

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN FILTER UDARA BERBAHAN
DASAR ARANG BAMBU TERHADAP PRESTASI MESIN BENSIN
4-LANGKAH TD200**

Skripsi

Oleh

**Rafiansyah Dendy Pratama
2115021013**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN FILTER UDARA BERBAHAN
DASAR ARANG BAMBU TERHADAP PRESTASI MESIN BENSIN
4-LANGKAH TD200**

Oleh

Rafiansyah Dendy Pratama

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
BANDAR LAMPUNG**

2026

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN FILTER UDARA BERBAHAN DASAR ARANG BAMBU TERHADAP PRESTASI MESIN BENSIN 4-LANGKAH TD200

Oleh

RAFIANSYAH DENDY PRATAMA

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor berdampak pada tingginya konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan filter udara berbahan dasar arang bambu teraktivasi fisik menggunakan *microwave* terhadap prestasi mesin bensin 4-langkah. Filter udara arang bambu dibuat dalam bentuk pelet dan diaktivasi secara fisik menggunakan microwave pada daya 60% selama 7 menit, dengan variasi susunan filter yaitu rapat tengah, tengah kosong, dan renggang. Parameter prestasi mesin yang dianalisis meliputi torsi, daya engkol, dan konsumsi bahan bakar spesifik (bsfc). Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan filter udara arang bambu teraktivasi fisik mampu meningkatkan nilai torsi dan daya engkol mesin serta dapat mengoptimalkan nilai bsfc dibandingkan kondisi tanpa menggunakan filter. Variasi filter dengan susunan rapat tengah memberikan peningkatan performa paling optimal, dengan kenaikan torsi sebesar 9,84% dan daya engkol sebesar 7,66% serta penurunan konsumsi bahan bakar spesifik engkol sebesar 7%. Dengan demikian, filter udara arang bambu berpotensi menjadi alternatif untuk meningkatkan efisiensi dan prestasi mesin bensin 4-langkah.

Kata kunci: arang bambu, bsfc, daya engkol, filter udara, mesin bensin 4-langkah, torsi.

ABSTRACT

Analysis of the Effect of Using Bamboo Charcoal–Based Air Filters on the Performance of a Four-Stroke Gasoline Engine TD200

By

RAFIANSYAH DENDY PRATAMA

The increasing number of motor vehicles has resulted in higher fuel consumption and exhaust gas emissions. This study aims to analyze the effect of using an air filter made from physically activated bamboo charcoal using microwave irradiation on the performance of a four-stroke gasoline engine. The bamboo charcoal air filter was produced in pellet form and physically activated using a microwave at 60% power for 7 minutes. The filter arrangement was varied into three configurations: dense-center, hollow-center, and loose arrangement. The engine performance parameters analyzed include torque, brake power, and brake specific fuel consumption (bsfc). The test results indicate that the use of physically activated bamboo charcoal air filters can increase engine torque and brake power while optimizing bsfc compared to the condition without using the filter. The dense-center filter configuration provides the most optimal performance improvement, with an increase in torque of 9.84% and brake power of 7.66%, as well as a reduction in brake specific fuel consumption by 7%. Therefore, bamboo charcoal air filters have the potential to be an alternative solution to improve the efficiency and performance of four-stroke gasoline engines.

Keywords: *air filter, bamboo charcoal, bsfc, four-stroke gasoline engine, power, torque.*

Judul Skripsi

: **ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN
FILTER UDARA BERBAHAN DASAR
ARANG BAMBU TERHADAP PRESTASI
MESIN BENSIN 4 LANGKAH TD200**

Nama Mahasiswa

: **Rafiansyah Dendy Pratama**

No. Pokok Mahasiswa

: **2115021013**

Jurusan

: **Teknik Mesin**

Fakultas

: **Teknik**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM, ASEAN Eng.

Sabiqunassabiqun S.T., M.T.

NIP. 196608221995121001

NIP. 199210262024061001

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Ahmad Su'udi, S.T., M.T.

Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.

NIP. 197408162000121001

NIP. 197908212003121003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Anggota Penguji : **Sabiqunassabiqun S.T., M.T.**

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

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **24 Februari 2026**

LEMBAR PERNYATAAN

Skripsi dengan judul “**Analisis Pengaruh Penggunaan Filter Udara Berbahan Dasar Arang Bambu Terhadap Prestasi Mesin Bensin 4 Langkah TD200**” ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat sebagaimana diatur dalam pasal 36 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Peraturan Rektor no. 13 tahun 2019.

Bandar Lampung, 11 Maret 2026

Yang Menyatakan



Rafiansyah Dendy Pratama

NPM. 2115021013

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tanjung Karang, Kota Bandar Lampung, pada tanggal 28 Juli 2003. Penulis merupakan Anak pertama dari Bapak Adi Sudiro dengan Ibu Dewi Susana. Penulis beralamat di Jalan Marga, Gg. Perintis 2, Kecamatan Kemiling, Kelurahan Sumberrejo, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Penulis mengawali pendidikan di SD Negeri 02 Sumberrejo (2009-2015), SMP Negeri 26 Bandar Lampung (2015-2018), SMK Negeri 2 Bandar Lampung (2018-2021), Universitas Lampung (2021-sekarang). Pada tahun 2021, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis mengikuti Organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota bidang minat dan bakat pada divisi olahraga periode 2023/2024. Penulis melaksanakan program Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Gedung Meneng Baru, Kabupaten Tulang Bawang, Provinsi Lampung pada Januari – Februari 2024. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Perkebunan Nusantara 1 Regional VII Unit Pagaralam, Kota Pagaralam, Provinsi Sumatera Selatan pada Juli – Agustus 2024, dengan topik “**Analisis Performansi Mesin *Endless Chain Pressure* (ECP) Terhadap Proses Pelayuan Daun Teh Hijau di PTPN 1 Regional VII Unit Pagaralam**”. Penulis melakukan penelitian di bidang Konversi Energi dengan judul “**Analisis Pengaruh Penggunaan Filter Udara Berbahan Dasar Arang Bambu Terhadap Prestasi Mesin Bensin 4-Langkah TD200**”. Dibawah bimbingan Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM., ASEAN. Eng dan Bapak Sabiqunassabiqun S.T., M.T., Serta Bapak M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng sebagai pembahas.

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain), dan hanya kepada Tuhan mu lah engkau berharap”

(QS. Al-Insyirah, 6-8)

“ Jangan biarkan pendapat seseorang menjadi kenyataanmu.”

-Les Brown

‘Jangan pernah takut mencoba hal baru, itu adalah cara kita untuk tumbuh dan belajar.”

-Start Up

“ Tidak semua di dunia ini dinilai menurut versimu.

-Tere Liye

“Aku membahayakan nyawa ibuku untuk lahir ke dunia, jadi tidak mungkin aku tidak ada artinya dan ayahku bekerja keras tiap hari hingga lelah, jadi kupastikan lelahnya tidak akan sia-sia.”

-Penulis

PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati,
Saya mempersembahkan karya sederhana ini
Sebagai ungkapan cinta, kasih sayang, dan rasa terima kasih saya

KARYA TULISKU INI DIPERSEMBAHKAN KEPADA :

Kedua Orang Tuaku

Bapak Adi Sudiro

Dan

Ibu Dewi Susana

Terimakasih untuk segala do'a dan usaha yang selalu diberikan demi kesuksesan putranya sehingga mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana Teknik Mesin.

Terimakasih atas segala dukungan motivasi serta masukan dan saran yang telah diberikan sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini.

Seluruh Teman-Temanku, Vasco, Raihan, Vikky, Rega, dan Mesin Angkatan 21
Terimakasih atas segala dukungan yang telah diberikan.

Almamater Tercinta
UNIVERSITAS LAMPUNG

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa Allah Swt karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini dengan lancar dan tepat pada waktunya walaupun jauh dari kata sempurna. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan program sarjana S1, dan juga salah satu syarat menyelesaikan pendidikan sarjana di jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Dalam menyelesaikan skripsi ini, tentunya penulis dapat banyak masukan, semangat, kritik, saran dan mendapatkan pengalaman serta pembelajaran dari berbagai pihak

Ucapan terima kasih juga penulis tujukan kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ahmad Su'udi, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Prodi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM., ASEAN. Eng selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah membina selama perkuliahan dan membimbing dalam menyelesaikan skripsi.
5. Bapak Sabiqunassabiqun, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membina selama perkuliahan dan membimbing dalam menyelesaikan skripsi.
6. Bapak M. Dyan Susila E.S., S.T., M..Eng. Selaku Dosen Pembahas yang telah membimbing selama perkuliahan dan membina dalam menyelesaikan skripsi.

7. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan membina penulis selama perkuliahan.
8. Mas Agus Sriono, S.T. selaku PLP yang telah membantu dan membina saat di lab motor bakar dan propulsi.
9. Seluruh Dosen-dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah menjadi guru dan mengajarkan pengetahuan dasar kepada penulis.
10. Seluruh Staf tenaga pendidikan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung
11. Kedua Orang Tua penulis, Papa, Mama dan adik serta semua keluarga besar yang telah membantu penulis dalam memudahkan dan memberi dukungan dalam menyusun dan menyelesaikan laporan skripsi ini.
12. Pasangan penulis, Adellia Christi yang selalu menemani dan selalu menjadi pendamping penulis selama proses pengerjaan Skripsi. Terima kasih telah mendengarkan keluh kesah, berkontribusi banyak dalam penulisan Skripsi ini, memberikan dukungan, semangat, tenaga, pikiran, dan materi maupun bantuan kepada penulis. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan penulis hingga penyusunan Skripsi ini selesai.
13. Teman dan seluruh keluarga besar Teknik Mesin angkatan 2021 yang telah membantu memberikan semangat dan mendoakan kelancaran selama perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 11 Maret 2026
Penulis,

Rafiansyah Dendy Pratama
NPM. 2115021013

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
MENGESAHKAN	vi
LEMBAR PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN.....	x
SANWACANA.....	xi
DAFTAR NOTASI	xviii

BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Bambu	7
2.2 Mesin Bensin.....	8
2.3 Prinsip Kerja Motor Bensin 2 Langkah	9
2.4 Prinsip Kerja Mesin Bensin 4-Langkah	10
2.5 Filter Udara	12
2.6 Parameter Prestasi Mesin	15

