

**PEMANFAATAN CAMPURAN ZEOLIT ALAM - *FLY ASH* BATUBARA YANG
TELAH DIAKTIVASI FISIK UNTUK MENINGKATKAN PRESTASI MESIN
BENSIN 4-LANGKAH**

(Skripsi)

Oleh
ADI ERNADI



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

PEMANFAATAN CAMPURAN ZEOLIT ALAM – *FLY ASH* BATUBARA YANG TELAH DIAKTIVASI FISIK UNTUK MENINGKATKAN PRESTASI MESIN 4 LANGKAH

Oleh

Adi Ernadi

Konsumsi energi dalam negeri Indonesia cukup tinggi, hampir 96% dipenuhi dari bahan bakar fosil (minyak bumi 48%, gas 18% dan batubara 30%). Dari total konsumsi energi dalam negeri tersebut, dapat terlihat bahwa hampir 50% konsumsi energi dalam negeri Indonesia merupakan Bahan Bakar Minyak (BBM). Tingginya konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) tersebut diakibatkan oleh subsidi sehingga harga energi menjadi murah dan masyarakat cenderung boros dalam menggunakan energi. Dengan keadaan seperti ini, perlu dilakukan upaya penghematan pemakaian bahan bakar. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan cara memanfaatkan zeolit dan *fly ash* sebagai filter udara kendaraan. Karena zeolit dan *fly ash* memiliki kemampuan dalam menangkap gas nitrogen dan uap air dalam udara, sehingga hanya gas oksigen yang masuk ke dalam ruang bakar. Dengan demikian proses pembakaran semakin optimal dan prestasi mesin semakin baik.

Sebelum digunakan, zeolit dan *fly ash* dicampur dengan komposisi campuran zeolit dan *fly ash* tertentu. Komposisi zeolit berbanding *fly ash* yang digunakan adalah zeolit 0% : *fly ash* 100% (Z0:F100), zeolit 25% : *fly ash* 75% (Z25:F75), zeolit 50% : *fly ash* 50% (Z50:F50), zeolit 75% : *fly ash* 25% (Z75:F25), dan zeolit 100% : *fly ash* 0% (Z100:F0). Campuran zeolit dan *fly ash* tersebut dibuat dalam bentuk pelet lalu diaktivasi fisik untuk menghilangkan uap air didalam pori-pori. Temperatur aktivasi fisik pelet yang digunakan yaitu 100°C (alami), 150°C, 175°C, 200°C, dan 225°C. Sedangkan variasi massa filter yang digunakan adalah 50% (13,75 gram), 75% (20,62 gram) dan 100% (27,50 gram). Setelah aktivasi fisik selesai dilakukan, pelet-pelet tersebut disusun menyerupai filter dan diletakkan pada lubang filter udara kendaraan dan siap untuk dilakukan pengujian. Penelitian ini menggunakan beberapa variasi pengujian, yaitu pengujian berjalan 5 km dengan kecepatan kendaraan 50 km/jam, Pengujian akselerasi kecepatan 0-80 km/jam, dan pengujian stasioner dengan variasi

rpm 1000, 3000 dan 5000. Selain itu, dilakukan pengujian emisi dengan variasi kecepatan putaran mesin 1500 rpm, 2500 rpm dan 3500 rpm.

Pada pengujian berjalan, persentase penghematan tertinggi adalah sebesar 28,05% (lebih hemat 18,33 ml), diperoleh pada pengujian menggunakan filter dengan campuran Z25:F75, variasi massa 100% dan temperatur 225°C. Pada uji akselerasi, persentase waktu tempuh akselerasi terbaik adalah sebesar 12,61% (lebih cepat 2,41 detik) diperoleh pada pengujian menggunakan filter dengan campuran Z50:F50, variasi massa 100% dan temperatur 225°C. Sedangkan pada pengujian stasioner, pada kecepatan putaran mesin 1000 rpm, persentase penghematan tertinggi adalah sebesar 53,59% (lebih hemat 5ml), diperoleh pada pengujian menggunakan filter dengan campuran Z75:F25, variasi massa 100% dan temperatur 225°C. Pada kecepatan putaran mesin 3000 rpm, persentase penghematan tertinggi adalah sebesar 45,15% (lebih hemat 9,33ml), diperoleh pada pengujian menggunakan filter dengan campuran Z25:F75, variasi massa 100% dan temperatur 225°C. Sementara itu, pada kecepatan putaran mesin 5000 rpm, persentase penghematan tertinggi adalah sebesar 33,35% (lebih hemat 10,34ml), diperoleh pada pengujian menggunakan filter dengan campuran Z25:F75, variasi massa 100% dan temperatur 225°C.

Kata kunci : Penghematan bahan bakar, zeolit dan *fly ash*, prestasi mesin

**PEMANFAATAN CAMPURAN ZEOLIT ALAM - *FLY ASH* BATUBARA
YANG TELAH DIAKTIVASI FISIK UNTUK MENINGKATKAN
PRESTASI MESIN BENSIN 4-LANGKAH**

**Oleh
ADI ERNADI**

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2017

**Judul Skripsi : PEMANFAATAN CAMPURAN ZEOLIT
ALAM – FLY ASH BATUBARA YANG
TELAH DIAKTIVASI FISIK UNTUK
MENINGKATKAN PRESTASI MESIN
BENSIN 4-LANGKAH**

Nama Mahasiswa : Adi Ernadi

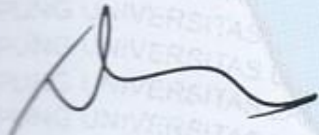
Nomor Pokok Mahasiswa : 1115021002

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

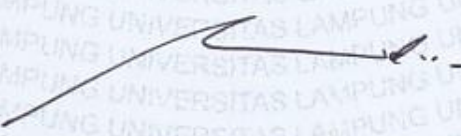
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Ir. Herry Wardono, M.Sc.
NIP 19660822 199512 1 001


A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.
NIP 19760715 200812 1 002

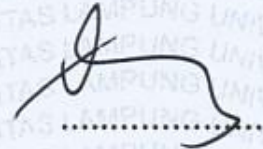
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin


Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP 19740816 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

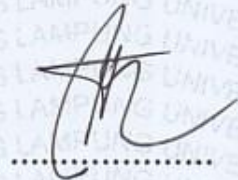
Ketua : Ir. Herry Wardono, M.Sc.




Sekretaris : A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Amrizal, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 9 November 2017

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Adi Ernadi
NPM : 1115021002
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang telah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari pernyataan ini tidak benar saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai aturan yang berlaku.

Bandarlampung, Desember 2017

Yang Menyatakan



Adi Ernadi
NPM 1115021002

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Dusun Pager Gunung, Desa Fajar Agung Barat Kabupaten Pringsewu pada tanggal 3 Desember 1993. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Rohajin dan Ibu Triniah. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN 3 Gumukmas Kec. Pagelaran Kab. Pringsewu pada tahun 2005, menyelesaikan pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Pagelaran Kec. Pagelaran Kab. Pringsewu pada tahun 2008, dan menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Pagelaran Kec. Pagelaran Kab. Pringsewu pada tahun 2011. Penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Lampung pada tahun 2011 melalui jalur SNMPTN Undangan pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah aktif di organisasi kemahasiswaan yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai wakil Ketua Divisi Olahraga periode 2013, dan merupakan anggota dari Komunitas Futsal Teknik Mesin (MECH-E) Universitas Lampung. Penulis telah melaksanakan Program Kerja Praktek (KP) di P.T. DIRGANTARA INDONESIA pada tahun 2014. Penulis juga melaksanakan Kuliah Kerja Nyata Tematik (KKN-Tematik) pada tahun 2015 di desa Sribusono, Kecamatan Way Seputih,

Kabupaten Lampung Tengah. Penulis melakukan skripsi dengan judul “Pemanfaatan Campuran Zeolit Alam-*Fly ash* Batubara Yang Telah Diaktivasi Fisik Untuk Meningkatkan Prestasi Mesin Bensin 4 Langkah” dibawah bimbingan Bapak Ir. Herry Wardono M.Sc. dan A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.

Motto

“Segala sesuatu akan menjadi mungkin jika anda memiliki keinginan yang kuat, cukup keberanian, do’a yang tercukupi” (Adi Ernadi)

“Mereka yang tidak bisa menerima diri mereka sendirilah yang pada akhirnya akan selalu mengalami kegagalan” (Uzumaki Naruto)

وَمَنْ يَتَّقِ اللَّهَ يَجْعَلْ لَهُ مِنْ أَمْرِهِ يُسْرًا

“Dan barang -siapa yang bertakwa kepada Allah, niscaya Allah menjadikan baginya kemudahan dalam urusannya”. - (Q.S At-Talaq: 4)

*Dengan kerendahan hati dan harapan
menggapai ridho illahi, kupersembahkan karya
kecil ini untuk :*

*Orang tua ku tercinta
bapak **Rohajin** dan ibu **Triniah***

*Adik-adikku tersayang
Tika Anoka Sari dan **Rofian Doriski***

*Almamater tercinta
Teknik Mesin Universitas Lampung*

SANWACANA

Alhamdulillah Robbil ‘Alamin, puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis selalu mendapat kelancaran dan kemudahan dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah atas manusia yang akhlaknya paling mulia, yang telah membawa perubahan luar biasa, menjadi uswatun hasanah di muka bumi ini, yaitu Muhammad Rasulullah SAW.

Skripsi yang berjudul “Pemanfaatan Campuran Zeolit Alam – *Fly Ash* Batubara Yang Telah Diaktivasi Untuk Meningkatkan Prestasi Mesin Bensin 4-Langkah” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ahmad Suudi, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

3. Bapak Ir. Herry Wardono, M. Sc., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan tugas akhir kepada penulis serta bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan serta, memberikan perhatian sehingga penulis dapat menyusun laporan skripsi ini menjadi lebih baik dan dapat menyelesaikan studi S1.
4. Bapak Yudi Eka Risano, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II dan yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan masukan guna membangun laporan skripsi ini menjadi lebih baik lagi, serta memberikan kesempatan bagi penulis untuk membantu beliau menjadi asisten dan mengabdikan diri di Laboratorium Motor Bakar Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Amrizal, S.T., M.T., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan masukan dan saran-saran membangun agar penulisan laporan menjadi lebih baik lagi.
6. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak (Rohajin) dan Ibu (Triniah) atas perhatian dan kasih sayang yang telah diberikan serta doa yang tak ada hentinya dilantunkan untuk kesuksesan penulis.
7. Adik – adik ku yang tercinta Tika Anoka Sari dan Rofian Dorizki. terima kasih atas bantuan, serta dukungan motivasi yang tak henti-hentinya diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi S1.
8. Bapak dan Ibu dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan program studi S1.

9. Desy Miranda, S.Pd yang selalu memberi semangat motivasi, yang memberi saran ketika ada masalah, selalu meluangkan waktu untuk membantu demi kebaikan penulis dalam menyelesaikan program studi S1.
10. Sahabat-sahabatku terdekatku di teknik mesin Ikhwan Z.R, Ferli Yoga S, Eko Nurdianto, S.T., Adi Yusuf S, S.T., Harry Christianto, S.T., dan Dika Akut Yunanta.
11. Teman-teman seperjuangan teknik mesin 2011 yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga kebersamaan kita selalu menjadi kenangan yang terindah. Salam Solidarity Forever.
12. Sahabat-sahabatku Ahmad Muhidin, Maryono, Zepy Irwansyah, Eko Hary Anggoro, S.Pd., dan Panji Alex yang terus menyemangati penulis, memberikan saran dan bantuan jika terjadi kesulitan.
13. Kakak-kakak tingkat angkatan 2006, 2007, 2008, 2009, maupun 2010, serta adik-adik tingkatku angkatan 2012, 2013, 2014, 2015 terima kasih atas kebersamaan dan doanya. Salam solidarity Forever.
14. Mas Agus, Mas Dadang, Mas Nanang dan Mas Marta, terima kasih atas bantuannya selama ini.
15. Pejuang Laboratorium Motor Bakar Eko Aprilando S, Fajrin Muhtada, Ajito Surancoyo, Liwanson Simarmata, dan Andika Sofyan A. atas bantuannya dalam pengerjaan skripsi.
16. Almamater Universitas Lampung tercinta yang telah mendewasakanku.
17. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis sadar bahwa dalam penulisan ini masih banyak kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya atas kekurangan dan kehilafan tersebut. Kritik dan saran yang sifatnya membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kebaikan bersama, semoga skripsi ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun bagi semua yang membacanya.

