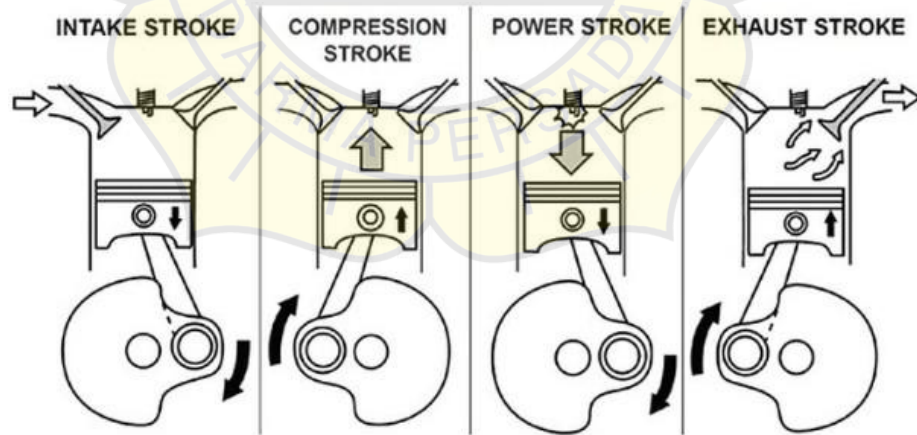


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Motor 4 langkah

Motor bakar 4 langkah atau yang sering kita kenal 4 tak, adalah mesin pembakaran dengan 4 langkah kerja atau langkah piston dalam satu siklus pembakaran. Dimana siklus ini dimulai dari pada posisi piston atau torak berada di titik mati atas (TMA) atau dimana posisi piston berada pada posisi paling atas, dan posisi kedua katup menutup. Busi memercikan api, beberapa derajat sebelum titik mati atas (TMA). Hal ini dikarenakan untuk terbakar secara maksimal, memerlukan waktu untuknya, langkah ini dinamakan langkah tenaga. Saat torak ada beberapa derajat sebelum titik mati bawah (TMB), katup buang (exhaust valve) mulai terbuka. Dan piston akan mendorong gas hasil pembakaran keluar dari ruang bakar. (Tri Hartadi, n.d.).



Gambar 2.1 Siklus motor bakar 4 langkah

(Sumber : Bagas Setyo Utomo & Ana Mufarida, 2020)

a. Langkah hisap (*suction stroke*)

Dalam proses langkah hisap, yaitu dimana proses pada saat piston berada pada posisi titik mati atas (TMA) dan katup in membuka dimana udara dan bahan bakar bercampur di saluran masuk, pada posisi ini piston bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB). Hal yang sama di ungkapkan oleh (Julius Jama, 2008) dimana pada waktu proses langkah hisap piston bergerak ke bawah, tekanan di ruang pembakaran menjadi hampa (*vakum*), posisi katup masuk terbuka dan katup buang menutup. Perbedaan dengan tekanan udara luar yang tinggi dengan tekanan hampa, mengakibatkan udara akan mengalir dan bercampur dengan bahan bakar. Selanjutnya campuran bahan bakar dan udara tersebut masuk melalui klep in yang terbuka mengalir masuk kedalam ruang *cylinder*, selama proses ini piston bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB).

b. Langkah kompresi (*Compression stroke*)

Pada langkah ini posisi katup masuk dan katup buang tertutup, posisi piston berada di titik mati bawah (TMB) bergerak naik ke titik mati atas (TMA), menekan campuran udara dan bahan bakar sehingga tekanannya naik, dan busi memercikan bunga api untuk membakar campuran bahan bakar. Hal yang sama di jelaskan oleh (Kurdi, 2007) pada langkah ini kedua katup tertutup dan piston

naik dari TMB menuju TMA, karena itulah maka campuran udara dan bahan bakar akan terkompresi, sehingga tekanan dan suhunya meningkat.

c. Langkah kerja (Eksplasion/Power stroke)

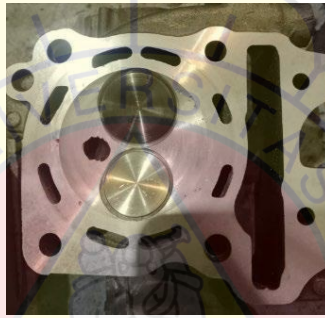
Menurut (Julius Jama, 2008) pada langkah ini, udara dan bahan bakar mengembang dan memuai karena proses pembakaran. Energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran di ruang bakar menimbulkan tekanan kesegala arah, yang mendorong piston dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB). Hal ini menyebabkan poros engkol bergerak melalui jalan terkait (stang seher). Karena energi gerak yang dihasilkan energi kimia.