2.7	Proses Pembakaran dan Reaksi Kimia.....	17
2.8	Udara Pada Proses Pembakaran.....	18
BAB III METODE PENELITIAN		19
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.2	Variabel Penelitian	19
3.3	Alat Penelitian.....	19
3.4	Bahan Penelitian.....	25
3.5	Persiapan Alat dan Bahan.....	27
3.6	Pengujian.....	30
3.7	Diagram Alir Penelitian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		34
4.1	Hasil Penelitian	34
4.2	Pembahasan.....	36
4.2.1	Pengaruh Penggunaan Filter Udara Arang Bambu Teraktivasi Fisik Terhadap Torsi	37
4.2.2	Pengaruh Penggunaan Filter Udara Arang Bambu Teraktivasi Fisik Terhadap Daya Engkol	40
4.2.3	Pengaruh Penggunaan Filter Udara Arang Bambu Teraktivasi Fisik Terhadap bsfc (<i>Brake Spesific Fuel Consumption</i>)	44
BAB V PENUTUP.....		49
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....		51
LAMPIRAN.....		56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bambu	7
Gambar 2.2 Siklus Motor Bensin 2 Langkah.....	9
Gambar 2.3 Diagram P-V Motor Bensin 4-Langkah	10
Gambar 2.4 Siklus Kerja Motor Bensin 4 Langkah.....	12
Gambar 2.5 Filter Udara (a) Konvensional, (b) Kering, dan (c) Basah.....	14
Gambar 3.1 Mesin Bensin 4-Langkah	20
Gambar 3.2 Instrumen VDAS.....	21
Gambar 3.3 <i>Software Intrument</i> VDAS	21
Gambar 3.4 Timbangan Digital.....	22
Gambar 3.5 <i>Roller</i> Ampia	22
Gambar 3.6 Gelas Ukur.....	23
Gambar 3.7 <i>Microwave</i>	24
Gambar 3.8 Kawat Strimin	24
Gambar 3.9 Cetakan Pelet.....	25
Gambar 3.10 Arang Bambu.....	25
Gambar 3.11 <i>Aquadest</i>	26
Gambar 3.12 Tepung Tapioka	26
Gambar 3.13 Proses Pembuatan Adonan Pelet	27
Gambar 3.14 Proses Aktivasi Fisik Filter Arang Bambu	28
Gambar 3.15 Filter Arang Bambu Variasi Susunan Filter Udara (a) Kosong Tengah, (b) Rapat Tengah, (c) Renggang.....	29

Gambar 3.16 Tempat Peletakan Susunan Filter Udara (a) Rapat Tengah, (b) Kosong Tengah, (c) Renggang	31
Gambar 3.17 Diagram Alir Penelitian.....	33
Gambar 4.1 Pengaruh Penggunaan Filter Udara Arang Bambu Terhadap Nilai Torsi	37
Gambar 4.2 Pengaruh Penggunaan Filter Udara Arang Bambu Terhadap Nilai Daya Engkol.....	41
Gambar 4.3 Pengaruh Penggunaan Filter Udara Arang Bambu Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Motor Bensin 4-Langkah.....	20
Tabel 3.2 Komposisi Pembuatan Pelet.....	28
Tabel 3.3 Variasi Pelet Filter Arang Bambu.....	29
Tabel 4.1 Filter Udara Terhadap Torsi.....	34
Tabel 4.2 Filter Udara Terhadap Daya Engkol.....	35
Tabel 4.3 Filter Udara Terhadap bsfc	36

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
Bp	Daya Engkol	(Kw)
T	Torsi	(Nm)
N	Putaran mesin	(rpm)
Mf	Laju pemakaian bahan bakar	(kg/jam)
Δm	Selisih massa pemakaian bahan bakar	(kg)
Δt	Selisih waktu pemakaian bahan bakar	(jam)
w	Gaya	(N)
d	Jarak pembebanan dengan pusat perputaran	(m)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya zaman dan kemajuan teknologi, kebutuhan pada industri otomotif menunjang mobilitas masyarakat sehari-hari (Ramadhan, dkk., 2022). Jumlah penduduk dan kendaraan bermotor di Indonesia terus mengalami peningkatan serta kebutuhan manusia mulai mengalami berbagai perubahan (Rahmawati, 2020). Industri otomotif yang semakin berkembang menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar minyak, sehingga berdampak pada tingginya tingkat polusi udara. Data dari Badan Pusat Statistik (BPS, 2023) mencatat bahwa jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mencapai 157.080.504 unit. Angka ini menunjukkan adanya peningkatan yang cukup signifikan dibandingkan dengan tahun 2022, yaitu sebanyak 148.261.817 unit dan sebanyak 142.001.698 unit ditahun 2021.

Energi memiliki peran penting dalam peningkatan pembangunan ekonomi. Peningkatan polusi udara dan tuntutan akan efisiensi mesin bensin 4-langkah telah mendorong berbagai penelitian untuk mencari solusi inovatif yang bisa meningkatkan performa mesin sekaligus mengurangi dampak terhadap lingkungan. Salah satu aspek penting yang memengaruhi kinerja mesin bensin adalah kualitas udara yang masuk ke ruang pembakaran. Udara yang tercemar oleh debu, polutan, atau kotoran dapat menurunkan efisiensi pembakaran, meningkatkan emisi gas buang, serta memperpendek umur mesin. Karena itu, penggunaan filter udara yang efektif sangat penting untuk menjaga kinerja optimal mesin bensin.

Efisiensi pemasukan udara dan bahan bakar juga sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran. Dalam proses pembakaran memerlukan udara yang bersih untuk campuran bahan bakar menjadi homogen agar proses

pembakaran di dalam silinder lebih sempurna. Proses pembakaran yang ideal akan mengoptimalkan kerja mesin sehingga meningkatkan efisiensi bahan bakar dan menyisakan sedikit emisi gas buang. Di dalam usaha penghematan konsumsi bahan bakar, beberapa pabrikan kendaraan bermotor melakukan riset sehingga menghadirkan teknologi yang mampu menghemat konsumsi bahan bakar (Prihartono, 2020).

Gas yang dibutuhkan dalam pembakaran adalah oksigen untuk membakar bahan bakar yang mengandung karbon dan hidrogen. (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 mengganggu proses pembakaran karena nitrogen dan uap air akan mengambil panas di ruang bakar, yang menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Agar mendapatkan pembakaran sempurna maka diperlukan filter yang dapat menyaring debu atau kotoran dan berfungsi sebagai penyaring gas-gas yang tidak diperlukan dalam proses pembakaran. Beberapa jenis filter untuk menyaring udara dapat mempengaruhi kinerja *engine*. efisiensi pemasukan udara dan bahan bakar juga sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran (Dirgantara, 2022).

Masalah polusi udara di kota-kota besar, kontribusi gas buang kendaraan bermotor sebagai sumber polusi udara mencapai 60-70%. Sementara kontribusi gas buang dari cerobong asap industri hanya berkisar 10-15%, sisanya bersumber dari pembakaran lain. Tingginya emisi gas buang pada kendaraan bermotor (motor bensin) disebabkan oleh tidak sempurnanya proses pembakaran di dalam silinder sehingga menghasilkan gas dan partikel sisa pembakaran atau emisi gas buang yang mengandung unsur polutan yang berbahaya bagi kesehatan. Tidak ada yang bisa menepis, emisi gas buang berupa asap knalpot adalah akibat terjadinya proses pembakaran yang tidak sempurna, dan mengandung timbal/timah hitam (Pb), *suspended particulate matter* (SPM), oksida nitrogen (NO_x), oksida sulfur (SO₂), hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), dan oksida fotokimia (O_x). Permasalahan polusi

udara yang disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor serta masalah krisis bahan bakar mineral mendorong usaha perlunya mencari terobosan baru untuk mengantisipasi masalah tersebut. Tujuan dari semua itu adalah untuk meningkatkan efisiensi kerja motor guna mengatasi masalah yang ada.

Filter udara pada umumnya terbuat dari busa, kain dan kertas, namun ada bahan lain yang dapat digunakan untuk menyaring udara, seperti zeolit alam, abu batu bara, tempurung kelapa, arang bambu serta bentonit. Filter udara berfungsi untuk menyaring udara yang masuk ke ruang pembakaran sehingga udara yang masuk merupakan udara yang bersih sehingga proses pembakaran dapat berjalan dengan efektif. Bahan-bahan tersebut mampu menyerap uap air (H_2O) dan nitrogen (N_2) dari udara yang masuk ke ruang bakar untuk memaksimalkan kandungan oksigen (O_2) pada proses pembakaran. Kondisi udara pembakaran yang masuk ke ruang silinder sangat berpengaruh dalam menghasilkan prestasi mesin yang tinggi, dalam hal ini adalah bersih atau tidaknya udara pembakaran dari gas-gas selain oksigen. Udara lingkungan yang dihisap masuk untuk proses pembakaran terdiri atas bermacam-macam gas, seperti nitrogen, oksigen, uap air, karbon monoksida, karbon dioksida, dan gas-gas lain. Sementara gas yang dibutuhkan pada proses pembakaran adalah oksigen untuk membakar bahan bakar yang mengandung molekul karbon dan hidrogen (Sembiring, dkk., 2020).

Bambu merupakan tanaman yang mudah ditemui di Indonesia terutama di Jawa, Bali, dan Sumatera. Filter udara berbahan dasar arang, seperti arang tempurung kelapa, bambu atau sekam padi yang diaktivasi, umumnya meningkatkan efisiensi pembakaran pada mesin bensin 4-langkah dengan menyaring polutan udara dan mengoptimalkan aliran oksigen. Efeknya terhadap torsi dan daya engkol cenderung positif pada desain optimal (Rafiano, 2024). Dengan data diatas penulis memanfaatkan bambu dengan cara dibakar kemudian sisa pembakaran yang berupa arang akan digunakan sebagai adsorben karena arang bambu ini memiliki pori-pori yang sangat halus yang dapat menyerap partikel kotoran dan polutan sehingga membantu menjaga

kualitas udara masuk sehingga pembakaran di dalam mesin menjadi lebih bersih dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan adsorpsi arang bambu. Arang bambu sangat efektif untuk menyerap ion logam berat, dan dapat dipergunakan untuk penanganan pada udara yang terpolusi.

Filter udara yang terbuat dari arang dapat digunakan untuk menyerap nitrogen (N) dan juga uap air (H₂O) yang terkandung dalam udara pembakaran. Penggunaan filter udara dapat memberikan udara yang kaya oksigen yang akan masuk ke ruang bakar untuk meningkatkan kualitas proses pembakaran 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. Berdasarkan percobaan, ditemukan bahwa filter udara arang serbuk 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%. Didapatkan hasil pengujian persentase peningkatan daya engkol dengan temperatur 54°C rata-rata sebesar 85,85%, dan penurunan konsumsi bahan bakar spesifik engkol dengan temperatur yang sama 54°C rata-rata sebesar 45,40% (Dirgantara, 2022).

Upaya penghematan bahan bakar melalui teknologi yang diaplikasi pada mesin oleh pabrikan tidak akan optimal jika tidak diikuti dengan perawatannya, karena kondisi filter udara akan mempengaruhi kinerja mesin, dimana untuk mendapatkan pembakaran sempurna maka diperlukan filter yang dapat menyaring debu atau kotoran-kotoran dan berfungsi sebagai penyaring gas-gas yang tidak diperlukan dalam proses pembakaran (Fatkhuniam, dkk., 2018). Sumbatan pada filter dapat mengakibatkan timbul kotoran yang masuk ke ruang bakar, sehingga menghambat *supply* udara di ruang bakar. Hal ini menyebabkan harus mengeluarkan tenaga lebih besar sehingga bahan bakar menjadi lebih boros dibanding keadaan normal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh filter arang bambu terhadap torsi mesin bensin 4-langkah.
2. Bagaimana pengaruh filter arang bambu terhadap daya engkol mesin bensin 4-langkah.
3. Bagaimana pengaruh filter arang bambu terhadap konsumsi bahan bakar spesifik motor bensin 4-langkah.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari adanya penelitian ini adalah untuk mengetahui pemanfaatan filter udara berbahan dasar arang bambu teraktivasi fisik terhadap prestasi mesin bensin TD 200 4-langkah berdasarkan:

1. Mengetahui pengaruh penggunaan filter udara berbahan arang bambu dalam meningkatkan torsi pada mesin bensin 4-langkah.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan filter udara berbahan arang bambu dalam meningkatkan daya engkol pada mesin bensin 4-langkah.
3. Mengoptimalkan konsumsi bahan bakar spesifik motor bensin 4-langkah dengan menggunakan filter arang bambu.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini Adalah sebagai berikut:

1. Mesin yang digunakan pada penelitian ini Adalah motor bensin 4-langkah *TecQuipment TD200 Small Engine Test* yang terdapat di Laboratorium Motor Bakar dan Propulsi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
2. Penelitian ini hanya difokuskan pada penggunaan filter udara berbahan dasar arang bambu yang telah diaktivasi secara fisik menggunakan *microwave* tanpa membandingkan dengan metode aktivasi kimia.