Bandar Lampung, 8 Desember 2017
Penulis

Adi Ernadi
1115021002

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN PENULIS	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
HALAMAN PERSEMBAHAN	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Masalah	8
C. Batasan Masalah	8
D. Sistematika Penulisan	9

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor Bakar	11
B. Mesin Bensin	12
1. Mesin Bensin 2 langkah.....	13
2. Mesin Bensin 4 langkah.....	13
a. Langkah Hisap	14
b. Langkah Kompresi.....	14
c. Langkah Usaha	14
d. Langkah Buang.....	15
e. Diagram <i>P.V</i> Siklus Ideal Motor Bensin 4-Langkah ...	15
C. Pembakaran	16
D. Parameter Prestasi Mesin.....	18
E. Saringan Udara.....	19
F. Zeolit	20
1. Pengertian Zeolit	20
2. Sifat-sifat Zeolit Sebagai Adsorbsen	24
3. Aktivasi Zeolit	25
G. <i>Fly Ash</i> (Abu Terbang) Batubara	26
1. Pengertian <i>Fly Ash</i> Batubara	26
2. Sifat-sifat <i>Fly Ash</i> Sebagai Adsorbsen	28

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Alat dan Bahan Penelitian	31
1. Alat Yang Digunakan	31
2. Bahan Utama.....	37

B. Persiapan Alat dan Bahan	39
C. Prosedur Pengujian Filter Zeolit- <i>Fly Ash</i>	43
1. <i>Tune Up</i> Rutin	43
2. Cara Pemasangan Filter Pada Kendaraan Uji	43
3. Proses Pengujian Filter Zeolit- <i>Fly Ash</i>	45
D. Lokasi Penelitian	53
E. Analisis Data	53
F. Diagram Alir Penelitian	54

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil	56
B. Pembahasan	68
1. Menentukan Temperatur Aktivasi Fisik dan Variasi Massa Terbaik Terbaik	68
2. Menentukan Komposisi Zeolit dan <i>Fly Ash</i> Terbaik.....	74
3. Pengujian Emisi Gas Buang Kendaraan	79

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	87
B. Saran	88

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Mesin Bensin	12
2. Mesin 4-langkah	13
3. Diagram P.V Motor Bensin 4-Langkah	15
4. Filter Udara	19
5. Batu Zeolit Alam <i>Clinoptilolit</i>	21
6. Zeolit Yang Ter-Dehidrasi.....	24
7. Serbuk <i>Fly ash</i>	26
8. Sepeda motor Honda Supra FIT	32
9. Penumbuk Zeolit	32
10. Timbangan digital	33
11. Stopwatch	33
12. Ampia	34
13. Kompor Listrik	34
14. Oven elektrik	35
15. Cetakan Pelet	35
16. Tabung Bensin	36
17. <i>Tachometer</i> Digital	36
18. Kawat Kemasan Pelet Filter	37
19. Zeolit Alam	37
20. <i>Fly Ash</i> Batubara.....	38

21. Air Mineral	38
22. Tepung Tapioka	39
23. Pelet Filter 3mm.....	40
24. Proses Pengovenan Pelet	41
25. Pengemasan Pelet.....	42
26. Kendaraan Uji Yang Telah Diservis Rutin.....	43
27. Urutan Pemasangan Filter Pada Kendaraan Uji	44
28. Pengujian Emisi Gas Buang	51
29. Diagram alir penelitian	54
30. Konsumsi bahan bakar pada uji jalan dalam menentukan Temperatur Aktivasi Terbaik	69
31. Waktu tempuh pada pengujian akselerasi dalam menentukan Temperatur Aktivasi Terbaik.....	71
32. Uji Stasioner 1000 rpm	72
33. Uji Stasioner 3000 rpm.....	72
34. Uji Stasioner 5000 rpm.....	83
35. Konsumsi bahan bakar pada uji jalan dalam menentukan komposisi campuran zeolit dan <i>fly ash</i> terbaik	75
36. Waktu tempuh pada uji akselerasi dalam menentukan komposisi campuran zeolit dan <i>fly ash</i> terbaik	76
37. Konsumsi bahan bakar pada uji stasioner dalam menentukan komposisi campuran zeolit dan <i>fly ash</i> terbaik	77
38. Pengaruh filter buatan terhadap kadar CO gas buang	80
39. Pengaruh filter buatan terhadap kadar CO ₂ gas buang	82
40. Pengaruh filter buatan terhadap kadar HC gas buang	84

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi kimia dan klasifikasi <i>fly ash</i> batubara.....	28
2. Urutan pengambilan data uji Jalan	46
3. Urutan pengambilan data uji Akselerasi	48
4. Urutan pengambilan data uji Stasioner	50
5. Format data pengujian pengaruh komposisi campuran Zeolit dengan <i>Fly Ash</i> terhadap emisi gas buang kendaraan	52
6. Data pengujian uji jalan 5 km dengan variasi komposisi (Z50:F50) dan variasi massa 50%	57
7. Data pengujian uji Akselerasi (0-80 km/jam) dengan variasi komposisi (Z50:F50) dan variasi massa 50%	58
8. Data pengujian uji Stasioner selama 5 menit dengan variasi komposisi (Z50:F50) dan variasi massa 50%	59
9. Data pengujian uji jalan 5 km dengan variasi komposisi (Z50:F50) dan variasi massa 75%.....	60
10. Data pengujian uji Akselerasi (0-80 km/jam) dengan variasi komposisi (Z50:F50) dan variasi massa 75%	60
11. Data pengujian uji Stasioner selama 5 menit dengan variasi komposisi (Z50:F50) dan variasi massa 75%	61
12. Data pengujian uji jalan 5 km dengan variasi komposisi (Z50:F50) dan variasi massa 100%.....	62
13. Data pengujian uji Akselerasi (0-80 km/jam) dengan variasi komposisi (Z50:F50) dan variasi massa 100%	62
14. Data pengujian uji Stasioner selama 5 menit dengan variasi komposisi (Z50:F50) dan variasi massa 100%	63

15. Data pengujian uji jalan 5 km dengan temperatur aktivasi 225⁰C dan variasi massa 100% 64
16. Data pengujian uji akselerasi(0-80 km/jam) dengan temperatur aktivasi 225⁰C dan variasi massa 100% 65
17. Data pengujian uji stasioner selama 5 menit dengan temperatur aktivasi 225⁰C dan variasi massa 100% 66
18. Data pengujian pengaruh komposisi campuran *Zeolit-Fly Ash* terhadap emisi gas buang kendaraan 67

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kelangkaan bahan bakar minyak yang terjadi belakangan ini telah memberikan dampak yang sangat luas di berbagai sektor kehidupan. Sektor yang paling cepat terkena dampaknya adalah sektor transportasi. Tidak seimbangnya ketersediaan dan pemakaian serta harga minyak bumi yang setiap tahun semakin meningkat seharusnya membuat kita sadar bahwa jumlah cadangan minyak yang ada di bumi telah semakin menipis. Karena minyak bumi adalah bahan bakar yang tidak bisa diperbarui maka kita harus mulai memikirkan energi penggantinya.

Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan negara-negara di kawasan Asia lainnya. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian ESDM, dalam beberapa tahun terakhir pertumbuhan konsumsi energi Indonesia mencapai 7% per tahun. Angka tersebut berada di atas pertumbuhan konsumsi energi dunia yaitu 2,6% per tahun. Konsumsi energi Indonesia tersebut terbagi untuk sektor industri (50%), transportasi (34%), rumah tangga (12%) dan komersial (4%) (Kompasiana, 2015).

Konsumsi energi Indonesia yang cukup tinggi tersebut hampir 96% dipenuhi dari bahan bakar fosil (minyak bumi 48%, gas 18% dan batubara 30%). Dari

total konsumsi energi dalam negeri tersebut, dapat terlihat bahwa hampir 50% konsumsi energi dalam negeri Indonesia merupakan Bahan Bakar Minyak (BBM). Tingginya konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) tersebut diakibatkan oleh subsidi sehingga harga energi menjadi murah dan masyarakat cenderung boros dalam menggunakan energi. Di sisi lain, Indonesia menghadapi penurunan cadangan energi fosil yang terus terjadi dan belum dapat diimbangi dengan penemuan cadangan energi baru. Sedangkan keterbatasan infrastruktur energi yang tersedia juga membatasi akses masyarakat dan pemerintah dalam mengolah energi. Kondisi ini menyebabkan Indonesia rentan terhadap gangguan yang terjadi di pasar energi global karena sebagian dari konsumsi tersebut, terutama produk minyak bumi, dipenuhi dari hasil impor (Outlook Energi Indonesia, 2014). Berdasarkan statistik data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Pada tahun 2006, konsumsi BBM di Indonesia sejumlah 58,5 juta kiloliter (kl). Porsi terbesar adalah solar (25 juta kl), disusul oleh premium (17 juta kl), dan minyak tanah (4 juta kl). Delapan tahun berselang (2014), penggunaan BBM di Indonesia melonjak menjadi 70,8 juta kl, yang masih di dominasi oleh solar (32,6 juta kl), premium (29,7 juta kl) dan minyak tanah (1,9 juta kl) (ESDM, 2015).

Di Indonesia sendiri penggunaan bahan bakar minyak (BBM) jenis premium dan solar masih sangat dominan, hal ini dikarenakan bahan bakar tersebut mempunyai harga yang terjangkau dibandingkan dengan bahan bakar yang lainnya. Bahkan dengan dikeluarkannya bahan bakar minyak berjenis pertalite oleh pemerintah tidak mengurangi minat masyarakat untuk beralih ke pertalite walaupun harganya tidak jauh berbeda dengan jenis premium.

Pertambahan jumlah mobil di Indonesia mencapai 1,1 juta unit per tahun sementara sepeda motor 7,1 juta unit pertahun. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, saat ini terdapat 104 juta kendaraan bermotor di Indonesia dan akan terus bertambah setiap tahunnya. Hal tersebut Tentunya akan membutuhkan bahan bakar yang tidak sedikit. Sebab diperkirakan, cadangan minyak di Indonesia tidak lebih dari 7,6 miliar barel (Kementrian ESDM : 2015). Jika diformulasikan dengan kebutuhan dan proyeksi pemakaian setiap tahunnya, diperkirakan kurang dari 20 tahun yang akan datang, cadangan minyak bumi Indonesia telah habis tereksplorasi dan tentunya untuk memenuhi kebutuhan BBM, maka Indonesia harus impor sepenuhnya dari luar (BPS, 2014).

Dengan terus bertambahnya jumlah kendaraan di Indonesia setiap tahunnya, bukan tidak mungkin kemacetan di perkotaan akan semakin serius. Hal ini akan berdampak pada pemborosan bahan bakar kendaraan jika terus-menerus terkena macet setiap harinya. Dalam laporan yang dibuat Strategic Urban Road Infrastructure (SURIP), sekitar 20% waktu kerja mesin dihabiskan ketika melakukan pengereman untuk berhenti pada saat kemacetan. Jadi, anggapan bahwa konsumsi BBM pada keadaan macet lebih boros ketimbang saat melaju pada kecepatan tinggi tidaklah benar, Karena ketika menginjak pedal atau tuas rem pada mobil dan motor, gas tentunya dilepas. Pada waktu itulah sejumlah BBM yang telanjur meninggalkan tangki penampungan BBM akan terbuang percuma (Syahreza Doan, 2005).

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan, maka cadangan minyak bumi pada saat ini akan terus berkurang. Pengembangan sumber energi alternatif terus dilakukan,

pengembangan energi alternatif yang dimaksud adalah energi alternatif yang dapat diperbaharui dan mencari upaya penanggulangannya yaitu menciptakan alat yang dapat menghemat penggunaan bahan energi tersebut. Salah satunya adalah pemanfaatan batu alam Zeolit dan *Fly Ash* batu bara sebagai penyaring udara pembakaran. Zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain : mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara lembap. Oleh sebab sifatnya tersebut, maka Zeolit banyak digunakan sebagai bahan pengering, disamping itu Zeolit juga mudah melepas kation dan diganti dengan kation lainnya, misal Zeolit melepas natrium dan digantikan dengan mengikat kalsium atau magnesium (Wikipedia, 2014). Pada prinsipnya, Zeolit memiliki kemampuan dalam menangkap gas nitrogen dalam udara, hal ini didasarkan atas sifat-sifat mineralogi, fisik dan kimia yang dimiliki Zeolite (Bekkum, 1991). Sedangkan *Fly Ash* batubara memiliki kemampuan dapat menyerap air dan beberapa unsur hara sehingga dapat meningkatkan kualitas adsorpsi dengan baik (geology.com, dalam Rilham, 2012).

