

**ANALISA PENGARUH VARIASI MATERIAL ELEKTRODA BUSI
TERHADAP KINERJA MESIN DAN EMISI GAS BUANG
SEPEDA MOTOR YAMAHA FREEGO 125**



**MUHAMMAD FADHIL RAIHAN
D021 20 1078**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2025**

**ANALISA PENGARUH VARIASI MATERIAL ELEKTRODA BUSI
TERHADAP KINERJA MESIN DAN EMISI GAS BUANG
SEPEDA MOTOR YAHAMA FREEGO 125**

**MUHAMMAD FADHIL RAIHAN
D021 20 1078**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2025**

**ANALISA PENGARUH VARIASI MATERIAL ELEKTRODA BUSI
TERHADAP KINERJA MESIN DAN EMISI GAS BUANG
SEPEDA MOTOR YAMAHA FREEGO 125**

MUHAMMAD FADHIL RAIHAN
D021 201078

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Mesin

Pada

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2025**

SKRIPSI**ANALISA PENGARUH VARIASI MATERIAL ELEKTRODA BUSI
TERHADAP KINERJA MESIN DAN EMISI GAS BUANG
SEPEDA MOTOR YAMAHA FREEGO 125****MUHAMMAD FADHIL RAIHAN****D021 20 1078**

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian pada 24 Januari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:

Mengesahkan:
Pembimbing Tugas Akhir,



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT
NIP. 19791112 200812 2 002

Mengetahui:
Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT
NIP. 19770707 200511 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Analisa Pengaruh Variasi Material Elektroda Busi Terhadap Kinerja Mesin dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor Yamaha Freego 125" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT sebagai Pembimbing. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 20 Januari 2025



Muhammad Fadhil Raihan

D021201078

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur senantiasa kita panjatkan ke-hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul ***“Analisa Pengaruh Variasi Material Elektroda Busi Terhadap Kinerja Mesin Dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor Yamaha Freego 125”*** yang mana merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Selama proses pengerjaan skripsi ini penulis menerima begitu banyak bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu peneliti ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Muhammad Makdis dan Ibu Rahmatiah yang selalu mendampingi, memberi semangat, memberikan bantuan mental maupun finansial dan selalu mendoakan kelancaran penelitian ini.
2. Saudara kandung saya Khairil Hidayah yang selalu memberikan saya solusi yang efektif dalam menyelesaikan segala perkara yang saya hadapi serta berbagai dukungan moral yang diberikan selama menjalani perkuliahan di kehidupan kampus hingga penyelesaian tugas akhir saya.
3. Dr. Muhammad Syahid, ST., MT. sebagai Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan
4. Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT. sebagai Dosen Pembimbing yang telah memberikan waktu, arahan, dan saran selama proses pengerjaan skripsi ini.
5. Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT, dan Ir. Baharuddin Mire, MT selaku penguji yang telah memberikan saran-saran selama proses pengerjaan skripsi.
6. Fauzan, ST., M.T., Ph.D sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan ilmu dan nasehat sejak menjadi mahasiswa baru.
7. Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, nasehat dan pengalaman kepada penulis selama menempuh studi di dunia perkuliahan.
8. Bapak Andi Ankal selaku pemilik Bengkel *Ernerst Racing* yang telah memberikan kesempatan dan arahan dalam melaksanakan pengambilan data. Bapak Bakri selaku Kepala Mekanik Bengkel Yamaha Angkasa Maros, dan Bapak Haerul selaku pemilik bengkel di Soreang, Kab. Maros yang telah memberikan ilmu dan wawasan mengenai pengerjaan busi.
9. Bapak Darwis, S.Pd selaku guru di SMKN 1 Maros yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan data uji emisi gas buang, dan Kanda Arman yang turut serta ikut memberikan bantuan tenaga dalam menyelesaikan pengujian emisi gas buang.

10. Nirma, yang dengan kesabaran dan pengertian selalu memberikan kekuatan, kepercayaan diri, dan solusi dalam mengambil keputusan yang efisien melewati masa-masa sulit selama penyusunan tugas akhir ini.
11. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2020 yang senantiasa mendukung dan berjuang bersama sejak mahasiswa baru hingga saat ini.
12. Serta seluruh pihak yang telah membantu yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna walaupun telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Apabila terdapat kesalahan-kesalahan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis dan bukan para pemberi bantuan. Kritik dan saran yang membangun akan lebih menyempurnakan skripsi ini.

Penulis

Muhammad Fadhil Raihan

ABSTRAK

MUHAMMAD FADHIL RAIHAN. **Analisa Pengaruh Variasi Material Elektroda Busi Terhadap Kinerja Mesin Dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor Yamaha Freego 125** (dibimbing oleh Novriany Amaliyah dan Andi Erwin Eka Putra).

Teknologi di bidang otomotif terus berkembang, terutama pada sistem pengapian kendaraan bermotor. Salah satu komponen penting adalah busi, yang berfungsi untuk memercikkan bunga api di ruang bakar guna memaksimalkan pembakaran. Pemilihan material elektroda busi, seperti nikel, tembaga, dan perak, memengaruhi kinerja mesin dan emisi gas buang. Emisi gas buang kendaraan bermotor, seperti karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC), yang berdampak negatif pada lingkungan. Oleh karena itu, Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi material elektroda busi terhadap kinerja mesin dan emisi gas buang pada sepeda motor Yamaha FreeGo 125. Pengujian dilakukan dengan membandingkan tiga jenis material elektroda busi yaitu nikel (standar), tembaga, dan perak. Metode pengujian kinerja mesin menggunakan *Dynotest* untuk mengukur parameter seperti daya dan torsi, dan selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan nilai dari parameter kinerja mesin lainnya dan kemudian dilakukan uji statistik. Sedangkan pengujian emisi gas buang menggunakan *Gas Analyzer* untuk mengukur kadar emisi gas buang, yang kemudian datanya diolah untuk mendapatkan *Index Emission* (IE) dan *Specific Emission* (SE) dari HC dan CO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi material elektroda busi memberikan pengaruh yang bervariasi namun tidak signifikan secara statistik pada kinerja mesin dan emisi gas buang. Busi perak menunjukkan kinerja mesin terbaik dengan daya efektif maksimum 6,512 kW pada 4000-5000 RPM, torsi maksimum 25,727 Nm pada 1000 RPM, konsumsi bahan bakar spesifik minimum 0,895 kg/kWh, efisiensi termal maksimum 9,083%, dan efisiensi mekanik maksimum 98,653%. Untuk emisi gas buang, berdasarkan hasil pengujian langsung dari alat *Gas Analyzer* menunjukkan busi nikel (standar) menghasilkan HC minimum 4,333 ppm pada 4000 RPM, busi tembaga menghasilkan CO minimum 0,076% pada 4000 RPM dan CO₂ maksimum 12,47% pada 5000 RPM, sementara berdasarkan *Index Emission* (IE) dan *Specific Emission* (SE), busi perak menunjukkan konsistensi nilai emisi terendah. Perbedaan karakteristik ini disebabkan oleh variasi sifat material seperti konduktivitas elektrik, resistansi, dan konduktivitas termal dari masing-masing elektroda busi.

Kata kunci: Material elektroda busi, kinerja mesin, emisi gas buang, sepeda motor Yamaha FreeGo 125

ABSTRACT

MUHAMMAD FADHIL RAIHAN. ***Analysis of the Effect of Spark Plug Electrode Material Variations on Engine Performance and Exhaust Gas Emissions of Yamaha Freego 125 Motorcycles*** (supervised by Novriany Amaliyah and Andi Erwin Eka Putra).

Technology in the automotive field continues to develop, especially in the ignition system of motor vehicles. One of the important components is the spark plug, which serves to spark the spark in the combustion chamber to maximize combustion. The choice of spark plug electrode materials, such as nickel, copper, and silver, affects engine performance and exhaust emissions. Motor vehicle exhaust emissions, such as carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC), have a negative impact on the environment. Therefore, this study aims to analyze the influence of spark plug electrode material variations on engine performance and exhaust emissions on Yamaha FreeGo 125 motorcycles. The test was carried out by comparing three types of spark plug electrode materials, namely nickel (standard), copper, and silver. The engine performance testing method uses Dynotest to measure parameters such as power and torque, and then data processing is carried out to obtain values from other engine performance parameters and then statistical tests are carried out. Meanwhile, the exhaust gas emission test uses a Gas Analyzer to measure the level of exhaust gas emissions, which is then processed to obtain the Emission Index (IE) and Specific Emission (SE) of HC and CO. The results show that the variation of spark plug electrode material has a varied but not statistically significant influence on engine performance and exhaust emissions. Silver spark plugs show the best engine performance with a maximum effective power of 6,512 kW at 4000-5000 RPM, a maximum torque of 25,727 Nm at 1000 RPM, a minimum specific fuel consumption of 0,895 kg/kWh, a maximum thermal efficiency of 9,083%, and a maximum mechanical efficiency of 98,653%. For exhaust gas emissions, based on the direct test results from the Gas Analyzer tool, nickel spark plugs (standard) produce a minimum HC of 4.333 ppm at 4000 RPM, copper spark plugs produce a minimum CO of 0.076% at 4000 RPM and a maximum CO₂ of 12.47% at 5000 RPM, while based on Index Emission (IE) and Specific Emission (SE), silver spark plugs show the consistency of the lowest emission value. These differences in characteristics are due to variations in material properties such as electrical conductivity, resistance, and thermal conductivity of each spark plug electrode.

Keywords: Spark plug electrode material, engine performance, exhaust emissions, Yamaha FreeGo 125 motorcycle

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR GRAFIK	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
2.4.1 Tujuan	3
1.3.2 Manfaat	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Landasan Teori	3
1.5.1 Motor Bakar.....	3
1.5.2 Motor Bensin	4
1.5.3 Prinsip Kerja Motor Bensin.....	5
1.5.4 Siklus Udara.....	7
1.5.5 Pembakaran Bahan Bakar	8
1.5.6 Sistem Pengapian	9
1.5.7 Tipe Sistem Pengapian	9
1.5.8 Busi	10
1.5.9 Struktur Busi.....	12
1.5.10 Dinamometer.....	13

1.5.11	Jenis-Jenis Busi	14
1.5.12	Emisi Gas Buang.....	15
1.5.13	Parameter Perhitungan Prestasi Mesin.....	16
1.5.14	Parameter Perhitungan Emisi Gas Buang.....	19
BAB II METODOLOGI PENELITIAN.....		22
1.1	Waktu dan Lokasi Penelitian	22
2.2	Metode Pengambilan Data.....	22
2.3	Variabel Penelitian.....	22
2.4	Alat dan Bahan.....	23
2.4.1	Alat.....	23
2.4.2	Bahan.....	28
2.5	Prosedur Penelitian	29
2.5.1	Pengoperasian Dynamometer.....	29
2.5.2	Bahan Pengoperasian <i>Automotive Gas Analyzer</i> KEG-500.....	31
2.6	Diagram Alir.....	33
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN		Error! Bookmark not defined.
3.1	Perhitungan Kinerja Mesin dan Emisi Gas Buang dengan Menggunakan Busi Perak.....	Error! Bookmark not defined.
3.1.1	Perhitungan Kinerja Mesin dengan Menggunakan Busi Perak	Error! Bookmark not defined.
3.1.2	Perhitungan Emisi Gas Buang dengan Menggunakan Busi Perak ..	Error! Bookmark not defined.
3.2	Analisis Kinerja Mesin	Error! Bookmark not defined.
3.2.1	Analisis Daya Efektif (BP)	Error! Bookmark not defined.
3.2.2	Analisis Torsi (T).....	Error! Bookmark not defined.
3.2.3	Analisis Tekanan Efektif Rata-Rata (MEP)	Error! Bookmark not defined.
3.2.4	Analisis Tekanan Daya Indikasi (IP)	Error! Bookmark not defined.
3.2.5	Analisis Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)	Error! Bookmark not defined.
3.2.6	Analisis Rasio Perbandingan Udara dan Bahan Bakar atau <i>Air Fuel Ration</i> (AFR)	Error! Bookmark not defined.
3.3	Analisis Emisi Gas Buang Mesin.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.1	Analisis Emisi Karbon Monoksida (CO)....	Error! Bookmark not defined.
3.3.2	Analisis Emisi Hidrokarbon (HC)	Error! Bookmark not defined.
3.3.3	Analisis Emisi Karbon dioksida (CO ₂)	Error! Bookmark not defined.

