

LAMPIRAN I
DATA PENGAMATAN

1. Data Pengamatan Pengujian *Internal Combustion Engine*

Tabel 6. Data Pengamatan Pengujian *Internal Combustion Engine*

No.	Tekanan Awal P_0 (psig)	Tekanan Akhir P (psig)	Waktu (detik)	Putaran Poros Engkol <i>Engine</i> (rpm)
1	20	14	34	1057
2	20	14	22	1682
3	20	14	17	2137
4	20	14	14	2718
5	20	14	11	3521

2. Data Hasil Perhitungan Laju Alir Gas Hidrogen

Tabel 7. Data Hasil Perhitungan Laju Alir Gas Hidrogen

No.	Tekanan Awal P_0 (psig)	Tekanan Akhir P (psig)	Waktu (detik)	Putaran Poros Engkol <i>Engine</i> (rpm)	Laju Alir H_2 (ml/s)
1	20	14	34	1057	123
2	20	14	22	1682	190
3	20	14	17	2137	235
4	20	14	14	2718	286
5	20	14	11	3521	381

3. Data Hasil Perhitungan Efisiensi Kerja *Internal Combustion Engine*

Tabel 8. Data Hasil Perhitungan Efisiensi Kerja *Internal Combustion Engine*

No.	Laju Alir H_2 (ml/s)	Putaran Poros Engkol <i>Engine</i> (rpm)	Efisiensi Kerja (η) (%)
1	123	1057	25,71
2	190	1682	26,48
3	235	2137	27,20
4	286	2718	28,43
5	381	3521	27,64

LAMPIRAN II PERHITUNGAN

Tabel 9 .Data Pengamatan

No.	Tekanan Awal (psig)	Tekanan Akhir (psig)	Waktu (detik)	Putaran Poros Engkol (rpm)
1	20	14	34	1057
2	20	14	22	1682
3	20	14	17	2137
4	20	14	14	2718
5	20	14	11	3521

1. Perhitungan Laju Alir Gas Hidrogen

Hukum Gay-Lussac (Gas Ideal) :

$$PV = nRT$$

Untuk pengukuran laju alir gas dari tangki digunakan persamaan:

$$\begin{aligned} v \frac{n \cdot P}{R \cdot T} &= V \frac{n}{R \cdot T} \frac{dP}{dt} \\ \frac{dP}{dt} &= \frac{-v}{V} P \\ \int_{P_0}^P \frac{dP}{P} &= -\frac{v}{V} \int_0^t dt \\ \ln \frac{P}{P_0} &= \frac{-v \cdot t}{V} \\ v &= -\frac{V}{t} \ln \left(\frac{P}{P_0} \right) \end{aligned}$$

Diketahui : Tekanan awal tangki (P_0) = 20 psig + 14,7 psi = $34,7 \text{ psia} \times \frac{1 \text{ atm}}{14,7 \text{ psia}} = 2,36 \text{ atm}$

Tekanan akhir tangki (P) = 14 psig+ 14,7 psi = $28,7 \text{ psia} \times \frac{1 \text{ atm}}{14,7 \text{ psia}} = 1,95 \text{ atm}$

$$\text{Volume tangki} = 22 \text{ L} = 22 \text{ L} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}$$

$$= 0,022 \text{ m}^3$$

$$\text{Waktu} = 34 \text{ detik}$$

Ditanya: Laju Alir Gas Hidrogen keluar Tangki?

Jawab:

$$v = -\frac{V}{t} \ln \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

$$v = \frac{-0,022 \text{ m}^3}{34 \text{ s}} \times \ln \left(\frac{1,95 \text{ atm}}{2,36 \text{ atm}} \right)$$

$$v = 1,23 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \left| \frac{1 \times 10^6 \text{ ml}}{1 \text{ m}^3} \right|$$

$$v = 123 \text{ ml/s}$$

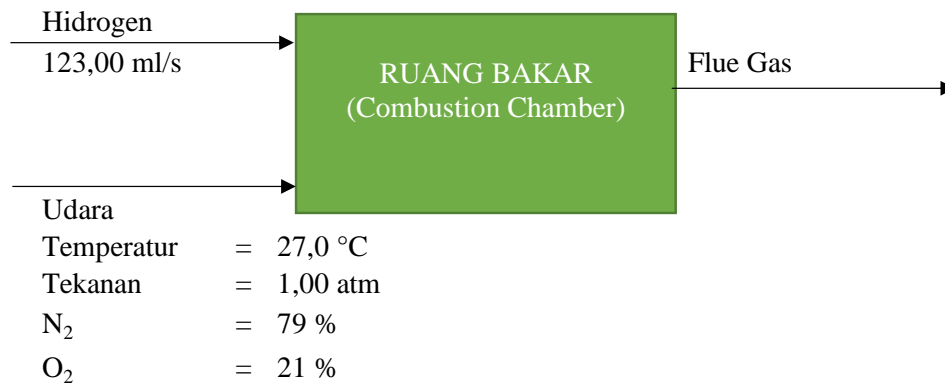
Dengan cara yang sama, maka didapat laju alir gas hidrogen sebagai berikut:

