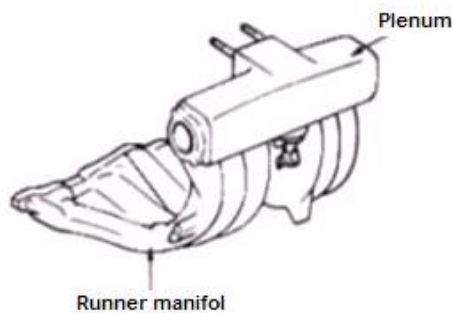


2. TEORI PENUNJANG

2.1. Pengertian *Intake Manifold*

Intake manifold merupakan sistem perpipaan yang dirancang untuk mengirimkan udara atau campuran udara-bahan bakar ke dalam masing-masing silinder secara merata.



Gambar 2.1. Bagian – bagian intake manifold

Sumber : Philip Kristanto, Motor Bakar Torak : Teori dan Aplikasinya

Manifol masukan secara aktual terdiri dari dua bagian berbeda yang dapat diseting secara terpisah. Kedua bagian itu adalah:

- **Plenum**, atau ruang pasokan udara (*air intake chamber*) merupakan suatu ruang udara diantara trotoel bodi dan lorong (*runner*) manifold masukan. Ruang ini berfungsi untuk mendistribusikan aliran udara secara merata ke berbagai silinder dan meredam getaran udara masukan yang terputus-putus yang berakibat pengukuran volume udara masukan menjadi tidak akurat.
- **Lorong** (*runner*), menghubungkan plenum ke setiap silinder.

Pada umumnya, volume plenum motor konvensional (*naturally aspirated engine*) sekitar 80% dari kapasitas motor, sedangkan motor yang menggunakan sistim pengisian tekan membutuhkan volume sekitar 150% dari kapasitas motor.

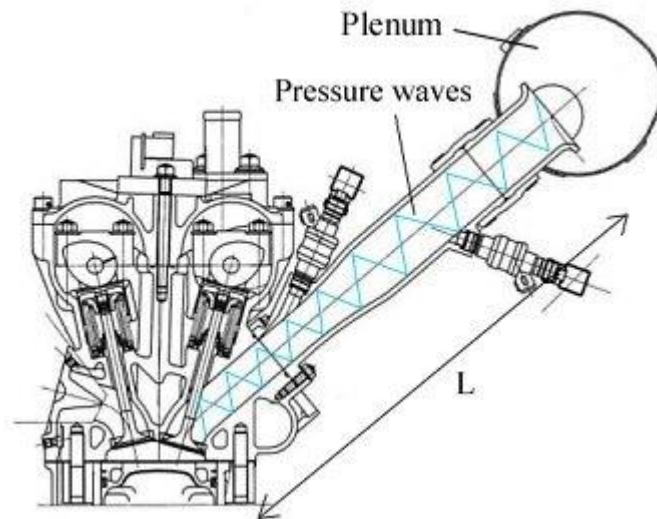
Untuk meminimalisir hambatan alir, pipa lorong diupayakan tidak memiliki tekukan yang tajam, dan permukaan dinding bagian dalam pipa harus rata dan halus tanpa tonjolan. Aliran udara/bahan bakar ke dalam silinder umumnya aliran rotasi. Hal ini untuk meningkatkan penguapan, pencampuran, dan kecepatan perambatan nyala api. Diameter dan panjang lorong manifold masuk mempengaruhi kurva daya motor. Diameter berpengaruh terhadap titik di mana daya puncak dicapai, sedangkan panjang lorong berpengaruh terhadap besar daya yang tersedia pada berbagai rentang putaran motor (RPM). Lorong yang lebih panjang menghasilkan tenaga yang lebih baik pada RPM rendah, sedang lorong yang lebih pendek menghasilkan tenaga lebih baik pada RPM tinggi.

Jika diameter lorong diperbesar, hambatan aliran berkurang, tetapi menurunkan kecepatan aliran. Menurunnya kecepatan aliran, menghasilkan pencampuran udara dan bahan bakar yang buruk dan mengurangi keakuratan distribusi antar silinder. Jadi, dibutuhkan kompromi dalam desain.

Untuk mobil jalan (*street car*) modifikasi atau mobil reli (*rally car*), diameter lorong sekitar 80% diameter katup hisap untuk motor dengan dua-katup per silinder, atau berukuran sama dengan diameter katup hisap pada motor dengan empat-katup per silinder.