BAB IV KESIMPULAN	Error! Bookmark not defined.
4.1 Kesimpulan	Error! Bookmark not defined.
4.2 Saran.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Klasifikasi Motor Bakar	4
2. Gerakan piston, <i>crank</i> dan katup pada langkah hisap	5
3. Gerakan piston, <i>crank</i> dan katup pada langkah kompresi	6
4. Gerakan piston, <i>crank</i> dan katup pada langkah usaha	6
5. Gerakan piston, <i>crank</i> dan katup pada langkah buang	7
6. Diagram P vs v dari siklus volume konstan	7
7. Sistem Pengapian Full Transistor	10
8. Struktur Busi dan Fungsinya	12
9. Sepeda Motor Yamaha FreeGo 125	24
10. <i>Leads Dynamometer LSP 1</i>	25
11. <i>Blower</i>	25
12. Komputer	25
13. Gelas Ukur	26
14. Kunci Busi	26
15. <i>Tire Pressure Gauge</i>	26
16. <i>Gas Analyzer KEG-500 dan Probe</i>	27
17. <i>Bluetooth Advanced OBD-II Scanner</i>	27
18. <i>Smartphone Android Yang Dilengkapi Dengan Aplikasi Torque Pro</i>	28
19. Bahan Bakar Pertalite	28
20. Busi Standar (Nikel)	28
21. Busi Copper (Tembaga)	29
22. Busi Silver (Perak)	29
23. <i>AFR Chart</i>	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GRAFIK

Nomor Urut

Halaman

1. Perbandingan Putaran Mesin Terhadap Daya Efektif (BP) Pada Ketiga Variasi Jenis Busi..... **Error! Bookmark not defined.**
2. Perbandingan Putaran Mesin (N) Terhadap Torsi (T) Pada Ketiga Variasi Jenis Busi **Error! Bookmark not defined.**
3. Perbandingan Putaran Mesin (N) Terhadap Tekanan Efektif Rata-Rata (MEP) Pada Ketiga Variasi Jenis Busi **Error! Bookmark not defined.**
4. Perbandingan Putaran Mesin Terhadap Daya Indikasi (IP) Pada Ketiga Variasi Jenis Busi..... **Error! Bookmark not defined.**
5. Perbandingan Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) Pada Ketiga Jenis Busi **Error! Bookmark not defined.**
6. Perbandingan Putaran Mesin Terhadap *Air Fuel Ratio* (AFR) Pada Ketiga Jenis Busi **Error! Bookmark not defined.**
7. Perbandingan Putaran Mesin Terhadap Karbonmonoksida (CO) Pada Ketiga Jenis Busi **Error! Bookmark not defined.**
8. Perbandingan Putaran Mesin Terhadap Index Emission Karbonmonoksida (CO) Pada Ketiga Jenis Busi **Error! Bookmark not defined.**
9. Perbandingan Putaran Mesin Terhadap *Specific Emission* Karbonmonoksida (CO) Pada Ketiga Jenis Busi **Error! Bookmark not defined.**
10. Perbandingan Putaran Mesin Terhadap Emisi Gas Karbon Monoksida (CO) Pada Ketiga Jenis Busi **Error! Bookmark not defined.**
11. Perbandingan Putaran Mesin Terhadap *Index Emission* Hidrokarbon (HC) Pada Ketiga Jenis Busi. **Error! Bookmark not defined.**
12. Perbandingan Putaran Mesin Terhadap *Specific Emission* Hidrokarbon (HC) Pada Ketiga Jenis Busi. **Error! Bookmark not defined.**
13. Perbandingan Putaran Mesin Terhadap Emisi Gas Karbon dioksida (CO₂) Pada Ketiga Jenis Busi..... **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Spesifikasi Sepeda Motor Yamaha FreeGo 125.....	23
2. Spesifikasi <i>Leads Dynamometer</i> LSP 1	24
3. <i>Resistivity and Conductivity of Materials</i>	Error! Bookmark not defined.
4. Hasil Uji Normalitas Daya Efektif.....	Error! Bookmark not defined.
5. Hasil Uji Kruskal-Wallis Daya Efektif Pada Ketiga Jenis Busi.....	Error! Bookmark not defined.
6. Hasil Uji Normalitas Data Torsi.....	Error! Bookmark not defined.
7. Hasil Uji Homogenitas Data Torsi	Error! Bookmark not defined.
8. Hasil Uji ANOVA Data Torsi	Error! Bookmark not defined.
9. Hasil Uji Normalitas Data Tekanan Efektif Rata-Rata.....	Error! Bookmark not defined.
10. Hasil Uji Homogenitas Data Tekanan Efektif Rata-Rata.....	Error! Bookmark not defined.
11. Hasil Uji ANOVA Data Tekanan Efektif Rata-Rata.....	Error! Bookmark not defined.
12. Hasil Uji Normalitas Daya Indikasi.....	Error! Bookmark not defined.
13. Hasil Uji Kruskal-Wallis Daya Indikasi	Error! Bookmark not defined.
14. Hasil Uji Normalitas Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	Error! Bookmark not defined.
15. Hasil Uji Kruskal-Wallis Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	Error! Bookmark not defined.
16. Hasil Uji Normalitas <i>Air Fuel Ratio</i>	Error! Bookmark not defined.
17. Hasil Uji Homogenitas Data <i>Air Fuel Ratio</i>	Error! Bookmark not defined.
18. Hasil Uji ANOVA Data <i>Air Fuel Ratio</i>	Error! Bookmark not defined.
19. Hasil Uji Normalitas Data Emisi Gas CO.....	Error! Bookmark not defined.
20. Hasil Uji Homogenitas Data Emisi Gas CO.....	Error! Bookmark not defined.
21. Hasil Uji ANOVA Data Emisi Gas CO	Error! Bookmark not defined.
22. <i>Thermal Conductivity of Metals</i>	Error! Bookmark not defined.
23. Hasil Uji Normalitas Data Emisi Gas HC.....	Error! Bookmark not defined.
24. Hasil Uji Homogenitas Data Emisi Gas HC.....	Error! Bookmark not defined.
25. Hasil Uji Homogenitas Data Emisi Gas HC.....	Error! Bookmark not defined.
26. Hasil Uji Normalitas Data Emisi Gas CO ₂	Error! Bookmark not defined.
27. Hasil Uji Homogenitas Data Emisi Gas CO ₂	Error! Bookmark not defined.
28. Hasil Uji ANOVA Data Emisi Gas CO ₂	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

BP	<i>Brake Power</i>	kW
N	Putaran Poros	rpm
T	Tosi	Nm
MEP	Tekanan Efektif Rata-Rata	Kg/cm ²
L	Panjang Langkah	m
D	Diameter Silinder	m
A	Luas Piston	m ²
n	Jumlah putaran per siklus	-
k	Jumlah Silinder	-
t	Waktu Pemakaian Bahan Bakar	s
IP	Daya Indikasi	kW
FC	Konsumsi Bahan Bakar	kg/h
VGU	Volume Gelas Ukur	m ³
SFC	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik	Kg/kW.h
η_{mek}	Efisiensi Mekanis	%
η_{bth}	Efisiensi Termal Efektif	%
LHVbb	Nilai Kalor Bahan Bakar	kJ/kg
AFR	Rasio Campuran Udara-Bahan Bakar	-
η_{ith}	Efisiensi Termal Indikasi	%
s_p	Kecepatan Rata-Rata Piston	m/s
IE	Emisi Indeks	g/kg
SE	Emisi Spesifik	g/kWh

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1 Hasil Dynotest Sebanyak 3 Kali Pada Motor Yamaha Freego 125 CC Menggunakan Busi Standar (Nickel)	Error! Bookmark not defined.
2 Hasil Dynotest Sebanyak 3 Kali Pada Motor Yamaha Freego 125 CC Menggunakan Busi Tembaga (Copper)	Error! Bookmark not defined.
3 Hasil Dynotest Sebanyak 3 Kali Pada Motor Yamaha Freego 125 CC Menggunakan Busi Perak (Silver)	Error! Bookmark not defined.
4 Tabel Hasil Perhitungan Kinerja Mesin Motor Yamaha Freego 125 CC Dengan Menggunakan Busi Standar (Nikel)	Error! Bookmark not defined.
5 Tabel Hasil Perhitungan Kinerja Mesin Motor Yamaha Freego 125 CC Dengan Menggunakan Busi Tembaga	Error! Bookmark not defined.
6 Tabel Hasil Perhitungan Kinerja Mesin Motor Yamaha Freego 125 CC Dengan Menggunakan Busi Perak	Error! Bookmark not defined.
7 Tabel Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Kinerja Mesin Motor Yamaha Freego 125 CC Dengan Menggunakan Ketiga Jenis Busi	Error! Bookmark not defined.
8 Grafik Perbandingan Putaran Mesin Terhadap Daya Efektif, Torsi dan Tekanan Efektif Rata-Rata Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi	Error! Bookmark not defined.
9 Grafik Perbandingan Putaran Mesin Terhadap Daya Indikasi, Kecepatan Piston Rata-Rata, dan Efisiensi Mekanis Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi	Error! Bookmark not defined.
10 Grafik Perbandingan Putaran Mesin Terhadap Daya Indikasi, Kecepatan Piston Rata-Rata, dan Efisiensi Mekanis Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi	Error! Bookmark not defined.
11 Hasil Uji Statistik Normalitas, dan Uji Kruskal-Wallis dari Daya Efektif (BP) Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi	Error! Bookmark not defined.
12 Hasil Uji Statistik Normalitas, dan Uji Kruskal-Wallis dari Daya Indikasi (IP) Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi	Error! Bookmark not defined.
13 Hasil Uji Statistik Normalitas, Homogenitas, dan ANOVA dari Torsi (T) Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi	Error! Bookmark not defined.
14 Hasil Uji Statistik Normalitas, Homogenitas, dan ANOVA dari Tekanan Efektif Rata-Rata (MEP) Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi	Error! Bookmark not defined.
15 Hasil Uji Statistik Normalitas, Homogenitas, dan ANOVA dari Efisiensi Mekanis (η_{mek}) Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi	Error! Bookmark not defined.

- 16 Hasil Uji Statistik Normalitas, dan Uji Kruskal-Wallis dari Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi **Error! Bookmark not defined.**
- 17 Hasil Uji Statistik Normalitas, dan Uji Kruskal-Wallis dari Efisiensi Termal (η_{th}) Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi **Error! Bookmark not defined.**
- 18 Hasil Uji Statistik Normalitas, Homogenitas, dan ANOVA dari Rasio Udara-Bahan Bakar (AFR) Pada Variasi Material Elektroda Busi **Error! Bookmark not defined.**
- 19 Hasil Uji Statistik Normalitas, Homogenitas, dan ANOVA Lambda Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi..... **Error! Bookmark not defined.**
- 20 Hasil Uji Statistik Normalitas, Homogenitas, dan ANOVA dari Emisi Gas Hidrokarbon (HC) Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi **Error! Bookmark not defined.**
- 21 Hasil Uji Statistik Normalitas, Homogenitas, dan ANOVA dari Emisi Gas Karbon monoksida (CO) Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi **Error! Bookmark not defined.**
- 22 Hasil Uji Statistik Normalitas, Homogenitas, dan ANOVA dari Emisi Gas Karbon dioksida (CO₂) Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi **Error! Bookmark not defined.**
- 23 Hasil Uji Statistik Normalitas, Homogenitas, dan ANOVA dari Emisi Gas Oksigen (O₂) Pada Ketiga Variasi Material Elektroda Busi **Error! Bookmark not defined.**
- 24 Hasil Pengambilan Data Pengujian Emisi Gas Buang Material Elektroda Busi Standar (Nikel) **Error! Bookmark not defined.**
- 25 Hasil Pengambilan Data Pengujian Emisi Gas Buang Material Elektroda Busi Tembaga (*Copper*) **Error! Bookmark not defined.**
- 26 Hasil Pengambilan Data Pengujian Emisi Gas Buang Material Elektroda Busi Perak (*Silver*) **Error! Bookmark not defined.**
- 27 Grafik Perbandingan Putaran Mesin Terhadap Emisi Gas CO, HC, dan CO₂ **Error! Bookmark not defined.**
- 28 Grafik Perbandingan Putaran Mesin Terhadap Emisi Gas O₂, serta Grafik Perbandingan Putaran Mesin Terhadap AFR dan Lambda **Error! Bookmark not defined.**
- 29 Dokumentasi **Error! Bookmark not defined.**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini teknologi berkembang secara pesat, hal tersebut dapat terjadi dikarenakan manusia yang semakin inovatif dan kreatif. Pada bidang otomotif perkembangan teknologi juga berkembang secara pesat, terutama di bagian komponen pengapian motor. Untuk mendapatkan performa motor yang baik maka harus diimbangi dengan sistem pengapian yang baik juga, agar suplai listriknya cukup untuk melakukan kerja yang maksimal pada mesin (Rafsanjanu et al, 2023).

