**BAB III**

**LANGKAH PERANCANGAN**

**DAN PERHITUNGAN**

**3.1 Langkah Perancangan**

Perancangan merupakan tahap awal dari pembuatan sebuah produk. Tahap ini yang akan menentukan hasil akhir dari sebuah produk yang akan di buat hampir secara keseluruhan. Dalam perancangan ini, banyak hal-hal yang harus ditinjau terlebih dahulu.Untuk mempermudah langkah-langkah perancangan yang lebih teratur, maka dibuat diagram alir perancangan seperti yang dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir

**3.2 Kondisi Perancangan**

Perancangan motor bakar torak 4 langkah ini didasari oleh beberapa pertimbangan-pertimbangan tertentu. Motor bakar ini harus memiliki kriteria seperti:

* Mengunakan satu silinder.
* Tipe mesin 4 langkah.
* Mengunakan bahan bakar bensin.
* Untuk pemasukan bahan bakarnya secara alami.
* Mengunakan jenis katup SOHC.

**3.3 Identifikasi dan Survei Lapangan**

Banyak jenis motor bakar torak yang sudah ada dilapangan yaitu , motor bakar torak 4 langkah, motor bakar torak 2 langkah dan motor Diesel. Dalam tugas akhir ini dipilih motor bakar torak 4 langkah, motor bakar torak ini lebih sederhana dan lebih ringan.

Setelah melakukan survei, didapat berbagai jenis motor bakar torak 4 langkah. Berikut ini jenis motor bakar torak 4 langkah yang ada dipasaran dan spesifikasinya:

* Tipe mesin : 4 Langkah, SOHC, 2 klep

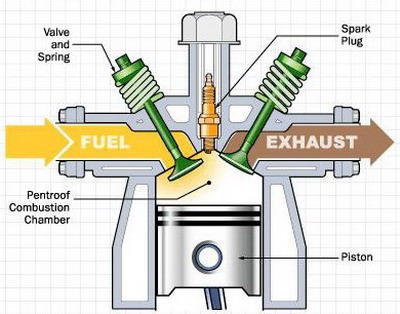
dan Pendingin udara

* Diameter x Langkah : 51,0 x 54,0 mm
* Volume silinder : 110,3 cc
* Perbandingan kompresi : 9,3 : 1
* Power maksimum : 8,8 HP pada putaran

8000 rpm

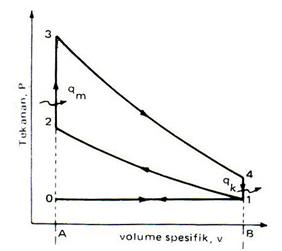
* Torsi maksimum : 0,92 kgf.M pada putaran

5000 rpm



Gambar 3.2 Motor 4 langkah

**3.4 Perubahan Temperatur Maksimum Pada Siklus Udara Volume Konstan**



Gambar 3.3 Siklus udara volume konstan (Siklus Otto)

* **Volume Langkah (VL)**

VL = L

= 5,4

= 20,42 **.** 5,4

= 110,3 cm3

* **Volume Sisa (VS)**

r = =

r =

r = +1

= r – 1

VS =

=

=

= 13,28 cm3

* **Volume Total (Vtot)**

Vtot = VL + Vs

= 110,3 + 13,28

= 123,58 cm3

* **Kerja Langkah Isap (0-1)**

W0-1 = Po (V1 – V0)

= 101325 (123,58 x 10-6 – 13,28 x 10-6)

= 101325 **.** 0,1103 x 10-3

= 11,17 J

Dengan catatan,

P0 = 1 atm = 101325 pa

*Positif,* berarti fluida kerja *melakukan* kerja. Selama proses langkah isap tekanannya konstan atau dianggap tetap.