3. Penelitian hanya membandingkan filter udara arang bambu teraktivasi dengan penggunaan tanpa filter.
4. Pengujian dilakukan di laboratorium motor bakar dan propulsi Universitas Lampung.
5. Analisis tidak mencakup ketahanan jangka panjang, efisiensi biaya produksi, maupun aspek lingkungan dari filter udara.
6. Hasil penelitian hanya berlaku untuk spesifikasi mesin dan filter yang digunakan dalam pengujian ini, sehingga tidak digeneralisasi untuk semua jenis motor bensin.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat Penelitian yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam aspek teoritis, penelitian ini dapat menambah wawasan dan referensi keilmuan di bidang teknik mesin dan memberikan kajian tentang pengaruh filter udara arang bambu teraktivasi fisik terhadap prestasi mesin bensin 4-langkah.
2. Penelitian ini dapat memberikan alternatif filter udara berbahan ramah lingkungan, menjadi acuan dalam meningkatkan torsi, daya engkol, dan efisiensi bahan bakar spesifik (bsfc) mesin bensin dan memberikan gambaran susunan filter udara yang optimal.
3. Dalam aspek lingkungan, pemanfaatan arang bambu sebagai bahan filter udara dapat mendukung penggunaan material ramah lingkungan serta berpotensi mengurangi emisi gas buang akibat pembakaran yang lebih optimal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bambu

Pemanfaatan bambu masa kini telah berkembang dalam bentuk yang telah diolah dengan teknologi sederhana hingga teknologi tinggi. Di Indonesia terdapat 160 jenis bambu yang terdiri atas 122 jenis asli Indonesia dan 38 jenis hasil introduksi. Pada tahun 2015, Indonesia memproduksi bambu hingga 9,7 juta batang (BPS 2016). Bambu memiliki potensi yang besar sebagai bahan baku karena memiliki sifat fisis dan mekanis yang baik (Maulana, dkk., 2018).

Salah satu jenis bambu yang terdapat di Indonesia adalah bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea*). Bambu andong merupakan salah satu jenis biomassa yang memiliki keuntungan lain yaitu dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif (Tambunan, dkk., 2023). Salah satu bentuk pemanfaatan bambu andong sebagai bahan penyerap alternatif yaitu berupa pelet filter udara. Ada beberapa kelebihan bambu yang menjadi bahan bangunan sehingga banyak digunakan di Indonesia, sebagaimana dijelaskan oleh, bambu memiliki banyak kelebihan antara lain yaitu produktivitas yang tinggi, murah, mudah beradaptasi, ringan, dan kokoh. Bambu banyak dimanfaatkan sebagai pakan ternak, produk biomassa, furnitur, dan komponen struktural bangunan. Gambar bambu dapat dilihat pada Gambar 2.1. (Suri, dkk., 2024).



Gambar 2.1 Bambu
(Putri, dkk., 2020)

Dibandingkan kayu, laju pertumbuhan bambu jauh lebih cepat, potensinya berlimpah, daur pendek, dan dapat ditanam pada hampir semua jenis tanah kecuali tanah di daerah pantai. Namun, bambu juga memiliki beberapa kelemahan, terutama jika digunakan sebagai komponen konstruksi. bambu andong memiliki kerapatan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan bambu bambu lainnya. Bambu andong memiliki panjang 17-22 m dengan diameter pada bagian pangkal 13,4 cm dan bagian ujung sekitar 5.3 cm (Sena Maulana, 2018). Bambu memiliki beberapa kandungan kimia yaitu 44,94% selulosa, 22,91% lignin, 16,99% hemiselulosa, 1,84% silika, 1,87% abu, dan 17,8% pentosan (Negara, dkk., 2019).

Bambu dapat diproses menjadi arang aktif yang efektif menyaring polutan dan partikel berbahaya, membantu menurunkan emisi gas buang serta memperpanjang usia mesin. Arang disini juga dapat dikatakan karbon aktif apabila sudah melalui proses aktivasi. Proses aktivasi yaitu suatu proses menghilangkan hidrokarbon yang melapisi permukaan arang sehingga porositas karbonnya dapat meningkat (Fajri & Takwanto, 2024). Arang bambu pada filter udara mampu menyerap uap air, debu halus, serta uap hidrokarbon ringan karena memiliki struktur pori dan luas permukaan yang besar. Penyerapan ini membuat udara masuk lebih kering dan bersih sehingga pembakaran menjadi lebih efisien dan berdampak pada peningkatan kinerja mesin serta penurunan bsfc.

2.2 Mesin Bensin

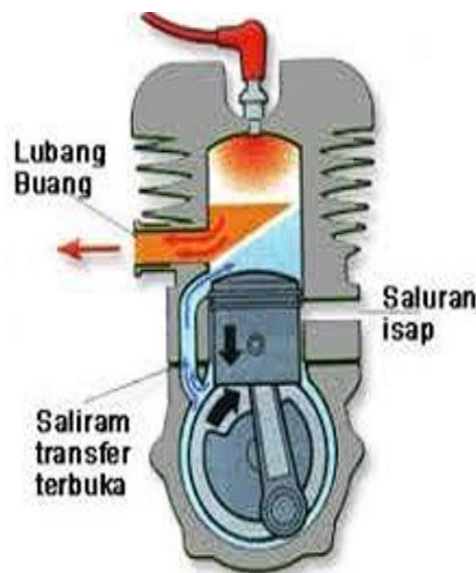
Mesin bensin atau lebih dikenal dengan nama mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) adalah suatu jenis pesawat yang prinsip kerjanya mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi kalor, kemudian diubah lagi menjadi energi mekanik atau gerak. motor bakar itu sendiri, sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja. Perbedaan moto bensin dan diesel yaitu jika motor bensin menggunakan bahan bakar bensin, sedangkan motor diesel menggunakan bahan bakar solar. Perbedaan yang utama juga terletak pada sistem penyalannya, dimana pada motor bensin

digunakan busi sebagai sistem penyalannya sedangkan pada motor diesel memanfaatkan suhu kompresi yang tinggi untuk dapat membakar bahan bakar solar. didalam silinder sudah bertemperatur tinggi (Rantung & Buyung, 2020).

Pada motor bensin untuk mendapatkan energi termal diperlukan proses pembakaran dengan menggunakan campuran bahan bakar dan udara di dalam mesin, sehingga motor bensin disebut juga sebagai motor pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*). Di dalam proses pembakaran ini gas hasil pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja. Prinsip kerja dari motor bensin adalah berdasar siklus udara pada volume konstan (*Otto cycle*) atau biasa disebut siklus ideal motor bensin. Dalam kenyataannya siklus ideal ini sulit terjadi. Perbandingan kompresi mesin dirancang sesuai dengan aplikasi dan bahan bakar yang akan digunakan (Yudistirani, dkk., 2019).

2.3 Prinsip Kerja Motor Bensin 2 Langkah

Berdasarkan prinsip kerja, motor bensin dibedakan menjadi dua, yaitu Motor bensin dua langkah (2-tak) dan Motor bakar bensin empat langkah (4-tak). Siklus motor bensin 2 langkah dapat dilihat pada Gambar 2.2.



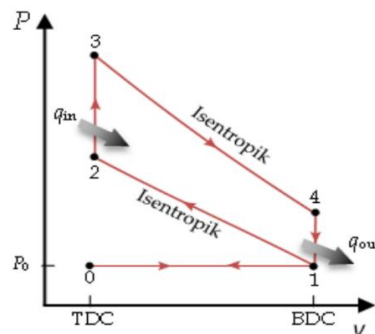
Gambar 2.2 Siklus Motor Bensin 2 Langkah
(Aprizal, 2015)

Motor bensin dua langkah merupakan motor bakar yang mengalami dua proses dalam setiap langkahnya, penjelasannya sebagai berikut:

1. Langkah kerja, Pada saat piston mencapai titik mati atas (TMA), loncatan bunga api listrik dari busi membakar campuran udara-bahan bakar yang bertekanan tinggi sehingga terjadilah ledakan akibatnya piston akan terdorong kebawah maka dimulailah langkah ekspansi atau langkah tenaga, sekaligus terjadinya langkah isap dimana campuran bahan bakar dan udara masuk melalui saluran isap.
2. Langkah kompresi, Setelah piston mencapai titik mati bawah (TMB), maka piston akan kembali bergerak menuju titik mati atas, gerakan ini akan mengompres campuran bahan bakar-udara yang telah berada di dalam silinder, langkah ini sekaligus merupakan langkah buang dimana sisa pembakaran akan terdorong keluar melalui saluran buang, dan selanjutnya akan kembali ke siklus langkah semula.

2.4 Prinsip Kerja Mesin Bensin 4-Langkah

Motor bensin 4 langkah adalah motor yang pada setiap 4 langkah piston (dua putaran *crankshaft*) sempurna menghasilkan satu tenaga kerja (satu langkah kerja). Jadi pada motor 4 langkah, piston bergerak dari BDC (*Bottom Dead Center*) ke TDC (*Top Dead Center*) atau sebaliknya sebanyak 4 kali. Busi (*sparkplug*) memercikkan bunga api sebanyak satu kali setiap piston bergerak sebanyak 4 langkah, diagram P-V dan siklus kerja motor bensin 4-langkah dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan 2.4 (Wahyu, 2019).



Gambar 2.3 Diagram P-V Motor Bensin 4-Langkah
(Lewerissa, 2020)

1. Langkah Hisap (0 – 1)

Pada langkah isap, piston bergerak dari TMA menuju TMB. Saat piston bergerak turun, katup masuk dalam keadaan terbuka, sehingga campuran bahan bakar dan udara terhisap ke dalam silinder. Ketika piston mencapai TMB, katup masuk dalam keadaan tertutup, dapat dikatakan bahwa langkah hisap selesai.

2. Langkah Kompresi (1 – 2)

Pada langkah kompresi, kedua katup (katup masuk dan katup buang) dalam keadaan tertutup. Piston bergerak naik dari TMB menuju TMA mendorong campuran bahan bakar dan udara dalam silinder, sehingga menyebabkan tekanan udara dalam silinder meningkat. Sebelum piston mencapai TMA campuran bahan bakar dan udara yang bertekanan tinggi dibakar oleh loncatan bunga api busi.

