

**LAMPIRAN I**  
**DATA PENGAMATAN**

Data pengamatan pengaruh variasi jenis adsorben terhadap jumlah energi hidrogen yang tersimpan di *storage* dapat dilihat pada tabel 4 dan 5 di bawah ini.

Tabel 4. Data Pengamatan Penelitian *Storage* Sebelum Melalui Adsorben

No.	Tekanan Gas Hidrogen (kg/cm <sup>2</sup> )	Temperatur Gas Hidrogen (°C)	Waktu (Detik)
1.	0	33	0
2.	0,25	33,5	20
3.	0,5	34	40
4.	0,625	35	60
5.	0,75	35,5	80
6.	0,875	36,5	100

Tabel 5. Data Pengamatan Penelitian *Storage* Setelah Melalui Adsorben

Jenis Adsorben	Tekanan Gas Hidrogen (kg/cm <sup>2</sup> )	Temperatur Gas Hidrogen (°C)	Waktu (Detik)
Karbon Aktif	0	31,5	0
	0,5	32	20
	0,75	32	40
	0,825	32	60
	1	32	80
	1,2	32	100
Zeolit	0	33,5	0
	0,625	34	20
	1	34	40
	1,3	34,5	60
	1,5	34,5	80
	1,7	35	100

**LAMPIRAN II**  
**PERHITUNGAN**

1. **Menghitung Volume *Storage* tanpa Adsorben**

Bentuk *Storage* = *Horizontal Vessel*

Panjang *Storage* = 45 cm

Diameter *Storage* = 25 cm

Diameter Tutup = 10 cm

Tinggi Tutup = 6 cm

$$\begin{aligned} V_{\text{tangki}} &= \left( \pi \times D^2 \right) \times p \\ &= \left( \pi \times 3,14 \times (25 \text{ cm})^2 \right) \times 45 \text{ cm} \\ &= 22078,13 \text{ cm}^3 \\ &= 22,08 \text{ dm}^3 \text{ (Liter)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{tutup}} &= \left( \pi \times D^2 \right) \times H \\ &= \left( \pi \times 3,14 \times (10 \text{ cm})^2 \right) \times 6 \text{ cm} \\ &= 471 \text{ cm}^3 \\ &= 0,471 \text{ dm}^3 \text{ (Liter)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{storage}} &= V_{\text{tangki}} + V_{\text{tutup}} \\ &= 22,08 \text{ liter} + 0,471 \text{ liter} \\ &= 22,551 \text{ liter} \end{aligned}$$

2. **Penentuan Jumlah Energi Hidrogen yang Tersimpan di *Storage* Sebelum Melalui Adsorben**

1. **Menghitung Volume Gas Hidrogen di *Storage***

Volume gas hidrogen di *storage* = Volume *storage* kosong

Volume gas hidrogen di *storage* = 22,551 liter

2. **Menghitung Jumlah Mol pada Tekanan (P) dan Temperatur (T)**

Untuk menghitung jumlah mol gas hidrogen didalam *storage* dengan menggunakan persamaan gas ideal sebagai berikut:

$$PV = n R T \quad (\text{Hougen, p. 49, 1943})$$

$$n_t =$$

dimana :

$$R = \quad (\text{Hougen, p.51, 1943})$$

$$P = 0,25 \text{ kg/cm}^2 = 0,242 \text{ atm}$$

$$T = 33,5 + 273 = 306,5 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol H}_2 \text{ di } \textit{storage} &= \\ &= \\ &= 0,2168 \text{ gmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Gas H}_2 &= 0,2168 \text{ mol} \times 2,01594 \text{ g/mol} \\ &= 0,4371 \text{ gram} \end{aligned}$$

### 3. Menghitung Jumlah Energi Hidrogen yang tersimpan di *Storage*

$$T_2 = 33,5^\circ\text{C} = 33,5^\circ\text{C} + 273 = 306,5 \text{ K}$$

$$T_1 = 30^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C} + 273 = 303 \text{ K}$$

Untuk menghitung jumlah *energy storage* hidrogen , ditentukan terlebih dahulu nilai kapasitas panas gas hidrogen dengan menggunakan persamaan:

$$C_p = a + (T_2+T_1) + (T_2^2 + T_2T_1 + T_1^2), \text{ gcal/gmol.}^\circ\text{K} \quad (\text{Hougen, p. 258, 1954})$$