* **Kerja Langkah Kompresi (1-2)**

mudara = *ρ*udara **.** Vtot

= 1,29 **.** 123,58 x 10-6

= 159,41 x 10-6 kg

T2 = T1

= 303 (9,3)1,4-1

= 303 (9,3)0,4

= 303 **.** 2,44

= 739,32 K

W1-2 = mu **.** cv (T1 – T2)

= 159,41 x 10-6 **.** 718,03 (303 - 739,32)

= 0,11 (-436,32)

= -47,99 J

Dengan catatan,

*ρ*udara = 1,29 kg/m3

cv = 0,1715 Kcal/kg (Perbandingan kalor pada volume konstan).

= 718,03 J/kg

k = 1,4 (Perbandingan kalor spesifik).

T1 = 30 oC

= 303 K

*Negatif,* berarti fluida kerja *dikenai* kerja. Pada proses ini tekanan dan temperatur fluida kerja pada akhir langkah kompresi akan bertambah besar sesui dengan kenaikan perbandingan kompresi.

* **Pemasukan Kalor pada Volume Konstan (2-3)**

W2-3 = 0

T3 = 1000 oC

= 1273 K

Q2-3 = mu **.** cv (T3 – T2)

= 159,41 x 10-6 **.** 0,171 (1273 – 739,32)

= 27,25 x 10-6 **.** 533,62

= 14541,14 x 10-6 Kcal

= 60,88 J

Dengan catatan,

1 cal = 4,1868 J

*Positif,* menyatakan bahwa kalor *masuk* ke dalam silinder. Gas pembakaran di dalama silinder dapat mencapai temperatur Tmax = 2500 oC, temperatur dititik tiga dipilih T3 = 1000 oC. Perubahan tempetarur maksimun mempengruhi pemasukan kalor pada volume konstan.

* **Kerja Langkah Ekspansi atau Langkah Kerja (3-4)**

T4 = T3

= 1273

= 1273 (0,1)0,4

= 1273 **.** 0,4

= 521,6 K

W3-4 = mu **.** cv (T3 – T4)

= 159,41 x 10-6 **.** 718,03 (1273 – 521,6)

= 0,11 **.** 751,39

= 82,65 J

Dengan catatan,

V4 = V1

V2 = V3

* **Pengeluaran Kalor (4-1)**

W4-1 = 0

Q4-1 = mu **.** cv (T1 – T4)

= 159,41 x 10-6 **.** 0,171 (303 – 521,6)

= 27,25 x 10-6 (-218,6)

= -5956,85 x 10-6 Kcal

= -24,94 J

*Negatif* menyatakan bahwa kalor *keluar* dari dalam silinder.

* **Kerja Langkah Buang (1-0)**

W1-0 = Po (V0 – V1)

= 101325 (13,28 x 10-6 – 123,58 x 10-6)

= 101325 (-110,3 x 10-6)

= -11,17 J

*Negatif,* berarti fluida kerja *dikenai* kerja. Dalam proses ini fluida kerja didorong ke luar silinder oleh torak yang bergerak dari TMB ke TMA pada tekanan konstan.

* **Kerja Netto Per Siklus**

Wnetto = Qmasuk - Qkeluar

= 60,88 – (-24,94)

= 85,82 J

* **Tekanan Rata-rata**

Prata-rata =

=

=

= 0,77 J/cm3

= 7,84 kg/cm2

Dengan catatan,

1 J/cm3 = 10,19 kg/cm2

* **Efisiensi**

= 1 -

= 1 -

= 1 – 0,4

= 0,60

* **Daya Motor**

N = Prata-rata x VL x z x n x a x

=

=

=

= 7,69 PS

= 7,58 hp

Dengan catatan,

N = Daya motor, PS

Prata-rata = Tekanan efektif rata-rata, kg/cm2

z = Jumlah silinder

n = Putaran poros engkol, putaran per menit

a = Jumlah siklus per putaran,

= 1 untuk motor 2 langkah

= untuk motor 4 langkah

1 PS = 0,986 hp

Tabel 3.1 Siklus Volume Konstan Pada Tmak = 1000 oC

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Proses** | **Temperatur, K** | **Jumlah kalor, J** | **Kerja, J** |
| 0 - 1 | T0 = 0 | 0 | 11,17 |
| 1 - 2 | T1  = 303 | 0 | -47,99 |
| 2 -3 | T2 = 739,32 | 60,88 | 0 |
| 3 -4 | **T3 = 1273** | 0 | 82,65 |
| 4 - 1 | T4 = 521,6 | -24,94 | 0 |
| 1 – 0 |  | 0 | -11,17 |
| **Wnetto** | 85,82 J | | |
| **Prata-rata** | 7,85 kg/cm2 | | |
|  | 0,60 | | |
| **N** | 7,58 hp | | |