Tabel 10 .Data Laju Alir Gas Hidrogen

No.	Tekanan Awal (psig)	Tekanan Akhir (psig)	Waktu (detik)	Laju Alir Hidrogen (ml/s)
1	20	14	34	123
2	20	14	22	190
3	20	14	17	235
4	20	14	14	286
5	20	14	11	381

2. Perhitungan Neraca Massa Ruang Bakar :

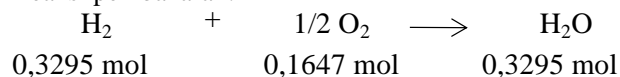
Laju Alir = 123,00 ml/s
 Heating Value Gas H₂ = 68320 kal/g
 Temperatur = 30 °C = 303 K
 Tekanan = 20,00 psig



Basis = 1 menit operasi

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Hidrogen} &= 123 \frac{\text{ml}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1 \text{ mol}}{22,4 \text{ L}} \\
 &= 0,0055 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ menit}} \\
 &= 0,3295 \text{ mol} \times \frac{2 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \\
 &= 0,6589 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Reaksi pembakaran:



Menghitung O₂ teoritis

$$\begin{aligned}
 \text{O}_2 \text{ teoritis} &= 1/2 \times \text{mol H}_2 \\
 &= 0,1647 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{N}_2 \text{ udara} &= \frac{\% \text{N}_2}{\% \text{O}_2} \times \text{mol O}_2 \\
 &= \frac{0,79}{0,21} \times 0,1647 \text{ mol} \\
 &= 0,6197 \text{ mol} \\
 &= 17,3518 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Sedangkan massa udara kering yang disuplai ke ruang bakar adalah :

$$\begin{aligned} \text{massa udara} &= (\text{mol O}_2 + \text{mol N}_2) \times \text{BM udara} \\ &= 0,7844 \text{ mol} \times 28,84 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \\ &= 22,6232 \text{ g} \end{aligned}$$

Menghitung mol H₂O yang terdapat pada udara inlet

$$\text{Temperatur} = 85 \text{ }^\circ\text{F} = 29,70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Relatif humidity} = 85 \%$$

Dari temperatur dan relatif humidity yang diketahui, didapat perpotongan garis grafik humidity dan didapat nilai molal humidity pada temperatur 85 °F dan relatif humidity 85 % adalah sebesar = 0,030 dari jarak nilai molal humidity 0,038 dan 0,042 didapat nilai lbmol H₂O/ lbmol udara kering

$$\text{H}_2\text{O dari} = \omega \times \text{mol udara} \quad (\text{Hougen, 1943})$$

$$\begin{aligned} \text{Udara} &= 0,030 \frac{\text{mol H}_2\text{O}}{\text{mol dry air}} \times 0,7844388 \text{ mol} \\ &= 0,0235 \text{ mol} \\ &= 0,4236 \text{ g} \end{aligned}$$

Adapun massa gas hasil pembakaran yang keluar dari ruang bakar adalah :

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} &= \text{mol H}_2\text{O dari reaksi pembakaran} + \text{mol H}_2\text{O humidity} \\ &= 0,3295 \text{ mol} + 0,0235 \text{ mol} \\ &= 0,3530 \text{ mol} \\ &= 6,3540 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{N}_2 &= \text{N}_2 \text{ dari udara} \\ &= 0,6197 \text{ mol} \\ &= 17,3518 \text{ g} \end{aligned}$$

Tabel 11. Neraca Massa Ruang Bakar

Komponen	Input		Output	
	n (mol)	m (g)	n (kmol)	m (g)
H ₂	0,3295	0,6589	-	-
O ₂	0,1647	5,2714	-	-
H ₂ O	0,0235	0,4236	0,3530	6,3540
N ₂	0,6197	17,3518	0,6197	17,3518
Total		23,7057		23,7057

