

**PEMANFAATAN ARANG SERBUK KAYU GERGAJI TERAKTIFASI
FISIK MENGGUNAKAN *MICROWAVE* SEBAGAI *FILTER* UDARA
UNTUK MENINGKATKAN PRESTASI MESIN DAN *MEREDUKSI* EMISI
GAS BUANG MESIN BENSIN 4 – LANGKAH TECUMSEH TD110**

(Skripsi)

Oleh

MUHAMMAD BAYU DIRGANTARA

(1755021006)



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2022

ABSTRAK

PEMANFAATAN ARANG SERBUK KAYU GERGAJI TERAKTIFASI FISIK MENGGUNAKAN *MICROWAVE* SEBAGAI *FILTER* UDARA UNTUK MENINGKATKAN PRESTASI MESIN DAN *MEREDUKSI* EMISI GAS BUANG MESIN BENSIN 4 – LANGKAH TECUMSEH TD110

Oleh

Muhammad Bayu Dirgantara

Penghematan bahan bakar dapat dicapai dengan meningkatkan kinerja mesin menggunakan *filter* udara yang terbuat dari arang serbuk gergaji. *Filter* udara yang terbuat dari arang serbuk gergaji dapat digunakan untuk menyerap nitrogen (N₂) dan uap air (H₂O) yang terkandung dalam udara pembakaran. Penggunaan *filter* arang serbuk gergaji dapat memberikan udara kaya oksigen yang masuk ke ruang bakar untuk meningkatkan kualitas proses pembakaran. Pada penelitian ini *filter* dibuat dari arang serbuk gergaji yang diaktivasi secara fisik dengan pemanasan dalam temperatur 65°C, 54°C, 50°C selama 5 menit dan temperatur 225°C selama 1 jam, 30 menit. . pada berbagai komposisi 50%, 55%, 60%, dan *filter* after market, dan pada berbagai massa 50 gram renggang, 75 gram tidak renggang dan 100 gram rapat. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin bensin 4 tak Tecumseh TD110 yang bertempat di Laboratorium Motor Bakar dan Propulsi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Berdasarkan percobaan, ditemukan bahwa *filter* udara arang serbuk gergaji yang diaktifkan secara fisik dapat meningkatkan kinerja mesin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan daya rata-rata terbaik terjadi pada komposisi 55% dengan temperatur aktivasi 40% dan massa 50 gram.

Penurunan konsumsi bahan bakar spesifik rata-rata tertinggi juga pada komposisi 55% dengan temperatur aktivasi 40% dan massa 50 gram. Terjadi penurunan konsumsi bahan bakar spesifik rata-rata sebesar 45,40%. Emisi gas buang mengalami penurunan karena bsfc mengalami penurunan, emisi gas buang terbaik terjadi pada konsentrasi *filter* arang serbuk gergaji 60% dan pada kecepatan rendah 1500 rpm dapat menurunkan kadar CO sebesar 29,35%, HC sebesar 3,5 ppm dan pada kecepatan tinggi *Microwave* terbaik pada 50% 3000 rpm dapat menurunkan kadar CO sebesar 16,82% dan HC sebesar 0 ppm.

Kata kunci: *filter* udara, arang serbuk gergaji, *filter* aftermarket, torsi.

**PEMANFAATAN ARANG SERBUK KAYU GERGAJI TERAKTIFASI
FISIK MENGGUNAKAN *MICROWAVE* SEBAGAI *FILTER* UDARA
UNTUK MENINGKATKAN PRESTASI MESIN DAN *MEREDUKSI* EMISI
GAS BUANG MESIN BENSIN 4 – LANGKAH TECUMSEH TD110**

Oleh

MUHAMMAD BAYU DIRGANTARA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2022

ABSTRAK

PENGARUH ARANG SERBUK KAYU GERGAJI TERAKTIFASI FISIK MENGUNAKAN *MICROWAVE* SEBAGAI *FILTER* UDARA UNTUK MENINGKATKAN PRESTASI MESIN DAN *MEREDUKSI* EMISI GAS BUANG MESIN BENSIN 4 – LANGKAH TECUMSEH TD110

Oleh

Muhammad Bayu Dirgantara

Penghematan bahan bakar dapat dicapai dengan meningkatkan kinerja mesin menggunakan *filter* udara yang terbuat dari arang serbuk gergaji. *Filter* udara yang terbuat dari arang serbuk gergaji dapat digunakan untuk menyerap nitrogen (N₂) dan uap air (H₂O) yang terkandung dalam udara pembakaran. Penggunaan *filter* arang serbuk gergaji dapat memberikan udara kaya oksigen masuk ke ruang bakar untuk meningkatkan kualitas proses pembakaran. Pada penelitian ini *filter* dibuat dari arang serbuk gergaji yang diaktivasi secara fisik dengan pemanasan dalam temperatur 65°C, 54°C, 50°C selama 5 menit dan temperatur 225°C selama 60 menit, dan 30 menit. Variasi komposisi 50%, 55%, 60%, dan *filter aftermarket*, Pada *massa* 50 gram renggang, 75 gram agak renggang dan 100 gram rapat. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin bensin 4 tak Tecumseh TD110 yang bertempat di Laboratorium Motor Bakar dan Propulsi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Berdasarkan percobaan, ditemukan bahwa *filter* udara arang serbuk kayu gergaji yang diaktivasi secara fisik dapat meningkatkan kinerja mesin. Hasil pengujian menunjukkan daya engkol rata-rata terbaik yaitu pada konsentrasi 55% dengan temperatur 54°C waktu aktivasi fisik selama 5 menit dengan *massa* 50 gram yaitu rata-rata sebesar 56,27% penurunan bsfc sebesar 31,95%. Emisi gas buang mengalami penurunan karena bsfc mengalami penurunan, emisi gas buang terbaik terjadi pada konsentrasi *filter* arang serbuk gergaji konsentrasi 60% dan pada putaran mesin rendah 1500 rpm dapat menurunkan kadar CO sebesar 14% (mereduksi 29,35%), HC sebesar 42 ppm (3,5%), Sedangkan pada putaran mesin tinggi 3000 rpm, hasil terjadi terbaik pada konsentrasi 50% dapat menurunkan kadar CO sebesar 18% (mereduksi 16,82%), dan HC sebesar 25 ppm (0%).

Kata kunci: *filter* udara, arang serbuk kayu gergaji, *filter aftermarket*, torsi. bsfc.

Judul Skripsi

**: PEMANFAATAN ARANG SERBUK KAYU
GERGAJI TERAKTIFASI FISIK
MENGUNAKAN MICROWAVE SEBAGAI
FILTER UDARA UNTUK
MENINGKATKAN PRESTASI MESIN
DAN MEREDUKSI EMISI GAS BUANG
MESIN BENSIN 4-LANGKAH TECUMSEH
TD110**

Nama Mahasiswa

: MUHAMMAD BAYU DIRGANTARA

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1755021006

Jurusan

: Teknik Mesin

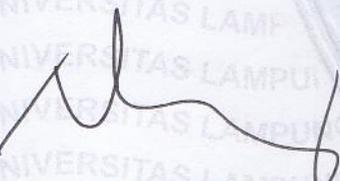
Fakultas

: Teknik

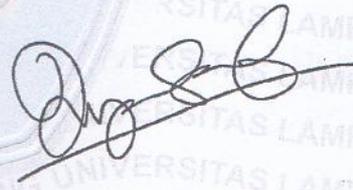
MENYETUJUI

Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2



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



M. Dyan Susila Eka Sakti, S.T., M.Eng.
NIP. 19801001 200812 1 001

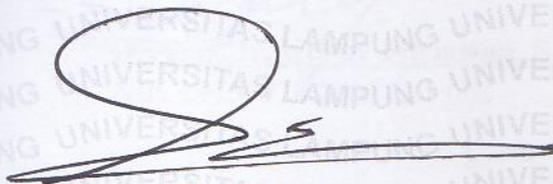
MENGETAHUI

Ketua Jurusan

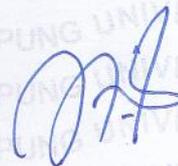
Ketua Program Studi

Teknik Mesin

S1 Teknik Mesin



Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP. 19710331 199903 1 003



Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP. 19701104 199703 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua Penguji : **Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM, ASEAN Eng.**

Anggota Penguji : **M. Dyan Susila Eka Sakti, S.T., M.Eng.**

Penguji Utama : **Ahmad Yonanda, S.T., M.T.**

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **31 Maret 2022**

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN
REKTOR NO. 13 TAHUN 2019.

Bandar Lampung, April 2022

Yang menyatakan,



MUHAMMAD BAYU DIRGANTARA
NPM. 1755021006

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Muhammad Bayu Dirgantara, lahir pada tanggal 04 Oktober 1999 di Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Penulis merupakan anak ke dua dari tiga bersaudara pasangan Basiran dan Roaida. Penulis bersekolah di SMK 2 MEI Bandar Lampung dengan Jurusan Teknik Komputer dan Jaringan lulus pada tahun 2017 silam. Penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui penerimaan jalur SMMPTN Barat pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah aktif di organisasi kemahasiswaan diantaranya, Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) di bidang kaderisasi. Pada bulan Oktober tahun 2018 penulis melakukan Kerja Praktik di Depo Lokomotif Tanjung Karang berlokasi di Jl. Hanoman No. 24, Sawah Brebes, Tanjung Karang Timur, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Penulis Melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2021 di Gang Maherat, Kecamatan Rajabasa Nunyai, Kabupaten Bandar Lampung. Penulis pernah menjadi Asisten Praktikum Prestasi Mesin dan Motor Bakar di Laboratorium Motor Bakar dan Propulsi pada tahun 2021. Pada tahun 2022 penulis menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin dengan Skripsi yang berjudul “Pemanfaatan Arang Serbuk Kayu Gergaji Teraktifasi Fisik Menggunakan *Microwave* Sebagai Filter Udara Untuk Meningkatkan Prestasi Mesin dan Mereduksi Emisi Gas Buang Mesin Bensin 4-Langkah Tecumseh TD110” dengan bimbingan dari Bapak Ir. Herry Wardono, MSc., IPM, ASEAN Eng. dan Bapak M. Dyan Susila Eka Sakti, S.T., M.Eng.

KATA INSPIRASI

**“BERADAPTASI DENGAN ORANG-ORANG ADALAH CARA
UNTUK BERTAHAN HIDUP”**

**“LEBIH BAIK MENUTUP TELINGA DENGAN KEDUA
TANGANMU DARI PADA KAU TUTUP MULUT ORANG-
ORANG YANG MENGEJEKMU”**

**“BERGABUNGLAH DENGAN ORANG ORANG YANG POSITIF,
DIKARENAKAN JIKA BERGABUNG DENGAN ORANG ORANG
YANG NEGATIF AKAN BERDAMPAK BURUK PADA DIRI
SENDIRI”**

SANWACANA

Puji dan syukur kepada Allah SWT atas segala segala rahmat dan hidayah-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga penyusunan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana Teknik dapat diselesaikan. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah atas manusia panutan yang akhlaknya paling mulia, yang telah membawa perubahan luar biasa, menjadi uswatun hasanah di muka bumi ini, Muhammad Rasulullah SAW.

Skripsi yang berjudul "*Pemanfaatan Arang Serbuk Kayu Gergaji Teraktifasi Fisik Menggunakan Microwave Sebagai Filter Udara Untuk Meningkatkan Prestasi Mesin Dan Mereduksi Emisi Gas Buang Mesin Bensin 4-Langkah Tecumseh TD110*" 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.. Untuk itu saya ucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM, ASEAN Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Dosen Pembimbing 1 Tugas Akhir atas

kesediaan dan keikhlasannya memberikan bimbingan, saran, arahan dan motivasi yang diberikan selama penyusunan skripsi ini.

5. Bapak M. Dyan Susila Eka Sakti, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing 2 Tugas Akhir yang telah banyak memberikan saran yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Ahmad Yonanda, S.T., M.T. selaku Dosen Pembahas Tugas Akhir atas pemberian kritik dan saran yang sangat bermanfaat bagi penulis.
7. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan banyak sekali bekal ilmu pengetahuan kepada penulis.
8. Kedua Orang Tua Penulis Ayah Basiran dan Ibu Roaida yang telah memberikan semangat dan doa.
9. Teman-teman SMK 2 Mei (Veteran) yang telah berjuang bersama sama.
10. Teman-teman SNL Team yang sudah memberikan motivasi kepada penulis cepat dalam mengerjakan skripsi dan berjuang bersama sama menuju gelar yang diinginkan yaitu S.T.
11. Teman-teman seluruh Teknik Mesin 2017 yang sudah banyak sekali membantu. Semoga kebersamaan yang pernah dilalui baik suka maupun duka akan selalu menjadi kenangan yang tidak akan terlupa.
12. Teman-teman asisten Laboratorium Motor Bakar dan yang selalu memberi semangat dalam penyelesaian skripsi ini.
13. Teknisi Laboratorium Motor Bakar dan teman-teman yang mengerjakan tugas akhir di Laboratorium. Motor Bakar terima kasih atas bantuan dalam mengerjakan tugas akhir ini.

Kritik dan saran sangatlah penulis harapkan agar penulis semakin belajar dalam segala hal, dan guna kesempurnaan dalam skripsi ini. Semoga dengan kebaikan, dukungan dan yang telah diberikan pada penulis mendapatkan balasan yang setimpal dari ALLAH SWT, dan semoga

skripsi ini bermanfaat untuk teman-teman yang sedang berjuang untuk menyelesaikan kuliahnya.