Di dunia otomotif untuk meningkatkan performa mesin bisa didapatkan dengan memaksimalkan pembakaran yang terjadi di ruang bakar. Hal ini bisa dilakukan dengan memaksimalkan kinerja dari sistem pengapian guna memperbesar percikan bunga api dari busi agar campuran bahan bakar dan udara bisa terbakar dengan sempurna (Budiyo & Mahfudin, 2018).

Busi merupakan komponen utama dari motor bakar yang berfungsi untuk memercikkan bunga api di dalam ruang bakar (Jamaluddin & Wakhidian V, 2019). Dalam proses pembakaran pada motor bakar, bahan bakar dan udara tercampur di dalam ruang bakar dan busi digunakan sebagai alat untuk memercikan api. Besar kecilnya percikan api dari busi sangat menentukan kualitas pengapian dan juga pembakaran yang dihasilkan sehingga pengapian dan pembakaran yang optimal dapat meningkatkan kinerja motor yang didukung pula oleh kualitas bahan dan komponen yang digunakan serta waktu pengapian yang tepat pada saat terjadinya proses pembakaran (Nurdianto & Ansori, 2015).

Sistem pengapian adalah salah satu sistem yang ada di dalam motor bensin yang menjamin agar motor dapat bekerja. Sistem pengapian ini berfungsi untuk menimbulkan bunga api dengan menggunakan *ignition coil* yang kemudian didistribusikan ke busi melalui kabel tegangan tinggi untuk membakar campuran bahan bakar yang sudah dikompresikan di dalam silinder (Nurdianto & Ansori, 2015).

Dari beberapa pengujian yang telah dilakukan pada setiap jenis busi memiliki karakteristik percikan dan warna bunga api yang berbeda, begitu juga dengan nilai Torsi, Daya, dan Konsumsi Bahan Bakar yang dihasilkan pun berbeda. Misalnya pada Tiga jenis busi Busi Standar, Busi Platinum, dan Busi Double iridium memiliki perbedaan pada elektroda nya. Busi platinum menggunakan elektroda berbahan platinum dan busi iridium menggunakan elektroda berbahan iridium (Fiandry, 2016).

Untuk meningkatkan kualitas busi, produsen telah menghadirkan berbagai jenis busi ke pasaran busi dengan berbagai bahan elektroda seperti yttrium, iridium, platinum, dan sebagainya. Tujuan utamanya agar penggunaan bahan logam mulia ini mencapai suhu pengoperasian yang cepat dan meningkat keandalan saat kondisi mesin dinyalakan/start dalam kondisi dingin, meningkatkan sistem pengapian, kelancaran pengoperasian mesin, dan mengurangi tingkat keausan elektroda. Meski begitu, berbagai jenis busi yang sudah tersedia di pasaran ini

pastinya telah dievaluasi dalam operasi mesin yang berbeda dari berbagai aspek seperti kinerja karakteristik, nilai emisi, penumpukan karbon, dan lain sebagainya (BAS et al, 2020).

Kendaraan bermotor yang digunakan untuk menunjang kehidupan manusia selama ini menimbulkan efek negatif terhadap kualitas udara yang berupa gas buang kendaraan bermotor mengandung zat-zat yang berbahaya antara lain, karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), Nitrogen oksida (NOx), sulfur dioksida (SOx), dan Partikulat (PM10) (Siswanto, 2012).

Emisi gas buang pada kendaraan bermotor (motor bensin) disebabkan oleh tidak sempurnanya proses pembakaran di dalam silinder sehingga dihasilkan gas dan partikel sisa pembakaran atau emisi gas buang yang mengandung unsur polutan yang berbahaya bagi Kesehatan. Kinerja mesin dalam sebuah motor bensin sangat dipengaruhi oleh keberlangsungan proses pembakaran. Proses pembakaran yang ideal akan mengoptimalkan kerja motor sehingga meningkatkan efisiensi pemakaian bahan bakar dan menyisakan sedikit emisi gas buang (Sriyanto, 2018).

Beberapa syarat yang harus dipenuhi supaya mesin dapat beroperasi dengan lancar, kuat dan ramah lingkungan adalah: jumlah campuran bahan bakar dan udara tepat, dan busi yang mampu menghasilkan percikan bunga api yang kuat (F.-M. Motorparts, 2018).

Percikan bunga api busi yang kuat dan akurat akan mampu membakar campuran bahan bakar secara sempurna dan tepat pada waktu yang diperlukan sehingga dihasilkan output tenaga mesin yang optimal dengan penggunaan bahan bakar yang efisien (hemat), dan dimungkinkan menyisakan emisi gas buang yang rendah (Sriyanto, 2018).

Berdasarkan penjelasan di atas, maka untuk mengetahui kinerja beserta emisi gas buang dari setiap variasi material busi yang beredar di pasaran, maka perlu dilakukan pengujian pada kendaraan bermotor roda dua, sehingga melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan evaluasi dan pemahaman yang bermanfaat bagi para khalayak umum dan pengguna kendaraan bermotor dalam pemilihan busi yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi operasional mesin. Maka dari itu, penulis akan menganalisis mengenai uji performa berbagai variasi material elektroda busi terhadap sepeda motor dengan judul **“ANALISA PENGARUH VARIASI MATERIAL ELEKTRODA BUSI TERHADAP KINERJA MESIN DAN EMISI GAS BUANG SEPEDA MOTOR YAMAHA FREEGO 125”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi material elektroda busi terhadap kinerja mesin motor Yamaha FreeGo 125?
2. Bagaimana pengaruh variasi material elektroda busi terhadap emisi gas buang motor Yamaha FreeGo 125?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

2.4.1 Tujuan

Adapun beberapa tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini, yaitu:

1. Menganalisis pengaruh variasi material elektroda busi terhadap kinerja mesin motor Yamaha FreeGo 125.
2. Menganalisis pengaruh variasi material elektroda busi terhadap emisi gas buang motor Yamaha FreeGo 125.

1.3.2 Manfaat

Dari hasil penelitian ini diharapkan diperoleh manfaat sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi jenis material elektroda busi terhadap kinerja mesin dan emisi gas buang sepeda motor Yamaha FreeGo 125.
2. Menjadi bahan literatur dan menjadi informasi untuk penelitian selanjutnya yang kemudian dapat dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.

1.4 Batasan Penelitian

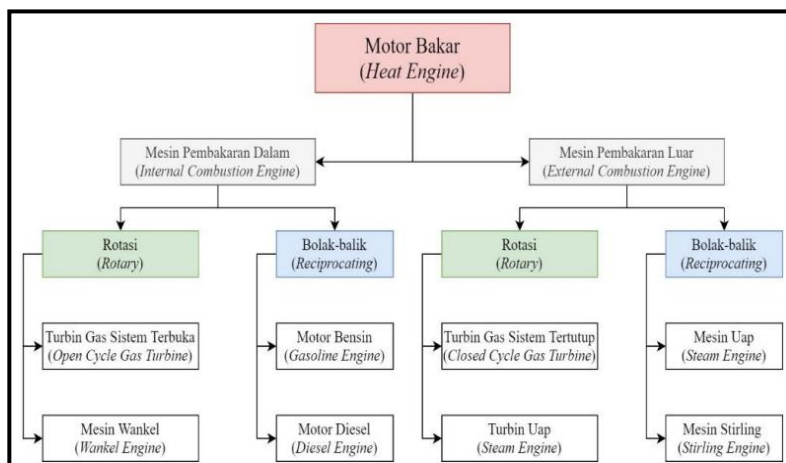
Agar penelitian ini lebih terarah, maka penulis memberikan beberapa batasan masalah antara lain:

1. Menggunakan mesin sepeda motor Yamaha FreeGo 125.
2. Menggunakan bahan bakar pertalite.
3. Menggunakan mesin dengan kondisi standar pabrik.
4. Menggunakan alat uji berupa *Dynamometer* dan *Automotive Gas Analyzer*.
5. Variasi material elektroda busi yang digunakan yaitu: Standar (Nikel), Tembaga (*Copper*), dan Perak (*Silver*).
6. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali, kemudian hasil pengujian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai yang valid.
7. Pengolahan data terhadap hasil pengujian *dyno test* dilakukan pada putaran 2000 rpm, 3000 rpm, 4000 rpm, dan 5000 rpm.
8. Hasil pengujian emisi gas buang dilakukan pengolahan data pada putaran 2000 rpm, 3000 rpm, 4000 rpm, dan 5000 rpm.

1.5 Landasan Teori

1.5.1 Motor Bakar

Motor bakar atau *combustion engine* (kadang disebut juga *heat engine*) merupakan salah satu mesin konversi energi yang paling banyak digunakan. Motor bakar sebagai mesin konversi energi merubah energi kimia yang dikandung oleh bahan bakar menjadi energi panas dan gerak melalui proses pembakaran (*combustion*). Sebagai teknologi yang paling berkembang, terdapat banyak versi dari motor bakar sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Hartantrie, 2022).



Gambar 1. Klasifikasi Motor Bakar
(Sumber: Hartantrie, 2022)

Mesin yang merubah energi panas menjadi energi mekanik disebut motor bakar (*thermal engine*). Menurut cara memperoleh panasnya, motor bakar dapat dibagi menjadi 2 yaitu motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) dan motor pembakaran luar (*external combustion engine*). Internal combustion engine adalah suatu mesin yang untuk memperoleh panas, proses pembakaran bahan bakar berlangsung didalam mesin itu sendiri, contohnya mesin bensin, mesin diesel, mesin turbin dll (Rabiman, 2017).

Motor pembakaran dalam yaitu motor yang proses pembakaran bahan bakar terjadi di dalam motor, sehingga panas dari hasil pembakaran langsung diubah menjadi tenaga mekanik. Misalnya: turbin gas, motor bakar torak dan mesin propulsi pancar gas (Bugis, 2013).

1.5.2 Motor Bensin

Motor bensin (*Spark Ignition Engine*) adalah suatu tipe mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) yang dapat mengubah energi panas dari bahan bakar menjadi energi mekanik berupa daya poros pada putaran poros engkol. Energi panas diperoleh dari pembakaran bahan bakar dengan udara yang terjadi pada ruang bakar (*Combustion Chamber*) dengan bantuan bunga api yang berasal dari percikan busi untuk menghasilkan gas pembakaran. Berdasarkan siklus kerjanya motor bensin dibedakan menjadi dua jenis yaitu motor bensin dua langkah dan motor bensin empat langkah. Motor bensin dua langkah adalah motor bensin yang memerlukan dua kali langkah torak, satu kali putaran poros engkol untuk menghasilkan satu kali daya (usaha). Sedangkan motor bensin empat langkah adalah motor bensin yang memerlukan empat kali langkah torak, dua kali putaran poros engkol untuk menghasilkan satu kali daya (usaha) (Wiratmaja, 2010).