d. Langkah pembuangan (Exhaust stroke)

Sebelum piston bergerak menuju titik mati bawah (TMB) posisi klep ex mulai membuka membuang hasil sisa pembakaran, dan sewaktu piston berada di titik mati bawah (TMB) piston bergerak naik ke atas mendorong sisa hasil pembakaran yang tertinggal keluar melalui klep ex/klep pembuangan. (Surya Dharma et al., 2015) Ketika piston mendekati titik mati atas (TMA), maka katup masuk mulai terbuka dan katup buang menutup, pada akhirnya katup buang menutup sepenuhnya. Prinsip ini dimana katup masuk dan katup buang terbuka secara bersamaan dinamakan *valve overlap*.

2.2. Kepala silinder (Cylinder head)

Cylinder head merupakan bagian dari blok silinder yang berfungsi untuk menutup rongga silinder, dimana ruang tersebut merupakan ruang pembakaran, dengan adanya penutup ini maka pembakaran bisa terjadi. Apabila blok silinder disebut sebagai base engine part atau komponen basic mesin, maka cylinder head disebut scond base karena komponen ini juga menjadi basis beberapa komponen yang ada pada mesin bagian atas. Menurut (Lazuardi, 2022).



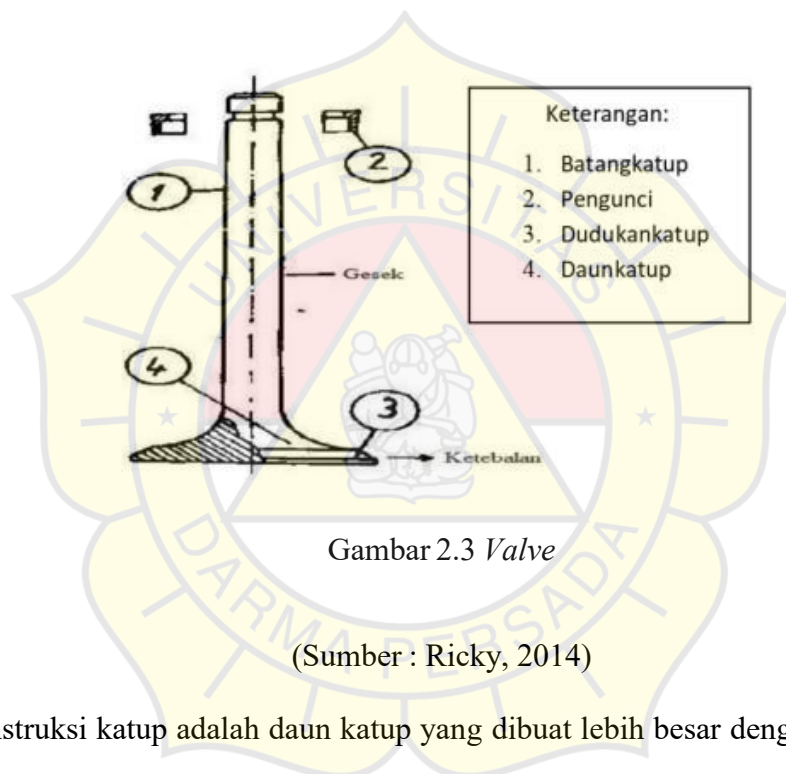
Gambar 2.2 *Cylinder head*

Karena mesin dua Langkah tidak memiliki katup dan camshaft, kepala silinder mesin empat langkah lebih besar. Namun kepala silinder mesin empat langkah terdiri dari komponen beriku. (Winoko et al., 2019).

- a. Katup (valve).
- b. Camshaft.
- c. Ruang bakar (Combustion Chamber).
- d. Dudukan busi.
- e. Inlet port dan exhaust port.

2.3. Katup (valve)

Valve atau yang sering kita dengar dengan sebutan klep merupakan suatu komponen yang terpasang pada cylinder head yang bergerak sesuai langkah piston. Valve juga berfungsi sebagai pintu masuknya campuran bahan bakar dan udara, dan juga sebagai pintu keluarnya gas yang dihasilkan dari pembakaran. Valve juga harus tertutup rapat pada saat langkah kompresi.