Bandar lampung, April 2022

Penulis,

Muhammad Bayu Dirgantara

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	i
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SIMBOL	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Sistematika Penulisan	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Motor Bakar	8
2.2 Klasifikasi Motor Bakar	9
2.3 Motor Bensin	11
2.4 Proses Pembakaran dan Reaksi Kimia.....	14
2.5 Parameter Prestasi Mesin Bensin 4-Langkah.....	16
2.6 Emisi Gas Buang.....	18
2.7 <i>Filter</i> Udara.....	20

2.8 Serbuk Kayu Gergaji.....	24
2.9 Arang.....	26
2.10 Cara Membuat Arang Serbuk Kayu Gergaji.....	28
III. METOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	30
3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Persiapan Pengujian	33
3.3 Prosedur Pengujian	34
3.4 Alat Penelitian.....	42
3.5 Bahan Penelitian	50
3.6 Persiapan Penelitian.....	51
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Hasil Penelitian	55
4.2 Pembahasan.....	61
4.3 Analisis Grafik/Data Hasil Pengujian.....	78
V. SIMPULAN DAN SARAN	83
5.1 Simpulan	83
5.2 Saran	85

DAFTAR PUSTKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Mesin Pembakaran Dalam	10
2. Diagram P-V dari Siklus Ideal Motor Bakar Bensin 4-Langkah	12
3. Prinsip Kerja Motor Bensin 4-Langkah	14
4. <i>Filter</i> Udara.....	22
5. <i>Filter</i> Udara <i>Racing</i>	23
6. Serbuk Kayu Gergaji.....	25
7. Pembuatan Jaring Kawat Ke Arang Serbuk Kayu Gergaji	28
8. Proses Pembuatan Arang Serbuk Kayu Gergaji	29
9. Diagram Alir Penelitian Proses Bahan.....	31
10. Diagram Alir Pengujian Prestasi Mesin.....	32
11. Pemasangan <i>Filter</i> Arang Serbuk Kayu Gergaji Pada Alat <i>Unit</i> Instrumen TD114 dan Gambar CAD <i>filter</i> rapat, agak renggang, renggang .	34
12. Diagram Alir Pengujian Emisi Gas Buang	39
13. Selang <i>Probe</i>	41
14. Pengujian Emisi Gas Buang.....	42
15. Motor Bensin 4-Langkah <i>Tecumseh</i> TD110	43
16. <i>Unit</i> Instrumen TD114	44
17. Ayakan/Saringan 100 <i>mesh</i>	44

18. <i>Microwave</i> Aqua SANYO AEMS 1812S.....	45
19. Oven.....	46
20. Timbangan Digital	46
21. <i>Roller Ampia</i>	47
22. Tumbukan/Lesung Kayu.....	47
23. Cetakan Pelet.....	48
24. <i>Tachometer</i> digital	48
25. <i>Exhaust Gas Analyzer Stargas</i> 898.....	49
26. Arang Serbuk Kayu Gergaji.....	50
27. <i>Filter Aftermarket</i>	50
28. Mengayak Arang Serbuk Kayu Gergaji dengan Ayakan 100 <i>Mesh</i>	51
29. Proses Pembuatan Pelet	52
30. Pelet Arang Serbuk Kayu Gergaji yang Baru Dicetak.....	52
31. <i>Filter</i> Arang Serbuk Kayu Gergaji dengan <i>massa</i> 50 gr renggang, 75 gr agak renggang, dan 100 gr rapat	54
32. Pengaruh penggunaan <i>filter</i> udara pelet arang serbuk kayu gergaji teraktivasi fisik dengan variasi komposisi dan variasi temperatur aktivasi terhadap daya engkol berdasarkan putaran mesin.....	63
33. Kenaikan daya engkol pelet arang serbuk kayu gergaji aktivasi fisik terhadap variasi konsentrasi, variasi temperatur aktivasi, dan <i>aftermarket</i> . 67	
34. Pengaruh aktivasi fisik <i>filter</i> arang serbuk kayu gergaji dan <i>filter</i> <i>aftermarket</i> terhadap penurunan bsfc berdasarkan putaran prestasi mesin.. 68	
35. Penurunan bsfc <i>filter</i> pelet arang serbuk kayu gergaji terhadap konsentrasi dan variasi temperatur aktivasi	69

36. Presentase komposisi terbaik rata-rata kenaikan daya engkol dan penurunan bsfc	71
37. Pengaruh penggunaan pelet <i>filter</i> arang serbuk kayu gergaji terhadap kadar emisi CO	73
38. Pengaruh penggunaan pelet <i>filter</i> arang serbuk kayu gergaji terhadap kadar emisi HC	74
39. Pengaruh penggunaan pelet <i>filter</i> arang serbuk kayu gergaji terhadap kadar emisi CO ₂	77

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi Unsur Kimia Dalam Kayu	26
2. Tahap Penelitian.....	30
3. Spesifikasi Motor Bakar.....	43
4. Spesifikasi <i>Microwave</i> yang Digunakan Dalam Pengujian	45
5. Komposisi Campuran Pada Arang Serbuk Kayu Gergaji Dengan <i>Massa</i> Total 100%	53
6. Variasi <i>Massa</i> Pelet <i>Filter</i> Arang Serbuk Kayu Gergaji.....	54
7. Data Hasil Pengujian Pelet Arang Serbuk Kayu Gergaji <i>Massa</i> 50 Gram Konsentrasi 55% Pada Putaran Mesin 1500 Rpm.	57
8. Data Hasil Pengujian Pelet Arang Serbuk Kayu Gergaji <i>Massa</i> 50 Gram Konsentrasi 55% Pada Putaran Mesin 2000 Rpm.....	57
9. Data Hasil Pengujian Pelet Arang Serbuk Kayu Gergaji <i>Massa</i> 50 Gram Konsentrasi 55% Pada Putaran Mesin 2500 rpm	58
10. Data Hasil Pengujian Pelet Arang Serbuk Kayu Gergaji <i>Massa</i> 50 Gram Konsentrasi 55% Pada Putaran Mesin 3000 Rpm.....	58
11. Data Hasil Perhitungan Prestasi Mesin Bensin 4-Langkah <i>Filter</i> Konsentrasi 55% dengan <i>Massa</i> 50 Gram Putaran Mesin 1500 Rpm.....	59
12. Data Hasil Perhitungan Prestasi Mesin Bensin 4-Langkah <i>Filter</i> Konsentrasi 55% dengan <i>Massa</i> 50 Gram Putaran Mesin 2000 Rpm	60

13. Data Hasil Perhitungan Prestasi Mesin Bensin 4-Langkah <i>Filter</i> Konsentrasi 55% dengan <i>Massa</i> 50 Gram Putaran Mesin 2500 Rpm	60
14. Data Hasil Perhitungan Prestasi Mesin Bensin 4-Langkah <i>Filter</i> Konsentrasi 55% dengan <i>Massa</i> 50 Gram Putaran Mesin 3000 Rpm	61
15. Daya engkol (kW) dan Daya Engkol (%)	78
16. bsfc (kg/kWh) dan bsfc (%)	79
17. Presentase Komposisi Terbaik Rata-Rata Daya Engkol dan bsfc.....	80
18. Hasil dari Pengujian Emisi Karbon Monoksida (CO)	80
19. Hasil dari Pengujian Emisi Hidro Karbon (HC)	81
20. Hasil dari Pengujian Emisi Karbon Dioksida (CO ₂).....	82

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
bP	Daya Engkol	kW
$bsfc$	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik	kg/kWh
M	Massa Beban	Kg
$\dot{m}_{a,ct}$	Laju Pemakaian Udara Aktual	kg/h
$\dot{m}_{a,th}$	Laju Pemakaian Udara Teoritis	kg/h
m_f	Laju Pemakaian Bahan Bakar	kg/h
N	Putaran Mesin	rpm
P	Beban yang diterapkan	Kg
Sgf	<i>Specific gravity</i>	
t	Waktu Pemakaian Bahan Bakar	Detik
T	Temperatur Udara Masuk	°C
τ_{AP}	Torsi Aktual	Nm
τ_{RD}	Torsi Hasil Pembacaan	Nm
A/F	Perbandingan Udara-Bahan Bakar	-

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sektor transportasi di Indonesia khususnya sepeda motor yang semakin hari semakin bertambah, membawa dampak terjadinya peningkatan polusi udara serta peningkatan konsumsi bahan bakar. Kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) dari tahun ke tahun yang terus meningkat, mengakibatkan semakin menipisnya cadangan minyak bumi. Kebutuhan masyarakat terhadap kendaraan pribadi khususnya sepeda motor merupakan salah satu produk otomotif yang lebih banyak dipilih dari pada kendaraan roda empat. Pada tahun 2012 jumlahnya lebih dari 76 juta unit, tahun 2013 meningkat 10% menjadi 84 juta dan ditahun 2014 jumlah kendaraan bermotor jenis roda dua ini meningkat 9% menjadi 92 juta lebih pengguna sepeda motor di Indonesia, maka dari itu diperlukan *filter* udara untuk meningkatkan prestasi mesin (Suryamin, 2014).

Beberapa jenis *filter* untuk menyaring udara dapat mempengaruhi kinerja *engine*. efisiensi pemasukan udara dan bahan bakar juga sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran. Proses pembakaran yang baik memerlukan udara yang bersih untuk campuran bahan bakar agar proses pembakaran di dalam silinder berlangsung lebih sempurna. *Filter* juga memiliki fungsi untuk

meredam suara kebisingan. Apabila tanpa menggunakan *filter* mengandung udara yang masuk berlebihan dan juga banyak debu. Partikel debu yang ikut masuk ke dalam *filter* udara dapat menumpuk sehingga menyumbat aliran bahan bakar, maka bahan bakar yang disuplai dapat terhambat dan jumlahnya menjadi sedikit, sehingga membuat campuran udara dan bahan bakar menjadi tidak seimbang. Campuran udara dan bahan bakar yang tidak seimbang mengakibatkan pembakaran tidak sempurna dan menurunkan kinerja mesin. Pembakaran yang tidak sempurna dapat menghasilkan gas hasil pembakaran yang tidak sempurna, seperti gas CO dan HC. Apabila pencampuran bahan bakar dan udara berlangsung dengan baik, maka pembakaran bahan bakar di ruang bakar menjadi sempurna dan kinerja mesin tersebut meningkat. Cara untuk meminimalisir kadar emisi gas buang dengan menyempurnakan proses pembakaran, untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna maka diperlukan suatu campuran bahan bakar dengan udara yang seimbang, sesuai dengan kondisi operasi mesin. Makin tinggi operasi putaran mesin, maka semakin tinggi kebutuhan udara (oksigen) yang dibutuhkan. Pembakaran dengan udara yang mengandung banyak oksigen dalam komposisi udara berlangsung, memberikan pembakaran yang lebih sempurna (Wardono, 2004).

Hal ini bisa dilakukan dengan menggunakan penyaring udara yang mengikat nitrogen, uap air, dan gas-gas lain, seperti zeolit alam, *fly ash*, dan arang sekam padi. Arang mampu menyerap uap air dalam jumlah yang sangat besar. Sifat yang kemampuannya suatu zat untuk menyerap uap air. Inilah yang menyebabkan arang digunakan sebagai adsorpsi udara pembakaran,

sebagaimana halnya zeolit alam Pemakaian udara yang banyak mengandung oksigen menghasilkan prestasi mesin yang lebih baik. Selain itu pemanfaatan zat zeolit dan arang sekam padi sebagai *filter* juga dapat menghemat konsumsi bahan bakar (Taryana, 2002).

Menurut Pari dan Hendra (2000), ada sekitar 300 industri penggergajian kayu dan 2.505 industri kecil yang membutuhkan log kayu sebanyak 15,6 juta m³ yang menghasilkan limbah serbuk gergajian kayu sebanyak 0,78 juta m³. Dengan adanya limbah sebanyak ini maka terjadi pemborosan terhadap penggunaan kayu, oleh karena itu mengingat adanya potensi dari limbah kayu ini maka salah satu caranya ialah mengolah limbah kayu tersebut menjadi arang yang dapat digunakan sebagai media *adsorben* seperti *filter* udara sepeda motor.

Penelitian lain, dilakukan oleh Shandy (2019), yang berjudul Pengaruh *Filter* Udara Berbahan Campuran Arang Sekam Padi dan Arang Serbuk Gergaji Kayu Dengan Variasi Temperatur Aktivasi Dan Variasi Komposisi Terhadap Prestasi Sepeda Motor Bensin 4-Langkah. menunjukkan campuran arang sekam padi dengan arang serbuk kayu gergaji aktivasi oven listrik 225°C dengan waktu 60 menit sebagai media *adsorben* pada *filter* udara kendaraan bermotor mampu meningkatkan prestasi mesin. Pada pengujian stasioner mampu menghemat konsumsi bahan bakar 46,12% di 1500 rpm dan 27,41% di 3000 rpm. Pengujian gas emisi juga mampu mengurangi kadar CO sebesar 31,25% dan kadar HC sebesar 16,91% dari kondisi normal.

