PENGARUH KOMPOSISI DAN KONDISI AKTIVASI *FLY ASH* LIMBAH SAWIT TERHADAP DAYA REKAT PELET DAN PRESTASI MESIN SEPEDA MOTOR BENSIN 4-LANGKAH

(Skripsi)

Oleh

FAJRIN MUHTADA

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2016

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF COMPOSITION AND CONDITION OF PALM FLY ASH WASTE ACTIVATION THROUGH THE ADHESIVENESS OF PELLET AND 4-STEP GASOLINE MOTORCYCLE PERFORMANCE

By

FAJRIN MUHTADA

More and more vehicle was increasing, the usage of fuel make consequences increases of air pollution. So, the fuels reserve decreased. Because of that, we need to do thrifty to decrease fossil fuel usage. One of the ways to decrease fossil fuel usages is by using nature resource that is by using pelet fly ash forming palm waste. This research was aimed to know the influence of the composition and condition of pelet fly ash activation through the adhesiveness of pelet and gasoline motorcycle performance in the usage of fuel and vapor from gasoline.

This research did some of tests, there were sticking pelet test, stationare test, running test, acceleration test, and exhaust gas emission test. Fly ash pelet which used in this research have a 10 mm diameter with 3 mm thicness. The sticking test did at temperature variation (175^{o}C, 200^{o}C, and 225^{o}C), and activation time (60 minutes, 40 minutes, and 20 minutes). The other test were based on tapioca composition (6%, 4%, and 2%), and the mass of pelet (6gr, 4,5 gr, dan 3 gr) at the acceleation and fuel consumption test .fly ash pelets were packed using a frame that made frome the strimin wire that similar with air filter of vehicle. So that the fly ash pelet could filter the air that would entry to the combuster.

The result from this research showed that the best strength of sticking based on temperature and the activation time was at 175•C in 40 minutes. And the best composition of fly ash was the 6% amount of tapioca with the amount of filter mass 6 grams. The savings from the stationer test result was 37,778% at 1000 rpm, 28,333% at 3000 rpm and 18,269% at 5000 rpm. For the running test, the amount of savings was 7,082%. At the acceleration test, it increased the machine acceleration as much as 4,762% at 0 – 80 km/hour and 17,241% at 50-80 km/hour. CO gas emission could reduce until 85,48 % at 1500 rpm, while HC reduced as much as 89,76% at 1500 rpm and 36,97% at 3500 rpm.

Key Words : fly ash, fly a*sh* waste, fly ash pellets, machine performance

ABSTRAK

PENGARUH KOMPOSISI DAN KONDISI AKTIVASI *FLY ASH* LIMBAH SAWIT TERHADAP DAYA REKAT PELET DAN PRESTASI MESIN SEPEDA MOTOR BENSIN 4-LANGKAH

Oleh
FAJRIN MUHTADA

Semakin bertambahnya kendaraan akan menambah pemakaian bahan bakar dan menyebabkan meningkatnya polusi udara. Sehingga cadangan minyak bumi pun semakin sedikit. Untuk itu diperlukan upaya dalam menghemat atau mengurangi konsumsi bahan bakar fosil. Salah satu upaya dalam menghemat konsumsi bahan bakar adalah dengan memanfaatkan Sumber Daya Alam yang melimpah, yaitu dengan menggunakan pelet *Fly Ash* yang berasal dari limbah sawit. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi dan kondisi aktivasi pelet *fly ash* terhadap daya rekat pelet dan prestasi mesin sepeda motor bensin dalam hal konsumsi bahan bahar dan emisi gas buang.

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa pengujian, yaitu pengujian daya rekat pelet, pengujian stasioner, pengujian berjalan, pengujian akselerasi, dan pengujian emisi gas buang. Pelet *Fly Ash* yang digunakan dalam penelitian ini berdiameter 10 mm dengan ketebalan 3 mm. Pengujian daya rekat dilakukan dengan variasi temperatur aktivasi (175^{o}C, 200^{o}C, dan 225^{o}C), dan variasi waktu aktivsai (60 menit, 40 menit, dan 20 menit). Dilakukan juga variasi komposisi tapioka (6%, 4%, dan 2%), dan variasi massa pelet (6gr, 4,5 gr, dan 3 gr) pada pengujian konsumsi bahan bakar dan akselerasi. Pelet *Fly Ash* dikemas dengan menggunakan *frame* dari kawat strimin yang dibentuk menyerupai saringan udara pada kendaraan. Sehingga pelet *fly ash* dapat menyaring udara yang akan masuk ke ruang bakar.

Dari hasil penelitian ini diperoleh temperatur dan waktu aktivasi dengan daya rekat terbaik yaitu pada aktivasi dengan temperatur 175^{o}C selama 40 menit. Sedangkan komposisi pelet *fly ash* yang terbaik dalam menghemat konsumsi bahan bakar dan meningkatkan akselerasi adalah dengan jumlah tapioka 6% dan dengan massa *filter* pelet 6 gram. Penghematan yang terjadi pada pengujian stasioner hingga 37,778% pada putaran 1000 rpm, 28,333% pada putaran 3000 rpm, dan 18,269% pada putaran 5000 rpm. Pada pengujian berjalan terjadi penghematan sebesar 7,082%. Sementara itu, pada pengujian akselerasi dapat meningkatkan akselerasi mesin sebesar 4,762% pada akselerasi 0 – 80 km/jam dan 17,241% pada akselerasi 50 – 80 km/jam. Emisi gas CO dapat direduksi hingga 85,48% pada putaran 1500 rpm, sedangkan HC direduksi sebesar 89,76% pada putaran 1500 rpm dan 36,97% pada putaran 3500 rpm.

Kata Kunci : adsorben *fly ash* limbah sawit, perlakuan udara pembakaran, prestasi mesin

PENGARUH KOMPOSISI DAN KONDISI AKTIVASI *FLY ASH* LIMBAH SAWIT TERHADAP DAYA REKAT PELET DAN PRESTASI MESIN SEPEDA MOTOR BENSIN 4-LANGKAH

Oleh

FAJRIN MUHTADA

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA TEKNIK

pada

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016

Judul Skripsi	: **PENGARUH KOMPOSISI DAN KONDISI AKTIVASI *FLY ASH* LIMBAH SAWIT TERHADAP DAYA REKAT PELET DAN PRESTASI MESIN SEPEDA MOTOR BENSIN 4-LANGKAH**
Nama Mahasiswa	: Fajrin Muhtada
Nomor Pokok Mahasiswa	: 1115021031
Jurusan	: Teknik Mesin
Fakultas	: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Ir. Herry Wardono, M.Sc.	**A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.**
NIP 19660822 199512 1 001	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 Penguji : **Ir. Herry Wardono, M.Sc.** .....

Anggota Penguji : **A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.** .....

Penguji Utama : **M. Dyan Susila, S.T., M.Eng.** .....

2. Dekan Fakultas Teknik

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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **16 Agustus 2016**

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul:

PENGARUH KOMPOSISI DAN KONDISI AKTIVASI *FLY ASH* LIMBAH SAWIT TERHADAP DAYA REKAT PELET DAN PRESTASI MESIN SEPEDA MOTOR BENSIN 4-LANGKAH

Yang dibuat untuk melengkapi persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang dipublikasikan dari perguruan tinggi atau instasi manapun, sebagaimana diatur dalam pasal 44 peraturan akademik Universitas Lampung dengan surat keputusan Rektor No. 159/H26/PP/2008, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 16 Agustus 2016
Yang Membuat Pernyataan,

Fajrin Muhtada
NPM. 1115021031

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Metro pada tanggal 14 Desember 1992, sebagai anak keempat dari lima bersaudara, dari pasangan Bapak Mokhtaridi Sudin dan Ibu Fetty Marhida. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar Pertiwi Teladan Kota Metro pada tahun 2005, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Kota Metro pada tahun 2008, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Kota Metro pada tahun 2011. Setelah itu penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2011 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) Tertulis.

Selama menjadi mahasiswa, penulis menjadi Pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) dan Pengurus Himpunan Mahasiswa Islam (HMI) Komisariat Teknik Unila sebagai Kepala Bidang Perguruan Tinggi, Kemahasiswaan, dan Pemuda (PTKP). Pada bidang akademik, penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material (P2MM) pada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) tahun 2014. Sejak bulan Januari 2016 penulis mulai melakukan penelitian **"Pengaruh Komposisi dan Kondisi Aktivasi *Fly Ash* Limbah Sawit Terhadap Daya Rekat Pelet dan Prestasi Mesin Sepeda Motor Bensin 4-Langkah"** di bawah bimbingan Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc. selaku pembimbing utama dan Bapak A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng. selaku pembimbing pendamping.

"Jika seseorang bepergian dengan tujuan untuk ilmu, maka Allah SWT menjadikan perjalanannya bagaikan menuju surga"

(Nabi Muhammad SAW)

"Tiadanya keyakinanlah yang membuat orang takut menghadapi tantangan, dan saya percaya pada diri saya sendiri"

(Muhammad Ali)

"Manusia tidak merancang untuk gagal, mereka gagal untuk merancang"

(William J. Siegel)

"Tidak ada kata gagal untuk orang yang mau berusaha, karena gagal hanya untuk orang-orang yang takut untuk mencoba"

(Fajrin Muhtada)

"Kebanggaan kita yang terbesar adalah bukan tidak pernah gagal, tetapi bangkit kembali setiap kali kita jatuh"

(Confusius)

"Kemenangan yang seindah-indahnya dan sesukar-sukarnya yang boleh direbut oleh manusia ialah menundukkan diri sendiri"

(Ibu Kartini)

Kupersembahkan karya sederhana ini untuk orang
yang sangat kusayangi dan kucintai

Kedua orang tuaku

Yang memberikan kasih sayang yang tak terhingga,
dan tak lekang oleh waktu.

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillaahirabbil'aalamiin, puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. Karena-Nya penulis diberi banyak nikmat dan rahmat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. *Shalawat* serta salam juga penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW yang dinantikan *syafa'at*nya di *yaumil akhir* nanti.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang selama ini telah membantu, mendukung, dan membimbing hingga selesainya skripsi ini, Oleh karena itu, sebagai wujud rasa hormat, penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak sebagai berikut :

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ahmad Su'udi, S.T., M.T., sebagai Kajur Teknik Mesin Unila.
3. Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc. selaku Pembimbing I, yang telah banyak memberikan banyak pelajaran baru dan bimbingan dalam kelancaran skripsi ini.

4. Bapak A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng., selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu berdiskusi untuk kelancaran skripsi ini;

5. Bapak M. Dyan Susila, S.T., M.Eng., selaku Penguji, yang telah memberikan koreksi dan masukan untuk kelayakan skripsi ini.

6. Bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T., selaku Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan masukan selama menempuh perkuliahan.

7. Bapak Dr. Irza Sukmana selaku Koordinator Tugas Akhir yang telah membantu kelancaran skripsi ini.

8. Bapak/ibu dosen yang telah memberikan ilmunya kepada penulis, sehingga penulis dapat mengaplikasikan ilmunya di dalam skripsi ini.

9. Kedua orang tuaku yang sangat kucintai, Bapak Drs. Moktaridi Sudin, M.Pd., dan Ibu Fetty Marhida, S.H.I., yang senantiasa memberikan kasih sayang dan dukungan yang tak terbatas dan takkan terbalaskan.

10. Teman-teman B.16 senasib seperjuangan, Sandy Dwi Hardin, M. Fathliansyah, Muchlis Mutaqqin, Rizki Fedriansyah, Dimas Repaldo, Ardianto, Vito Pratama Yudha, Jerido Scorilan, M. Adi Jaya Sesunan, Deto Detroit, Gading Nurrahman, Aditya Kurniawan, Heri Nuryanto, Sandi Morse, dan Choky Sitorus.

11. Orang-orang terdekatku, Yulandhita Pratiwi, S.E., Akhmad Ridho Fatria, Suharyadi, Fanny Prawaka, Dwi Putra, Liwanson Jaya, M. Rizkhi, dan Eko Aprilando S yang selalu memberikan dukungan dan masukan.

12. Teman-teman Teknik Mesin Unila yang menjadi teman penulis dari awal mengenyam pendidikan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung selama ini.
13. Kakak-kakakku, Irsyad Muhtada, S.Psi., Dahlia Ulfah, Amd.Keb., Khairil Muhtada, dan adikku Al Ghifari Muhtada
14. Teman-teman *Lamban* Juang HMI Komisariat Unila yang banyak memberikan dukungan.
15. Mas Agus Sriono asisten Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah banyak membantu selama penelitian.
16. Pihak-pihak lain yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian skripsi yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan yang terdapat pada skripsi ini. Karenanya, penulis mengharapkan kritikan dan masukan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis juga mengharapkan skripsi yang sederhana ini dapat memberikan inspirasi dan berguna bagi kalangan civitas akademik maupun masyarakat Indonesia. Aamiiiin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung, 16 Agustus 2016
Penulis,

Fajrin Muhtada

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRACT i

ABSTRAK ii

HALAMAN JUDUL iii

HALAMAN PERSETUJUAN iv

HALAMAN PENGESAHAN v

PERNYATAAN PENULIS vi

RIWAYAT HIDUP vii

MOTTO viii

PERSEMBAHAN ix

SANWACANA x

DAFTAR ISI..... xiii

DAFTAR GAMBAR xviii

DAFTAR TABEL xx

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Tujuan Penelitian 4

1.3. Batasan Masalah 5

1.4. Sistematika Penulisan 5

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Bakar 7

2.1.1 Motor bensin 8

2.2.2 Motor diesel 13

2.2 Proses Pembakaran 15

2.2.1 Karbon monoksida (CO) 17

2.2.2 Hidrokarbon (HC) 18

2.2.3 Karbon dioksida (CO_2) 19

2.3 Parameter Prestasi Motor Bensin 4 – Langkah 19

2.4 Gas Polutan 21

2.5 Saringan Udara (*Air Filter*) 22

2.6 Limbah Kelapa Sawit 23

2.6.1 Abu kelapa sawit (*ash*) 23

2.7 Adsorpsi 25

2.8 Hidrofilik dan Hidrofobik 26

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan Penelitian 28

3.1.1 Spesifikasi sepeda motor bensin 4-langkah 125 cc 28

3.1.2 Alat yang digunakan 29

3.1.3 Bahan yang digunakan 34

3.2 Persiapan Bahan 34

3.3 Prosedur Aktivasi *Fly Ash* 35

3.4 Prosedur Pengujian 36

3.5 Pengambilan Data 39

3.6 Lokasi Penelitian 43

3.7 Diagram Alir Penelitian 44

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Menentukan Komposisi dan Kondisi Aktivasi Terbaik Dengan Uji Daya Rekat 47

4.1.1 Menentukan temperatur aktivasi terbaik 48

4.1.2 Menentukan waktu aktivasi terbaik 49

4.1.3 Menentukan komposisi terbaik 50

4.2 Menentukan Komposisi Terbaik Dengan Uji Prestasi Mesin 52

4.2.1 Pengujian stasioner 52

4.2.2 Pengujian berjalan 55

4.2.3 Pengujian akselerasi 57

4.3 Menentukan Massa Pelet *Fly Ash* Terbaik Dengan Uji Prestasi Mesin 59

4.3.1 Pengujian stasioner 60

4.3.2 Pengujian berjalan 64

4.3.3 Pengujian akselerasi 65

4.4 Uji Emisi Gas Buang 69

4.4.1 Kadar Karbon monoksida (CO) 70

4.4.2 Kadar Hidrikarbon (HC) 72

4.4.3 Kadar Karbondioksida (CO_2) 73

BAB V. PENUTUP

5.1. Simpulan 76

5.2 Saran 78

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1. Prinsip kerja motor 4 langkah 9

Gambar 2. Diagram P-v dari siklus ideal motor bakar bensin 4-langkah 10

Gambar 3. Diagram P-V Motor Diesel 14

Gambar 4. Siklus operasi motor bakar diesel 4-Langkah 14

Gambar 5. Saringan udara 22

Gambar 6. *Stopwatch* 29

Gambar 7. *Tachometer* 29

Gambar 8. Cetakan 30

Gambar 9. Perangkat analog 30

Gambar 10. Tangki bahan bakar buatan 150 ml 31

Gambar 11. Oven 31

Gambar 12. Timbangan Digital 32

Gambar 13. Kompor Listrik 32

Gambar 14. Ampia 33

Gambar 15. Kemasan Fly ash 33

Gambar 16. Pengujian daya rekat pelet 36

Gambar 17. Diagram alir penelitian 45

Gambar 18. Pengujian daya rekat dengan variasi temperatur 48

Gambar 19. Pengujian daya rekat dengan variasi waktu 49
Gambar 20. Pengujian daya rekat dengan variasi komposisi 51
Gambar 21. Hasil pengujian stasioner 1000 rpm 53
Gambar 22. Hasil pengujian stasioner 3000 rpm 54
Gambar 23. Hasil pengujian stasioner 5000 rpm 55
Gambar 24. Hasil pengujian berjalan 56
Gambar 25. Hasil pengujian akselerasi 0 – 80 km/jam 57
Gambar 26. Hasil pengujian akselerasi 50 – 80 km/jam 58
Gambar 27. Hasil pengujian stasioner 1000 rpm dengan variasi massa 61
Gambar 28. Hasil pengujian stasioner 3000 rpm dengan variasi massa 62
Gambar 29. Hasil pengujian stasioner 5000 rpm dengan variasi massa 63
Gambar 30. Hasil pengujian berjalan dengan variasi massa 65
Gambar 31. Hasil pengujian akselerasi 0 – 80 km/jam dengan variasi massa ... 66
Gambar 32. Hasil pengujian akselerasi 50 – 80 km/jam dengan variasi massa . 67
Gambar 33. Gas CO hasil pengujian emisi gas buang 70
Gambar 34. Gas HC hasil pengujian emisi gas buang 72
Gambar 35. Gas CO_2 hasil pengujian emisi gas buang 74

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1. Daftar Gas Polutan dan batas aman bagi kesehatan 21

Tabel 2. Ambang batas emisi gas buang untuk sepeda motor 21

Tabel 3. Unsur Kimia Abu Cangkang Kelapa Sawit 24

Tabel 4. Variasi komposisi pelet 35

Tabel 5. Data pengujian daya rekat pelet untuk menentukan temperatur aktivasi terbaik 39

Tabel 6. Data pengujian daya rekat pelet untuk menentukan waktu aktivasi terbaik 40

Tabel 7. Data pengujian daya rekat pelet untuk menentukan komposisi terbaik 40

Tabel 8. Data pengujian stasioner 41

Tabel 9. Data pengujian berjalan 5 km kecepatan 60 km/jam 42

Tabel 10. Data hasil pengujian akselerasi 42

Tabel 11. Data hasil pengujian emisi gas buang kendaraan 43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi menjadi pendorong manusia untuk terus melakukan inovasi dan pengembangan terhadap kemampuan sebuah mesin, sehingga mesin yang diciptakan nantinya dapat lebih efisien dari sebelumnya. Motor bakar merupakan salah satu wujud dari kemajuan tersebut. Motor bakar bekerja dengan menggunakan minyak bumi sebagai bahan bakarnya. Namun pengembangan mesin berdampak buruk terhadap kelestarian dari bahan bakar fosil terutama minyak bumi, karena hingga saat ini bahan bakar minyak bumi masih menjadi bahan bakar atau sumber energi utama dan favorit penggerak mesin-mesin yang diciptakan manusia. Semakin bertambahnya kendaraan akan menambah pemakaian bahan bakar. Sehingga menyebabkan tingkat pencemaran udara semakin tinggi.

Menurut Sara E Grineski (Profesor dari jurusan Sosiologi dan Antropologi *University of Texas At El Pasto*), polusi yang berasal dari emisi kendaraan bermotor, seperti mobil, truk, dan bus, dapat menyebabkan prestasi anak menurun. Siswa yang terpapar polusi lebih rentan terkena penyakit seperti

infeksi pernapasan atau asma. Hal ini menyebabkan siswa sering absen sekolah sehingga prestasi rendah di sekolah. Selain itu, tingkat polusi yang parah dapat mempengaruhi secara negatif perkembangan otak anak dan *neurological* anak (Lampost, 2015).

Bahan pencemar terutama terdapat di dalam gas buang kendaraan bermotor adalah karbon monoksida (CO), berbagai senyawa hidrokarbon berbagai oksida nitrogen (NOx) dan sulfur (SOx), dan partikulat debu termasuk timbal (Pb). Kondisi udara pembakaran yang masuk ke ruang bakar sangat berpengaruh dalam menghasilkan prestasi mesin yang tinggi. Udara lingkungan yang dihisap masuk untuk proses pembakaran terdiri dari bermacam-macam gas seperti nitrogen, oksigen, uap air, karbondioksida, karbonmonoksida, dan gas-gas lain. Sementara gas yang dibutuhkan pada proses pembakaran adalah oksigen untuk membakar bahan bakar yang mengandung molekul karbon dan hidrogen (Wardono, 2004).