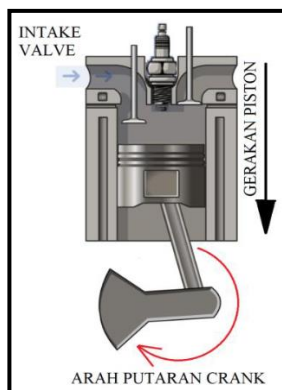
1.5.3 Prinsip Kerja Motor Bensin

Pada motor bensin, bensin dibakar untuk memperoleh energi termal. Energi ini selanjutnya digunakan untuk melakukan gerakan mekanik. Prinsip kerja motor bensin, secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut: campuran udara dan bensin dari karburator diisap masuk ke dalam silinder, dimampatkan oleh gerak naik torak, dibakar untuk memperoleh tenaga panas, dan dengan terbakarnya gas-gas akan mempertinggi suhu dan tekanan dalam silinder motor. Bila torak bergerak turun naik di dalam silinder dan menerima tekanan tinggi akibat pembakaran, memungkinkan torak terdorong ke bawah. Bila batang torak dan poros engkol dilengkapi untuk merubah gerakan turun naik menjadi gerakan putar, torak akan menggerakkan batang torak dan akan memutar poros engkol. Torak juga diperlukan untuk membuang gas-gas sisa pembakaran dan penyediaan campuran udara bensin pada saat yang tepat untuk menjaga agar torak dapat bergerak secara periodik dan melakukan kerja tetap (Bugis, 2013).

Adapun urutan proses kerja Motor Bensin 4 tak secara spesifik dijelaskan sebagai berikut:

1. Langkah Hisap

Langkah isap terjadi ketika torak bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB) akan menghasilkan tekanan yang sangat rendah di dalam ruang silinder sehingga campuran bahan bakar udara akan masuk mengisi silinder melalui katup masuk yang terbuka saat langkah isap sampai torak meninggalkan titik mati bawah, sementara katup buang dalam keadaan tertutup (Wiratmaja, 2010).

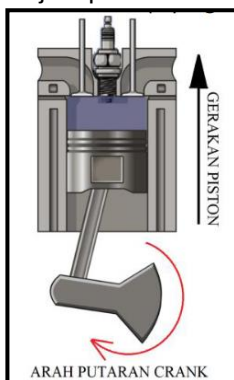


Gambar 2. Gerakan piston, crank dan katup pada langkah hisap
(Sumber: Hartantrie, 2022)

2. Langkah Kompresi

Pada proses ini, piston naik dari TMB (Titik Mati Bawah) ke TMA (Titik Mati Atas), menyebabkan kenaikan tekanan dan temperatur di dalam ruang bakar karena kedua katup tertutup. Proses kompresi menyebabkan kenaikan tekanan, temperatur dan volume pada nilai entropi yang tetap (isentropik) (Hartantrie, 2022).

Sewaktu torak mendekat pada TMA, ditimbulkan percikan api Listrik yang dihasilkan oleh busi. Percikan api Listrik ini membakar campuran udara dan bahan bakar sehingga mulai terjadi pembakaran (Arifuddin, 1999).

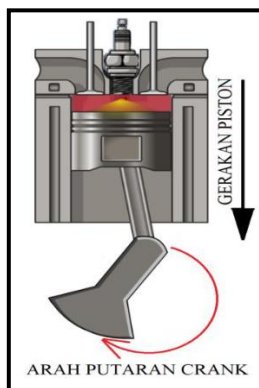


Gambar 3. Gerakan piston, *crank* dan katup pada langkah kompresi
(Sumber: Hartantrie, 2022)

3. Langkah Kerja (Ekspansi)

Campuran udara dan bahan bakar yang terbakar berturutan menimbulkan tekanan yang lama kelamaan menjadi maksimum. Tekanan maksimum ini menekan torak bergerak ke bawah. (Arifuddin, 1999).

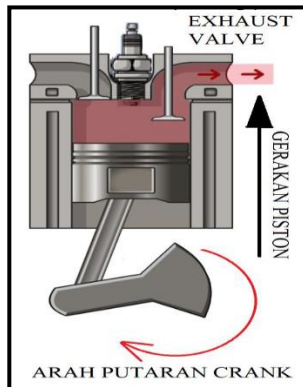
Selama gerak ini katup hisap dan katup buang masih tertutup Torak telah melakukan tiga langkah dan poros engkol berputar satu setengah putaran. (Bugis, 2013).



Gambar 4. Gerakan piston, *crank* dan katup pada langkah usaha
(Sumber: Hartantrie, 2022)

4. Langkah Buang

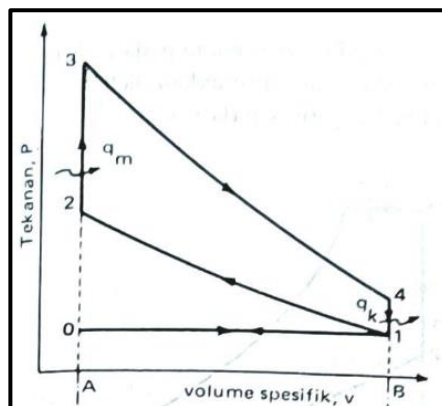
Langkah terakhir adalah langkah pembuangan, terjadi ketika torak bergerak dari titik mati bawah menuju titik mati atas menekan gas sisa hasil pembakaran keluar melalui katup buang yang berada dalam posisi terbuka dan katup masuk dalam keadaan masih tertutup. Katup buang akan tertutup dan katup masuk akan terbuka ketika torak bergerak kembali melakukan langkah isap berikutnya (Wiratmaja, 2010).



Gambar 5. Gerakan piston, *crank* dan katup pada langkah buang
(Sumber: Hartantrie, 2022)

1.5.4 Siklus Udara

Siklus udara volume-konstan (siklus Otto). Siklus ini dapat digambarkan dengan grafik P vs V seperti terlihat pada gambar di bawah (Arismunandar, 2005):



Gambar 6. Diagram P vs v dari siklus volume konstan
Sumber: (Arismunandar, 2005)

Berikut adalah keterangan dari diagram di atas:

- P = tekanan fluida kerja, kg/cm^3
- v = volume spesifik, m^3/kg
- q_m = jumlah kalor yang dimasukkan, kcal/kg
- q_k = jumlah kalor yang dikeluarkan, kcal/kg

Sifat ideal yang dipergunakan serta keterangan mengenai proses siklusnya adalah sebagai berikut

1. Fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik yang konstan;
2. Langkah isap (0-1) merupakan proses tekanan-konstan;
3. Langkah kompresi (1-2) ialah proses isentropik;
4. Proses pembakaran volume-konstan (2-3) dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada volume-konstan;
5. Langkah kerja (3-4) ialah proses isentropik;

6. Proses pembuangan (4-1) dianggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume-konstan;
7. Langkah buang (1-0) ialah proses tekanan-konstan;
8. Siklus dianggap 'tertutup', artinya siklus ini berlangsung dengan fluida kerja yang sama; atau, gas yang berada di dalam silinder pada titik 1 dapat dikeluarkan dari dalam silinder pada waktu Langkah buang, tetapi pada Langkah isap berikutnya akan masuk sejumlah fluida kerja yang sama (Arismunandar, 2005).

1.5.5 Pembakaran Bahan Bakar

Pembakaran dapat didefinisikan sebagai kombinasi secara kimiawi yang berlangsung secara cepat antara oksigen dan unsur yang mudah terbakar dari bahan bakar pada suhu dan tekanan tertentu (Yeliana et al, 2004). Pembakaran pada motor bensin diawali oleh percikan bunga api listrik dari busi yang terjadi pada saat beberapa derajat poros engkol sebelum torak mencapai titik mati atas, membakar campuran bahan bakar udara yang telah dikompresikan oleh gerakan torak dari titik mati bawah menuju titik mati atas. Secara umum hanya terdapat tiga unsur yang penting di dalam bahan bakar, yaitu Karbon, Hidrogen, dan Sulfur (Belerang). Dalam proses pembakaran, energi kimia diubah menjadi energi dalam bentuk panas dimana pada setiap pembakaran selalu dihasilkan gas sisa hasil dari proses pembakaran yang dinamakan gas buang yang meliputi beberapa komponen-komponen gas buang antara lain CO_2 , NO_2 , H_2O , SO_2 dan CO (Wiratmaja, 2010).

Secara umum proses pembakaran pada motor bensin dapat dibedakan menjadi 2 bagian yaitu :

a. Pembakaran Sempurna (Normal)

Pembakaran sempurna adalah pembakaran dimana semua unsur yang dapat terbakar di dalam bahan bakar membentuk gas CO_2 , dan H_2O , sehingga tak ada lagi bahan bakar yang tersisa. Mekanisme pembakaran sempurna dalam motor bensin dimulai pada saat terjadi loncatan bunga api listrik dari busi. Selanjutnya api membakar campuran bahan bakar udara yang berada di sekelilingnya dan terus menjalar ke seluruh bagian sampai semua campuran bahan bakar - udara habis terbakar.

b. Pembakaran Tidak Sempurna

Pembakaran yang tidak sempurna akan menimbulkan suatu gejala yang dinamakan dengan detonasi. Hal ini terjadi karena disebabkan pada proses pembakaran yang tidak serentak pada saat langkah kompresi belum berakhir (busi belum memercikkan bunga api) ditandai dengan adanya pengapian sendiri yang muncul mendadak pada bagian akhir dari campuran. Campuran yang telah terbakar akan menekan campuran bahan bakar yang belum terbakar. Akibatnya, campuran bahan bakar yang belum terbakar tersebut temperaturnya meningkat sehingga melewati temperatur untuk menyala sendiri (Wiratmaja, 2010).

1.5.6 Sistem Pengapian

Sistem pengapian pada motor bensin berfungsi mengatur proses pembakaran campuran bensin dan udara di dalam silinder sesuai waktu yang sudah ditentukan yaitu pada akhir langkah kompresi. Permulaan diperlukan karena, pada motor bensin pembakaran tidak bisa terjadi dengan sendirinya. Pembakaran campuran bensin-udara yang dikompresikan terjadi di dalam silinder setelah busi memercikkan bunga api, sehingga diperoleh tenaga akibat pemuaian gas (ekspansi) hasil pembakaran, mendorong piston ke TMB menjadi langkah usaha. Agar busi dapat memercikkan bunga api, maka diperlukan suatu sistem yang bekerja secara akurat. Sistem pengapian terdiri dari berbagai komponen, yang bekerja bersama-sama dalam waktu yang sangat cepat dan singkat. Agar sistem pengapian bisa berfungsi secara optimal, maka sistem pengapian harus memiliki kriteria seperti di bawah ini:

1. Percikan Bunga Api Harus Kuat

Terjadinya percikan bunga api yang kuat antara lain dipengaruhi oleh pembentukan tegangan induksi yang dihasilkan oleh sistem pengapian. Semakin tinggi tegangan yang dihasilkan, maka bunga api yang dihasilkan bisa semakin kuat (Jama & Wagino, 2008).

2. Saat Pengapian Harus Tepat

Saat pengapian dari campuran bensin dan udara adalah saat terjadinya percikan bunga api busi beberapa derajat sebelum Titik Mati Atas (TMA) pada akhir langkah kompresi. Saat terjadinya percikan waktunya harus ditentukan dengan tepat supaya dapat membakar dengan sempurna campuran bensin dan udara agar dicapai energi maksimum. Dalam sepeda motor biasanya disebut dengan unit pengatur saat pengapian otomatis atau ATU (*Automatic Timing Unit*). ATU akan mengatur pemajuan saat pengapian. Pada sepeda motor dengan sistem pengapian konvensional (menggunakan platina) ATU diatur secara mekanik sedangkan pada sistem pengapian elektronik ATU diatur secara elektronik (Jama & Wagino, 2008).

3. Sistem Pengapian Harus Kuat dan Tahan

Sistem pengapian harus kuat dan tahan terhadap perubahan yang terjadi setiap saat pada ruang mesin atau perubahan kondisi operasional kendaraan; harus tahan terhadap getaran, panas, atau tahan terhadap tegangan tinggi yang dibangkitkan oleh sistem pengapian itu sendiri. Komponen-komponen sistem pengapian seperti koil pengapian, kondensor, kabel busi (kabel tegangan tinggi) dan busi harus dibuat sedemikian rupa sehingga tahan pada berbagai kondisi (Jama & Wagino, 2008).