Penelitian lain, dilakukan oleh (Kurniawan, 2020), yang berjudul Pengaruh Pemanfaatan Filter Udara Berbahan Zeolit Teraktivasi Fisik Menggunakan *Microwave* Terhadap Akselerasi Sepeda Motor Bensin 4-Langkah. Hasil penelitian untuk mengetahui pengaruh *filter* zeolit terhadap kinerja mesin, uji akselerasi 0–80 km/jam dilakukan. Zeolit diaktivasi menggunakan *microwave* dengan daya 80%, waktu aktivasi 3, 6, dan 9 menit, dengan *filter* agak renggang 75%. Kemudian zeolit diaktivasi dengan 80%, 60%, dan 40% daya *microwave* menggunakan renggang 50%, 75%, dan 100% (memvariasikan pengaturan renggang pelet). Ketika waktu aktivasi *filter* adalah 3 menit, dibutuhkan 12,54 detik untuk melakukan, 6,53% lebih cepat, aktivasi 6 menit membutuhkan 12,58 detik dan 6,19% lebih cepat. Semakin besar daya aktivasi, semakin baik akselerasi. Dalam uji akselerasi pada konsentrasi 80%, Pada *filter* dengan renggang 50% dapat meningkatkan akselerasi sebesar 6,16%. Sementara itu, *filter* agak renggang 75% dan *filter* rapat 100% itu dapat meningkatkan akselerasi sebesar 5,64% dan 3,86%.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di atas, penulis melakukan penelitian pemanfaatan arang serbuk kayu gergaji dengan aktivasi fisik menggunakan *microwave* yang telah dilakukan (Kurniawan, 2020), dibandingkan dengan aktivasi menggunakan oven listrik terbaik yang telah dilakukan (Shandy, 2019) dan menggunakan bahan yang telah digunakan yaitu arang serbuk kayu gergaji, karena mampu meningkatkan prestasi mesin, dengan variasi komposisi sebagai media *adsorben* pada *filter* udara motor bensin 4-langkah dengan mencari konsentrasi terbaik. Pada *microwave* dengan

temperatur aktivasi fisik terbaik, dan oven listrik dengan temperatur 225°C dengan waktu (30 dan 60 menit), dan *filter aftermarket* (sebagai perbandingan). Maka dari itu, peneliti melakukan percobaan untuk mengetahui pengaruh arang serbuk kayu gergaji tersebut terhadap prestasi mesin, dan mereduksi emisi gas buang dengan motor bensin 4-langkah *Tecumseh* TD110.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pemanfaatan arang serbuk kayu gergaji teraktivasi fisik terhadap prestasi mesin bensin 4-langkah, dan emisi gas buang berdasarkan:

1. Variasi konsentrasi adonan sebesar 50%, 55%, 60%, dan *filter aftermarket*.
2. Variasi dari *power microwave* yang digunakan 60% (240 watt), 40% (160 watt), dan 20% (80 watt), dengan waktu aktivasi 5 menit, dan *temperature oven listrik* 225°C dengan waktu aktivasi selama 30 menit dan 60 menit.
3. Variasi *massa* pelet arang serbuk kayu gergaji (50 gram, 75 gram, 100 gram).
4. Penggunaan pelet terbaik untuk pengujian emisi gas buang.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yang ditetapkan untuk membataskan kajian dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Diameter arang serbuk gergaji yang diuji adalah sebesar 10 mm dengan

ketebalan 3 mm (berdasarkan penelitian sebelumnya).

2. Proses pembuatan arang serbuk kayu gergaji dengan menggunakan sistem timbun, diasapkan, dan diberikan cerobong asap lalu menjadi arang.
3. Menggunakan variasi putaran mesin motor bensin 4-langkah sebesar 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, dan 3000 rpm.
4. Pengulangan pengujian dilakukan sebanyak 3 kali.
5. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah pertalite.
6. Perekat yang digunakan adalah tepung tapioka yang dicampur dengan air aquades (berdasarkan penelitian sebelumnya) yang sesuai dengan konsentrasi yang ditentukan.
7. Jenis serbuk kayu gergaji diabaikan.
8. Menggunakan *filter* aftermarket berbahan kertas.

1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah:

I PENDAHULUAN

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

II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan teori tentang motor bakar, Klasifikasi motor bakar, Motor bensin, Proses pembakaran, Parameter prestasi mesin bensin 4- langkah, Emisi gas buang, *Filter* udara, Serbuk kayu gergaji, Cara membuat arang dari serbuk kayu gergaji.

III METODE PENELITIAN

Terdiri atas hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian, diantaranya tempat penelitian, bahan penelitian, peralatan penelitian, prosedur pengujian dan diagram alir pelaksanaan penelitian.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan hasil penelitian dan pembahasan dari data-data yang diperoleh pada pengujian mesin bensin 4-langkah *tecumesh* TD 114 setelah pengujian.

V SIMPULAN DAN SARAN

Berisikan hal-hal yang dapat disimpulkan mengenai dari hasil penelitian yang diperoleh dari analisis data dan pembahasan hasil penelitian. Selain itu, memuat keterbatasan penelitian serta saranyang baik dan bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Memuat referensi yang dipergunakan penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir.

LAMPIRAN

Berisikan pelengkap data-data laporan penelitian tugas akhir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Bakar

Motor bakar merupakan jenis mesin kalor yang merubah energi kimia atau bahan bakar menjadi energi termal yang selanjutnya menjadi tenaga mekanis. Energi kimia atau bahan bakar tersebut dirubah terlebih dahulu menjadi tenaga termal melalui proses pembakaran. Terjadinya energi termal karena adanya proses pembakaran bahan bakar dengan udara dalam sistem pengapian. Dengan adanya suatu konstruksi mesin memungkinkan terjadinya siklus kerja mesin untuk usaha dan tenaga dorong dari hasil ledakan pembakaran yang diubah oleh konstruksi mesin menjadi energi mekanik atau tenaga penggerak yang menghasilkan langkah usaha (Wardono, 2004).

Motor bakar torak terbagi menjadi dua jenis utama ialah motor bensin dan motor diesel. Perbedaan yang utama dari kedua jenis motor bakar torak tersebut ialah pada sistem penyalanya. Pada motor bensin, bahan bakar dinyalakan dengan loncatan bunga api listrik. Proses pembakaran yang terjadi pada motor bensin sedikit berbeda dengan pada motor diesel. Karena penyalanya terjadi dengan cara diberikannya percik api kepada campuran bahan bakar dan udara

yang bertekanan dan bersuhu tinggi, maka proses pembakarannya berlangsung secara sangat cepat. Sedangkan pada motor diesel, proses penyalaan bahan bakar terjadi dengan cara disemprotkannya bahan bakar ke dalam ruang silinder yang berisi udara panas yang temperatur melebihi titik nyala bahan bakar tersebut. Dengan demikian ketika bahan bakar disemprotkan, bahan bakar tersebut bercampur dengan udara panas dan seketika terjadi penyalaan. Namun pembakaran seluruh bahan bakar tidak bisa berlangsung secara seketika karena proses penyemprotan bahan bakar memerlukan waktu yang relatif lama. Pada saat berlangsung penyemprotan bahan bakar tersebut, torak sudah bergerak menjauh dari titik mati atas (TMA) (Tasliman, 2001).

2.2 Klasifikasi Motor Bakar

Motor bakar dapat diklasifikasi menjadi 2 (dua) macam. Adapun pengklasifikasi pada motor bakar adalah sebagai berikut:

2.2.1 Berdasarkan Pembakarannya:

2.2.1.1 Mesin pembakaran dalam

Mesin pembakaran dalam yang disebut juga sebagai *Internal Combustion Engine* (ICE), yaitu dimana proses pembakaran berlangsung di dalam motor bakar itu sendiri, sehingga gas pembakaran yang terjadi berfungsi sebagai fluida kerja. Contohnya motor bensin, dan motor diesel. Pembakaran dalam yang umum yaitu motor bakar torak misalnya motor 2 langkah, dan motor 4-langkah. Motor pembakaran dalam dapat dilihat pada Gambar 1.

Hal-hal yang dimiliki dalam mesin pembakaran dalam yaitu:

- a. Berat tiap satuan tenaga mekanis lebih irit.
- b. Pemakaian bahan bakar irit.
- c. Konstruksi lebih sederhana, karena tidak memerlukan ketel uap, kondesor, dan sebagainya.



Gambar 1. Mesin Pembakaran Dalam
(Juan, 2018).

2.2.2 Berdasarkan sistem penyalaan:

Motor bensin

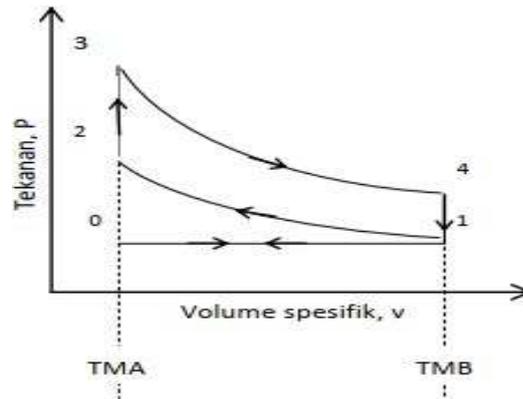
Motor bensin dapat juga disebut sebagai motor *otto*. Busi menghasilkan loncatan bunga api listrik yang membakar campuran bahan bakar dan udara karena motor ini cenderung disebut *spark ignition engine*. Pembakaran bahan bakar dengan udara ini menghasilkan daya. Dalam siklus *otto* (siklus ideal) pembakaran tersebut dimisalkan sebagai pemasukan panas pada *volume* konstan.

2.3 Motor Bensin

Motor bensin dikenal sebagai motor bakar pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Ini merupakan pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar, akibat pencampuran bahan bakar bensin dengan udara maka terbentuklah panas yang bertekanan. Kemudian di transfer menjadi sebuah energi mekanik berupa putaran pada poros engkol dengan perantara *connecting rod*. Motor bensin yang menggerakkan sepeda motor, mobil penumpang, skuter, dan kendaraan jenis lainnya. Dalam perkembangan dan perbaikan mesin yang sejak semula dikenal sebagai motor *Otto*. Motor tersebut dilengkapi dengan busi. Busi yang menghasilkan percikan api listrik yang menyalakan campuran bahan bakar dan udara segar, karena motor bensin cenderung juga dinamai dengan *Spark Ignition Engine*.

Secara garis besar, dapat dijelaskan bahwa prinsip kerja dari motor bensin yaitu bahan bakar yang berupa campuran bensin dan udara dibakar untuk memperoleh energi panas, yang selanjutnya digunakan untuk melakukan kerja mekanis. Campuran antara bensin dan udara dihisap ke dalam silinder selanjutnya dikompresi oleh torak yang berakibat timbulnya panas dan tekanan yang besar pada ruang bakar tersebut. Campuran bensin dan udara yang telah dikompresi selanjutnya dibakar oleh percikan bunga api dari busi. Hasil dari pembakaran tersebut menghasilkan tekanan yang sangat tinggi sehingga mendorong torak ke TMB. Daya yang berasal dari torak tersebut diteruskan ke batang torak (*connecting rod*) dan diubah oleh poros engkol menjadi kerja mekanik. Sedangkan gas hasil pembakaran dibuang keluar silinder. 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.



Gambar 2. Diagram P-V dari Siklus Ideal Motor Bakar Bensin 4-Langkah (Wardono, 2004).

Berdasarkan prinsipnya, terdapat 2 (dua) prinsip kerja motor bakar bensin, yaitu 4 (empat) langkah dan 2 (dua) langkah. Adapun prinsip kerja motor bakar 4 (empat) langkah dan 2 (dua) langkah adalah sebagai berikut:

2.3.1 Motor Bakar Bensin 4-Langkah

Motor bensin bekerja karena adanya energi panas yang diperoleh dari pembakaran campuran udara dan bensin. Energi panas tersebut dapat diperoleh dengan cara : Pada saat torak bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) terjadilah penghisapan udara dan bensin dari karburator ke dalam silinder pada saat torak bergerak ke atas, campuran tersebut dikompresikan akibatnya terjadi tekanan dan *temperature* yang tinggi. Selanjutnya dipercikkan bunga api dari busi

mengakibatkan timbulnya energi panas, akibatnya terdoronglah torak ke bawah menekan batang torak dan menggerakkan poros engkol.

2.3.2 Prinsip Kerja Motor Bakar Bensin 4-Langkah

Jumlah langkah yang terjadi pada siklus ini adalah 4-langkah torak dengan 2 putaran engkol dan mesin ini disebut 4-langkah.

Langkah-langkah siklus motor bensin 4-langkah sebagai berikut:

a. Langkah hisap

Piston bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), katup masuk terbuka dan katup buang tertutup. Campuran udara bahan bakar dihisap ke dalam silinder. Pada Langkah hisap ini poros engkol melakukan setengah putaran 1 (pertama).

b. Langkah kompresi

Torak bergerak ke titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), katup masuk dan katup keluar tertutup. Campuran udara dan bensin yang tadi dihisap, dikompresikan sehingga tekanan dan *temperature* nya naik pada langkah kompresi ini poros engkol melakukan setengah putaran ke 2 (dua).

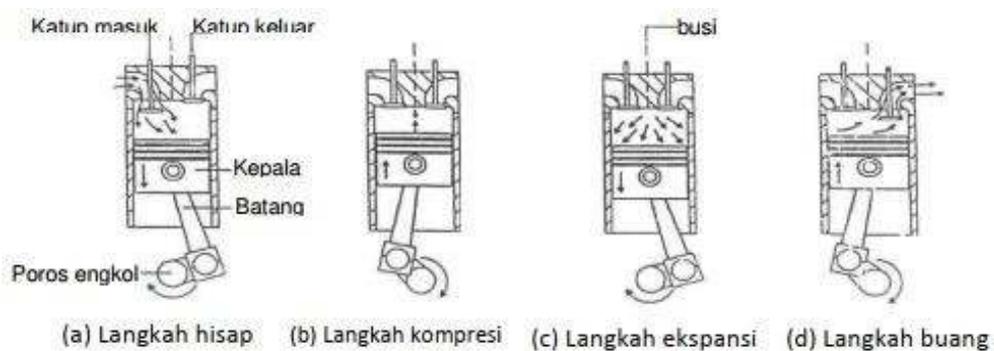
c. Langkah kerja (usaha)

Pada torak berada pada titik mati atas (TMA), katup masuk dan katup buang tertutup. Percikan buang api dari busi mengakibatkan terjadinya pembakaran campuran udara dan bensin, mendorong torak ke bawah. Pada langkah usaha ini poros engkol melakukan setengah putaran 3 (tiga).

d. Langkah buang

Torak bergerak dari titik bawah (TMB), ke titik mati atas (TMA). Katup masuk tertutup dan katup buang terbuka, gas buang terdorong keluar. Pada langkah buang ini poros engkol membuat setengah putaran yang ke 4 (empat).