Untuk mobil berkinerja tinggi, misalnya untuk mobil lomba *drag*, diameter lorong sekitar 90% diameter katup hisap pada motor dengan dua-katup per silinder, atau kira-kira 110% diameter katup hisap pada motor dengan empat-katup per silinder.

Setiap kali katup masuk terbuka pada saat langkah hisap, kevakuman (penurunan tekanan) di dalam silinder menghasilkan gelombang tekanan negatif yang merambat dengan kecepatan suara melalui kolom udara. Dengan segera, udara ditarik masuk karena penurunan tekanan ini. Sebagai akibatnya, suatu pantulan gelombang tekanan positif dihasilkan berkaitan dengan inersia udara, dan ini menyebabkan pulsa tekanan merambat kembali ke saluran katup masuk (*intake port*).



Gambar 2.2. Ilustrasi Pantulan Gelombang

Sumber : http://www.autozine.org/technical_school/engine/Intake_exhaust.html

Waktu yang dibutuhkan gelombang tekanan untuk merambat bolak-balik sepanjang lorong, secara empiris dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\text{Kecepatan suara} = \frac{\text{Jarak perambatan pulsa gelombang}}{\text{Waktu yang digunakan}}$$

Sehingga waktu yang digunakan untuk menjalani lintasan bolak-balik adalah jarak rambatan pulsa gelombang / kecepatan suara, atau

$$t = \frac{2L}{1000c} \text{ (sekon)} \quad (2-1)$$

dimana:

t = waktu rambatan pulsa sepanjang lintasan dan kembali lagi (s)

L = panjang lintasan dari ujung terbuka ke masukan kepala katup (mm)

C = kecepatan suara melalui udara (kira-kira 330 m/s)

Pergeseran sudut poros engkol selama interval waktu yang sama dinyatakan dengan:

$$\theta_t = t \times \frac{360}{60} N \quad (2-2)$$

Dengan menggabungkan persamaan (2-1) dan (2-2) diperoleh:

$$\theta_t = \frac{0,012 L N}{c} \quad (2-3)$$

dimana:

θ_t = pergeseran sudut poros engkol (*derajat*)

N = putaran poros engkol (*Rpm*)

Hasil ekeperimen menunjukkan bahwa **nilai optimum θ_t** adalah antara **80°** dan **90°**. Persamaan (2-3) dapat digunakan untuk melakukan penyesuaian (*tuning*) panjang lintasan masuk pada setiap kecepatan motor untuk memanfaatkan *efek tumbukan gelombang*.

Sebuah makalah pada IJARIE (*International Journal of Advanced Research and Innovative Ideas in Education*) berjudul *A Review Paper on Effect of Intake Manifold Geometry on Performance of IC Engine* (Bayas. J, et.al. 2016) merangkum beberapa hasil penelitian yang pernah dilakukan berkaitan dengan geometri *intake manifold*.

Sebuah penelitian dilakukan oleh Gilbert Sammut dan Alex C Alkidas (SAE 2007-01-0492) menggunakan simulasi 1-D dengan pendekatan data eksperimental membuktikan bahwa modifikasi pada intake manifold berpengaruh signifikan pada efisiensi volumetris akibat peningkatan tekanan udara pada silinder. Pada penelitian ini dilakukan variasi pada sistem *intake* dan *exhaust* tiap 0.1 m untuk kecepatan 1200 RPM – 1500 RPM. Juga dilakukan variasi pada *timing* katup untuk memperpanjang durasi bukaan katup tanpa mengubah *lift*. Dari penelitian ini diambil kesimpulan :

- *Tuning* pada *intake* meningkatkan kemampuan pernafasan mesin melampaui batasan yang dapat dihasilkan oleh intake tanpa pipa, dan memiliki dampak negatif pada prestasi mesin di atas kecepatan tertentu. Diperlukan adanya ketelitian dalam desain untuk mendapatkan prestasi terbaik melalui tuning intake.
- *Tuning* pada *intake* memiliki dampak yang lebih besar dibanding pada *exhaust* dan memperlihatkan kontribusi yang positif untuk rentang variasi panjang yang lebih luas pada kecepatan motor yang diberikan.
- *Tuning intake* dan *exhaust* adalah dua hal yang independent dan dampaknya pada mesin adalah hasil akhir dari kontribusi masing – masing secara individual.

