

SKRIPSI

**“KINERJA MESIN DAN EMISI GAS BUANG MENGGUNAKAN
KATALIS NaOH, KOH, DAN NH₄OH PADA BODIESE DARI HASIL
TRANSESTERIFIKASI *CRUDE PALM OIL*”**

Disusun Dan Diajukan Oleh:

ANDI YUSRAN PATIROI MANGKAU

D021191033



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

KINERJA MESIN DAN EMISI GAS BUANG MENGGUNAKAN
KATALIS NaOH, KOH, DAN NH₄OH PADA BODIESE DARI
HASIL TRANSESTERIFIKASI *CRUDE PALM OIL*

Disusun dan diajukan oleh

ANDI YUSRAN PATIROI MANGKAU

D021 19 1033

Telah dipertahankan dihadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal Maret 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Ir. Baharuddin Mire, MT
NIP 19550914 198702 001

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST, MT
NIP 19711221 199802 1 001

Ketua Program Studi



Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST, MT
NIP 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Andi Yusran Patiroi Mangkau

NIM : D021 19 1033

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

kinerja mesin dan emisi gas buang menggunakan katalis NaOH, KOH, NH₄OH pada biodiesel dari hasil transesterifikasi crude palm oil

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari dosen pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil dari karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Maret 2024

Yang menyatakan



Andi Yusran Patiroi Mangkau

ABSTRAK

ANDI YUSRAN PATIROI MANGKAU (D021191033). *kinerja mesin dan emisi gas buang menggunakan katalis NaOH, KOH, NH₄OH pada biodiesel dari hasil transesterifikasi crude palm oil.* (dibimbing Prof. Ir. Baharuddin Mire., MT, dan Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT)

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif terbarukan yang dihasilkan dari minyak nabati salah satunya seperti, minyak kelapa sawit. Akan tetapi biodiesel memiliki kekurangan dari segi kinerja yang dihasilkan kurang baik dibanding bahan bakar fosil. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja pembakaran dan kinerja mesin yang dihasilkan biodiesel dan memaksimalkan pemanfaatan minyak kelapa sawit menjadi biodiesel. Sebuah metode Transesterifikasi dapat memberikan perlakuan yang berfungsi meningkatkan nilai kalor dari biodiesel, serta penggunaan katalis dapat mengubah nilai densitas dan viscositas serta titik nyala pada biodiesel. Dalam penelitian ini menggunakan campuran bahan bakar dextrite biodiesel hasil Transesterifikasi dengan perbandingan 1: 1 yang menghasilkan biodiesel B50. Untuk mengukur performa menggunakan mesin Diesel TV1 dan gas analyzer opa 100 dengan rasio kompresi 1:18, 1:14 dan dengan pembebanan 5 kg, 7 kg dan 9 kg. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya efektif (BP) maksimum terjadi pada beban 9 kg rasio 18 dengan menggunakan katalis NaOH yaitu sebesar 2,579kW, konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) minimum terjadi pada rasio kompresi 18 beban 9 dengan menggunakan katalis KOH yaitu 0,362 Kg/kWh, perbandingan udara bahan bakar (AFR) maksimum terjadi pada beban 5 kg rasio 18 dengan menggunakan katalis KOH yaitu sebesar 33,474, efisiensi volumetrik (η_{vo}) maksimum terjadi pada beban 9 kg rasio kompresi 14 dengan penambahan menggunakan katalis NaOH yaitu sebesar 74,73%, dan efisiensi termis (η_{th}) maksimum terjadi pada beban 9 kg rasio kompresi 18 dengan menggunakan katalis KOH yaitu 29,48%, penambahan katalis pada produksi biodiesel hasil Transesterifikasi dapat meningkatkan opasitas emisi gas buang.

Kata kunci: Transesterifikasi, B50, Katalis, Performa, Opasitas.

ABSTRACT

ANDI YUSRAN PATIROI MANGKAU (D021191033). engine performance and exhaust emissions using NaOH, KOH, NH₄OH catalysts in biodiesel from the transesterification of crude palm oil. (supervised by Ir. Baharuddin Mire., MT, and Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT)

Biodiesel is a renewable alternative fuel produced from vegetable oils, one of which is palm oil. However, biodiesel has disadvantages in terms of the resulting performance being less good than fossil fuels. This research aims to solve the problem of biodiesel. To improve combustion performance and engine performance, biodiesel is produced and maximize the utilization of palm oil into biodiesel. A transesterification method can provide treatment that functions to increase the heating value of biodiesel, and the use of catalysts can change the density and viscosity values as well as the flash point of biodiesel. In this research, we used a mixture of dexlite biodiesel fuel resulting from transesterification with a ratio of 1: 1 which produced B50 biodiesel. To measure performance using a TV1 Diesel engine and an OPA 100 gas analyzer with a compression ratio of 1:18, 1:14 and with loads of 5 kg, 7 kg and 9 kg. The research results show that the maximum effective power (BP) occurs at a load of 9 kg ratio 18 using a NaOH catalyst, namely 2.579kW, the minimum specific fuel consumption (SFC) occurs at a compression ratio of 18, load 9 using a KOH catalyst, namely 0.362 Kg/kWh, The maximum air fuel ratio (AFR) occurs at a load of 5 kg ratio 18 using a KOH catalyst, namely 33.474, the maximum volumetric efficiency (η_{vo}) occurs at a load of 9 kg with a compression ratio of 14 with the addition of using a NaOH catalyst, namely 74.73%, and the maximum thermal efficiency (η_{th}) occurs at a load of 9 kg, a compression ratio of 18 using a KOH catalyst, namely 29.48 %, the addition of a catalyst in biodiesel production resulting from Tansesterification can increase the opacity of exhaust emissions.