Kerja motor bakar 4-langkah dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3. Prinsip Kerja Motor Bensin 4-Langkah
(Juan, 2017).

2.4 Proses Pembakaran dan Reaksi Kimia

Pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar, disertai timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor. Pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar suatu motor bakar merupakan gabungan suatu proses fisika dan proses kimia yang kompleks, meliputi persiapan pembakaran, perkembangan pembakaran dan proses setelah pembakaran. Proses tersebut tergantung dari jenis dan kecepatan reaksi kimia, keadaan panas dan pertukaran *massa* selama proses, serta perambatan panas ke

sekelilingnya. Untuk menghasilkan suatu proses pembakaran, minimal harus ada tiga komponen utama, yaitu bahan bakar, oksigen, dan panas. Panas didapat dari percikan bunga api pada motorbensin atau tekanan kompresi pada motor diesel.

Prinsip pembakaran pada motor bensin adalah membakar bahan bakar untuk memperoleh energi *thermal*. Energi ini selanjutnya digunakan untuk melakukan gerakan mekanik. Prinsip kerja motor bensin, secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut, campuran udara dan bensin dari karburator diisap masuk ke dalam silinder, kemudian dimampatkan oleh gerak naik torak, dibakar untuk memperoleh tenaga panas, dengan terbakarnya gas-gas mempertinggi temperatur dan tekanan. Ketika torak bergerak turun naik di dalam silinder dan menerima tekanan tinggi akibat pembakaran, maka suatu tenaga kerja pada torak memungkinkan torak terdorong ke bawah. Bila batang torak dan poros engkol dilengkapi untuk merubah gerakan turun naik menjadi gerakan putar, torak menggerakkan batang torak dan yang mana ini memutar poros engkol. Dan juga diperlukan untuk membuang gas-gas sisa pembakaran dan penyediaan campuran udara bensin pada saat-saat yang tepat untuk menjaga agar torak dapat bergerak secara periodik dan melakukan kerja tetap. Siklus kerja di dalam silinder dimulai dari pemasukan campuran udara dan bensin ke dalam silinder, sampai pada kompresi, pembakaran dan pengeluaran gas-gas sisa pembakaran dari dalam silinder inilah yang disebut dengan “siklus mesin”. ada beberapa hal yang mempengaruhi efisiensi bahan bakar, emisi gas buang, dan daya *output* yang dihasilkan oleh motor bakar,

diantaranya sifat bahan bakar, perbandingan udara/bahan bakar operasi, penggunaan aditif, sistem dan *spark timing*, geometri ruang bakar, besarnya turbulensi campuran, dan komposisi campurannya (kondisi udara pembakaran), sebagaimana dilaporkan oleh Ganesan (1996), dan Wardono (2004).

2.5 Parameter Prestasi Mesin 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 berhubungan dengan parameter operasi, menentukan tinggi rendahnya prestasi mesin yang dihasilkan (Wardono, 2004).

Untuk mengukur presentasi kendaraan motor bensin 4-langkah dalam aplikasinya dapat menggunakan persamaan sebagai berikut, (Wardono, 2020) :

2.5.1 Daya engkol

Daya engkol dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$bP = \frac{2\pi N T_{ap}}{60000} \dots\dots\dots(1)$$

$$T_{ap} = 1,001 \cdot T_{rd}, \dots\dots\dots(2)$$

2.5.2 Laju pemakaian udara, m_a

Laju pemakaian udara teoritis, $m_{a,th}$ pada tekanan 1,013 bar dan temperatur 20°C ditentukan melalui persamaan berikut:

$$m_{a,th} = 1,0135 m_{an} + 1,211 \dots\dots\dots(3)$$

Untuk kondisi tekanan dan temperatur ruang yang berbeda, kalikan $m_{a,th}$ tersebut dengan faktor koreksi F_c berikut:

$$F_c = 3564,22 \times 10^{-5} Pa (T_a + 144) / (T_a)^{2,5} \dots\dots\dots(4)$$

Maka laju pemakaian udara aktual, m_{act} adalah:

$$M_{act} = f_c \cdot m_{ath}, \dots\dots\dots(5)$$

2.5.2 Laju pemakaian bahan bakar, mf Laju pemakaian bahan bakar misalnya per 8 ml bahan bakar, mf dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$mf = \frac{sgf \times 3600 \times 8,10^{-8}}{t} \dots\dots\dots(6)$$

2.5.3 Pemakaian bahan bakar spesifik engkol, b_{sfc}

b_{sfc} dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$b_{sfc} = \frac{mf}{bP} \dots\dots\dots(7)$$

2.5.4 Perbandingan udara bahan bakar, A/F

Perbandingan udara bahan bakar aktual dapat dihitung dari persamaan berikut:

$$(A/F)_{act} = \frac{m_{act}}{m_f} \dots\dots\dots (8)$$

2.5.5 Efisiensi termal engkol, η_{bth}

$$\eta_{bth} = \frac{3600 \times bP}{m_f \times CV} \dots\dots\dots (9)$$

$$CV \text{ bensin} = 42.000 \text{ kJ/kg}$$

2.6 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang merupakan polutan yang mengotori udara yang dihasilkan oleh gas buang kendaraan. Gas buang tersebut adalah gas sisa hasil proses pembakaran bahan bakar didalam mesin pembakaran dalam yang dibuang ke udara bebas melalui saluran buang atau knalpot. Berikut komponen emisi gas buang yang paling umum yaitu (Siswantoro dkk, 2012):

2.6.1 Hidrokarbon

Hidrokarbon (HC) merupakan suatu komponen bahan bakar yang terdapat dalam bahan bakar cair. Senyawa hidro karbon, terjadi karena bahan bakar yang belum terbakar sempurna tetapi sudah terbang bersama gas buang akibat pembakaran kurang sempurna dan penguapan dari bahan bakar. Pada kendaraan berusia muda (2007 ke atas) adalah hidro karbonnya maksimal sebesar 200 ppm, sedangkan yang usia tua (2007 ke bawah) hidrokarbonnya maksimal 700 ppm.

2.6.2 Karbon Monoksida

Karbon monoksida (CO) merupakan emisi gas buang yang timbul karena bahan bakar yang tidak terbakar secara sempurna ataupun disebabkan karena suplai udara yang kurang (miskin udara) dan bahan bakar yang berlebih (kaya bahan bakar). Karbon monoksida sangat berbahaya karena merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, namun jika dihirup oleh manusia dan masuk ke paru-paru cepat berikatan dengan *hemoglobin* (HB) sehingga terbentuk COHB yang dapat menyebabkan pusing, mual serta tubuh kekurangan oksigen. Jika tubuh kekurangan oksigen maka dapat menurunkan aktivitas fisik dan mental. Ambang batas emisi gas buang maksimal pada kendaraan berusia muda dengan CO sebesar 1,5%.

2.6.3 Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida merupakan salah satu emisi gas buang yang diinginkan dalam proses pembakaran, karena semakin tinggi kadar CO₂ yang diperoleh maka semakin baik efisiensi kinerja mesin motor tersebut.

Pergub DKI Jakarta Nomor 31 Tahun 2008 merinci ketentuan ambang batas emisi gas buang di masing-masing karakter kendaraan bermotor yaitu:

- a. Mobil bensin tahun produksi di bawah 2007, wajib memiliki kadar CO₂ di bawah 3,0 persen dengan HC di bawah 700 ppm.
- b. Mobil bensin tahun produksi di atas 2007, wajib memiliki kadar CO₂ di bawah 1,5 persen dengan HC di bawah 200 ppm.
- c. Mobil diesel tahun produksi di bawah 2010 dan bobot kendaraan di bawah

- 3,5 ton, wajib memiliki kadar opasitas (timbangan) 50 persen.
- d. Mobil diesel tahun produksi di atas 2010 dan bobot kendaraan di bawah 3,5 ton, wajib memiliki kadar opasitas 40 persen.
 - f. Mobil diesel tahun produksi di bawah 2010 dan bobot kendaraan di atas 3,5 ton, wajib memiliki kadar opasitas 60 persen.
 - g. Mobil diesel tahun produksi di atas 2010 dan bobot kendaraan di atas 3,5 ton, wajib memiliki kadar opasitas 50 persen.
 - h. Motor 2 tak produksi di bawah tahun 2010, CO di bawah 4,5 persen dan HC 12.000 ppm.
 - i. Motor 4 tak, produksi di bawah tahun 2010, CO maksimal 5,5 persen dan HC 2400 ppm.
 - j. Motor di atas tahun 2010, 2 tak maupun 4 tak, CO maksimal 4,5 persen dan HC 2.000 ppm.

2.7 Filter Udara

Filter udara memiliki fungsi untuk menyaring udara sebelum memasuki ruang bakar atau sebelum memasuki karburator (pada motor bensin). Kegunaan *filter* udara sangat penting terlebih lagi dalam kondisi udara yang banyak mengandung kotoran seperti debu dan pasir, seperti di jalan raya yang padat lalu lintas. Udara perlu disaring agar bebas dari debu, kotoran, atau uap air yang berlebihan. Jika udara yang masuk ruang bakar masih kotor maka terjadi pembakaran yang tidak sempurna dan akibatnya suara mesin terdengar kasar, knalpot mengeluarkan asap tebal, dan tenaga kendaraan menjadi kurang maksimal. Partikel debu yang ikut masuk ke dalam karburator atau injektor

dapat menumpuk dan menyumbat aliran bahan bakar, yang mengakibatkan bahan bakar yang disuplai terhambat dan jumlahnya sedikit sehingga membuat campuran udara dan bahan bakar menjadi tidak seimbang (Wardono, 2004).

Menurut (Pratama dan Wardono, 2014), di alam bebas jumlah molekul gas nitrogen memiliki jumlah terbesar (78%) dibandingkan jumlah oksigen (21%), sedangkan 1% lainnya adalah uap air dan kandungan gas lainnya. Hal ini jelas mengganggu proses pembakaran karena nitrogen dan uap air mengambil panas di ruang bakar, yang menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Agar mendapatkan pembakaran sempurna maka diperlukan *filter* yang dapat menyaring debu atau kotoran-kotoran dan berfungsi sebagai penyaring gas yang tidak diperlukan dalam proses pembakaran.

Peranan dari *filter* udara pada kendaraan bermotor cukup penting tidak hanya untuk menyaring kotoran agar tidak masuk dan menyumbat ke *area* karburator atau injektor pada kendaraan yang dapat mengganggu performa dari kendaraan tersebut. *Filter* udara pada kendaraan bermotor harus sering dilakukan pengecekan agar dapat mengetahui kondisinya, jika kotor maka dapat dilakukan pembersihan dengan cara disemprot menggunakan angin bertekanan cukup tinggi seperti dari kompresor, dan apabila keadaan *filter* udara sudah terlalu parah maka diperlukan penggantian dapat dilihat *filter* udara pada Gambar 4.



Gambar 4. *Filter Udara*
(Ray, 2020).

Filter merupakan salah satu perangkat kendaraan yang memiliki peranan sangat penting dan memiliki akses langsung dengan ruang bakar dalam mesin. Pada umumnya ada dua tipe pemakaian *filter* udara diantaranya yaitu sistem terbuka (*open*) dan sistem tertutup. Jika ingin mencari kualitas kebersihan dari pada ruang bakar, pemakaian *filter* udara standar merupakan pilihan yang tepat, namun jika ingin mencari sesuatu yang berbeda dari performa mesin maka bisa menggunakan *filter* udara *replacement* (Fuhaid, 2010).

2.7.1 *Filter Udara Racing*

Kelebihan dari *filter* udara *racing* :

- a. Memiliki *suply* udara yang lebih banyak/besar.
- b. Bisa di bersihkan dengan menggunakan cairan khusus sehingga usia pakai lebih lama.

Kekurangan *filter* udara *racing* tipe terbuka :

- a. Lebih cepat kotor.
- b. Panas mesin ikut masuk kedalam ruang bakar.
- c. Suara desis angin mengganggu kenyamanan berkendara.



Gambar 5. *Filter Udara Racing* (Putra, 2019).

Lebih efektif lagi jika pada *filter* ditambahkan penyaring dengan bahan seperti yang ada pada *filter racing* sehingga pemurnian udara lebih maksimal. *Filter* yang sebenarnya diperuntukkan untuk kendaraan bermotor ini juga dapat diaplikasikan pada cerobong asap pabrik di lingkungan perindustrian. Dampak baik yang dihasilkan oleh penerapan *filter* yaitu udara yang dilepaskan menjadi lebih murni, bersih, dan sehat dengan menurunnya kadar emisi gas buang yang signifikan. Dengan demikian, polusi udara dapat berkurang yang berdampak baik pada penekanan resiko terjadinya pemanasan global (Winanda, 2019).

2.7.2 *Filter Udara Kertas*

Filter udara ini terbuat dari kertas (*dry paper base filter*) yang memiliki daya saring debu dan kotoran cukup baik membuat partikel dengan ukuran amat kecil bisa tersaring oleh filter berbahan kertas. Adapun kekurangan dari *filter* udara dari bahan kertas ini yaitu tidak bisa dibersihkan dengan air dan tidak boleh disikat karena dapat merobek

bagian kertas pada *filter*. Untuk membersihkannya cukup dengan disemprotkan menggunakan angin kompresor. Adapun *filter* udara berbahan kertas dapat dilihat pada Gambar 4.