Pada penelitian berjudul “*The Effects of Intake Geometry on SI Engine Performance*” (L.J. Hamilton, et.al) , penelitian *intake manifold* dilakukan menggunakan mesin sepeda motor Honda CBR600F4i dengan variasi ubahan panjang intake manifold per 0.5 m. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa

- Efisiensi volumetris bervariasi dari 50% - 110% dan torsi yang didapatkan bervariasi dari 20 Nm – 55 Nm pada putaran mesin 3000 RPM hingga 12.500 RPM.
- Hasil eksperimen dan simulasi menunjukkan panjang *runner* intake manifold berdampak signifikan pada efisiensi volumetris dan torsi pada mesin.
- Tekukan pada *runner* tidak memberikan pengaruh signifikan pada efisiensi volumetris dan torsi mesin.
- Pantulan gelombang bolak – balik meningkatkan pernafasan mesin secara signifikan. Runner pendek dengan frekuensi pantulan gelombang lebih banyak menghasilkan performa lebih baik dibanding runner panjang, dikarenakan oleh hambatan alir pada *runner* panjang.

2.2. Teori Prestasi Motor / Engine Performance

2.2.1. Daya dan Torsi

Daya dan torsi adalah ukuran yang menggambarkan output kinerja dari motor pembakaran dalam. Kedua parameter ini menjelaskan dua elemen kinerja yang berbeda, tergantung dari penggunaan kendaraan. Jadi pada saat merancang kendaraan, produsen harus mempertimbangkan fungsi dari kendaraan itu sendiri.

Sebuah mobil sport lebih membutuhkan daya yang besar dibanding torsi yang besar, karena mobil sport memiliki bobot yang ringan sehingga tidak memerlukan torsi yang terlalu besar. Sebaliknya, sebuah mobil angkutan berat membutuhkan torsi yang lebih besar dan tidak memerlukan daya terlalu besar.

Ketika piston bergerak dari TMA ke TMB selama langkah daya, sebuah gaya diberikan ke batang penghubung (connecting rod) yang menghubungkan piston dengan bantalan poros engkol sehingga poros engkol berputar. Gaya putar yang

diterapkan untuk poros engkol ini disebut torsi. Jadi torsi menyatakan kemampuan motor untuk melakukan kerja. Satuan ukuran untuk torsi adalah Newton-meter (Nm).

Hubungan torsi dengan kerja rem dinyatakan dengan :

$$2\pi\tau = Wb = (bmep) \frac{V_L}{n} \quad (2-4)$$

τ = Torsi

Wb = Kerja rem

$BMEP$ = Brake Mean Effective Pressure (Tekanan efektif rata – rata pengereman)

V_L = Volume langkah

n = jumlah putaran per siklus. Untuk motor 2-langkah = 2π , untuk motor 4-langkah = 4π

Dalam persamaan ini, $BMEP$ dan Wb digunakan karena torsi merupakan ukuran keluaran poros engkol. Motor diesel pada umumnya mempunyai torsi lebih tinggi dibanding motor bensin.

Jika torsi menyatakan ukuran kemampuan motor untuk dapat melakukan kerja, maka daya adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan seberapa besar kerja yang dapat dilakukan dalam suatu periode waktu tertentu. Jadi daya menyatakan ukuran kelajuan di mana kerja dilakukan. Dengan kata lain, jika torsi menentukan apakah suatu motor dapat menggerakkan kendaraan melalui suatu rintangan, daya menentukan seberapa cepat kendaraan mampu bergerak di atas rintangan itu.

Jika n = banyaknya putaran per siklus dan N = kecepatan motor, maka :

$$\dot{W} = W \frac{N}{n} \quad (2-5)$$

$$\dot{W} = 2\pi N\tau \quad (2-6)$$

$$W = \left(\frac{1}{2n}\right) (mep) A_t \bar{v}_t \quad (2-7)$$

Dimana :

W_b = kerja rem satu putaran

V_L = Volume langkah

n = jumlah putaran per siklus

A_t = luasan muka torak dari semua torak

\bar{v}_t = kecepatan torak purata

Dari definisi kerja atau MEP yang digunakan, di dalam persamaan (2-5) sampai (2-7), daya dapat dinyatakan sebagai daya rem, daya indikasi bersih (*net indicated power*), daya indikasi kotor (*gross indicated power*), daya pompa, bahkan daya gesekan.

$$\dot{W}_b = \eta_m \dot{W}_i \quad (2-8)$$

$$(\dot{W}_i)_{neto} = (\dot{W}_i)_{kotor} - (\dot{W}_i)_{pompa} \quad (2-9)$$

$$\dot{W}_b = \dot{W}_i - \dot{W}_p \quad (2-10)$$

Dimana η_m = Efisiensi motor.