Keywords: Transesterification, B50, Catalyst, Performance, Opacity.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji dan syukur dipanjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan kekuatan, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“kinerja mesin dan emisi gas buang menggunakan katalis NaOH, KOH, NH₄OH pada biodiesel dari hasil transesterifikasi *crude palm oil*”**. Penyusunan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bimbingan serta masukan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis juga sangat menyadari penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa kerja keras penulis dan bantuan orang-orang terdekat yang selalu memberikan berbagai macam dukungan dan masukan demi kelancaran skripsi ini. Atas alasan itu pula penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih:

1. Kepada Orang tua penulis, Bapak Ir. Andi Amang Pawennari dan Ibu HJ. Andi Bunga Intan S.P , terimah kasih atas semua kasih sayang, doa yang tidak pernah putus. Kalian adalah semangat penulis dalam menyelesaikan studi ini.
2. Bapak Dr.Eng. jalaluddin ST., MT selaku ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
3. Bapak Ir.Baharuddin Mire.,MT selaku pembimbing I Tugas Akhir.
4. Bapak Prof.Dr.Eng.Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST.,MT selaku pembimbing II Tugas Akhir.
5. Bapak Ir. Andi Mangkau.,MT. selaku penguji.
6. Ibu Dr.Eng Novriany Amaliyah, ST.,MT selaku penguji.
7. Bapak Asriadi Sakka,ST., M.Eng selaku penguji saat seminar Proposal
8. Segenap Dosen Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

9. Kanda Surahman,S.Pd.,MT. yang senantiasa selalu menjadi teman diskusi untuk membantu penulis dalam memecahkan berbagai kendala dalam penelitian.
10. Saudara-saudara seperjuangan penulis BRUZHLEZZ 2019 yang telah memberi semangat, dukungan, maupun doa dan kerja sama yang sudah dijalani selama ini semoga kiranya keselamatan, kesehatan, dan kesuksesan selalu menyertai teman-teman sekalian.
11. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tidak dapat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada orang-orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis menyelesaikan skripsi ini. Senantiasa Allah SWT selalu memberikan kebahagiaan bagi kita semua.

Sebagai manusia biasa tentunya penulis masih memiliki banyak kekurangan pengetahuan dan pengalaman pada topik yang diangkat dalam Skripsi ini, begitu pula dalam penulisannya yang masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis akan sangat senang jika menerima berbagai masukan dari pada pembaca baik berupa kritik maupun saran yang sifatnya membangun demi penyempurnaan penulisan skripsi di masa yang akan datang. Terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Gowa, Maret 2024

Andi Yusran Patiroi Mangkau

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Minyak kelapa sawit	5
2.2 Trasesterifikasi	5
2.3 Natrium hidroksida	6
2.4 Kalium hidroksida	7
2.5 Amonium hidroksida	8
2.6 Mesin diesel	8
2.7 Proses Pembakaran Mesin Diesel	11
2.8 Emisi Gas Buang Pada Mesin Diesel	12
2.8.1 Emisi Nox	12
2.8.2 Emisi Hidrokarbon	12
2.9 Siklus Termodinamika Motor Bakar	13
2.10 Dasar - dasar Perhitungan Kinerja Motor Bakar	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Tempat	19

3.2 Alat dan Bahan.....	19
3.2.1 Alat yang Digunakan.....	19
3.3 Prosedur Penelitian.....	29
3.4 Flowchart Penelitian.....	32
BAB IV	33
4.1 Karakterisasi Bahan Bakar Biodiesel Hasil Transesterifikasi (B50)	33
4.2 Perhitungan (B35 rasio kompresi 14 beban 9).....	34
4.3 Perhitungan (B50 NaOH rasio kompresi 14 beban 9).....	36
4.4 Kinerja Pembakaran Mesin Diesel TV1	38
4.5 Pelepasan Panas (<i>Heat Release</i>) Mesin Diesel TV1.....	45
4.6 Kinerja Mesin Diesel TV	47
4.7 Hasil Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	56
4.8 Hasil Pengujian <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)...	58
BAB V PENUTUP	60
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Proses kerja motor diesel 4 tak.....	9
Gambar 2 Mesin Diesel TV1.....	11
Gambar 3 Siklus Udara Tekanan Konstan	13
Gambar 4 Siklus Aktual Diesel	14
Gambar 5. Magnetic stirrer	19
Gambar 6. gelas ukur	20
Gambar 7. Whatman paper.....	20
Gambar 8. Timbangan skala 0,001 gr.....	21
Gambar 9. Stopwatch.....	21
Gambar 10. Calorimeter bomb.....	22
Gambar 11. viscometer ostwald	22
Gambar 12. termokopel.....	23
Gambar 13. Mesin diesel TV1.....	24
Gambar 14. Panel Mesin	24
Gambar 15. Komputer.....	25
Gambar 16. Pompa	25
Gambar 17. Pompa	26
Gambar 18. minyak kelapa sawit.....	26
Gambar 19 Metanol.....	27
Gambar 20. katalis NaOH	27
Gambar 21. katalis KOH.....	28
Gambar 22. katalis NH ₄ OH	28
Gambar 23. solar.....	29
Gambar 24. Grafik perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan menggunakan rasio kompresi 14 B35 pada beban 5kg.....	38
Gambar 25. Grafik Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan menggunakan rasio kompresi 14 B50 NaOH pada beban 5kg.....	39
Gambar 26. Grafik Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan menggunakan rasio kompresi 14 B50 NH ₄ OH pada beban 5kg.....	39

Gambar 27. Grafik Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan menggunakan rasio kompresi 14 B50 KOH pada beban 5kg	40
Gambar 28. Grafik Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol variasi penambahan katalis pada rasio kompresi 14 B35 beban 5 kg.....	40
Gambar 29. Grafik Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan B35 pada beban 5kg pada rasio kompresi 14.....	42
Gambar 30. Grafik Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan B50 NaOH pada beban 5 kg pada rasio kompresi 14.....	42
Gambar 31. Grafik Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan B50 NH ₄ OH pada beban 5 kg pada rasio kompresi 14.....	43
Gambar 32. Grafik Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan B50 KOH pada beban 5 kg pada rasio kompresi 14.....	43
Gambar 33. Grafik Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan variasi katalis dan B35 pada beban 5kg pada rasio kompresi 14	44
Gambar 34. Grafik Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan variasi Katalis pada beban 5 kg rasio kompresi 14.....	45
Gambar 35. Grafik Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan variasi Katalis pada beban 7 kg rasio kompresi 14.....	46
Gambar 36. Grafik Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan variasi Katalis pada beban 9 kg rasio kompresi 14.....	46
Gambar 37. Grafik perbandingan daya efektif terhadap beban dengan variasi katalis	47
Gambar 38. Grafik perbandingan torsi terhadap beban dengan variasi katalis	49
Gambar 39. Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap beban dengan variasi katalis.....	50
Gambar 40. Grafik perbandingan laju udara aktual terhadap beban dengan variasi Katalis	51
Gambar 41. Grafik perbandingan efesiensi volumetrik terhadap beban dengan variasi Katalis	52
Gambar 42. Grafik perbandingan efesiensi thermis terhadap beban dengan variasi katalis	53