(Sumber : Ricky, 2014)

Konstruksi katup adalah daun katup yang dibuat lebih besar dengan tujuan untuk memperbaiki system pengisian campuran bahan bakar dan udara sedangkan katup ex dibuat lebih kecil supaya lebih cepat proses pembuangan dari gas sisa hasil pembakaran, katup terbuat dari baja krom dan silicon pada batang dan daun katub diperkakas untuk mengurangi atau memperkecil keausan.

2.4. Rocker arm

Salah satu komponen yang berada di dalam cylinder head yaitu rocker arm, rocker arm atau yang sering disebut pelatuk ini berfungsi untuk meneruskan putaran camshaft menjadi gaya tekan yang menekan batang klep sehingga klep membuka. Ketika batang klep di tekan oleh rocker arm maka campuran bahan bakar dan udara masuk ke ruang hisap, begitu pun Ketika katup buang tertekan oleh rocker arm gas sisa hasil pembakaran dapat keluar melalui katup.



Gambar 2.4 *Roller rocker arm*

(Sumber : (Adi Sentosa, 2016))

Rocker arm mempunyai beberapa tipe, yang sering kita jumpai yaitu roller rocker arm dan rocker arm konvensional, yang pada dasarnya rocker arm berfungsi untuk menekan klep. Rocker arm sendiri memiliki rumus yaitu

$$RRA = \frac{F}{L} \quad (2.1)$$

Keterangan :

RRA : rasio rocker arem

Y : lengan pelatuk y

X : lengan pelatuk x

2.5. Spring valve (Per klep)

Spring valve atau pegas katup berfungsi sebagai gaya untuk mendorong katup menutup saat terbuka akibat dorongan noken as, dan menjaga agar katup Kembali menutup rapat kecepatan katup tergantung dari gaya pegas dan massa dari bagian yang digerakan. Terdapat dua tipe spring valve yaitu tunggal dan ganda. Valve spring tunggal mempunyai jarak kisaran yang berbeda yang berfungsi untuk mengurangi getaran, valve spring ganda mempunyai keunggulan pada saat klep patah maka katup tidak akan masuk kedalam ruang bakar karena masih mempunyai pegas cadangan, pegas katup ganda juga mempunyai frekuensi yang berbeda antara spring sehingga dapat meredap getaran katup.

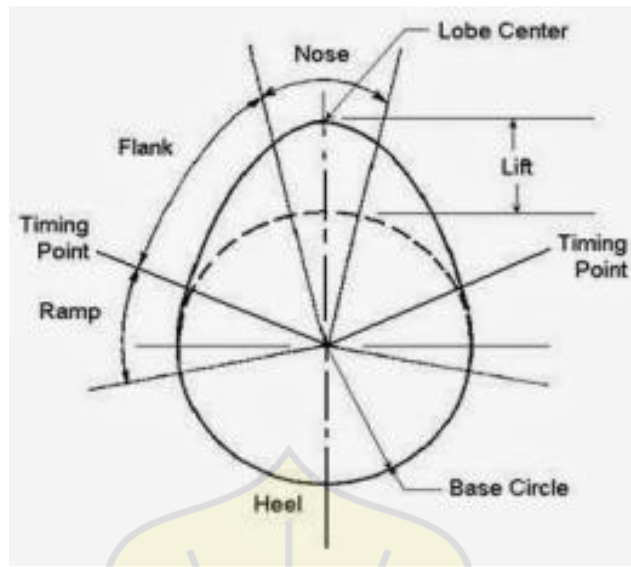
2.6. Poros cam (Camshaft)

Poros cam (camshaft) adalah poros yang memiliki tonjolan (cam) yang terhubung dengan bukaan katup yang berputar menurut putaran poros engkol. Poros cam juga menentukan berapa lama dan lebar bukaan katup. Menurut (Dwi Kristianto, 2014).