Tabel 3.2 Siklus Volume Konstan Pada Tmak = 1100 oC

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Proses** | **Temperatur, K** | **Jumlah kalor, J** | **Kerja, J** |
| 0 - 1 | T0 = 0 | 0 | 11,17 |
| 1 - 2 | T1  = 303 | 0 | -47,99 |
| 2 -3 | T2 = 739,32 | 72,29 | 0 |
| 3 -4 | **T3 = 1373** | 0 | 90,61 |
| 4 - 1 | T4 = 549,2 | -28,08 | 0 |
| 1 – 0 |  | 0 | -11,17 |
| **Wnetto** | 100,37 J | | |
| **Prata-rata** | 9,27 kg/cm2 | | |
|  | 0,60 | | |
| **N** | 8,95 hp | | |

Tabel 3.3 Siklus Volume Konstan Pada Tmak = 1200 oC

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Proses** | **Temperatur, K** | **Jumlah kalor, J** | **Kerja, J** |
| 0 - 1 | T0 = 0 | 0 | 11,17 |
| 1 - 2 | T1  = 303 | 0 | -47,99 |
| 2 -3 | T2 = 739,32 | 83,7 | 0 |
| 3 -4 | **T3 = 1473** | 0 | 97,21 |
| 4 - 1 | T4 = 589,2 | -32,65 | 0 |
| 1 – 0 |  | 0 | -11,17 |
| **Wnetto** | 116,35 J | | |
| **Prata-rata** | 10,7 kg/cm2 | | |
|  | 0,60 | | |
| **N** | 10,34 hp | | |

Tabel 3.4 Siklus Volume Konstan Pada Tmak = 1300 oC

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Proses** | **Temperatur, K** | **Jumlah kalor, J** | **Kerja, J** |
| 0 - 1 | T0 = 0 | 0 | 11,17 |
| 1 - 2 | T1  = 303 | 0 | -47,99 |
| 2 -3 | T2 = 739,32 | 95,11 | 0 |
| 3 -4 | **T3 = 1573** | 0 | 103,81 |
| 4 - 1 | T4 = 626,22 | -37,21 | 0 |
| 1 – 0 |  | 0 | -11,17 |
| **Wnetto** | 132,32 J | | |
| **Prata-rata** | 12,12 kg/cm2 | | |
|  | 0,60 | | |
| **N** | 11,71 hp | | |

Tabel 3.5 Siklus Volume Konstan Pada Tmak = 1400 oC

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Proses** | **Temperatur, K** | **Jumlah kalor, J** | **Kerja, J** |
| 0 - 1 | T0 = 0 | 0 | 11,17 |
| 1 - 2 | T1  = 303 | 0 | -47,99 |
| 2 -3 | T2 = 739,32 | 106,52 | 0 |
| 3 -4 | **T3 = 1673** | 0 | 110,76 |
| 4 - 1 | T4 = 666,03 | -41,41 | 0 |
| 1 – 0 |  | 0 | -11,17 |
| **Wnetto** | 147,93 J | | |
| **Prata-rata** | 13,65 kg/cm2 | | |
|  | 0,60 | | |
| **N** | 13,20 hp | | |