Gambar 43. Grafik perbandingan temperatur gas buang terhadap beban dengan variasi katalis	54
Gambar 44. Grafik Opasitas emisi gas buang mesin diesel	55

DAFTAR TABEL

Table 1 Karakterisasi Bahan Bakar Biodiesel Hasil Transesterifikasi (B50)	33
Table 2 Fraksi Massa Terbakar	41
Table 3. Hasil Pengujian Fourier Transform Infrared (FTIR).....	56
Table 4. Hasil Pengujian Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) ...	58

DAFTAR SIMBOL

BHP	Daya efektif	kW
η_{vo}	Efisiensi Volumetrik	%
N	Putaran poros	Rpm
n	Jumlah putaran persiklus	-
FC	Konsumsi bahan bakar	kg/h
VGU	Volume gelas ukur	Cc
ρ_f	Massa jenis bahan bakar	kg/h
SFC	Konsumsi bahan bakar spesifik	kg/h
Ma	Laju aliran udara actual	kg/h
K	Koefisien	-
C	kecepatan aliran udara	m/s
Do	Diameter orifice	mm
h_o	Beda tekanan pada manometer	mmH ₂ O
ρ_a	Massa jenis udara pada kondisi masuk	kg/m ³
Mth	Laju udara secara teoritis	kg/h
V _s	Volume silinder	-
Ud	Massa jenis udara	kg/m ³
Ka	konstanta untuk motor 4 langkah	-
D	Diameter selinder	mm
η_{th}	Efisiensi thermis	%
s	Panjang langkah selinder	mm
z	Jumlah selinder	-
AFR	Rasio udara-bahan bakar	-
Q _{tot}	Kalor total	kW
LHV _{bb}	Nilai kalor bahan bakar	kJ/kg

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif terbarukan yang dihasilkan dari minyak nabati salah satunya seperti, minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*). Selama ini minyak kelapa sawit banyak digunakan untuk minyak goreng. Untuk itu perlu dilakukan suatu upaya penelitian untuk dapat menemukan cara dalam memanfaatkan minyak kelapa sawit menjadi suatu produk yang dapat memberikan manfaat lebih bagi kehidupan manusia. Salah satu penelitian yang sedang dikembangkan adalah menghasilkan metil ester dari CPO melalui reaksi transesterifikasi minyak nabati (trigliserida) dengan metanol (Arbianti 2007).

Tahun 2018 penggunaan mesin diesel semakin berkembang pesat dan hal ini diikuti penggunaan bahan bakar diesel yang meningkat dan akan mengurangi cadangan minyak secara terus menerus. Berdasarkan peristiwa tersebut, pasokan energy dunia meningkat sebesar 62,91% dari tahun 1990 sampai 2018 hingga mencapai 14281.898 Mtoe (*Milion tonnes of oil equivalent*), (IEA, 2021).

Biodiesel mempunyai flash point lebih tinggi dari pada solar, sehingga tidak mudah terbakar. Disamping itu biodiesel tidak mengandung sulfur dan senyawa benzene yang karsinogenik sehingga biodiesel merupakan bahan bakar yang lebih bersih dan lebih mudah ditangani dibandingkan dengan solar. Sifat lain dari biodiesel adalah mempunyai Cetane number dan Viskositas lebih tinggi, serta sifat pelumasan yang lebih baik dibandingkan solar (Djamin. M dan Wirawan. S. S, 2010).

Indonesia telah melakukan usaha agar konsumsi minyak bumi dan emisi gas buang pada mesin diesel menurun dengan program mandatori bahan bakar nabati (BBN) dimana pada tahun 2020 menerapkan bahan bakar biosolar dengan 30% biodiesel dalam bahan bakar solar (B30), (Peraturan pemerintah. 2015)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Yudhistira, A. D., & Istadi, I. untuk kerja reaktor plasma *dielectric barrier discharge* untuk produksi biodiesel dari

minyak kelapa sawit dengan menggunakan rasio perbandingan 3:1 antara methanol dan minyak kelapa sawit menghasilkan nilai yield terbesar adalah 89,9% dan nilai Nilai angka asam, angka setana, bilangan iodin, dan angka penyabunan telah memenuhi standar biodiesel SNI dengan kandungan FAME, aldehid, alkuna, alkohol, ester, dan asam karboksilat.

Penelitian juga yang telah dilakukan oleh Muhammad nur, dengan memperoleh karakterisasi hasil plasma pirolisis campuran minyak sawit kasar (*Crude palm oil*) dengan methanol menghasilkan nilai yield 83,74% dan nilai viskositas yang telah memenuhi standar biodiesel SNI dengan kandungan metil/etil, ester, dan karbonil.

Penelitian sebelumnya juga membahas emisi gas pada penggunaan biodiesel yang dihasilkan menggunakan metode konvensional dengan menghasilkan emisi yang lebih ramah lingkungan pada penggunaan biodiesel dengan rasio yang lebih besar pada bahan bakar dengan penurunan pada power mesin yang dihasilkan pada mesin. pada penggunaan biodiesel pada mesin menghasilkan konsumsi bahan bakar yang meningkat berbanding lurus dengan banyaknya biodiesel yang digunakan pada campuran bahan bakar yang digunakan. (Pudjanarsa & Nursuhud 2015).

Biodiesel secara umum adalah bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari bahan terbarukan seperti minyak nabati dan minyak hewani atau secara khusus merupakan bahan bakar mesin diesel yang terdiri atas ester alkil dari asam-asam lemak. Pengembangan biodiesel berdampak positif bagi lingkungan dikarenakan biodiesel memiliki beberapa keunggulan antara lain: (1) dapat menekan atau mengurangi polusi yang dihasilkan oleh bahan bakar solar seperti gas karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂), (2) meningkatkan efisiensi mesin, (3) tidak mengandung toksin atau racun.