2.8 Serbuk Kayu Gergaji

Serbuk gergaji kayu sebenarnya memiliki sifat yang sama dengan kayu, hanya saja wujudnya yang berbeda. Kayu adalah sesuatu bahan yang diperoleh dari hasil pemotongan pohon di hutan, yang merupakan bagian dari pohon tersebut dan dilakukan pemungutan, setelah diperhitungkan bagian mana yang lebih banyak dapat dimanfaatkan untuk sesuatu tujuan penggunaan. Tanaman kayu dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok besar yaitu kelompok *Gymnospora*, yaitu yang biasa disebut dengan *Softwood* dan kelompok *Angiospora* yang dikenal dengan *Hardwood* (Windyasari, 2004). Di Indonesia ada tiga macam industri kayu yang secara dominan mengkonsumsi kayu dalam jumlah yang relative besar, yaitu: penggergajian, vinir atau kayu lapis, dan pulp atau kertas. Sejauh ini, limbah biomassa dari industri tersebut telah dimanfaatkan kembali dalam proses pengolahannya sebagai bahan bakar guna melengkapi kebutuhan energinya. Kenyataannya, saat ini masih ada limbah penggergajian kayu yang ditimbun dan sebagian dibuang ke aliran sungai (pencemaran air), atau dibakar secara langsung (ikut menambah emisi karbon di atmosfer).

Limbah serbuk kayu gergaji menimbulkan masalah dalam penanganannya, yaitu dibiarkan membusuk, ditumpuk, dan dibakar yang ke semuanya

berdampak negatife terhadap lingkungan. Oleh karena itu, penanggulangannya perlu dipikirkan. Salah satu jalan yang dapat ditempuh adalah memanfaatkannya menjadi produk yang bernilai tambah dengan teknologi aplikatif dan kerakyatan, sehingga hasilnya mudah disosialisasikan kepada masyarakat. Hasil evaluasi menunjukkan beberapa hal berprospek positif, sebagai contoh teknologi aplikatif dimaksud dapat diterapkan secara memuaskan dalam mengkonversi limbah industri pengolahan kayu menjadi briket, arang serbuk, dan briket arang dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Serbuk Kayu Gergaji

Teknologi alternatif untuk memanfaatkan limbah biomassa ini, diantaranya adalah teknologi pembuatan arang aktif, briket, briket arang, serat karbon, dan arang kompos. Ditinjau dari aspek energi, teknologi pembuatan bahan bakar briket dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif pengganti minyak tanah dan kayu bakar yang persediaannya semakin menipis. Komponen kimia di dalam kayu mempunyai arti yang penting, karena dapat menentukan

kegunaan jenis kayu (Bambang Trihadi, 2003). Komposisi kayu dalam unsur kimia dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Unsur Kimia Dalam Kayu

No	Unsur	Berat Kering (%)
1	Karbon	50
2	Hidrogen	6
3	Nitrogen	0,04 - 0,10
4	Abu	0,20 – 0,50
5	Oksigen	0 - 45

Komponen kimia kayu sangat bervariasi, karena dipengaruhi oleh *factor* tumbuh, iklim dan letaknya didalam batang atau cabang, dan serbuk gergaji kayu mempunyai nilai kalor 4.046 kal/gram (Prasetyo, 2000).

2.9 Arang

Arang merupakan suatu material padat yang memiliki pori-pori di permukaannya, yang didalamnya mengandung unsur karbon sekitar 85%-95% yang diperoleh dari bahan-bahan yang mempunyai kandungan karbon dengan pemanasan yang terjadi pada temperatur tinggi yaitu 400°C-1000°C yang disesuaikan dengan waktunya. Adapun arang yang bisa diaktivasi melalui aktivasi kimia ataupun aktivasi fisika, ataupun keduanya sekaligus. Arang memiliki sifat yang mengikat/menyerap apa saja yang bersentuhan atau berkontak langsung dengan karbon tersebut. Pengaktifan arang biasanya bertujuan untuk memperluas permukaan saja, tetapi bisa juga bertujuan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi dari arang. Luas dari permukaan satu gram

karbon/arang pada umumnya seluas 500-1500m², yang dimana ini sangat efektif untuk menyerap partikel-partikel berukuran halus sekitar 0,01-0,000001 mm. Luas permukaan dari arang berkisar antara 300-500 m²/gram dan ini berhubungan dengan struktur pori internal menyebabkan arang mempunyai sifat sebagai adsorben (Sembiring, 2003).

a. Aktivasi

Aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap arang dengan tujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia yaitu ukuran luas permukaan yang bertambah besar dan tentu berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Metode yang umum digunakan dalam pengaktifasian arang ada dua, yaitu aktivasi secara kimia dan juga aktivasi secara fisika.

1. Aktivasi kimia, merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia yang diperlukan. Aktivator yang digunakan dalam aktivasi ini adalah seperti hidroksida logam alkali garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat, dan lain-lain.
2. Aktivasi fisika, merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas. Untuk aktivasi secara fisika, biasanya dilakukan dalam *furnace* pada temperature 800-900°C dengan waktu tertentu, namun telah dilakukan percobaan juga dengan menggunakan *oven* dalam aktivasi fisika dengan temperatur maksimal dengan waktu yang tentu lebih lama daripada penggunaan *furnace*.

2.10 Cara Membuat Arang serbuk Kayu Gergaji

Cara membuat arang serbuk kayu gergaji dengan cara membuat buat lubang sedalam jari telunjuk (jika membuat arang di tanah, bukan dilantai yang keras) dengan diameter selebar gulungan jaring kawat. Kemudian masukkan jaring kawat kedalam lubang tersebut, lalu ditimbun kembali dengan tanah atau dengan memasukkan batu kerikil kedalam jaring kawat, agar jaring kawatnya bisa berdiri tegak. Jika membuat arang di lantai yang keras, gunakan batu untuk menyangga jaring kawat agar bisa berdiri.



Gambar 7. Pembuatan Jaring Kawat ke Arang Serbuk Kayu Gergaji (Fahmuddin, 2017).

Langkah selanjutnya, letakkan bekas serutan kayu mengelilingi jaring kawat tersebut. Buat tumpukan serutan kayu seperti gunung, dengan gulungan jaring kawat tepat ditengahnya. Langkah terakhir, masukkan bara api secukupnya ke dalam lubang jaring kawat. Jika setelah beberapa saat tidak keluar asap, bisa membuka sedikit tumpukan serutan kayu, dan memeriksa apinya, tiup apinya supaya bara api menyala dan bisa membakar bekas serutan kayu, kemudian tutup kembali. Periksa setiap 30 menit sekali, untuk memeriksa api jangan sampai terlalu besar menyala sehingga membakar serbuk kayu menjadi abu.

Setelah rata menjadi arang, siram api menggunakan air sampai benar-benar padam. Arang sudah siap digunakan dapat dilihat pada Gambar 8.

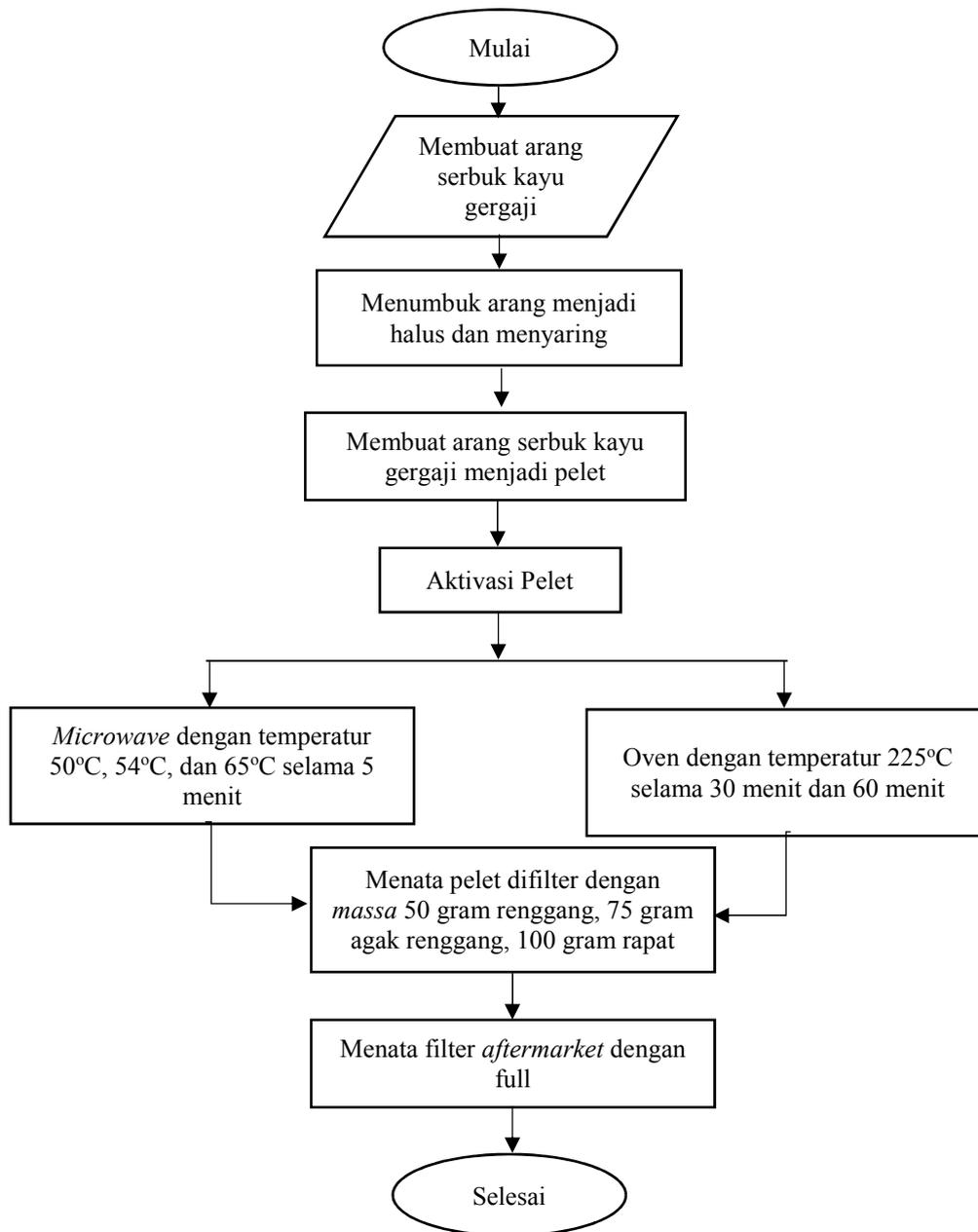


Gambar 8. Proses Pembuatan Arang Sebuk Kayu Gergaji

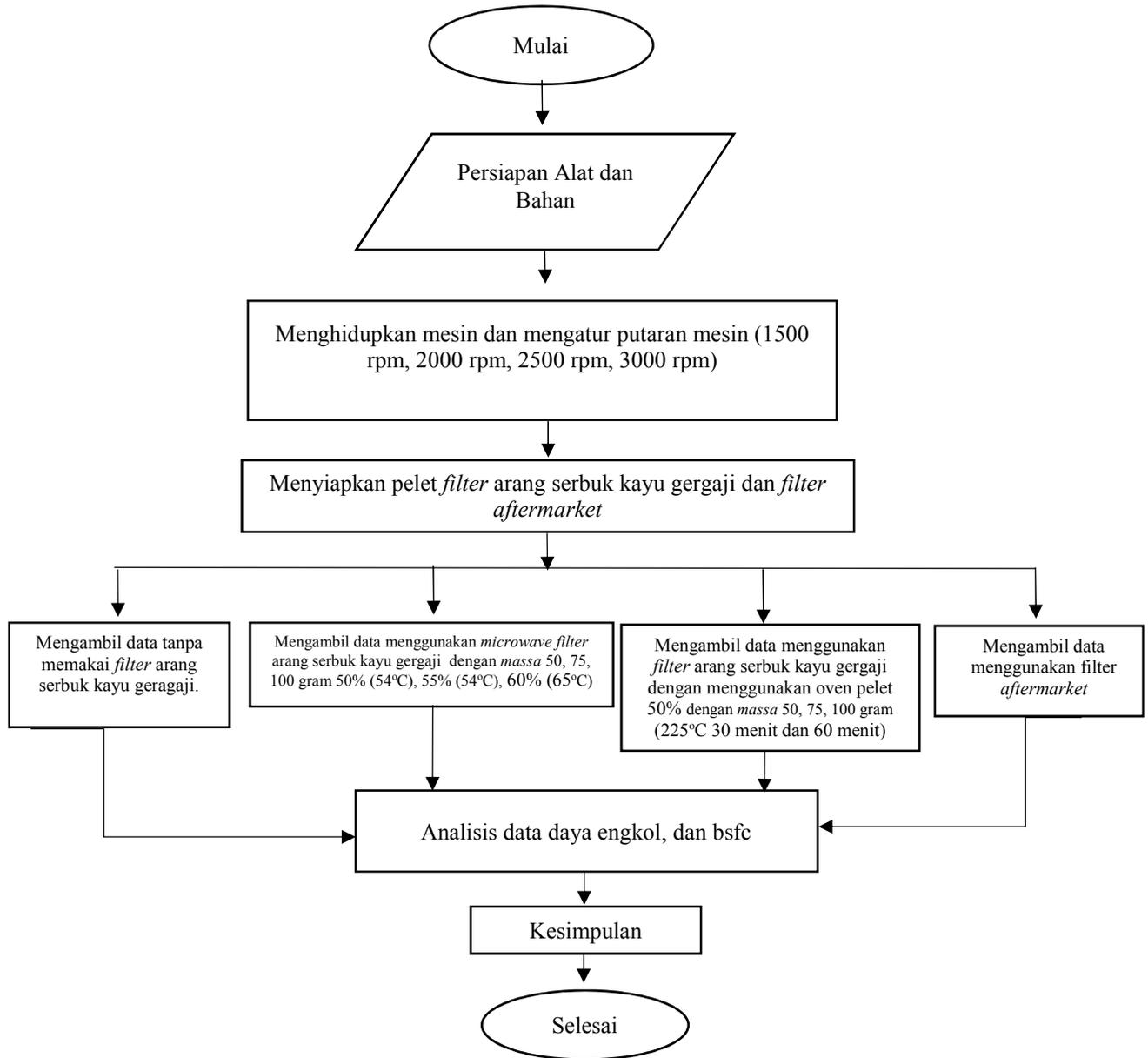
Kenapa membuat arang dari serbuk kayu lebih mudah dibandingkan dengan membuat arang dari sekam padi, karena untuk mendapatkan arang yang bagus dari bekas serutan kayu, harus rajin membolak-balikkan serutan kayu tersebut agar tidak hangus terbakar dan menjadi abu. Pada proses pembuatan arang serbuk kayu gergaji membutuhkan waktu 4-5 jam hingga menjadi arang. Dalam proses tersebut jangan ditinggal agar tidak menjadi abu (Moerad, 2019).