Ketersediaan akan mineral Zeolit dan *Fly Ash* batu bara di Indonesia pada saat ini sangat banyak. Di provinsi Lampung, terdapat cadangan Zeolit sebesar 2.145.000 m³ dengan cadangan yang diprediksi sebesar 8.000.000 m³, baik untuk kebutuhan domestik maupun ekspor (BTPM-LIPI dalam lampost, 2016). Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), di Provinsi Lampung cadangan batu alam Zeolit tersebar di berbagai daerah dengan rincian produksi penggalian yaitu di Lampung selatan desa Batu Balak, Kecamatan Kalianda sekitar 17,6 juta ton/tahun, desa Campang Tiga Kecamatan Sidomulyo sekitar 4,05 juta ton/tahun,

dan desa Pekon Tengor, Kecamatan Cukuh Balak 4,6 juta ton/tahun. Di Kabupaten Tanggamus, di Pekon Batu Balai Kecamatan Kota Agung Timur (sumber daya : 720.000 m³), Pekon Tengor dan Pekon Pertiwi Kecamatan Cukuh Balak (sumber daya : 2.000.000 m³) pengelola PT. Paragon Perdana Mining, Pekon Way Rilau Kecamatan Cukuh Balak (sumber daya = 600.000 m³) (Dinas Pertambangan dan Energi, 2012).

Selain potensi batu alam Zeolit, *Fly Ash* batu bara juga dapat digunakan sebagai alat penghemat penggunaan bahan bakar karena kemampuan dasar dari *fly ash* adalah untuk menangkap uap air udara, *Fly Ash* berasal dari sisa pembakaran batu bara. Di provinsi Lampung, Potensi batu bara mencapai sedikitnya 2 miliar ton yang merupakan deposit cadangan batu bara nasional yang bahkan belum disentuh (AntaraneWS, 2014). Semakin besar potensi batu bara yang dimiliki maka akan berbanding lurus dengan jumlah abu terbang yang dihasilkan sebagai limbah pembakaran batu bara, untuk menanggulangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah abu terbang batu bara tersebut, maka saat ini limbah batu bara sudah dapat dimanfaatkan sebagai alat untuk menanggulangi penggunaan bakar bakar minyak berlebih pada kendaraan, yaitu dengan dijadikannya abu terbang batu bara sebagai adsorbsen udara kotor yang masuk kedalam ruang bakar sehingga diharapkan hanya oksigen murni yang masuk ke dalam ruang pembakaran.

Proses pembakaran merupakan proses transfer energi panas yang terjadi ada ruang bakar. Komponen utamanya adalah bahan bakar dan udara pembakaran. Udara pembakaran berasal dari lingkungan yang terdiri dari bermacam macam gas seperti nitrogen, oksigen, uap air, karbon dioksida, karbon monoksida dan

gas gas lain. Dalam proses pembakaran gas yang paling dibutuhkan adalah oksigen. Oksigen berpengaruh untuk terjadinya proses pembakaran sempurna dalam ruang bakar. Oksigen dibutuhkan untuk membakar bahan bakar yang mengandung molekul karbon dan hidrogen (Wardono, 2004).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tobing M. HL.(2004), penggunaan Zeolit sebagai filter udara bahan bakar pada motor Diesel 4-langkah dapat meningkatkan daya engkol sebesar 0.123 Kw (6,366%) dan mampu menurunkan pemakaian bahan bakar spesifik sebesar 0,008 kg/kWh (5,633%). Zeolit tersebut tanpa proses aktivasi. Zeolit tanpa aktivasi artinya dimana dalam pori-pori Zeolit masih terdapat H₂O dan partikel - partikel pengotor yang mempersempit pori-pori dari Zeolit dan menghambat penyaringan oksigen.

Dalam penelitian Bagus (2014), terbukti pelet *Fly Ash* mampu menghemat konsumsi bahan bakar hingga 28,8% pada road test, dan sebesar 25,5% pada pengujian stasioner. Akselerasi meningkat sebesar 7,3%. Disamping itu, filter pelet fly ash batubara mampu mengurangi kadar CO hingga sebesar 26,7% pada putaran 1500 rpm dan 45,5% pada putaran 8500 rpm, mengurangi kadar HC hingga sebesar 34,8% pada putaran 1500 rpm dan 30,4% pada putaran 8500 rpm.

Pada penelitian Mahdi (2006), kemampuan Zeolit dengan aktivasi fisik dalam meningkatkan kinerja motor Diesel telah berhasil dibuktikan. Peningkatan daya engkol diperoleh sebesar 0,215 Kw (12,088%) pada penggunaan Zeolit dengan diameter 1,4 mm, berat pelet 200 gr, temperatur aktivasi 325°C, waktu pemanasan selama 2 jam, dan putaran mesin 2000 rpm. Penurunan konsumsi bahan bakar spesifik terbaik adalah dengan diameter pelet 0,7 mm, berat 200

gram, dengan temperatur aktivasi 352°C, waktu pemanasan selama 2 jam dan putaran mesin 1100 rpm yaitu sebesar 0,0123 kg/kWh (9,729%).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dimas Rilham Purnawanta (2012), pembuatan dan pengujian *Fly Ash* pelet teraktivasi fisik dengan variasi massa yang berbeda yaitu 55, 45, dan 35 gram pada motor bensin 4 langkah, yaitu untuk massa 45 gram sebesar 22,23 gram dan pada pengujian stasioner dapat menghemat konsumsi bahan bakar hingga sebesar 21,23%. Pada akselerasi (0-80 Km/jam peningkatan prestasi mesin yang terbaik terjadi pada pada *Fly Ash* dengan massa 45 gram yaitu sebesar 2,4 detik atau mengalami penurunan sebesar 20,34%. Penurunan kadar CO pada *Fly Ash* pelet aktivasi fisik terbesar terjadi pada massa 45 gram sebesar 86,23% serta meningkatkan kadar CO₂ sebesar 10,63%.

Pada penelitian Doran (2008), Penggunaan Zeolit pelet dengan perekat yang diaktivasi fisik terhadap peningkatan prestasi mesin Diesel 4 langkah dapat meningkatkan daya engkol sebesar 0.172 Kw (11,389%) pada penggunaan Zeolit pelet dengan berat 150 gram, temperatur aktivasi 225 °C, waktu pemanasan 2 jam dan putaran 2000 rpm. Penurunan konsumsi bahan bakar spesifik adalah sebesar 0,028 kg/ Kwh (14, 516%) dengan pelet berat 150 gram, temperatur aktivasi 225 °C, waktu pemanasan 2 jam pada putaran 3500 rpm.

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan tersebut, telah dibuktikan bahwa Zeolit dan *Fly Ash* yang diaktivasi fisik memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan Zeolit dan *Fly Ash* tanpa aktivasi. Maka dari itu, penulis ingin mengamati pengaruh kombinasi Zeolit dan *Fly Ash* dalam

bentuk pelet dengan aktivasi secara fisik sebagai adsorben udara pembakaran untuk meningkatkan prestasi mesin bensin 4-langkah, menurunkan konsumsi bahan bakar dan mengurangi kadar emisi gas buang dengan menggunakan tambahan air aquades dan tepung tapioka sebagai perekat.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi temperatur aktivasi *Zeolit-Fly Ash* terhadap prestasi mesin motor bensin 4-langkah
2. Mengetahui pengaruh variasi massa filter *Zeolit-Fly Ash* yang telah diaktivasi terhadap prestasi mesin motor bensin 4-langkah
3. Mengetahui pengaruh penggunaan filter dengan campuran *Zeolit-fylash* yang telah diaktivasi terhadap emisi gas buang pada motor bensin 4-langkah.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah diberikan agar pembahasan dari hasil yang didapatkan lebih terarah. Adapun batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini, yaitu :

1. Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah sepeda motor bensin 4-langkah (100 cc) tahun 2005, kondisi mesin baik dan telah dilakukan *tune-up* / servis rutin sebelum pengujian dilakukan.
2. *Fly Ash* Batu Bara PLTU Tarahan yang disaring dengan ayakan ukuran 100 mesh, Lalu dibuat tablet menggunakan ampia dengan ketebalaan 3mm dan cetakan diameter 10 mm.

3. Jenis Zeolit yang digunakan adalah Zeolit *Clinoptilolite* yang berasal dari Kecamatan Sidomulyo, Lampung Selatan.
4. Persentase komposisi campuran Zeolit dengan *Fly Ash* yang digunakan antara lain 0% : 100 %; 25% : 75%; 50% : 50%; 75% : 25%; 100% : 0%.
5. Menggunakan tepung tapioka dan air mineral Aqua sebagai perekat. Dengan komposisi adonan pelet keseluruhan yaitu 56% campuran Zeolit-*Fly Ash*, 50% air mineral Aqua, dan 4% Tapioka.
6. Alat yang digunakan untuk membuat *Fly Ash* pelet adalah alat yang masih sederhana yang masih menggunakan cetakan. Oleh sebab itu, besar tekanan pada saat pembuatan diabaikan.
7. Penilaian peningkatan prestasi mesin hanya berdasarkan konsumsi bahan bakar, akselerasi, dan emisi gas buang.

D. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah:

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang spesifikasi motor bensin 4-langkah, teori tentang pembakaran, dan parameter prestasi motor bakar, Zeolit, *Fly ash*, dan Saringan udara.

BAB III : METODE PENELITIAN

Berisi beberapa tahapan persiapan sebelum pengujian, prosedur pengujian, dan diagram alir pengujian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Yaitu berisikan pembahasan dari data-data yang diperoleh pada pengujian motor bensin 4-langkah 100 cc.

BAB V: PENUTUP

Berisikan hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

II. TINJAUAN PUSTAKA

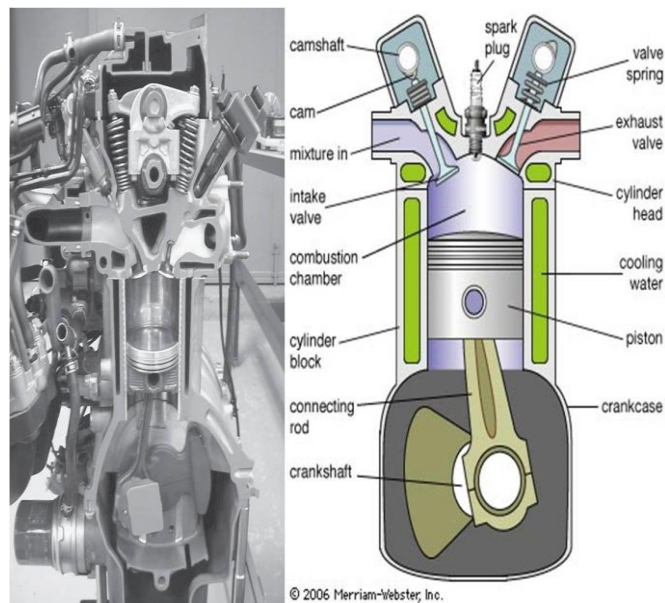
A. Motor Bakar

Motor bakar adalah salah satu dari mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversi energi termal hasil dari pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis. Terjadinya energi panas karena adanya proses pembakaran bahan bakar dengan udara dalam sistem pengapian. Dengan adanya suatu konstruksi mesin, memungkinkan terjadinya siklus kerja mesin untuk usaha dan tenaga dorong dari hasil ledakan pembakaran yang diubah oleh konstruksi mesin menjadi energi mekanik atau tenaga penggerak yang dapat menggerakkan kendaraan sebagai hasil dari langkah usaha (Wardono, 2004).

Berdasarkan jenis torak, motor bakar dapat dibagi lagi menjadi dua jenis yaitu: motor bensin dan motor diesel. Perbedaan yang pertama yang paling signifikan yaitu terletak pada sistem penyalannya, kedua dari jenis bahan bakarnya, ketiga dari siklusnya. Bahan bakar pada motor bensin dinyalakan oleh loncatan api listrik diantara dua elektrode busi. Karena itu motor bensin juga dinamai *Spark Ignition Engines*. Dalam motor diesel terjadi proses penyalan sendiri, yaitu karena bahan bakar disemprotkan ke dalam silinder yang berisi udara yang bertemperatur dan bertekanan tinggi, oleh sebab itu mesin diesel dinamakan mesin *Compression Ignition Engines*. (Aris Munandar , 1994).