Daya dinyatakan melalui kW atau daya kuda (Horsepower / HP), dimana hubungannya dinyatakan melalui :

$$1 \text{ HP} = 0.7457 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 1.341 \text{ HP}$$

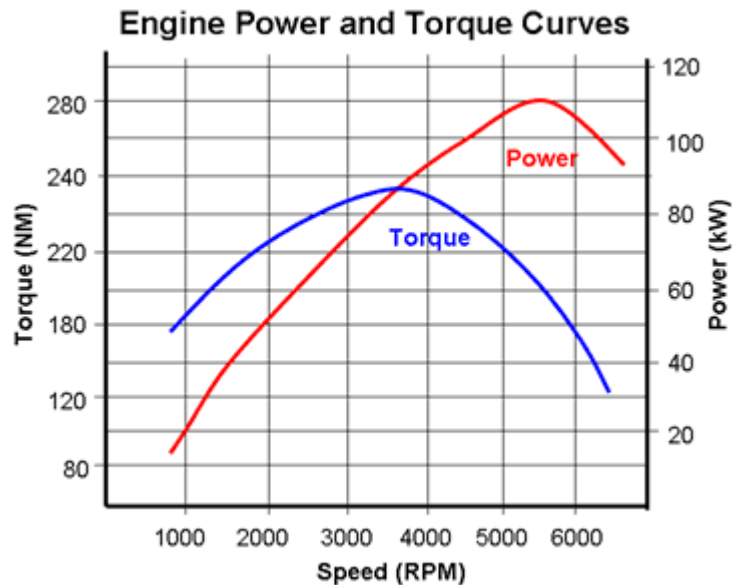
$$1 \text{ PS} = 0.7355 \text{ kW}$$

Torsi maupun daya merupakan fungsi kecepatan motor. Pada kecepatan rendah, torsi meningkat dengan meningkatnya kecepatan motor. Saat kecepatan motor ditingkatkan lebih lanjut, torsi mencapai maksimum dan kemudian berkurang. berkurangnya torsi pada kecepatan yang lebih tinggi karena motor tidak mampu mencerna muatan udara yang penuh.

Untuk memperoleh daya yang lebih besar dapat dilakukan dengan meningkatkan volume langkah, MEP, dan/atau kecepatan. Meningkatkan volume langkah berarti meningkatkan massa motor dan kebutuhan ruang. Keduanya bertentangan dengan kecenderungan desain mobil masa kini. Karena alasan ini, motor modern dibuat lebih kecil tetapi dapat berputar dengan kecepatan lebih tinggi, dan sering dilengkapi dengan *supercharger* atau *turbocharger* untuk meningkatkan MEP.

2.2.2. Grafik Daya – Torsi.

Berdasarkan persamaan $\dot{W} = W \frac{N}{n}$, nampak bahwa daya berbanding lurus terhadap putaran motor. Semakin tinggi putaran motor semakin besar daya yang dihasilkan. Hal ini disebabkan semakin tinggi putaran motor, semakin banyak langkah kerja yang dilakukan. Dengan demikian muncul anggapan bahwa daya akan meningkat secara linier terhadap putaran.



Gambar 2.3. Grafik Daya-Torsi

Sumber : https://qph.is.quoracdn.net/main-qimg-a69447cd5dc3409a047fcc11d1eb950c?convert_to_webp=true

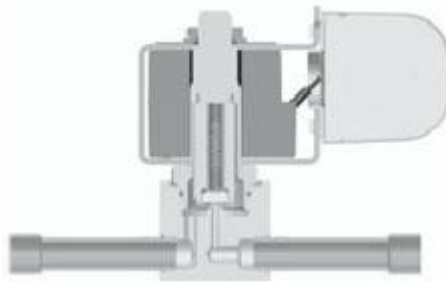
Pada kenyataannya tidak demikian. Pada pengujian dengan beban penuh atau katup gas terbuka penuh (*Wide Open Throttle*, WOT), kurva daya hanya linier sampai pada kecepatan tertentu. Jika putaran motor dinaikkan lagi, terbentuk kurva lengkung,

bahkan mengarah ke bawah. Hal ini terjadi karena pada putaran lebih tinggi, perbedaan antara kecepatan gerak translasi torak dan durasi pembukaan katup terlalu besar sehingga derajat pengisian silinder menjadi lemah. Akibatnya, tekanan efektif pada torak berkurang dan kerja per siklus yang dihasilkan menjadi rendah.