3. Proses Pembakaran (2 – 3)

Pada proses ini kedua katup tertutup. Piston berada di TMA dan loncatan api busi yang bereaksi dengan campuran udara dan bahan bakar bertekanan tinggi akan menimbulkan pembakaran.

4. Langkah Ekspansi (3 – 4)

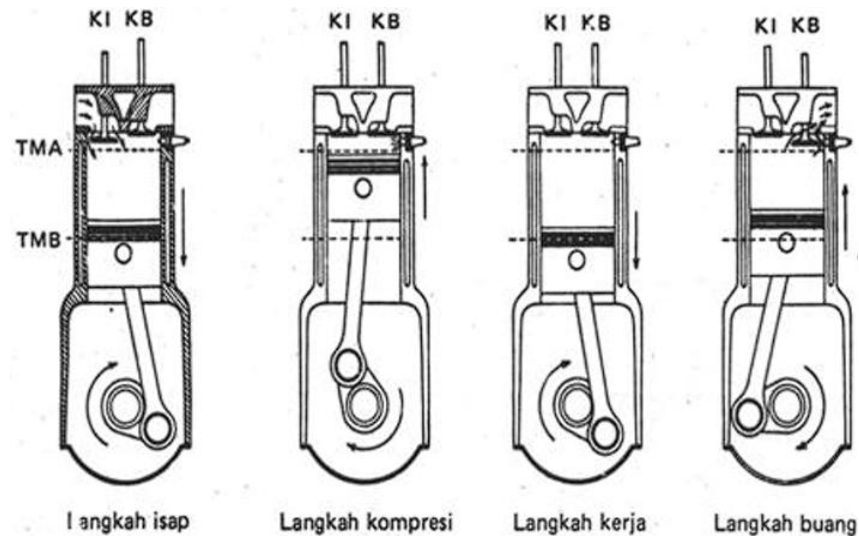
Pada langkah kerja loncatan api busi yang bereaksi dengan campuran bahan bakar dan udara bertekanan tinggi akan menimbulkan letusan. Letusan ini akan menghasilkan tenaga yang mendorong piston bergerak turun menuju TMB. Tenaga yang dihasilkan oleh langkah kerja diteruskan oleh poros engkol untuk menggerakkan gigi transmisi yang menggerakkan gear depan.

5. Proses Pembuangan (4 – 1)

Pada proses ini katup isap tertutup dan katup buang terbuka. Posisi piston berada di TMB.

6. Langkah Buang (1 – 0)

Pada langkah pembuangan, piston bergerak naik dari TMB menuju TMA. Katup masuk dalam keadaan tertutup dan katup buang dalam keadaan terbuka. Gas sisa hasil pembakaran terdorong keluar menuju saluran pembuangan. Dengan terbuangnya gas sisa pembakaran, berarti kerja dari langkah – langkah mesin untuk satu kali proses kerja (siklus) telah selesai.



Gambar 2.4 Siklus Kerja Motor Bensin 4 Langkah
(Wahyu, 2019)

2.5 Filter Udara

Filter udara adalah perangkat kendaraan yang memiliki peranan sangat penting dan memiliki akses langsung dengan ruang bakar didalam mesin. Pada umumnya ada 2 tipe pemakaian filter udara antara lain yaitu sistem terbuka (*open*) dan sistem tertutup. Jika ingin mencari kualitas kebersihan pada ruang bakar, menggunakan filter udara standar merupakan pilihan yang tepat, namun jika ingin mencari sesuatu yang berbeda dari performa mesin maka bisa menggunakan filter udara modifikasi (Permadi dan Widodo, 2021). Di bawah ini adalah beberapa jenis filter udara motor yang wajib kita kenali, antara lain:

1. Filter udara konvensional

Jenis filter udara yang satu ini merupakan penyaring udara yang biasanya terbuat dari bahan busa atau spoon. Filter udara konvensional dapat dilihat pada Gambar 2.5

2. Filter udara motor kering

Salah satu jenis filter udara motor yang biasa digunakan adalah jenis filter udara kering atau umumnya biasa disebut filter *dry element*. Cara perawatan filter udara jenis ini lebih mudah karena dibuat sedikit lebih tebal dari tipe busa atau spoon sehingga tidak mudah rusak.

3. Filter udara basah

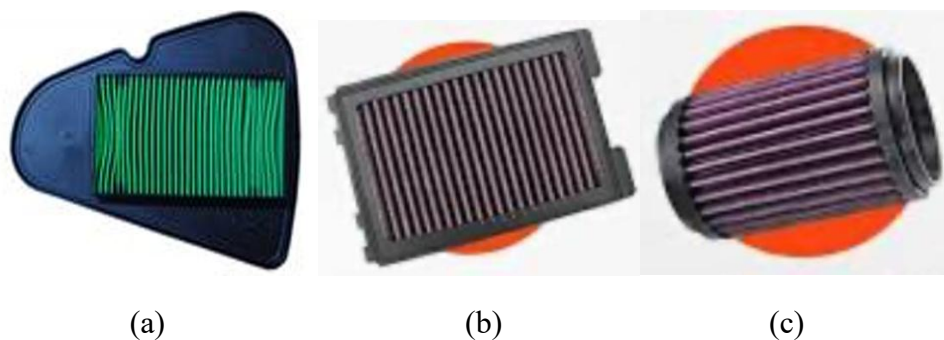
Jenis filter udara motor yang juga banyak digunakan adalah tipe filter udara basah atau wet element. Bahan pembuatnya mirip dengan tipe filter udara kering, yaitu sama – sama menggunakan material dari kertas, hanya saja cara untuk membersihkan filter udara motor jenis ini butuh perlakuan khusus karena tipe filter basah ini mengandung pelumas khusus yang fungsinya menangkap kotoran atau debu untuk melindungi ruang bakar mesin secara lebih maksimal.

Arang bambu merupakan material dengan pori-pori kecil yang memiliki sifat adsorpsi yang sangat baik disebabkan luas permukaan spesifik yang sangat besar. Arang bambu dapat digunakan sebagai adsorben karena strukturnya banyak mempunyai pori sehingga dapat menyerap bahan kimia yang mudah menguap. Arang bambu memiliki struktur pori yang baik, karakteristik biologi yang khusus, serta luas permukaannya yang besar dibandingkan dengan arang kayu sehingga arang bambu baik digunakan sebagai adsorben (Rumi, dkk., 2021).

Adsorpsi adalah proses menempelnya molekul gas atau partikel pada permukaan padatan (adsorben). Pada filter udara (misalnya arang bambu teraktivasi). Udara masuk membawa O_2 , N_2 , uap air, debu, dan pengotor lainnya. Molekul pengotor teradsorpsi di permukaan dan pori-pori filter, jadi udara yang masuk ke ruang bakar menjadi lebih bersih dan lebih homogen. Semakin baik proses adsorpsi, semakin optimal kualitas udara pembakaran. Adsorpsi oleh arang bambu secara teoritis dikelompokkan menjadi adsorpsi fisik (*physical adsorption*) dan adsorpsi kimiawi (*chemical adsorption*). Arang bambu dalam filter biasanya memiliki komposisi utama berdasarkan analisis proksimat yang mencakup kadar air rata-rata sekitar 1-5%, zat mudah menguap 6-8%, abu 2-7%, dan karbon tetap (*fixed carbon*) mencapai 83-87% atau lebih. Adsorpsi kimiawi terjadi karena ikatan kimia antara adsorben dan adsorbat dimana terjadi pertukaran dan transfer elektron yang menghasilkan penyusunan ulang atom dan pembentukan atau pemutusan ikatan kimia (Dwisukmana, dkk., 2023).

Oleh sebab itu jika ingin performa kendaraan ingin tetep terus stabil harus memperhatikan suplai udara yang masuk keruang bakar kendaraan. Tanpa filter, udara memang bebas masuk, tapi kualitas udara dan kualitas pembakaran menurun, sehingga efisiensi mesin tidak maksimal. Namun, jika memakai filter udara, meskipun ada hambatan aliran, penggunaan filter udara menghasilkan pembakaran lebih sempurna, mesin lebih awet, dan efisiensi meningkat. Perlu diketahui bahwa fungsi dari filter udara adalah untuk menyaring udara bebas yang berasal dari luar yang akan masuk ke ruang pembakaran agar selalu terjaga dan dalam keadaan bersih.

Udara yang sudah disaring, selanjutnya akan otomatis terhisap ke ruang pembakaran bersamaan dengan bahan bakar untuk kemudian selanjutnya diolah dalam dapur pacu motor. Apabila udara yang telah masuk keruang bakar tadi bercampur dengan zat – zat padat dari luar, seperti debu halus dan pasir atau kotoran lainnya maka akan berakibat pada kerusakan komponen piston, ring, dan dinding silinder akan menjadi aus. Sedangkan apabila filter udara terlalu kotor dan banyak partikel – partikel kotoran yang menempel pada komponen penyaring maka udara yang masuk akan menjadi terhambat, hal ini menyebabkan proses pembakaran menjadi kurang sempurna dan dampaknya BBM yang tersedot akan menjadi boros dan campuran udara dan BBM tidak sesuai sehingga performa mesin menjadi tidak maksimal dan juga cepat panas (Permadi & Widodo, 2021).



Gambar 2.5 Filter Udara (a) Konvensional, (b) Kering, dan (c) Basah
(Muhammat, dkk., 2021)

2.6 Parameter Prestasi Mesin

Parameter operasi yang dihasilkan oleh suatu mesin memiliki kaitan yang sangat erat dengan kinerja mesin tersebut. Nilai besar atau kecil dari setiap parameter operasi mesin dapat secara signifikan mempengaruhi tingkat kinerja yang diperoleh. Beberapa parameter operasi yang umum digunakan untuk menganalisis kinerja mesin meliputi daya engkol, laju konsumsi udara, laju konsumsi bahan bakar spesifik engkol (bsfc), panas pada gas buang, serta koefisien udara lebih.

Dalam menganalisis suatu kinerja dalam mesin ada beberapa parameter yang dapat diketahui diantaranya torsi, daya, konsumsi bahan spesifik (bsfc). Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja sedangkan daya engkol adalah tingkat di mana pekerjaan dilakukan (Hermawan, dkk., 2021). Peningkatan torsi pada mesin menunjukkan bahwa gaya hasil pembakaran meningkat. Karena daya engkol merupakan fungsi dari torsi dan putaran mesin, maka kenaikan torsi secara langsung meningkatkan daya. Kondisi ini diikuti oleh penurunan nilai bsfc, yang menandakan bahwa energi bahan bakar dimanfaatkan lebih efektif.

Parameter dari prestasi mesin yang cukup berperan atau berpengaruh yaitu daya engkol sebagai hasil kerja yang dihasilkan dari motor bakar (Tebu, 2024). Prestasi mesin biasanya diukur lewat efisiensi termal (η_{bth}), karena di mesin 4 langkah, ini menunjukkan seberapa baik energi panas yang dihasilkan bisa dimanfaatkan. Efisiensi termal engkol itu adalah perbandingan antara energi atau daya yang berguna dengan energi yang masuk ke mesin. Salah satu parameter penting banget buat nilai prestasi mesin adalah daya engkol, yaitu hasil kerja motor bakar. Untuk mengetahui daya engkol pada kendaraan roda 2 atau roda 4, dapat dicari dengan menentukan nilai akselerasi kendaraan terlebih dahulu. Untuk mengukur prestasi mesin 4 langkah, biasanya dipakai persamaan tertentu sesuai kebutuhan. Persamaan yang dimaksud, ditunjukkan pada persamaan 2.1 sampai 2.4.