Gambar 2.5 *Camshaft vario 125cc*

Untuk menggerakkan pros cam (camshaft) yang terhubung dengan poros engkol (crankshaft) terdapat 3 cara yaitu menggunakan roda gigi lngasung, rantai dan sabuk bergerigi (belt). Putaran camshaft biasanya berputar setengah kali putaran poros engkol (crankshaft). Perbedaan camshaft racing dan camshaft standar yang paling utama adalah tonjolan pada liftcam (tonjolan) dan durasi. Camshaft standar cenderung memiliki tonjolan dan durasi yang lebih rendah dibandingkan camshaft racing. Menurut (Dwi Prakoso, 2020) Apabila semakin tinggi lift maka aliran gas campuran udara dan bahan bakar makin baik, tetapi tidak bisa membuat lift terlalu tinggi karena keterbatasan oleh kinerja pegas katup. Perbedaan tinggi cam lift ini dimaksudkan agar dapat mendorong katup secara optimal dan menghasilkan durasi yang lebih Panjang.



Gambar 2.6 Bentuk dasar camshaft

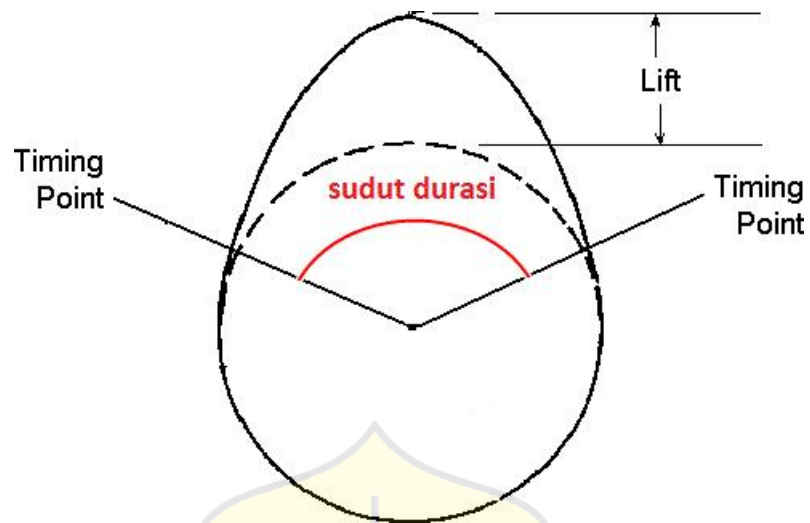
(Sumber : (Gunawan et al., 2017))

Menurut (Dwi Prakoso, 2020) camshaft terdapat bagian-bagian yang mempunyai fungsi yang sangat penting seperti valve lift (jarak angkat katup), valve lift duration (lama angkat katup), valve lift timing (waktu angkat katup), lobe separation angle (LSA), dan overlap yang mempengaruhi banyak sedikitnya campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam ruang bakar

Menurut (Gunawan et al., 2017). Cam di desain berdasarkan 4 hal :

- a. Sudut durasi (valve lift duration)

Yaitu waktu buka tutup katup dalam satu siklus kerja yang dihitung dalam satu kali putaran poros engkol yang diukur dalam bentuk derajat.



Gambar 2.7 Durasi camshaft

(Sumber : (dess Hammill, 1998)

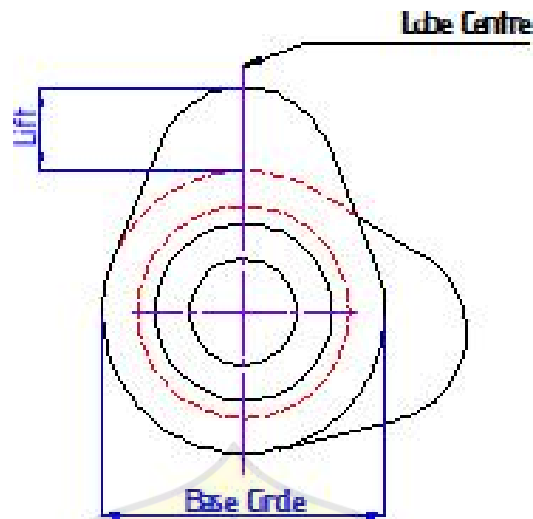
Rumus menghitung durasi camshaft.

$$\text{Durasi in} = \text{Valve in open} + \text{derajat TMA ke TMB (180)} + \text{valve in close} \quad (2.2)$$

$$\text{Durasi ex} = \text{Valve ex open} + \text{drajat TMA ke TMB (180)} + \text{valve ex close}$$

b. Tinggi Angkatan katup (valve lift)

Diameter katup (0,32 dari diameter katup), perbandingan rocker arm, kualitas bahan katup, dan pegas katup menentukan besar kecil katup, yang dihitung dari posisi katup menutup sempurna sampai katup membuka penuh.