Sebelum udara masuk ke dalam ruang bakar, udara disaring terlebih dahulu agar tidak ada debu atau partikel lain yang ikut masuk ke dalam ruang bakar. Akan tetapi, penyaring udara pada umumnya hanya dapat menyaring debu, ataupun partikel-partikel lain saja. Namun kandungan nitrogen dan gas-gas lain dalam udara ikut masuk ke dalam ruang bakar. Untuk itu, diperlukan adanya suatu penyaring udara yang dapat mengikat gas-gas tersebut sehingga gas yang masuk ke dalam ruang bakar adalah oksigen saja, dan pembakaran pun menjadi lebih sempurna. Untuk itu dilakukan penelitian dengan

menggunakan *fly ash* cangkang dan serabut sawit pada filter udara kendaraan bermotor.

Abu sawit merupakan salah satu limbah padat sisa dari pembakaran cangkang di dalam boiler dengan suhu 700^{o}C-800 ^{o}C, dapat berupa *Bottom Ash* dan *Fly Ash*. Abu sawit mengandung banyak silika dan juga mengandung ion alkali seperti kalium dan natrium. *Fly Ash* merupakan abu terbang yang ringan hasil dari proses pembakaran di boiler. Pada umumnya *fly ash* ditangkap menggunakan *cyclone*. Ukuran *fly ash* yang dihasilkan yaitu 100-200 *mesh*. *Fly Ash* banyak mengandung unsur silika yang berbentuk *amorphous* yang lebih reaktif (mudah bereaksi), tidak membutuhkan energi proses yang besar serta memiliki kemurnian dan *spesific surface area* (SSA) yang tinggi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan (Akbar dkk, 2012).

Pada penggunaan *fly ash* pelet menggunakan perekat yang dilakukan pada motor bensin 4- langkah diperkirakan hasil pengujian bisa menaikkan tenaga mesin, hemat bahan bakar, kemudian uji emisi yang diperoleh akan lebih ramah lingkungan. (Rilham, 2011).

Penelitian sebelumnya, dengan menggunakan *fly ash* cangkang dan serabut sawit mampu mengurangi konsumsi bahan bakar sebanyak 17,23% pada *road test* dan 20,06% pada pengujian stasioner ssrta mempercepat akselerasi sebesar 17,59% pada kecepatan 0-80 km/jam dan sebesar 13,44% pada kecepatan 40-80 km/jam (Prayitno, 2014). Namun pada penelitian yang telah

dilakukan tersebut masih memiliki kekurangan, diantaranya belum dilakukannya variasi komposisi *fly ash* untuk melihat komposisi yang lebih baik untuk meningkatkan prestasi mesin.

Maka penelitian kali ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh komposisi dan aktivasi kondisi *fly ash* terhadap daya rekat pelet dan prestasi mesin sepeda motor bensin 4-langkah yang dibentuk seperti tablet dengan bantuan perekat pada sepeda motor bensin 4 langkah dengan dilakukannya variasi untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal dari penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini dilakukan kembali dengan menggunakan *fly ash* cangkang dan serabut sawit dengan melakukan variasi komposisi campuran *fly ash* dengan bahan perekat, dan variasi waktu pemanasan pelet.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah seagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi temperatur dan waktu aktivasi *fly ash* limbah sawit terhadap daya rekat pelet.
2. Mengetahui pengaruh komposisi *fly ash* limbah sawit, terhadap daya rekat pelet, dan konsumsi bahan bakar dalam keadaan stasioner, berjalan dan akselerasi.
3. Mengetahui pengaruh *fly ash* limbah sawit teraktivasi fisik terhadap emisi gas buang kendaraan.

1.3 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 (125 cc) tahun 2008, kondisi mesin baik dan telah dilakukan *tune-up* / servis rutin sebelum pengujian dilakukan.
2. *Fly ash* yang digunakan adalah berasal dari PTPN VII Unit Usaha Bekri.
3. *Fly ash* berbentuk pelet yang telah diaktivasi fisik.
4. 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.
5. Penilaian daya rekat pelet berdasarkan pengurangan massa pelet setelah diberikan guncangan.
6. Penilaian peningkatan prestasi mesin hanya berdasarkan konsumsi bahan bakar, akselerasi, dan emisi gas buang.

1.4 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 motor bensin 4-langkah, teori pembakaran, dan parameter prestasi motor bakar, limbah sawit, dan abu sawit.

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 125 cc.

BAB V : PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Bakar

Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin penggerak yang banyak dipakai dengan memanfaatkan energi kalor dari proses pembakaran menjadi energi mekanik. Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin kalor yang proses pembakarannya terjadi dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus sebagai fluida kerjanya. Mesin yang bekerja dengan cara seperti tersebut disebut mesin pembakaran dalam. Adapun mesin kalor yang cara memperoleh energi dengan proses pembakaran di luar disebut mesin pembakaran luar (Basyirun dkk, 2008). Motor bakar adalah salah satu bagian dari mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversi energi termal hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis. Motor bakar pada umumnya dibedakan menjadi dua yaitu motor bensin dan motor diesel (Wardono, 2004).

Keuntungan dari mesin pembakaran dalam dibandingkan dengan mesin pembakaran luar adalah kontruksinya lebih sederhana, tidak memerlukan

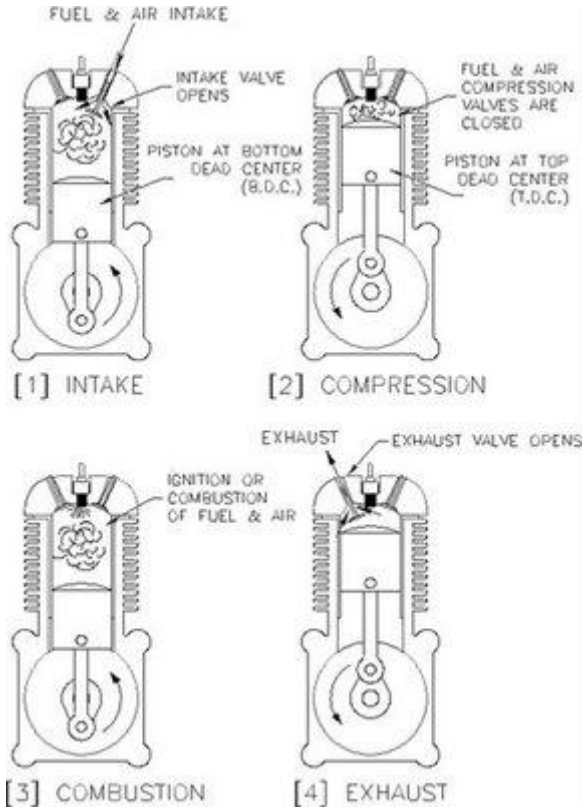
fluida kerja yang banyak dan efesiensi totalnya lebih tinggi. Sedangkan mesin pembakaran luar keuntungannya adalah bahan bakar yang digunakan lebih beragam, mulai dari bahan bakar padat sampai bahan-bakar gas, sehingga mesin pembakaran luar banyak dipakai untuk keluaran daya yang besar dengan banan bakar murah. Pembangkit tenaga listrik banyak menggunakan mesin uap. Untuk kendaran transpot mesin uap tidak banyak dipakai dengan pertimbangan kontruksinya yang besar dan memerlukan fluida kerja yang banyak.

2.1.1.Motor Bensin

Siklus mesin bensin atau siklus volume konstan sering disebut dengan siklus ledakan (*explostion cycle*) karena secara teoritis proses pembakaran terjadi sangat cepat dan menyebabkan peningkatan tekanan yang tiba-tiba. Penyalaan untuk proses pembakaran dibantu dengan loncatan bunga api. Nikolaus August Otto menggunakan siklus ini untuk membuat mesin sehingga siklus ini sering disebut dengan siklus otto (Basyirun dkk, 2008).

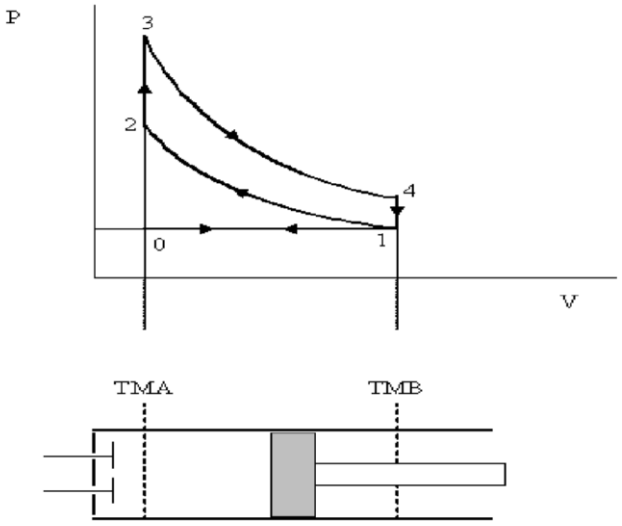
Mesin empat tak adalah mesin pembakaran dalam yang dalam satu siklus pembakaran terjadi empat langkah piston. Sekarang ini, mesin pembakaran dalam pada mobil, sepeda motor, truk, kapal, alat berat, dan sebagainya, umumnya menggunakan siklus empat langkah. Empat langkah tersebut meliputi, langkah hisap (pemasukan), kompresi, tenaga, dan langkah buang yang secara keseluruhan memerlukan dua

putaran poros engkol (*crankshaft*) per satu siklus pada mesin bensin atau mesin diesel.



Gambar 1. Prinsip kerja motor 4 langkah

(http://rodadua.web.id/)



Gambar 2. Diagram P-v dari siklus ideal motor bakar bensin 4-langkah (syairpuisiku.files.wordpress.com)

Keterangan mengenai proses-proses pada siklus udara volume konstan dapat dijelaskan sebagai berikut (Wardono, 2004):

1. Proses 0 → 1 : Langkah hisap (*Intake*)

   Pada langkah hisap campuran udara-bahan bakar dari karburator terhisap masuk ke dalam silinder dengan bergeraknya piston ke bawah, dari TMA menuju TMB. Katup hisap pada posisi terbuka, sedang katup buang pada posisi tertutup. Di akhir langkah hisap, katup hisap tertutup secara otomatis. Fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik konstan. Proses dianggap berlangsung pada tekanan konstan.