1. Daya engkol, bP

Daya engkol dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini

$$bP = \frac{2\pi N.T}{60000}, (\text{kW}) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana : bP = Daya engkol (kW)

N = Putaran Mesin (rpm)

T = Torsi (Nm)

2. Torsi

$$T = w.d (\text{Nm}) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : T = Torsi (Nm)

w = Gaya (N)

d = Jarak pembebanan dengan pusat perputaran (m)

3. Laju pemakaian bahan bakar, m_f

Laju pemakaian 8ml bahan bakar, m_f dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$m_f = \frac{\Delta m}{\Delta t}, (\text{kg/jam}) \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana : Δm = Selisih massa bahan bakar (kg)

Δt = Selisih waktu pemakaian bahan bakar (jam)

4. Pemakaian bahan bakar spesifik engkol, $bsfc$

Untuk dapat menghitung nilai dari $bsfc$ dapat menggunakan persamaan berikut:

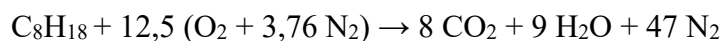
$$bsfc = \frac{m_f}{bP}, (\text{kg/kWh}) \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana : m_f = Laju pemakaian bahan bakar (kg/jam)

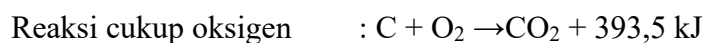
bP = Daya engkol (kW)

2.7 Proses Pembakaran dan Reaksi Kimia

Proses pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen yang berlangsung cepat dengan panas yang cukup akan menaikkan temperatur dan tekanan gas pembakaran yang menghasilkan panas yang jauh lebih besar. 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 motor bensin atau tekanan kompresi pada motor diesel. Pada proses pembakaran ada 2 elemen utama yaitu karbon dan oksigen. Jumlah oksigen di udara yaitu 20,9% dari udara, dan hampir 79% udara adalah nitrogen, kemudian sisanya yaitu elemen lainnya (Sanga, dkk., 2020). Berikut reaksi pembakaran sempurna bahan bakar premium (C_8H_{18}):



Pembakaran secara umum dapat didefinisikan sebagai reaksi atau proses oksidasi antara komponen-komponen bahan bakar (karbon dan hidrogen) dan komponen udara (oksigen) atau oksidator yang membutuhkan panas awal pembakaran prosesnya berlangsung dengan sangat cepat untuk menghasilkan panas yang jauh lebih besar dari sebelumnya sehingga akan menaikkan suhu dan tekanan gas pembakaran



Berdasarkan reaksi di atas dijelaskan bahwa proses pembakaran merupakan proses oksidasi antara molekul oksigen dengan partikel bahan bakar, karbon dan hidrogen kemudian akan membentuk karbon dioksida dan uap air pada keadaan pembakaran sempurna. Karbon dioksida dan uap air terbentuk karena adanya panas kompresi dan percikan api dari busi yang

mampu memutus ikatan oksigen ($O=O$) menjadi (O) dan (O). Selain itu juga mampu memutus ikatan antar partikel bahan bakar ($C-H$) dan ($C-C$) menjadi (C dan H) yang berdiri sendiri. Kemudian partikel (O) beroksidasi dengan partikel (C dan H) untuk membentuk air yaitu berupa uap air dan karbon dioksida. Dari penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa proses oksidasi atau proses pembakaran udara dan bahan bakar tidak pernah terwujud apabila ikatan antar partikel oksigen dan ikatan partikel bahan bakar tidak diputus terlebih dahulu (Fenando, dkk., 2023).

2.8 Udara Pada Proses Pembakaran

Udara memainkan peran esensial dalam proses pembakaran pada mesin pembakaran dalam sebagai penyedia oksigen untuk reaksi kimia dengan bahan bakar. Udara masuk melalui katup isap, membentuk campuran ideal dengan bahan bakar untuk pembakaran efisien. Kekurangan udara menyebabkan pembakaran tidak lengkap, menghasilkan emisi berbahaya seperti karbon monoksida. Nitrogen bertugas sebagai pengencer untuk mengendalikan suhu pembakaran agar tidak berlebih. Pengaturan aliran udara tepat melalui karburator atau sistem injeksi memastikan proses ini optimal (Nursalim & Albab, 2022).

Rasio udara terhadap bahan bakar (AFR) stoikiometri ideal mencapai 14,7:1 untuk bensin, di mana jumlah udara cukup membakar bahan bakar secara sempurna. Campuran miskin (udara lebih banyak) meningkatkan efisiensi termal namun kurangi daya *output*. Sebaliknya, campuran kaya meningkatkan tenaga tapi tinggikan konsumsi bahan bakar dan polutan. Pada siklus Otto, udara dicampur bahan bakar saat langkah isap, lalu dikompresi hingga suhu tinggi sebelum dinyalakan busi. Di mesin diesel, udara murni dikompresi terlebih dahulu hingga mencapai titik *auto-ignition*, baru disuntik bahan bakar. Filter udara vital mencegah kontaminan mengurangi kualitas campuran.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboraturium Motor Bakar dan Propulsi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Waktu pengerjaan penelitian dari bulan Desember 2025 sampai Januari 2026.

3.2 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini, variabel dibedakan menjadi variabel bebas dan variabel tetap. Variabel bebas merupakan variabel yang memicu perubahan pada variabel lainnya. Dalam penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah putaran mesin, jenis bahan bakar yang digunakan, lama waktu pengambilan data dan jenis filter udara, yaitu tanpa filter dan filter udara berbahan arang bambu. Tujuan pemilihan variabel tersebut adalah untuk menilai dampak penggunaan arang bambu pada kinerja sistem filtrasi udara. Sementara itu, variabel tetap adalah variabel yang nilainya dipertahankan selama penelitian. Beberapa contoh variabel tetap meliputi torsi, daya engkol, bsfc serta suhu lingkungan ketika pengujian.

3.3 Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

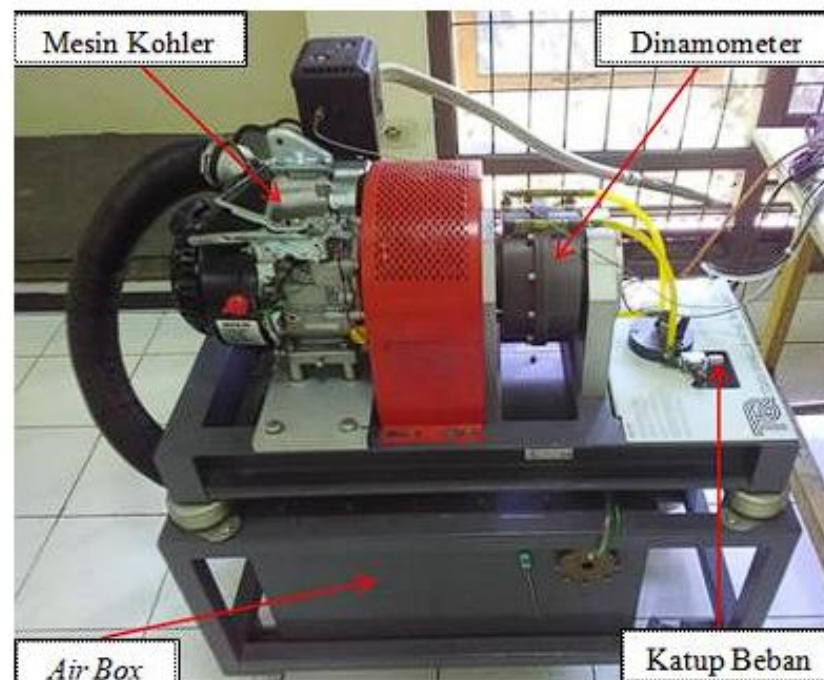
1. Motor Bensin 4-Langkah TD200

Mesin yang dipakai dalam pelaksanaan pengujian ini adalah motor bensin 4-langkah yang terdapat pada Laboratorium Motor Bakar dan Propulsi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Mesin bensin tersebut disambungkan dengan dinamometer serta alat VDAS, sehingga data-data yang dihasilkan oleh mesin tersebut dapat terekam

dengan jelas dan dimunculkan pada layar instrument alat VDAS serta *software* VDAS yang ada pada komputer.

Tabel 3.1 Spesifikasi Motor Bensin 4-Langkah

Merk	Kohler
Dimensi	Lebar : 500 mm Tinggi : 430 mm Kedalaman : 400 mm
Tipe Bahan Bakar	Bensin tanpa timbal
Daya	4,5 kW pada 3600 rev/menit dan 2,2 kW pada 1800 rev/menit
Sistem Pengapian	Elektrik
Diameter Silinder	70 mm
Langkah Piston	54 mm
Panjang Batang Piston	84 mm
Kapasitas Mesin	208cm (0,208 L) 208 cc
Rasio Kompresi	8,5 : 1



Gambar 3.1. Mesin Bensin 4-Langkah

2. Unit *Instrument* VDAS

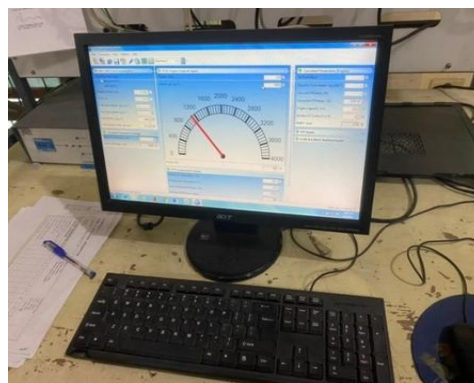
Unit *Instrument* VDAS (*Versatile Data Aquisition System*) adalah sistem panel pelengkap pada mesin bensin 4-langkah untuk memperoleh hasil dari pengukuran pada torsi, putaran mesin, temperatur udara lingkungan, daya, temperatur gas buang, tekanan diferensial pada *airbox* atau kotak udara, tekanan udara lingkungan, serta laju penggunaan bahan bakar. Data-data yang diperoleh dari hasil pengukuran tersebut kemudian ditampilkan pada layar yang terdapat pada panel tersebut.



Gambar 3.2. *Instrument* VDAS

3. *Software Instrument* VDAS

Software Instrument VDAS (*Versatile Data Aquisition System*) merupakan sebuah perangkat lunak khusus yang dihubungkan ke perangkat keras VDAS, yang berfungsi adalah untuk menjalankan perintah program dan menampilkan parameter-parameter hasil perhitungan prestasi mesin di komputer.



Gambar 3.3 *Software Instrument* VDAS

4. Timbangan Digital

Pada proses pelaksanaan penelitian kali ini digunakan alat timbangan digital untuk mengukur massa arang bambu, tepung tapioka, dan air yang akan digunakan sebagai variasi komposisi campuran dalam penelitian.