Basis = 1 menit
 Satuan energi yang digunakan = kalori (kal)
 Untuk menentukan nilai dari kapasitas panas (C_p) setiap komponen digunakan data konstanta panas (A, B, C dan D). Data konstanta panas yang digunakan di dapat dari Coulson, Chemical Engineering Design, 2004 sebagai berikut :
 Data konstanta panas (A, B, C, dan D),

Tabel 12. Konstanta Panas Sensibel

Komponen	A	B	C	D
H ₂	6,4830	2,215E-03	-3,298E-06	1,826E-09
O ₂	6,713	-8,790E-07	4,170E-06	-2,544E-09
N ₂	7,440	-3,240E-03	6,400E-06	-2,790E-09
H ₂ O	7,701	4,595E-04	2,521E-06	-8,590E-10

Sumber: Coulson, Chemical Engineering Design, 2004

3. $Q_1 = \text{Panas Sensibel Bahan Bakar}$

Kondisi operasi :

Temperatur masuk : = 31 °C = 31 °C + 273 K = 304,00 K

$T_{reference}$ = 27 °C = 27°C + 273 K = 300,00 K

Tabel 13. Komponen Bahan Bakar

Komponen	Massa (g)	BM (g/mol)	n (mol)
H ₂	0,6589	2	0,3295
Total	0,6589		0,3295

Tabel 14. Nilai konstanta C_p pada 1 atm

Komponen	a	b	c	d
H ₂	6,4830	2,215E-03	-3,298E-06	1,826E-09

Sumber: Coulson, Chemical Engineering Design, 2004

Untuk menghitung C_p pada 1 atm dapat menggunakan rumus:

$$C_{pm} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} C_p}{T_2 - T_1} \quad (\text{Hougen, 1954})$$

Dimana,

C_{pm} , adalah kapasitas panas rata-rata dengan satuan (kal/mol.K)

T_2 , merupakan temperatur komponen

T_1 , merupakan temperatur referens

$$C_{pm} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} C_p}{T_2 - T_1}$$

$$= \frac{\int_{T_1}^{T_2} (a + (b * T) + (c * T^2) + (d * T^3)) dT}{T_2 - T_1}$$

$$= \frac{a(T_2 - T_1) + \frac{b}{2}(T_2^2 - T_1^2) + \frac{c}{3}(T_2^3 - T_1^3) + \frac{d}{4}(T_2^4 - T_1^4)}{T_2 - T_1}$$

$$C_{pm} H_2 = 6,90 \text{ kal/mol.K}$$

Tabel 15. Tabulasi Perhitungan Panas Sensibel Bahan Bakar

Komponen	n (mol)	Cp (kal/mol K)	ΔT (K)	Q ₁ (kal)
H ₂	0,3295	6,90	4,0	9,0951
Total				9,0951

4. Q₂ = Panas Sensibel Udara

Kondisi operasi :

$$\text{Temperatur masuk} = 31 \text{ }^\circ\text{C} = 31 \text{ }^\circ\text{C} + 273 \text{ K} = 304,00 \text{ K}$$

$$T_{\text{reference}} = 27 \text{ }^\circ\text{C} = 27^\circ\text{C} + 273 \text{ K} = 300,00 \text{ K}$$

Tabel 16. Komponen Udara

Komponen	Massa (g)	BM (g/mol)	n (mol)
O ₂	5,2714	32	0,1647
H ₂ O	0,4236	18	0,0235
N ₂	17,3518	28	0,6197
Total	0,4236		0,0235

Tabel 17. Nilai konstanta Cp pada 1 atm

Komponen	a	b	c	d
O ₂	6,713	-8,790E-07	4,170E-06	-2,544E-09
H ₂ O	7,701	4,595E-04	2,521E-06	-8,590E-10
N ₂	7,440	-3,240E-03	6,400E-06	-2,790E-09

Sumber: Coulson, Chemical Engineering Design, 2004

Untuk menghitung Cp pada 1 atm dapat menggunakan rumus:

$$C_{pm} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} Cp}{T_2 - T_1}$$

Dimana,

C_{pm}, adalah kapasitas panas rata-rata dengan satuan (kal/mol.K)

T₂, merupakan temperatur komponen

T₁, merupakan temperatur referens

$$C_{pm} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} Cp}{T_2 - T_1}$$

$$= \frac{\int_{T_1}^{T_2} (a + (b * T) + (c * T^2) + (d * T^3)) dT}{T_2 - T_1}$$

$$C_{pm} O_2 = \frac{a(T_2 - T_1) + \frac{b}{2}(T_2^2 - T_1^2) + \frac{c}{3}(T_2^3 - T_1^3) + \frac{d}{4}(T_2^4 - T_1^4)}{T_2 - T_1} = 7,02 \text{ kal/mol.K}$$