Gambar 2.8 Tinggi lift camshaft

(Sumber : (dess Hammill, 1998)

Dalam buku alexander graham bell "four strok performance tuning", rentan yang ideal untuk merubah *lift camshaft* adalah 28% hingga 32%. Sementara camshaft balap dapat meningkatkan ini untuk 35% lebih. Karena cam lobus tidak persegi, aliran puncak hanya akan terjadi sesaat, kira-kira 2-4 derajat, jika Angkatan katup dibatasi 28% - 32% diameter katup. Akibatnya, untuk memaksimalkan pengisian silinder besar, Angkatan aktup diambil sampai dengan 37%-40% (atau bahkan 43% dalam mesin dengan kapasitas silinder yang besar tetapi relative miskin, seperti blok pernafasan besar mesin drag 600cc) untuk mencapai tingkat pengisian yang optimal (A Graham Bell, 1998).

Lift cam = diameter klep : 28% s/d 32%. / 37%-40% (2.3)

Ada pula dengan cara sederhana yaitu perhitungan menggunakan jangka sorong.

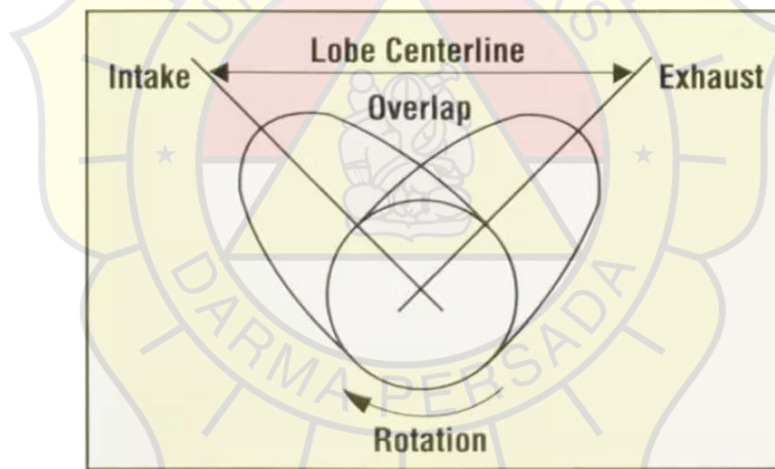
Perhitungan tinggi lift camshaft :

$$\text{Lift cam} = \text{tinggi bubungan} - \text{base circle} \quad (2.4)$$

$$\text{Lift klep} = \text{lift cam} \times \text{rasio rocker arm (1.5mm)} - \text{renggang klep}$$

c. Overlap

Overlap terjadi Ketika kedua katp in dan ex terbuka secara bersamaan saat posisi piston berada di TMA. Ini terjadi saat katup hisap membuka dan katup buang menutup. Gambar *overlap* ditunjukkan pada Gambar 2.9 berikut :



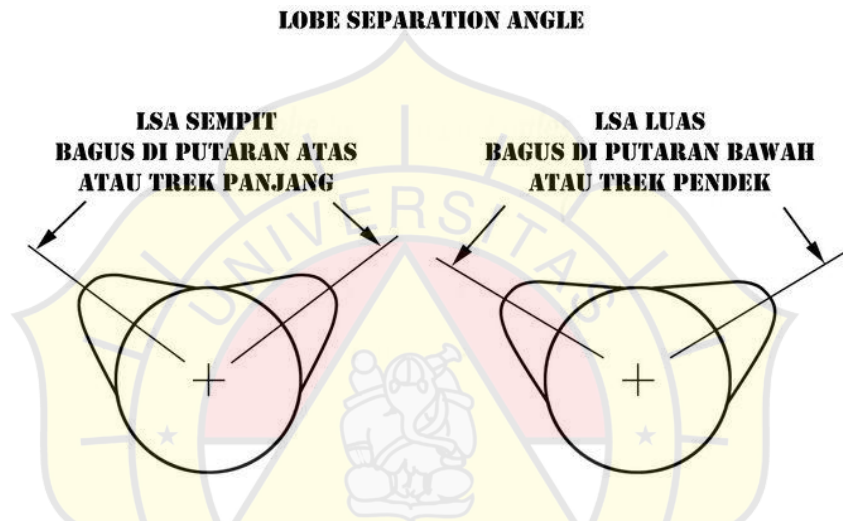
Gambar 2.9 *Overlap*

(Sumber : (dess Hammill, 1998)

d. Profil

Adalah bentuk dari cam, yang membedakan antara cam satu dengan cam yang lainnya dapat di lihat dari nose dan flank.