1.5.7 Tipe Sistem Pengapian

Secara umum tipe sistem pengapian pada sepeda motor dibagi menjadi:

1. Sistem Pengapian Konvensional (menggunakan *contact breaker*/platina)
 - a. Sistem Pengapian Dengan Baterai (*Battery And Coil Ignition System*)
 - b. Sistem Pengapian Dengan Magnet (*Flywheel Generator/ Magneto Ignition System*)

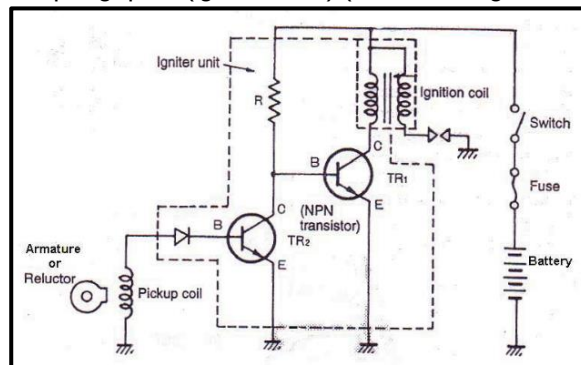
2. Sistem Pengapian Electronic (*Electronic Ignition System*)

- a. Sistem Pengapian Semi-Transistor (Dengan Platina)
- b. Sistem Pengapian Full Transistor (Tanpa Platina)
- c. Sistem Pengapian CDI (*Capacitor Discharge Ignition*) (Jama & Wagino, 2008).

Berdasarkan dari website resmi Yamaha, system pengapian yang digunakan pada sepeda motor Yamaha FreeGo 125 yaitu TCI (*Transistorized Controlled Ignition*).

Dalam banyak hal, sistem pengapian elektronik *full transistor* sama dengan pengapian elektronik CDI. Diantaranya adalah tidak terdapatnya bagian-bagian yang bergerak (secara mekanik) dan mengandalkan *magnetic trigger* (magnet pemicu) dan sistem "*pickup coil*" untuk memberikan sinyal ke *control unit* guna menghasilkan percikan bunga api pada busi. Sedangkan salah satu perbedaannya adalah pada sistem pengapian transistor menggunakan prinsip "*field collapse*" (menghilangkan/menjatuhkan kemagnetan) dan pada sistem pengapian CDI menggunakan prinsip "*field build-up*" (membangkitkan kemagnetan). Pengapian CDI telah menjadi metode untuk mengontrol pengapian yang disenangi dalam beberapa tahun belakangan ini. Namun, seiring dengan perkembangan transistor yang bergandengan dengan berkembangnya pengontrolan dari tipe analog ke tipe digital, perusahaan/pabrik mulai mengembangkan sistem pengapian transistor (Jama & Wagino, 2008).

Secara umum, pada sistem pengapian transistor bekerja dengan cara arus yang mengalir dari baterai dihubungkan dan diputuskan oleh sebuah transistor yang sinyalnya berasal dari *pick up coil* (koil pemberi sinyal). Akibatnya tegangan tinggi terinduksi dalam koil pengapian (*ignition coil*) (Jama & Wagino, 2008).



Gambar 7. Sistem Pengapian *Full Transistor*
(Sumber: Jama & Wagino, 2008)

1.5.8 Busi

Busi merupakan komponen utama dari motor bakar yang berfungsi untuk memercikkan bunga api di dalam ruang bakar. Salah satu cara untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna adalah dengan cara meningkatkan intensitas penyalaan bunga api pada busi. Dalam hal ini performa busi yang tidak bagus

menjadi kendala yang sangat penting terhadap kinerja motor (Jamaluddin & Wakhidian, 2019).

Pada sistem pengapian, busi memegang peranan yang penting karena kualitas pembakaran di dalam silinder tergantung dari kualitas bunga api yang dikeluarkannya. Untuk itu busi harus mempunyai syarat sebagai berikut:

1. Harus dapat merubah tegangan tinggi menjadi loncatan bunga api pada elektrodanya.
2. Harus tahan terhadap suhu pembakaran gas yang tinggi sehingga busi tidak terbakar elektrodanya
3. Harus tidak terjadi deposit karbon atau busi harus tetap bersih (Sriyanto, 2018).

Busi menghasilkan pijaran api diantara elektrodanya untuk membakar campuran udara dan bahan bakar pada saat busi menerima tegangan tinggi dari *Coil* pengapian. Saat campuran udara-bahan bakar meledak, temperatur naik sekitar 2500 °C dan tekanan menjadi 50 kg/cm² di ruang bakar (Jama dan Wagino, 2008).

Menurut Jama dan Wagino (2008) elektroda busi harus dipertahankan pada suhu kerja yang tepat, yaitu antara 400 °C sampai 800 °C. Bila suhu elektrodanya kurang dari 400 °C, maka tidak akan cukup untuk membakar endapan karbon yang dihasilkan oleh pembakaran sehingga karbon tersebut akan melekat pada permukaan insulator, sehingga akan menurunkan tahanan dengan rumah-nya. Akibatnya, tegangan tinggi yang diberikan ke elektroda tengah akan menuju ke massa tanpa meloncat dalam bentuk bunga api pada celah elektroda, sehingga mengakibatkan terjadinya kesalahan pembakaran (*misfiring*). Bila suhu elektroda tengah melebihi 800 °C, maka akan terjadi peningkatan kotoran oksida dan terbakarnya elektroda tersebut. Pada suhu 950 °C elektroda busi akan menjadi sumber panas yang dapat membakar campuran bahan bakar tanpa adanya bunga api, hal ini disebut dengan istilah *pre-ignition* yaitu campuran bahan bakar dan udara akan terbakar lebih awal karena panas elektroda tersebut sebelum busi bekerja memercikkan bunga api (busi terlalu panas sehingga dapat membakar campuran dengan sendirinya).

Menurut tingkat kemampuan melepas panasnya jenis busi dibagi menjadi dua yaitu busi dingin dan busi panas.

a. Busi Dingin

Busi dingin adalah busi yang memiliki kemampuan menyerap serta melepas panas dan sistem pendinginan lebih cepat dari pada sistem busi standarnya. Busi dingin ini akan bekerja pada temperatur ruang yang lebih rendah, namun apabila temperatur ruang bakar terlalu rendah hingga dibawah 400 °C, maka akan terjadi proses *carbon fouling* dimana bahan bakar tidak mampu terbakar habis sehingga bahan bakar yang tidak terbakar habis tersebut akan menumpuk pada busi.

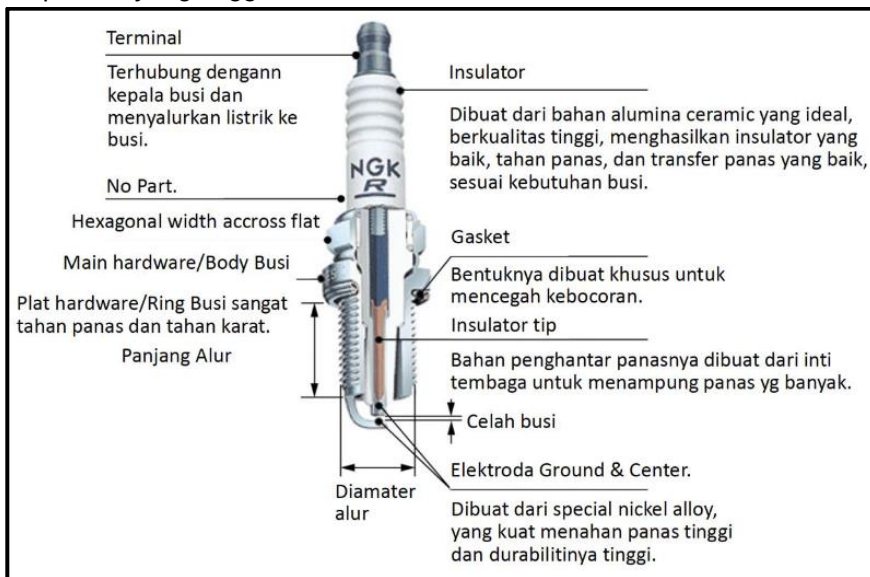
b. Busi Panas

Busi panas adalah busi yang memiliki kemampuan menyerap serta melepas panas dan sistem pendinginan lebih lambat. Busi panas ini akan bekerja pada

temperatur ruang bakar yang tinggi, namun apabila temperatur ruang bakar mencapai atau melebihi 800 °C, maka akan terjadi proses *pre-ignition*, dimana bahan bakar akan menyala dengan sendirinya sebelum busi memercikkan bunga api. Busi panas biasanya dipakai pada kendaraan harian (Budiyono & Mahfudin, 2018).

1.5.9 Struktur Busi

Struktur busi didesain untuk dapat menahan berbagai kondisi, seperti tekanan dan temperatur yang tinggi. Berikut adalah struktur dari sebuah busi:



Gambar 8. Struktur Busi dan Fungsinya
(Sumber: Jama & Wagino, 2008)

a. Insulator Keramik

Insulator keramik berfungsi untuk memegang elektroda tengah dan berguna sebagai insulator antara elektroda tengah dan *casing*. Gelombang yang dibuat pada permukaan insulator keramik berguna untuk memperpanjang jarak permukaan antara terminal dan *casing* untuk mencegah terjadinya loncatan bunga api tegangan tinggi.

b. Casing

Casing berfungsi untuk menyangga insulator keramik dan juga sebagai mounting atauudukan busi terhadap mesin.

c. Elektroda Massa

Elektroda massa dibuat sama dengan elektroda tengah alur U (*U-groove*), V (*V-groove*) dan bentuk khusus dari elektroda yang lain dibuat dengan tujuan agar memudahkan loncatan api agar menaikkan kemampuan pengapian.

d. Elektroda Tengah

Elektroda tengah pada konstruksi busi dari komponen-komponen sebagai berikut:

1. Sumbu pusat (*center shaft*) yang berfungsi mengalirkan arus dan meradiasikan panas yang dibutuhkan oleh elektroda.
2. Kaca (*Seal Glass*) yang berfungsi membuat kerapatan (merapatkan) untuk menghindari kebocoran udara, antara *center shaft* dan insulator keramik serta mengikat antara *center shaft* dan elektroda tengah.
3. Inti tembaga (*Copper Core*) yang berfungsi merapatkan panas dari elektroda dan ujung insulator agar cepat radiasi/dingin.
4. Elektroda tengah yang berfungsi membangkitkan loncatan bunga api ke massa (Iksan, 2012).

1.5.10 Dinamometer

Dinamometer adalah suatu mesin yang digunakan untuk mengukur torsi (*torque*) dan daya (*power*) yang diproduksi oleh suatu mesin motor atau penggerak berputar lain. Prinsip kerja dari dinamometer adalah mesin uji dikopel pada poros dinamometer. Pada poros tersebut terpasang rotor sehingga mesin uji akan memutar rotor. Pada saat rotor berputar maka *housing generator* (stator) akan mengalami gerakan akibat adanya putaran dari mesin. Generator akan diberi tuas (lengan torsi) sebagai penahan agar *housing* dinamometer tidak ikut berputar. Ujung lengan torsi dihubungkan pada neraca pegas yang mengait pada rangka bawah. Ketika dinamometer beroperasi maka akan menarik neraca pegas dan terukur skala pembebanan. Selanjutnya nilai dari skala pembebanan tersebut digunakan untuk menghitung torsi dynamometer (Bramantyo et al, 2016).

Berdasarkan Sistem yang bekerja pada dinamometer dapat dibedakan menjadi:

a. Sistem Pengereman

Sebuah dinamometer dengan sistem ini memberikan beban yang bervariasi pada penggerak utama sebuah mesin, dan mengukur tahanan dari penggerak tersebut dengan mengaplikasikan gaya pengereman. Alat ukur yang biasanya digunakan adalah alat untuk mengukur beban seperti *load cell* atau *strain gauge* dan alat untuk mengukur putaran.

b. Sistem Inertia

Sebuah dinamometer inersia menggunakan massa inersia untuk mengukur daya yang digunakan untuk menggerakkan suatu beban tetap, dan sistem pengukuran akan mendapatkan data-data berupa kecepatan dan putaran yang digunakan untuk menghitung nilai torsi. Mesin biasanya diukur pada kecepatan putar sedikit di atas kondisi *idle* hingga maksimum, dan hasilnya berupa plot grafik.

c. Sistem Motor

Sistem ini mirip dengan sistem pengereman, perbedaannya adalah pada sistem ini dapat ditambahkan penggerak tambahan pada penggerak utama mesin. Contoh aplikasinya adalah untuk mengukur daya kendaraan saat simulasi jalan turunan.