Pembuatan biodiesel pada umumnya dilakukan secara konvensional (esterifikasi dan transesterifikasi), menggunakan gelombang mikro dan baru-baru ini menggunakan metode plasma. Metode konvensional memerlukan waktu yang relatif lama pada proses pembuatan biodiesel. Transesterifikasi merupakan salah satu metode paling populer untuk memproduksi biodiesel.

Biodiesel yang diperoleh dengan proses transesterifikasi merupakan campuran mono-alkyl ester dari asam lemak tinggi, sedangkan metode gelombang mikro memerlukan waktu yang singkat dalam menghasilkan biodiesel.

Dalam pengujian kali ini penulis akan melakukan penerapan proses plasma dan transesterifikasi dengan variasi katalis NaOH, KOH, NH₄OH dan metanol untuk meningkatkan mutu dari minyak kelapa sawit kasar (*Crude palm oil*). Minyak kelapa sawit kasar (*Crude palm oil*) yang telah melalui proses plasma selanjutnya dicampur dengan bahan bakar solar murni dan kemudian dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui konsumsi bahan bakar pada mesin dan emisi gas buang yang dihasilkan mesin.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka penggunaan biodiesel pada mesin diesel dilakukan. Maka dari itu penulis melakukan penelitian dengan judul **“KINERJA MESIN DAN EMISI GAS BUANG MENGGUNAKAN KATALIS NaOH, KOH, DAN NH₄OH PADA BODIESE DARI HASIL TRANSESTERIFIKASI *CRUDE PALM OIL*”**

1.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Karakteristik biodiesel hasil transesterifikasi dengan campuran NaOH, KOH, NH₄OH?
2. Bagaimana kinerja mesin yang menggunakan biodiesel hasil transesterifikasi dengan campuran NaOH, KOH, NH₄OH?
3. Bagaimana kinerja pembakaran mesin yang menggunakan biodiesel hasil transesterifikasi dengan campuran NaOH, KOH, NH₄OH?
4. Bagaimana opasitas yang dihasilkan mesin yang menggunakan biodiesel hasil transesterifikasi dengan campuran katalis NaOH, KOH, NH₄OH?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis kinerja mesin yang dihasilkan mesin yang menggunakan biodiesel hasil transesterifikasi dengan campuran NaOH, KOH, NH₄OH.

2. Untuk menganalisis kinerja pembakaran yang dihasilkan mesin yang menggunakan biodiesel hasil transesterifikasi dengan campuran NaOH, KOH, NH₄OH.
3. Untuk menganalisis opasitas yang dihasilkan mesin yang menggunakan biodiesel hasil transesterifikasi dengan campuran NaOH, KOH, NH₄OH.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Rasio campuran katalis NaOH yang digunakan adalah 1% dari volume minyak sawit.
2. Rasio campuran katalis KOH yang digunakan adalah 1% dari volume minyak sawit
3. Rasio campuran katalis NH₄OH yang digunakan adalah 1% dari volume minyak sawit
4. Rasio campuran biodiesel yang digunakan adalah 50% dari volume solar (B50).
5. Menggunakan mesin diesel tipe TV1
6. Beban yang digunakan 5kg, 7kg dan 9 kg
7. Rasio kompresi yang digunakan adalah 14 dan 18

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, menambah pengetahuan tentang penggunaan biodiesel hasil transesterifikasi pada mesin.
2. Bagi pembaca, menambah bahan bacaan dan menambah ilmu pengetahuan dan tentang biodiesel hasil transesterifikasi.
3. Bagi industri, dapat menjadi bahan referensi pemanfaatan biodiesel hasil transesterifikasi.

BAB II

TINJAUN PUSTAKA

2.1 Minyak kelapa sawit

Minyak kelapa sawit kasar (*Crude palm oil*) adalah minyak nabati edibel yang berasal dari mesocarp buah (daging buah) pohon kelapa sawit. Minyak sawit secara alami berwarna merah karena kandungan beta-karoten yang tinggi. Minyak sawit berbeda dengan minyak inti kelapa sawit (palm kernel oil) yang dihasilkan dari inti buah yang sama.

Minyak sawit termasuk minyak memiliki kadar lemak jenuh yang tinggi. Minyak sawit berwujud setengah pada temperatur ruangan dan memiliki beberapa jenis lemak jenuh asam laurat (0,1%), asam miristat (1%), asam stearat (5%), dan asam palmitat (44%). Minyak sawit juga memiliki lemak tak jenuh dalam bentuk asam oleat (39%) asam linoleate (10%), dan asam alfa linoleate (0,3%). Asam palmitat merupakan asam lemak jenuh rantai panjang yang memiliki titik cair (melting point) yang tinggi yaitu 64°C. Asam palmitat yang tinggi membuat minyak sawit lebih tahan terhadap oksidasi dibanding jenis minyak lain.

Pemanfaatan minyak kelapa sawit sebagai biodiesel lebih prospektif karena minyak sawit bersifat edible oil sehingga dapat dimanfaatkan juga untuk kebutuhan pangan Indonesia.

Diperkirakan sekitar 85% dari minyak kelapa sawit digunakan untuk bahan baku pangan, seperti margarin, roti, minyak goreng dan lain-lain. Sedangkan 10% dari total produksi digunakan untuk industri kosmetik, deterjen, farmasi, sabun, dan oleokimia. Sisanya 5% digunakan untuk bahan baku energi seperti biodiesel.

2.2 Trasesterifikasi

Transesterifikasi merupakan metode yang digunakan untuk memproduksi biodiesel dari minyak nabati. Pada dasarnya proses transesterifikasi ini bertujuan untuk mengubah (tri, di, mono) gliserida yang mendominasi

komposisi minyak kelapa sawit dan berviskositas tinggi menjadi metil ester asam lemak dimana metanol atau etanol menggantikan gliserin (Knothe, 2005).