e. Lobe separation angle (LSA)



Gambar 2.10 *Lobe separation angel (LSA)*

Jarak titik puncak tonjolan antar cam in dan cam ex yang diterjemahkan dalam bentuk sudut derajat poros engkol. LSA pada camshaft sangat berpengaruh untuk menentukan karakter mesin, untuk mengetahui angka LSA selain harus di dial dapat juga di hitung secara manual yang terdapat pada table 2.4 di bawah ini :

$$LSA = \frac{((\text{Durasi in: } 2) - \text{in open}) + ((\text{Durasi ex: } 2) - \text{ex close})}{2} \quad (2.5)$$

2.6.1. Pengukuran camshaft

Pengukuran *camshaft*, yang memiliki desain dan spesifikasi, dapat diperiksa apakah sesuai dengan spesifikasi produsen *camshaft*. Untuk memperpanjang usia pemakaian *camshaft*, hindari pemasangan yang tidak sempurna. Namun, beberapa bagian *camshaft*, seperti profile lobe dan tinggi lift, hanya dapat diperiksa dengan alat yang sangat presisi. Sebelum melepas camshaft dari mesin, lebih baik melakukan pengecekan terlebih dahulu.

Tabel 2.1 *Tipe Camshaft (Dwi Yuono & Budiyanto, 2020)*

Cam change	Typical effect
<i>Camshaft</i> dengan durasi tinggi	Menggeser rentang ke putaran atas
<i>Camshaft</i> dengan durasi rendah	Menambah torsi pada putaran bawah / pada saat start awal
<i>Camshaft</i> dengan overlapping besar	Meningkatkan bahan bakar ke ruang bakar, boros konsumsi bahan bakar.
<i>Camshaft</i> dengan overlapping kecil	Meningkatkan respon pada putaran bawah.
Menambah LSA (<i>Lobe Sparation Angel</i>)	<i>Powerband</i> lebih lebar, power memuncak stansioner lembut

<p>Mengurangi LSA (<i>Lobe Sparation Angel</i>)</p>	<p>Meningkatkan torsi menengah, akselerasi cepat, <i>powerband</i> lebih sempit.</p>
---	--

2.6.2. Bahan *Camshaft*

Camshaft atau sering kita sebut noken as terbuat dari besi tuang yang dilapisi dengan chrome dan pada permukaanya dilakukan proses pengerasan (*hardening*). Pengerasan bertujuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap keausan Ketika bergesekan dengan rocker arm. Karena noken as harus mempunyai nilai ketahanan yang tinggi terhadap gesekan. (Supriyanto & Abdillah, 2011).

2.6.3. faktor yang mempengaruhi *durability camshaft*

Terdapat dua factor yang mempengaruhi *durability camshaft* yaitu *meknikal* dan *dinamikal*.

Factor *mekanikal*, katup-katup dan ditutup oleh meknisme cam yang dimana disana terdapat celah antara cam, tappet dan katup yang harus di angkat secara perlahan untuk menghindarkan suara keausan dan berisik. Dengan alas an yang sama katup tidak boleh di tutup secara mendadak, atau akan terjadi bouncing, sehingga bentuk dari kontur harus demikian rupa segingga tidak terjadi bouncing.

Factor *dinamikal*, selain masalah mekanikal untuk membuka katup dan menutup katup maka yang perlu diperhatikan disini adalah akibat aliran dinamik gas yang terjadi pada katup.(Gunawan et al., 2017).

2.7. Metode perhitungan performa

Ada beberapa hal yang mempengaruhi performa mesin motor, beberapa diantaranya adalah kualitas bahan bakar dan efisiensi volumetric dari mesin tersebut. Pada dasarnya cara mengetahui kinerja suatu mesin dapat diketahui dengan cara membaca dan menganalisa parameter yang ditulis dalam laporan atau media lain. Dari parameter tersebut biasanya kita dapat mengetahui daya, torsi, konsumsi bahan bakar, dan emisi gas buang dari kendaraan tersebut. Secara umum daya berbanding lurus dengan luas torak, sedangkan torsi berbanding lurus dengan langkah torsi.