Pada dasarnya pengujian dinamometer dapat dibagi menjadi 3 buah pengujian, yaitu:

a. Pengujian Steadi

Prosedurnya adalah putaran mesin ditahan pada kecepatan putar konstan yang diinginkan dalam waktu tertentu dan dengan beban yang bervariasi. Hanya dapat dilakukan pada dinamometer sistem *brake*. Salah satu metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan kondisi WOT (*Wide Open Throttle*).

b. Sweep Test

Mesin diuji dengan beban konstan, kemudian putaran mesin dinaikkan hingga putaran yang diinginkan. Dinamometer sistem *brake* dan inersia dapat menggunakan pengujian ini. Salah satu metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan kondisi WOT (*Wide Open Throttle*).

c. Pengujian Transien

Pengujian ini biasanya digunakan pada dinamometer dengan sistem motor. Pengujian menggunakan kecepatanyang berbeda-beda sesuai dengan siklus ujinya. Contoh siklus untuk pengujian mesin adalah ETC, HDDTC, HDGTC, WHTC, WHSC, dan ED12.

1.5.11 Jenis-Jenis Busi

a. Busi Standar

Busi standar terbuat dari *special nickel alloy* pada bagian tengah dan elektroda groundnya. Karena hal ini, busi ini menghasilkan daya menahan panas dan ketahanan yang tinggi. Elektroda tengahnya terbuat dari tembaga agar perpindahan panasnya yang lebih baik (Saputra, 2019).

Bahan nikel memiliki konduktivitas elektrik sebesar 14 Ms/m, namun untuk nikel memiliki keunggulan titik leleh yang lebih tinggi dibandingkan tembaga yaitu sebesar 1454 °C (Fasha, 2019).

Konduktivitas elektrik merujuk pada kemampuan material untuk mengalirkan arus listrik secara efisien. Dalam konteks busi, konduktivitas elektrik terhadap busi mempengaruhi kinerja dan kualitas busi, serta mempengaruhi kinerja mesin kendaraan. Elektroda busi terbuat dari material seperti nikel dan tembaga dan lebih lanjut yaitu *Silver* memiliki konduktivitas listrik yang tinggi (Kosasih, 2018).

b. Busi Tembaga

Pada awalnya material tembaga atau *Copper* digunakan untuk kabel-kabel. Namun yang marak digunakan untuk penghantar listrik dalam busi adalah nikel. Sedangkan tembaga atau *Copper* memang memiliki harga yang mahal dibanding nikel namun memiliki penghantar listrik dan Pelepas panas yang lebih baik daripada nikel. Tembaga atau *Copper* memiliki nilai hambat Listrik yang kecil. Hal itu membuat Listrik yang berasal dari koil kecil pun masih bisa dialiri oleh busi yang berbahan tembaga. Sehingga jika suplai dari koil listrik kecil ataupun besar akan tetap bisa memantik ruang bakar. Hasilnya pembakaran jadi lebih efisien (Isal, 2019).

Tembaga memiliki konduktivitas elektrik yang sangat tinggi. Konduktivitas elektrik adalah ukuran kemampuan bahan menghantarkan arus listrik.

Tembaga memiliki konduktivitas elektrik sebesar 59 Ms/m. Semakin tinggi angka ini akan semakin bagus dan semakin cepat arus listrik dihantarkan (Fasha, 2019).

Beberapa pengaruh konduktivitas elektrik terhadap busi sebagai berikut:

1. Material dengan konduktivitas listrik yang tinggi membantu meningkatkan kinerja busi, seperti percikan api yang kuat dan konsisten
2. Konduktivitas listrik yang tinggi membantu mengurangi pembentukan Endapan karbon pada elektroda yang dapat mengurangi loncatan api dan tenaga mesin menjadi rendah, sehingga konduktivitas listrik yang tinggi membantu mengurangi terjadinya *pre-ignition* atau pembakaran awal (Kosasih, 2018).

c. Busi *Silver*

Elektroda inti berbahan *Silver*, mampu meningkatkan performa, efisiensi bahan bakar, pembakaran lebih sempurna, cocok digunakan untuk harian, touring maupun balap dan interval pemakaian kurang lebih 35.000 kilometer (Prabowo, 2019).

Bahan perak memiliki ukuran konduktivitas elektrik sebesar 62 Ms/m sehingga menjadi material elektroda yang terbaik dibandingkan dengan tembaga, namun bahan perak terkendala harga yang cukup mahal (Fasha, 2019).

1.5.12 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang merupakan sisa hasil pembakaran di dalam motor bakar yang dikeluarkan ke udara bebas melalui pipa pembuangan agar tidak mengganggu terjadinya proses pembakaran selanjutnya. Komponen emisi gas buang ada yang berbahaya dan tidak berbahaya bagi lingkungan. Komponen yang tidak berbahaya berupa nitrogen, oksigen, dan karbon dioksida. Sedangkan komponen yang berbahaya adalah karbon monoksida, berbagai senyawa hidrokarbon, senyawa NO_x , dan SO_x . Umumnya proses pembakaran menghasilkan gas sisa dan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, oleh karena itu perlu dilakukan pengujian komponen emisi berbahaya untuk melihat kualitas bahan bakar tersebut. Uji emisi gas buang yang diamati antara lain karbon monoksida (CO), nitrogen monoksida (NO), sulfur oksida (SO), dan total partikulat (Lawang, 2019).

a. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) merupakan komponen gas yang tidak memiliki warna, bau, dan rasa. CO terbentuk akibat pembakaran yang tidak sempurna terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon, reaksi antara karbon dioksida (CO_2) dengan komponen yang mengandung karbon, dan hasil penguraian (CO_2) menjadi CO dan O_2 pada suhu tinggi.

b. Nitrogen Monoksida (NO)

Nitrogenoksida (NO_x) merupakan golongan gas yang terdapat di atmosfer yang pada umumnya berbentuk nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2) dalam jumlah kecil. NO merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak

berbau. Sebaliknya NO_2 berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam (Wardhana. 2004). Pembentukan NO_x dipengaruhi oleh jumlah oksigen berlebih, suhu, dan waktu atau lama gas hasil pembakaran berada pada suhu tersebut. Semakin tinggi suhu pembakaran, semakin tinggi konsentrasi NO_x yang dihasilkan.

c. Sulfur Oksida (SO)

Gas buang sulfur oksida utamanya disebabkan karena pembakaran bahan bakaryang mengandung sulfur dan akan menghasilkan dua bentuk sulfur oksida yaitu sulfur dioksida (SO_2) dan sulfur trioksida (SO_3) (Sugiarti, 2009). Jumlah relatif keduanya tidak bergantung pada jumlah oksigen yang tersedia. SO_2 akan selalu terbentuk meskipun udara tersedia cukup sedangkan jumlah SO_3 yang terbentuk dipengaruhi suhu reaksi menjelaskan bahwa sulfur oksida merupakan gas jernih yang tak berwarna, gas ini menyengat dan amat membahayakan manusia.

d. Total Partikulat

Partikulat pada gas buang mesin diesel berasal dari partikel susunan bahan bakar yang masih berisikan kotoran kasar (abu dandebu) dikarenakan proses pembakaran bahan bakar yang kurang baik. Sehingga pada saat terjadi pembakaran, kotoran tersebut akan terurai dari susunan partikel yang lain dan tidak terbakar (Lawang, 2019).

1.5.13 Parameter Perhitungan Prestasi Mesin

1.5.13.1 Analisis Tekanan Efektif Rata-Rata (MEP)

Mean Effective Pressure atau Tekanan Efektif Rata-rata adalah tekanan rata-rata di dalam silinder pembakaran mesin yang dihitung berdasarkan daya keluaran (Ganesan, 2012). Untuk menghitung nilai tekanan efektif rata-rata maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{MEP} = \frac{1000 \cdot \text{BP} \cdot n}{V_d \cdot \frac{N}{60}} \cdot 0,0101972$$

dan

$$V_d = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L$$

Keterangan:

MEP	= tekanan efektif rata-Rata	(kg/cm^2)
10000	= faktor konversi kilowatt menjadi watt	
BP	= <i>Brake Power</i>	(kW)
n	= jumlah putaran per-siklus, 2 untuk mesin 4-tak	
V_d	= <i>Volume Displacement</i>	(L)
N	= Putaran motor	(RPM)
60	= faktor konversi dari menit ke detik pada N	
0,0101972	= faktor konversi dari kPa menjadi kg/cm^2	
D	= diameter silinder (m)	
L	= panjang langkah silinder (m)	

1.5.13.2 Daya Indikasi (IP)

Menurut Rajput (2016), daya Indikasi adalah daya total yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar dalam ruang pembakaran. Daya indikasi berbeda daripada *brake power*, daya indikasi merupakan daya motor secara teoritis, yang belum dipengaruhi oleh kerugian gesekan mekanik yang terjadi di dalam mesin (Hidayat & Sadiana, 2017). Untuk menghitung besarnya nilai daya indikasi, maka digunakan rumus berikut:

$$IP = \frac{a (A \cdot MEP \cdot L \cdot N \cdot z)}{100 \cdot 75 \cdot 60}$$

dan

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

Keterangan:

- a = banyaknya pembakaran tiap putaran, 1/2 untuk motor empat langkah tunggal.
- A = luas penampang piston (cm²)
- π = 3,14
- D = diameter silinder (cm)
- MEP = tekanan efektif rata-Rata (kg/cm²)
- L = panjang langkah piston (cm)
- N = putaran motor per menit (rpm)
- z = jumlah silinder

1.5.13.3 Konsumsi Bahan Bakar (FC)

Menurut Collins (2023), *Fuel Consumpition* adalah laju penggunaan bahan bakar oleh suatu mesin, dinyatakan dalam satuan seperti kg/h. Untuk menghitung nilai konsumsi bahan bakar, maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$FC = \frac{VGU \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{bb}}{t} 3600$$

Keterangan:

- FC = konsumsi bahan bakar (kg/h)
- VGU = volume bahan bakar (ml)
- 10⁻³ = faktor konversi dari ml ke liter
- ρ_{bb} = massa jenis bahan bakar Pertalite 0,770 kg/liter (Dirjen Migas, 2017)
- v_{bb} = volume bahan bakar (ml)
- t = waktu pemakaian bahan bakar (s)
- 3600 = faktor konversi dari detik ke jam

1.5.13.4 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Salah satu parameter dalam pengujian performa mesin adalah konsumsi bahan bakar spesifik, konsumsi bahan bakar spesifik merupakan banyaknya bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan daya dalam satuan waktu (Suanggana et al, 2023). Untuk menghitung nilai dari SFC, maka dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$sfc = \frac{FC}{BP}$$

Keterangan:

SFC	= konsumsi bahan bakar spesifik	(kg/kW.h)
FC	= konsumsi bahan bakar	(kg/h)
BP	= <i>brake power</i>	(kW)

1.5.13.5 Efisiensi Mekanis (η_{mek})

Menurut Ganesan (1996), efisiensi mekanis didefinisikan sebagai rasio antara *brake power* terhadap daya indikasi. Untuk menghitung efisiensi mekanis, maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$\eta_{mek} = \frac{BP}{IP} \times 100\%$$

Keterangan:

η_{mek}	= efisiensi mekanis	(%)
BP	= <i>brake power</i>	(kW)
IP	= daya indikasi	(kW)

1.5.13.6 Efisiensi Termal (η_{th})

Menurut Ganesan (1996), efisiensi termal efektif adalah rasio energi yang berada di dalam *brake power* terhadap energi dari masukan/input bahan bakar dalam satuan yang sesuai. Untuk menghitung efisiensi termal efektif dapat digunakan rumus berikut:

$$\eta_{th} = \frac{BP}{Q_{tot}} \times 100\%$$

dan

$$Q_{tot} = \frac{FC \cdot LHV_{bb}}{3600} \times 100\%$$

Keterangan:

Q_{tot}	= kalor total yang disuplai	(kW)
BP	= <i>brake power</i>	(kW)
η_{bth}	= efisiensi termal efektif	(%)
FC	= konsumsi bahan bakar	(kg/h)
LHV_{bb}	= 44260	(kJ/kg) (Dharmansa, 2021)
3600	= faktor konversi dari jam ke detik	

