(27,6^2 + 33,2^2 + 16,3^2 + 26^2 + 18,5^2 + 24,4^2 + 18,8^2 + 17^2) / 3] - 1377,14 = 84,78$$

$$JKG = 103,42 - 84,78 - 3,80 = 14,84$$

$$JKM = [(60,8^2 + 42,3^2 + 42,9^2 + 35,8^2) / (2 \times 3)] - 1377,14 = 57,53$$

$$JKR = [(81,2^2 + 100,6^2) / (4 \times 3)] - 1377,14 = 15,68$$

$$JKMR = 84,78 - 57,53 - 15,68 = 11,57$$

- Perhitungan Statistik pada emisi gas HC

$$FK = 6817^2 / (6 \times 4) = 1936312,04$$

$$\begin{aligned} JKT &= (360^2 + 342^2 + 325^2 + 70^2 + \dots + 1028^2) - 1936312,04 \\ &= 1461708,96 \end{aligned}$$

$$JKU = [(2174^2 + 2144^2 + 2499^2) / (4 \times 2)] - 1936312,04 = 9689,58$$

$$\begin{aligned} JKP &= [(1027^2 + 197^2 + 1364^2 + 290^2 + 1245^2 + 82^2 + 351^2 + 2261^2) / 3] \\ &\quad - 1936312,04 = 1340422,96 \end{aligned}$$

$$JKG = 1461708,96 - 1340422,96 - 9689,58 = 111596,42$$

$$\begin{aligned} JKM &= [(1224^2 + 1654^2 + 1327^2 + 2612^2) / (2 \times 3)] - 1936312,04 \\ &= 199915,46 \end{aligned}$$

$$JKR = [(3987^2 + 2830^2) / (4 \times 3)] - 1936312,04 = 55777,04$$

$$JKMR = 1340422,96 - 199915,46 - 55777,04 = 1084730,46$$

LAMPIRAN D. FOTO PENELITIAN



Gambar KOH



Gambar Aquades



Gambar Gelas ukur



Gambar Neraca



Gambar Labu Ukur



Gambar Larutan KOH



Gambar Alat Elektrolisis



Gambar Pemasangan Kabel pada Aki



Gambar Pemasangan Selang Pada *Intake Manifold*



Gambar Pengujian Menggunakan Dinamometer



Gambar Pengujian Menggunakan Gas Analyzer