2. a. Proses 1→ 2 : Langkah kompresi (*Compression*)

Pada langkah kompresi katup hisap dan katup buang dalam keadaan tertutup. Selanjutnya piston bergerak ke atas, dari TMB menuju TMA. Akibatnya campuran udara-bahan bakar terkompresi. Proses kompresi ini menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur dan tekanan campuran tersebut, karena volumenya semakin kecil. Campuran udara-bahan bakar terkompresi ini menjadi campuran yang sangat mudah terbakar. Proses kompresi ini dianggap berlangsung secara isentropik.

b. Proses 2→ 3 : Langkah pembakaran volume konstan

Pada saat piston hampir mencapai TMA, loncatan nyala api listrik diantara kedua elektroda busi diberikan ke campuran udara-bahan bakar terkompresi sehingga sesaat kemudian campuran udara-bahan bakar ini terbakar. Akibatnya terjadi kenaikan temperatur dan tekanan yang drastis. Kedua katup pada posisi tertutup. Proses ini dianggap sebagai proses pemasukan panas (kalor) pada volume konstan.

3. Proses 3→4 : Langkah kerja/ekspansi (*Expansion*)

Kedua katup masih pada posisi tertutup. Gas pembakaran yang terjadi selanjutnya mampu mendorong piston untuk bergerak kembali dari TMA menuju TMB. Dengan bergeraknya piston menuju TMB, maka volume gas pembakaran di dalam silinder semakin bertambah, akibatnya temperatur dan tekanannya turun. Proses ekspansi ini dianggap berlangsung secara isentropik.

4. a. Proses 4→1 : Langkah buang volume konstan (*Exhaust*)

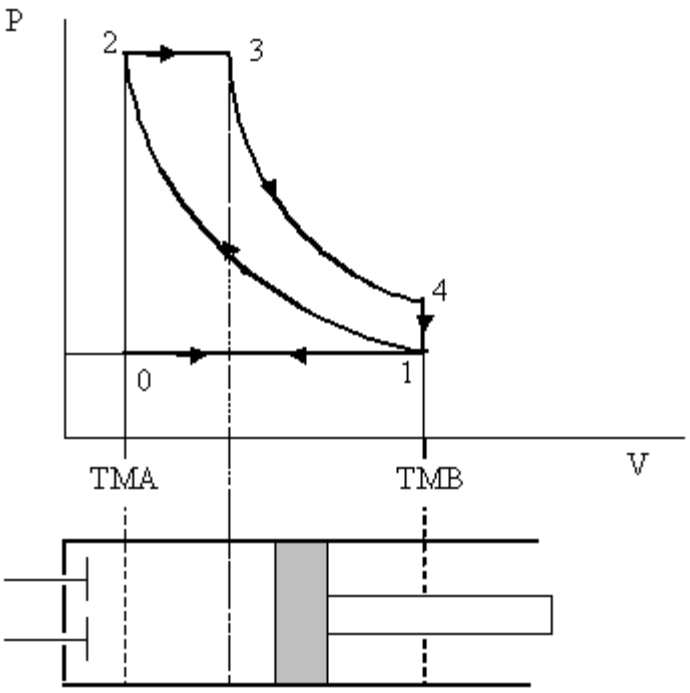
Saat piston telah mencapai TMB, katup buang telah terbuka secara otomatis sedangkan katup hisap masih pada posisi tertutup. Langkah ini dianggap sebagai langkah pelepasan kalor gas pembakaran yang terjadi pada volume konstan.

b. Proses 1→0 : Langkah buang tekanan konstan

Selanjutnya piston bergerak kembali dari TMB menuju TMA. Gas pembakaran didesak keluar melalui katup buang (saluran buang) dikarenakan bergeraknya piston menuju TMA. Langkah ini dianggap sebagai langkah pembuangan gas pembakaran pada tekanan konstan.

2.1.2 Motor Diesel

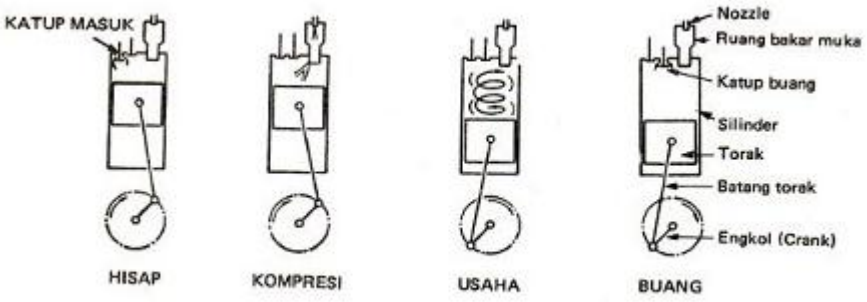
Motor bakar diesel dikenal juga sebagai motor penyalaan kompresi (*Compression Ignition Engines*). Berbeda halnya dengan motor bakar bensinyang menggunakan busi untuk dapat melangsungkan proses pembakaran bahan bakar di dalam silinder, pada motor bakar diesel ini proses penyalaan dapat terjadi dengan sendiri (tanpa butuh tambahan energi dari busi). Proses pembakaran dapat terjadi di dalam silinder motor bakar diesel ini karena bahan bakar solar yang dikontakkan dengan udara terkompresi bertemperatur dan bertekanan sangat tinggi di dalam silinder, dimasukkan dengan cara disemprotkan pada tekanan tinggi, sehingga dihasilkan butirbutir bahan bakar yang sangat halus. Akibatnya, panas yang terkandung/diberikan oleh udara terkompresi tadi dapat membakar butirbutir halus bahan bakar ini. Oleh karena itu, pada motor bakar diesel ini tidak dipergunakan busi untuk memantik bahan bakar agar terbakar, seperti halnya pada motor bensin. Untuk lebih jelasnya proses-proses yang terjadi pada motor bakar bensin ini dapat dijelaskan melalui siklus ideal dari siklus udara bahan bakar volume konstan (siklus diesel) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 (Wardono, 2004).



Gambar 3. Diagram P-V Motor Diesel

(teknoperta.wordpress.com)

Proses- proses yang terjadi pada siklus udara bahan bakar tekanan konstan (siklus diesel) adalah sebagai berikut (Wardono, 2004):



Gambar 4. Siklus operasi motor bakar diesel 4-Langkah

(3.bp.blogspot.com)

2.2 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 mampu bakar atau *Combustible* yang utama adalah hidrogen dan oksigen. Sementara itu, Nitrogen adalah gas lembam dan tidak berpartisipasi dalam proses pembakaran. Selama proses pembakaran, butiran minyak bahan bakar menjadi elemen komponennya, yaitu hidrogen dan karbon, 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% dari panas yang ditimbulkan oleh pembentukan karbon monoksida sebagaimana ditunjukkan oleh reaksi kimia berikut (Wardono, 2004).

reaksi cukup oksigen: $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 393{,}5\ kJ$, ... (1)

reaksi kurang oksigen: $C + \frac{1}{2}\ O_2 \rightarrow CO + 110{,}5\ kJ$ . ... (2)

Keadaan yang penting untuk pembakaran yang efisien adalah gerakan yang cukup antara bahan bakar dan udara, artinya distribusi bahan bakar dan bercampurnya dengan udara harus bergantung pada gerakan udara yang disebut pusaran. Energi panas yang dilepaskan sebagai hasil proses

pembakaran digunakan untuk menghasilkan daya motor bakar tersebut. Reaksi pembakaran dapat diliat di bawah ini :

$$C_xH_y + (O_2 + 3{,}773N_2) \longrightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + CO + NO_x + HC \quad ... (3)$$

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 pemantik telah mampu memisah/memutuskan ikatan antar partikel oksigen (O-O) menjadi partikel “O” dan “O”, dan juga mampu memutuskan ikatan antar partikel bahan bakar (C-H dan/atau 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). Zat-zat pencemar udara dari hasil pembakaran dalam gas buang yaitu senyawa HC, CO, dan CO_2.

2.2.1. Karbon monoksida (CO)

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa karbon monoksida (CO) sebagai gas yang cukup banyak terdapat di udara, dimana gas ini terbentuk akibat adanya suatu pembakaran yang tidak sempurna. Kendaraan bermotor memberi andil yang besar dalam peningkatan kadar CO yang membahayakan. Karbon monoksida yang keluar dari knalpot akan berada di udara *ambient*, jika terhirup oleh manusia maka molekul tersebut akan masuk kedalam saluran pernapasan terus masuk ke dalam paru – paru dan kemudian akan menempel pada haemoglobin darah membentuk *carboxy haemoglobin* (COHb). Semakin tinggi konsentrasi CO yang terhirup oleh manusia maka semakin fatal resiko yang diterima oleh manusia tersebut, bahkan dapat menyebabkan kematian. Sifat CO yang berupa gas yang tidak berbau dan tidak berwarna serta sangat toksik tersebut, maka CO sering disebut sebagai silent killer. Efek terhadap kesehatan gas CO merupakan gas yang berbahaya untuk tubuh karena daya ikat gas CO terhadap Hb adalah 240 kali dari daya ikat CO terhadap O_2. Apabila gas CO darah (HbCO) cukup tinggi, maka akan mulai terjadi gejala antara lain pusing kepala (HbCO 10%), mual dan sesak nafas (HbCO 20%), gangguan penglihatan dan konsentrasi menurun (HbCO 30%) tidak sadar, koma (HbCO 40-50%) dan apabila berlanjut akan dapat menyebabkan kematian. Pada paparan menahun akan menunjukkan gejala gangguan syaraf, infark otak, infark jantung dan kematian bayi dalam kandungan. Gas CO yang tinggi di dalam darah dapat berasal dari rokok dan asap

dari kendaraan bermotor. Terhadap lingkungan udara dalam ruangan, gas CO dapat pula merupakan gas yang menyebabkan *building associated illnesses*, dengan keluhan berupa nyeri kepala, mual, dan muntah. Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, mudah terbakar dan sangat beracun. Merupakan hasil utama pembakaran karbon monoksida dan senyawa yang mengandung karbon monoksida yang tidak lengkap. Agar kadar emisi gas buang CO yang keluar dari knalpot dapat memenuhi standart baku mutu, maka perlu dilakukan upaya pengendalian antara lain dengan modifikasi mesin pembakar, pengembangan reaktor sistem pembuangan gas buang sehingga subtitusi bahan bakar untuk bensin menghasilkan polutan dengan konsentrasi rendah selama pembakaran, yaitu melakukan inovasi pada knalpot dengan penambahan *glass wool*, arang aktif, air atau bahan-bahan lain yang bersifat adsorben atau absorben. Arang aktif adalah arang yang telah mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimianya karena dilakukan perlakuan aktivasi dengan aktivator bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi, sehingga daya serap dan luas permukaan partikel serta kemampuan arang tersebut akan menjadi lebih tinggi. Ambang batas emisi gas buang karbon monoksida (Maryanto dkk, 2009).