3.2 Diagram Alir Penelitian

Dibawah ini adalah diagram alir penelitian dalam pengambilan data dari pengujian *filter* udara arang serbuk kayu gergaji tanpa *filter*, menggunakan *filter* aktivasi fisik *microwave* dan oven. Pengolahan bahan, data pengujian dan hasil. Dapat dilihat dalam diagram alir pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian Proses Bahan.

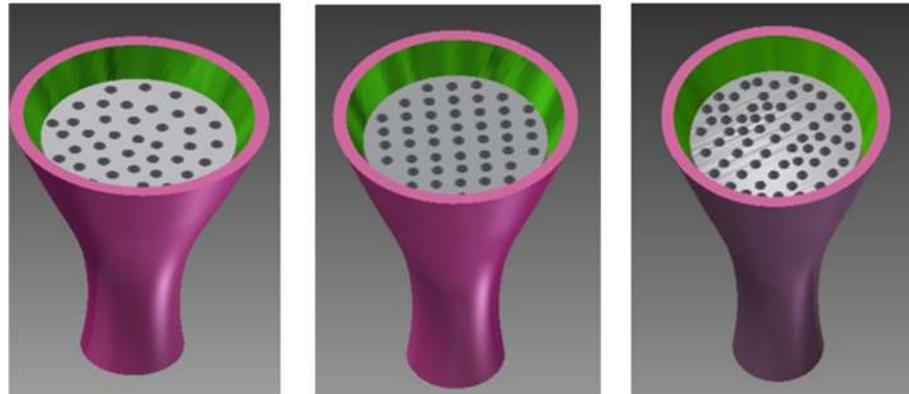


Gambar 10. Diagram Alir Pengujian Prestasi Mesin.

3.2 Persiapan Pengujian

Pada prosedur yang telah dilakukan pada praktikum prestasi mesin, penelitian ini menggunakan aktivasi fisik *microwave*, oven, dan *filter aftermarket* dengan 3 variasi konsentrasi pelet, 5 variasi temperatur aktivasi pelet, dan 3 variasi *massa filter*. Adapun persiapan penelitian pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. Langkah pertama yaitu mengukur dimensi *filter* menggunakan kawat strimin yang berisikan pelet arang serbuk gergaji sesuai dengan dimensi dan *massa* pelet yang sudah ditimbang. Memotong kawat strimin sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan, Fungsi kawat strimin adalah sebagai rangka atau *frame* untuk wadah pelet arang serbuk gergaji dan *filter* diletakkan pada saringan udara udara *unit instrument* TD114.
- b. Langkah kedua yaitu menata Pelet arang serbuk kayu gergaji ditata pada rangka kawat strimin yang berbentuk lingkaran secara teratur dengan ukuran renggang, agak renggang, dan rapat sesuai dengan konsentrasi yang digunakan.
- c. Langkah ketiga yaitu memastikan pelet arang serbuk kayu gergaji dapat dimasukkan di *unit Instrument* TD114 sesuai dengan konsentrasi yang dibutuhkan. Adapun pemasangan *filter* arang serbuk gergaji pada saringan udara *unit instrument* TD114 dilihat pada Gambar 11.



a. Renggang.

b. Agak renggang.

c. Rapat.

d. Alat *unit* instrumen TD114.

Gambar 11. Pemasangan *Filter* Arang Serbuk Kayu Gergaji:, a. Renggang,
 b. Agak Renggang, c. Rapat, dan d. Alat *Unit* Instrumen
 TD114.

3.3 Prosedur Pengujian

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Pengkalibrasian Alat Uji

- a. Langkah pertama yaitu menghubungkan *unit* instrumen TD114 dengan arus listrik, dan menghidupkan *unit* instrumen TD114 ini. Mengguncangkan dinamometer untuk mengatasi kekakuan *seal*

bantalan. *Vibrasi* secara otomatis bila mesin berputar. Memutar *zero control* hingga torsimeter terbaca nol. Mengguncangkan dinamometer lagi untuk mengatasi keakuratan posisi nol tersebut.

- b. Langkah kedua yaitu menggantungkan *massa* sebesar 3,5 kg pada lengan dinamometer tersebut. Mengguncangkan dinamometer lagi hingga pembacaan torsimeter stabil. Memutar *span control* hingga torsimeter TD114 menunjukkan bacaan 8,6 Nm. Menyingkirkan beban 3,5 kg tadi dan mengulangi langkah (3 - 8) agar penyetelan *zero* dan *span control* nya benar-benar akurat.

2. Pengambilan Data

- a. Hal pertama yang dilakukan yaitu dihidupkan mesin bensin 4-langkah *Tecumseh* TD110, untuk proses pemanasan selama 15 menit mesin bensin 4-langkah sampai keadaan stabil, setelah itu mengkalibrasi *unit instrument* TD114.
- b. Pengambilan data pada penelitian ini dimulai dengan mengatur putaran mesin. Variasi putaran mesin yang digunakan yaitu 1500, 2000, 2500, dan 3000 rpm. Arang serbuk kayu gergaji teraktivasi fisik yang digunakan dalam pengujian ini adalah aktivasi fisik dengan temperatur sebesar 50°C, 54°C, 65°C, 225°C, dan *filter aftermarket*. Konsentrasi pelet arang serbuk kayu gergaji yang digunakan yaitu sebesar 50% (50 gram arang serbuk kayu gergaji + 30 ml air + 18 gram tepung tapioka), sebesar 55% (55 gram arang serbuk kayu gergaji + 32 ml air + 18 gram tepung tapioka), sebesar 60% (60 gram arang serbuk kayu gergaji + 28 ml air + 12 gram

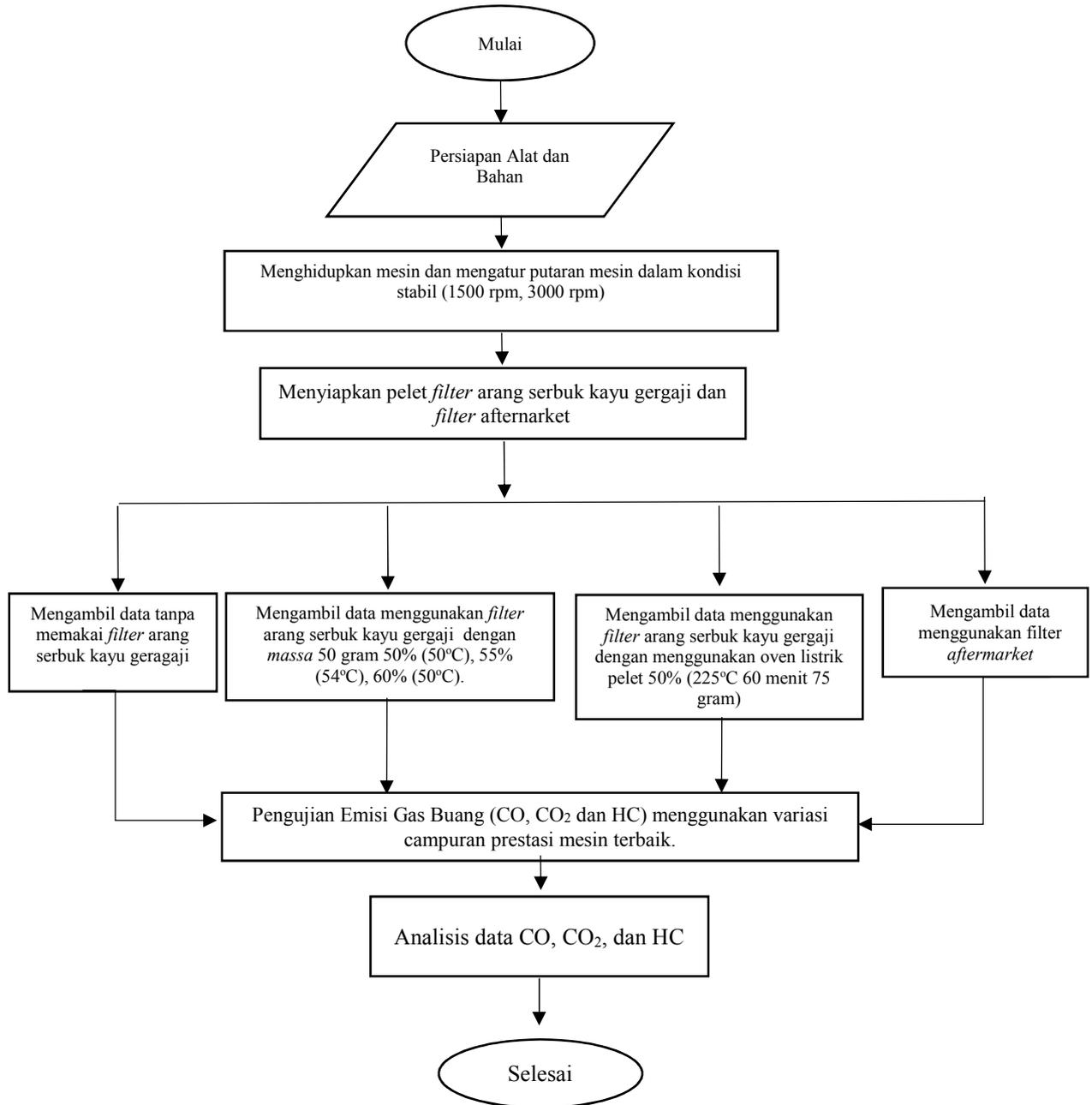
tepung tapioka). Diameter pelet yang digunakan sebesar 10 mm, dan variasi *massa filter* arang serbuk kayu gergaji sebesar 50 gram renggang, 75 gram agak renggang, dan 100 gram rapat.

- c. Langkah selanjutnya yang dilakukan yaitu melakukan pengambilan data sebanyak empat kali dalam putaran mesin (1500, 2000, 2500, dan 3000 rpm). Tanpa menggunakan *filter* arang serbuk kayu gergaji teraktivasi fisik menggunakan temperatur 50°C, 54°C, 65°C selama 5 menit, menggunakan temperatur 225 °C selama 30 menit, 60 menit, dan *filter aftermarket*, dilakukan pengujian selama tiga kali pengambilan data. *Filter* udara arang serbuk kayu gergaji diletakkan di saluran udara masuk sehingga udara yang masuk ke ruang bakar melewati pelet arang serbuk kayu gergaji dan mengalami proses *adsorben* yang dilakukan oleh pelet arang serbuk kayu gergaji, dengan menggunakan laju pemakaian bahan bakar selama 8 ml.
- d. Setelah torsi stabil, selanjutnya mencatat data yang ditunjukkan pada *unit instrument* TD114 dan pengambilan data dilakukan untuk setiap putaran mesin dengan konsentrasi pelet, temperatur aktivasi, *massa filter* arang serbuk kayu gergaji, ketebalan diameter pelet, dan waktu aktivasi.
- e. Langkah pengujian yaitu pada kondisi putaran mesin yang sama, meletakkan saringan arang serbuk kayu gergaji dengan *massa* 50 gram dengan *filter* renggang, 75 gram *filter* agak renggang, dan 100 gram *filter* rapat. Diameter 10 mm, konsentrasi 50%, 55%, dan 60% dan temperatur aktivasi 50°C, 54°C, 65°C, 225°C, dan *filter aftermarket* pada saluran udara masuk dan mencatat nilai variabel-variabel operasi yang diperoleh.

- f. Dengan menggunakan proses langkah pengujian yang sama seperti pengujian sebelumnya, hanya membedakan diawali dengan variasi putaran mesin terendah (1500 rpm), Berakhir pada putaran mesin tertinggi yaitu (3000 rpm), Variasi *massa*, dan *filter* yang digunakan. Seluruh data yang diambil dilakukan pengulangan tiga (3) kali agar data yang didapat lebih akurat.
- g. Setelah data-data dengan variasi tersebut diperoleh semua, selanjutnya mengambil salah satu *filter* dengan presentase komposisi terbaik pertama (1), dan kedua (2) dari kenaikan daya engkol dan penurunan bsfc yang terbaik.
- h. Untuk pengujian emisi gas buang tingkat lanjut dengan variasi *massa* dan teraktifasi fisik temperatur 50°C, 54°C, 65°C, 225°C, dan filter *aftermarket*. Konsentrasi pelet arang serbuk kayu gergaji yang digunakan yaitu sebesar 50% (50 gram arang serbuk kayu gergaji + 30 ml air + 18 gram tepung tapioka), sebesar 55% (55 gram arang serbuk kayu gergaji + 32 ml air + 18 gram tepung tapioka), sebesar 60% (60 gram arang serbuk kayu gergaji + 28 ml air + 12 gram tepung tapioka) untuk meningkatkan salah satu prestasi mesin motor bensin 4-langkah.

