

**PENGARUH FILTER UDARA BERBAHAN ZEOLIT DAN *FLY ASH*
(BATUBARA) AKTIVASI NaOH-FISIK TERHADAP PRESTASI MESIN
SEPEDA MOTOR 4 LANGKAH**

(Skripsi)

Oleh

AJITO SURANCOYO



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2017

ABSTRAK

PENGARUH FILTER UDARA BERBAHAN ZEOLIT DAN *FLY ASH* (BATUBARA) AKTIVASI NaOH-FISIK TERHADAP PRESTASI MESIN SEPEDA MOTOR 4 LANGKAH

Oleh

Ajito Surancoyo

Menurut menteri ESDM Ignasius Jonan menyatakan cadangan minyak Indonesia saat ini 3,6 miliar, dari cadangan saat ini dibandingkan dengan tingkat produksi pemakaiannya, minyak Indonesia hanya bertahan hingga tahun 2028. Kemudian menurut Direktur Jenderal MIGAS I.G.N Wiratmaja Puja bahwa cadangan minyak tahun 2016 merupakan yang terendah sejak tahun 2000. Sehingga perlu dilakukannya 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. Oleh karena itu diharapkan proses pembakaran semakin optimal dan prestasi mesin semakin baik.

Sebelum digunakan zeolit dan *fly ash* perlu dilakukan aktivasi NaOH untuk membersihkan zat pengotor. Kemudian dibuat dalam bentuk pelet lalu diaktivasi fisik untuk menghilangkan uap air pada pori-pori. Pelet tersebut disusun menyerupai filter dan diletakkan di depan filter udara kendaraan. Komposisi campuran zeolit dan *fly ash* yang digunakan komposisi zeolit 100%:*fly ash* 0% (Z100:F0), zeolit 75%:*fly ash* 25% (Z75:F25), zeolit 50%:*fly ash* 50% (Z50:F50), zeolit 25%:*fly ash* 75% (Z25:F75) dan zeolit 0%:*fly ash* 100% (Z0:F100). Temperatur pengovenan pelet yang digunakan 150°C, 175°C, 200°C, 225°C. Konsentrasi kimia yang digunakan normalitas 0,25N; 0,5N; 0,75N; 1N; 1,5N; 2N. Penelitian ini menggunakan beberapa variasi pengujian yaitu uji jalan, uji akselerasi, uji stasioner dan uji emisi gas buang. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi normalitas terbaik, temperatur terbaik serta komposisi campuran zeolit dan *fly ash* terbaik terhadap prestasi motor bensin 4 langkah.

Pada uji jalan filter terbaik diperoleh pada campuran Z50:F50 1N 100°C sebesar 8,2% (lebih hemat 7,4ml). Pada uji akselerasi filter terbaik diperoleh pada campuran

Z100:F0 2N 225°C sebesar 14,43% (lebih cepat 2,57s). Pada pengujian stasioner filter terbaik diperoleh pada campuran Z100:F0 2N 225°C dengan total keseluruhan persentase sebesar 49,82% (lebih hemat 9,7ml). Pada uji emisi filter terbaik dalam menurunkan kadar gas CO pada campuran Z25:F75 2N 225°C dengan keseluruhan persentase sebesar 11,03% (lebih sedikit 0,051%) filter terbaik dalam menurunkan kadar gas HC pada campuran Z50:F50 2N 225°C dengan keseluruhan data sebesar 19,23% (lebih sedikit 5ppm) dan filter terbaik menaikkan kadar gas CO₂ pada campuran Z75:F25 2N 225°C dengan keseluruhan persentase sebesar 0,06% (lebih banyak 0,04%).

Kata kunci : Filter udara zeolit dan *fly ash*, aktivasi NaOH, prestasi mesin

**PENGARUH FILTER UDARA BERBAHAN ZEOLIT DAN *FLY ASH*
(BATUBARA) AKTIVASI NaOH-FISIK TERHADAP PRESTASI MESIN
SEPEDA MOTOR 4 LANGKAH**

Oleh

AJITO SURANCOYO

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 : **PENGARUH FILTER UDARA BERBAHAN
ZEOLIT DAN FLY ASH (BATUBARA)
AKTIVASI NaOH-FISIK TERHADAP
PRESTASI MESIN SEPEDA MOTOR 4
LANGKAH**

Nama Mahasiswa : **Ajito Surancoyo**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1215021010

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

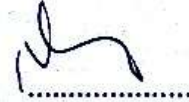
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin


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 : M. Dyan Susila E.S., S.T., M.Eng.**



2. Dekan Fakultas Teknik



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 11 April 2017

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ajito Surancoyo
NPM : 1215021010
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, 11 April 2017

Yang Menyatakan



Ajito Surancoyo
NPM 1215021015

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Metro pada tanggal 12 September 1993. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan Bapak Edi Sunaryo dan Ibu Rosmiyati. Penulis menyelesaikan pendidikan taman kanak-kanak di TK PKK Yosodadi Kec.Metri Timur Kota Metro pada tahun 1999. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN 4 Metro pada tahun 2005, pendidikan menengah pertama di MTs Negeri Metro pada tahun 2008, dan pendidikan menengah atas di SMK Negeri 2 Metro pada tahun 2011. Penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Lampung pada tahun 2012 melalui tes tertulis pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah aktif di organisasi kemahasiswaan, diantaranya Forum Silaturahmi dan Studi Islam Fakultas Teknik (FOSSI FT) menjabat sebagai sekretaris umum, dan Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota di bidang Humas. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata Tematik (KKN-Tematik) pada tahun 2016 di desa Batukeramat, Kecamatan Kota Agung Timur, Kabupaten Tanggamus. Penulis juga telah melaksanakan Program Kerja Praktik (KP) di P.T. PLN Persero Sektor Pembangkitan Tarahan pada tahun 2014. Penulis melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Filter Udara Berbahan Zeolit dan *Fly Ash* (Batubara) Aktivasi NaOH-Fisik Terhadap Prestasi Mesin Sepeda Motor 4 Langkah, dibawah bimbingan Bapak Ir. Herry Wardono M.Sc. Dan A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.

Motto

Allah SWT, ya Tuhanku... Buatlah aku menjadi manusia yang mampu mewujudkan impianku, kuatkan pundakku agar orang-orang yang saya cintai mampu meletakkan impiannya padaku serta mewujudkannya, dan yang dapat bermanfaat bagi sesama.

“Never Give Up”

“Dan janganlah kamu berputus asa daripada rahmat Allah. Sesungguhnya tiada berputus asa daripada Allah melainkan orang-orang yang kafur.”
(Q.S. Yusuf: 87)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan.”
(Q.S. Al-Insyirah: 5-6)

“Wahai orang-orang yang beriman mintalah pertolongan melalui sabar dan shalat, sesungguhnya Allah bersama orang-orang yang sabar. Dan benar-benar akan Kami uji kamu dengan sedikit ketakutan, kelaparan, dan kekurangan buah-buahan, dan berilah kabar gembira bagi orang-orang yang sabar, (yaitu) yang mengatakan Sesungguhnya kami adalah milik Allah dan kepada-Nya kami kembali”
(Q.S. Al-Baqarah: 155-156)

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 “Pengaruh Filter Udara Berbahan Zeolit dan *Fly Ash* (Batubara) Aktivasi NaOH-Fisik Terhadap Prestasi Mesin Sepeda Motor 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 Teknik Universitas Lampung beserta staff dan jajarannya yang telah memberikan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

2. Bapak Ahmad Suudi, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan kemudahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
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 M. Dyan Susila, S.T., M.T., selaku pembahas yang telah memberikan masukan dan saran-saran membangun agar penulisan laporan menjadi lebih baik lagi.
6. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak (Edi Sunaryo) dan Ibu (Rosmiyati) atas perhatian dan kasih sayang yang telah diberikan serta doa yang tak ada hentinya dilantunkan untuk kesuksesan penulis.
7. Kakandaku tercinta Dody Suharto dan Girang Wijayanto serta Ratna Absari Indriyani 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. Farida Rahma Hadi P 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 Zaenal Arifin, Andika Sofyan A, Farid Nanda Syanur, Bagus Purnomo, Nur Wakhid, Muhammad Iqbal, yang terus menyemangati penulis, memberikan saran dan bantuan jika terjadi kesulitan, dan untuk teman-teman angkatan 2012 lainnya atas bantuan dan kebersamaannya selama ini dan perhatian yang telah diberikan. Semoga kebersamaan kita selalu menjadi kenangan yang terindah.
11. Teman-teman di FOSSI-FT, HIMATEM, CREMONA, DARRATIH *Family*, yang slalu menyemangati untuk menyelesaikan program studi S1.
12. Kakak-kakak tingkat angkatan 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 maupun 2011, serta adik-adik tingkatku angkatan 2013, 2014 terima kasih atas kebersamaan dan doanya.
13. Mas Agus, Mas Dadang, Mas Nanang dan Mas Marta, terima kasih atas bantuannya selama ini.
14. Pejuang Laboratorium Motor Bakar Eko Aprilando S, Fajrin Muhtada, Adi Ernadi, Liwanson Simarmata atas bantuannya dalam pengerjaan tugas akhir.
15. Almamater Universitas Lampung tercinta yang telah mendewasakanku.
16. 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, April 2017
Penulis

Ajito Surancoyo
1215021010

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	i
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xi
 BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Masalah.....	4
C. Batasan Masalah	5
D. Sistematika Penulisan	6
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Motor Bakar	8
B. Jenis Motor Bakar	8
1. Motor Pembakaran Luar (<i>External Combustion Engine</i>) ..	8
2. Motor Pembakaran Dalam (<i>Internal Combustion Engine</i>)	9
C. Motor Bensin	9
1. Motor Bensin 2 Langkah	9
2. Motor Bensin 4 Langkah	10

D. Proses Pembakaran	12
E. Parameter Prestasi Motor Bensin 4 Langkah	14
F. Gas Buang Motor Bensin	15
1. Karbon Dioksida (CO ₂)	15
2. Uap Air (H ₂ O)	16
3. Nitrogen (N ₂)	16
4. Karbon Monoksida (CO)	16
5. Hidro Karbon (HC)	16
6. Nitrogen Oksida (NO _x)	17
G. Saringan Udara Kendaraan	17
H. Zeolit	18
I. <i>Fly Ash</i> Batubara	22
J. Pengaruh Aktivasi Terhadap Zeolit dan <i>Fly Ash</i> Batubara	24
1. Aktivasi Fisik	24
2. Aktivasi Kimia	24
K. Normalitas	25
L. Molaritas	26

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Alat dan Bahan Penelitian	28
B. Persiapan Alat dan Bahan	40
C. Prosedur Pengujian	45
1. Uji Jalan	45
2. Uji Akselerasi	48
3. Uji Stasioner	51

4. Uji Emisi Gas Buang	55
D. Lokasi Penelitian	56
E. Analisis Data	56
F. Diagram Alir Penelitian	57

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil	60
B. Pembahasan	70
1. Menentukan Nilai Konsentrasi NaOH Terbaik	70
2. Menentukan Temperatur Aktivasi Fisik Terbaik	80
3. Menentukan Komposisi Zeolit dan <i>Fly Ash</i> Terbaik	85
4. Pengujian Emisi Gas Buang Kendaraan	91

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	100
B. Saran	102

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Siklus motor bensin 4 langkah	10
2. Diagram P-V dari siklus ideal motor bensin 4 langkah	10
3. Komposisi gas buang motor bensin	15
4. Zeolit <i>clinoptilolite</i>	18
5. Tetrahedral silika dan alumina pada struktur zeolit	19
6. Skematika pembentukan struktur zeolit tiga dimensi	19
7. <i>Fly ash</i> batubara	22
8. Sepeda motor Yamaha Vega-ZR	29
9. Gelas ukur kapasitas 1000 ml	29
10. Mesin bor pengaduk bahan	30
11. Baskom	30
12. Timbangan digital	31
13. Ampia	31
14. Cetakan pola lingkaran berdiameter 10 mm	32
15. Oven elektrik maspion	32
16. Penumbuk	33
17. Ayakan 100 mesh	33
18. Kompor elektrik maspion	34
19. <i>Tachometer</i>	34
20. Tabung bensin buatan satuan ml	35