2.2.2. Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon (HC) merupakan gas yang tidak begitu merugikan manusia, akan tetapi merupakan penyebab terjadinya kabut campuran

asap (*smog*). Pancaran hidrokarbon yang terdapat pada gas buang berbentuk gasoline yang tidak terbakar. Hidrokarbon terdapat pada proses penguapan bahan bakar pada tangki, karburator, serta kebocoran gas yang melalui celah antara silinder dan torak yang masuk ke dalam poros engkol yang biasa disebut *blow by gases* (Kusuma, 2002).

2.2.3. Karbondioksida (CO_2)

Emisi CO_2 menunjukan keadaan pembakaran bahan bakar yang baik dalam proses pembakaran di ruang bakar. Emisi CO_2 adalah reaksi kimia dari emisi CO yang bereaksi dengan sedikit oksigen dan panas yang diakibatkan dari panasnya mesin kendaraan dan saluran pembuangan gas buang kendaraan. Kadar kosentrasi CO_2 yang tinggi antara 12 % - 15 % menunjukan pembakaran dalam ruang bakar terjadi pembakaran sempurna. Jika kadar CO_2 dibawah 12 % mengindikasikan kadar perbandingan bahan bakar dan udara kurang baik (Kosegeran, 2013).

2.3 Parameter Prestasi Motor Bensin 4 – Langkah

Prestasi mesin biasanya dinyatakan dengan efisiensi *thermal*, η_{th}. Karena pada motor bakar 4 langkah selalu berhubungan dengan pemanfaatan energi panas/ kalor, maka efisiensi yang dikaji adalah efisiensi *thermal*. Efisiensi *thermal* adalah perbandingan energi (kerja/daya) yang berguna dengan energi yang

diberikan. Prestasi mesin dapat juga dinyatakan dengan daya output dan pemakaian bahan bakar spesifik engkol yang dihasilkan mesin. Daya output engkol menunjukkan daya *output* yang berguna untuk menggerakkan sesuatu atau beban. Sedangkan pemakaian bahan bakar spesifik engkol menunjukkan seberapa efisien suatu mesin menggunakan bahan bakar yang disuplai untuk menghasilkan kerja. Prestasi mesin sangat erat hubungannya dengan parameter operasi, besar kecilnya harga parameter operasi akan menentukan tinggi rendahnya prestasi mesin yang dihasilkan (Wardono, 2004). Untuk mengukur prestasi kendaraan bermotor bensin 4 langkah dalam aplikasinya diperlukan parameter sebagai berikut : (Niwatana, 2010).

1. Konsumsi bahan bakar, semakin sedikit konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor bensin 4 – langkah, maka semakin tinggi prestasinya.
2. Akselerasi, semakin tinggi tingkat akselerasi kendaraan bermotor bensin 4 -langkah maka prestasinya semakin meningkat.
3. Waktu tempuh, semakin singkat waktu tempuh yang diperlukan pada kendaraan bermotor bensin 4-langkah untuk mencapai jarak tertentu, maka semakin tinggi prestasinya.
4. Putaran mesin, putaran mesin pada kondisi *idle* dapat menggambarkan normal atau tidaknya kondisi mesin. Perbedaan putaran mesin juga menggambarkan besarnya torsi yang dihasilkan.

2.4 Gas Polutan

Gas-gas polutan adalah gas-gas yang menyebabkan terjadinya polusi atau pencemaran udara. Gas-gas polutan akan menyebabkan berbagai macam penyakit mulai penyakit pernapasan hingga penyakit organ dalam. Pada Tabel 1 ditampilkan berbagai macam gas polutan di udara bebas beserta batas amannya bagi kesehatan (Jati, 2013).

Tabel 1. Daftar gas polutan dan batas aman bagi kesehatan

No	Gas	Batas Aman
1	Hidrokarbon (HC)	0,24 ppm/3 jam
2	Karbon monoksida (CO)	5000 ppm/8 jam
3	Karbon dioksida (CO_2)	35 ppm/1 jam
4	Nitrogen dioksida (NO_2)	100 ppb/1 jam
5	Hidrogen sulfida (H_2S)	15 ppm/15 menit
6	Etanol (C_2H_5OH)	1000 ppm/ 1 jam
7	Amoniak (NH_3)	25 ppm/1 jam
8	Hidrogen (H_2)	-

Tabel 2. Ambang batas emisi gas buang untuk sepeda motor

Kategori	Tahun Pembuatan	CO (%)	HC (ppm)	Metode Uji
Motor 2-T	< 2010	4,5,	12.000	Stasioner
Motor 4-T	< 2010	5,5	24.000	Stasioner
Motor 2 & 4-T	>2010	4,5	2.000	Stasioner

(Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) DKI Jakarta)

2.5 Saringan Udara (*Air Filter*)

Gambar 5. Saringan udara

Saringan udara merupakan salah satu perangkat kendaraan yang memiliki peranan sangat penting dan memliki akses langsung dengan ruang bakar dalam mesin. Pada umumnya ada dua tipe pemakaian saringan udara diantaranya yaitu sistem terbuka (*open*) dan sistem tertutup. Jika ingin mencari kualitas kebersihan daripada ruang bakar, pemakaian saringan udara standar merupakan pilihan yang tepat, namun jika ingin mencari sesuatu yang berbeda dari performa mesin maka bisa menggunakan saringan udara *replacement.* Udara mengandung banyak partikel, jika tidak dibersihkan akan mengakibatkan kerusakan yang serius pada komponen *engine*, seperti pada rotor *turbo charge* (untuk tipe *engine* yang menggunakan *turbo charge*) ataupun pada piston. *Diesel engine* sangat bergantung sekali dengan suplai udara bersih, karena campuran udara dan bahan bakar langsung dicampur di ruang pembakaran tidak seperti *gasoline engine* yang udara dan bahan bakar dicampur di karburator. Karenanya diperlukan filter udara yang selalu bersih untuk menunjang beroperasinya kerja mesin secara optimal (Fuhaid, 2010).

2.6 Limbah Kelapa Sawit

Dalam kegiatan operasional di Pabrik Kelapa Sawit, disamping akan dihasilkan produk utama (*Main Product*) berupa CPO dan PKO, juga akan dihasilkan produk sampingan (*By-Product*), baik berupa limbah padat maupun limbah cair dan juga polutan ke udara bebas. Berdasarkan jenis dan komposisi limbah di atas diketahui bahwa limbah cair memiliki kontribusi yang besar, yaitu antara 55% sampai 67% dari total TBS yang diolah. Limbah Pabrik Kelapa Sawit memiliki potensi nutrisi yang tinggi sebagai sumber nutrisi bagi pertumbuhan tanaman. Aplikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LC PKS), Janjang Kosong, Kompos dan Abu Janjang mampu berperan sebagai pengganti pupuk konvensional (pupuk anorganik) yang murah dan dengan kandungan unsur hara (nutrisi) yang cuku memadai untuk menggantikan sumber nutrisi yang dibutuhkan tanaman. Pemilihan bentuk dan metode aplikasi limbah harus dengan memperhatikan topografi, jenis tanah, jarak areal aplikasi dari PKS, biaya serta faktor lingkungan (Loekito, 2002).

2.6.1 Abu kelapa sawit (*Ash*)

Abu cangkang kelapa sawit (ACKS) adalah limbah padat yang berasal dari pembakaran cangkang kelapa sawit yang dipergunakan sebagai bakar untuk menghasilkan uap pada proses penggilingan minyak sawit. Di Indonesia, dari 21,4 juta Ha areal perkebunan nasional, sekitar 42,39% atas lahan perkebunan itu ditanami kelapa sawit. Lahan seluas

9,07 juta Ha kelapa sawit itu menghasilkan CPO (*crude palm oil*/minyak sawit) terbesar di dunia, yaitu sebesar 23,52 ton pada tahun 2012. Pemprosesan buah kelapa sawit menjadi ekstrak minyak sawit menghasilkan limbah padat yang sangat banyak dalam bentuk serat, cangkang dan tandan buah kosong. Setiap 100 ton tandan buah segar yang diproses akan menghasilkan lebih kurang 20 ton cangkang, 7 ton serat dan 25 ton tandan kosong. Cangkang selanjutnya digunakan lagi sebagai bahan bakar untuk menghasilkan uap pada penggilingan minyak sawit. Pembakaran dalam ketel uap dengan menggunakan cangkang kelapa sawit ini akan menghasilkan 5% (1 ton) abu cangkang sawit dengan ukuran butiran yang sangat halus. Abu hasil pembakaran ini biasanya dibuang dekat pabrik sebagai limbah padat yang tidak termanfaatkan, bahkan berpotensi menimbulkan gangguan terhadap lingkungan dan kesehatan. Abu cangkang kelapa sawit memiliki kandungan utama Silikon oksida (SiO_2) yang memiliki sifat reaktif dan aktivitas pozzolanik bagus yang bisa beraksi menjadi bahan yang keras dan kaku. Hasil uji komposisi unsur kimia dari abu cangkang kelapa dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut : (Fauziah, 2013).

Tabel 3. Unsur Kimia Abu Cangkang Kelapa Sawit

Unsur Kimia	**Persentase (%)**
Silikon dioksida (SiO_2)	58,02
Alunimium oksida (Al_2O_3)	8,7
Besi oksida (Fe_2O_3)	2,6
Kalium oksida (CaO)	12,65
Magnesium oksida (MgO)	4,23

2.7 Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu akibat dari medan gaya pada permukaan padatan (*adsorben*) yang menarik molekul-molekul gas atau cair (*adsorbat*). Menurut Reynold (1982, dalam prayitno 2014), adsorpsi adalah suatu proses dimana suatu partikel menempel pada suatu permukaan akibat dari adanya perbedaan muatan lemah diantara kedua benda, sehingga akhirnya akan membentuk suatu lapisan tipis partikel-partikel halus pada permukaan tersebut. Adapun mekanisme penyerapan adalah sebagai berikut:

1. Molekul *adsorbat* berpindah menuju lapisan terluar dari *adsorben*.
2. Karbon aktif dalam kesatuan kelompok mempunyai luas permukaan pori yang besar sehingga dapat mengadakan penyerapan terhadap *adsorbat*.
3. Sebagian *adsorbat* ada yang teradsorpsi di permukaan luar, tetapi sebagian besar teradsorpsi di dalam pori-pori adsorben dengan cara difusi.
4. Bila kapasitas adsorpsi masih sangat besar, sebagian besar molekul adsorbat akan teradsorpsi dan terikat di permukaan. Tetapi bila permukaan pori *adsorben* sudah jenuh dengan adsorbat maka akan terjadi dua kemungkinan, yaitu terbentuk lapisan adsorpsi kedua, ketiga dan seterusnya dan tidak terbentuk lapisan adsorpsi kedua, ketiga dan seterusnya sehingga adsorbat yang belum teradsorpsi akan terus berdifusi keluar pori. (Reynold, 1982 dalam Prayitno, 2014)

Adsorpsi gas oleh zat padat ditandai oleh hal-hal sebagai berikut :

1. *Adsorpsi* bersifat selektif, artinya suatu adsorben dapat menyerap suatu gas dalam jumlah besar, tetapi menyerap gas-gas lain dalam jumlah yang lebih kecil.
2. *Adsorpsi* terjadi sangat cepat, yaitu kecepatan adsorpsinya semakin berkurang dengan semakin banyaknya gas yang diserap.
3. *Adsorpsi* tergantung pada luas permukaan *adsorben*, semakin porus *adsorben* maka semakin besar daya adsorpsinya.
4. Jumlah gas yang diadsorpsi persatuan berat *adsorben* tergantung pada tekanan parsial (*partial presure*) gas, maka semakin besar tekanan maka semakin banyak gas diserap.