2.3. Solenoid Valve

Katup solenoid (*solenoid valve*) adalah suatu piranti yang mengatur pembukaan / penutupan suatu aliran fluida / gas secara elektronik. Katup solenoid digunakan untuk menggantikan katup konvensional. Prinsip katup solenoid adalah membuka dan menutup suatu lubang *orifice* pada *valve body* yang mengizinkan / menghalangi aliran untuk melewati katup. Mekanisme buka – tutup pada lubang ini dilakukan oleh sebuah *plunger* yang dinaik-turunkan pada sebuah *sleeve tube* dengan memberikan energi pada sebuah *coil*.

Sebuah *solenoid valve* terdiri atas *coil*, *plunger*, dan sebuah konstruksi *sleeve*. Pada *solenoid valve* berjenis *Normally Closed*, sebuah pegas pengembali menahan *plunger* untuk menutup aliran pada katup. Ketika *coil* diberi energi, terjadi medan magnet yang membuka *plunger* supaya aliran dapat diteruskan. Pada solenoid valve berjenis *Normally Open*, yang terjadi adalah sebaliknya. Ketika *coil* diberi energi, medan magnet akan mendorong *plunger* untuk menutup lubang *orifice* pada katup.



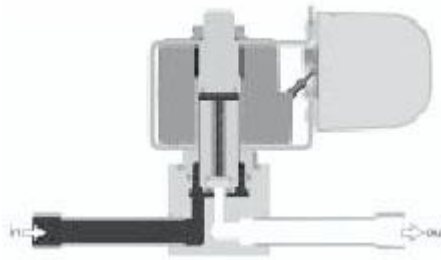
Gambar 2.4. Jenis Solenoid Valve 2-way.

Sumber : www.achrnews.com/articles/92540-understanding-solenoid-valves.

Cara pengoperasian *solenoid valve* ada 2 jenis :

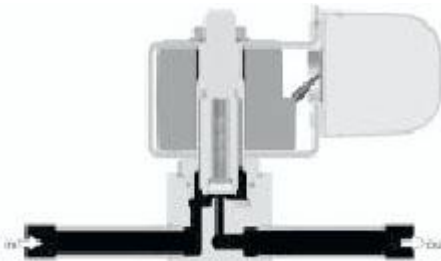
1. *Direct Operated*

Pengoperasian jenis *Direct Operated* berfungsi untuk secara langsung membuka / menutup lubang *orifice* yang utama, yang merupakan satu – satunya jalur di katup. Jenis *direct operated* biasanya digunakan untuk suatu sistem yang memiliki kapasitas alir yang kecil atau penggunaan dengan perbedaan tekanan yang kecil. Permukaan yang membuka dan menutup *orifice* terhubung ke *plunger*. Katup beroperasi dari perbedaan tekanan 0 hingga perbedaan tekanan maksimum yang ditentukan (*maximum rated pressure differential / MOPD*) berdasarkan pada tekanan pada jalur. Penurunan tekanan / *pressure drop* pada katup tidak diperlukan untuk menahan pembukaan katup.



Gambar 2.5. kondisi katup tertutup pada *Direct Operated*

Sumber : www.achrnews.com/articles/92540-understanding-solenoid-valves.

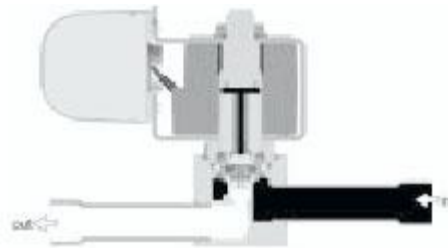


Gambar 2.6. kondisi katup terbuka pada *Direct Operated*

Sumber : www.achrnews.com/articles/92540-understanding-solenoid-valves

2. *Pilot Operated*

Solenoid Valve jenis *pilot operated* adalah yang paling umum digunakan. Pada sistem ini menggunakan tekanan dari jalur sistem untuk membuka dan menutup *orifice* pada *valve body*. Pada katup berjenis piston, *orifice* ditahan oleh tekanan pegas pengembali dan tekanan fluida. Pada katup jenis *Normally Closed*, piston membuka ketika operator diberi energi. Fluida bergerak ke belakang piston dan bergerak menuju outlet. Pada titik ini, tekanan fluida mendorong piston lalu membuka dan mengizinkan aliran berkapasitas besar melalui katup. Pada sistem *normally open*, tekanan fluida terkumpul ke belakang piston, mendorong piston untuk menutup *orifice* pada katup.



Gambar 2.6. Kondisi katup tertutup pada *Pilot Operated*.

Sumber : www.achrnews.com/articles/92540-understanding-solenoid-valves



Gambar 2.7. Kondisi katup terbuka pada *Pilot Operated*.

Sumber : www.achrnews.com/articles/92540-understanding-solenoid-valves