B. Mesin Bensin

Motor bensin memiliki ciri utama yaitu pada proses pembakaran, bahan bakar yang terjadi di dalam ruang silinder pada volume tetap. Proses pembakaran pada volume tetap ini disebabkan pada waktu terjadi kompresi, dimana campuran bahan bakar dan udara mengalami proses kompresi di dalam silinder, dengan adanya tekanan ini bahan bakar dan udara dalam keadaan siap terbakar dan busi meloncatkan bunga api sehingga terjadi pembakaran dalam waktu yang singkat sehingga campuran tersebut terbakar habis seketika dan menimbulkan kenaikan suhu dalam ruang bakar. Skema mesin motor bensin dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Mesin bensin

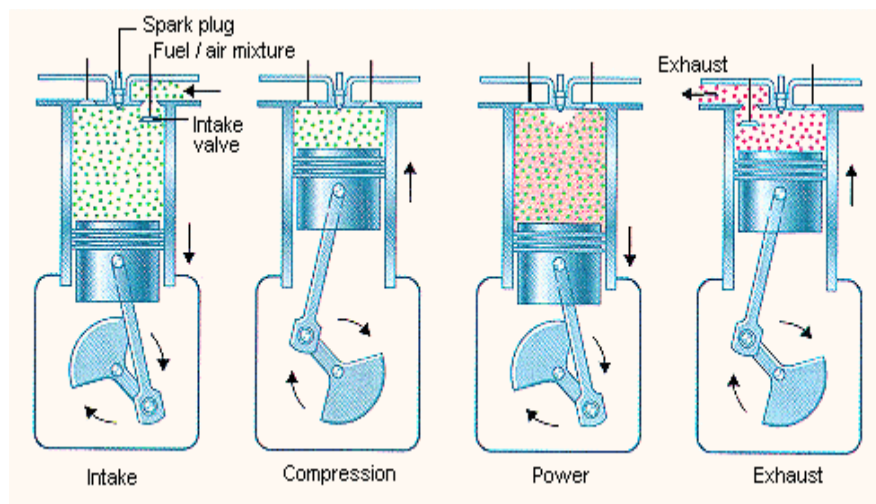
Dalam satu mesin bensin, campuran udara bahan bakar yang dilakukan dalam karburator yang kemudian di mampatkan tidak cukup menghasilkan panas untuk memulai pembakaran. Mesin bensin di lengkapi dengan busi yang digunakan untuk menyalakan campuran udara bahan bakar guna menghasilkan pembakaran.

Untuk mesin bensin sendiri dapat lagi dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu motor bensin 2-langkah dan mesin bensin 4-langkah, Perbedaan kedua mesin tersebut adalah berdasarkan langkah usaha mesin untuk menghasilkan daya dalam satu siklus kerja mesin.

1. Motor bensin 2 langkah

Motor bensin 2-langkah adalah mesin yang proses pembakarannya dilaksanakan dalam satu kali putaran poros engkol atau dalam dua kali gerakan piston.

2. Motor Bensin 4-Langkah



Gambar 2. Mesin 4-Langkah

Motor bensin empat langkah adalah termasuk dalam jenis motor pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) yang bahan bakar bensin sebagai bahan bakar. Pada motor bensin, bahan bakar bensin dibakar untuk memperoleh tenaga, kemudian tenaga ini diubah menjadi tenaga gerak oleh suatu mekanisme tertentu yang dapat menggerakkan kendaraan. Pada motor bensin empat langkah, torak bergerak bolak balik di dalam silinder. Titik terjauh (atas) yang dapat dicapai oleh piston (torak) tersebut dinamakan Titik Mati Atas

(TMA), sedangkan titik terdekat disebut (bawah) Titik Mati Bawah (TMB). Motor bensin empat langkah melakukan 4 gerakan atau langkah torak dalam satu siklus kerja. Berikut ini merupakan penjelasannya :

a. Langkah hisap

Pada langkah hisap, piston bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB), dan katup hisap membuka sedangkan katup buang menutup, karena piston atau torak bergerak ke bawah, maka di dalam ruang silinder akan terjadi kevakuman sehingga campuran udara dan bahan bakar akan terhisap dan masuk ke dalam silinder.

b. Langkah kompresi

Pada langkah ini piston bergerak dari TMB ke TMA, kondisi katup hisap dan katup buang adalah tertutup semua. Karena piston (torak) bergerak ke atas, maka campuran udara dan bahan bakar yang berada di dalam silinder tertekan ke atas (dikompresi) dan ditempatkan di dalam ruang bakar. Pada kondisi seperti ini, tekanan dan temperatur campuran udara dan bahan bakar akan naik secara drastis, sehingga akan mudah terbakar dan kemudian akan menghasilkan langkah usaha.

c. Langkah usaha

Pada langkah ini mesin menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kendaraan. Sesaat sebelum torak sampai di Titik Mati Atas pada saat langkah kompresi, busi akan memercikkan bunga api pada campuran udara dan bahan bakar yang telah dikompresi tadi. Sehingga bahan bakar akan terbakar dan menimbulkan ledakan yang kuat, ledakan (kekuatan) dari tekanan gas pembakaran yang sangat tinggi dapat mendorong torak

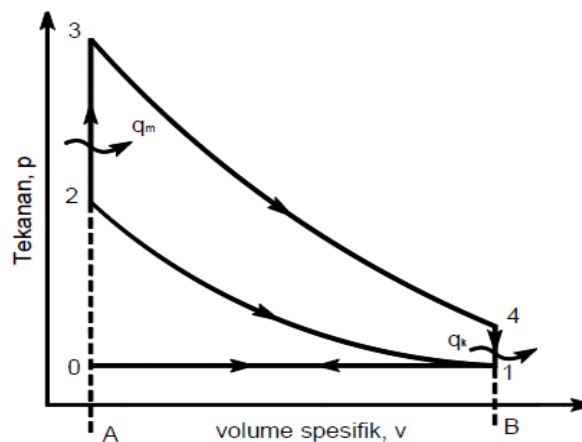
kebawah, Usaha inilah yang menjadi sumber tenaga mesin (*engine power*). Dengan torak menuju kebawah, maka poros engkol akan berputar 1 putaran penuh dan akan menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kendaraan.

d. Langkah buang

Pada langkah buang, piston akan bergerak dari titik mati bawah ke titik mati atas, katup buang akan terbuka sedangkan katup hisap dalam keadaan tertutup. Karena piston bergerak ke atas, maka gas hasil pembakaran di dalam silinder akan terdorong dan ke luar melalui katup buang, dilanjutkan ke *exhaust manifold* kemudian diteruskan menuju knalpot dan dibuang ke udara bebas. Pada saat akhir langkah buang dan awal langkah hisap kedua katup akan membuka (*valve over lapping*), keadaan ini berfungsi sebagai langkah pembilasan (campuran udara bahan bakar baru mendorong gas sisa hasil pembakaran).

e. Diagram P.V Siklus Ideal Motor Bensin 4 Langkah

Diagram P.V merupakan diagram yang menunjukkan perbandingan antara tekanan dan volume spesifik dari suatu siklus dalam proses pembakaran..



Gambar 3. Diagram P.V motor bensin 4-langkah
(<http://kokowong.blogspot.co.id/2011/08/bersihkan-filter-busa-jangan-pakai.html>)

Adapun proses - prosesnya terdiri dari :

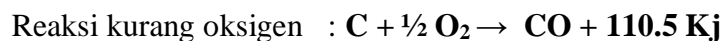
- a. Proses 0-1 Proses langlah isap.
- b. Proses 1-2 Langkah kompresi adiabatik (isentropik).
- c. Proses 2-3 Proses pembakaran pada volume konstan.
- d. Proses 3-4 Langkah kerja (langkah ekspansi)
- e. Proses 4-1 Proses pembuangan kalor pada volume konstan.
- f. Proses 1- 0 Proses buang pada tekanan konstan.

C. Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia antara komponen – komponen bahan bakar (karbon dan hidrogen) dengan komponen udara (oksigen) yang berlangsung lebih sangat cepat yang membutuhkan panas awal untuk menghasilkan panas yang jauh besar sehingga menaikkan suhu dan tekanan gas pembakaran. Oksigen (O_2) merupakan salah satu elemen yang sangat dibutuhkan dalm proses pembakaran. Oksigen di bumi paling umum yang jumlahnya mencapai 20.9% dari udara, Dan hampir 79% udara (tanpa adanya oksigen) merupakan nitrogen, dan sisanya merupakan elemen lainnya. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen ini juga dapat bergabung dengan oksigen (terutama pada suhu nyala yang tinggi) untuk menghasilkan oksida nitrogen (NO_x), yang merupakan pencemar beracun. Karbon, hidrogen dan sulfur dalam bahan bakar bercampur dengan oksigen di udara membentuk karbon dioksida, uap air dan sulfur dioksida, melepaskan panas masing-masing 8.084 kkal, 28.922 kkal dan 2.224 kkal. Pada kondisi tertentu, karbon juga dapat bergabung dengan oksigen membentuk karbon

monoksida, dengan melepaskan sejumlah kecil panas (2.430 kkal/kg karbon). Karbon terbakar yang membentuk CO₂ akan menghasilkan lebih banyak panas persatuan bahan bakar daripada bila menghasilkan CO atau asap (Krisanto, 2011). Selama proses pembakaran, butiran – butiran halus minyak bahan bakar yang terdiri dari karbon dan hidrogen akan beroksidasi dengan oksigen membentuk air (H₂O) dan karbon dioksida (CO₂). Tetapi bila oksigen yang disuplai tidak cukup maka partikel karbon tidak akan seluruhnya beroksidasi dengan partikel oksigen untuk membentuk CO₂, Akibatnya terbentuklah produk pembakaran yang lain seperti karbon monoksida (CO) dan produk UHC (*unburned hydrocarbons*) (Maleev, 1995 dalam Mahdi, 2006).

Elemen utama proses pembakaran adalah karbon dan oksigen. Selama proses pembakaran, butiran minyak bahan bakar menjadi elemen komponennya, yaitu hidrogen akan bergabung dengan oksigen untuk membentuk air, dan karbon bergabung dengan oksigen menjadi karbon dioksida. Kalau tidak cukup tersedia oksigen, maka sebagian dari karbon, akan bergabung dengan oksigen menjadi karbon monoksida. Akibat terbentuknya karbon monoksida, maka jumlah panas yang dihasilkan hanya 30 persen dari panas yang ditimbulkan oleh pembentukan karbon monoksida sebagaimana ditunjukkan oleh reaksi kimia berikut:



Secara lebih detail dapat dijelaskan bahwa proses pembakaran adalah proses oksidasi (penggabungan) antara molekul-molekul oksigen (O) dengan molekul-molekul (partikel-partikel) bahan bakar yaitu karbon (C) dan hidrogen (H) untuk

membentuk karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O) pada kondisi pembakaran sempurna. Disini proses pembentukan CO_2 dan H_2O hanya bisa terjadi apabila panas kompresi atau panas dari percikan bunga api busi telah mampu memutuskan ikatan antar partikel oksigen ($\text{O}=\text{O}$) menjadi partikel 'O' dan 'O', dan juga mampu memutuskan ikatan antar partikel bahan bakar (C-H dan C-C) menjadi partikel 'C' dan 'H' yang berdiri sendiri. Baru selanjutnya partikel 'O' dapat beroksidasi dengan partikel 'C' dan 'H' untuk membentuk CO_2 dan H_2O .

Jadi dapat disimpulkan bahwa proses oksidasi atau proses pembakaran antara udara dan bahan bakar tidak pernah akan terjadi apabila ikatan antar partikel oksigen dan ikatan antar partikel bahan bakar tidak diputus terlebih dahulu (Wardono, 2004).

D. Parameter Prestasi Mesin

Prestasi mesin sangat erat hubungannya dengan parameter operasi suatu kendaraan, besar kecilnya harga parameter operasi kendaraan akan menentukan tinggi rendahnya prestasi mesin yang dihasilkan. Untuk mengukur prestasi kendaraan motor bensin 4 langkah dalam aplikasinya diperlukan parameter sebagai berikut:

1. Konsumsi bahan bakar, semakin sedikit konsumsi bahan bakar kendaraan motor bensin 4 langkah, maka akan semakin tinggi prestasinya.
2. Kadar gas buang, semakin sedikit kadar gas CO dan HC pada gas buang kendaraan, maka semakin tinggi prestasinya.
3. Waktu tempuh, semakin singkat waktu tempuh akselerasi yang diperlukan pada kendaraan bermotor 4 langkah untuk mencapai jarak tertentu, maka

semakin tinggi prestasinya.

4. Putaran mesin, putaran mesin pada kondisi stasioner dapat menggambarkan normal atau tidaknya kondisi mesin. Perbedaan putaran mesin juga menggambarkan besarnya torsi yang dihasilkan (Wardono, 2004).

E.Saringan Udara

Saringan udara (*air filter*) adalah alat yang berfungsi untuk menyaring debu atau kotoran yang terbawa udara yang masuk ke karburator, yang selanjutnya akan masuk ke dalam ruang bakar. Filter udara sangat memegang peranan penting dalam menyaring udara yang masuk ke karburator sebelum masuk ke proses pembakaran dalam ruang bakar agar udara tersebut bersih dan bebas dari kotoran atau debu yang dapat mengganggu proses pembakaran dalam ruang bakar.



Gambar 4. Filter udara

(<http://kokowong.blogspot.co.id/2011/08/bersihkan-filter-busa-jangan-pakai.html>)

Apabila udara yang masuk ke ruang bakar mengandung debu, kotoran dan uap air yang berebih maka dapat menghambat proses pembakaran yang menyebabkan pembakaran yang tak sempurna. Dampak yang dihasilkan adalah terdengar suara

kasar, knalpot akan mengeluarkan asap tebal dan tenaga yang dihasilkan menjadi kurang maksimal. Selain itu, aliran udara yang memasuki ruang bakar akan mempengaruhi pencampuran udara dan bahan bakar didalam ruang bakar yang akan mempengaruhi kinerja pembakaran (Alfianto, 2006 dalam Hartono, 2008).