2.8 Hidrofilik dan Hidrofobik

Hidrofilik diambil dari dua kata yaitu hidro yang berarti air dan filik yang berarti suka. Jadi hidrofilik adalah zat yang dapat larut dalam air dan mengadsorpsi uap air. Sedangkan hidrofobik diambil dari kata hidro yang berarti air dan fobik yang berarti tidak suka. Zat-zat yang bersifat hidrofobik adalah zat yang tidak dapat larut dalam air tetapi dapat larut dalam minyak (Brown dkk, 2009).

Kemampuan suatu adsorben dalam mengadsorpsi karbon monoksida sangat bergantung pada rasio Si/Al. Rasio Si/Al rendah, bersifat hidrofilik

mempunyai afinitas tinggi terhadap air dan senyawa polar lainnya. Sebaliknya, jika rasio Si/Al tinggi maka bersifat hidrofobik dan mengadsorpsi senyawa non-polar. Agar adsorben dapat mengadsorpsi karbon monoksida dibanding uap air, maka adsoben harus bersifat hidofobik yaitu pada rasio Si/Al antara 8 hingga 10 (Yuliusman dkk, 2013).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan Penelitian

3.1.1 Spesifikasi sepeda motor bensin 4-langkah 125 cc

1. Spesifikasi motor bensin 4-langkah 125 cc

   Dalam penelitian ini, mesin uji yang digunakan adalah motor bensin 4-langkah 125 cc, dengan merk Suzuki Thunder 125. Adapun spesifikasi mesin uji yang digunakan adalah sebagai berikut.

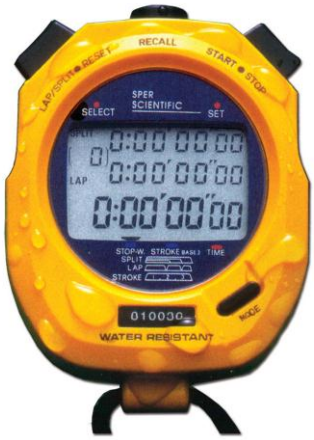
Merk dan tipe	: Suzuki Thunder 125
Tipe mesin	: 4 langkah, SOHC
Sistem pendingin	: Pendingin udara
Jumlah silinder	: 1 (satu)
Diameter silinder	: 57 mm
Langkah piston	: 48,8 mm
Kapasitas silinder	: 125 cc
Perbandingan kompresi	: 9,2 : 1
Gigi transmisi	: Rotary 5 Kecepatan (1-N-2-3-4-5)
Kapasitas tangki bahan bakar	: 15 liter
Tahun Pembuatan	: 2008

3.1.2 Alat yang digunakan

Berikut adalah alat-alat yang digunakan selama penelitian beserta keterangannya:

1. Stopwatch

   Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu pada saat pengujian.



Gambar 6. Stopwatch

2. Tachometer

   Tachometer yang dipakai dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui putaran mesin (rpm).

Gambar 7. Tachometer

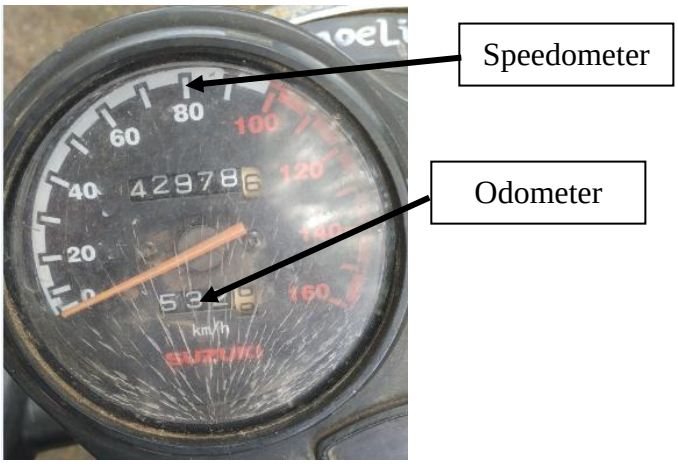
3. Cetakan

Sebagai alat untuk mencetak hasil campuran fly ash, air dan tapioka yang sebelumnya diaduk.

Gambar 8. Cetakan

4. Perangkat analog

Dalam penelitian ini, Speedometer, odometer, sudah berada dalam satu unit panel analog motor pada dashboard. Speedometer dengan ketelitian 10 km / jam, odometer dengan ketelitian 100 m.



Gambar 9. Perangkat analog

5. Tangki bahan bakar buatan 150 ml

   Digunakan sebagai wadah bahan bakar ketika proses pengambilan data. Sehingga tidak menggunakan tangki bahan bakar motor agar lebih mudah dalam proses pengukuran konsumsi bahan bakar.

Gambar 10. Tangki bahan bakar buatan 150 ml

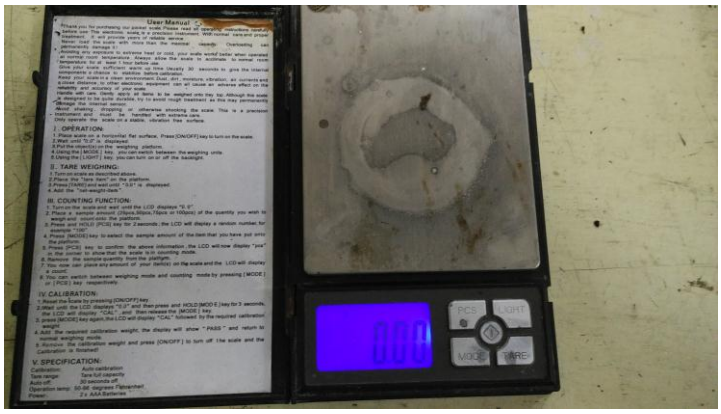
6. Oven

   Digunakan untuk mengeringkan fly ash yang telah dibentuk pelet dan digunakan untuk aktivasi fisik.

Gambar 11. Oven

7. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur berat fly ash sebelum dilakukan pencampuran dalam pembuatan fly ash pelet.



Gambar 12. Timbangan Digital

8. Kompor listrik

Digunakan untuk memasak atau memanaskan campuran tepung tapioka dan air.

Gambar 13. Kompor Listrik

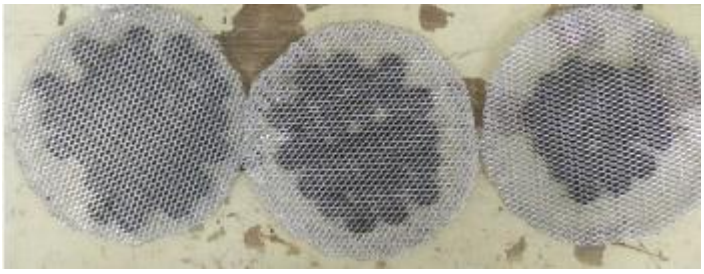
9. Ampia

Digunakan untuk menggiling campuran *fly ash* dengan air dan tapioka untuk mendapatkan ketebalan 3 mm.

Gambar 14. Ampia

10. Kemasan fly ash

Fly ash pelet dikemas dengan menggunakan kawat yang besarnya disesuaikan dengan ruangan pada rumah saringan udara.



Gambar 15. Kemasan Fly ash

3.1.3 Bahan yang digunakan

1. *Fly ash* limbah sawit

   Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PTPN VII Unit Usaha Bekri yang mengandung komposisi kimia SiO_2, Al_2O_3, MgO, CaO dan Fe_2O_3

2. Air mineral

   Air ini dipakai untuk mencampur *fly ash* agar mudah dibentuk menjadi pelet *fly ash*. Air mineral yang digunakan adalah air merk aqua.

3. Tepung Tapioka

   Tepung tapioka yang digunakan adalah tepung tapioka yang dijual di pasaran Bandar Lampung yang berfungsi sebagai bahan perekat.

3.2 Persiapan Bahan

Setelah bahan dipersiapkan, maka terlebih dahulu *fly ash*, air dan tepung tapioka ditimbang dengan menggunakan timbangan digital sesuai komposisi dari konsentrasi yang ditentukan untuk tiap spesimen pelet. Untuk pencetakan fly ash pelet ini mengunakan campuran komposisi sebagai berikut :

Tabel 4. Variasi komposisi pelet

Varian	Komposisi (%)		
	Fly Ash	Air	Tapioka
1	79	15	6
2	76	20	4
3	78	20	2

3.3 Prosedur Aktivasi *Fly Ash*

Berikut ini adalah langkah-langkah pengaktivasian fisik *fly ash* limbah sawit, yaitu :

1. Mencampur air mineral dengan tapioka dimasak kurang lebih 5 menit hingga campuran tersebut berbentuk seperti lem.
2. Mengaduk campuran tersebut dengan *fly ash* hingga merata.
3. Mencetak *fly ash* pelet dengan ukuran diameter lebar 10 mm dan tebal 3 mm. Hasil cetakan fly ash pelet tersebut didiamkan pada pada temperatur ruangan (secara alami) hingga fly ash kering.
4. Mengaktivasi fisik pelet dengan variasi temperatur yaitu 175^{o}C, 200^{o}C, dan 225^{o}C.
5. Melakukan pengujian daya rekat untuk mendapatkan temperatur aktivasi terbaik.
6. Mengaktivasi fisik kembali variasi waktu aktivasi yaitu 60 menit, 40 /menit, dan 20 menit dengan temperatur aktivasi terbaik yang sudah didapatkan sebelumnya.

7. Melakukan pengujian daya rekat untuk mendapatkan waktu aktivasi terbaik.
8. Melakukan pengujian daya rekat untuk menentukan variasi komposisi dengan kekerasan yang terbaik terbaik.
9. Mengemas *fly ash* pelet dengan alat tambahan berupa kawat strimin.
10. Meletakkan *fly Ash* pelet yang telah dikemas ke dalam saringan udara sepeda motor. Massa pelet *fly ash* yang di gunakan ada tiga variasi yaitu 6 gram, 4,5 gram, dan 3 gram. Karena saat meletakkan pelet ke dalam kemasan, massa maksimalnya 6 gram.