1.5.13.7 Kecepatan Piston Rata-Rata (s_p)

Sebuah parameter penting dalam aplikasi mesin adalah kecepatan rata-rata piston, Perlu dicatat bahwa s_p seringkali menjadi parameter yang lebih sesuai daripada kecepatan rotasi engkol untuk menghubungkan perilaku mesin sebagai fungsi dari kecepatan. Hambatan terhadap aliran gas ke dalam mesin atau tegangan akibat inersia dari bagian yang bergerak membatasi nilai maksimum s_p antara 8 hingga 15 m/s (Ganesan, 1996). Untuk menghitung nilai kecepatan piston rata-rata digunakan rumus sebagai berikut:

$$s_p = \frac{2 \cdot L \cdot N}{60}$$

Keterangan:

s_p	= kecepatan rata-rata piston	(m/s)
L	= panjang silinder	(m)
N	= putaran poros	(rpm)

1.5.14 Parameter Perhitungan Emisi Gas Buang

1.5.14.1 Emisi Indeks (IE)_{HC} dan (IE)_{CO}

Emisi indeks adalah pendekatan ilmiah untuk mengukur tingkat emisi polutan udara dari kendaraan. EI didasarkan pada tingkat karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) dalam emisi kendaraan. Untuk menghitung nilai dari emisi indeks dari HC maupun CO dapat digunakan rumus berikut:

$$(IE)_{HC} = \frac{\dot{m}_{HC}}{\frac{\dot{m}_f}{1000}} \text{ atau } (IE)_{CO} = \frac{\dot{m}_{CO}}{\frac{\dot{m}_f}{1000}}$$

Keterangan:

$(IE)_{HC}$	= emisi Spesifik HC	(g/kg)
$\dot{m}_{HC}$	= laju aliran massa HC	(g/s)
$\dot{m}_f$	= laju aliran massa bahan bakar	(g/s)
1000	= faktor konversi pada $\dot{m}_f$ dari satuan g/s menjadi kg/s	

Untuk mendapatkan $\dot{m}_f$ maka digunakan rumus berikut

$$\dot{m}_f = \frac{FC}{3600} \cdot 1000$$

Keterangan:

$\dot{m}_f$	= laju aliran massa bahan bakar	(g/s)
FC	= laju penggunaan konsumsi bahan bakar	(kg/h)
3600	= konversi satuan jam menjadi detik	
1000	= konversi satuan kg menjadi g	

Untuk mendapatkan $\dot{m}_{HC}$ ataupun $\dot{m}_{CO}$ maka digunakan langkah-langkah berikut:

1. Menghitung laju aliran massa udara

$$AFR = \frac{\dot{m}_{ud}}{\dot{m}_f}$$

$$\dot{m}_{ud} = \dot{m}_f \cdot AFR$$

Keterangan:

$\dot{m}_{ud}$ = laju aliran massa udara (g/s)
 $\dot{m}_f$ = laju aliran massa bahan bakar (g/s)
 AFR = perbandingan rasio bahan bakar udara

2. Menghitung laju aliran massa gas buang

$$\dot{m}_{masuk} = \dot{m}_f + \dot{m}_{ud} \quad \dot{m}_{masuk} = \dot{m}_{keluar}$$

$$\dot{m}_{keluar} = \dot{m}_{gas\ buang}$$

$$\dot{m}_f + \dot{m}_{ud} = \dot{m}_{gas\ buang}$$

$$\dot{m}_{gas\ buang} = \dot{m}_f + \dot{m}_{ud}$$

Keterangan:

$\dot{m}_{gas\ buang}$ = laju aliran massa gas buang (g/s)
 $\dot{m}_f$ = laju aliran massa bahan bakar (g/s)
 $\dot{m}_{ud}$ = laju aliran massa udara (g/s)

3. Menghitung laju aliran massa HC

$$\dot{m}_{HC} = \frac{HC}{1000000} \cdot \dot{m}_{gas\ buang}$$

Keterangan:

$\dot{m}_{HC}$ = laju aliran massa HC (g/s)
 HC = konsentrasi HC dalam satuan part per million
 $\dot{m}_{gas\ buang}$ = laju aliran massa bahan bakar (g/s)
 1000000 = konversi PPM menjadi fraksi massa

4. Menghitung laju aliran massa CO

$$\dot{m}_{CO} = \frac{CO \cdot 10000}{1000000} \cdot \dot{m}_{gas\ buang}$$

Keterangan:

$\dot{m}_{CO}$ = laju aliran massa CO (g/s)
 CO = konsentrasi CO (%)
 10000 = konversi dari satuan (%) menjadi PPM
 $\dot{m}_{gas\ buang}$ = laju aliran massa bahan bakar (g/s)
 1000000 = konversi PPM menjadi fraksi massa

1.5.14.2 Emisi Spesifik $(SE)_{HC}$ dan $(SE)_{CO}$

Emisi spesifik adalah jumlah emisi yang diukur dalam satuan gram per tenaga kuda per jam, atau gram per kilowatt jam (g/kWh), berdasarkan daya yang dihasilkan oleh mesin (California Air Resources Board, 2007). Untuk menghitung nilai dari emisi spesifik dari HC maupun CO dapat digunakan rumus berikut:

$$(SE)_{HC} = \frac{\dot{m}_{HC}}{BP} \cdot 3600 \text{ atau } (SE)_{CO} = \frac{\dot{m}_{CO}}{BP} \cdot 3600$$

Keterangan:

$(SE)_{HC}$ = Emisi Spesifik HC (g/kWh)

$(SE)_{CO}$ = Emisi Spesifik CO (g/kWh)

$\dot{m}_{HC}$ = laju aliran massa HC (g/s)

$\dot{m}_{CO}$ = laju aliran massa CO (g/s)

BP = daya efektif (kW)

3600 = faktor konversi detik ke jam

BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

1.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2024 sampai dengan April 2024, dan dilaksanakan di 2 lokasi berbeda yaitu:

- a. Pengujian prestasi mesin sepeda motor dilaksanakan di *Dynotest Room* Bengkel Ernest *Racing Home*, yang berlokasi di Jln. Goa Ria No.30, Sudiang Raya, Kec. Biringkanaya, Kota Makassar, Sulawesi Selatan.
- b. Pengujian emisi gas buang sepeda motor dilaksanakan di Laboratorium Otomotif SMKN 1 MAROS, yang berlokasi di Jln. Pasar Ikan No. 63, Allepolea, Kec. Lau, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan.

2.2 Metode Pengambilan Data

Untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam penelitian ini, maka pengumpulan data dilakukan dengan cara pengujian laboratorium dan validasi hasil. Proses penelitian ini dilakukan dengan beberapa teknik pengumpulan data sebagai berikut:

a. Studi Eksperimen

Metode yang digunakan untuk memperoleh data yang dibutuhkan untuk mendukung penelitian ini adalah melaksanakan penelitian dengan metode eksperimen percobaan langsung. untuk menyelidiki pengaruh suatu variabel terhadap variabel yang lain dalam hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jenis material elektroda pusat busi terhadap performa mesin dan emisi gas buang sepeda motor 4 tak.

b. Studi Kepustakaan

Dilakukan dengan membaca dan mengumpulkan data-data teoritis melalui buku-buku, tulisan ilmiah, literatur serta catatan perkuliahan yang bersangkutan dengan masalah-masalah yang akan dibahas, sehingga diperoleh landasan yang digunakan dalam pemecahan masalah tersebut.

2.3 Variabel Penelitian

Secara garis besar variabel dalam penelitian ini ada tiga variabel yang secara spesifik dijelaskan sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel ini disebut variabel pengaruh, sebab berfungsi mempengaruhi variabel lain (Nurdianto, 2015). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah penggunaan berbagai jenis busi berdasarkan material pusat elektrodanya yang terdiri dari busi standar (nikel) dengan merk NGK kode CR6HSA, busi *Copper* (tembaga) dengan merk BRISK NAR14YC, dan busi *Silver* (perak) dengan merk BRISK NAR14YS.

2. Variabel Terikat

Variabel ini dipengaruhi oleh variabel lain, karenanya juga disebut variabel yang dipengaruhi atau variabel terpengaruhi (Nurdianto, 2015). Variabel terikat

pada penelitian ini yaitu prestasi mesin dan emisi gas buang sepeda motor Yamaha FreeGo.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang membatasi (sebagai kendali) atau mewarnai variabel moderator. Variabel kontrol disebut pembanding hasil penelitian eksperimen yang dilakukan (Nurdianto, 2015). Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

- Pada pengujian *dyno test*, putaran tuas gas pada sepeda motor dilakukan pembukaan hingga mencapai titik maksimal.
- Pada pengujian emisi gas buang, dilakukan pada putaran mesin 2000 rpm, 3000 rpm, 4000 rpm, dan 5000 rpm.
- Bahan bakar yang digunakan bahan bakar yang sesuai dengan rasio kompresi sepeda motor, yakni Pertalite dengan RON 90.
- Setiap komponen yang terpasang pada sepeda motor merupakan komponen bawaan pabrik.
- Pengujian dilakukan pada temperatur kerja mesin yakni berkisar 80 °C – 90 °C (Isal, 2020).
- Perbandingan kompresi sepeda motor sesuai dengan bawaan pabrik yaitu 9,5:1.
- Temperatur udara sekitar adalah 25 °C – 35 °C.
- Beban berupa berat pengendara yaitu ± 70 kg.
- Tekanan ban belakang yaitu 33 psi dan ban depan yaitu 29 psi.

2.4 Alat dan Bahan

2.4.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Sepeda Motor Yamaha FreeGo 125

Motor bakar yang digunakan sebagai objek penelitian yaitu sepeda motor Yamaha FreeGo 125, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Sepeda Motor Yamaha FreeGo 125

Sumber: Owner's Manual FreeGo LTK125

Kapasitas	125 cc
Sistem pelumasan	<i>Wet Stump</i>
Diameter x langkah	52,4 mm x 57,9 mm
Jenis penggerak	<i>Belt drive</i>
Torsi maksimal	9,5 Nm
RPM tosi maksimum	5500 rpm
RPM tenaga maksimum	8000 rpm
Kapasitas tangki	4,2 liter
Tenaga Maksimal	9,38 hp
Pipa knalpot	<i>Single exhaust</i>
Jenis Mesin	<i>Single Cylinder, 4-stroke, 2-</i>

	<i>valve, Air Cooled, SOHC</i>
Rasio kompresi	9,5:1
Tipe injeksi	<i>Fuel injection</i>
Sistem Pembakaran	<i>TCI</i>
Jenis bahan bakar	<i>Petrol</i>
Jenis transmisi	<i>Automatic</i>



Gambar 9. Sepeda Motor Yamaha FreeGo 125

2. Dynamometer

Berfungsi untuk mengukur rpm, torsi, dan daya mesin sepeda motor. *Dynamometer* yang digunakan yaitu *Leads Dynamometer LSP 1*, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Leads Dynamometer LSP 1
Sumber: User Manual Leads Dynamometer LSP 1

Panjang dimensi	200 cm
Lebar dimensi	90 cm
Tinggi	25-30 cm (<i>adjustable</i>)
Berat	265 kg
Kapasitas	500 kg
<i>Front Tyre Cage</i>	<i>Adjustable</i>
<i>Min wheelbase</i>	110 cm
<i>Max Wheelbase</i>	190 cm
<i>Max Power</i>	250 hp



Gambar 10. Leads Dynamometer LSP 1

Sumber: Dynotest Room Bengkel Racing Ernest Home

3. Blower

Blower berfungsi untuk mendinginkan mesin dan mengontrol suhu ruangan.

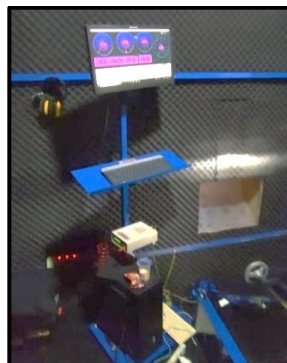


Gambar 11. Blower

Sumber: Dynotest Room Bengkel Racing Ernest Home

4. Komputer

Berfungsi untuk memonitor dan merekam data performa mesin, seperti tenaga, torsi, dan parameter lainnya selama pengujian, melalui *software Dynosport V 4*.