Harga konstanta a,b, dan c untuk gas hidrogen sebagai berikut:

$$a = 6,946$$

$$b = -0,196 \times 10^{-3}$$

$$c = 0,4757 \times 10^{-6}$$

$$C_p = a + (T_2 + T_1) + (T_2^2 + T_2 T_1 + T_1^2)$$

$$\begin{aligned} C_p &= 6,946 + (306,5 + 303) + (306,5^2 + (306,5 \\ &\quad \times 303) + 303^2) \\ &= 6,93045 \text{ gcal/gmol} \cdot ^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Jumlah energi hidrogen dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$dQ = n \times C_p \times \Delta t \quad (\text{Hougen, edisi 2, 1954})$$

Panas  $H_2$

$$\begin{aligned} Q_{H_2} &= n \times C_p H_2 \times t_2 - t_1 \\ &= 0,2168 \text{ gmol} \times 6,93045 \text{ gcal/gmol} \cdot ^\circ\text{K} \times (306,5 - 303) \text{ K} \\ &= 0,2168 \text{ gmol} \times 6,93045 \text{ gcal/gmol} \cdot ^\circ\text{K} \times (3,5) \text{ K} \\ &= 5,2608 \text{ gcal} \\ &= 22,01 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Maka,

Jumlah Energi hidrogen yang tersimpan di *storage*

=

=

$$= 0,9761 \text{ Joule/liter}$$

Dengan cara perhitungan yang sama diatas, maka hasil perhitungan energi hidrogen yang tersimpan di *storage* sebelum melalui adsorben ditabulasikan pada tabel 6.

Tabel 6. Data Hasil Penelitian *Storage* Sebelum Melalui Adsorben

No.	Tekanan Gas Hidrogen (kg/cm <sup>2</sup> )	Temperatur Gas Hidrogen (°C)	Waktu (Detik)	Jumlah Mol Gas Hidrogen (gmol)	Jumlah Energi Hidrogen di <i>Storage</i> (J/L)
1.	0,25	33,5	20	0,2168	0,9761
2.	0,5	34	40	0,4330	1,0516
3.	0,625	35	60	0,5395	1,5789

4.	0,75	35,5	80	0,6464	2,4587
5.	0,875	36,5	100	0,7517	3,0897

### 3. Penentuan Jumlah Energi Hidrogen yang Tersimpan di *Storage* Setelah Melalui Adsorben

#### a. Karbon Aktif

##### 1. Menghitung Volume Karbon Aktif

Massa karbon aktif = 1500 gram (40 buah adsorben)

$$= 2,267 \text{ g/cm}^3$$

Volume karbon aktif =

Volume karbon aktif =

$$= 661,667 \text{ cm}^3$$

$$= 0,6616 \text{ liter}$$

##### 2. Menghitung Volume Gas Hidrogen di *Storage*

Volume *storage* kosong = 22,551 liter

Volume karbon aktif = 0,6616 liter

Volume gas hidrogen di *storage* = (22,551 – 0,6616) liter

$$= 21,8894 \text{ liter}$$

##### 3. Menghitung Jumlah Mol pada Tekanan (P) dan Temperatur (T)

Untuk menghitung jumlah mol gas hidrogen didalam *storage* dengan menggunakan persamaan gas ideal sebagai berikut:

$$PV = n R T$$

(Hougen, p. 49, 1943)

$$n_t =$$

dimana :

$$R = \quad (\text{Hougen, p.51, 1943})$$

$$P = 0,5 \text{ kg/cm}^2 = 0,484 \text{ atm}$$

$$T = 32 + 273 = 305 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol H}_2 \text{ di storage} &= \\ &= \\ &= 0,4231 \text{ gmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Gas H}_2 &= 0,4231 \text{ mol} \times 2,01594 \text{ g/mol} \\ &= 0,8529 \text{ gram} \end{aligned}$$

#### 4. Menghitung Jumlah Energi Hidrogen yang tersimpan di *Storage*

$$T_2 = 32^\circ\text{C} = 32^\circ\text{C} + 273 = 305 \text{ K}$$

$$T_1 = 30^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C} + 273 = 303 \text{ K}$$

Untuk menghitung jumlah *energy storage* hidrogen, ditentukan terlebih dahulu nilai kapasitas panas gas hidrogen dengan menggunakan persamaan:

$$C_p = a + (T_2 + T_1) + (T_2^2 + T_2 T_1 + T_1^2), \text{ gcal/gmol.}^\circ\text{K}$$

(Hougen, p. 258, 1954)

