

LAMPIRAN I
DATA PENGAMATAN

1. Data Operasi Pemanas Induksi Pada Proses Pirolisis Bahan Baku

Pada tabel 1 dibawah ini terdapat data operasi berdasarkan variasi temperatur dan 3 jenis bahan baku dengan lama waktu 120 menit (konstan).

Tabel L1.1 Proses Pengujian Bahan Baku

Bahan Baku	Temp (°C)	Waktu (menit)	Volume yang dihasilkan (ml)	Warna Fisik Produk
PP	130	120	65	Kuning Jernih
	150		85	
PET	130	120	35	Kuning Jernih
	150		70	
PP+PET	130	120	60	Kuning Jernih
	150		70	

2. Data Analisa Bahan Baku

- Analisa Densitas

Pada Tabel L1.2 merupakan data analisa densitas produk yang dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya pada tanggal 16 Juli 2019

Tabel L1.2 Analisa Densitas Produk dan % Yield

Bahan Baku	Massa sampah plastik (gr)	Waktu (menit)	Temp (°C)	Densitas (gr/ml)	% Yield
PP	500	120	130	0,707	9,194
			150	0,710	12,073
PET	500	120	130	0,725	5,075
			150	0,729	10,206
PP+PET	500	120	130	0,718	8,616
			150	0,720	10,08

- Analisa *Specific Gravity* (SPGR) dan °API
 Densitas air (15°C) = 0,999 gr/ml

Sifat fisik dan sifat fisika bahan bakar cair dapat dilihat pada tabel L1.3 dibawah ini.

Tabel L1.3 Sifat Fisik dan Sifat Kimia Bahan Bakar Cair

Bahan Baku	Temp (°C)	Sifat Fisik Produk Cair			Sifat Kimia Produk
		Densitas (gr/ml)	Viskositas (cSt)	Titik Nyala (°C)	Nilai Kalor (cal/gr)
PP	130	0,707	1,376	36,1	9431,0654
	150	0,710	1,374	35,8	
PET	130	0,725	1,448	35,2	10011,447
	150	0,729	1,434	34,5	
PP+PET	130	0,718	1,268	35,7	9877,8492
	150	0,720	1,292	35,3	

- Analisa Viskositas
 K (viskometer konstan) = 3,3 g/m.s
 ρ bola = 8,02 gr/ml

Nilai viskositas pada hasil produk dapat dilihat pada tabel L1.4 dibawah ini

Tabel L1.4 Analisa Viskositas

Bahan Baku	Temp (°C)	Waktu (detik)	η dinamis (cp)	η kinematik (cSt)
PP	130	2,42	0,973	1,376
	150	2,43	0,977	1,374
PET	130	2,62	1,051	1,448
	150	2,61	1,047	1,434
PP+PET	130	2,27	0,912	1,268
	150	2,32	0,931	1,292

LAMPIRAN II PERHITUNGAN

Perhitungan Konsumsi Energi

Panas yang dibutuhkan untuk mencairkan 500 gram limbah plastik

1. Limbah Plastik Jenis PET

Kondisi 1. Panas sensibel pada saat limbah plastik baru mulai mencair

T_1 = Temperatur awal sampai menuju ke cair.

T_1 = **110°C**

Panas yang dihasilkan untuk sampah anorganik (jenis PET)

Massa sampah = 500 gram = 0,5 kg

CP PET = 0,82 cal/kg°C (Sumber : Irvan Okatama,2016)

T lingkungan = 32°C

ΔT = 110°C - 32°C = 78°C

Panas yang diserap limbah plastik

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (\text{Sumber : Hougen, 1959})$$

Jadi panas yang diserap sampah adalah

$$Q_1 = 0,5 \text{ kg} \times 0,82 \text{ cal/kg}^\circ\text{C} \times 78^\circ\text{C}$$

$$= 31.980 \text{ cal} \times \frac{4,1840 \text{ J}}{1 \text{ cal}}$$

$$= 133.804,32 \text{ J}$$

Kondisi 2. Kalor Laten / Peleburan

Pada $T = 365 \text{ K}$, $\Delta H = 69,4 \text{ KJ/mol}$

Pada $T = 386 \text{ K}$, $\Delta H = 63,7 \text{ KJ/mol}$ (Sumber : Webbook Nist)