Tabel 3.6 Siklus Volume Konstan Pada Tmak = 1500 oC

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Proses** | **Temperatur, K** | **Jumlah kalor, J** | **Kerja, J** |
| 0 - 1 | T0 = 0 | 0 | 11,17 |
| 1 - 2 | T1  = 303 | 0 | -47,99 |
| 2 -3 | T2 = 739,32 | 117,93 | 0 |
| 3 -4 | **T3 = 1773** | 0 | 117,38 |
| 4 - 1 | T4 = 705,84 | -45,96 | 0 |
| 1 – 0 |  | 0 | -11,17 |
| **Wnetto** | 163,89 J | | |
| **Prata-rata** | 15,14 kg/cm2 | | |
|  | 0,60 | | |
| **N** | 14,63 hp | | |

**3.5** **Perubahan Dimeter Silinder Pada Siklus Udara Volume Konstan**

Nporos = 8,8 hp

Nindikator =

=

= 10,35 hp

Nideal =

=

= 13,803

T3 = 1445 oC

Hubungan antara daya poros, daya indikator, daya ideal dan temperatur maksimum pada siklus udara volume konstan. Dengan daya poros 8,8 hp, akan menghasilkan temperatur maksimum 1445 oC.

**3.5.1 Dengan Volume Sisa Berubah-ubah**

* **Langkah Volume Sisa (S)**

Vs = S

S =

=

=

= 0,65 cm2

* **Volume Sisa (Vs)**

Vs = S

= 0,65

= 0,65

= 22,07 **.** 0,65

= 14,34 cm3

* **Volume Langkah (VL)**

VL = L

= 5,4

= 5,4

= 22,07 **.** 5,4

= 119,18 cm3

* **Perbandingan Kompresi (r)**

r =

=

=

= 9,3

* **Volume Total (Vtot)**

VL = VL + VS

= 119,18 + 14,34

= 133,53 cm3

* **Kerja Langkah Isap (0-1)**

W0-1 = Po (V1 – V0)

= 101325 (133,53 x 10-6 – 14,35 x 10-6)

= 101325 **.** 0,1191 x 10-3

= 12,07 J

* **Kerja Langkah Kompresi (1-2)**

mudara = *ρ*udara **.** Vtot

= 1,29 **.** 133,53 x 10-6

= 172,25 x 10-6 kg

T2 = T1

= 303 (9,3)1,4-1

= 303 (9,3)0,4

= 303 **.** 2,44

= 739,32 K

W1-2 = mu **.** cv (T1 – T2)

= 172,25 x 10-6 **.** 718,03 (303 - 739,32)

= 0,12 (-436,32)

= -52,35 J

* **Pemasukan Kalor pada Volume Konstan (2-3)**

W2-3 = 0

**T3 = 1445 oC**

= 1718 K

Q2-3 = mu **.** cv (T3 – T2)

= 172,25 x 10-6 **.** 0,171 (1718 – 739,32)

= 29,45 x 10-6 **.** 978,68

= 28822,12 x 10-6 Kcal

= 120,67 J

* **Kerja Langkah Ekspansi atau Langkah Kerja (3-4)**

T4 = T3

= 1718

= 1718 (0,1)0,4

= 1718 **.** 0,4

= 683,94 K

W3-4 = mu **.** cv (T3 – T4)

= 172,25 x 10-6 **.** 718,03 (1718 – 683,94)

= 0,12 **.** 103,06

= 124,08 J

* **Pengeluaran Kalor (4-1)**

W4-1 = 0

Q4-1 = mu **.** cv (T1 – T4)

= 172,25 x 10-6 **.** 0,171 (303 – 683,94)

= 29,45 x 10-6 (-380,94)

= -11218,68 x 10-6 Kcal

= -46,97 J

* **Kerja Langkah Buang (1-0)**

W1-0 = Po (V0 – V1)

= 101325 (14,35 x 10-6 – 113,53 x 10-6)

= 101325 (-119,18 x 10-6)

= -12,07 J

* **Kerja Netto Per Siklus**

Wnetto = Qmasuk - Qkeluar

= 120,67 – (-46,97)