Gambar 12. Komputer

Sumber: Dynotest Room Bengkel Racing Ernest Home

5. Gelas Ukur

Berfungsi untuk mengukur bahan bakar yang digunakan selama dilakukan pengujian.



Gambar 13. Gelas Ukur

6. Kunci Busi

Berfungsi sebagai alat untuk memasang dan melepaskan kunci busi dari mesin sepeda motor.



Gambar 14. Kunci Busi

7. Tire Pressure Gauge

Berfungsi sebagai alat untuk mengukur tekanan ban sepeda motor.



Gambar 15. Tire Pressure Gauge

Sumber: https://www.tokopedia.com/friendlyshops/alat-pengukur-tekanan-angin-ban-mobil-motor-sepeda-universal-gauge?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=pdp-seo

8. *Automotive Gas Analyzer KEG-500*

Berfungsi sebagai alat untuk mengukur emisi gas buang sepeda motor, yang dilengkapi dengan *Probe* yang berfungsi sebagai sensor gas buang yang dimasukkan ke dalam knalpot sepeda motor.



Gambar 16. *Gas Analyzer KEG-500 dan Probe*
Sumber: Laboratorium Otomotif SMKN 1 Maros

9. *Bluetooth Advanced OBD (Onboard Diagnostic System)-II Scanner*

Berfungsi sebagai sensor untuk mengetahui informasi system mesin seperti putaran poros sepeda motor, dan temperature oli dengan cara alat dihubungkan ke kabel ECU (*Electircal Control Unit*) motor lalu diakses melalui *Smartphone Android*.



Gambar 17. *Bluetooth Advanced OBD-II Scanner*

Sumber: <https://shopee.co.id/Advance-Scanner-OB2-motor-injeksi-i.37247185.18842090319>

10. *Smartphone Android* dilengkapi dengan Aplikasi *Torque Pro*.

Berfungsi untuk menghubungkan alat *Bluetooth Advanced OBD-II Scanner* melalui *Bluetooth* dan diakses dengan menggunakan Aplikasi *Torque Pro*.



Gambar 18. *Smartphone Android* Yang Dilengkapi Dengan Aplikasi *Torque Pro*
Sumber: Laboratorium Otomotif SMK Negeri 1 Maros

2.4.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bahan Bakar

Jenis bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar dengan nilai RON 90 yaitu Pertalite.



Gambar 19. Bahan Bakar Pertalite

2. Busi

Variasi jenis material elektroda busi yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

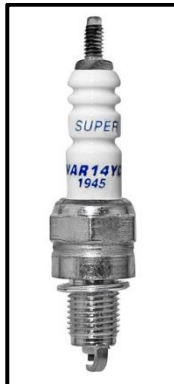
- a. Busi standar (nikel) merk NGK dengan kode CR6HSA



Gambar 20. Busi Standar (Nikel)

Sumber: Bengkel Yamaha Angkasa Motor Kabupaten Maros

- b. Busi *Copper* (tembaga) merk BRISK dengan kode NAR14YC



Gambar 21. Busi *Copper* (Tembaga)

Sumber: <https://www.tokopedia.com/briskbusiindo/busi-motor-brisk-Copper-nar14yc?extParam=whid%3D2698030>

- c. Busi *Silver* (perak) merk BRISK dengan kode NAR14YS



Gambar 22. Busi *Silver* (Perak)

Sumber: <https://www.tokopedia.com/briskbusiindo/busi-motor-brisk-Copper-nar14yc?extParam=whid%3D2698030>

2.5 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan dua jenis pengujian yaitu pengujian prestasi mesin dengan menggunakan alat *Dynamometer* dan pengujian emisi gas buang dengan menggunakan *Gas Analyzer*. Secara rinci, berikut adalah prosedur penelitian dari kedua jenis pengujian tersebut:

2.5.1 Pengoperasian *Dynamometer*

Dynamometer merupakan alat yang digunakan untuk melakukan pengambilan data terhadap prestasi mesin sepeda motor dengan menggunakan *software SportDyno V4*. Adapun proses pengujiannya sebagai berikut:

1. Mengosongkan tangki bahan bakar sepeda motor dengan cara membuka selang bahan bakar yang terhubung dengan injeksi. Kemudian menyalakan kontak hingga lampu *check engine* menyala dan menyalin bensin yang mengalir

- ke dalam wadah. Setelah bensin mengalir dan lampu *check engine* kembali mati, kemudian matikan kembali kunci kontak dan mengulangi langkah-langkah sebelumnya hingga bensin habis disalin dari tangki ke wadah.
2. Setelah tangki bensin dalam keadaan kosong yang ditandai dengan selang bensin sudah tidak lagi mengalirkan bensin, hubungkan kembali selang bensin dengan sistem injeksi, kemudian isi tangki bahan bakar sepeda motor sebanyak 200 ml dengan menggunakan Pertalite yang diukur dengan menggunakan gelas ukur.
 3. Memasang salah satu jenis busi yang akan diuji pada sepeda motor dengan menggunakan kunci busi.
 4. Memanaskan sepeda motor selama ± 3 menit hingga mencapai temperatur kerja yaitu 80-90 °C.
 5. Menaikkan motor di atas *dynamometer*.
 6. Memasang *strap*/tali pengaman pada bagian depan kaki-kaki sepeda motor.
 7. Menyalakan dan membuka *software SportDyno V4* pada komputer.
 8. Menyalakan *blower* untuk mengontrol temperatur udara di dalam *dyno test room*.
 9. Melakukan konfigurasi *setting* pada *software* sesuai dengan jenis sepeda motor yang akan dilakukan pengujian. Konfigurasi yang dilakukan berupa memasukkan data sepeda motor berupa kapasitas mesin sepeda motor dalam satuan CC pada menu *configuration* dan menambahkan nama dan menyimpan hasil pengujian pada *Menu*.
 10. Menghubungkan kabel penjepit sensor RPM ke sepeda motor ke kabel koil.
 11. Menekan tombol *start*, dan pada saat bersamaan memutar *throttle* sepeda motor hingga maksimal
 12. Kemudian kurva *horsepower* dan torsi akan mulai muncul di layar computer sesuai dengan akselerasi mesin sepeda motor.
 13. Setelah mencapai rpm maksimal maka segera menutup kembali putaran *throttle* sepeda motor dan mematikan mesin sepeda motor.
 14. Selanjutnya bensin kemudian dikuras dengan cara membuka selang bensin hingga bensin habis dan kembali diukur dengan menggunakan gelas ukur untuk mengetahui selisih dari konsumsi bahan bakar yang digunakan. Selisih tersebut merupakan nilai dari VGU selama melakukan satu kali pengujian
 15. Ulangi Langkah-langkah di atas sebanyak 3 kali pada satu jenis busi.
 16. Setelah hasil pengujiannya keluar, selanjutnya klik menu *Save*. Kemudian klik pada menu *Print* dan pilih *save as pdf*. Untuk menyimpan data pada komputer.
 17. Selanjutnya, mengganti jenis busi yang akan diteliti dan mengulangi Langkah-langkah di atas.
 18. Langkah terakhir yaitu melepaskan tali pengaman dan menurunkan sepeda motor dari alat *dynotest*, kemudian mematikan alat uji *dynotest*.
 19. Menyalin semua hasil pengujian yang telah didapatkan ke *flashdisk*.
 20. Mematikan komputer.

2.5.2 Bahan Pengoperasian Automotive Gas Analyzer KEG-500

Untuk menguji emisi gas buang yang dihasilkan sepeda motor Yamaha FreeGo maka digunakan alat *Automotive Gas Analyzer KEG-500*. Untuk prosedur pengoperasiannya adalah sebagai berikut:

1. Menyalakan *gas analyzer* dengan menekan tombol ON di bagian belakang alat.
2. Setelah 10 detik proses penyiapan alat, secara otomatis akan menunjukkan tanggal dan waktu saat pemakaian.
3. *Analyzer* kemudian secara otomatis melakukan pengecekan seperti pengecekan layar, komunikasi, sensor internal, dan penyimpanan data.
4. *Pre heat* atau pemanasan alat otomatis selama 2-8 menit tergantung dengan temperatur ruangan dan pembersihan bagian dalam alat dengan menggunakan udara bersih. Proses pemanasan bisa dilihat pada layar yang menunjukkan angka 120 menurun secara bertahap hingga mencapai angka 0.
5. Setelah mencapai angka 0 yang menandakan pemanasan alat telah selesai, kemudian secara otomatis alat akan melakukan kalibrasi atau *zero calibration* selama 20 detik.
6. Setelah kalibrasi selesai, yang ditandai pada layar tertulis “rdy” yang merupakan singkatan dari *ready*, maka alat uji emisi gas buang siap digunakan.
7. Pada kendaraan sepeda motor Yamaha FreeGo dalam kondisi mati, buka *cover* aki pada bagian bagasi kemudian ambil kabel yang menghubungkan ke ECU selanjutnya lepas penutup kabel.
8. Hubungkan alat *Bluetooth Advanced OBD-II Scanner* pada kabel ECU.
9. Siapkan *smartphone android* yang telah dilengkapi dengan aplikasi “*Torque Pro*” dan buka aplikasi tersebut. Hubungkan dengan *Bluetooth* alat *scanner* dengan nama *Bluetooth* “OBD2” dan masukkan sandi nya berupa: 1234.
10. Setelah alat *scanner*, *smartphone*, dan kabel ECU terhubung, maka nyalakan kontak mesin dan *start* mesin motor. Pada aplikasi *Torque Pro*, buka menu “*Realtime Information*” kemudian perhatikan pada bagian RPM data *realtime* yang akan menunjukkan nilai putaran stasioner sepeda motor.
11. Panaskan motor hingga mencapai temperatur kerja yaitu 80-90 °C atau selama 1-3 menit.
12. Masukkan *Probe* pada bagian dalam knalpot sepeda motor hingga mencapai ujung dekat pegangan *Probe*
13. Pada alat *gas analyzer* tekan tombol MEAS untuk memulai menguji emisi gas buang.
14. Pada sepeda motor, buka putaran gas sepeda motor hingga mencapai 2000 rpm. Untuk mengetahui nilai putaran sepeda motor lihat pada aplikasi *Torque Pro* yang telah terhubung.
15. Ketika nilai-nilai pengukuran pada alat *gas analyzer* telah stabil, kemudian tekan tombol *HOLD* untuk menahan dan menyimpan nilai pengukuran.

16. Selanjutnya foto nilai yang tertera pada alat *gas analyzer* menggunakan *smartphone* lalu edit foto tersebut dengan menambahkan keterangan pada putaran berapa dan pada pengujian ke berapa.
17. Untuk melakukan pengukuran selanjutnya, tekan tombol ESC lalu lepaskan *Probe* dari knalpot, lalu tekan tombol *ZERO* untuk mengkalibrasi kembali nilai hingga mencapai angka 0 kembali. Selama melakukan kalibrasi *Probe* dilepaskan dari knalpot agar selama pengkalibrasi-an udara yang masuk ke dalam *probe* adalah udara bersih. Pengkalibrasi-an bekerja selama 20 detik.
18. Setelah kalibrasi selesai, yang ditandai dengan pada layar alat *gas analyzer* menunjukkan “rdy” atau singkatan dari *ready*, maka alat siap kembali untuk digunakan, masukkan kembali *probe* ke dalam knalpot sepeda motor lalu ulangi Langkah-langkah di atas untuk pengujian berikutnya pada 3000 rpm, 4000 rpm, dan 5000 rpm dan pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pada setiap putaran poros motor.
19. Setelah mendapatkan data, kemudian alat di kalibrasikan kembali hingga pada layar tertulis “rdy”, lalu menekan tombol OFF pada bagian belakang alat *gas analyzer* dan lepaskan *Probe* dari alat *gas analyzer*.
20. Cabut stop kontak alat *gas analyzer* dari steker rapikan dan simpan kembali alat *gas analyzer* dengan rapih
21. Pada sepeda motor, matikan kunci kontak motor kemudian putuskan sambungan *bluetooth* dari *smartphone* ke alat OBDII *scanner*. lepaskan soket penghubung *scanner* dan kabel ECU dari sepeda motor dan pasang kembali cover aki.

2.6 Diagram Alir