21. <i>Stopwacth</i>	35
22. PH meter digital	36
23. Zeolit alam jenis <i>clinoptilolite</i>	37
24. <i>Fly ash</i> batubara	37
25. NaOH	38
26. Air rendaman zeolit	38
27. Tepung tapioka	39
28. Air aquades	39
29. Diagram alir penelitian	57
30. Konsumsi bahan bakar pada uji jalan dalam menentukan nilai konsentrasi NaOH terbaik	71
31. Konsumsi bahan bakar pada lanjutan uji jalan dalam menentukan nilai konsentrasi NaOH terbaik	73
32. Waktu tempuh pada pengujian akselerasi dalam menentukan nilai konsentrasi NaOH terbaik	74
33. Waktu tempuh dalam lanjutan pengujian akselerasi dalam menentukan nilai konsentrasi NaOH terbaik	75
34. Konsumsi bahan bakar pada pengujian stasioner dalam menentukan nilai konsentrasi NaOH terbaik	76
35. Konsumsi bahan bakar pada lanjutan pengujian stasioner dalam menentukan nilai konsentrasi NaOH terbaik	78
36. Konsumsi bahan bakar pada uji jalan dalam menentukan temperatur aktivasi fisik terbaik	80
37. Waktu tempuh pada uji akselerasi dalam menentukan temperatur aktivasi fisik terbaik	82

38. Konsumsi bahan bakar pada uji stasioner dalam menentukan temperatur aktivasi fisik terbaik	83
39. Konsumsi bahan bakar pada uji jalan dalam menentukan komposisi campuran zeolit dan <i>fly ash</i> terbaik	86
40. Waktu tempuh pada uji akselerasi dalam menentukan komposisi campuran zeolit dan <i>fly ash</i> terbaik	87
41. Konsumsi bahan bakar pada uji stasioner dalam menentukan komposisi campuran zeolit dan <i>fly ash</i> terbaik	89
42. Pengaruh filter buatan terhadap kadar CO gas buang	92
43. Pengaruh filter buatan terhadap kadar CO ₂ gas buang	94
44. Pengaruh filter buatan terhadap kadar HC gas buang	96

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi kimia dan klasifikasi <i>fly ash</i> batubara.....	23
2. Format data pengujian pengaruh aktivasi kimia terhadap konsumsi bahan bakar pada uji jalan kendaraan	46
3. Format data pengujian pengaruh temperatur pengeringan pelet terhadap konsumsi bahan bakar pada uji jalan kendaraan	47
4. Format data pengujian pengaruh komposisi campuran zeolit dan <i>fly ash</i> terhadap konsumsi bahan bakar pada uji jalan kendaraan	48
5. Format data pengujian pengaruh aktivasi kimia terhadap waktu tempuh pada uji akselerasi kendaraan	49
6. Format data pengujian pengaruh temperatur pengeringan pelet terhadap waktu tempuh pada uji akselerasi kendaraan	50
7. Format data pengujian pengaruh komposisi campuran zeolit dan <i>fly ash</i> terhadap waktu tempuh pada uji akselerasi kendaraan	50
8. Format data pengujian pengaruh aktivasi kimia terhadap konsumsi bahan bakar pada kondisi stasioner kendaraan	52
9. Format data pengujian pengaruh temperatur pengeringan pelet terhadap konsumsi bahan bakar pada kondisi stasioner kendaraan	53

10. Format data pengujian pengaruh komposisi campuran zeolit dan <i>fly ash</i> terhadap konsumsi bahan bakar pada kondisi stasioner kendaraan	54
11. Format data pengujian pengaruh komposisi campuran zeolit dan <i>fly ash</i> terhadap emisi gas buang kendaraan	55
12. Data pengujian pengaruh aktivasi kimia terhadap konsumsi bahan bakar pada uji jalan kendaraan	61
13. Data lanjutan pengujian pengaruh aktivasi kimia terhadap konsumsi bahan bakar pada uji jalan kendaraan	61
14. Data pengujian pengaruh aktivasi kimia terhadap waktu tempuh pada uji akselerasi kendaraan	62
15. Data lanjutan pengujian pengaruh aktivasi kimia terhadap waktu tempuh pada uji akselerasi kendaraan	62
16. Data pengujian pengaruh aktivasi kimia terhadap konsumsi bahan bakar pada kondisi stasioner kendaraan	63
17. Data lanjutan pengujian pengaruh aktivasi kimia terhadap konsumsi bahan bakar pada kondisi stasioner kendaraan	64
18. Data pengujian pengaruh temperatur pengeringan pelet terhadap konsumsi bahan bakar pada uji jalan kendaraan	65
19. Data pengujian pengaruh temperatur pengeringan pelet terhadap waktu tempuh pada uji akselerasi kendaraan	65
20. Data pengujian pengaruh temperatur pengeringan pelet terhadap konsumsi bahan bakar pada kondisi stasioner kendaraan ..	66
21. Data pengujian pengaruh komposisi campuran zeolit dan <i>fly ash</i> terhadap konsumsi bahan bakar pada uji jalan kendaraan	67

22. Data pengujian pengaruh komposisi campuran zeolit dan <i>fly ash</i> terhadap waktu tempuh pada uji akselerasi kendaraan	67
23. Data pengujian pengaruh komposisi campuran zeolit dan <i>fly ash</i> terhadap konsumsi bahan bakar pada kondisi stasioner kendaraan	68
24. Data pengujian pengaruh komposisi campuran zeolit dan <i>fly ash</i> terhadap emisi gas buang kendaraan	69
25. Data keseluruhan pengujian filter uji dari segi persentase kenaikan prestasi mesin	98

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dikutip dari *website* BPHMIGAS menurut Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Ignasius Jonan bahwa “Jumlah cadangan minyak saat ini sebesar 3,6 miliar barel dan produksi saat ini mencapai 288 juta barel pertahun, sehingga jumlah cadangan yang ada saat ini dibandingkan dengan tingkat produksi pemakaiannya kemungkinan cadangan minyak Indonesia hanya bisa bertahan hingga tahun 2028”, dan menurut Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi (MIGAS) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) I.G.N. Wiratmaja Puja mengatakan “Jika dibandingkan data Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Kerja Hulu Minyak dan Gas Bumi (SKK MIGAS) cadangan minyak tahun 2016 merupakan yang terendah yaitu 2.933 *million stock tank barrels* (mmsb) dibandingkan tahun 2000 sebesar 5.008 mmsb” (Amelia, 2016).

Selama ini ketergantungan yang demikian besar oleh rakyat Indonesia terhadap bahan bakar minyak, karena dari segi terjangkaunya dan didukung asumsi cadangan dan produksi minyak Indonesia yang masih tinggi, akibatnya bahan bakar minyak menjadi jantung dari aktivitas perekonomian negara karena hampir seluruh alat transportasi saat ini menggunakan bahan bakar minyak. Namun fakta saat ini menunjukkan hal yang berbeda antara situasi saat ini dan situasi di masa

lalu sehingga perlu dilakukannya upaya untuk menghemat pemakaian bahan bakar minyak.

Salah satu cara upaya menghemat bahan bakar minyak adalah dapat dilakukan dengan cara pemanfaatan *fly ash* batubara dan zeolit alam. Karena kemampuan bahan dari *fly ash* untuk menangkap uap air udara dan kemampuan zeolit untuk menangkap nitrogen pada udara. Oleh karena itu nitrogen dan uap air dalam kandungan udara dapat diminimalisir dengan kedua bahan tersebut sehingga memaksimalkan kandungan oksigen lebih banyak untuk proses pembakaran. Karena kondisi udara pembakaran yang masuk ke ruang bakar sangat berpengaruh dalam menghasilkan prestasi mesin yang tinggi. Dalam udara kering terdiri atas 78% nitrogen, 20% oksigen dan 2% uap air beserta gas-gas lainnya. Sedangkan gas yang dibutuhkan pada proses pembakaran adalah oksigen untuk membakar bahan bakar yang mengandung molekul karbon dan hidrogen (Wikipedia, 2016).

Dari persentase kandungan udara di atas hal ini jelas akan mengganggu proses pembakaran karena untuk mencapai pembakaran sempurna harus memenuhi syarat-syarat antara lain suplai oksigen yang cukup, bahan bakar yang cukup dan panas pembakaran yang cukup. Jika udara yang masuk terdapat nitrogen dan uap air maka gas-gas tersebut juga akan mengambil panas pembakaran oksigen dan bahan bakar di ruang bakar. Sehingga panas pembakaran berkurang dan menyebabkan pembakaran menjadi tidak sempurna (Wardono, 2004).

Filter udara biasa pada kendaraan tidak dapat menyaring gas-gas pengganggu yang terkandung dalam udara, namun hanya dapat menyaring debu atau partikel-partikel kecil yang masih terlihat oleh mata. Oleh karena itu diperlukan filter

udara yang selain menyaring debu juga dapat menangkap gas-gas pengganggu dalam udara seperti nitrogen dan uap air. Hal ini dapat diupayakan dengan menggunakan filter berbahan *fly ash* dan zeolit dengan kemampuan kedua bahan tersebut dapat dimanfaatkan untuk menangkap nitrogen dan uap air yang masuk ke dalam ruang bakar sehingga konsentrasi panas yang ada pada ruang bakar menjadi lebih maksimal untuk menguraikan oksigen dan bahan bakar. Selain dapat memaksimalkan panas pembakaran, hal ini juga dapat mengurangi kandungan hidro carbon yang tidak terbakar keluar dari gas buang kenalpot (Wardono, 2004).

Penelitian mengenai filter dengan bahan baku zeolit dan *fly ash* terus dilakukan, adapun meliputi pengaruh berbagai aktivasi, pengaruh massa, pengaruh bahan uji pada berbagai mesin (mesin bensin 4 langkah maupun mesin diesel 4 langkah). Hasil dari penelitian-penelitian tersebut menunjukkan peningkatan prestasi mesin serta mampu mereduksi emisi gas buang. Adapun penelitian sebelumnya adalah sebagai berikut :

1. Sonic Niwatana (2011) melakukan penelitian dengan zeolit berbentuk pelet dan melakukan pengujian berjalan dengan menggunakan sepeda motor empat langkah mampu menghemat konsumsi bahan bakar sebesar 24,26% serta mampu menurunkan kadar CO sebesar 70,68%.
2. Setia Wasis (2015) melakukan penelitian bahwa penggunaan *fly ash* pelet diaktivasi fisik dan NaOH pada mesin diesel 4 langkah dapat meningkatkan prestasi mesin berdasarkan naiknya daya engkol terbaik sebesar 2,2446% dan penurunan konsumsi bahan bakar terbaik sebesar 4,4404% dibandingkan tanpa menggunakan filter *fly ash*.

3. Novian (2012) melakukan dengan aktivator basa yaitu NaOH dan KOH dan zeolit yang telah berbentuk pelet dan tidak menggunakan tepung tapioka sebagai perekat, penurunan konsumsi bahan bakar terbaik untuk variasi normalitas aktivator NaOH 0,75 N sebesar 0,0195 kg/kWh (10,049%) dan daya engkol yang dihasilkan adalah sebesar 0,0326 kW (4,8089%).
4. Candra (2012) penggunaan zeolit pelet teraktivasi HCl 0,5 merupakan aktivator terbaik dengan meningkatkan daya engkol sebesar 0,661 kW (2,769%) dan menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 0,189 kg/kWh (8,161%).