= 167,64 J

* **Tekanan Rata-rata**

Prata-rata =

=

=

= 1,40 J/cm3

= 14,54 kg/cm2

* **Efisiensi**

= 1 -

= 1 -

= 1 – 0,4

= 0,6

* **Daya Motor**

N = Prata-rata x VL x z x n x a x

=

=

=

= 15,18 PS

= 14,97 hp

Tabel 3.7 Perubahan Dimeter Silinder Pada Siklus Udara Volume Konstan Dengan Volume Sisa Berubah-ubah

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No** | **Diameter x Langkah, mm** | **Volume Langkah,cm3** | **Volume Sisa, cm3** | **Volume Total, cm3** | **Perbandingan Kompresi** | **Wnotto**  **J** | **Prata-rata**  **kg/cm2** | **Efisiensi** | **N**  **hp** |
| 1 | 51 x 54 | 110,35 | 13,28 | 123,63 | 9,3 : 1 | 155,11 | 14,54 | 0,60 | 13,85 |
| 2 | 53 x 54 | 119,18 | 14,35 | 133,53 | 9,3 : 1 | 167,64 | 14,54 | 0,60 | 14,97 |
| 3 | 55 x 54 | 128,34 | 15,46 | 143,80 | 9,3 : 1 | 183,24 | 14,54 | 0,60 | 16,36 |
| 4 | 57 x 54 | 137,85 | 16,60 | 154,45 | 9,3 : 1 | 196,79 | 14,54 | 0,60 | 17,57 |
| 5 | 59 x 54 | 147,69 | 17,79 | 165,48 | 9,3 : 1 | 210,85 | 14,54 | 0,60 | 19,09 |

**3.5.1 Dengan Volume Sisa Konstan/tetap**

* **Volume Langkah (VL)**

VL = L

= 5,4

= 5,4

= 22,07 **.** 5,4

= 119,18 cm3

* **Volume Sisa (VS)**

Vs = 13,28 cm3

= Konstan/tetap

* **Volume Total (Vtot)**

VL = VL + VS

= 119,18 + 13,28

= 132,46 cm3

* **Perbandingan Kompresi (r)**

r =

=

=

= 9,9

* **Kerja Langkah Isap (0-1)**

W0-1 = Po (V1 – V0)

= 101325 (132,46 x 10-6 – 13,28 x 10-6)

= 101325 **.** 0,1191 x 10-3

= 12,07 J

* **Kerja Langkah Kompresi (1-2)**

mudara = *ρ*udara **.** Vtot

= 1,29 **.** 132,46 x 10-6

= 170,87 x 10-6 kg

T2 = T1

= 303 (9,9)1,4-1

= 303 (9,9)0,4

= 303 **.** 2,51

= 758,04 K

W1-2 = mu **.** cv (T1 – T2)

= 170,87 x 10-6 **.** 718,03 (303 - 758,04)

= 0,12 (-455,04)

= -55,82 J

* **Pemasukan Kalor pada Volume Konstan (2-3)**

W2-3 = 0

**T3 = 1445 oC**

= 1718 K

Q2-3 = mu **.** cv (T3 – T2)

= 170,87 x 10-6 **.** 0,171 (1718 – 758,04)

= 29,21 x 10-6 **.** 959,96

= 28048,85 x 10-6 Kcal

= 117,43 J

* **Kerja Langkah Ekspansi atau Langkah Kerja (3-4)**

T4 = T3

= 1718

= 1718 (0,1)0,4

= 1718 **.** 0,4

= 684,64 K

W3-4 = mu **.** cv (T3 – T4)

= 170,87 x 10-6 **.** 718,03 (1718 – 684,64)

= 0,12 **.** 1033,36

= 126,78 J

* **Pengeluaran Kalor (4-1)**

W4-1 = 0

Q4-1 = mu **.** cv (T1 – T4)

= 170,87 x 10-6 **.** 0,171 (303 – 684,64)

= 29,21 x 10-6 (-381,64)

= -11151,05 x 10-6 Kcal

= -46,68 J

* **Kerja Langkah Buang (1-0)**

W1-0 = Po (V0 – V1)

= 101325 (13,28 x 10-6 – 132,46 x 10-6)

= 101325 (-119,18 x 10-6)