F. Zeolit

1. Pengertian Zeolit

Kata “zeolit” berasal dari bahasa Yunani yaitu zein yang berarti membuih dan lithos yang berarti batu. Zeolit merupakan mineral hasil tambang yang bersifat lunak dan mudah kering. Warna dari zeolit adalah putih keabu-abuan, putih kehijau-hijauan, atau putih kekuning-kuningan. Ukuran kristal zeolit kebanyakan tidak lebih dari 10–15 mikron (Sutarti, 1994).

Zeolit terbentuk dari abu vulkanik yang telah mengendap jutaan tahun silam. Sifat-sifat mineral zeolit sangat bervariasi tergantung dari jenis dan kadar mineral zeolit. Zeolit mempunyai struktur berongga biasanya rongga ini diisi oleh air serta kation yang bisa dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh karena itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekuler, senyawa penukar ion, sebagai filter dan katalis.

Jenis zeolit alam yang ada di Indonesia termasuk jenis *mordenite* dan *clinoptilolite*. Zeolit jenis *mordenite* dapat digunakan untuk mengadsorpsi gas H₂O, CO, CO₂, dan CH₄, sedangkan jenis *clinoptilolite* dapat digunakan untuk mengadsorpsi gas CO, CO₂, N₂ dan NO. Mengingat struktur zeolit alam yang bervariasi serta besarnya kemungkinan impuritas yang ada, maka sebelum

digunakan zeolit alam membutuhkan suatu perlakuan awal yang sering disebut sebagai proses aktivasi. Proses aktivasi ini diperlukan untuk meningkatkan sifat khusus zeolit sebagai adsorben dan menghilangkan unsur pengotor (Yuliusman, dkk., 2013).



Gambar 5. batu zeolit alam *clinoptilolite*

<http://www.blogarama.com/green-blogs/220695-gerbang-pertanian-blog/1100642-zeolit-batu-pembenah-tanah>

Zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain : mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara lembab. Oleh sebab sifatnya tersebut maka zeolit banyak digunakan sebagai bahan pengering. Disamping itu zeolit juga mudah melepas kation dan diganti dengan kation lainnya, misal zeolit melepas natrium dan digantikan dengan mengikat kalsium atau magnesium. Sifat ini pula menyebabkan zeolit dimanfaatkan untuk melunakkan air. Zeolit dengan ukuran rongga tertentu digunakan pula sebagai katalis untuk mengubah alkohol menjadi hidrokarbon sehingga alkohol dapat digunakan sebagai bensin (Wikipedia, 2016).

2. Sifat – sifat Zeolit Sebagai Adsorbsen

Pada dasarnya zeolit memiliki kemampuan dalam menangkap gas nitrogen dalam udara, hal ini didasarkan atas sifat-sifat mineralogi, fisik dan kimia yang dimiliki zeolit yang dijelaskan berikut ini:

a. Penyerapan

Zeolit yang dipanaskan dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Dalam kondisi normal kristal zeolit terisi oleh molekul air yang berada pada kation, bila zeolit dipanaskan maka air tersebut akan keluar, dalam hal tersebut Zeolit yang dipanaskan dapat berfungsi sebagai penyerap. Berdasarkan penyerapannya, Penyerapan zeolit dapat dibedakan menjadi 2 yaitu :

1. Ukuran molekul

Apabila ukuran molekul adsorbat lebih besar daripada ukuran pori zeolit maka molekul adsorbat tersebut tidak melewati pori zeolit. Sebagai contoh adalah Zeolit jenis klinoptilolit yang memiliki ukuran diameter pori 4\AA sedangkan dalam udara N_2 yang berbentuk elips memiliki panjang mayor $4,1\text{\AA}$ dan sumbu minor 3\AA , O_2 memiliki juga berbentuk elips memiliki panjang sumbu mayor $3,9\text{\AA}$ dan minor $2,8\text{\AA}$ sehingga N_2 yang berdiameter mayor akan terikat dan tidak dapat melewati pori zeolit, sedangkan N_2 yang berdiameter minor dan O_2 dapat melewati pori zeolit (Bekkum, 1991).

2. Selektifitas Permukaan

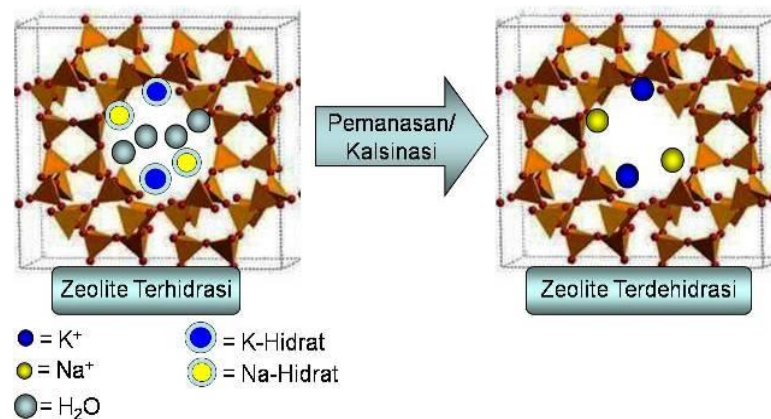
Selektifitas permukaan merupakan sifat dari molekul gas seperti gas N_2 yang mempunyai 4 kutub yang lebih mudah ditangkap oleh zeolit

dibanding dengan gas O₂ yang mempunyai 2 kutub. Kristal zeolit yang telah didehidrasi merupakan adsorben yang selektif dan mempunyai efektifitas adsorpsi yang tinggi, yaitu dapat memisahkan molekul-molekul berdasarkan ukuran dan konfigurasi molekul serta merupakan adsorben yang selektif terhadap molekul yang polar (hidropilik) (Hasibuan, 2012). Ada 2 hal yang mempengaruhi kemampuan selektivitas permukaan dari zeolit, yaitu :

- Logam kation penetrasi penarik nitrogen
- Perbedaan ukuran diameter dari pori nitrogen dan zeolit

b. Dehidrasi

Zeolit alam mempunyai sifat dehidrasi yaitu melepaskan molekul H₂O apabila dipanaskan. Pada umumnya struktur kerangka zeolit akan menyusut, akan tetapi kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan secara nyata. Molekul H₂O dapat dikeluarkan secara reversibel. Pada pori zeolit terdapat kation-kation dan molekul air. Bila kation-kation dan atau molekul air tersebut dikeluarkan dari pori dengan perlakuan tertentu maka zeolit akan meninggalkan pori yang kosong. Secara alami pori-pori zeolit yang belum diolah akan mengandung sejumlah molekul air dan alkali atau alkali tanah hidrat. Proses pemanasan (kalsinasi) pada temperatur 225-400 °C dapat menghilangkan kandungan air dan hidrat pada alkali atau alkali tanah hidrat. Zeolit yang sudah mengalami pemanasan ini disebut zeolit teraktivasi fisik, yang artinya zeolit terdehidrasi atau kandungan air pada pori zeolit telah berkurang. (Butland, 2008).



Gambar 6. Zeolit yang ter- Dehidrasi

<https://ardra.biz/sain-teknologi/mineral/mineral-zeolit/karakteristik-sifat-sifat-zeolit/>

c. Penukar Ion

Sifat penukar ion pada zeolit tergantung pada sifat kation, suhu, dan jenis anion. Ion-ion pada rongga berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya (Poerwadi, B.Dkk, 1995).

d. Penyaring / Pemisah

Zeolit sebagai penyaring atau pemisah didasarkan pada perbedaan bentuk, ukuran, polaritas molekul yang disaring. Sifat ini disebabkan zeolit mempunyai ruang hampa yang cukup besar. Molekul – molekul yang berukuran lebih kecil dari ruang hampa dapat melintas sedangkan molekul yang lebih besar dari ruang hampa akan ditahan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa zeolit dapat dimanfaatkan sebagai

“adsorben” limbah pencemar dari beberapa industri. Zeolit mampu menyerab berbagai logam seperti Ni, Np, Pb, U, Zn, Ba, Ca, Mg, Sr, Cd, Cu, dan Hg (Kosmulski, 2001).

3. Aktivasi Zeolit

Kemampuan zeolit sebagai adsorbsen, penukar ion, dan katalis dapat ditingkatkan dengan cara diaktivasi. Proses aktivasi dapat dilakukan secara fisika, secara kimia, dan secara gabungan antara fisika dengan kimia. Aktivasi fisika zeolit dapat dilakukan dengan cara dipanaskan dengan suhu-suhu tertentu, sedangkan aktivasi kimia zeolit dapat dilakukan dengan cara pengasaman dan juga pembasaan. Aktivasi fisika berupa pemanasan zeolit dengan tujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga luas permukaan dari pori-pori zeolit dan daya adsorbsinya bertambah. Pemasakan dapat dilakukan menggunakan oven dengan suhu antara 100-300 derajat celcius (untuk skala laboratorium) dan menggunakan tungku pengapian atau *furnance* bila suhu yang dipakai lebih dari 300 derajat celcius. Aktivasi fisik zeolit dengan suhu di bawah 150 derajat celcius hanya dapat mengurangi kadar air yang terdapat di permukaan zeolit saja, Sedangkan aktivasi fisik zeolit dengan suhu di atas 150 derajat celcius dapat mengurangi uap air zeolit hingga ke dalam pori-pori zeolit sehingga kemampuan adsorbsenya dapat meningkat. Aktivasi fisik dengan cara memanaskan zeolit alam diatas 3000 derajat Celcius menyebabkan destruksi struktur pori-pori di dalam zeolit sehingga mengakibatkan zeolit akan kehilangan sifat-sifat adsorbsinya (Supayung, 1994 dalam Simangunsong 2011).

G. *Flyash* (Abu Terbang) Batubara

1. Pengertian *Flyash* Batubara

Flyash batubara adalah material yang memiliki ukuran butiran yang halus dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara (Wardani, 2008). Pada pembakaran batubara dalam PLTU, terdapat limbah padat yaitu abu layang (*flyash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut *fly ash*, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut *bottomash*.



Gambar 7. Serbuk *flyash*

[\(http://chemtrailsmuststop.com/2015/08/epa-refuses-to-classify-coal-fly-ash-as-hazardous-waste-primary-toxic-component-of-chemical-geoengineering/\)](http://chemtrailsmuststop.com/2015/08/epa-refuses-to-classify-coal-fly-ash-as-hazardous-waste-primary-toxic-component-of-chemical-geoengineering/)

Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silika 40%-60% (SiO_2), alumina 20%-30% (Al_2O_3), dan besi oksida 4%-10% (Fe_2O_3), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang. Di Indonesia, produksi limbah abu dasar dan abu terbang dari

tahun ke tahun meningkat sebanding dengan konsumsi penggunaan batubara sebagai bahan baku pada industri PLTU (Harijono D, 2006, dalam Irwanto, 2010).

Saat ini umumnya *flyash* batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam:

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan.
2. Penimbun lahan bekas pertambangan.
3. *Recovery* magnetit, *cenosphere*, dan karbon.
4. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori.
5. Bahan penggosok (*polisher*).
6. Filler aspal, plastik, dan kertas.
7. Pengganti dan bahan baku semen.
8. Konversi menjadi zeolit dan adsorben.

Konversi abu terbang batubara menjadi adsorben uap air di dalam udara merupakan contoh pemanfaatan efektif dari abu terbang batubara. Keuntungan adsorben berbahan baku *flyash* batubara adalah biayanya yang cukup tergolong murah. Selain itu, adsorben ini dapat digunakan baik untuk pengolahan limbah gas maupun limbah cair (Marinda P, 2008). Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari *flyash* adalah tipe batubara, kemurnian batubara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan dan operasi, metoda penyimpanan dan penimbunan (Wardani, 2008).

Adapun komposisi kimia dan klasifikasinya seperti dapat dilihat pada Tabel dibawah ini (Marinda, 2008).

Tabel 1. Komposisi dan klasifikasi *Flyash*

Komponen	Bituminus	Subbituminus	Lignit
SiO ₂	20-60	40-60	15-45
AlO ₃	5-35	20-30	20-25
FeO ₃	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO ₃	0-4	0-2	0-10
Na ₂ O	0-4	0-2	0-6
K ₂ O	0-3	0-4	0-4

2. Sifat – sifat *Flyash* Sebagai Adsorbsen

Flyash memiliki kandungan silika dan alumina yang cukup tinggi dan karbon yang rendah *flyash* memiliki kemampuan untuk menyerap kandungan uap air, sehingga *flyash* dapat dijadikan sebagai adsorben untuk menangkap uap air yang ada di udara dan dapat disetarakan dengan zeolit. Kemampuan *flyash* dalam meningkatkan kualitas proses pembakaran telah dibuktikan oleh Rilham pada tahun 2012, dengan penelitian menggunakan *flyash* bentuk pelet pada sepeda motor 4-langkah dan diperoleh penghematan konsumsi bahan bakar sebesar 22,34% pada pengujian kendaraan berjalan dan 19,56% pada pengujian stasioner (Rilham, 2012).