Gambar 3.4. Timbangan Digital

5. Roller Ampia

Roller ampia digunakan pada pelaksanaan penelitian ini sebagai alat untuk memadatkan serta memipihkan adonan pellet arang bambu agar mempermudah pada saat proses pencetakan pelet. Gambar *roller ampia* dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. *Roller Ampia*

6. Gelas Ukur

Gelas ukur yang digunakan pada penelitian ini mempunyai nilai ketelitian sebesar 0,5ml dan digunakan untuk mengukur air yang akan dicampur dengan tepung tapioka dan dibuat menjadi adonan dengan arang bambu. Gelas ukur dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Gelas Ukur

7. Microwave

Pada proses penelitian ini juga digunakan *Microwave* yang mana berfungsi untuk memanaskan pelet filter dengan daya aktivasi yang sudah ditentukan. Aktivasi fisik dengan *microwave* pada filter arang bambu bertujuan memperluas permukaan dan pori-porinya. Hal ini meningkatkan kemampuan arang menyerap udara masuk ke mesin serta mengurangi kadar airnya. Spesifikasi dapat dilihat sebagai berikut dan gambar *microwave* dapat dilihat pada Gambar 3.7.

Merk/Type	: Sanyo / EM-S1812S
Voltase/Frekuensi	: 220V 50Hz
Daya Konsumsi	: 800W
Daya Keluaran	: 400W 2450MHz



Gambar 3.7 *Microwave*

8. Kawat Strimin

Pada penelitian ini juga menggunakan kawat filter pelet memiliki berfungsi sebagai tempat untuk menempatkan atau menyusun pelet arang bambu yang akan digunakan untuk proses pengujian. Dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Kawat Strimin

9. Cetakan Pelet

Pada proses penelitian ini juga digunakan alat pencetak pelet yang digunakan untuk membuat pelet melalui adonan arang bambu yang akan dijadikan filter dengan menggunakan satu variasi ukuran diameter pelet. Gambar cetakan pelet dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Cetakan Pelet

3.4 Bahan Penelitian

Adapun pada penelitian kali ini terdapat bahan-bahan yang digunakan dalam pelaksanaan proses penelitian ini, bahan-bahan tersebut antara lain:

1. Arang Bambu

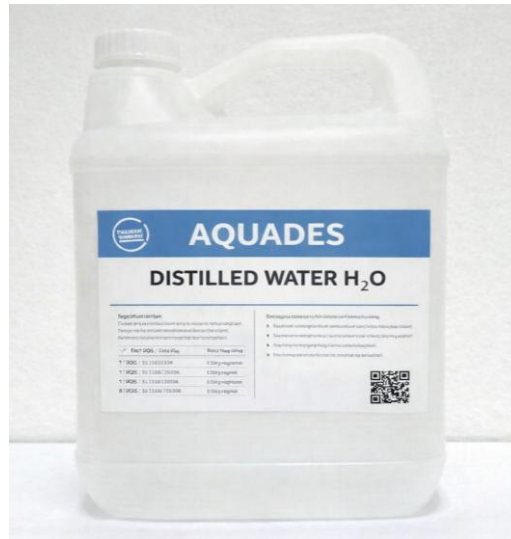
Pada penelitian ini bahan yang digunakan salah satunya adalah arang bambu, bambu yang digunakan sebanyak 1 kg dan dibakar selama 12 menit, proses pembakaran arang bambu dapat dilihat pada Gambar L.1 dan arang bambu dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Arang Bambu

2. *Aquadest*

Pada penelitian ini pun menggunakan air *aquadest* sebagai bahan campuran adonan tepung dan arang bambu yang dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 *Aquadest*

3. Tepung Tapioka

Pada penelitian ini digunakan bahan tepung tapioka yang bertujuan untuk bertugas sebagai pengikat dari adonan arang bambu, dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Tepung Tapioka

3.5 Persiapan Alat dan Bahan

Adapun pada proses penelitian ini berlangsung terdapat proses tahapan persiapan pada alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Membuat Adonan

Proses pembuatan adonan pelet dari serbuk arang bambu dilakukan dengan mencampurkan tepung tapioka, air *aquadest*, dan serbuk arang bambu dengan komposisi total 100 %. Komposisi tersebut terdiri dari 50 gram serbuk arang bambu, 15 gram tepung tapioka, dan 35 gram air *aquadest*, yang diadaptasi dari penelitian Muhammad Bayu Dirgantara (2022) dengan beberapa penyesuaian untuk mendapatkan hasil terbaik. Pertama, arang bambu yang masih berbentuk bongkahan dihaluskan dengan cara ditumbuk menggunakan penumbuk kayu, kemudian pada saat pembuatan adonan tepung tapioka dicampur dengan air *aquadest* hingga membentuk adonan yang kalis. Setelah itu, serbuk arang bambu ditambahkan dan diaduk secara merata hingga tercampur sempurna. Selanjutnya, adonan yang sudah jadi dipipihkan menggunakan *roller* dengan ketebalan 3 mm.



Gambat 3.13 Proses Pembuatan Adonan Pelet

2. Pencetakan Pelet

Proses selanjutnya yaitu melakukan pencetakan pelet menggunakan adonan yang sudah dipipihkan sebelumnya. Pelet yang akan dicetak ini menggunakan alat cetakan pelet dengan ketebalan 3mm. Menggunakan 3 variasi susunan filter udara. Pelet yang akan diuji memiliki massa total 24 gram. Setelah pelet dicetak maka pelet tersebut sudah siap untuk dilakukan aktivasi secara fisik menggunakan *microwave*. Komposisi pembuatan pelet dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.2 Komposisi Pembuatan Pelet

Komposisi	Serbuk Arang bambu	Tepung Tapioka	Air Aquadest
100 %	50 %	15 %	35 %

3. Proses Aktivasi

Setelah melalui proses pencetakan menjadi pelet, maka proses selanjutnya adalah proses pengaktifasian pelet filter dengan menggunakan *microwave*. Pada proses aktivasi ini menggunakan satu jenis variasi daya yaitu 60% (240 Watt) dengan waktu aktivasi sebanyak 7 menit. Pada proses pengaktifasian ini bertujuan untuk mengurangi kadar air yang terkandung pada pelet serbuk arang bambu dengan kawat strimmin sesuai dengan komposisi massa yang telah ditentukan yaitu sebesar 60 gram. Variasi pelet filter yang digunakan dalam proses penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.3.



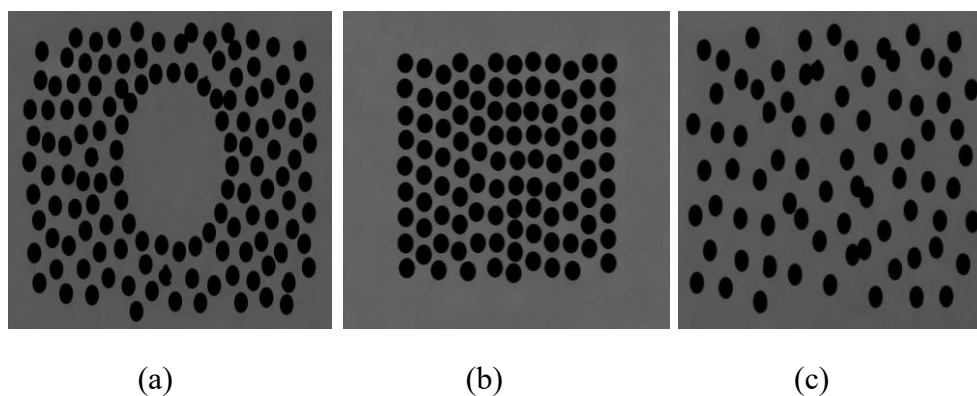
Gambar 3.14 Proses Aktivasi Fisik Filter Arang Bambu

Tabel 3.3 Variasi Pelet Filter Arang Bambu

Komposisi	Daya	Massa	Waktu	Susunan Filter
100%	60% (240 Watt)	24 gram	7 menit	Rapat tengah
			7 menit	Renggang
			7 menit	tengah kosong

4. Membuat Kemasan Pelet

Proses selanjutnya membuat kemasan pelet dengan cara memotong kawat striming hingga berbentuk persegi Panjang, kemudian menyusun pelet diatas kawat strimin setelah itu menutup pelet dengan kawat strimin dan kemudian dijait agar pelet tidak berpindah posisi. Setelah bentuk kemasan pelet yang berbahan dasar dari kawat strimin telah dibentuk menjadi saringan udara, maka langkah selanjutnya adalah saringan tersebut dipasangkan pada kotak saluran udara masuk mesin bensin 4-langkah dengan dimensi ukuran kotak tempat pemasangan filter tersebut, lalu dilakukan proses pengambilan data dengan menjalankan mesin bensin 4-langkah tersebut dengan variasi rpm yang telah ditentukan dan dicatat perubahan torsi, daya, serta konsumsi bahan bakar spesifik engkol. Bentuk filter udara yang sudah jadi dan siap digunakan dalam pengujian pada mesin 4-langkah dapat dilihat pada Gambar 3.15.



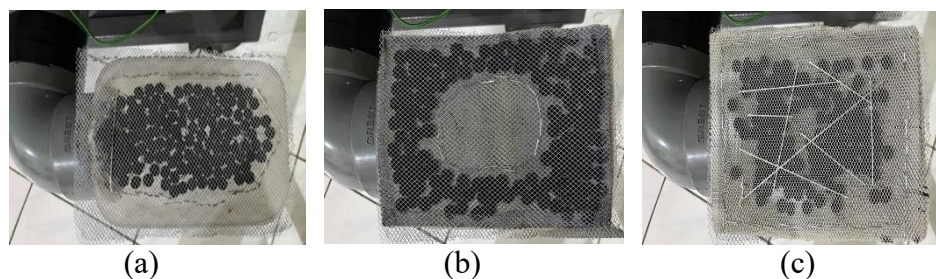
Gambar 3.15 Filter Arang Bambu Variasi Susunan Filter (a) Kosong Tengah, (b) Rapat Tengah, (c) Renggang

3.6 Pengujian

Pada pelaksanaan penelitian ini, proses pengujian dilakukan dengan menggunakan filter udara arang bambu yang telah dilakukan penyesuaian sesuai dengan bentuk filter yang berbentuk persegi panjang. Penelitian ini menggunakan proses aktivasi fisik dengan *microwave* dengan 3 variasi susunan filter yaitu rapat tengah, tengah kosong dan renggang. Adapun proses pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengukuran dimensi filter menggunakan kawat strimin yang telah berisikan pelet arang bambu sesuai dengan diameter dan massa pelet yang telat ditimbang.
2. Melakukan pemotongan pada kawat strimin sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan. Kawat strimin ini berfungsi sebagai rangka untuk wadah pelet arang bambu. Filter akan ditempatkan pada saringan udara motor bensin 4- langkah TD200 *Small Engine Test*.
3. Melakukan penyusunan pelet arang bambu pada rangka kawat strimin yang telah diukur dan dipotong sebelumnya secara teratur serta tidak tumpang tindih satu sama lainnya supaya filter udara arang bambu dapat berfungsi dengan baik.
4. Memeriksa filter agar pelet di dalam kawat strimin tidak berantakan dengan cara merekatkan kawat strimin dengan baik dan rapih. Setelah filter udara arang bambu jadi, maka filter siap digunakan.
5. Mempersiapkan peralatan uji yang digunakan yaitu mesin bensin 4- langkah TD200 *Small Engine Test* dan *Instrument VDAS*.
6. Menghubungkan selang bahan bakar ke unit pengukur laju aliran bahan bakar sesuai dengan yang diinginkan. Pada proses pengujian ini digunakan pengukuran aliran bahan bakar secara otomatis, setelah itu menggeser tuas pada panel *instrument* VDAS pada volume bahan bakar 8ml.
7. Menghubungkan unit komputer dengan *instrument* VDAS pada arus listrik.
8. Mengisi tangki bahan bakar dengan bahan bakar yang akan digunakan, pada pengujian kali ini digunakan bahan bakar Pertamina.