Zeolit yang diaktivasi kimia mempunyai kemampuan sebagai adsorben lebih baik dibandingkan dengan zeolit yang tanpa aktivasi, karena aktivasi kimia bertujuan untuk menghilangkan senyawa pengotor dan menyusun kembali letak atom yang dipertukarkan. Dari penelitian Candra (2012) menggunakan aktivasi asam (HCl) dan Novian (2012) menggunakan aktivasi basa, terlihat bahwa zat kimia basa (NaOH) lebih efektif untuk menjadi aktivator karena dari segi penghematan bahan bakar dan daya engkol yang lebih besar. Sehingga pada penelitian kali ini akan dicoba variasi filter dengan campuran *fly ash* dan zeolit dengan aktivasi kimia menggunakan NaOH yang dilanjutkan dengan aktivasi fisik pada beberapa variasi temperatur.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari pelaksanaan penelitian dan penulisan laporan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh aktivasi kimia basa NaOH dan aktivasi fisik

pada campuran zeolit dan *fly ash* dalam filter udara kendaraan terhadap prestasi mesin sepeda motor 4 langkah.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diberikan pada penelitian dan penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin yang digunakan adalah motor bensin 4-langkah (113,7cc), standar pabrik dan dilakukan *tune up* atau servis ringan rutin sebelum dilakukan pengujian.
2. Jenis zeolit yang digunakan adalah zeolit *clinoptilolite* yang berasal dari Kecamatan Sidomulyo, Lampung Selatan dan *Fly ash* Batubara PLTU Tarahan yang disaring dengan ayakan ukuran 100 mesh. Lalu dibuat pelet menggunakan ampia dengan ketebalaan 3 mm dan cetakan diameter 10 mm.
3. Alat yang digunakan dalam pembuatan pelet zeolit dan *fly ash* menggunakan cetakan sederhana, oleh karena itu tekanan pada saat pembuatan diabaikan.
4. Penilaian peningkatan prestasi mesin berdasarkan konsumsi bahan bakar pada saat kendaraan bejalan maupun keadaan stasioner, waktu tempuh akselerasi dan emisi gas buang kendaraan.
5. Aktivasi kimia dengan kadar normalitas yaitu 0,25 N; 0,5 N; 0,75 N; 1 N; 1,5 N dan 2 N dengan pengujian menggunakan variasi komposisi zeolit dan *fly ash* 50:50.

6. Variasi temperatur pengovenan pelet uji yaitu 100°C; 150°C; 175°C; 200°C dan 225°C dengan pengujian menggunakan variasi komposisi filter Z50:F50 aktivasi kimia terbaik.
7. Komposisi persentase campuran zeolit dan *fly ash* Z100:F0, Z75:F25, Z50:F50, Z25:F75 dan Z0:F100 dengan aktivasi kimia normalitas dan variasi temperatur terbaik.
8. Menggunakan bahan pembuat pelet filter dengan perbandingan 42% air aquades, 4% tepung tapioka dan 54% campuran zeolit-*fly ash*.

D. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari lapo ini adalah :

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang penjelasan mengenai motor bakar, jenis motor bakar, motor bensin, proses pembakaran, parameter prestasi motor bensin 4 langkah, gas buang motor bensin, saringan udara kendaraan, zeolit, *fly ash* batubara, dan pengaruh aktivasi terhadap zeolit dan *fly ash* batubara.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi tentang alat dan bahan, beberapa tahapan persiapan sebelum pengujian, Prosedur pengujian, dan digaram alir pengujian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Yaitu berisikan pembahasan dari data–data yang diperoleh pada pengujian motor bensin 4 langkah.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Berisikan hal – hal yang dapat disimpulkan dan saran – saran yang ingin ditambahkan 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 (Wardono, 2004).

B. Jenis Motor Bakar

Adapaun jenis-jenis motor bakar sebagai berikut :

1. Motor pembakaran luar (*External Combustion Engine*)

Motor pembakaran luar adalah suatu motor dimana proses pembakaran atau perubahan energi panas dilakukan di luar dari konstruksi mesin. Dari ruang pembakaran energi panas tersebut dialirkan ke konstruksi mesin melalui media penghubung lagi. Contoh motor pembakaran luar adalah mesin uap atau turbin uap dan pembangkit listrik tenaga matahari.

2. Motor pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*)

Pada motor pembakaran dalam, proses pembakaran atau perubahan energi panas dilakukan di dalam konstruksi mesin itu sendiri dan tempat terjadinya proses pembakaran itu disebut ruang bakar. Contohnya adalah motor diesel dan motor bensin.

C. Motor Bensin

Motor bensin mempunyai ciri utama yaitu 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 memercikan bunga listrik sehingga terjadi pembakaran dalam waktu yang singkat menyebabkan campuran tersebut terbakar habis seketika dan menimbulkan kenaikan suhu dalam ruang bakar.

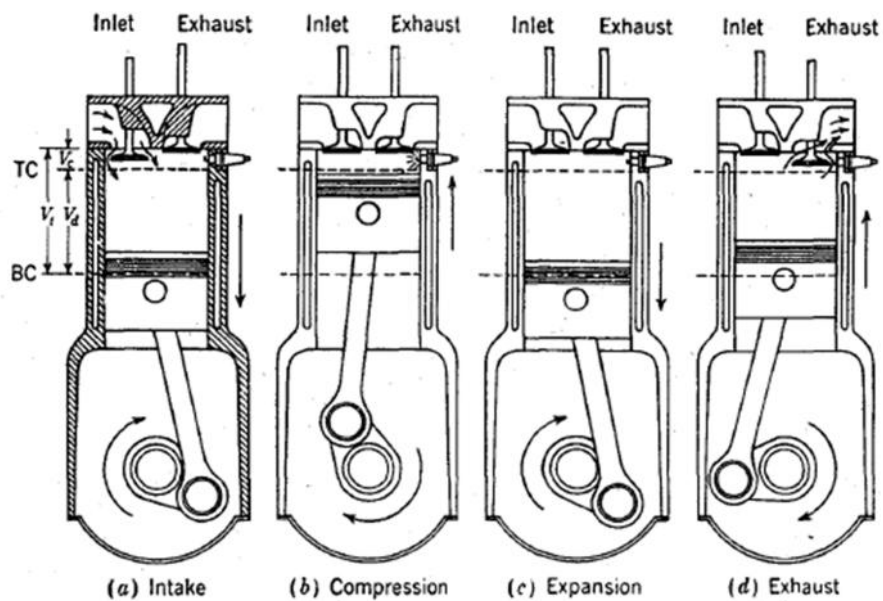
Adapun prinsip kerja motor bensin dibedakan menjadi dua, yaitu motor bensin 2 langkah dan 4 langkah.

1. Motor bensin 2 langkah

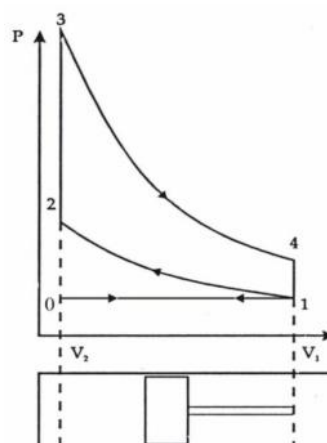
Motor bensin 2-langkah adalah mesin yang proses pembakarannya dilaksanakan dalam satu kali putaran poros engkol atau dalam dua kali gerakan piston.

2. Motor bensin 4 langkah

Motor bakar bensin 4-langkah adalah salah satu jenis mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang beroperasi menggunakan udara bercampur dengan bensin dan untuk menyelesaikan satu siklusnya diperlukan empat langkah piston dan dua kali putaran poros engkol, seperti ditunjukkan pada gambar 1 dan gambar 2.



Gambar 1. Siklus motor bakar bensin 4 langkah (Heywood, 1988).



Gambar 2. Diagram P-V dari siklus ideal motor bakar bensin 4 langkah

(Wardono, 2004)

Untuk lebih jelasnya proses-proses yang terjadi pada motor bakar bensin 4 langkah dapat dijelaskan melalui siklus ideal dari siklus udara volume konstan seperti ditunjukkan pada gambar 2.

Keterangan mengenai proses-proses pada siklus udara volume konstan dapat dijelaskan sebagai berikut :

Pertama-tama piston harus diberi kerja awal dengan cara (menekan tombol starter ataupun mengayunkan pedal engkol).

a. Proses dari 0 ke 1 : langkah hisap

Pada langkah hisap katup hisap terbuka dan katup buang tertutup, piston bergerak dari TMA ke TMB memperlebar volume ruang bakar mengakibatkan tekanan di dalam ruang bakar menurun (di bawah tekanan atmosfer) sehingga campuran udara dan bahan bakar dari karburator terhisap masuk ke dalam ruang bakar.

b. 1.) Proses dari 1 ke 2 : langkah kompresi

Pada langkah kompresi katup hisap dan katup buang dalam keadaan tertutup. Selanjutnya piston bergerak ke atas, dari TMB menuju TMA. Akibatnya terjadi penyempitan volume ruang bakar sehingga tekanan dan temperatur ruang bakar meningkat. Campuran udara dan bahan bakar terkompresi ini menjadi campuran yang sangat mudah terbakar.

2.) Proses dari 2 ke 3 : langkah pembakaran (volume konstan)

Pada saat piston hampir mencapai TMA, busi memercikan bunga api diberikan ke campuran udara dan bahan bakar terkompresi sehingga sesaat kemudian campuran udara dan bahan bakar ini terbakar. Akibatnya

terjadi kenaikan temperatur dan tekanan yang secara drastis. Kedua katup pada posisi tertutup.

c. Proses dari 3 ke 4 : langkah kerja

Kedua katup masih pada posisi tertutup. Tekanan yang drastis dari proses pembakaran yang terjadi mampu mendorong piston untuk bergerak kembali dari TMA menuju TMB. Dengan Bergeraknya piston menuju TMB terjadi pembesaran volume ruang akibatnya temperatur dan tekanan menurun.

d. 1.) Proses dari 4 ke 1 : langkah buang (volume konstan)

Saat piston telah mencapai TMB, katup buang telah terbuka sedangkan katup hisap masih pada posisi tertutup. Karena perbedaan tekanan (tekanan ruang bakar lebih tinggi dari pada tekanan udara luar) menyebabkan gas sisa pembakaran mulai keluar dari katup buang.

2.) Proses dari 1 ke 0 : langkah buang (tekanan konstan)

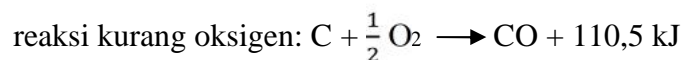
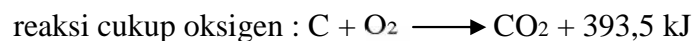
Piston bergerak kembali dari TMB menuju TMA. Karena penyempitan volume ruang bakar, gas pembakaran didesak keluar melalui katup buang (saluran buang) keluar dari ruang bakar menuju saluran kenalpot motor. Langkah ini dianggap sebagai langkah pembuangan gas pembakaran pada tekanan konstan (Wardono, 2004).

D. Proses Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia antara komponen-komponen bahan bakar (karbon dan hidrogen) dengan komponen udara (oksigen) yang berlangsung

sangat cepat, yang membutuhkan panas awal untuk menghasilkan panas yang jauh lebih besar sehingga menaikkan suhu dan tekanan gas pembakaran.

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 (CO₂) dan uap air (H₂O) pada kondisi pembakaran sempurna. Disini proses pembentukan CO₂ dan H₂O hanya bisa terjadi apabila panas kompresi atau panas dari percikan bunga api busi telah mampu memutuskan ikatan antar partikel oksigen (O=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 CO₂ dan H₂O.

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).

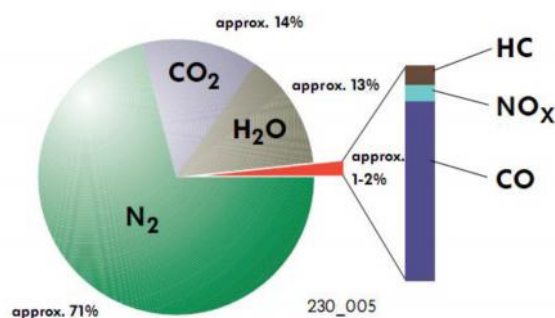
E. Parameter Prestasi Motor Bensin 4 Langkah

Prestasi mesin sangat erat hubungannya dengan parameter operasi, besar kecilnya harga parameter operasi 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 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).