Harga konstanta a, b, dan c untuk gas hidrogen sebagai berikut:

$$a = 6,946$$

$$b = -0,196 \times 10^{-3}$$

$$c = 0,4757 \times 10^{-6}$$

$$C_p = a + (T_2 + T_1) + (T_2^2 + T_2 T_1 + T_1^2)$$

$$C_p = 6,946 + (305 + 303) + (305^2 + (305 \times$$

$$303) + 303^2)$$

$$= 6,93037 \text{ gcal/gmol.}^\circ\text{K}$$

Jumlah energi hidrogen dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$dQ = n \times C_p \times \Delta t \quad (\text{Hougen, edisi 2, 1954})$$

Panas H<sub>2</sub>

$$Q_{H_2} = n \times C_p \times (t_2 - t_1)$$

$$= 0,4231 \text{ gmol} \times 6,93037 \text{ gcal/gmol}^\circ\text{K} \times (305 - 303) \text{ K}$$

$$= 0,4231 \text{ gmol} \times 6,9304 \text{ gcal/gmol}^\circ\text{K} \times (2) \text{ K}$$

$$= 5,8653 \text{ gcal}$$

$$= 24,54 \text{ Joule}$$

Maka,

Jumlah Energi hidrogen yang tersimpan di *storage*

=

=

$$= 1,1211 \text{ Joule/liter}$$

Dengan cara perhitungan yang sama diatas, maka hasil perhitungan energi hidrogen yang tersimpan di *storage* dengan menggunakan karbon aktif ditabulasikan pada tabel 7.

Tabel 7. Data Hasil Penelitian *Storage* dengan Menggunakan Karbon Aktif

No.	Tekanan Gas Hidrogen (kg/cm <sup>2</sup> )	Temperatur Gas Hidrogen (°C)	Waktu (Detik)	Jumlah Mol Gas Hidrogen (gmol)	Jumlah Energi Hidrogen di <i>Storage</i> (J/L)
1.	0	31,5	0	0,0000	0,0000
2.	0,5	32	20	0,4231	1,1211
3.	0,75	32	40	0,6347	2,2275
4.	0,825	32	60	0,6982	3,4693
5.	1	32	80	0,8463	4,5720
6.	1,2	32	100	1,0155	6,2836

b. **Zeolit**

1. **Menghitung Volume Zeolit**

$$\text{Massa Zeolit} = 1500 \text{ gram (40 buah adsorben)}$$

$$= 2,27 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Volume Zeolit} =$$

$$\text{Volume Zeolit} =$$

$$= 660,793 \text{ cm}^3$$

$$= 0,6607 \text{ liter}$$

2. **Menghitung Volume Gas Hidrogen di *Storage***

$$\text{Volume } \textit{storage} \text{ kosong} = 22,551 \text{ liter}$$

$$\text{Volume Zeolit} = 0,6607 \text{ liter}$$

$$\text{Volume gas hidrogen di } \textit{storage} = (22,551 - 0,6607) \text{ liter}$$

$$= 21,8903 \text{ liter}$$

3. **Menghitung Jumlah Mol pada Tekanan (P) dan Temperatur (T)**

Untuk menghitung jumlah mol gas hidrogen didalam *storage* dengan menggunakan persamaan gas ideal sebagai berikut:

$$PV = n R T \quad (\text{Hougen, p. 49, 1943})$$

$$n_t =$$

dimana :

$$R = \quad (\text{Hougen,p.51, 1943})$$

$$P = 0,625 \text{ kg/cm}^2 = 0,605 \text{ atm}$$

$$T = 34 + 273 = 307 \text{ K}$$



$$\begin{aligned}
 \text{Mol H}_2 \text{ di } storage &= \\
 &= \\
 &= 0,5254 \text{ gmol} \\
 \text{Massa Gas H}_2 &= 0,5254 \text{ mol} \times 2,01594 \text{ g/mol} \\
 &= 1,0591 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

#### 4. Menghitung Jumlah Energi Hidrogen yang tersimpan di *Storage*

$$T_2 = 34^\circ\text{C} = 34^\circ\text{C} + 273 = 307 \text{ K}$$

$$T_1 = 30^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C} + 273 = 303 \text{ K}$$

Untuk menghitung jumlah *energy storage* hidrogen, ditentukan terlebih dahulu nilai kapasitas panas gas hidrogen dengan menggunakan persamaan:

$$C_p = a + (T_2+T_1) + (T_2^2 + T_2T_1 + T_1^2), \text{ gcal/gmol.}^\circ\text{K}$$