9. Memperhatikan dan memastikan bahwa tidak ada udara yang terjebak di dalam saluran selang bahan bakar.
10. Mengeluarkan udara yang terjebak di dalam saluran selang bahan bakar apabila masih ada udara yang terjebak, apabila hal ini tidak dilakukan maka akan berdampak pada proses pengambilan data yang menjadi tidak akurat.
11. Menghidupkan pompa air dan memastikan bahwa laju aliran air berada pada tekanan 1 bar.
12. Membuka katup air yang menuju ke dinamometer sebesar 1/2 putaran.
13. Menghidupkan komputer serta *instrument* VDAS dan menghubungkan *instrument* VDAS ke komputer dengan cara menghubungkan kabel USB ke port USB pada komputer.
14. Membuka aplikasi *Tecquiment* VDAS yang ada pada komputer.
15. Mengkalibrasi nilai torsi serta tekanan kontak udara pada *air box* dengan cara menekan dan menahan tombol pada *zero* torsi dan *air box pressure* sampai angka pada panel *instrument* VDAS berubah menjadi 0.
16. Melakukan penyetelan penggunaan bahan bakar pada aplikasi *Tecquiment* VDAS pada menu *fuel flow – rate data source* pilih otomatis ADA (DVF1).
17. Melakukan pengisian data pada *fuel density* sebesar 760 kg/m³, *fuel calorific value* sebesar 44,8 MJ.kg⁻¹, *engine capacity* sebesar 208 cc, *number of cycle* sebesar 4 karena menggunakan mesin 4-langkah.
18. Meletakkan dan Memasang filter udara dengan variasi susunan tengah kosong, rapat tengah dan renggang secara bergantian.

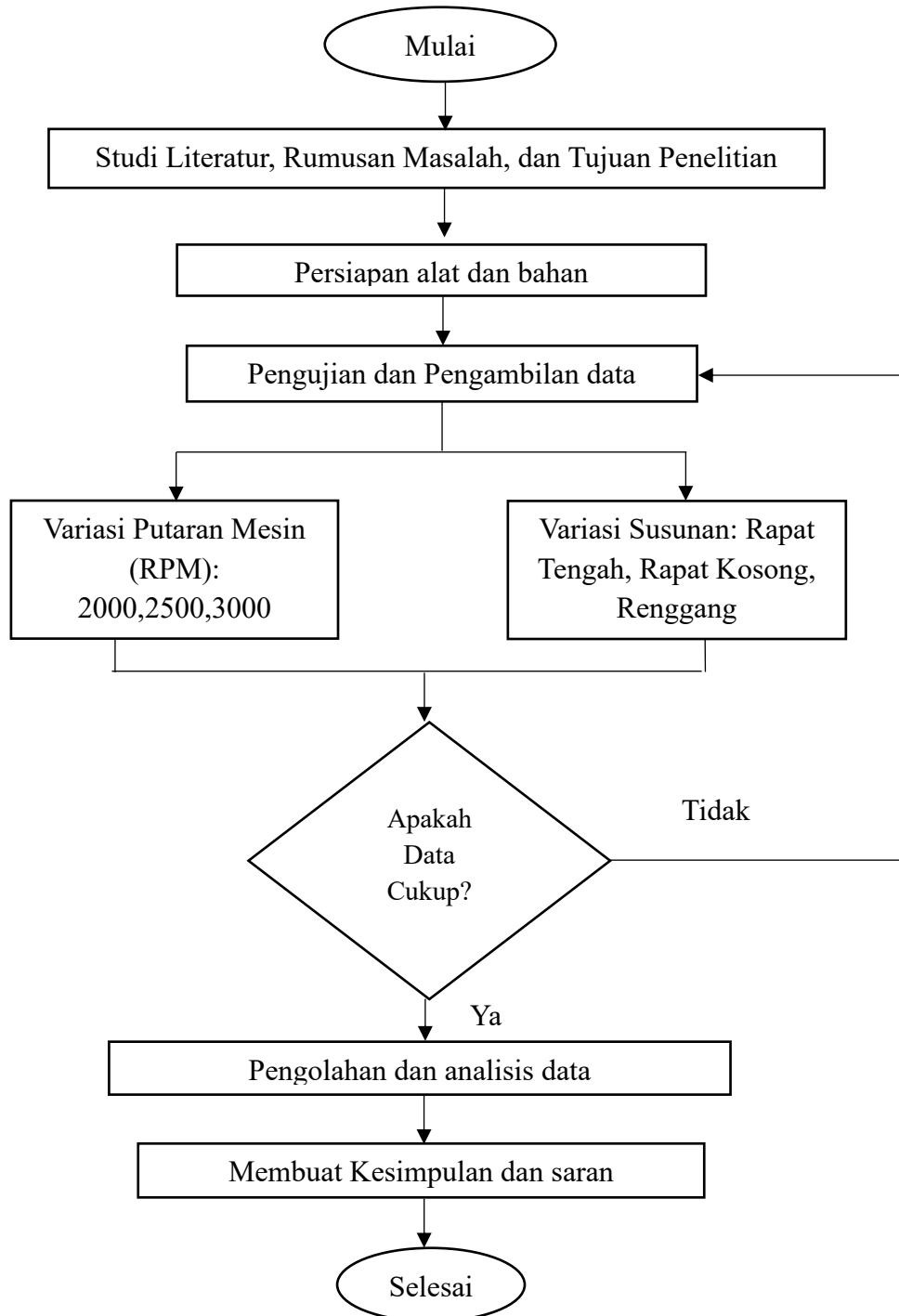


Gambar 3.16 Tempat Peletakan Susunan Filter Udara (a) Rapat Tengah, (b) Kosong Tengah, (c) Renggang

19. Menghidupkan mesin lalu memanaskan mesin yang bertujuan untuk menyiapkan kondisi mesin dalam kondisi kerja.
20. Pada saat memanaskan mesin, rpm yang digunakan ialah sebesar 2000 rpm dan naik secara perlahan ke 3000 rpm, dengan bukaan katup sebesar $\frac{1}{2}$ putaran.
21. Proses pengambilan data dilakukan dengan mengatur putaran mesin serta bukaan katup beban dinamometer. Pada pengujian ini digunakan bukaan katup sebesar 1 putaran.
22. Menunggu torsi pada posisi stabil dan hasil dari *calculated parameters* telah muncul pada menu aplikasi.
23. Merekam data sebanyak 5 kali dengan cara membuka menu pada aplikasi *Tecquipment VDAS* yaitu start time data acquisition berupa interval 2 detik dan berhenti pada 10 detik, lalu klik OK, setelah itu perekaman data akan dimulai secara otomatis.
24. Menambah putaran mesin yang telah ditetapkan dan melakukan perekaman pada setiap putaran mesin yang digunakan sesuai dengan langkah sebelumnya.
25. Pada saat pergantian pemasangan filter udara berbahan dasar arang bambu, diberi jeda selama 30 detik – 1 menit untuk pengambilan data selanjutnya agar meminimalisir terjadinya *error* saat pengambilan data.
26. Mengulangi langkah 15-18 untuk tiap-tiap putaran mesin (RPM) yang diuji.
27. Melakukan penyimpanan data yang sudah direkam dengan cara menekan menu *export data to HTML file*, setelah itu memberi nama pada file tersebut, setelah data tersebut di *export* selanjutnya menekan ctrl+A data pada html file dan *copy and paste* pada *microsoft office excel* dan simpan data tersebut dengan nama file yang sudah ditentukan sesuai dengan isi dari data tersebut.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian pengujian prestasi mesin bensin 4-langkah dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Diagram Alir Penelitian

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian dan pengambilan data sesuai dengan metodologi penelitian dari filter udara berbahan dasar arang bambu yang dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Filter udara arang bambu yang teraktivasi fisik mampu meningkatkan torsi. Pada putaran mesin 3000 rpm menggunakan filter rapat tengah didapat nilai torsi terbaik sebesar 6,92 Nm. Sedangkan, pengujian pada kondisi mesin tanpa menggunakan filter arang bambu diperoleh nilai torsi sebesar 6,30 Nm pada putaran mesin 3000 rpm. Kenaikan torsi yang didapat sebesar 0,62 Nm atau sebesar 9,84%.
2. Filter udara arang bambu yang teraktivasi fisik mampu untuk meningkatkan daya engkol. Pada putaran mesin 3000 rpm menggunakan filter udara arang bambu dengan variasi susunan rapat tengah dihasilkan nilai daya terbaik sebesar 1852 Watt. Sedangkan pengujian tanpa menggunakan filter udara diperoleh nilai daya engkol sebesar 1720,2 W pada putaran mesin sebesar 3000 rpm. Persentase kenaikan daya yang didapat sebesar 7,66%.
3. Filter udara arang bambu yang teraktivasi fisik mampu untuk mengoptimalkan nilai bsfc. Pada putaran mesin 2000 rpm menggunakan filter udara arang bambu dengan variasi susunan rapat tengah didapatkan nilai bsfc terbaik sebesar 0,412 kg/kWh. Sedangkan pengujian pada kondisi mesin tanpa menggunakan filter udara arang bambu yang teraktivasi fisik diperoleh nilai bsfc sebesar 0,443 kg/kWh pada putaran mesin 2000 rpm. Persentase penurunan bsfc yang didapat sebesar 7%.

5.2 Saran

Adapun saran yang didapat penulis sampaikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Disarankan untuk melakukan pengujian dengan pengaruh variasi metode aktivasi berbeda, seperti aktivasi kimia atau kombinasi aktivasi fisik dan kimia, untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peningkatan daya adsorpsi dan prestasi mesin yang dihasilkan.
2. Disarankan untuk melakukan penelitian dengan variasi ukuran pelet, ketebalan filter, dan massa arang bambu yang berbeda, sehingga diperoleh konfigurasi filter udara yang paling efektif dalam meningkatkan torsi, daya, dan menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik (bsfc).
3. Disarankan untuk menambah parameter emisi gas buang, sehingga pengaruh filter udara arang bambu tidak hanya dilihat dari prestasi mesin, tetapi juga dari aspek lingkungan.
4. Disarankan bentuk arang bambu pada filter udara sebaiknya digunakan dalam bentuk butiran atau pellet kecil dengan susunan yang masih menyisakan rongga udara, agar tidak menimbulkan terjadinya *self ignition* ketika mencapai suhu tertentu, bukan dalam bentuk blok arang padat menyerupai briket bahan bakar yang cenderung menyimpan panas di bagian dalam dan mengurangi pelepasan panas ke lingkungan sehingga meningkatkan risiko terjadinya *self ignition*.