Katalis NaOH dapat meningkatkan efisiensi reaksi transesterifikasi, yang merupakan reaksi pembentukan ester dan gliserol dari trigliserida (lemak/minyak) dan bioalkohol (metanol atau etanol). Pemilihan KOH sebagai katalis ini dikarenakan dengan adanya katalis basa reaksi akan berjalan lebih cepat walaupun dengan suhu reaksi rendah dibandingkan menggunakan katalis asam. yang mempercepat reaksi sebenarnya adalah kalium metoksida (KOCH_3) katalis terbentuk sebagai hasil reaksi antara KOH dan methanol. Berdasarkan literatur suhu yang sesuai untuk kondisi reaksi transesterifikasi yaitu pada suhu 60°C (Vicente, 2005).

Katalis dapat mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi sehingga laju pembentukan metil ester menjadi lebih cepat. Dari proses transesterifikasi diperoleh 2 fasa, yaitu metil ester pada bagian atas, gliserol pada bagian bawah kemudian rendemen biodiesel di hitung dari konversi metil ester berdasarkan variasi konsentrasi katalis. (J.Chem,2019).

Katalis yang umum digunakan untuk reaksi transesterifikasi adalah katalis asam dan basa. Untuk katalis asam biasanya digunakan asam sulfonat dan asam sulfat sedangkan katalis basa digunakan NaOH, KOH dan NaOCH_3 . Reaksi transesterifikasi dengan katalis basa lebih cepat 4000 kali dibandingkan katalis asam, dan juga katalis alkali tidak sekorosif katalis asam (Srivastava,1999). Logam alkali alkoksida (seperti CH_3ONa untuk metanolisis) adalah katalis yang paling aktif dengan memberikan hasil yang sangat tinggi (>98%) pada waktu reaksi yang singkat yaitu selama 30 menit dan konsentrasi katalis yang rendah (0,5 % mol) (Srivastava,1999).

2.3 Natrium hidroksida

Natrium hidroksida, juga dikenal sebagai lindi (lye) dan soda kaustik atau soda api, adalah suatu senyawa anorganik dengan rumus kimia NaOH. Senyawa ini merupakan senyawa ionik berbentuk padatan putih yang tersusun dari kation natrium Na^+ dan anion hidroksida OH^- .

Natrium hidroksida merupakan basa dan alkali yang sangat kaustik, mampu menguraikan protein pada suhu lingkungan biasa dan dapat menyebabkan luka bakar bila terpapar. Senyawa ini sangat larut dalam air, dan dengan mudah menyerap kelembaban dan karbon dioksida dari udara. Senyawa ini membentuk hidrat dengan rumus $\text{NaOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Senyawa monohidratnya $\text{NaOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ mengkristal dari larutan berair pada rentang suhu antara 12,3 hingga 61,8 °C. "Natrium hidroksida" yang tersedia secara komersial sering kali merupakan senyawa monohidrat ini, dan data yang dipublikasikan mungkin merujuk pada senyawa ini dan bukan senyawa anhidratnya. Sebagai salah satu hidroksida paling sederhana, natrium hidroksida sering digunakan bersama air yang bersifat netral dan asam klorida yang bersifat asam sebagai penunjuk skala pH pada pembelajaran di sekolah dan kampus. Natrium hidroksida digunakan di banyak industri: dalam pembuatan pulp dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan deterjen, dan sebagai pembersih saluran. Produksi di seluruh dunia pada tahun 2004 kira-kira mencapai 60 juta ton, sedangkan permintaan terhadap senyawa ini mencapai 51 juta ton

2.4 Kalium hidroksida

Kalium hidroksida adalah suatu senyawa anorganik dengan rumus kimia KOH , dan umumnya disebut sebagai potash kaustik. bersama dengan natrium hidroksida (NaOH), padatan tak berwarna ini adalah suatu basa kuat. Senyawa ini memiliki banyak aplikasi industri dan niche, sebagian besar yang memanfaatkan sifat korosif dan reaktivitasnya terhadap asam. Diperkirakan 700,000 hingga 800,000 ton telah diproduksi pada tahun 2005. Sekitar 100 kali lebih banyak NaOH dibanding KOH diproduksi setiap tahunnya. KOH penting sebagai prekursor dalam pembuatan sabun yang paling lembut dan cair serta berbagai bahan kimia yang mengandung kalium.

Seperti NaOH , KOH memperlihatkan stabilitas termal yang tinggi. Spesies gas merupakan dimer. Karena kestabilannya yang tinggi dan titik leleh yang

relatif rendah. bentuk yang memiliki luas permukaan rendah dan sifat kemudahan dalam penanganannya.

2.5 Amonium hidroksida

Amonium hidroksida, dikenal pula sebagai larutan amonia. Larutan ini terbentuk karena amonia yang bereaksi dengan molekul air dalam larutan air. Amonium hidroksida memiliki rumus kimia NH_4OH . Larutannya bisa juga dinyatakan dengan $\text{NH}_3(\text{aq})$.

Amonium hidroksida ini mempunyai sifat yang larut dalam air, berupa cairan, tidak berwarna, mudah menguap dan mempunyai bau yang menusuk hidung. Amonium hidroksida merupakan larutan yang bersifat basa dengan pH sebesar 13,6

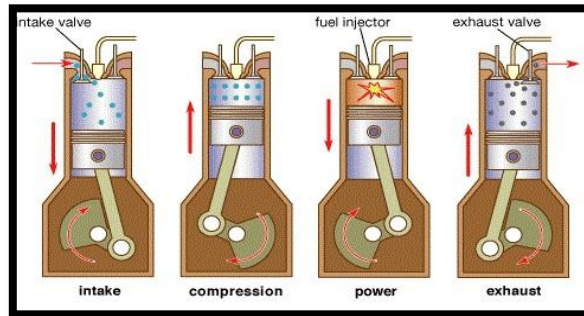
2.6 Mesin diesel

A. Pengertian Mesin Diesel

Mesin diesel adalah mesin yang sistem pembakarannya di dalam (internal combustion engine) dengan pembakaran terjadi karena udara murni dimampatkan (dikompresi) dalam suatu ruang bakar (silinder) sehingga diperoleh udara bertekanan tinggi serta panas yang tinggi, bersamaan dengan itu disemprotkan/dikabutkan bahan bakar sehingga terjadilah pembakaran. Pembakaran yang berupa ledakan akan menghasilkan panas mendadak naik dan tekanan menjadi tinggi didalam ruang bakar . Tekanan ini mendorong piston kebawah yang berlanjut dengan poros engkol berputar. Sesuai dengan gerakan piston untuk mendapatkan satu kali proses tersebut maka mesin diesel tersebut dibagi dalam 2 macam: 1)Mesin diesel 4 langkah (4 tak) dan 2) Mesin diesel 2 langkah (2 tak). Untuk menghasilkan loncatan bunga api antara kedua permukaan elektrotode diperlukan tegangan yang besar, besar tegangan tergantung oleh beberapa faktor (Wiranto,1983).

B. Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah

Mesin diesel empat langkah mempunyai empat prinsip kerja, yaitu langkah hisap, langkah kompresi, langkah usaha dan langkah buang. Keempat langkah mesin diesel ini bekerja secara bersamaan untuk menghasilkan sebuah tenaga yang menggerakkan komponen lainnya.



Gambar 1 Proses kerja motor diesel 4 tak.

Sumber: Dody darsono, 2010. Simulasi CFD. FT UI

1. Langkah Hisap (*Intake*)

Langkah hisap yaitu ketika piston bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), pada saat ini kondisi katup hisap membuka dan katup buang menutup. Kondisi ini menyebabkan volume ruang bakar dan kevakuman meningkat sehingga campuran bahan bakar dan udara masuk ke dalam ruang silinder atau pembakaran. Proses pemasukkan udara ke dalam ruang bakar diakibatkan oleh tekanan atmosfer di luar silinder lebih besar dibandingkan di dalam silinder, kemudian bahan bakar masuk dikarenakan kevakuman yang besar di ruang bakar.

2. Langkah Kompresi (*Compression*)

Langkah kompresi yaitu piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), katup hisap dan katup buang tertutup. Campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam ruang silinder atau ruang bakar dikompresikan atau dimampatkan, proses ini terjadi dikarenakan adanya penyempitan ruangan yang terjadi sehingga tekanan dan suhu di silinder mengalami peningkatan.

3. Langkah Ekspansi (*Power*)

Langkah Ekspansi (*Power*) yaitu setelah bunga api membakar campuran bahan bakar dan udara terkompresikan, terjadilah ledakan yang berakibat tekanan dan suhu meningkat kondisi kedua katup menutup. Tekanan yang besar menggerakkan piston dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB).

4. Langkah Buang (*Exhaust*)

Langkah buang yaitu pada akhir langkah usaha, piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), gas sisa hasil pembakaran dibuang menuju katup buang. *Overlapping* terjadi disaat katup buang dan katup hisap terbuka bersama-sama, kondisi ini memiliki tujuan untuk membantu proses pembilasan di dalam ruang silinder

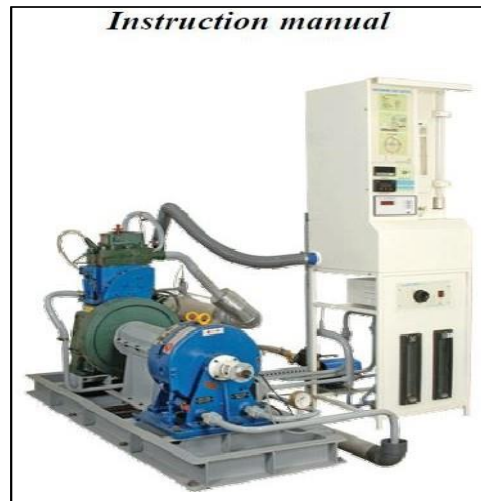
C. VCR (*Variable Compression Ratio*)

Mesin diesel terhubung ke dynamometer tipe arus eddy untuk memuat. Itu rasio kompresi dapat diubah tanpa menghentikan mesin dan tanpa mengubah geometri ruang bakar dengan blok silinder miring yang dirancang khusus pengaturan. Pengaturan dilengkapi dengan instrumen yang diperlukan untuk tekanan pembakaran dan pengukuran sudut engkol. Sinyal-sinyal ini dihubungkan ke komputer melalui indikator mesin untuk diagram $P\theta - PV$. Ketentuan juga dibuat untuk menghubungkan aliran udara, aliran bahan bakar, suhu dan pengukuran beban.

Pengaturan memiliki panel yang berdiri sendiri kotak yang terdiri dari kotak udara, dua tangki bahan bakar untuk uji campuran, manometer, pengukur bahan bakar unit, pemancar untuk pengukuran aliran udara dan bahan bakar, indikator proses dan mesin indikator. Rotameter disediakan untuk air pendingin dan aliran air kalorimeter pengukuran.

Pengaturan ini memungkinkan studi kinerja mesin VCR dengan exhaust gas recirculation (EGR) untuk daya rem, ditunjukkan daya, daya gesekan, brake mean effective pressure (BMEP), indicated mean effective pressure (IMEP), efisiensi termal rem, ditunjukkan efisiensi termal,

efisiensi mekanik, efisiensi volumetrik, bahan bakar spesifik konsumsi, rasio A/F (Air/Fuel) dan keseimbangan panas.



Gambar 2 Mesin Diesel TV1

Mesin yang digunakan adalah silinder tunggal empat langkah, vertikal, berpendingin air, disedot alami, injeksi langsung mesin diesel. Transduser tekanan digunakan untuk memantau tekanan injeksi. Peralatan mesin dihubungkan dengan perangkat pengukuran emisi gas. alat analisis gas, juga dilengkapi dengan instrumen yang diperlukan untuk mengukur tekanan melalui indikator sensor mesin perangkat lunak. Udara atmosfer memasuki intake manifold mesin melalui saringan udara dan kotak udara.

2.7 Proses Pembakaran Mesin Diesel

A. Jenis Pembakaran

Produk pembakaran campuran udara – bahan bakar dapat dibedakan menjadi:

1. Pembakaran sempurna (pembakaran ideal)

Setiap pembakaran sempurna menghasilkan karbon dioksida dan air. Peristiwa ini hanya dapat berlangsung dengan perbandingan udara-bahan bakar stoikiometris dan waktu pembakaran yang cukup.