(Hougen, p. 258, 1954)

Harga konstanta a, b, dan c untuk gas hidrogen sebagai berikut:

$$a = 6,946$$

$$b = -0,196 \times 10^{-3}$$

$$c = 0,4757 \times 10^{-6}$$

$$C_p = a + (T_2+T_1) + (T_2^2 + T_2T_1 + T_1^2)$$

$$C_p = 6,946 + (307 + 303) + (307^2 + (307 \times$$

$$303) + 303^2)$$

$$= 6,930472 \text{ gcal/gmol.}^\circ\text{K}$$

Jumlah energi hidrogen dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$dQ = n \times C_p \times \Delta t \quad (\text{Hougen, edisi 2, 1954})$$

Panas H<sub>2</sub>

$$Q_{\text{H}_2} = n \times C_p \text{ H}_2 \times t_2 - t_1$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,5254 \text{ gmol} \times 6,930472 \text{ gcal/gmol}^\circ\text{K} \times (307 - 303) \text{ K} \\
 &= 0,5254 \text{ gmol} \times 6,9304 \text{ gcal/gmol}^\circ\text{K} \times (2) \text{ K} \\
 &= 14,568 \text{ gcal} \\
 &= 60,95 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

Maka,

Jumlah Energi hidrogen yang tersimpan di *storage*

=

=

$$= 2,7845 \text{ Joule/liter}$$

Dengan cara perhitungan yang sama diatas, maka hasil perhitungan energi hidrogen yang tersimpan di *storage* dengan menggunakan zeolit ditabulasikan pada tabel 8.

Tabel 8. Data Hasil Penelitian *Storage* dengan Menggunakan Zeolit

No.	Tekanan Gas Hidrogen (kg/cm <sup>2</sup> )	Temperatur Gas Hidrogen (°C)	Waktu (Detik)	Jumlah Mol Gas Hidrogen (gmol)	Jumlah Energi Hidrogen di <i>Storage</i> (J/L)
1.	0	33,5	0	0,0000	0,0000
2.	0,625	34	20	0,5254	2,7845
3.	1	34	40	0,8407	4,4551
4.	1,3	34,5	60	1,0912	6,5051
5.	1,5	34,5	80	1,2591	7,5060
6.	1,7	35	100	1,4247	9,4365

**LAMPIRAN III**  
**GAMBAR ALAT**



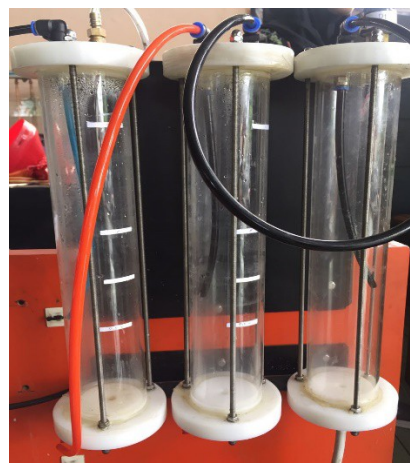
Gambar 16. Tampak Depan Reaktor ACE



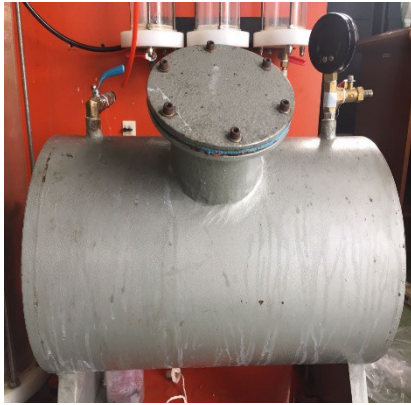
Gambar 17. Tampak Belakang Reaktor ACE



Gambar 18. Reaktor ACE



Gambar 19. Bubbler



Gambar 20. Storage ACE



Gambar 21. Kompresor



Gambar 22. Kondenser



Gambar 23. Cooler



Gambar 24. Kompresor



Gambar 25. Termogan



Gambar 26. Katalis Pottasium Hidroksida (KOH)



Gambar 27. Oksigen Scavenger Asam Askorbat



Gambar 28. Karbon Aktif



Gambar 29. Zeolit



Gambar 30. Tabung Sampel



Gambar 31. Aluminium Foil



Gambar 32. Aluminium Powder



Gambar 33. Engine



Gambar 34. Aluminium Sebelum Korosi



Gambar 35. Sesudah Korosi