Flyash batubara memiliki kemampuan dapat menyerap air dan beberapa unsur hara sehingga dapat meningkatkan kualitas adsorpsi dengan baik (geology.com, dalam Rilham, 2012). Selain itu *flyash* batubara juga dapat

digunakan sebagai adsorben berbagai macam zat-zat polutan seperti SO_x, CO, dan partikulat debu termasuk timbal (Pb). *Flyash* batubara juga digunakan dalam bahan cetakan pada industri pengecoran logam karena memiliki ukuran butir jauh lebih kecil daripada pasir cetak sehingga saat dibuat cetakan akan menghasilkan permukaan yang lebih halus (Prahasto dan Sugiyanto, 2007).

Flyash atau abu terbang di kenal di Inggris sebagai serbuk abu pembakaran. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Abu terbang memiliki porositas rendah dan pertikelnya halus. Bentuk partikel abu terbang adalah bulat dengan permukaan halus, dimana hal ini sangat baik untuk workabilitas, karena akan mengurangi permintaan air atau *superplastiscizer* (Ardiansyah, 2002).

Abu terbang mempunyai sifat-sifat yang sangat menguntungkan di dalam menunjang pemanfaatannya yaitu :

1. Sifat Fisik

Abu terbang merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral-mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batu bara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Dan kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat

halus. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara Blaine) antara 170 sampai 1000 m²/kg. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain :

- a. Warna : abu-abu keputihan
- b. Ukuran butir : sangat halus yaitu sekitar 88 %

2. Sifat Kimia

Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silikat (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang. Sifat kimia dari abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan sub/bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminous. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada *bituminous*.

Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100-3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya antara 170-1000 m²/kg (Muchtari, 2006).

III. METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat-alat dan bahan yang digunakan dalam proses pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat yang digunakan

Berikut ini adalah alat-alat yang digunakan selama penelitian :

a. Motor Bensin 4-langkah 100 cc

Pada penelitian ini, mesin uji yang dilakukan adalah motor bensin 4-langkah merk Honda Supra Fit . Untuk spesifikasi dari mesin uji yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tipe mesin : 4 langkah, OHC, 1 cylinder

Diameter x langkah : 50 x 49,5 mm

Volume langkah : 97,1 cc (100 cc)

Rasio kompresi : 9,0 : 1

Daya maksimum : 7,29 PS @8000 rpm

Torsi maksimum : 0,74 kgf.m @6000 rpm

Kopling : Tipe basah, ganda dan otomatis sentrifugal

Sistem pengapian : DC-CDI, magneto

Tahun pembuatan : 2005

Transmisi : 4 Percepatan (N-1-2-3-4-N)

Berat kosong : 93 kg

Sepeda motor pengujian dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Sepeda motor Honda Supra Fit

b. Penumbuk Zeolit

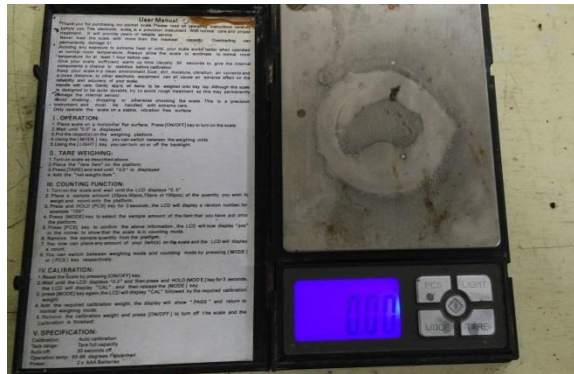
Penumbuk Zeolit adalah alat yang digunakan untuk menghaluskan batu alam Zeolit untuk diayak dan dijadikan pelet filter. Alat penumbuk tersebut dapat dilihat seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Penumbuk Zeolit

b. Timbangan Digital

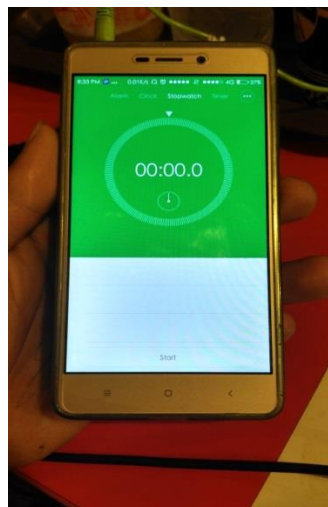
Timbangan digunakan untuk mengukur massa Zeolit, *Flyash*, Tapioka dan Air sebagai variasi komposisi campuran. Adapun gambar timbangan tersebut dapat dilihat seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Timbangan digital

c. Stopwatch

Stopwach digunakan sebagai alat ukur waktu dalam pegujian stasioner dan waktu yang ditempuh dalam uji akselerasi. Adapun stopwatch tersebut adalah seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Stopwath

d. Ampia

Ampia digunakan untuk memperhalus permukaan dan memadatkan adonan Zeolit dan *Flyash* untuk dicetak menjadi pelet filter. Gambar ampia tersebut dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Ampia

e. Kompor

Kompor digunakan untuk memanaskan air aquades untuk melarutkan tepung tapioka. Kompor tersebut dapat dilihat pada gambar berikut 13.



Gambar 13. Kompor listrik

f. Oven

Oven digunakan untuk memanaskan pelet filter dengan temperatur tertentu. Adapun gambar oven tersebut adalah seperti pada gambar 14.



Gambar 14. Oven listrik

g. Cetakan Pelet

Cetakan pelet digunakan untuk membuat pelet untuk dihadikan filter dengan ketebalan 3 mm. Cetakan tersebut seperti pada gambar 15.



Gambar 15. Cetakan pelet

h. Tabung bensin

Tabung bensin digunakan sebagai wadah bensin dalam mengukur konsumsi bahan bakar yang terpakai pada pengujian stasioner dan uji jalan. Adapun tabung tersebut adalah seperti pada gambar 16.



Gambar 16. Tabung bensin

i. Tachometer Digital

Tachometer digital digunakan untuk mengukur putaran mesin pada saat pengujian berlangsung. Tachometer digital tersebut adalah seperti pada gambar 17.



Gambar 17. Tachometer digital

j. Kemasan Pelet filter

Kemasan pelet filter digunakan sebagai wadah melekatnya pelet zeolit dan *flyash* sewaktu pelet digunakan untuk pengujian. Kemasan yang dimaksud adalah seperti pada gambar 18.



Gambar 18. Kawat kemasan pelet filter

2. Bahan utama

a. Zeolit alami

Zeolit alami yang digunakan dalam pengujian ini adalah jenis Klinoptilolit, dengan komposisi kimia 64,37 % SiO_2 , 10,93 % Al_2O_3 , 1,29 % Fe_2O_3 , 0,16 % TiO_2 , 18,16 % L.O.I, 1,31 % CaO , 0,68 % MgO , 1,54 % K_2O , 0,75 % Na_2O (Sumber: CV.MINATAMA).



Gambar 19. Zeolit alam

b. *Flyash* Batubara

Flyash batubara adalah campuran yang digunakan untuk memperoleh komposisi terbaik membuat pelet zeolit *flyash*. *Flyash* tersebut adalah seperti pada gambar 20.



Gambar 20. *Flyash* batubara

c. Air mineral

Air mineral digunakan sebagai pelarut tepung tapioka sebagai perekat campuran pembuat pelet filter. Adapun air mineral yang dimaksud adalah seperti pada gambar 21 berikut.



Gambar 21. Air mineral

d. Tepung tapioka

Tepung tapioka digunakan sebagai perekat campuran zeolit dan *flyash*.

Tepung tapioka tersebut digunakan sebanyak 4gr. Tepung tapioka tersebut adalah seperti pada gambar 22 berikut.



Gambar 22. Tepung Tapioka

B. Persiapan Alat dan Bahan

1. Menghaluskan zeolit dan *flyash*

Menghaluskan zeolit dan *flyash* dengan cara menumbuk zeolit kemudian diayak dengan ukuran 100 mesh, dan pada *flyash* juga diayak dengan ukuran 100 mesh. Hal ini bertujuan agar daya rekat kedua komponen semakin kuat.

2. Membuat adonan pelet dan pencetakan

Membuat pelet campuran *flyash* dan zeolit Langkah pertama dalam membuat pelet filter adalah menentukan kandungan persentase bahan pelet.

Dengan contoh membuat 300 gram bahan pelet dengan campuran perbandingan 50% air, 4% perekat, 46% bahan *flyash* dan zeolit. Berikut ini perhitungannya :

- Air 50% = $300 \times \frac{50}{100} = 150$ gram
- Perekat 4% = $300 \times \frac{4}{100} = 12$ gram
- Bahan *flyash* dan zeolit 46% = $300 \times \frac{46}{100} = 138$ gram

Setelah mendapatkan campuran persentase bahan pelet, air dan perekat dicampur lalu diaduk sambil dipanaskan hingga menjadi seperti lem, kemudian campuran air dan perekat dimasukkan kedalam bahan *flyash* dan zeolit. Kemudian bahan campuran tersebut diaduk merata hingga menjadi campuran adonan yang kalis, setelah itu bahan adonan pelet diratakan dengan menggunakan ampia hingga permukaan sama rata dengan tebal 3 mm, lalu dilakukan pencetakan pelet dengan ukuran diameter lebar 10 mm.

Hasil cetakan pelet tersebut didiamkan pada temperatur ruangan selama 24 jam, setelah itu dilakukan pengovenan pada pelet dengan temperatur aktivasi (150,175,200, dan 225 C) selama 1 jam. Pemanasan ini bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap didalam pelet, setelah itu pelet dapat dibuat menjadi filter.



Gambar 23. Pelet filter 3 mm

3. Aktivasi pelet filter (Pengovenan)

Selanjutnya adalah pemanasan pelet filter pada oven dengan temperatur 100°C selama 1 jam atau 60 menit. Pemanasan tersebut bertujuan untuk menghilangkan kandungan air pada pelet filter yang dicetak sehingga dilakukan pemanasan pelet pada oven sesuai dengan temperatur yang sudah ditentukan. Aktivasi suhu yang dipakai yaitu menggunakan 4 variasi yaitu 150 C , 175 C , 200 C , dan 225 C .



Gambar 24. Proses pengovenan pelet

4. Pengemasan pelet filter

Pengemasan pelet dilakukan dengan menyusun rapi pelet pada kemasan atau kawat jaring untuk dijadikan filter pada motor pengujian. Dalam proses pembuatan filter variasi massa yang dipakai untuk pengujian yaitu 50%, 75% dan 100% dari ruang filter kendaraan, Contoh pembuatan filternya sebagai berikut :

Jika berat filter kawat strimin (jaring parabola) kosong 2,32 gram, susun pelet memenuhi ruang kawat strimin kosong lalu timbang kembali, jika berat keseluruhan (100%) nya adalah 27,50 gram maka berat 50% dan 75% massa filter adalah

- Variasi massa filter 50% = $27,50 \times \frac{50}{100} = 13,75$ gram
- Variasi massa filter 75% = $27,50 \times \frac{75}{100} = 20,62$ gram

Setelah didapatkan variasi massanya, lalu filter dibentuk dengan rapi, usahakan susunan pelet-pelet filter tersusun dengan merata dipermukaan filter agar sirkulasi udara merata melewati semua bagian filter. Setelah itu filter siap untuk diuji.



Gambar 25. Pengemasan Pelet

5. Menyiapkan sepeda motor untuk proses pengujian filter

Motor yang akan diuji dipasangkan *tachometer* untuk mengetahui kecepatan putaran dari mesin. Lalu pada selang saluran bensin dari tangki ke karburator dipasang kran untuk menutup aliran bensin dari tangki utama, kemudian membuat tangki bahan bakar buatan dengan botol susu bayi sehingga dapat melihat konsumsi bahan bakar saat pengujian.

Sebelum pengujian motor di *tune up* secara terlebih dahulu agar motor dalam kondisi baik, dan selama dilakukannya proses pengujian, sepeda motor dilakukan servis secara berkala untuk menjaga kondisi motor agar selalu dalam kondisi baik pada setiap pengujian.

C. Prosedur Pengujian Filter zeolit-*flyash* pada Sepeda Motor 4-Langkah

Dalam pelaksanaan pengujian filter zeolit-*flyash* ini, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan agar bisa mendapatkan hasil yang maksimal. Hal-hal tersebut antara lain :

1. *Tune-up* rutin

Sebelum pengujian dilaksanakan, motor yang digunakan untuk pengujian harus di *tune-up* secara terlebih dahulu agar motor dalam kondisi baik, dan selama dilakukannya proses pengujian, sepeda motor dilakukan servis secara berkala untuk menjaga kondisi motor agar selalu dalam kondisi baik pada setiap pengujian dan tentunya akan mendapatkan hasil yang maksimal.