2.7.1. Daya

Menurut (Dwi Yuono & Budiyanto, 2020) Daya dihasilkan dari system pembakaran dalam ruang silinder. Daya memiliki pengertian besarnya kerja tiap satuan waktu. Satuan daya yaitu HP (Horse Power). Daya pada kendaraan sepeda motor dapat di ukur dengan menggunakan alat dynamometer, sehingga untuk menghitung daya poros dapat diketahui dengan menggunakan rumus :

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{75 \times 60} \quad (2.6)$$

Keterangan :

P = Daya (HP)

n = Putaran mesin (rpm)

T = Torsi (N.m)

1/75 = factor konversi satuan kgf.m menjadi Hp

1/60 = factor konversi satuan rpm menjadi kecepatan translasi (m/s)

2.7.2. Torsi

Torsi adalah gaya tekan putar pada bagian yang berputar atau dapat diterjemahkan sebagai ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja. Rumus torsi adalah :

$$= \frac{5252.P}{60} \quad (2.7)$$

Keterangan :

P = Daya (HP)

T = Torsi (N.m)

N = Jumlah putaran per-menit (rpm)

5252 adalah nilai ketetapan (konstanta) untuk daya satuan HP

2.7.3. Konsumsi bahan bakar

Konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar perwaktu untuk menghasilkan daya sebesar 1 HP. Jadi konsumsi bahan bakar adalah ukuran ekonomo konsumsi bahan bakar. (Pratama, 2021)

$$SFC = \frac{M_f}{P} \quad (2.8)$$

Dimana :

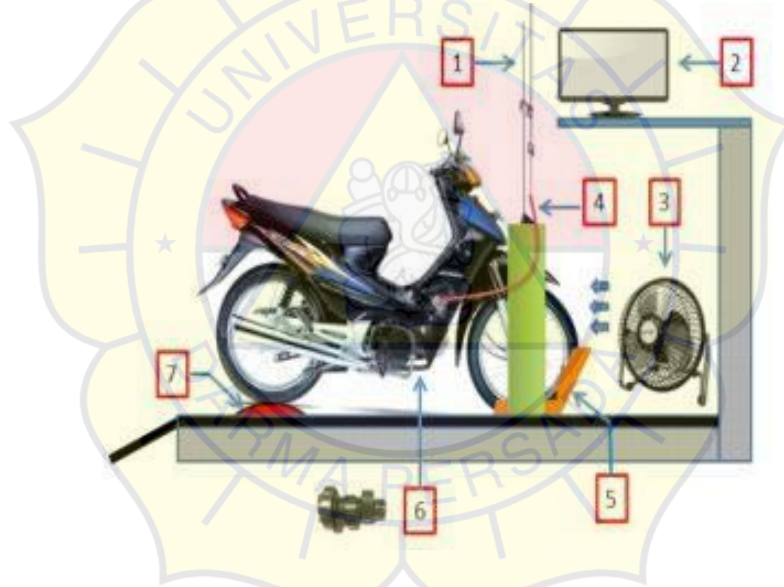
SFC : konsumsi bahan bakar spesifik (kg/jam.Kw)

M_f : jumlah bahan bakar persatuan waktu (kg/jam)

P : berat jenis bahan bakar yang digunakan

2.7.4. Dynamometer

Dynamometer adalah sebuah alat untuk mengukur tenaga, gaya putar (torsi) pada sebuah mesin. *dynamometer* yang sering biasa disebut dynotest merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui performa maksiman pada sebuah kendaraan, salah satunya untuk menguji performa sepeda motor. Skema pengujian dilakukan pada alat chasis dynamometer dengan roda belakang bertumpu pada roler dynamometer yang terhubung ke monitor computer, sedangkan roda depan di apit menggunakan stoper sebagai penahan agar tidak bergerak.



Gambar 2.11 Pengujian dynotest

(Sumber : (Dwi Prakoso, 2020)

Keterangan gambar :

1. Buret
2. Monitor computer

3. Blower
4. Selang
5. *Stopper*/penahan roda depan
6. *Camshaft*
7. Roller dynamometer

Biasanya yang menggunakan alat *dynotest* adalah pabrik otomotif dan bengkel besar yang menyediakan layanan modifikasi motor. Pengoprasian *dynotest* dibutuhkan mekanik yang mampu membaca grafis pada layar monitor pada saat proses *dynotest* berlangsung. Ada beberapa persiapan yang harus dilakukan sebelum melakukan *dynotest* di antaranya :

- a. Kondisi motor harus dalam keadaan fit / sehat, tidak down apalagi sampai turun mesin
- b. Memperhatikan kondisi cuaca dan suhu pda ruangan *dynotest*, hal ini dapat mempengaruhi nilai performa pada saat penelitian berlangsung.
- c. Lamprkan juga data awal sebelum dilakukannya penggantian *camshaft* untuk dijadikan patokan pada pengujian.