2. Pembakaran tak sempurna

Peristiwa ini terjadi bila tidak tersedia cukup oksigen. Produk

pembakaran ini adalah hidrokarbon tak terbakar dan bila sebagian hidrokarbon terbakar maka aldehide, ketone, asam karbosiklis dan sebagian karbon monoksida menjadi polutan dalam gas buang.

3. Pembakaran dengan udara berlebihan

Pada kondisi temperatur tinggi nitrogen dan oksigen dari udara pembakaran akan bereaksi dan akan membentuk oksida nitrogen.

2.8 Emisi Gas Buang Pada Mesin Diesel

Pengendalian emisi polutan merupakan faktor utama dalam perancangan sistem pembakaran sekarang ini. Efek yang ditimbulkan oleh emisi gas buang dari mesin meliputi perubahan sifat atmosfer, merusak tumbuh tumbuhan dan material serta meningkatnya penyakit dan kematian manusia. Dalam pembakaran sempurna gas yang dihasilkan hanya berupa uap air (H_2O) dan karbon dioksida (CO_2). Tetapi pada proses yang sebenarnya oleh berbagai sebab, proses pembakaran menjadi tidak sempurna sehingga menghasilkan emisi karbon monoksida (CO), hidroksida (HC) yang tidak terbakar, jelaga dan lain-lain. (Bennet,2010)

2.8.1 Emisi Nox

Karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon yang tidak terbakar (HC) umumnya dipengaruhi oleh proses pembakaran yang kurang sempurna di dalam ruang bakar. Emisi CO dari motor bakar ditentukan terutama oleh equivalen rasio bahan bakar udara. Namun karena mesin diesel selalu dioperasikan pada daerah miskin campuran udara bahan bakar maka konsentrasi CO relatif rendah. Gas CO merupakan hasil oksidasi karbon dan apabila jumlah udara mencukupi akan terjadi oksidasi lanjut menjadi CO_2 .

2.8.2 Emisi Hidrokarbon

Emisi hidrokarbon (HC) merupakan konsekuensi dari pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar hidrokarbon. Emisi HC bisa berbentuk bahan bakar yang belum.

2.9 Siklus Termodinamika Motor Bakar

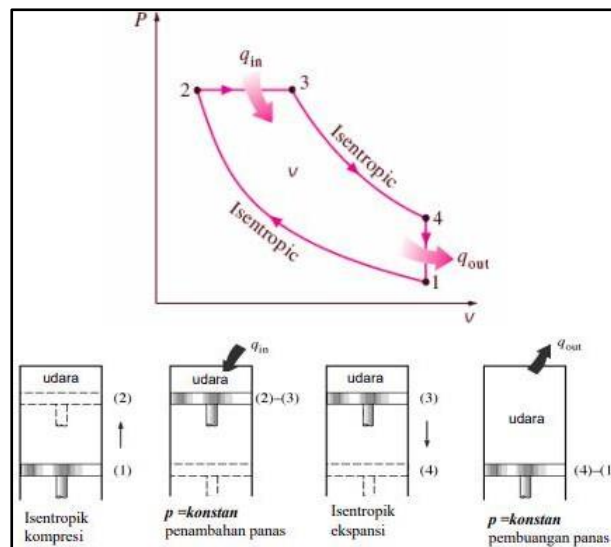
A. Siklus Udara Ideal

Penggunaan siklus ini berdasarkan beberapa asumsi adalah sebagai berikut:

1. Fluida kerja dianggap udara sebagai gas ideal dengan kalor spesifik konstan (tidak ada bahan bakar).
2. Langkah isap dan buang pada tekan konstan.
3. Langkah kompresi dan tenaga pada keadaan adiabatik.
4. Kalor diperoleh dari sumber kalor dan tidak ada proses pembakaran atau tidak ada reaksi kimia.

Siklus termodinamika dalam motor bakar terbagi menjadi tiga pokok bagian yaitu:

1. Siklus udara pada volume konstan (Siklus Otto)
2. Siklus udara pada tekanan konstan (Siklus Diesel)
3. Siklus udara tekanan terbatas (Siklus gabungan).



Gambar 3 Siklus Udara Tekanan Konstan

Sumber : Basyirun, Winarno, and Karnowo, 2008 Semarang, Universitas Negeri Semarang

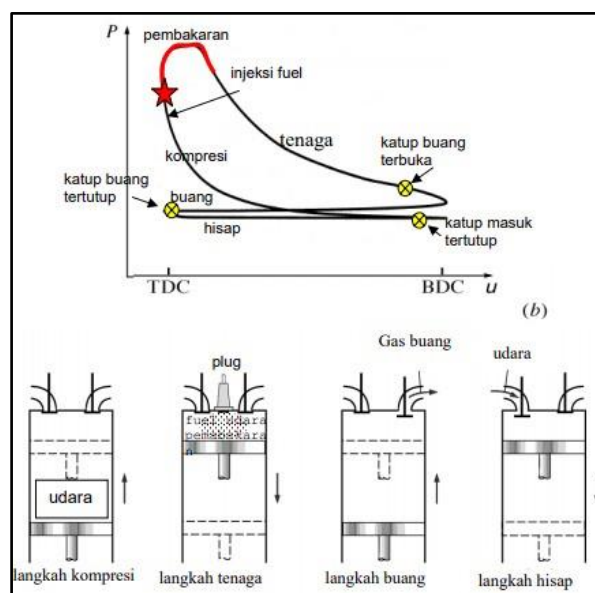
Adapun urutan prosesnya adalah sebagai berikut:

1. Langkah isap (0-1) merupakan proses tekanan konstan.
2. Langkah kompresi (1-2) merupakan proses adiabatik.

3. Langkah kerja (3-4) merupakan proses adiabatik.
4. Langkah buang (1-0) merupakan proses tekanan konstan.

Dapat dilihat dari urutan proses diatas bahwa pada siklus tekanan konstan pemasukan kalornya pada tekanan konstan berbeda dengan siklus volume konstan yang proses pemasukan kalornya pada kondisi volume konstan. Siklus tekanan konstan sering disebut dengan siklus diesel. Rudolf Diesel yang pertama kali merumuskan siklus ini dan sekaligus pembuat pertama mesin diesel. Proses penyalaan pembakaran terjadi tidak menggunakan busi, tetapi terjadi penyalaan sendiri karena temperatur didalam ruang bakar tinggi karena kompresi.