Pada Gambar 12 adalah diagram alir penelitian dalam pengambilan data dari pengujian *filter* udara arang serbuk kayu gergaji, tanpa *filter*, dan *aftermarket*, menggunakan *filter* aktivasi fisik *microwave*, oven, dan *aftermarket*. Pengolahan data pengujian emisi gas buang dan hasil. Proses pengambilan data pengujian emisi gas buang adalah sebagai berikut: Setelah mesin dihidupkan selama kurang lebih 10 menit dan menyetel putaran mesin pada 1500 rpm,

tunggu sampai putaran stabil. Setelah itu memasang corong asap alat uji ke knalpot/saluran gas buang mesin bensin *Tecumseh* TD110 lalu memulai proses pengambilan data dengan pengambilan data sebanyak 2 kali untuk setiap putaran mesin dengan menggunakan *filter* arang serbuk kayu gergaji, tanpa *filter*, dan *filter aftermarket* dapat dilihat dalam diagram alir pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram Alir Pengujian Emisi Gas Buang.

Pada pengujian emisi gas buang ini dilakukan untuk melihat pengaruh penggunaan pelet pada *filter* udara motor dalam mereduksi emisi gas buang yang dihasilkan. *Filter* yang diuji emisi merupakan jenis *filter* yang terbaik pada saat pengujian konsumsi bahan bakar untuk menghemat biaya yang digunakan jadi tidak semua jenis *filter* diuji emisi gas buangnya. Pengujian dilakukan di Laboratorium Motor Bakar dan Propulsi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Pengujian ini diawali dengan pengkalibrasi gas *analyzer* kemudian melalui pengujian emisi gas buang adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan pemanasan mesin yang diuji, dan menetapkan putaran mesin yang diambil yaitu 1500, dan 3000 rpm.
- b. Menghubungkan *StarGas* 898 ke arus listrik dan menghidupkan *switch StarGas* 898, maka pada layar tampil perintah *PRESS ANY KEY TO CONTINUE* lalu menekan tombol “*any key*” pada panel *Star Gas* 898 dan tampil pilihan pengujian *GAS ANALYSIS, SMOKE ANALYSIS, SCOPE/OSCILOSCOP, GAS ANALYSIS*.
- c. Memilih *GAS ANALYSIS* untuk pengujian motor bensin dan tampil *MEASURMENT, CURVES, HISTOGRAM*. *MEASURMENT* adalah penyajian/hasil data pengujian dalam bentuk angka, *CURVES* dalam bentuk kurva, *HISTOGRAM* dalam bentuk batang.
- d. Memilih *MEASURMENT* dan tampil pilihan *OFFICIAL TEST, STANDART TEST, PROBE TEST*. Lalu memilih *STANDART TEST*.
- e. Alat uji *Star Gas* 898 melakukan *WARMING UP* kurang lebih 60 detik dan selanjutnya *Star Gas* 898 melakukan *AUTO ZERO* secara

otomatis yang berfungsi untuk mereset dari awal lagi, lalu menunggu sampai proses *auto zero* selesai.

- f. Setelah alat uji mengalami *auto zero* selesai data pengujian ditampilkan dilayar seperti RPM, CO, CO₂, TEMPERATUR, HC, O₂ dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Selang *Probe*.

- g. Pada saat menunggu sampai angka stabil, dan tidak berubah jauh lalu menekan tombol menu. Jika telah stabil untuk mengunci data dan melakukan pencetakan/printing dengan menekan tombol F1 kemudian F1 lagi. Melakukan pengisian data-data kendaraan sampai selesai selanjutnya tekan F5 atau *enter*, maka data dicetak oleh *Star Gas 898*.

Pertama data yang diambil adalah data tanpa menggunakan *filter* arang sebuk kayu gergaji putaran 1500 rpm mengecek putaran mesin jika telah stabil melihat pada panel layar uji *Star Gas 898* untuk pembacaan data apabila data kadar CO, CO₂, HC dan O₂ telah stabil tidak naik turun terlalu drastis maka dilakukan penguncian data pada alat uji dan dilakukan pencetakan hasil uji

emisi, setelah itu dilanjutkan menggunakan *filter* dengan komposisi Konsentrasi pelet arang sebuk kayu gergaji yang digunakan yaitu 50%, 55% 60%, dan *filter aftermarket*. Pengujian pada putaran rendah 1500 rpm telah didapatkan, maka putaran tinggi mesin 3000 rpm dilakukan pengambilan data uji emisi dengan prosedur yang sama dengan putaran mesin 1500 rpm. Data hasil pengujian emisi nantinya dibandingkan antara tanpa menggunakan *filter* dengan penggunaan *filter* arang sebuk kayu gergaji, dan *filter aftermarket*. Adapun alat pengujian emisi gas buang pada Gambar 14.



Gambar 14. Pengujian Emisi Gas Buang.

3.4 Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Motor bensin 4-langkah

Mesin yang dipakai dalam pengujian ini adalah motor bensin 4- langkah 1 silinder yang ada di Laboratorium Motor Bakar dan Propulsi Jurusan Teknik

Mesin Universitas Lampung seperti pada Gambar 15 dengan spesifikasi mesin sebagai berikut :

Tabel 3. Spesifikasi Motor Bakar.

Merk	: <i>Tecumseh</i> TD110
Jenis	: Motor Bensin 4 Langkah 1 Silinder
<i>Volume</i> langkah torak	: 200 cc
Diameter silinder	: 66,69 mm
Langkah piston	: 57,15 mm
Perbandingan kompresi	: 6
Daya engkol maksimum	: 3,73 kW pada 2500 rpm
Torsi maksimum	: 10,3 Nm pada 3600 rpm
Putaran maksimum	: 3600 rpm
Waktu pengapian	: 0,080 ^o BTDC
Sistem pengapian	: <i>Magnetik</i>
Busi	: <i>Champion</i> J-80
Spark Gap	: 0,75 – 0,78
Tipe Bahan Bakar	: Bensin Pertalite



Gambar 15. Motor Bensin 4-Langkah *Tecumseh* TD110.

2. *Unit* Instrumen TD114

Instrumen yang dipakai dalam pengujian ini adalah panel pengukuran

putaran mesin, torsi, temperatur gas buang, laju pemakaian bahan bakar dan laju pemakaian udara pembakaran. *Unit* instrumen TD114 dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. *Unit* Instrumen TD114.

3. Ayakan/Saringan

Ayakan/saringan yang dipakai dalam penelitian ini memiliki fungsi untuk meratakan arang serbuk gergaji setelah dilakukan penumbukan, agar ukuran menjadi sama yaitu 100 *mesh*. Penyamaan ukuran arang serbuk gergaji ini sangat penting agar sewaktu pengujian mendapatkan hasil yang optimal. Ayakan 100 *mesh* dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Ayakan/Saringan 100 *mesh*.

4 *Microwave*

Pada penelitian ini *microwave* digunakan untuk mengaktivasi fisik arang serbuk kayu gergaji dijadikan *filter* motor bensin 4-langkah *Tecumseh* TD110 pada *microwave* dengan daya maksimum sebesar 400 watt, jumlah yang ada pengatur powernya yaitu 100% (400 watt), 80% (320 watt), 60% (240 watt), 40% (160 watt), dan 20% (80 watt). Meratakan dan mentransfer panas dari sumber panas dapat dari gelombang mikro yang bergerak dan saling bertabrakan. *microwave* hanya memanaskan dengan temperatur maksimal yaitu 75°C, menggunakan temperatur 65°C di karenakan batasan pelet tersebut cukup, jika sampai melebihi temperatur di atas maka bahan yang digunakan dapat terbakar dilihat pada Gambar 18.

Tabel 4. Spesifikasi *microwave* yang digunakan dalam pengujian.

No	Spesifikasi aktivasi fisik		
	Daya (watt)	Temperatur (°C)	Waktu (menit)
1	60% (240)	65	5 menit
2	40% (160)	54	5 menit
3	20% (80)	50	5 menit



Gambar 18. *Microwave* Aqua SANYO AEMS 1812S .

5. Oven

Pada penelitian ini oven digunakan untuk mengaktivasi fisik arang serbuk kayu gergaji yang telah berbentuk pelet dan digunakan untuk sebuah perbandingan dengan *microwave* dikarenakan *microwave* hanya dapat memanaskan dengan temperatur maksimal 75 °C, sedangkan pada oven listrik dengan *temperature* 225°C berdasarkan penelitian (Shandy, 2019) terbaik dalam aktivasi fisik pelet (30 menit, dan 60 menit), dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Oven Listrik.

6. Timbangan Digital

Pada penelitian ini timbangan digital digunakan untuk mengukur *massa* pada arang serbuk kayu gergaji dan *massa* perekat dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Timbangan Digital.

7. *Roller Ampia*

Pada penelitian ini *roller ampia* digunakan untuk memadatkan campuran dan pipihkan adonan arang serbuk gergaji agar dapat memudahkan pada saat proses pencetakan pelet dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. *Roller Ampia*.

8. Tumbukan/Lesung Kayu

Pada penelitian ini tumbukan digunakan untuk menghaluskan arang serbuk kayu gergaji kasar menjadi halus dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Tumbukan/Lesung Kayu.

9. Cetakan Plet

Pada penelitian ini cetakan pelet digunakan untuk membuat pelet adonan arang serbuk kayu gergaji yang dijadikan *filter* dengan menggunakan variasi dan ukuran yang sama dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Cetakan Pelet.

10. *Tachometer* digital

Pada penelitian ini *Tachometer* digital digunakan untuk mengetahui putaran mesin yang digunakan dalam rpm dapat dilihat pada Gambar 24.



Gambar 24. *Tachometer* digital.

11. Gelas Ukur

Pada penelitian ini gelas ukur digunakan untuk mengukur volume air yang dicampurkan pada arang serbuk gergaji.

12. *Stopwatch*

Pada penelitian ini *stopwatch* digunakan untuk mengukur waktu pada saat

pengujian bahan bakar per 8 ml.

13. Kawat Strimin

Pada penelitian ini kawat strimin digunakan untuk merekatkan dan menyusun pelet arang serbuk kayu gergaji yang digunakan untuk media *filter* dan pengujian dalam mereduksi emisi gas buang.

14. Kompor Listik

Pada penelitian ini kompor listik digunakan untuk memanaskan campuran tepung tapioka, dan air akuades yang berfungsi sebagai perekat arang serbuk kayu gergaji.

15. Termometer Digital

Pada penelitian ini termometer digunakan untuk mengetahui *temperature* pada ruangan saat pengujian.

16. *Exhaust Gas Analyzer Stargas 898*

Pada penelitian ini *exhaust gas analyzer stargas 898* digunakan untuk mengukur kandungan gas yang terdapat pada emisi gas buang sisa dari pembakaran motor bensin 4-langkah 1 silinder seperti CO, HC, CO₂ dan O₂, dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. *Exhaust Gas Analyzer Stargas 898*.

3.5 Bahan Penelitian

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

1. Arang Serbuk Kayu Gergaji

Pada penelitian ini arang yang digunakan dibuat dari serbuk kayu gergaji yang telah dibakar terlebih dahulu, dapat dilihat pada Gambar 26.



Gambar 26. Arang Serbuk Kayu Gergaji.

2. *Filter Aftermarket*

Pada penelitian ini *filter aftermarket* ini digunakan untuk perbandingan dengan arang serbuk kayu gergaji untuk melihat apakah terbaik dari arang serbuk kayu gergaji atau tidak, dapat dilihat pada Gambar 27.



Gambar 27. *Filter Aftermarket*.

3. Tepung Tapioka

Pada penelitian ini tepung tapioka ini digunakan untuk pencampuran arang serbuk kayu gergaji menjadi perekat sebelum dijadikan pelet.

4. Air Aquades

Pada penelitian ini yang digunakan untuk pencampuran antara arang serbuk gergaji dengan tepung tapioka agar campuran dapat dibentuk dan dicetak dengan komposisi tertentu, air yang digunakan adalah air akuades.

3.6 Persiapan Penelitian

Adapun proses dan tahapan persiapan penelitian yang digunakan ini adalah sebagai berikut:

1. Menghaluskan Arang Serbuk Kayu Gergaji

Menghaluskan arang serbuk kayu gergaji dengan cara menumbuk dengan penumbukan yang kemudian diayak dengan menggunakan ayakan ukuran 100 *mesh* dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 28. Mengayak Arang Serbuk Kayu Gergaji dengan Ayakan 100 *Mesh*.

Proses pembuatan dilakukan dengan menggunakan kompor listrik agar campurannya merata sempurna hingga menjadi adonan. Setelah itu pipihkan adonan menggunakan *roller ampia* dengan ketebalan 3 mm dapat dilihat pada Gambar 29.



Gambar 29. Proses Pembuatan Pelet.

2. Pencetakan Pelet

Langkah yang ke tiga yaitu pencetakan pelet, setelah adonan telah dipipihkan dengan ketebalan 3 mm, selanjutnya yaitu mencetak menjadi pelet dengan ukuran diameter 10 mm. *Massa* total yang di uji sebesar 50 gram, 75 gram, dan 100 gram. Adapun adonan yang baru dicetak dapat dilihat pada Gambar 30.



Gambar 30. Pelet Arang Serbuk Kayu Gergaji yang Baru Dicetak.

Tabel 5. Komposisi Campuran Pada Arang Serbuk Kayu Gergaji Dengan *Massa* Total 100%.