Tabel 18. Tabulasi Perhitungan Panas Sensibel Udara

Komponen	n (mol)	Cp (kal/mol K)	ΔT (K)	Q ₁ (kal)
O ₂	0,1647	7,0230	4,00	4,6276
H ₂ O	0,0235	8,0460	4,00	0,7574
N ₂	0,6197	6,9684	4,00	17,2734
Total				17,2734

5. Q₃ = Energi Pembakaran H₂

Diketahui :

Heating Value Gas = 68320 kal/g Sumber: Hougen, Olaf A

Flowrate H₂ = 123 $\frac{\text{ml}}{\text{s}}$

$$\begin{aligned} \text{Energy Flow Rate Gas } H_2 &= \text{Flowrate gas } H_2 \times \text{Heating value gas } H_2 \\ H_2 &= 123 \frac{\text{ml}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1 \text{ mol}}{22,4 \text{ L}} \\ &= 0,0055 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \times \frac{2 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \times 68320 \frac{\text{kal}}{\text{g}} \\ &= 750,30 \frac{\text{kal}}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ menit}} \\ &= 45018 \text{ kal} \end{aligned}$$

6. W = Kerja *Internal Combustion Engine*

Putaran poros engkol = 1057 rpm

Torsi *Internal Combustion Engine* = 7,3 N.m

$$W = 2\pi n \tau \quad (\text{Heywood, John B, Internal Combustion Fundamentals, 1988})$$

$$\begin{aligned} W &= 2 \times \pi \times \frac{1057 \text{ rotasi}}{\text{menit}} \times 7,3 \text{ N.m} \times 1 \text{ menit} \\ &= 48457,108 \text{ N.m} \times \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ N.m}} \times \frac{0,239 \text{ kal}}{1 \text{ J}} \\ &= 11581,24881 \text{ kal} \end{aligned}$$

7. η = Efisiensi Kerja *Internal Combustion Engine*

$$\eta = \frac{W}{Q_{in}} \quad (\text{Heywood, John B, Internal Combustion Fundamentals, 1988})$$

$$\eta = \frac{W}{Q_1 + Q_2 + Q_3}$$

$$\eta = \frac{11581,25 \text{ kal}}{45044,37 \text{ kal}} \times 100\%$$

$$\eta = 25,7108 \%$$

Dengan cara yang sama, maka didapat efisiensi kerja *Internal Combustion Engine* sebagai berikut:

Tabel 19 .Data Hasil Perhitungan Efisiensi Kerja *Internal Combustion Engine*

No.	Laju Alir H ₂ (ml/s)	Putaran Poros Engkol Engine (rpm)	Efisiensi Kerja (η) (%)
1	123	1057	25,71
2	190	1682	26,48
3	235	2137	27,2
4	286	2718	28,43
5	381	3521	27,64

LAMPIRAN III
GAMBAR ALAT



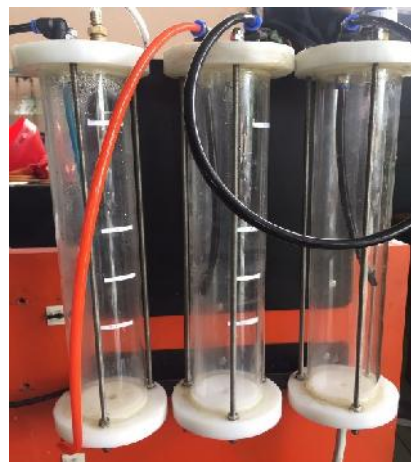
Gambar 1. Tampak Depan
Reaktor ACE



Gambar 2. Tampak Belakang
Reaktor ACE



Gambar 3. Reaktor ACE



Gambar 4. *Bubblers*



Gambar 5. *Storage ACE*



Gambar 6. Kondensor



Gambar 7. Cooler



Gambar 8. Kompresor



Gambar 9. Termogun



Gambar 10. Engine



Gambar 11. Katalis Pottasium Hidroksida (KOH)



Gambar 12. Oksigen Scavenger Asam Askorbat



Gambar 13. Karbon Aktif



Gambar 14. Zeolit



Gambar 15. Tabung Sampel



Gambar 16. Aluminium Foil



Gambar 17. Aluminium Powder



Gambar 19. Aluminium Sebelum Korosi



Gambar 20. Sesudah Korosi