F. Gas Buang Motor Bensin

Gas buang motor bensin adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin, dalam reaksi yang sempurna, maka sisa hasil pembakaran adalah berupa gas buang yang mengandung karbondioksida (CO_2), uap air (H_2O), dan nitrogen (N_2). Dalam kenyataannya, pembakaran yang terjadi di dalam mesin kendaraan tidak selalu berjalan sempurna sehingga di dalam gas buang mengandung senyawa berbahaya seperti karbon monoksida (CO), hidro karbon (HC) dan nitrogen oksida (NO_x). Secara umum komposisi gas buang motor bensin dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Komposisi gas buang motor bensin (Winarno, 2014)

Adapun beberapa penjelasan dari gambar 3 adalah sebagai berikut :

1. Karbon dioksida (CO_2)

Gas CO_2 merupakan gas hasil proses pembakaran sempurna dari bensin atau hidro karbon (HC) dengan oksigen (O_2) semakin tinggi konsentrasi CO_2 maka proses pembakaran semakin baik, hal ini menunjukkan secara langsung kondisi proses pembakaran di ruang bakar pada mesin kendaraan.

2. Uap air (H_2O)

H_2O merupakan hasil pembakaran sempurna dari bensin atau hidro karbon (HC) yang bereaksi dengan oksigen (O_2). Tidak terbuangnya H_2O pada gas hasil pembakaran dapat menyebabkan mesin tidak dapat menyala atau yang sering disebut dengan mesin banjir.

3. Nitrogen (N_2)

Gas N_2 merupakan gas yang terkandung di dalam udara lingkungan dan pada proses pembakaran gas ini diharapkan tidak bereaksi dengan gas lain di dalam ruang bakar, karena jika gas ini bereaksi maka akan menurunkan prestasi mesin dan juga dapat membuat senyawa berbahaya seperti halnya nitrogen oksida (NO_x).

4. Karbon monoksida (CO)

Gas CO merupakan hasil penggabungan antara gas karbon (C) dan oksigen (O_2), di mana gabungan tersebut tidak mencukupi untuk membentuk karbon dioksida (CO_2). Terjadinya senyawa CO karena pembakaran tidak sempurna yang diakibatkan oleh kurangnya oksigen pada proses pembakaran. Banyaknya CO dari gas buang itu tergantung dari perbandingan bahan bakar dan udara. Hanya pada pembakaran yang sempurna dari bahan bakar maka nilai CO bisa tidak terbentuk.

5. Hidro karbon (HC)

Hidro karbon adalah bahan bakar mentah yang tidak terbakar selama proses pembakaran di dalam ruang bakar. Gas ini berasal dari bahan bakar mentah yang tersisa dekat dengan dinding silinder setelah terjadinya pembakaran dan dikeluarkan saat langkah buang, Adapun kemungkinan penyebab HC tinggi

salah satunya adalah AFR (*Air Fuel Ratio*) yaitu rasio perbandingan antara udara dan bahan bakar yang tidak tepat sehingga menyebabkan bensin yang tidak terbakar sempurna di ruang bakar. Karena HC merupakan sebagian bensin yang tidak terbakar, makin tinggi emisi HC berarti tenaga mesin makin berkurang dan konsumsi bahan bakar semakin meningkat.

6. Nitrogen oksida (NO_x)

Senyawa nitrogen oksida (NO_x) adalah ikatan kimia antara nitrogen dan oksigen. Senyawa ini dihasilkan karena terlalu tingginya suhu di ruang bakar, di dalam kondisi normal atmosfer. Nitrogen adalah gas yang sangat stabil yang tidak akan berikatan dengan unsur lain, akan tetapi di dalam kondisi suhu yang terlalu tinggi dan tekanan yang tinggi di dalam ruang bakar mampu memutuskan ikatan nitrogen dan bereaksi dengan oksigen. Emisi gas NO_x ini sangat tidak stabil dan jika terlepas ke udara bebas akan berikatan dengan oksigen dan membentuk NO₂ yang sangat berbahaya bagi tubuh manusia karena beracun (Setiawan, 2009).

G. Saringan Udara Kendaraan

Filter udara mempunyai peranan penting dalam menjaga kesehatan mesin. Adapun fungsi dari filter udara pada kendaraan adalah sebagai berikut :

1. Membersihkan udara dari partikel-partikel debu yang dapat merusak mesin jika masuk ke dalam ruang bakar.
2. Mengurangi kebisingan dari udara yang masuk ke karburator.

3. Meningkatkan akselerasi kendaraan, bila kondisi filter dalam keadaan baik dan bersih.

Bila filter udara dalam kondisi kotor maka dapat dipastikan bensin menjadi boros, akselerasi berkurang dan ada kemungkinan oli dari *crankcase* dapat masuk kesaluan *intake manifold* karena udara yang mengalir menjadi lebih sedikit karena filter tersumbat oleh debu-debu udara (Rilham, 2012).

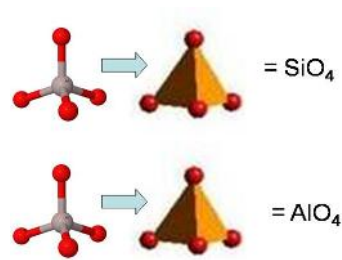
H. Zeolit

Mineral zeolit diketahui pertama kali pada tahun 1756 oleh seorang ahli mineralogi Swedia bernama Freiherr Axer Frederick Cronstedt. Nama zeolit berasal dari bahasa Yunani, dari kata *Zein* (mendidih) dan *Lithos* (batuan) yang artinya batu mendidih, disebut demikian karena mineral ini mempunyai sifat mendidih atau mengembang bila dipanaskan. Mineral zeolit biasa disebut dengan bahan alam dan pada umumnya berbentuk batuan *clinoptilolite*, *mordenite*, *barrerite*, sedangkan *offerite*, *paulingite* dan *mazzite* hanya sedikit dan jarang dijumpai. Salah satu contoh jenis zeolit dapat dilihat pada gambar 4.



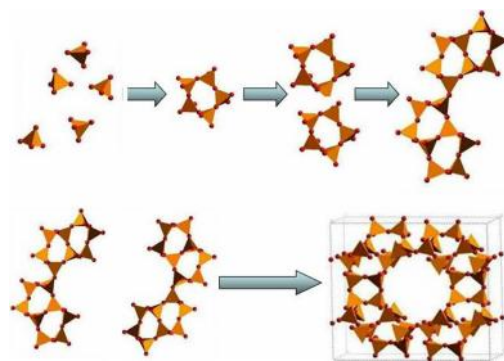
Gambar 4. Zeolit *clinoptilolite*

Zeolit merupakan senyawa jaringan alumina silika (Al/Si) terbentuk tetrahedral tiga dimensi dan mempunyai struktur yang relatif teratur dengan rongga terisi oleh logam alkali tanah sebagai muatan penyeimbang sehingga mempunyai sifat adsorpsi yang tinggi. Gambar struktur pembentuk zeolit dapat dilihat pada gambar 5 (Ismaryata, 1999).



Gambar 5. Tetrahedral alumina dan silika pada struktur zeolit (www.ardra.biz)

Dari skema pembentukan pada gambar 5, molekul zeolit membentuk susunan melingkar serta mempunyai rongga yang teratur dalam ukuran tertentu yang bersambungan, memiliki struktur dalam tiga dimensi yang tidak terbatas dalam bentuk-bentuk rongga yang dapat dilihat pada gambar 6.

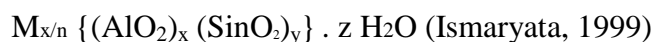


Gambar 6. Skematika pembentukan struktur zeolit tiga dimensi (www.ardra.biz)

Struktur yang dimiliki zeolit menyebabkan mineral zeolit mempunyai karakter yang spesifik. Struktur kristalnya terbuka dengan volume ruang hampa cukup

besar dengan garis tengah antara 2-8 Å⁰ tergantung dari tipe atau jenis mineral zeolit. Volume dan ukuran garis tengah ruang hampa dalam kisi-kisi kristal inilah yang menjadi dasar sebagai penyaring molekul dalam penggunaan mineral zeolit.

Berikut adalah formula zeolit :



Dimana 'M' adalah kation alkali atau alkali tanah dan 'n' merupakan valensi logam alkali, sedangkan '{ }' merupakan kerangka alumina dan 'z' merupakan jumlah molekul air yang terhidrat, variabel x dan y merupakan jumlah tetrahedron per unit sel (Ismaryata, 1999).

Karakteristik zeolit antara lain :

1. Zeolit sangat berpori, karena kristal kerangka zeolit terbentuk dari jaring tetrahedral SiO₄ dan AlO₄.
2. Pori-pori zeolit berukuran molekul, karena pori zeolit terbentuk dari tumpukan cincin beranggotakan 6, 8, 10 atau 12 tetrahedral.
3. Dapat menukarkan kation, karena perbedaan muatan Al³⁺ dan Si⁴⁺ menjadikan Al dapat kerangka kristal bermuatan negatif dan membutuhkan kation penetral. Kation penetral yang bukan menjadi bagian dari kerangka ini dapat diganti dengan kation lainnya.
4. Mudah dimodifikasi karena setiap tetrahedral dapat dikontakan dengan bahan-bahan pemodifikasi (Hikmah, 2006).

Kemampuan zeolit dalam menangkap nitrogen (N₂) :

Pada prinsipnya 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 :

1. Berdasarkan pertukaran kation

Pada struktur zeolit, kation yang bukan inti dari zeolit dapat diganti dengan kation lainnya. Apabila zeolit diaktivasi dengan bermuatan H⁺ dan Na⁺ penarikan terhadap nitrogen akan lebih kuat daripada zeolit tanpa aktivasi.

2. Berdasarkan ukuran molekul

Apabila ukuran molekul *adsorbate* lebih besar daripada ukuran pori-pori zeolit maka *adsorbate* tersebut tidak bisa melewati pori-pori zeolit. Sebagai contoh zeolit *clinoptilolite* memiliki ukuran diameter pori 4 Å⁰ sedangkan di dalam udara nitrogen yang berbentuk elips memiliki panjang sumbu mayor 4,1 Å⁰ dan sumbu minor 3 Å⁰. Pada oksigen yang berbentuk elips memiliki panjang sumbu mayor 3,9 Å⁰ dan minor 2,8 Å⁰ sehingga nitrogen yang berdiameter mayor akan terikat dan tidak dapat melewati pori-pori zeolit sedangkan nitrogen yang berdiameter minor dan oksigen dapat melewati pori-pori zeolit.

3. Berdasarkan selektifitas permukaan

Zeolit memiliki kecenderungan dalam menarik polaritas dan juga menarik atom 4 kutub sehingga uap air dan nitrogen yang memiliki empat kutub ke dalam pori-pori zeolit (Hasibuan, 2012).

Dari ketiga sifat zeolit tersebut dapat diketahui bahwa perlakuan zeolit terhadap udara luar dapat menarik nitrogen dan uap air sehingga oksigen yang tidak ditarik oleh zeolit dapat digunakan untuk proses pembakaran pada motor bakar yang lebih sempurna.

I. *Fly Ash* Batubara

Fly ash batubara adalah limbah dari hasil pembakaran batubara yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu-abuan. Pada pembakaran batubara dalam PLTU, terdapat dua limbah pembakaran batubara yaitu abu layang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut *fly ash*, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut *bottom ash*. *Fly ash* telah mengalami fusi selama pembakaran dan memadat selama berada di dalam gas pembuangan pembakaran batubara, karena partikel-partikel ini memadat maka umumnya berbentuk bulat berukuran 0,074 sampai 0,005 mm yang dapat dilihat pada gambar 7 (Wardani, 2008).