Gambar 26. Kendaraan uji yang telah diservis rutin

2. Cara Pemasangan Filter pada kendaraan uji

Filter zeolit-*flyash* yang digunakan untuk pengujian ini dibuat dengan bentuk yang sama persis dengan filter asli dari kendaraan yang akan di uji dengan tujuan untuk memudahkan pemasangan pada kendaraan yang akan

diuji. Jumlah filter yang akan di gunakan dalam pengujian ini cukup banyak. Oleh sebab itu, penguji dituntut untuk dapat mengganti filter terus menerus untuk bisa mendapatkan data yang di inginkan.

cara memasang filter *Zeolit-Flyash* pada kendaraan uji yaitu dengan menambahkan tali yang dipasangkan menyilang pada lubang baut pada rumah filter yang berfungsi sebagai penahan filter agar tidak mudah lepas dari rumah filter kendaraan uji. Selanjutnya filter cukup dipasangkan di sela-sela tali dan rongga rumah sesuai dengan posisi rumah filter, lalu baut yang menahan tali tersebut dikencangkan hingga filter terpasang dengan kuat.



(a)



(b)



(c)

Gambar 27. Urutan pemasangan filter pada kendaran uji (ajito, 2016).

4. Proses Pengujian Filter Zeolit-*Flyash* Pada Kendaraan Uji

Adapun proses pengujian dilakukan 3 tahap pengujian yaitu uji jalan, uji akselerasi dan uji stasioner, Sebelum pengujian mesin dipanaskan beberapa menit agar mesin dalam kondisi sama saat pengujian. Tahap pengujian dapat dilihat sebagai berikut :

1. Uji jalan

pengujian dilakukan dalam kondisi motor melaju dengan kecepatan 50 km/jam jarak tempuh 5 km dan dilakukan sebanyak 3 kali pengujian pada masing-masing filter ataupun tahap pengujian. Adapun data yang diambil dalam pengujian berjalan ini meliputi konsumsi bahan bakar. Dalam pengujian ini yang pertama mengukur jarak tempuh jalan sejauh 5 km lalu menandainya, setelah itu mengisi bensin pada tangki bahan bakar buatan 250 ml lalu mesin dijalankan perpindahan perseneling satu ke dua pada spidometer per 20 km/jam, untuk perpindahan perseneling dua ke tiga pada 30 km/jam dan untuk perpindahan perseneling tiga ke empat pada saat kecepatan 40 km/jam lalu dijaga pada kecepatan 50 km/jam.

Setelah menempuh jarak 5 km mesin berhenti dan dimatikan, kemudian lihat bahan bakar yang tersisa pada tangki buatan lalu hitung konsumsi bahan bakar pengujian dengan cara volume awal dikurangi volume akhir pengujian pada tangki buatan kemudian dicatat. Lakukan hal tersebut sebanyak 3 kali pengujian pada tiap-tiap tahap pengujian filter.

Adapun urutan pengambilan data dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2. Urutan pengambilan data uji jalan

No	Filter	Pengujian konsumsi bahan bakar (ml)			Rata- rata (ml)	Persentase (%)
		I	II	III		
1	Tanpa Filter	1	13	1		-
2	T= 150 massa 50%	2	12	2		
3	T= 175 massa 50%	3	11	3		
4	T= 200 massa 50%	4	10	4		
5	T= 225 massa 50%	5	9	5		
6	T= 150 massa 75%	6	8	6		
7	T= 175 massa 75%	7	7	7		
8	T= 200 massa 75%	8	6	8		
9	T= 225 massa 75%	9	5	9		
10	T= 150 massa 100%	10	4	10		
11	T= 175 massa 100%	11	3	11		
12	T= 200 massa 100%	12	2	12		
13	225 massa 100%	13	1	13		

2. Uji akselerasi

pengujian dilakukan pada akselerasi 0-80 km/jam dan dilakukan sebanyak 3 kali pengujian pada masing-masing tahap pengujian. Adapun data yang diambil dalam pengujian berjalan ini adalah waktu tempuh mesin saat akselerasi dengan berbagi tahap pengujian filter.

Tahap pertama pada proses pengujian yaitu isi bahan bakar pada tangki buatan setelah itu hidupkan mesin. Ketika gas mulai diputar, *stopwacth* mulai diaktifkan, setelah sampai pada kecepatan 80 km/jam *stopwact* di non-aktifkan kemudian dicatat waktu tempuhnya. Dalam proses pengujian, pada proses perpindahan perseneling diupayakan konstan pada setiap pengujian.

Adapun urutan pengambilan data dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 3. Urutan pengambilan data uji akselerasi

No	Filter	Pengujian waktu tempuh (detik)			Rata- rata (detik)	Persentase (%)
		I	II	III		
1	Tanpa Filter	1	13	1		-
2	T= 150 massa 50%	2	12	2		
3	T= 175 massa 50%	3	11	3		
4	T= 200 massa 50%	4	10	4		
5	T= 225 massa 50%	5	9	5		
6	T= 150 massa 75%	6	8	6		
7	T= 175 massa 75%	7	7	7		
8	T= 200 massa 75%	8	6	8		
9	T= 225 massa 75%	9	5	9		
10	T= 150 massa 100%	10	4	10		
11	T= 175 massa 100%	11	3	11		
12	T= 200 massa 100%	12	2	12		
13	225 massa 100%	13	1	13		

3. Uji Stasioner

pengujian dilakukan pada stasioner dengan putaran mesin 1000 rpm, 3000 rpm dan 5000 rpm selama 5 menit dan dilakukan sebanyak 3 kali pengujian. Adapun data yang diambil dalam pengujian berjalan ini adalah konsumsi bahan bakar pada kondisi stasioner. Data yang diambil tiap pengujianya dilakukan pada cuaca dan lokasi pengujian yang hampir sama.

Langkah pertama atur putaran mesin hingga mencapai putaran mesin yang diinginkan setelah itu isi bahan bakar pada tangki buatan sampai 250 ml, hidupkan motor dengan cara diengkol lalu *stopwacth* dihidupkan. Setelah 5 menit mesin dimatikan, kemudian lihat bahan bakar yang tersisa pada tangki buatan lalu hitung konsumsi bahan bakar pengujian dengan cara volume awal dikurangi volume akhir pengujian pada tangki buatan kemudian dicatat. Lakukan hal tersebut sebanyak 3 kali pengujian pada tiap-tiap tahap pengujian filter dan lakukan pengujian tersebut pada masing-masing variasi putaran mesin yang akan diujikan.

Adapun urutan pengambilan data dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4. Urutan pengambilan data uji stasioner

No	Filter	1000 rpm			3000 rpm			5000 rpm			Rata-rata (ml)	Selisih (ml)	Persentase (%)
		I	II	III	I	II	III	I	II	III			
1	Tanpa Filter	1	2	3	37	38	39	1	2	3			
2	T = 150 massa 50%	4	5	6	34	35	36	4	5	6			
3	T = 175 massa 50%	7	8	9	31	32	33	7	8	9			
4	T = 200 massa 50%	10	11	12	28	29	30	10	11	12			
5	T = 225 massa 50%	13	14	15	25	26	27	13	14	15			
6	T = 150 massa 75%	16	17	18	22	23	24	16	17	18			
7	T = 175 massa 75%	19	20	21	19	20	21	19	20	21			
8	T = 200 massa 75%	22	23	24	16	17	18	22	23	24			
9	T = 225 massa 75%	25	26	27	13	14	15	25	26	27			
10	T = 150 massa 100%	28	29	30	10	11	12	28	29	30			
11	T = 175 massa 100%	31	32	33	7	8	9	31	32	33			
12	T = 200 massa 100%	34	35	36	4	5	6	34	35	36			
13	T = 225 massa 100%	37	38	39	1	2	3	37	38	39			

1. Uji emisi gas buang

Pengujian Emisi Gas buang dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan Zeolit dan *flyash* untuk mereduksi emisi gas buang pada kendaraan motor pengujian yang dilakukan. Pengujian emisi dilakukan pada putaran 1500 rpm, 2500 rpm dan 3500 rpm.



Gambar 28. pengujian emisi (eko sinulingga, 2016).

Filter yang akan dipakai untuk pengujian emisi gas buang ini adalah filter yang mempunyai hasil persentase terbaik pada saat 3 pengujian sebelumnya (uji jalan, uji akselerasi, dan uji stasioner). Format pencatatan data mengenai pengujian emisi gas buang dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 5. Format data pengujian pengaruh komposisi campuran zeolit dan *flyash* terhadap emisi gas buang kendaraan

No	GAS	RPM	Pengujian Tanpa filter	Rata-rata Pengujian	Selisih dengan Tanpa filter	Persentase (%)
1	HC (Ppm)	1500				
		2500				
		3500				
2	CO (%)	1500				
		2500				
		3500				
3	CO ₂ (%)	1500				
		2500				
		3500				
4	O ₂ (%)	1500				
		2500				
		3500				

D. Lokasi Pengujian

Ada 3 lokasi yang digunakan untuk pengujian ini sesuai dengan jenis pengujian yang akan dilakukan.

1. Uji Stasioner

Lokasi : Dusun Pagergunung, desa Fajar Agung Barat, Kab. Pringsewu

2. Uji jalan (*road test*) 5 km

Lokasi : Jalan raya Ganjaran, Kab. Pringsewu

3. Uji akselerasi

Lokasi : Komplek Perkantoran Pemda Kab. Pringsewu

4. Uji emisi gas buang

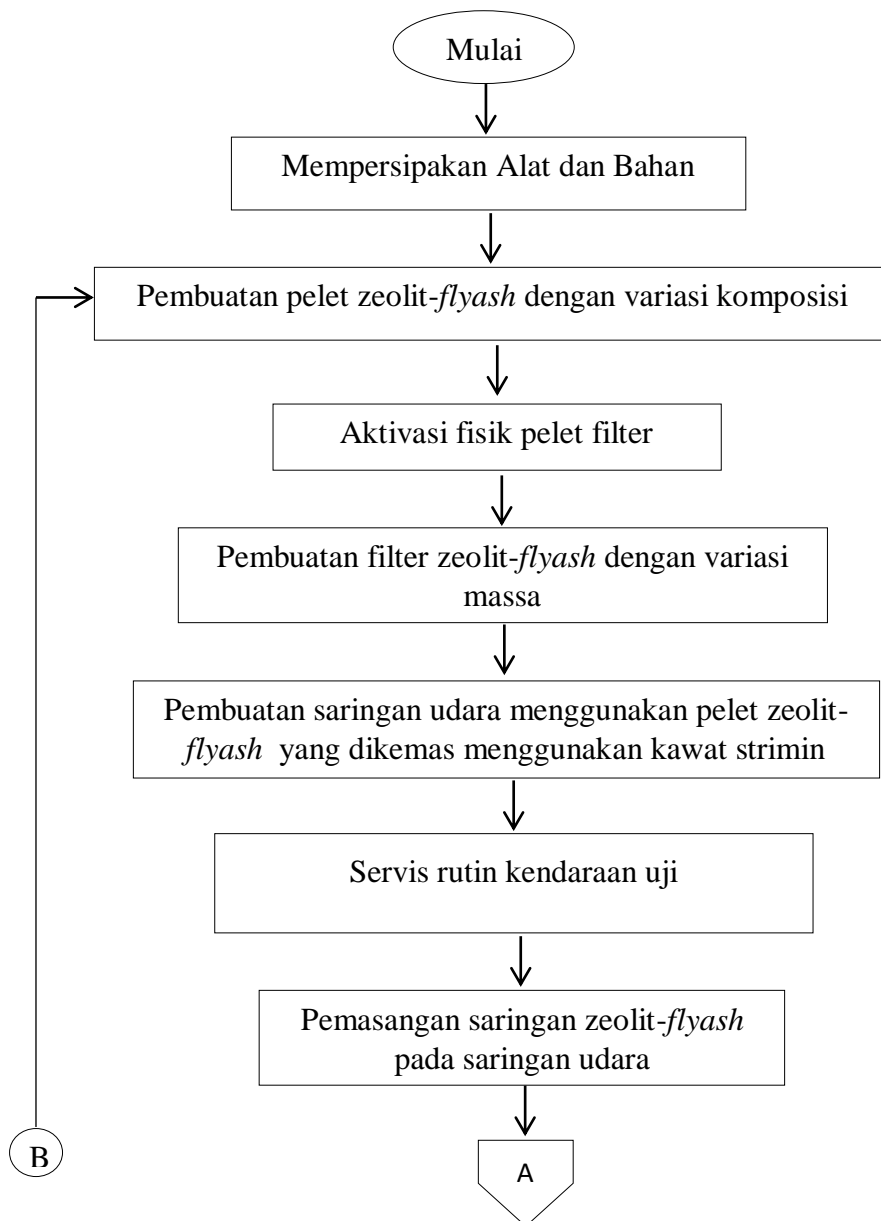
Lokasi : Laboraturium Motor Bakar Universitas Lampung.