DAFTAR PUSTAKA

- Andaya A. N., Andres, E. V, (2022). *PM 2.5 Adsorption by Bamboo Charcoal Padding in a Close- Ventilated Environment: Air Quality Index Assessment*.
- Dhina, F., Dewi, R., & Sylvia, N. (2023). Karakterisasi Arang Aktif Dari Residu Bambu (Bambuseae) Sebagai Adsorben Methylene Blue Dengan Aktivator Naoh. *Chemical Engineering Journal Storage*, 1–11.
- Dirgantara, M. B. (2022). *Pemanfaatan Arang Serbuk Kayu Gergaji Teraktivasi Flisik Menggunakan Microwave Sebagai Filter Udara Untuk Meningkatkan Prestasi Mesin Dan Mereduksi Emisi Gas Buang Mesin Bensin 4-Langkah TECUMSEH TD110* [Skripsi]. Bandar Lampung. Universitas Lampung.
- Dwisukmana, I. P., Santjoko, H., & Rois, H. (2023). Rekayasa Alat Filter Pengolahan Limbah Cair Tahu Dengan Penambahan Daun Bambu (Bambusa Sp) Dan Arang Bambu Terhadap Penurunan Kadar Tss Dan Bod.
- Fajri, D. P. F., & Takwanto, A. (2024). Proses Aktivasi Arang Dari Tempurung Kelapa Menggunakan Aktivasi Fisika Dengan Microwave Dan Variasi Waktu. *Distilat, Jurnal Teknologi Separasi*, 10(2), 476–484. <https://doi.org/10.33795/distilat.v10i2.5216>
- Fan, J., Saragi, H. T., & Purba, J. S. (2021). Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil) Analisis Pengaruh Mekanisme Katub Terhadap Daya Pada Motor Bakar 4 Tak Dengan Bahan Bakar Bensin Mesin 1500 CC. 2(2), 16–27.
- Hafidoh, D. M. (2021). Pembuatan Dan Karakterisasi Karbon Aktif Dari Bambu Menggunakan Aktivator Hcl Sebagai Adsorben Timbal (Pb).
- Hermawan, I., Idris, M., Dariantio, D., & Siahaan, M. Y. R. (2021). Kinerja Mesin Motor 4 Langkah dengan Bahan Bakar Campuran Bioetanol dan Pertamina. *Journal Of Mechanical Engineering Manufactures Materials And Energy*, 5(2), 202–210. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v5i2.5787>

- Hidayat M. D., Purwoko, Firdaus A. H., & Monasari. (2025). Pengaruh Komposisi dan Lipatan Filter Udara Biokomposit Berbahan Ampas Tebu dan Sekam Padi terhadap Performa Mesin 4 Langkah 150cc. *Mars : Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 3(3), 156–168. <https://doi.org/10.61132/mars.v3i3.863>
- Kakoi, B., Kaluli, J., Thumbi, G., & Gachanja, A. (2021). *Performance of Activated Carbon Prepared from Sawdust as an Adsorbent for Endosulfan Pesticide. Open Access Journal Journal of Sustainable Research in Engineering*, 2(1), 1–10.
- Lewerissa, Y. J. (2020). Pengaruh Campuran Bahan Bakar Bensin Dan Etanol Terhadap Prestasi Mesin Bensin. *Agustus*, 05(2).
- Manurung, M., Ratnayani, O., & Prawira, R. A. (2019). Sintesis Dan Karakterisasi Arang Dari Limbah Bambu Dengan Aktivator Zncl 2. In *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)* (Vol. 7, Number 2).
- Maulana, M. I., Nawawi, D. S., Wistara, N. J., Sari, R. K., Nikmatin, S., Maulana, S., Park, S.-H., Febrianto, F (2018). Perubahan Kadar Komponen Kimia Bambu Andong Akibat Perlakuan *Steam* 83*Change of Chemical Components Content in Andong Bamboo due to Steam Treatment*).
- Maulana, S. (2018). Sifat Fisis, Mekanis, Dan Keawetan Oriented Strand Board Bambu Andong Dan Betung Dengan Perlakuan Steam Pada Strand.
- Muhammat, K., Fatah, A., & Pratama, A. (2021). Analisis Kinerja Mesin dan Konsumsi Bahan Bakar Sepeda Motor dengan Variasi Kondisi Filter Udara.
- Mulyono, S., Gunawan, & Maryanti, B. (2021). Pengaruh Penggunaan dan Perhitungan Efisiensi Bahan Bakar Premium dan Pertamina Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar Bensin.
- Permadi, R. P., & Widodo, E. (2021). *The Effect of Modified Air Filters to Improve Performance of Matic Motorcycles 110 cc Pengaruh Filter Udara Modifikasi untuk Meningkatkan Performa Motor Matic 110 cc*. In *Procedia of Engineering and Life Science* (Vol. 1, Number 1).

- Prihartono, J. (2020). 738-File Utama Naskah-1213-1-10-20200905. *Presisi*, 22 (1).
- Putri, R. L., Rochmawati, L., Nandika, D., & Darmawan, I. W. (2020). Pengawetan Bambu dengan Metode Boucherie. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(4), 618–626. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.4.618>
- Rafiano, R. (2024). *Aplikasi Pelet Arang Sekam Padi Teraktivasi Menggunakan Microwave Sebagai Filter Udara Untuk Meningkatkan Prestasi Mesin Dan Mereduksi Emisi Gas Buang Pada Mesin Bensin 4-Langkah Tecquipment TD200* [Skripsi]. Bandar Lampung. Universitas Lampung.
- Rahmawati, A. (2020). Pengaruh Jumlah Penduduk, Jumlah Kendaraan Bermotor, Pdrb Per Kapita Dan Kebijakan Fiskal Terhadap Konsumsi Energi Minyak Di Indonesia.
- Ramadhan, M. R. (2022). Pengaruh Temperatur pada Pack Carburizing Menggunakan Campuran Arang Tempurung Kelapa dan Arang Bambu terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja EMS 45. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 17, Number 3). <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- Rantung, S. M., & Buyung, S. (2020). *LPPM Politeknik Saint Paul Sorong 60 Analisis Konsumsi Bahan Bakar Gokard Dengan Pengerak Motor 4 Tak 160 Cc Berdasarkan Variasi Beban* (Vol. 5, Number 2).
- Rumi, S., Ashari, M., & Rahman, A. (2021). Penyisihan Polutan Pada Limbah Cair Penatu Menggunakan Adsorben Arang Aktif Berasal dari Bambu.
- Sasky, H., Tira, H. S., & Padang, Y. A. (2024). Pemanfaatan Arang Aktif Bambu Apus (*Gigantochloa Apus*) Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Roda Dua Berbahan Bakar *Ganda Pertalite-Lpg Utilization Of Bamboo Apus Active Charcoal (Gigantochloa Apus) As An Adsorbent To Reduce Exhaust Gas Emissions For Pertalite-Lpg Double Fuel Motor Vehicles. Jurnal Keilmuan Dan TerapanTeknik Mesin*.
- Sembiring, J. A. P., Wardono, H., & Risano, A. Y. E. (2020). Pemanfaatan Campuran Zeolit dan Arang Sekam Teraktivasi Fisik Sebagai Filter Udara

Untuk Meningkatkan Akselerasi Mesin Sepeda Motor Bensin 4-Langkah. *JURNAL FEMA*, 8(2).

Suri, I. F., Hidayat, W., Febryano, I. G., Hilmanto, R., Hadida, R. H., & Awandi, H. (2024). Pengaruh Modifikasi Panas Oil Heat Treatment Terhadap Perubahan Warna Dan Berat Pada Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) Dan Bambu Andong (*Gigantochloa Pseudoarundinacea*). *MAKILA*, 18(1), 136–147. <https://doi.org/10.30598/makila.v18i1.13225>

Sya'bani A. A., Dantes K. R., & Wiratmaja. (2022). Pengaruh Variasi Derajat Lobe Separation Angle Camshaft Terhadap Torsi, Daya Dan Konsumsi Bahan Bakar Pada Motor Bensin 4 Langkah. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 10(2), 148–157. <https://doi.org/10.23887/jptm.v10i2.32626>

Syahrir, I., Priono, M. D., & Batutah, M. A. (2024). Analisis Perbandingan Performa Bahan Bakar Shell Super dan Shell V-Power pada Motor Honda PCX 150 cc Tahun 2021. *Journal of Manufacturing in Industrial Engineering and Technology (MINE-TECH)*, 3.

Tambunan, K. G. A., Saputra, B., Suri, I. F., Febryano, I. G., Bintoro, A., & Hidayat, W. (2023). Perubahan sifat fisis dan mekanis pelet bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinaceae*) setelah perlakuan torefaksi. *Agrointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 17(1), 11–20. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v17i1.14211>

Tebu, Y. Y. (2024). *Pengaruh Penggunaan Filter Pelet Bentonit Teraktivasi Fisik Menggunakan Microwave Untuk Meningkatkan Prestasi Mesin Dan Mereduksi Emisi Gas Buang Motor Bensin 4-Langkah Tecquipment TD200 Small Engine Test* [Skripsi]. Bandar Lampung. Universitas Lampung.

Wahyu, D. (2019). Uji Kinerja Mesin Fiat 4-Tak dengan Kapasitas 1.100 CC Menggunakan Automotive Engine Test Bed T101D Fiat 4-Stroke Engine Performance Test with 1100 Cc Capacity Using Automotive Engine Test Bed T101D. 9(2), 2089–4880. <https://doi.org/10.21063/jtm.2019.v9.i2.74-83>

- Wardana, W. W. (2022). Pengaruh Pemanfaatan Arang Serbuk Kayu Gergaji Campuran Dan Sekam Padi Teraktivasi Fisik Dengan Microwave Sebagai Filter Udara Terhadap Prestasi Mesin Sepeda Motor Bensin 4-Langkah.
- Yudi, A., Yuliyanto, A., Kirtinanda, P., Gerhard, C., & Irawan, E. R. (2024). Pemanfaatan Zeolit dengan Aktivasi Fisik sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton Berpori. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 22(2), 90–97. <https://doi.org/10.22219/jmts.v22i2.34686>
- Yudistirani, A., Mahmud, K. H., Ummamy, F. A., & Ramadhan, A. I. (2019). Analisa Performa Mesin Motor 4 Langkah 110cc Dengan Menggunakan Campuran Bioetanol-Pertamax. Januari, 11(1). <https://doi.org/10.24853/jurtek.11.1.85-90>
- Zulkarna'im, Wardono, H., Susila, D. M., Riszal, A., & Risano, Y. (2022). *The Utilization of Natural Zeolites and Fly Ash (Coal) Mixture Physically Activated Using Furnace As A Pellet - shaped Air Filter To Increase Engine Torque, Tecumseh TD110. 4-Stroke Petrol Motor. Journal of Engineering and Scientific Research*, 4(1), 14–17. <https://doi.org/10.23960/jesr.v4i1.99>