Gambar 7. *Fly ash* batubara

Keampuan *fly ash* dalam menangkap uap air (H₂O) :

Fly ash terdiri dari bahan yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya, bahan ini terdiri dari komponen utama yaitu silika dioksida (SiO₂), aluminium trioksida (Al₂O₃), adapun keseluruhan kandungan *fly ash* dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 1. Komposisi kimia dan klasifikasi *fly ash* batubara

Komponen	Bituminus	Subituminus	Lignit
SiO ₂	20 – 60	40 – 60	15 – 45
Al ₂ O ₃	5 – 35	20 – 30	20 – 25
Fe ₂ O 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

Sumber : Wardani, 2008

Karena *fly ash* memiliki kandungan silika dan alumina yang cukup tinggi dan karbon yang rendah *fly ash* memiliki kemampuan untuk menyerap kandungan uap air, sehingga *fly ash* dapat dijadikan sebagai adsorben untuk menangkap uap air yang ada di udara dan dapat disetarakan dengan zeolit.

Kemampuan *fly ash* dalam meningkatkan kualitas proses pembakaran telah dibuktikan oleh Rilham pada tahun 2012, dengan penelitian menggunakan *fly ash* 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).

J. Pengaruh Aktivasi Terhadap Zeolit dan *Fly Ash* Batubara

Pada umumnya zeolit alam dan *fly ash* masih mengandung pengotor-pengotor organik dan anorganik yang menutupi porinya, sehingga untuk meningkatkan kemampuan daya serap zeolit alam harus dilakukan aktivasi terlebih dahulu. Proses aktivasi zeolit dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu secara fisik dan kimiawi.

1. Aktivasi fisik

Aktivasi fisik pada zeolit dan *fly ash* yaitu berupa pemanasan dengan tujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit dan *fly ash* sehingga luas permukaan pori-pori bertambah. Pemanasan dilakukan dengan oven biasa pada temperatur 150-400 °C (untuk skala laboratorium) atau dengan tungku putar dengan pemanasan secara penghampaan selama 3 jam dan selama 5-6 jam untuk skala besar.

2. Aktivasi kimia

Aktivasi kimia pada zeolit dan *fly ash* dapat dilakukan dengan larutan asam atau basa (dilakukan dengan zat NaOH) dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dipertukarkan.

Faktor peningkatan konsentrasi NaOH juga mempengaruhi sifat adsorpsi pada zeolit dan *fly ash*. Semakin tinggi nilai konsentrasi pada NaOH maka akan semakin tinggi juga daya adsorpsi zeolit dan *fly ash*, akan tetapi terdapat batas konsentrasi yang paling optimal yang dapat digunakan dalam langkah aktivasi tersebut. Berikut ini adalah pengaruh konsentrasi NaOH yang melebihi konsentrasi optimalnya pada zeolit dan *fly ash* :

- a. Larutan NaOH selain dapat melarutkan unsur-unsur di sisi luar permukaan kristal juga dapat melarutkan sisi-sisi kristal sehingga menyebabkan luas permukaan kristal zeolit berkurang dan tentu saja menyebabkan pengurangan daya adsorpsi zeolit.
- b. Viskositas larutan NaOH menjadi lebih tinggi, menjadi lebih kental, sehingga berkurangnya difusifitas larutan ke dalam pori-pori akan berkurang menyebabkan masih banyaknya pengotor di dalam pori-pori tersebut sehingga daya adsorpsi zeolit dan *fly ash* menjadi kecil.
- c. Konsentrasi NaOH yang melebihi konsentrasi optimalnya juga dapat menyebabkan pengurangan kandungan unsur Al menjadi senyawa Al (OH)₃ Hal tersebut menyebabkan struktur dasar zeolit dan *fly ash* berubah sehingga mengakibatkan pengurangan daya adsorpsi uap air (Anthonius L Fendy, 2013).

K. Normalitas

Normalitas dengan satuan 'N' adalah satuan konsentrasi yang digunakan sehubungan dengan konsep bobot ekuivalen. Normalitas didefinisikan sebagai banyaknya ekuivalen zat terlarut perliter larutan.

Bobot ekuivalen dalam reaksi asam basa adalah satu ekuivalen merupakan banyaknya senyawa yang menghasilkan atau bereaksi dengan satu mol ion hidrogen (H). Dan bobot ekuivalen NaOH sama dengan massa molarnya yang dijelaskan oleh persamaan berikut :

Adapun persamaan dalam mencari normalitas dalam suatu larutan adalah sebagai berikut :

$$\text{Normalitas (N)} = \frac{\text{Banyaknya ekivalen zat terlarut}}{\text{Banyaknya liter larutan}}$$

Satu normalitas NaOH dapat dibuat dengan melarutkan 40 gr NaOH (1 ekivalen) dalam 1 liter larutan air. Karena massa NaOH adalah 1 mol, larutan ini juga mempunyai konsentrasi 1 molaritas (M)

$$1 \text{ NaOH} = \frac{40 \text{ gr NaOH}}{1 \text{ liter larutan}} = 1 \text{ M NaOH}$$

L. Molaritas

Dalam ilmu kimia, molaritas dengan satuan 'M' merupakan salah satu ukuran konsentrasi larutan. Molaritas suatu larutan menyatakan jumlah banyaknya mol zat yang terlarut dalam 1 liter larutan. Misalkan 1 liter larutan mengandung 0,5 mol senyawa X, maka larutan ini disebut larutan 0,5 M (0,5 molar). Pada umumnya konsentrasi larutan berbentuk cair dinyatakan dalam satuan molar. Keuntungan menggunakan satuan molar adalah kemudahan perhitungan dalam stoikiometri, karena konsentrasi dinyatakan dalam jumlah mol (sebanding dengan jumlah partikel yang sebenarnya). Adapun persamaan molaritas dapat dilihat sebagai berikut :

$$M = \frac{\text{mol zat terlarut}}{\text{liter larutan}}$$

Sedangkan untuk mol sendiri adalah satuan jumlah partikel atau molekul. 1 mol = $6,02 \times 10^{23}$ partikel. Angka $6,02 \times 10^{23}$ disebut dengan bilangan avogadro dan dilambangkan dengan 'L'.

Adapun persamaan untuk mencari mol adalah sebagai berikut :

$$\text{mol} = \frac{\text{gram}}{\text{massa molekul relatif}}$$

Sedangkan untuk molalitas merupakan satuan konsentrasi yang menyatakan jumlah mol zat yang terdapat didalam 1000 gram pelarut, molalitas diberi lambang satuan 'm'. Adapun persamaan molalitas adalah sebagai berikut :

$$m = \frac{\text{gram}}{\text{massa molekul relatif}} \times \frac{1000}{\text{massa zat pelarut}}$$

Dalam menentukan konsentrasi larutan terdapat perbedaan antara molaritas dengan molalitas, jika molaritas dalam 1 liter larutan belum termasuk zat terlarut sedangkan molalitas dalam 1 liter larutan sudah termasuk zat terlarut (Petrucci,1992).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Motor bensin 4 langkah satu silinder

Dalam penelitian ini, mesin yang digunakan adalah motor bensin 4 langkah satu silinder dengan spesifikasi sebagai berikut :

Merk	Yamaha Vega-ZR
Jenis	Motor Bensin 1 silinder
Tipe Mesin	4 Langkah, 2 katup
Diameter x Langkah	50,0 mm x 57,9 mm
Volume Silinder	113,7 cc
Daya Maksimum	6,0 kW / 7.500 rpm
Torsi Maksimum	8,3 N.m (0,87 kgf.m) / 4.500 rpm
Perbandingan Kompresi	9,3 : 1
Sistem Pelumasan	Basah
Kapasitas Oli	Total 1 liter / Perawatan Berkala 0,8 liter
Sistem Starter	<i>Electric Strarter dan Kick Starter</i>
Sistem Pendingin	Pendingin Udara
Tipe Transmisi	Manual, 4 Kecepatan (N-1-2-3-4)

(sumber : www.yamaha-motor.co.id)



Gambar 8. Sepeda motor Yamaha Vega-ZR

2. Gelas ukur

Gelas ukur yang digunakan mempunyai ketelitian 10 ml, alat ini digunakan untuk mengukur air aquades dalam pembuatan larutan molaritas NaOH.



Gambar 9. Gelas ukur kapasitas 1000 ml

3. Alat pengaduk

Digunakan untuk mengaduk campuran zeolit, *fly ash* dengan larutan NaOH pada proses aktivasi kimia.



Gambar 10. Mesin bor pengaduk bahan

4. Baskom

Digunakan sebagai wadah larutan campuran zeolit, *fly ash* selama dilakukannya proses aktivasi kimia dengan NaOH.



Gambar 11. Baskom

5. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang komposisi bahan yang akan digunakan dalam pengujian.



Gambar 12. Timbangan digital

6. Ampia

Ampia digunakan untuk memperhalus permukaan serta memadatkan campuran zeolit, *fly ash* dengan tepung tapioka dan air mineral dengan menggunakan ukuran tebal 3 mm.



Gambar 13. Ampia

7. Cetakan

Cetakan digunakan untuk mencetak atau menyeragamkan bentuk hasil campuran zeolit, *fly ash* dengan tepung tapioka dan air mineral yang sebelumnya telah dipadatkan dan diseragamkan ketebalannya dengan menggunakan ampia.



Gambar 14. Cetakan pola lingkaran berdiameter 10 mm

8. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan larutan zeolit, *fly ash* teraktivasi kimia NaOH yang telah netral (pH : 7) dan juga untuk mengeringkan pelet yang akan dijadikan filter kendaraan.



Gambar 15. Oven elektrik Maspion

9. Penumbuk

Penumbuk digunakan untuk memperkecil diameter-diameter zeolit agar mencapai ukuran 100 mesh



Gambar 16. Penumbuk

10. Ayakan

Ayakan digunakan untuk menyeragamkan ukuran zeolit dan *fly ash*. Pada ayakan ini kedua bahan diseragamkan maksimal 100 mesh.



Gambar 17. Ayakan berukuran 100 mesh

11. Kompor

Kompor digunakan untuk memanaskan campuran tepung tapioka dengan air mineral agar menjadi zat perekat untuk campuran zeolit dan *fly ash*.



Gambar 18. Kompor elektrik Maspion

12. Tachometer

Tachometer digunakan untuk melihat putaran mesin pada saat pengujian berlangsung.



Gambar 19. *Tachometer*

13. Tabung bensin

Tabung bensin digunakan sebagai wadah bensin dan juga untuk melihat konsumsi bensin pada saat pengujian berlangsung.



Gambar 20. Tabung bensin buatan satuan ml

14. *Stopwacht*

Stopwacht digunakan sebagai alat ukur waktu dalam mengaktivasi kimia zeolit, *fly ash* maupun dalam membilasnya. Dan juga digunakan pada saat pengujian.



Gambar 21. *Stopwacht*

15. pH meter

pH meter digunakan untuk mengukur pH larutan zeolit, *fly ash* yang telah diaktivasi NaOH dalam proses pembilasan.



Gambar 22. pH meter digital

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

1. Zeolit alami

Zeolit alami yang digunakan dalam pengujian ini adalah jenis *clinoptilolite*, dengan komposisi kima 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 23. Zeolit alami jenis *clinoptilolite*

2. *Fly ash*

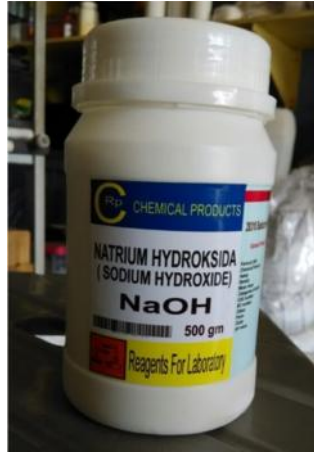
Fly ash yang digunakan adalah *fly ash* batubara yang digunakan sebagai bahan baku campuran zeolit.



Gambar 24. *Fly ash* batubara

3. NaOH

NaOH adalah zat kimia basa yang digunakan untuk mengaktivasi campuran zeolit dan *fly ash*.