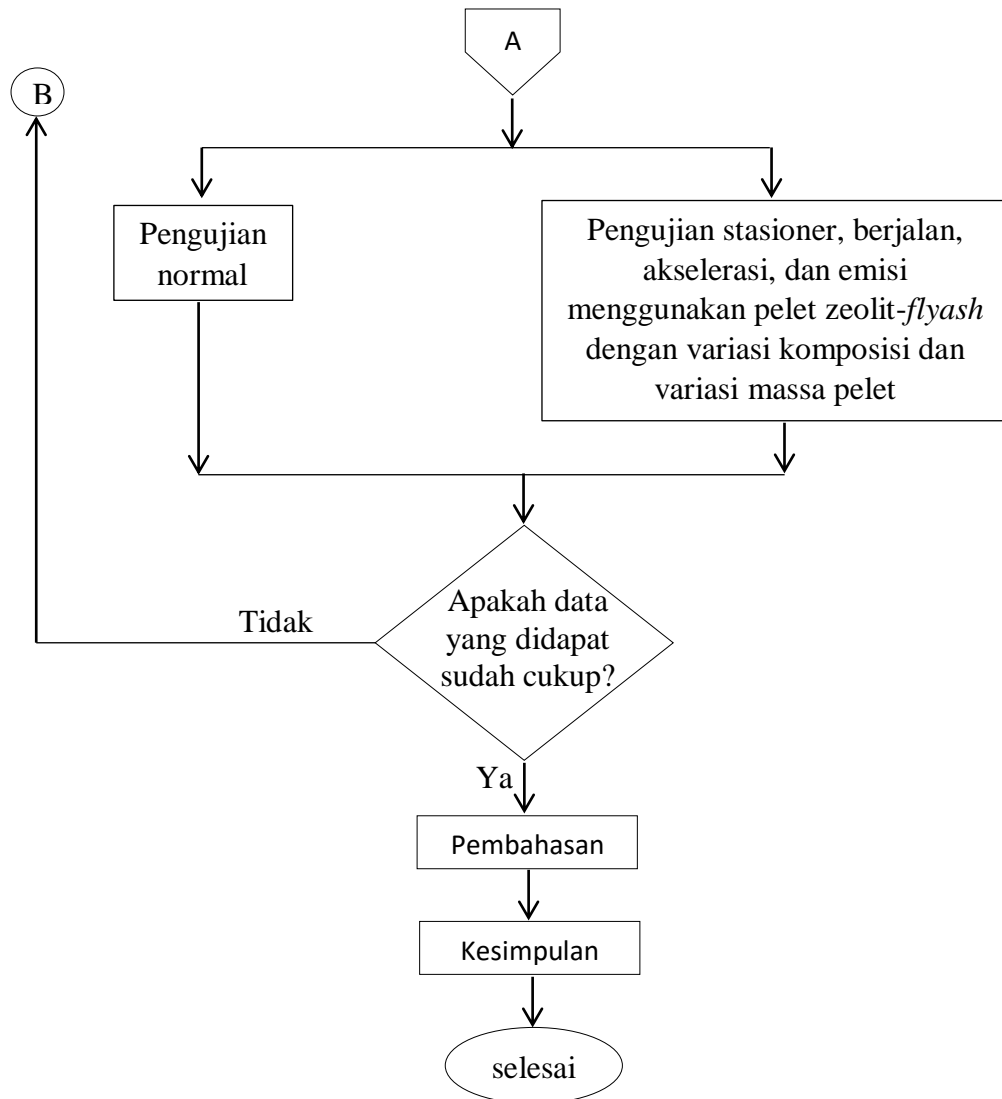
E. Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian selanjutnya dianalisa dan disajikan dalam bentuk grafik sehingga diperoleh pengaruh dari temperatur aktivasi fisik terbaik dan komposisi variasi campuran zeolit dan *flyash* terbaik pada filter udara kendaraan uji.

F. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dalam pembuatan dan pengujian pelet filter dengan komposisi campuran antara zeolite-*Fly Ash* tersebut adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 29.





Gambar 29. Diagram alir penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Setelah didapatkan data hasil pengujian, maka dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin tinggi temperatur aktivasi yang diberikan (tanpa melebihi batas suhu aktivasi maksimum zeolit dan *Fly Ash*), maka semakin baik juga kemampuan zeolit dan *Fly Ash* sebagai adsorben. Hal ini dibuktikan pada saat menentukan temperatur aktivasi terbaik yang didapat pada variasi temperatur yang paling tinggi yaitu 225⁰C dengan persentase terbaik pada uji jalan sebesar 23,24%, persentase terbaik pada uji akselerasi sebesar 15,23%, dan persentase terbaik pada uji stasioner dengan rata-rata 39,80% pada keseluruhan kecepatan putaran mesin.
2. Filter dengan variasi massa 100% (27,50 gram) menjadi filter yang mampu meningkatkan prestasi mesin bensin 4-langkah pada pengujian ini dengan mampu mendominasi pada keseluruhan pengujian. Baik pengujian jalan, pengujian akselerasi, maupun pengujian stasioner.
3. Pada pengujian emisi gas buang kendaraan, filter Z25:F75 dengan variasi temperatur terbaik (225⁰C) dan variasi massa terbaik (100%) terbukti mampu meningkatkan prestasi mesin kendaraan uji dengan mampu meningkatkan

kadar Gas CO₂ hingga 7,85% pada rpm 2500, mampu mengurangi kadar gas CO hingga 63,75% pada rpm 3500 dan mampu mengurangi kadar Gas HC hingga 37,11% pada Rpm 3500.

4. Dari segi persentase, filter Z25:F75 dengan temperatur aktivasi 225⁰C dan variasi massa 100% (27,50 gram) merupakan filter dengan kemampuan terbaik untuk meningkatkan prestasi mesin, karena mampu menjadi yang terbaik pertama dalam pengujian jalan dengan menghemat konsumsi bahan bakar hingga 28,78%, mampu menempati peringkat kedua terbaik pada uji akselerasi dengan persentase mencapai 11,93%. Selain itu, untuk uji stasioner selama 5 menit pengujian, filter Z25:F75 mampu menjadi yang terbaik pertama dengan menghemat konsumsi bahan bakar dengan total persentase mencapai 42,85% untuk keseluruhan kecepatan putaran mesin.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah dilakukannya pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian lebih lanjut tentang umur pemakaian filter campuran zeolit- *Fly Ash* (batubara) sebagai adsorben pada kendaraan uji.
2. Melakukan aktivasi fisik dengan temperatur yang lebih tinggi.
3. Melakukan aktivasi fisik pelet dengan variasi waktu yang lebih banyak.
4. Membandingkan dengan pengujian menggunakan sepeda motor 4-langkah dengan kapasitas mesin (cc) yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Chemi. 2012. *Sejarah, Fungsi Dan Struktur Zeolit*.

[Http://Datachem.Blogspot.Com/2011/01/Sejarah-Fungsi-Dan-Struktur Zeolit.Html](http://Datachem.Blogspot.Com/2011/01/Sejarah-Fungsi-Dan-Struktur-Zeolit.Html). Diakses Tanggal 3 Desember 2016.

Antaraneews. 2014. *Lampung Punya Cadangan Batubara Melimpah*.

[Http://Lampung.Antaraneews.Com/M/Berita/266942/Lampung-Punya-Cadangan-Batu-Bara](http://Lampung.Antaraneews.Com/M/Berita/266942/Lampung-Punya-Cadangan-Batu-Bara). Diakses Pada 18 Desember 2016.

Anthonius L, Fendy. 2013. *Optimasi Aktivasi Zeolit Alam Untuk Dehumidifikasi*.

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.

Aris Munandar, Wiranto. 1994. *Penggerak Motor Bakar Torak*. Bandung.

Barrer, R.M. 1982. *Hydrothermal Chemistry Of Zeolit*. Academic Press. London

BPS. 2014. *Lampung Dalam Angka*. Bandar Lampung.

Butland, T.D. 2008. *Adsorption Removal Of Tertiary Butyl Alcohol From Wastewater By Zeolite*. Thesis Of Worcester Polytechnic Institute. Massahusetts.

Syahreza, Doan. 2005. *Kiat Mengemudi Hemat BBM & Berbagai Sumber*. Bandung.

Efendri, Denfi. 2013. *Pengaruh Variasi Komposisi, Jenis Air, Dan Kondisi Aktivasi Dari Adsorben Fly Ash Batu Bara Terhadap Prestasi Mesin Dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor Karburator 4-Langkah*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin - Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Hartono, B. 2008. *Pengaruh Pemanfaatan Zeolit Alam Lampung Teraktivasi Basa-Fisik Terhadap Prestasi Motor Kijang Karburator 1500 Cc*. Skripsi Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Heywood, J.B. 1988. *Internal Combustion Engine*. Mcgraw Hill International. Singapore.

Kementrian ESDM, 2015. *Jawaban Kebutuhan Energi Nasional*. Jakarta.

[Http://Www.Esdm.Go.Id/Assets/Admin/File/Pub/Outlook_Energi_2012.Pdf](http://www.esdm.go.id/assets/admin/file/pub/outlook_energi_2012.pdf).

Diakses Pada Tanggal 23 Januari 2017.

Kompasiana. 2015. *Pertumbuhan Konsumsi Energi Dalam Negeri Indonesia Semakin Meningkat Tiap Tahunnya*.

[Http://Www.Kompasiana.Com/Gistrong/Geothermal-Jawaban-Kebutuhan-](http://www.kompasiana.com/gistrong/geothermal-jawaban-kebutuhan-energi-indonesia_5528af8a6ea8342a788b4611)

[Energi-Indonesia_5528af8a6ea8342a788b4611](http://www.kompasiana.com/gistrong/geothermal-jawaban-kebutuhan-energi-indonesia_5528af8a6ea8342a788b4611). Diakses Pada 20 Januari

2017.

Mahdi. 2006. *Pengaruh Pemanfaatan Zeolit Yang Diaktivasi Fisik Pada Beragam Temperatur Dan Waktu Pemanasan Terhadap Kinerja Motor Diesel 4-Langkah*. Skripsi Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin-Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Marinda P. 2008. *Abu Terbang Batubara Sebagai Adsorben*.
[Http://Majarimagazine.Com/2008/06abu-Terbang-Batubara-Sebagai-Adsorben.Html](http://Majarimagazine.Com/2008/06abu-Terbang-Batubara-Sebagai-Adsorben.Html). Diakses Pada 23 Desember 2016.

Outlook Energy Indonesia. 2014. Subsidi BBM Membuat Indonesia Rentan Di Pasar Global.
[Https://Gistrong.Wordpress.Com/2014/09/26/Geothermal-Jawaban-Kebutuhan-Energi-Indonesia/](https://Gistrong.Wordpress.Com/2014/09/26/Geothermal-Jawaban-Kebutuhan-Energi-Indonesia/). Diakses Pada 20 Januari 2017.

Rilham, Dimas. 2012. *Pengaruh Aplikasi Fly Ash Bentuk Pelet Perekat Yang Diaktivasi Fisik Terhadap Prestasi Mesin Dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor Bensin 4-Langkah*. Skripsi Sarjana, Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Simangunsong, Vera. 2011. *Optimasi Suhu Aktivasi Dan Dosis Zeolit Sebagai Adsorben Seng Dan Besi Yang Terkandung Didalam Limbah Industri Sarung Tangan Karet*. Skripsi Sarjana Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sumatera Utara. Medan.

Wardani, SRP. 2008. *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.

Wardono, H. 2004. *Modul Pembelajaran Motor Bakar 4-Langkah*. Jurusan Teknik - Mesin Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Wikipedia. 2016. *Pengertian Zeolit*.

<https://id.wikipedia.org/wiki/Zeolit>. Diakses Pada 15 Desember 2016.

Yuliusman, Dkk. 2013. *Pemilihan Adsorbsen Untuk Penyerapan Karbon Monoksida Menggunakan Model Adsorpsi Isometric Langmuir*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.

<https://domsavmania.wordpress.com/materi-dan-buku-teknik-mesin/motor-bakar/siklus-otto-dan-siklus-diesel/> . diakses 20 Desember 2016.

<http://kokowong.blogspot.co.id/2011/08/bersihkan-filter-busa-jangan-pakai.html> . diakses 12 Januari 2017.

<http://chemtrailsmuststop.com/2015/08/epa-refuses-to-classify-coal-fly-ash-as-hazardous-waste-primary-toxic-component-of-chemical-geoengineering/> . diakses 5 Januari 2017.