B. Siklus Aktual



Gambar 4 Siklus Aktual Diesel

Sumber : Basyirun, Winarno, and Karnowo, "Mesin Konversi Energi Universitas Negeri Semarang", 2008.

Pada gambar 2.4 diatas adalah siklus aktual dari mesin diesel. Alasan yang sama dengan mesin, dengan perbedaan pada disel pada langkah isap hanya udara saja, bahan bakar diseprotkan melalui nosel di kepala silinder. Proses pembakaran untuk menghasilkan panas karena kompresi, atau pembakaran kompresi.

2.10 Dasar - dasar Perhitungan Kinerja Motor Bakar

Parameter-parameter yang akan dijadikan sebagai perhitungan dalam pengujian ini adalah :

- a. Daya Efektif (BP)
- b. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)
- c. Konsumsi Udara Aktual ($M_{a_{ac}}$) Konsumsi Udara Teoritis ($M_{a_{tt}}$)
- d. Perbandingan Udara Bahan Bakar (AFR)
- e. Efisiensi Volumetris (η_{vol})
- f. Efisiensi Thermis (η_{th})s

a. Daya Efektif, (BP)

Daya efektif adalah daya poros yang digunakan untuk mengangkat beban pada mesin yang diperoleh dari hasil pengukuran torsi dikalikan dengan kecepatan sudut putaran mesin (RPM).

$$BP = \frac{2\pi \times N \times T}{60 \times 100}$$

Dimana:

BP = Daya Efektif, (BP)

N = Putaran Poros, (rpm)

T = Torsi (N.m)

b. Konsumsi Bahan bakar Spesifik, *SFC* (kg/kW.h)

Konsumsi bahan bakar spesifik menyatakan jumlah bahan bakar untuk menghasilkan suatu kW setiap satu satuan waktu pada beban tertentu. SFC merupakan parameter keekonomisan suatu motor bakar. Parameter ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SFC = \frac{FC}{BP} \text{ (kg/kW.h)}$$

Dimana:

SFC = Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kW.h)

c. Laju Aliran Udara aktual, M_a (kg/h)

Untuk mengukur jumlah pemakaian udara sebenarnya, digunakan sebuah plat orifice sisi tajam dengan diameter 20 mm yang dihubungkan dengan sebuah manometer presisi. Perbedaan tekanan akibat aliran udara yang melintasi plat orifice diukur oleh manometer, menggambarkan konsumsi udara yang sanggup di isap oleh mesin selama langkah pemasukan. Maka dari itu persamaan M_a adalah:

$$M_a = Kd \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_o^2 \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot 4,4295 \cdot \sqrt{h_o \cdot \rho_{ud}}$$

Dimana:

M_a = Laju Aliran Udara aktual (kg/h)

Kd = koefisien discharge orifice = (0,6)

D_o = diameter orifice, (mm)

C = kecepatan aliran udara, (m/s)

h_o = beda tekanan pada manometer (mmWC)

ρ_{ud} = massa jenis udara pada kondisi masuk, (kg/m³)

d. Laju Aliran Udara Teoritis, M_{th} (kg/h)

Banyaknya bahan bakar yang dapat terbakar sangat bergantung pada jumlah udara yang terisap selama langkah pemasukan, karena itu perlu diperhatikan berapa jumlah udara yang dikonsumsi selama pemasukan. Dalam keadaan teoritis, jumlah massa udara yang dapat masuk ke dalam ruangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M_{th} = \frac{V_s \cdot 10^{-3} \cdot N \cdot 60 \cdot \rho_{ud}}{K_a} \text{ (kg/h)}$$

Dan,

$$V_s = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot s \cdot z}{4 \cdot 10^6}$$

Dimana:

V_s = volume selinder

10^{-3} = faktor konversi dari cc ke liter

N = putaran poros (rpm)

- ρ_{ud} = massa jenis udara (kg/m^3)
- Ka = 2 (konstanta untuk motor 4 langkah)
- d = Diameter selinder (87,5 mm)
- s = panjang langkah silinder (110 mm)
- z = jumlah selinder (1)

e. Perbandingan Udara Bahan Bakar, *AFR*

Perbandingan udara bahan bakar sangat penting bagi pembakaran sempurna. Konsumsi udara bahan bakar yang dihasilkan akan sangat mempengaruhi laju dari pembakaran dan energi yang dihasilkan. Secara umum *air fuel consumption* dapat dihitung dengan persamaan:

$$AFR = \frac{M_a}{FC}$$

Dimana:

- M_a = konsumsi udara aktual (kg/h)
- FC = konsumsi bahan bakar (kg/h)

f. Efisiensi Volumetrik, η_{vol} (%)

Efisiensi volumetris adalah perbandingan antara jumlah udara terisap sebenarnya pada proses pengisapan, dengan jumlah udara teoritis yang mengisi volume langkah pada saat temperatur dan tekanan sama. Dengan demikian η_{vo} dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{vo} = \frac{M_a}{M_{th}} \cdot 100 (\%)$$

Dimana:

- M_a = konsumsi udara aktual (kg/h)
- M_{th} = konsumsi udara teoritis (kg/h)

g. Efisiensi Thermis, η_{th} (%)

Efisiensi thermis didefenisikan sebagai perbandingan antara besarnya energi kalor yang di ubah menjadi daya efektif dengan jumlah kalor bahan bakar yang disuplai ke dalam selinder. Parameter ini

menunjukkan kemampuan suatu mesin untuk mengkonversi energi kalor dari bahan bakar menjadi energi mekanik. η_{th} dapat dihitung dengan rumus berikut,

$$\eta_{th} = \frac{BP}{Q_{tot}} (\%)$$

$$Q_{tot} = \frac{FC.LHV_{bb}}{3600} (kW)$$

Dimana:

Q_{tot} = kalor yang di suplai, (kW)

LHV_{bb} = nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

3600 = faktor konversi jam ke detik

BP = daya efektif (kW)