Gambar 25. NaOH

4. Air rendaman zeolit

Air rendaman zeolit digunakan untuk membilas larutan campuran zeolit, *fly ash* setelah diaktivasi agar pH larutan zeolit, *fly ash* menjadi 7.



Gambar 26. Air rendaman zeolit

5. Tepung tapioka

Tepung tapioka digunakan sebagai bahan perekat untuk campuran zeolit, *fly ash* yang akan dijadikan pelet filter.



Gambar 27. Tepung tapioka

6. Air aquades

Air aquades digunakan sebagai campuran dalam pembuatan larutan molaritas NaOH dan juga sebagai campuran tepung tapioka sebagai bahan perekat bahan pelet zeolit, *fly ash*.



Gambar 28. Air aquades

B. Persiapan Alat dan Bahan

Adapun tahapan proses mempersiapkan alat dan bahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyeragamkan ukuran zeolit dan *fly ash*

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

2. Membuat air rendaman zeolit untuk mencuci campuran zeolit dan *fly ash* yang telah diaktivasi NaOH

Merendam air dengan zeolit dengan perbandingan 20% zeolit dan 80% air lalu direndam selama 12 jam agar kandungan mineral yang terdapat pada air dapat diserap oleh zeolit sehingga kadar H_2O pada air meningkat. Jika diukur pH air mendekati 7 maka air dapat dipakai untuk mencuci *fly ash* dan zeolit yang telah diaktivasi NaOH.

3. Mengaktivasi zeolit dan *fly ash* dengan NaOH

Perbandingan yang dipakai untuk percobaan dalam menentukan aktivasi terbaik yaitu dengan campuran 50% *fly ash* dan 50% zeolit dengan aktivasi kimia NaOH menggunakan 5 variasi normalitas yaitu 0,25 N; 0,5 N; 0,75 N; 1 N; 1,5 N dan 2 N. Langkah pertama adalah membuat larutan basa NaOH variasi normalitas tersebut dengan cara menentukan kadar molaritas untuk mendapatkan nilai gram per satuan liter. Jumlah mol zat terlarut dapat dihitung dengan cara nilai molaritas dikalikan dengan massa relatif NaOH. Berikut adalah perhitungannya :

- a. Untuk 0,25 mol NaOH = $0,25 \times 40 = 10$ gram per liter larutan
- b. Untuk 0,5 mol NaOH = $0,5 \times 40 = 20$ gram per liter larutan
- c. Untuk 0,75 mol NaOH = $0,75 \times 40 = 30$ gram per liter larutan
- d. Untuk 1 mol NaOH = $1 \times 40 = 40$ gram per liter larutan
- e. Untuk 1,5 mol NaOH = $1,5 \times 40 = 60$ gram per liter larutan
- f. Untuk 2 mol NaOH = $2 \times 40 = 80$ gram per liter larutan

Sebagai contoh untuk membuat larutan 0,25 molaritas NaOH dibutuhkan 10 gram NaOH, maka langkah pertama adalah mengukur berat NaOH 10 gram dengan timbangan digital, kemudian NaOH tersebut dimasukkan ke dalam gelas ukur dan dimasukkan air aquades sampai batas 500 ml. Setelah itu larutan diaduk sampai rata kemudian larutan tersebut dituang ke dalam botol mineral dan ditambahkan lagi air aquades sebanyak 500 ml maka didapatkan larutan NaOH 0,25 mol per liter. Langkah yang sama juga untuk 4 variasi molaritas lainnya.

Setelah semua larutan dibuat, campuran 50% *fly ash* dan 50% zeolit dicampurkan dengan larutan tersebut dengan perbandingan 1:1 (1 gram campuran zeolit dan *fly ash* : 1 ml larutan NaOH), setelah itu campuran tersebut diaduk menggunakan mesin pengaduk selama 45 menit agar pencampurannya merata.

Campuran *fly ash* dan zeolit yang telah selesai diaktivasi ini kemudian dicuci menggunakan air rendaman zeolit dengan cara mencampurkannya ke dalam campuran *fly ash* dan zeolit kemudian diaduk menggunakan mesin aduk selama 10 menit. Hal ini dilakukan berulang-ulang sampai pH campuran *fly ash* dan zeolit mencapai 7.

Setelah itu campuran tersebut dikeringkan menggunakan oven dengan temperatur 110°C selama 1 jam. Setelah kering campuran *fly ash* dan zeolit diayak kembali dengan ukuran 100 mesh agar partikelnya seragam kembali.

4. Membuat pelet campuran zeolit dan *fly ash* yang telah diaktivasi

Langkah pertama dalam membuat pelet filter adalah menentukan kandungan persentase bahan pelet. Dengan contoh membuat 150 gram bahan pelet dengan campuran perbandingan 42% air, 4% perekat, 54% bahan *fly ash* dan zeolit. Berikut ini perhitungannya :

a. Air 42% = $150 \times \frac{42}{100} = 63$ gram

b. Perekat 4% = $150 \times \frac{4}{100} = 6$ gram

c. Bahan *fly ash* dan zeolit 54% = $150 \times \frac{54}{100} = 81$ 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 ke dalam bahan *fly ash* 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 100°C selama 1 jam. Pemanasan ini bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap di dalam pelet, setelah itu pelet dapat dibuat menjadi filter.

5. Mengemas pelet campuran zeolit dan *fly ash* menjadi filter kendaraan.

Dalam proses pengemasan pelet menjadi filter variasi massa yang dipakai untuk pengujian yaitu 75% dari ruang filter kendaraan, karena dari penelitian sebelumnya telah diuji bahwa variasi massa filter 75% terbaik daripada variasi massa 100% dan 50%. Contoh pembuatan filternya sebagai berikut :

Jika berat filter kawat strimin kosong 2,32 gram, susun pelet memenuhi ruang kawat strimin kosong lalu timbang kembali, jika berat keseluruhan 33,25 gram maka berat 75% massa filter adalah

- Variasi massa filter 75% = $33,25 \times \frac{75}{100} = 24,93$ gram

Setelah didapatkan variasi massa 75% 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.

6. Menyiapkan sepeda motor untuk pengujian

Motor yang akan diuji dipasangkan *tachometer* untuk mengetahui nilai rpm 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 dilaukan *service* secara berkala untuk menjaga kondisi motor agar selalu dalam kondisi baik pada setiap pengujian.

7. Membuat variasi temperatur menggunakan filter dengan aktivasi kimia terbaik

Sebelum proses ini dilakukan, perlu adanya pengujian untuk mengetahui filter aktivasi kimia manakah yang menghasilkan prestasi mesin terbaik dengan temperatur pelet sebelumnya yaitu 100°C. Setelah mendapatkan filter terbaik lalu komposisi pelet filter terbaik dibuat pemodelan variasi temperatur yang lain dengan variasi 150°C ; 175°C ; 200°C dan 225°C dengan waktu pengovenan pelet masing-masing selama 60 menit untuk dilakukan pengujian kembali.

8. Membuat komposisi persentase campuran zeolit dan *fly ash* dengan aktivasi kimia dan perlakuan temperatur pelet terbaik

Setelah mendapatkan aktivasi dan perlakuan temperatur pelet terbaik pada pengujian. Berikutnya yaitu menentukan komposisi persentase campuran zeolit dan *fly ash* yaitu Z100:F0 ; Z75:F25 ; Z50:F50 ; Z25:F75 dan Z0:F100 dengan tahapan sama seperti prosedur nomor 4, sebagai contoh untuk membuat 150 gram dengan campuran perbandingan 42% air, 4% perekat, 54% bahan *fly ash* dan zeolit. Berikut ini perhitungannya :

a. Air 42% = $150 \times \frac{42}{100} = 63$ gram

b. Perekat 4% = $150 \times \frac{4}{100} = 6$ gram

c. Bahan zeolit dan *fly ash* 54% = $150 \times \frac{54}{100} = 81$ gram

Pada bahan zeolit dan *fly ash* mempunyai hasil 81 gram dalam persentase 150 gram keseluruhan bahan pelet. Sebagai contoh jika membuat pelet dengan bahan Z75:F25 maka hasil takaran bahan adalah sebagai berikut :

a. Z 75 = $81 \times \frac{75}{100} = 60,75$ gram

b. $F 25 = 81 \times \frac{25}{100} = 20,25 \text{ gram}$

Jadi jika ingin membuat pelet Z75:F25 sebanyak 150 gram membutuhkan air 63 gram, perekat 6 gram, zeolit 60,75 gram, *fly ash* 20, 25 gram dengan aktivasi kimia terbaik dan temperatur terbaik dalam pengovenan pelet.

C. Prosedur Pengujian

Data yang diambil dalam pengujian ini adalah pengujian prestasi mesin pada pengujian berjalan, akselerasi, stasioner maupun pengujian emisi gas buang untuk melihat perbandingan karakteristik kondisi sepeda motor tanpa filter buatan (dengan menggunakan filter standar motor) dengan filter zeolit, *fly ash*. Data yang diambil tiap pengujiannya dengan kondisi cuaca yang sama, lokasi pengujian yang sama (permukaan jalan kering) dan dengan beban pengendara dan cara berkendara yang sama. Sebelum pengujian mesin dipanaskan beberapa menit agar mesin dalam kondisi sama saat pengujian. Tahap pengujian dapat dilihat sebagai berikut :

1. Uji jalan

Pengujian ini dibagi 3 tahap pengujian jalan yaitu yang pertama pengujian menentukan aktivasi kimia terbaik dengan normalitas 0,25 N; 0,5 N; 0,75 N; 1 N; 1,5 N dan 2 N. Kedua yaitu pengujian menentukan temperatur pengeringan pelet terbaik dengan temperatur 150°C ; 175°C ; 200°C dan 225°C . Ketiga menentukan komposisi campuran zeolit dan *fly ash* terbaik yaitu Z100:F0 ; Z75:F25 ; Z50:F50 ; Z25:F75 dan Z0:F100. Masing-masing

pengujian dilakukan pengujian dalam kondisi motor melaju dengan kecepatan 60 km/jam jarak tempuh 5 km dan dilakukan sebanyak 3 kali pengujian pada masing-masing tahap pengujian. Adapun data yang diambil dalam pengujian berjalan ini yaitu konsumsi bahan bakar.

Adapun langkah dalam pengujian ini yang pertama mengukur jarak tempuh jalan sejauh 5 km lalu menandainya, setelah itu mengisi bensin pada tangki bahan bakar buatan 150 ml lalu mesin dijalankan perpindahan perseneling 1 ke 2 pada spidometer per 20 km/jam, untuk perpindahan perseneling 2 ke 3 pada 35 km/jam dan untuk perpindahan perseneling 3 ke 4 pada saat kecepatan 50 km/jam lalu dijaga pada kecepatan 60 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. Format pencatatan data mengenai konsumsi bahan bakar uji jalan dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2. Format data pengujian pengaruh aktivasi kimia terhadap konsumsi bahan bakar pada uji jalan kendaraan

No	Filter	Pengujian konsumsi bahan bakar (ml)			Rata-rata (ml)	Selisih (ml)	Persentase (%)
		I	II	III			
1	Tanpa Filter						
2	Filter 0,25 N						
3	Filter 0,5 N						

4	Filter 0,75 N						
5	Filter 1 N						
6	Filter 1,5 N						
7	Filter 2 N						

Catatan : bahan zeolit dan *fly ash* menggunakan komposisi perbandingan 50:50 temperatur pengeringan pelet 100°C.

Tabel 3. Format data pengujian pengaruh temperatur pengeringan pelet terhadap konsumsi bahan bakar pada uji jalan kendaraan

No	Filter	Pengujian konsumsi bahan bakar (ml)			Rata-rata (ml)	Selisih (ml)	Persentase (%)
		I	II	III			
1	Tanpa Filter						
2	Filter 150°C						
3	Filter 175°C						
4	Filter 200°C						
5	Filter 225°C						

Catatan : bahan zeolit dan *fly ash* menggunakan komposisi perbandingan 50:50 aktivasi kimia terbaik.