2.8. Emisi Gas Buang

Lampiran I: Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup

Nomor: 05 Tahun 2006

Tentang: Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama

Tanggal: 1 Agustus 2006

KENDARAAN BERMOTOR KATEGORI L

kategori	Tahun Pembuatan	Parameter		Metode Uji
		CO (%)	HC (ppm)	
Sepeda motor 2 langkah	<2010	4.5	12000	Idle
Sepeda motor 4 langkah	<2010	5.5	2400	Idle
Sepeda motor (2 langkah & 4 langkah)	≥2010	4.5	2000	Idle

Gambar 2.12 Ambang batas emisi gas buang

(Sumber : (Bagas Setyo Utomo & Ana Mufarida, 2020)

Emisi gas buang adalah sisa hasil pembakaran di dalam ruang bakar kendaraan maupun mesin pembakaran luar yang keluar melalui saluran pembuangan gas buang, gas buang sisa hasil pembakaran dapat menyebabkan polusi udara dan dapat mencemari lingkungan, uji emisi adalah salah satu uji test yang dapat mengukur kandungan zat yang terdapat pada saluran gas buang, yang terdapat pada sepeda motor (mesin bensin maupun disel). Dengan menggunakan alat khusus yang disebut Gas analyzer. Menurut (Bagas Setyo Utomo & Ana Mufarida, 2020) dalam mendukung usaha pelestarian lingkungan hidup, negara-negara didunia mulai sumber perancangan emisi gas buang, karena menyadari bahwa gas buang kendaraan adalah salah satu polutan terbesar, oleh

karena itu gas buang kendaraan harus dibuat se efisien mungkin / sebersih mungkin agar tidak mencemari udara.

Adapun keuntungan dari emisi gas buang yang baik selain untuk lingkungan, ada juga untuk kendaraan itu sendiri. Kendaraan menjadi efisiensi, konsumsi bahan bakar menjadi lebih irit dan kendaraan menjadi lebih bertenaga.

Pada negara yang memiliki standar emisi gas buang kendaraan yang ketat. Ada 5 unsur emisi gas buang yang akan di ukur senyawanya HC (*hidrocarbon*), CO (*carbon monoksida*), CO₂ (*carbon dioksida*), O₂ (*oksigen*), dan senyawa NO_x (*nitrogen oksida*). sedangkan pada negara-negara yang standar emisi gas buangnya tidak terlalu ketat terdapat 4 unsur gas buang yaitu senyawa HC (*hidrocarbon*), CO (*carbon monoksida*), CO₂ (*carbon dioksida*), dan O₂ (*oksigen*), termasuk Indonesia yang memiliki standar emisi gas buang yang tidak terlalu ketat. (Gunandi, 2010).

Karbon monoksida (CO) dihasilkan mana kala terjadi pembakaran tidak sempurna yang diakibatkan kurangnya oksigen pada proses pembakaran dalam mesin (campuran bahan bakar dan udara kaya). Hydrocarbon (HC) adalah bahan bakar mentah yang tidak terbakar selama proses pembakaran di dalam ruang bakar, emisi HC beraromakan bensin yang terasa perih di mata yang menyebabkan iritasi pada mata, hidung, paru-paru dan gangguan pernafasan. Semakin tinggi nilai HC berarti tenaga kurang dan konsumsi bahan bakar meningkat. Karbon dioksida (CO₂) sangat banyak berguna bagi tumbuh-tumbuhan pada proses asimilasi. Semakin tinggi substansi CO₂ dalam gas mengindikasikan bahwa semakin baik pembakaran dalam mesin. Oksigen (O₂) ini merupakan sisa oksigen yang tidak terbakar selama proses pembakaran akibat dari

pembakaran yang tidak sempurna. Makin tinggi kadar O_2 dalam gas buang mesin mengindikasikan bahwa pembakaran miskin dan sebaliknya. Kadar O_2 yang berlebihan dalam gas buang mengindikasikan bahwa pembakaran terjadi dengan miskin.