Komposisi	Arang Serbuk Kayu Gergaji	Perekat	Air
ASK50%:50%	50 gram	18 gram	32 ml
ASK55%:45%	55 gram	15 gram	30 ml
ASK60%:40%	60 gram	12 gram	28 ml

Catatan : ASK: Arang Serbuk Kayu Gergaji

3. Mengaktivasi Fisik dan Pengemasan Pelet Arang Serbuk Kayu Gergaji
- Setelah dicetak menjadi pelet, langkah selanjutnya yaitu pengaktivasi yang bertujuan untuk meningkatkan fisik pelet arang serbuk kayu gergaji sebagai *adsorben*. Pada penelitian ini peneliti menggunakan *microwave* dengan aktivasi fisik pada temperatur 50°C, 54°C, 65°C dengan waktu 5 menit, dan oven pada temperatur 225° C selama 30 menit dan 60 menit. Langkah selanjutnya yaitu mengemas pelet *filter* arang serbuk kayu gergaji menggunakan kawat *filter* sesuai dengan *massa* yaitu untuk 50 gram dengan *filter* renggang, 75 gram dengan *filter* tidak renggang, 100 gram dengan *filter* rapat, dan mengemas filter aftermarket dengan kawat strimin. Setelah pengaktivasi arang serbuk kayu gergaji, dilakukan pengemasan pelet dengan menggunakan variasi *massa* pelet arang serbuk kayu gergaji. Dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Variasi *Massa Pelet Filter* Arang Serbuk Kayu Gergaji.

Konsentrasi (%)	<i>Massa</i> (gram)	Ukuran <i>Filter</i>	Saringan Udara	Diamater (mm)
50	50	1	Renggang	10
	75	1	Agak Renggang	10
	100	1	Rapat	10
55	50	1	Renggang	10
	75	1	Agak Renggang	10
	100	1	Rapat	10
60	50	1	Renggang	10
	75	1	Agak Renggang	10
	100	1	Rapat	10

Setelah pengemasan arang serbuk kayu gergaji menjadi saringan, lalu saringan arang serbuk kayu gergaji ini dipasang pada saluran udara masuk mesin bensin 4-langkah lalu meletakkan wadah pada saluran masuk mesin bensin 4-langkah dan mengambil data. Adapun bentuk saringan saluran udara *filter* arang serbuk kayu gergaji yang digunakan untuk pengujian pada mesin bensin 4-langkah dapat dilihat pada Gambar 31.

Gambar 31. *Filter* Arang Serbuk Kayu Gergaji: a. *massa* 50 gr

renggang, b. 75 gr agak renggang, dan c. 100 gr rapat

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun simpulan dari hasil pengujian, pengambilan data, serta perhitungan sesuai dengan metodologi penelitian *filter* arang serbuk kayu gergaji yang sudah dilakukan maka diperoleh kesimpulan yaitu:

1. *Filter* udara berbahan arang serbuk kayu gergaji mampu menaikkan daya engkol dan menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik engkol apabila dibandingkan dengan tanpa menggunakan *filter* maupun *filter* aftermarket.
2. *Massa* terbaik dalam meningkatkan daya engkol dan penurunan bahan bakar spesifik engkol yaitu pada *massa* 50 gram *filter* renggang.
3. Kenaikan daya engkol rata-rata terbaik yaitu pada konsentrasi 55% dengan temperatur 54°C waktu aktivasi fisik selama 5 menit dengan *massa* 50 gram yaitu rata-rata sebesar 56,27% penurunan bsfc sebesar 31,95%, dan yang kedua terjadi pada konsentrasi 50% dengan temperatur 225°C waktu aktivasi fisik selama 60 menit dengan *massa* 75 gram yaitu rata-rata sebesar 45,85% penurunan bsfc sebesar 28,96%.
4. Perbandingan antara nilai daya engkol dan bsfc menggunakan *filter* arang serbuk kayu gergaji dibandingkan dengan *filter* aftermarket, nilai yang

didapat pada variasi konsentrasi 55% dengan temperatur 54°C didapatkan daya engkol terbaik pada 3000 rpm dengan nilai 0,348 kW meningkat sebesar (90,59%), dan pada bsfc terbaik dengan nilai 1,34 kg/kWh meningkat sebesar (45,40%), dibandingkan *filter aftermarket* dengan daya engkol pada 3000 rpm sebesar 0,264 kW menurun sebesar (44,90%), dan pada bsfc dengan nilai 2,56 kg/kWh menurun sebesar (40,48%). Dapat disimpulkan bahwa nilai terbaik ada pada *filter* arang serbuk kayu gergaji dengan variasi konsentrasi 55% dengan temperatur 54°C (*filter* renggang).

5. Hasil pengujian emisi terbaik diperoleh pada konsentrasi *filter* arang serbuk kayu gergaji 60% menggunakan *microwave* dengan nilai hasil pengujian pada putaran rendah 1500 rpm dapat menurunkan kadar CO sebesar 14% (mereduksi 29,35%), dan pada variasi konsentrasi 50% (*microwave*) pada putaran tinggi 3000 rpm CO sebesar 18% (mereduksi 16,82%). Pada HC variasi konsentrasi 60% (*microwave*) mampu menurunkan kadar HC dengan putaran rendah 1500 rpm sebesar 42 ppm (3,5%), dan variasi konsentrasi 50% (*microwave*) dengan putaran tinggi 3000 rpm sebesar 25 ppm (0%). Pada CO₂ variasi konsentrasi 60% (*microwave*) mampu menurunkan kadar CO₂ dengan putaran rendah 1500 rpm sebesar 16% (mereduksi 27,2%), dan variasi konsentrasi 50% (*microwave*) dengan putaran tinggi 3000 rpm sebesar 16% (mereduksi 15,7%).

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis sampaikan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan uji jalan untuk pengaplikasian pada kendaraan bermotor, mengetahui pengaruh secara langsung penggunaan *filter* arang serbuk kayu gergaji tersebut.
2. Perlu dilakukan pengujian kerapuhan untuk meningkatkan usia pakai dari *filter* udara pembakaran berbahan arang serbuk kayu gergaji tersebut.
3. Untuk pengujian selanjutnya terhadap arang serbuk kayu gergaji, dapat menggunakan alat instrumen VDAS dan mesin Kohler yang ada di Laboratorium Motor Bakar dan Propulsi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung agar memudahkan pembacaan data dan hasil pengujian lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Fahmuddin, 2017. Teknologi Pembuatan Biochar Sederhana. <https://www.litbang.pertanian.go.id/info-teknologi/2845/>, diakses pada 30 Desember 2021 pukul 23:00.
- Fuhaid, N., 2010. Pengaruh Filter Udara Pada Karburator Terhadap Unjuk Kerja Mesin Sepeda Motor. *Jurnal Proton* Vol. 2, No. 2 Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang. Malang.
- Ganesan V. 1996. *Internal Combustion Engine*, McGraw Hill. New York.
- Hapsari, M. A., 2021. Beda Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Baru Atau Lama. <https://www.megapolitan.kompas.com/read/2021/11/03/16141351/beda-ambang-batas-emisi-gas-buang-kendaraan-baru-dan-lama?page=all>, diakses pada 25 November 2021 pukul 10:00.
- Irawan, B., 2017, Perhitungan Energi Pembakaran Bahan Bakar di Dalam Silinder Mesin Bensin. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Terapan (Mesin) Volume 3 No. 1 Politeknik Negeri Malang*, Malang.
- Ismiyati, Marlita, D., dan Saidah, D. (2014). Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Manajernen Transportasi & Logistik* Vol. 01 No. 03, ITL Trisakti. Jakarta Timur.
- Juan, 2018. Pengertian Mesin Pembakaran Dalam dan Mesin Pembakaran Luar. <https://www.teknik-otomotif.com/2018/04/pengertian-mesin-pembakaran-dalam-dan.html>, diakses pada 7 Desember 2021 pukul 08:00.

Juan, 2017. Cara Kerja Motor 4 Tak dan 2 Tak. <https://www.teknik-otomotif.com/2017/12/cara-kerja-motor-4-tak-dan-2-tak.html>, diakses pada 7 Desember 2021 Pukul 08:00.

Kurniawan, T., Wardono, H., Sakti, D.S.E., 2020. Pengaruh Pemanfaatan Filter Udara Berbahan Zeolit Teraktivasi Fisik Menggunakan *Microwave* Terhadap Akselerasi Sepeda Motor Bensin 4-Langkah. *Jurnal Fema* Vol. 8, No. 2 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Kusuma, 2002. “Alat Penurun Emisi Gas Buang Pada Motor, Mobil, Motor Tempel, dan Mesin Pembakaran Tak Bergerak”. *Makara Journal of Technology* Vol. 6, No. 3. Universitas Indonesia. Depok.

Moerad, K., 2019. Membuat Arang Dari Serbuk Kayu untuk Suburkan Media Tanam. <https://lombokorganik.id/membuat-arang-dari-serbuk-kayu-untuk-suburkan-media-tanam/>, diakses pada 04 oktober 2021 pukul 11:30.

Pandapotan, C.W. dan Wardono, H., 2013, Pengaruh Variasi Temperatur dan Derajat Keasaman (pH) Air Pencucian Pada Aktivasi Zeolit Pelet Terhadap Prestasi Mesin Diesel 4- Langkah. *Jurnal FEMA* Vol. 1 No. 2. Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, Bandar Lampung.

Pari, G., 2002, Teknologi Alternatif Pemanfaatan Limbah Industri Pengolahan Kayu, https://www.rudyct.com/PPS702-ipb/04212/gustan_pari.htm, diakses pada 23 November 2021 pukul 16:00

Pari, G dan D. Hendra. 2000. “Peningkatan Produksi dan Kualitas Arang Aktif Sebagai *Adsorben* Emisi Gas Formaldehida Kayu. Dephut Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Puslitbang THH. Bogor.

- Prasetyo, H., 2000, " Kinetika Briket Arang Tempurung Kelapa sebagai Alternatif Energi ", UPN " Veteran " Surabaya, hal. 12.
- Pratama, D.E. dan Wardono, H., 2014. Pengaruh Variasi Jenis Air Dan Kondisi Aktivasi Dari Adsorber Arang Sekam Terhadap Perstasi Mesin Dan Kandungan Emisi Gas Buang Sepeda Motor Karburator 4-Langkah. Jurnal FEMA Vol. 2, No. 1 Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Putra, T.R., 2019. Cara Membersihkan Filter Udara Racing. <https://www.gridoto.com/read/221803762/cara-membersihkan-filter-udara-racing-gampang-banget-ternyata>. Diakses 24 November 2021 pukul 16:00.
- Ray, N., 2020. Begini Cara Merawat Filter Udara Sepeda Motor yang Berbeda Bahan. <https://www.otosia.com/berita/begini-cara-merawat-filter-udara-sepeda-motor-yang-berbeda-bahan.html>, diakses pada 18 November 2021 pukul 12:00.
- Sembiring, M.T. dan Sinaga, T.S., 2003. *Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)*. Lecture Papers Jurusan Teknik Industri Universitas Sumatera Utara. Medan
- Shandy, R., 2019. Pengaruh Filter Udara Berbahan Campuran Arang Sekam Padi Dan Arang Serbuk Gergaji Kayu Dengan Variasi Temperatur Aktivasi Dan Variasi Komposisi Terhadap Prestasi Sepeda Motor Bensin 4-Langkah. Skripsi Program Sarjana Teknik Mesin – Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Siswantoro, Lagiyono, dan Siswiyanti, 2012, Analisa Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor 4 Tak Berbahan Bakar Campuran Premium dengan Variasi Penambahan Zat Aditif, Jurnal Engineering, Vol. 3, No. 1. Fakultas Teknik Universitas Panca Sakti, Tegal.

- Smisek, M, Cerny. 1970 *Activated Carbon Manufacture, properties and application* Elsevier Publishing Company. New York.
- Surest, A. H., dan Afif, H. (2011). Pembuatan Briket Dari Serbuk Gergaji Kayu Dan Tempurung Kelapa Dengan Proses Karbonisasi. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 17, No. 8. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Suryamin, 2014. Subdirektorat Statistik Transportation. Badan Pusat Statistik. Jakarta. Diakses 4 Januari 2022 Pukul 20:00.
- Taryana, M. (2002) Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya). Laporan Skripsi, Jurusan Teknik Industri, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Tasliman, 2001. Naskah Ajar untuk Mata Kuliah Motor Bakar dan Traktor. Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Trihadi, B., 2003. Pemanfaatan limbah Padat Berupa Arang Bagasse. UPN Veteran. Surabaya 9-11 hal.
- Wardono, H. 2004. Modul Pembelajaran Motor Bakar 4-Langkah. Jurusan Teknik Mesin Universitas Larnpung. Bandar Lampung.
- Wardono, H. 2020. "Modul Praktikum Prestasi Motor Bakar 4-Langkah". Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Wardono, H., dan Pandapotan, C.W., 2012. Pengaruh Variasi Jenis Aktivator Asam dan Nilai Normalitas Pada Aktivasi Zeolit Pelet Perikat Terhadap Prestasi Mesin Motor Diesel 4-Langkah. *Jurnal Mechanical* Vo. 3 No. 2 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, Bandar Lampung.

Widiastuti, M.M.D. dan Lantang, B., 2017. Pelatihan Pembuatan Biochar dari Limbah Sekam Padi Menggunakan Metode Retort Kiln. *Jurnal Agrokreatif Pengabdian Kepada Masyarakat* (Vol. 3 No. 2, 129-135), Program Studi Pertanian. Universitas Musamus. Merauke.

Winanda, F., 2019. Penggunaan Filter Udara Sebagai Upaya Reduksi Emisi Gas Buang Penyebab Pemanasan Global. Tugas Akhir Semester 2 Mata Kuliah Bahasa Indonesia. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Windyasari, N., 2004, " Penggunaan Kadar Lignin pada Proses Pembuatan Pulp dari Kayu Lamtorogung dengan Proses Asam Asetat-Ethyl Asetat, " UPN " Veteran " Semarang, hal. 7.

Yono dan Deby 2012. Karbon Aktif. www.purewatercare.com/karbon_aktif.php, diakses pada 15 April 2022, pukul 06:00.

Zulkar'naim, A., 2021. Pemanfaatan Campuran Zeolit Alam Dan Fly Ash (Batubara) Teraktivasi Fisik Menggunakan Furnace Sebagai Filter Udara Berbentuk Pelet Untuk Meningkatkan Prestasi Mesin Motor Bensin 4-Langkah TECUMSEH TD110. Skripsi Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.