Tabel 4. Format data pengujian pengaruh komposisi campuran zeolit dan *fly ash* terhadap konsumsi bahan bakar pada uji jalan kendaraan

No	Filter	Pengujian konsumsi bahan bakar (ml)			Rata-rata (ml)	Selisih (ml)	Persentase (%)
		I	II	III			
1	Tanpa Filter						
2	Filter Z100:F0						
3	Filter Z75:F25						
4	Filter Z25:F75						
5	Filter Z0:F100						

Catatan : dalam pengujian ini aktivasi kimia dan temperatur pengeringan pelet diambil yang terbaik.

2. Uji akselerasi

Pengujian ini dibagi 3 tahap pengujian jalan yaitu yang pertama pengujian menentukan aktivasi kimia terbaik dengan normalitas 0,25 N; 0,5 N; 0,75 N; 1 N; 1,5 N dan 2 N. Kedua yaitu pengujian menentukan temperatur pengeringan pelet terbaik dengan temperatur 150°C ; 175°C ; 200°C dan 225°C. Ketiga menentukan komposisi campuran zeolit dan *fly ash* terbaik yaitu Z100:F0 ; Z75:F25 ; Z50:F50 ; Z25:F75 danol Z0:F100. Masing-masing pengujian dilakukan pengujian 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 *stopwacth* di non-aktifkan kemudian dicatat waktu tempuhnya. Dalam proses pengujian, pada proses perpindahan persneling diupayakan konstan pada setiap pengujian yaitu persneling 1 kecepatan 0-30 km/jam, persneling 2 kecepatan 30-50 km/jam, persneling 3 50-70 km/jam dan persneling 4 kecepatan 70-80 km/jam. Format pencatatan data mengenai waktu tempuh mesin saat akselerasi dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 5. Format data pengujian pengaruh aktivasi kimia terhadap waktu tempuh pada uji akselerasi kendaraan

No	Filter	Pengujian waktu tempuh (detik)			Rata-rata (detik)	Selisih (detik)	Persentase (%)
		I	II	III			
1	Tanpa Filter						
2	Filter 0,25 N						
3	Filter 0,5 N						
4	Filter 0,75 N						
5	Filter 1 N						
6	Filter 1,5 N						
7	Filter 2 N						

Catatan : bahan zeolit dan *fly ash* menggunakan komposisi perbandingan 50:50 temperatur pengeringan pelet 100°C.

Tabel 6. Format data pengujian pengaruh temperatur pengeringan pelet terhadap waktu tempuh pada uji akselerasi kendaraan

No	Filter	Pengujian waktu tempuh (detik)			Rata-rata (detik)	Selisih (detik)	Persentase (%)
		I	II	III			
1	Tanpa Filter						
2	Filter 150°C						
3	Filter 175°C						
4	Filter 200°C						
5	Filter 225°C						

Catatan : bahan zeolit dan *fly ash* menggunakan komposisi perbandingan 50:50 aktivasi kimia terbaik.

Tabel 7. Format data pengujian pengaruh komposisi campuran zeolit dan *fly ash* terhadap waktu tempuh pada uji akselerasi kendaraan

No	Filter	Pengujian waktu tempuh (detik)			Rata-rata (detik)	Selisih (detik)	Persentase (%)
		I	II	III			
1	Tanpa Filter						
2	Filter Z100:F0						
3	Filter Z75:F25						
4	Filter Z25:F75						
5	Filter Z0:F100						

Catatan : dalam pengujian ini aktivasi kimia dan temperatur pengeringan pelet diambil yang terbaik.

3. Uji stasioner

Pengujian ini dibagi 3 tahap pengujian jalan yaitu yang pertama pengujian menentukan aktivasi kimia terbaik dengan normalitas 0,25 N; 0,5 N; 0,75 N; 1 N; 1,5 N dan 2 N. Kedua yaitu pengujian menentukan temperatur pengeringan pelet terbaik dengan temperatur 150°C ; 175°C ; 200°C dan 225°C. Ketiga menentukan komposisi campuran zeolit dan *fly ash* terbaik yaitu Z100:F0 ; Z75:F25 ; Z50:F50 ; Z25:F75 dan Z0:F100. Masing-masing tahap pengujian dilakukan pengujian stasioner dengan putaran mesin 1500 rpm, 3000 rpm dan 4500 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 pengujiannya 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 150 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. Format pencatatan data mengenai

konsumsi bahan bakar pada kondisi stasioner dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 8. Format data pengujian pengaruh aktivasi kimia terhadap konsumsi bahan bakar pada kondisi stasioner kendaraan

No	Filter	1500 rpm			3000 rpm			4500 rpm		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	Tanpa Filter									
	Rata-rata (ml)									
2	Filter 0,25 N									
	Rata-rata (ml)									
	Selisih (ml)									
	Persentase (%)									
3	Filter 0,5 N									
	Rata-rata (ml)									
	Selisih (ml)									
	Persentase (%)									
4	Filter 0,75 N									
	Rata-rata (ml)									
	Selisih (ml)									
	Persentase (%)									
5	Filter 1 N									
	Rata-rata (ml)									
	Selisih (ml)									
	Persentase (%)									
6	Filter 1,5 N									
	Rata-rata (ml)									

Catatan : dalam pengujian ini aktivasi kimia dan temperatur pengeringan pelet diambil yang terbaik.

4. Uji emisi gas buang

Pengujian Emisi Gas buang dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan Zeolit dan *fly ash* untuk mereduksi emisi gas buang pada kendaraan motor pengujian yang dilakukan. Pengujian emisi dilakukan pada putaran 1500 rpm, 3000 rpm dan 4500 rpm. Pengujian emisi dilakukan sekali pengujian saja yaitu dengan filter berbagai variasi campuran zeolit dan *fly ash* dengan aktivasi dan pengeringan pelet terbaik didapat dari pengujian sebelumnya yaitu uji berjalan, uji akselerasi, dan uji stasioner. Format pencatatan data mengenai pengujian emisi gas buang dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 11. Format data pengujian pengaruh komposisi campuran zeolit dan *fly ash* terhadap emisi gas buang kendaraan

No	Rpm	Filter	CO (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	HC (ppm)
1	1500	Tanpa filter				
		Z100:F0				
		Z25:F75				
		Z50:F50				
		Z75:F25				
		Z0:F100				
		Alami				
2	3500	Tanpa filter				
		Z100:F0				
		Z25:F75				
		Z50:F50				
		Z75:F25				
		Z0:F100				

		Alami				
--	--	-------	--	--	--	--

Catatan : dalam pengujian ini aktivasi kimia dan temperatur pengeringan pelet diambil yang terbaik.

D. Lokasi Pengujian

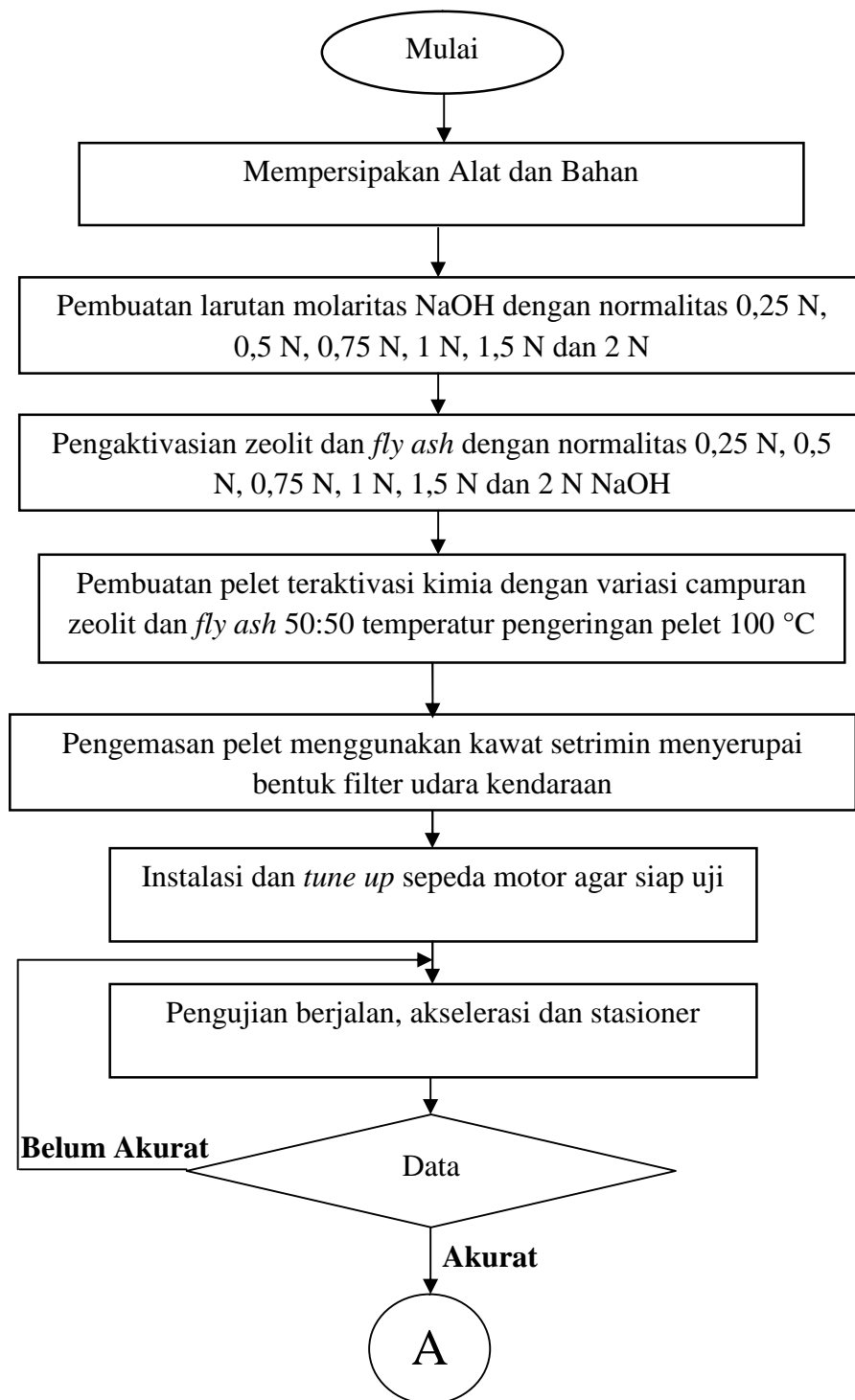
Adapun lokasi pengujian berjalan (*road test*) dan akselerasi dengan menggunakan sepeda motor bensin 4 langkah dilakukan di rute jalur dua kompleks Kota Baru Bandar Lampung, sedangkan untuk pengujian emisi gas buang dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Universitas Lampung.