3.4 Prosedur Pengujian

Adapun prosedur pengujian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengujian daya rekat *fly ash* pelet
   a. Menimbang massa *fly* ash pelet dengan jumlah pelet sebanyak 15 butir.
   b. Memasukkan *fly ash* pelet kedalam kantung plastik kecil
   c. Mengguncangkan *fly ash* pelet seperti Gambar 16 sebanyak 50 kali.

Gambar 16. Pengujian daya rekat pelet

d. Menimbang kembali massa *fly ash* pelet

e. Mengulangi langkah b – d

2. Pengujian pada sepeda motor bensin

a. Melakukan servis rutin (*tune up*) terlebih dahulu sebelumnya agar sepeda motor mempunyai kondisi yang prima.

b. Memanaskan mesin sepeda motor selama 5 menit .

c. Memasang tangki buatan di sepeda motor

d. Melakukan pengujian stasioner dengan variasi putaran mesin 1000, 3000, dan 5000 rpm selama 5 menit. Setiap pengujian dilakukan, selalu mengukur volume awal dan volume akhir bahan bakar. Dan melakukan pengulangan sebanyak 3 kali.

e. Melakukan pengujian berjalan sejauh 5 km dengan kecepatan rata-rata 60 km/jam. Setiap melakukan pengujian, selalu mengukur volume awal dan volume akhir bahan bakar. Dan melakukan pengulangan sebanyak 3 kali.

f. Melakukan pengujian akselerasi dengan kecepatan 0-80 km/jam dengan mencatat waktu yang ditempuh. Melakukan pengulangan hingga 3 kali pengujian

g. Melakukan pengujian akselerasi dengan kecepatan 50-80 km/jam dengan mencatat waktu yang ditempuh. Melakukan pengulangan hingga 3 kali pengujian

h. Melakukan langkah d – g menggunakan semua sampel uji *fly ash* pelet.

i. Melakukan pengujian emisi gas buang

Adapun prosedur dalam pengujian emisi gas buang adalah sebagai berikut :

1) Pemanasan Mesin

   Tujuan dilakukannya pemanasan mesin adalah untuk mempersiapkan mesin pada kondisi kerja.

2) Kalibrasi Gas Analizer

   Setelah mesin berada pada kondisi kerja kemudian dilakukan kalibrasi gas analizer. Kalibrasi ini dilakukan secara otomatis.

3) Pengujian dengan dan tanpa menggunakan fly ash.

   Data yang didapatkan dari hasil pengukuran ini digunakan sebagai pembanding dengan data pada pengukuran menggunakan fly ash.

   Langkah-langkah pengukuran sebagai berikut:

   a) Mesin dalam keadaan menyala dalam kondisi idle 1500 rpm dan probe sensor sudah dimasukkan dalam knalpot.
   b) Nilai pada fuel gas analizer diprint datanya setelah 5 menit motor dihidupkan.
   c) Kemudian dengan langkah yang sama pula, pengukuran dilakukan kembali untuk putaran mesin yang berbeda yaitu 3500 rpm dengan menggunakan sampel yang berbeda sebagai perbandingan.

3.5 Pengambilan Data

Data yang diambil dalam pengujian ini adalah pengujian daya rekat pelet, dan prestasi mesin pada pengujian stasioner dan pengujian berjalan untuk melihat perbandingan konsumsi bahan bakar, akselerasi untuk mengetahui waktu tempuh menuju kecepatan tertentu, dan pengujian emisi untuk mengetahui emisi gas buang kendaraan dengan tanpa *fly ash* dan menggunakan *fly ash*. Berikut langkah dalam pengambilan data :

1. Pengujian daya rekat

   Pengujian daya rekat dilakukan untuk mendapatkan temperatur aktivaasi, waktu aktivasi, dan komposisi terbaik yang memiliki ketahanan yang paling baik terhadap guncangan. Data yang didapat dicatat didalam tabel seperti berikut ini :

   Tabel 5. Data pengujian daya rekat pelet untuk menentukan temperatur aktivasi terbaik

Temperatur Aktivasi (^oC)	Massa Awal (gr)	Massa Setelah Pengujian Ke-	
		1	2

Tabel 6. Data pengujian daya rekat pelet untuk menentukan waktu aktivasi terbaik

Temperatur Aktivasi Terbaik (^oC)	Waktu Aktivasi (menit)	Massa Awal (gr)	Massa Setelah Pengujian Ke-	
			1	2

Tabel 7. Data pengujian daya rekat pelet untuk menentukan komposisi terbaik

Komposisi *Fly Ash* (%)	Komposisi Air (%)	Massa Awal (gr)	Massa Setelah Pengujian Ke-	
			1	2

2. Pengujian konsumsi bahan bakar

Pengujian ini terdiri dari 2 pengujian, yaitu :

a. Pengujian stasioner

Pengujian ini dilakukan dengan mengukur konsumsi bahan bakar dengan dan tanpa saringan udara pelet *fly ash* dengan cara menguji pada kendaraan dengan kondisi diam dan pada putaran tertentu. Data yang di dapat dicatat didalam tabel sebagai berikut :

Tabel 8. Data pengujian stasioner

Komposisi Tapioka (%)	Variasi Massa (gr)	Putaran (rpm)	Pengujian ke	Konsumsi bahan bakar (mL)
	6	1000	1	
		3000	2	
		5000	3	
	4,5	1000	1	
		3000	2	
		5000	3	
	3	1000	1	
		3000	2	
		5000	3	

b. Pengujian berjalan 5 km (60km/jam)

Pengujian berjalan dilakukan untuk melihat konsumsi bahan bakar kendaraan dengan dan tanpa saringan udara pelet *fly ash*. Pengujian ini dilakukan sebanyak tiga kali dengan kecepatan konstan 60 km/jam dan berjarak 5 km. Data hasil pengujian dicatat di dalam tabel seperti berikut :

Tabel 9. Data pengujian berjalan 5 km kecepatan 60 km/jam

Variasi Tapioka (%)	Variasi Massa (gr)	Peengujian Ke-	Konsumsi Bahan Bakar (mL)
		1	
		2	
		3	
		1	
		2	
		3	

3. Pengujian akselerasi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui waktu tempuh sepeda motor dalam mencapai kecepatan tertentu. Dalam pengujian ini kecepatan yang ditentukan adalah 0 – 80 km/jam dan 50 – 80 km/jam. Data hasil pengujian dicatat didalam tabel sebagai berikut :

Tabel 10. Data hasil pengujian akselerasi

Variasi Tapioka (%)	Variasi Massa (mL)	Pengujian ke	Waktu Tempuh (s)
		1	
		2	
		3	
		1	
		2	
		3	

4. Pengujian emisi gas buang

   Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan polutan yang dihasilkan dari pembakaran sepeda motor bensin dengan dan tanpa saringan udara pelet *fly ash.* Data hasil pengujian dicatat di dalam tabel sebagai berikut :

   Tabel 11. Data hasil pengujian emisi gas buang kendaraan

Komposisi Tapioka (%)	Massa Pelet (gr)	Putaran Mesin (rpm)	Pengujian ke	Kadar CO (%)	Kadar HC (ppm)	Kadar CO_2 (%)
		1500	1			
			2			
			3			
		3500	1			
			2			
			3			

3.6 Lokasi Penelitian

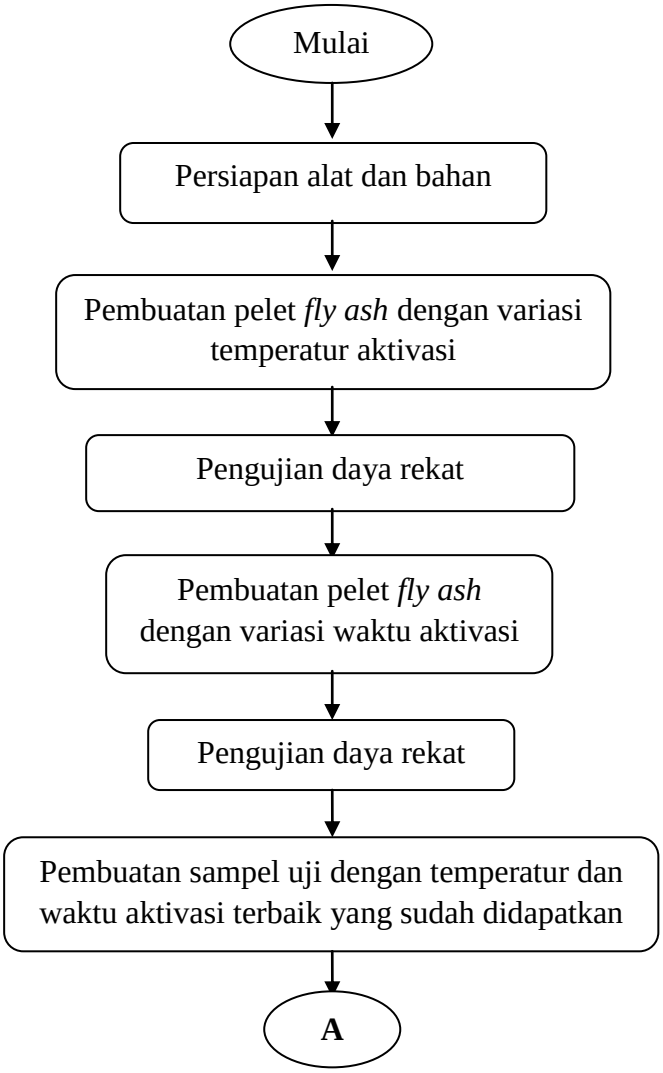
Adapun beberapa lokasi penelitian adalah sebagai berikut :