= -12,07 J

* **Kerja Netto Per Siklus**

Wnetto = Qmasuk - Qkeluar

= 117,43 - (-46,67)

= 164,11 J

* **Tekanan Rata-rata**

Prata-rata =

=

=

= 1,37 J/cm3

= 14,03 kg/cm2

* **Efisiensi**

= 1 -

= 1 -

= 1 – 0,39

= 0,61

* **Daya Motor**

N = Prata-rata x VL x z x n x a x

=

=

=

= 14,86 PS

= 14,65 hp

Tabel 3.8 Perubahan Dimeter Silinder Pada Siklus Udara Volume Konstan Dengan Volume Sisa Konstan/tetap

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No** | **Diameter x Langkah, mm** | **Volume Langkah, cm3** | **Volume Sisa, cm3** | **Volume Total, cm3** | **Perbandingan Kompresi** | **Wnotto**  **J** | **Prata-rata**  **kg/cm2** | **Efisiensi** | **N**  **hp** |
| 1 | 51 x 54 | 110,35 | 13,28 | 123,63 | 9,3 : 1 | 155,11 | 14,54 | 0,60 | 13,85 |
| 2 | 53 x 54 | 119,18 | 13,28 | 132,46 | 9,9 : 1 | 164,11 | 14,03 | 0,61 | 14,65 |
| 3 | 55 x 54 | 128,34 | 13,28 | 141,62 | 10,6 : 1 | 170,35 | 13,52 | 0,62 | 15,21 |
| 4 | 57 x 54 | 137,85 | 13,28 | 151,13 | 11,3 : 1 | 176,58 | 13,05 | 0,63 | 15,76 |
| 5 | 59 x 54 | 147,69 | 13,28 | 160,97 | 12,1 : 1 | 182,39 | 12,58 | 0,64 | 16,28 |

**3.6 Analisa**

* Grafik Efisiensi vs Temperatur Maksimum

Gambar 3.4 Grafik Efisiensi vs Temperatur Maksimum

* Grafik Daya vs Temperatur Maksimum

Gambar 3.5 Grafik Daya vs Temperatur Maksimum

* Grafik Efisiensi vs Diameter Silinder dengan Volume Sisa Berubah-ubah

Gambar 3.6 Grafik Efisiensi vs Diameter Silinder dengan Volume Sisa Berubah-ubah

* Grafik Daya vs Diameter Silinder dengan Volume Sisa Berubah-ubah

Gambar 3.7 Grafik Daya vs Diameter Silinder dengan Volume Sisa Berubah-ubah

* Grafik Efisiensi vs Diameter Silinder dengan Volume Sisa Konstan/tetap.

Gambar 3.8 Grafik Efisiensi vs Diameter Silinder dengan Volume Sisa Konstan/tetap

* Grafik Daya vs Diameter Silinder dengan Volume Sisa Konstan/tetap.

Gambar 3.9 Grafik Daya vs Diameter Silinder dengan Volume Sisa Konstan/tetap

* Kenaikan temperatur maksimum tidak mengubah Efisiensi dan akan selalu konstan/tetap, Efisiensi hanya dipengaruhi oleh perbandingan kompresi (r).
* Semakin tinggi temperatur pada Tmak, akan mempengaruhi semakin besarnya Daya dan akan selalu linear.
* Perubahan diameter silinder dengan Volume Sisa Berubah-ubah tidak mempengaruhi nilai perbandingan kompresi (r), tidak mempengaruhi Efisiensi dan akan selalu konstan/tetap.
* Semakin besar diameter silinder dengan Volume Sisa Berubah-ubah, akan mempengaruhi Daya menjadi semakin besar dan akan selalu linear.
* Perubahan diameter silinder dengan Volume Sisa Konstan/tetap mempengaruhi nilai perbandingan kompresi dan Efisiensi menjadi semakin besar dan akan selalu linear.
* Semakin besar diameter silinder dengan Volume Sisa Konstan/tetap, akan mempengaruhi Daya menjadi semakin besar dan akan selalu linear.