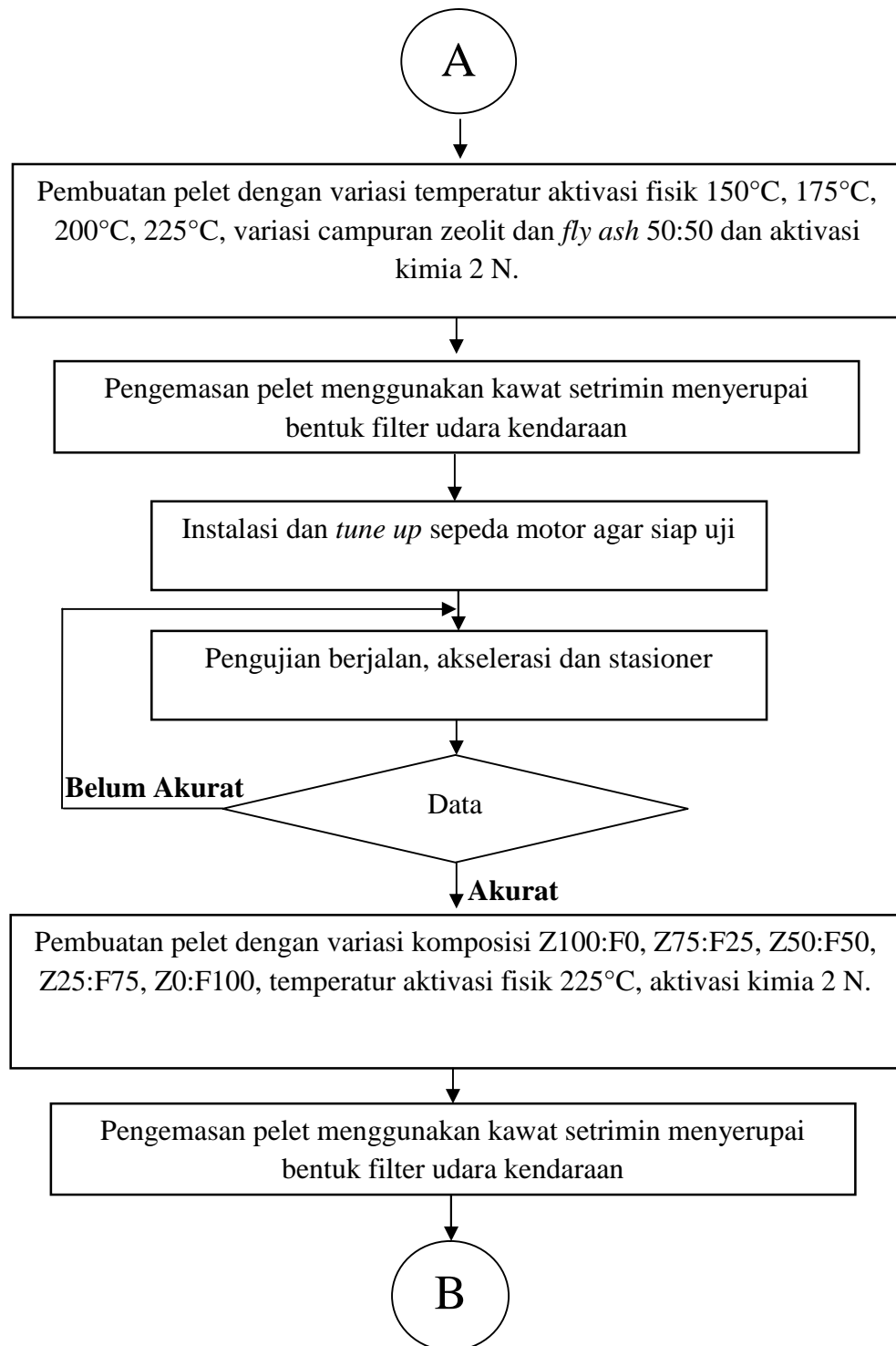
E. Analisis Data

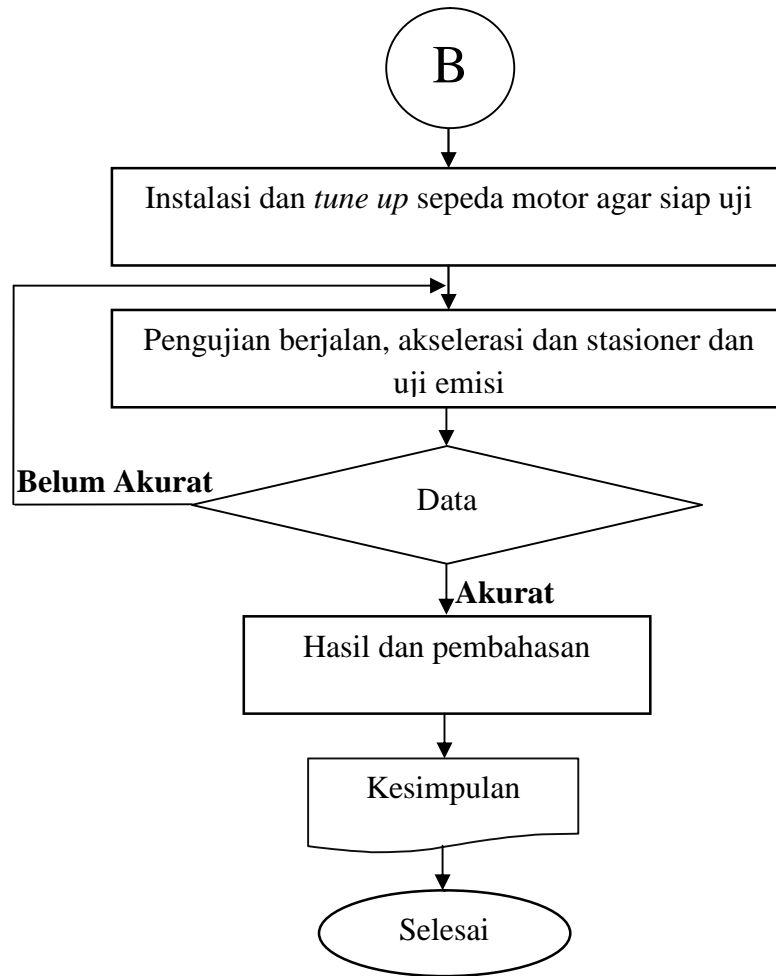
Data yang diperoleh dari hasil pengujian selanjutnya dianalisa dan disajikan dalam bentuk grafik sehingga diperoleh pengaruh dari nilai konsentrasi aktivasi kimia terbaik, temperatur aktivasi fisik terbaik dan komposisi variasi campuran zeolit dan *fly ash* terbaik pada filter udara kendaraan.

F. Diagram Alir Penelitian

Adapun penelitian akan dijelaskan menggunakan diagram alir yang ditunjukkan pada gambar berikut ini :







Gambar 29. Diagram alir penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Setelah memperoleh data hasil pengujian maka dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Semua model filter dengan variasi normalitas NaOH, variasi temperatur pengeringan dan variasi komposisi zeolit dan *fly ash* (batubara) terbukti mampu mengurangi konsumsi bahan bakar pada pengujian berjalan maupun stasioner, menurunkan waktu tempuh akselerasi serta mereduksi gas berbahaya pada emisi gas buang kendaraan sepeda motor bensin 4 langkah.
2. Dari segi persentase dalam menaikkan prestasi mesin, filter Z50:F50 aktivasi 1 N temperatur pengeringan 100°C merupakan yang terbaik dalam uji jalan dengan persentase 8,2% (7,4 ml lebih hemat), filter Z100:F0 aktivasi 2 N temperatur pengeringan 225°C menjadi yang terbaik dalam uji akselerasi dengan persentase 14,43% (2,57 s lebih cepat), filter Z100:F0 aktivasi 2 N temperatur pengeringan 225°C menjadi yang terbaik pada uji stasioner dengan total persentase keseluruhan rpm pengujian sebesar 49,82% (9,7 ml lebih hemat).
3. Pada pengujian emisi gas buang, penurunan kadar gas CO terbaik diperoleh pada pengujian filter Z25:F75 aktivasi 2 N temperatur pengeringan 255°C dengan nilai sebesar 0,102% putaran 1500 rpm, 0,309% putaran 3500 rpm.

Untuk penurunan kadar gas HC terbaik diperoleh saat pengujian filter Z50:F50 aktivasi 2 N temperatur pengeringan 225°C dengan nilai sebesar 9 ppm putaran 1500 rpm, 12 ppm putaran 3500 rpm. Dan pada peningkatan gas CO₂ terbaik diperoleh pada pengujian filter Z75:F25 aktivasi 2 N temperatur pengeringan 225°C dengan nilai sebesar 0,375% putaran 1500 rpm, 0,32% putaran 3500 rpm.

4. Filter terbaik dari keseluruhan pengujian adalah filter komposisi Z100:F0 aktivasi 2 N temperatur pengeringan 225°C dengan total keseluruhan persentase sebesar 69,01% dan dari data ini juga menunjukkan bahwa semakin banyak komposisi zeolit pada filter maka kemampuan adsorben pada filter semakin baik.
5. Semakin tinggi nilai konsentrasi NaOH yang diberikan, maka semakin baik kemampuan zeolit dan *fly ash* sebagai adsorben, hal ini terbukti pada saat menentukan konsentrasi terbaik didapat pada filter dengan konsentrasi tertinggi yaitu 2 N dengan persentase sebesar 55,53%. Dan semakin tinggi temperatur pengeringan pelet maka semakin baik kemampuan zeolit dan *fly ash* sebagai adsorben, hal tersebut terbukti pada saat menentukan temperatur pengeringan terbaik didapat pada filter dengan temperatur pengeringan tertinggi yaitu 225°C menghasilkan total persentase sebesar 42,67%.

B. Saran

1. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai masa pakai filter campuran zeolit dan *fly ash* (batubara) aktivasi NaOH-fisik sebagai adsorben hingga jenuh.
2. Melakukan variasi normalitas yang lebih tinggi dan pengeringan dengan temperatur yang lebih tinggi.
3. Membandingkan dengan pengujian filter campuran zeolit dan *fly ash* (batubara) aktivasi larutan asam.
4. Membandingkan dengan pengujian menggunakan sepeda motor bensin 4 langkah dengan cc yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, Anggita Rezki. 2016. *Cadangan Minyak Habis 12 Tahun Lagi, Pemerintah Fokus Energi Baru*. Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas Bumi. www.bphmigas.go.id. Diakses Pada 21 Februari 2017.
- Anthonius L, Fendy. 2013. *Optimasi Aktivasi Zeolit Alam untuk Dehumidifikasi*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Hasibuan, Rendi Akbar. 2012. *Modifikasi Zeolit Alam dengan TiO_2 untuk Mereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor*. Skripsi Program Sarjana Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Heywood, J.B. 1988. *Internal Combustion Engine*. McGraw Hill International. Singapore.
- Hikmah, Nurul. 2006. *Peranan Zeolit dalam Pelepasan Nitrogen dari Pupuk Tersedia Lambat (Slow Release Fertilizers)*. Departemen Ilmu Tanah dan Lahan Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Ismaryata. 1999. *The Study of Acidic Washing Temperature and Calcination Effect on Modification Process of Natural Zeolite as an Anion Exchanger*. Laporan Penelitian Universitas Diponegoro. Semarang.

Korin A, Novian. 2012. *Pengaruh Normalitas NaOH dan KOH pada Aktivasi Basa-Fisik Zeolit Pelet Tekan Terhadap Prestasi Motor Diesel 4-Langkah*. Skripsi Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Nirwata, Sonic. 2011. *Aplikasi Zeolit Pelet Perekat yang Diaktivasi Basa-Fisik untuk Mengamati Prestasi Mesin Sepeda Motor Bensin 4-Langkah dan Emisi Gas Buangnya*. Skripsi Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Petrucci, Ralph H. 1992. *Kimia Dasar Edisi Keempat Diterjemahkan Suminar Achmadi, Ph.D.* California State University. San Bernardino.

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

Setiawan, Firman. 2009. *Pengaruh Emisi Gas Buang Terhadap Perubahan Iklim*. Jurusan Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. <http://firmans08.wordpress.com>. Diakses pada 23 September 2016.

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. <http://majarimagazine.com/2008/06abu-terbang-batubara-sebagai-adsorben.html>. Diakses pada 23 September 2016.

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

Wasis, S. 2015. *Perbandingan Pemanfaatan Fly Ash Batubara yang diaktivasi Secara Fisik dan NaOH-Fisik Dengan Variasi Normalitas Terhadap Prestasi Mesin Motor Diesel 4-Langkah*. Skripsi Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Wikipedia. 2016. *Kandungan Udara Kering*. <http://id.wikipdia.org/wiki/Udara>. Diakses pada 15 Agustus 2016.

Winarno, Joko. 2014. *Studi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermesin Bensin pada Berbagai Merk Kendaraan dan Tahun Pembuatan*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Janabadra. Yogyakarta.

Winata P, Chandra. 2012. *Pengaruh Penggunaan H_2SO_4 dan HCL pada Aktivasi Kimia-Fisik Zeolit Clinoptilelite Terhadap Prestasi Mesin Diesel 4-Langkah*, Skripsi Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.