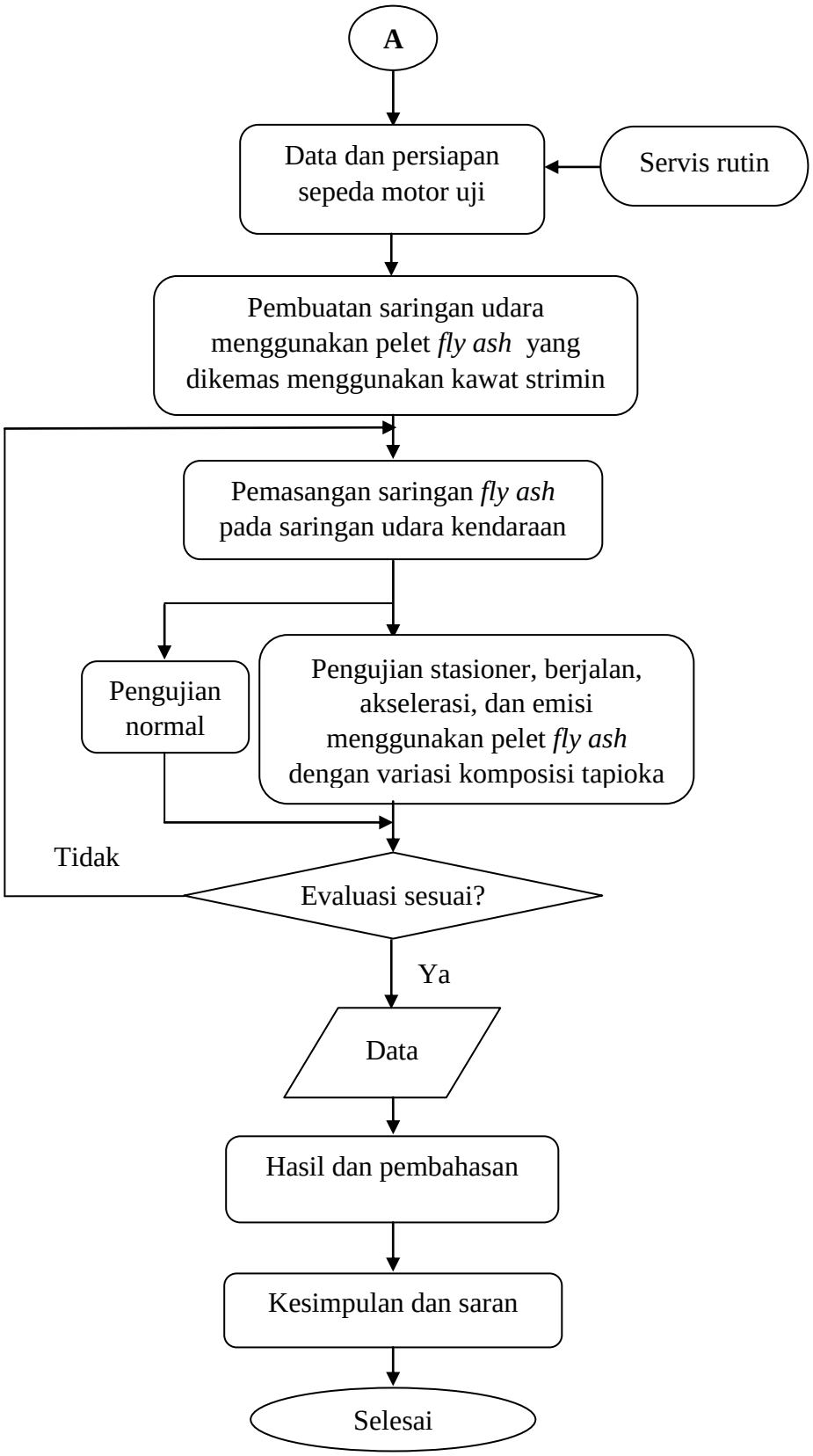
1. Pembuatan sampel dan pengujian daya rekat dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
2. Pengujian stasioner dilakukan di belakang gedung H Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3. Pengujian berjalan dan akselerasi dilakukan di Kota Baru (dekat Institut Teknologi Seumatera), Bandar Lampung.
4. Pengujian emisi gas buang dilakukan di belakang Gedung H Teknik Mesin Universitas Lampung (alat milik Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Lampung).

3.7 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :





Gambar 17. Diagram alir penelitian

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan data hasil pengujian yang diperoleh (data daya rekat pelet, konsumsi bahan bakar pada pengujian stasioner, data konsumsi bahan bakar pada pengujian berjalan 5 km dengan kecepatan rata-rata 50 km/jam, data pengujian akselerasi, dan data pengujian emisi gas buang kendaraan) pada motor bensin uji Suzuki Thunder 125 cc, didapat beberapa simpulan sebagai berikut :

1. Temperatur aktivasi pelet *fly ash* limbah yang terbaik adalah 175^{o}C, dengan waktu aktivasi terbaik adalah 40 menit.

2. Semakin banyak jumlah komposisi perekat (tapioka) yang digunakan dalam komposisi pelet *fly ash* limbah sawit, maka akan memiliki daya rekat yang semakin tinggi.

3. Komposisi pelet *fly ash* yang paling baik dalam menghemat konsumsi bahan bakar, meningkatkan akselerasi mesin dan mereduksi emisi gas buang adalah komposisi tapioka 6%, *fly ash* 79%, dan air 15% dengan massa 6 gram.

4. Penghematan yang terjadi pada pengujian stasioner hingga 37,778% (5,667 ml) pada putaran 1000 rpm, 28,333% (5,667 ml) pada putaran 3000 rpm, dan 18,269% (6,333 ml) pada putaran 5000 rpm. Pada pengujian berjalan terjadi penghematan sebesar 7,082% (8,333 ml).

5. Pada pengujian akselerasi, pelet *fly ash* dapat meningkatkan akselerasi mesin sebesar 4,762% (1,333 detik) pada akselerasi 0 – 80 km/jam dan 17,241% (1,667 detik) pada akselerasi 50 – 80 km/jam.

6. Penggunaan *filter* pelet *fly ash* juga dapat mereduksi CO hingga 85,486% (1,496%) pada putaran 1500 rpm. Selain itu, juga dapat mereduksi HC sebesar 89,768% (658 ppm) pada putaran 1500 rpm dan 36,971% (113,5 ppm) pada putaran 3500 rpm.

7. Semakin banyak jumlah *fly ash* limbah sawit yang digunakan (pelet pada komposisi tapioka 6%) dalam komposisi pelet, maka semakin tinggi penghematan bahan bakar dan akselerasi mesin. Selain itu, semakin tinggi juga dalam mereduksi emisi gas buang kendaraan.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang ingin diberikan agar penelitian ini dapat lebih dikembangkan lagi adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan lagi pengujian dengan variasi komposisi perekat (tapioka) dengan menambahkan jumlah tapioka untuk mendapatkan komposisi pelet *fly ash* terbaik yang lebih akurat.
2. Perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan kondisi cuaca yang berbeda untuk mengetahui pengaruh penggunaan *filter* pelet *fly ash* terhadap berbagai kondisi cuaca.
3. Perlu dilakukan pengujian daya rekat pelet *fly ash* dengan menggunakan alat uji getaran untuk melihat daya rekat pelet terhadap berbagai frekuensi getaran.

DAFTAR PUSTAKA

Akbar, Fajril dkk. 2012. "Kajian Variasi Perbandingan Volume Reaktan Pada Sintesis Zeolit 4A Dari Fly Ash Sawit Dengan Temperatur 70^{o}C dan 80^{o}C". Lembaga Penelitian Universitas Riau. *Jurnal Teknobiologi III(2) :97- 103.*

Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) Provinsi DKI Jakarta. 2009. *Kriteria Mobil dan Motor Lulus Uji Emisi di DKI Jakarta.* http://tekno.kompas.com/read/2009/11/30/18001729/kriteria.mobil.dan.motor.lulus.uji.emisi.di.dki.jakarta diakses pada tanggal 8 Agustus 2016

Basyirun dkk. 2008. *Mesin Konversi Energi*. Semarang : Universitas Negeri Semarang.

Brown, T.L., H.E. Lemay, B.E. Bursten dan C.J. Murphy. 2009. *Chemistry The Central of Science 11th ed*. New Jersey : Pearson Education International

Fauziah, Miftahul. 2013. "Pemanfaatan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Tambah Untuk Meningkatkan Kekuatan dan Keawetan Campuran Asphal Concrete Binder Course (AC-BC)". *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, Solo, Jawa Tengah

Fuhaid, Naif. 2010. "Pengaruh Filter Udara Pada Karburator Terhadap Unjuk Kerja Mesin Sepeda Motor". Proton. *Vol. 2 No. 2 : 39 – 45.*

Jati, Hafizh AP. 2013. “Deteksi dan Monitoring Polusi Udara Berbasis Array Sensor Gas”. IJEIS. *Vol 3, No. 2.*

Kosegeran. 2013. “Perancangan Alat Ukur Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO_2) dan Hidro Karbon (HC) Pada Gas Buang Kendaraan”. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, Vol. 2, No.3*.

Kusuma, I Gusti Bagus Wijaya. *Desember* 2002. “Alat Penurun Emisi Gas Buang Pada Motor, Mobil, Motor Tempel dan Mesin Pembakaran Tak Bergerak”. *Makara, Teknologi, Vol. 6 No 3*.

Loekito, Henry. 2002. “Teknologi Pengolahan Limbah Industri Kelapa Sawit”. BPPT. *Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol. 3 No. 3.*

Maryanto dkk. 2009. “Penurunan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) Dengan Penambahan Arang Aktif Pada Kendaraan Bermotor Di Yogyakarta”. *Kes Mas Vol.3, No. 3 :162 – 232.*

Media Indonesia.2015. *Polusi Turunkan Prestasi Anak* http://www.lampost.co/berita/polusi-turunkan-prestasi-anak diakses 29 Desember 2015

Niwatana, Sonic. 2010. *Aplikasi Zeolit Pelet Perekat Yang Diaktivasi Basa-Fisik Untuk Mengamati Prestasi Mesin Sepeda Motor Bensin 4-Langkah dan Emisi Gas Buangnya.* Skripsi Sarjana, Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung.

Prayitno, Hadi. 2014. “Pengaruh Penggunaan Fly Ash Cangkang Dan Serabut Kelapa Sawit Bentuk Pelet Terhadap Prestasi Mesin Dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor Bensin 4-Langkah”. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Vol 2, No 2 (2014): Jurnal FEMA Vol.2 No.2*

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.

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

Yuliusman dkk. *April* 2013. "Pemilihan Adsorben Untuk Penyerapan Karbon Monoksida Menggunakan Model Adsorpsi Isotermis Langmuir". LIPI. *Reaktor, Vol. 14 No. 3.*

_____http://rodadua.web.id/wp-content/uploads/2012/06/four_stroke_engine.jpg diakses tanggal 29 Desember 2015

_____https://syairpuisiku.files.wordpress.com/2008/10/new-picture-3-copy.gif diakses tanggal 29 Desember 2015

_____https://teknoperta.wordpress.com/2008/09/18/motor-bakar-dan-traktor-pertanian-2/ diakses tanggal 29 Desember 2015

_____https://3.bp.blogspot.com/FQ840EIWM6E/UFeeXSiKj2I/AAAAAAAAAN4/8GJy-Fh9lYY/s1600/6.bmp diakses tanggal 29 Desember 2015