Interpolasi untuk mencari ΔH pada kondisi temperatur 383 K

$$\Delta H_{\text{PET}} = 69,4 \text{ KJ/mol} + \left(\frac{383 \text{ K} - 365 \text{ K}}{386 \text{ K} - 365 \text{ K}} \right) \times (69,4 - 63,7) \text{ KJ/mol}$$

$$= 74,28 \text{ KJ/mol}$$

Panas yang dibutuhkan pada kondisi 2.

$$\Delta H = \frac{-Q}{n} \quad (\text{Sumber : Hougen,1959 dan Erlangga kimia,2019})$$

$$n = \frac{m}{BM}$$

$$n = \frac{500 \text{ gram}}{192 \text{ gram/grmol}}$$

$$n = 2,604 \text{ grmol}$$

Sehingga,

$$Q_2 = 74,28 \text{ Kj/grmol} \times 2,604 \text{ grmol} = 193,425 \text{ KJ} \cdot \left| \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ Kj}} \right| = 193.425 \text{ Joule}$$

Kondisi 3. Panas sensibel pada saat limbah PET mencair

Asumsi menggunakan temperatur tertinggi pada saat penelitian $T_3 = 150^\circ\text{C}$

Massa sampah = 500 gram

$\Delta T = 150^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C} = 40^\circ\text{C} + 273 = 313 \text{ K}$

Untuk menentukan CP komponen cair PET

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 \quad (\text{Sumber: Carl.L Yaws, 1995})$$

Komponen	A	B	C	D	T (K)	CP J/mol.K
			-6,144 x			
$\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4$	-190,453	3,1282	10^{-3}	$4,5099 \times 10^{-6}$	313	314,8843

(Sumber: *Chemical Properties Handbook, Carl.L.Yaws, 1995*)

Menentukan mol dalam 500 gram limbah plastik PET dapat menggunakan rumus :

$$n = \frac{m}{BM}$$

$$n = \frac{500 \text{ gram}}{192 \text{ gram/grmol}}$$

$$n = 2,604 \text{ grmol}$$

Panas yang diserap limbah plastik

$$Q = n \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (\text{Sumber : Hougén, 1959})$$

Jadi panas yang diserap sampah adalah

$$Q_3 = 2,604 \text{ mol} \times 314,8843 \text{ J/mol.K} \times 313 \text{ K}$$

$$= 256.647,07 \text{ Joule}$$

Kondisi 4. Laten Heat (*Heat of Vaporation*)

Pada T = 386 K , $\Delta H = 63,7 \text{ KJ/mol}$

Pada T = 409 K , $\Delta H = 68,6 \text{ KJ/mol}$ (Sumber : Webbook Nist)

Interpolasi untuk mencari ΔH pada kondisi temperatur 423 K

$$\Delta H_{\text{PET}} = 63,7 \text{ KJ/mol} + \left(\frac{423 \text{ K} - 386 \text{ K}}{409 \text{ K} - 386 \text{ K}} \right) \times (63,7 - 68,6) \text{ KJ/mol}$$

$$= 55,817 \text{ KJ/mol}$$

Panas yang dibutuhkan pada kondisi 4.

$$\Delta H = \frac{-Q}{n} \quad (\text{Sumber : Hougen,1959 dan Erlangga kimia,2019})$$

$$n = \frac{m}{BM}$$

$$n = \frac{500 \text{ gram}}{192 \text{ gram/grmol}}$$

$$n = 2,604 \text{ grmol}$$

Sehingga,

$$Q_4 = 55,817 \text{ KJ/grmol} \times 2,604 \text{ grmol} = 145,347 \text{ KJ} \cdot \left| \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} \right| = 145.347 \text{ Joule}$$

Konsumsi energi yang digunakan untuk mengkonversi limbah plastik jenis PET menggunakan alat pirolisis dengan pemanas induksi antara lain :

$$\text{Panas yang dibutuhkan} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$= (133.804,32 + 193.425 + 256.647,07 + 145.347) \text{ Joule}$$

$$= 729.233,39 \text{ Joule}$$

Daya yang digunakan untuk 2 jam operasi ($t = 7200 \text{ s}$)

$$P = \frac{Q}{t}$$
$$P = \frac{729.233,39 \text{ J}}{7200 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ watt}}{1 \text{ J/s}} = 101,281 \text{ watt}$$

2. Limbah Plastik Jenis PP

Kondisi 1 . Panas sensibel pada saat limbah plastik baru mulai mencair

T_1 = Temperatur awal sampai menuju ke cair.

T_1 = 95°C

Panas yang dihasilkan untuk sampah anorganik (jenis PP)

Massa sampah = 500 gram = 0,5 kg

CP PP = 1,08 cal/kg $^\circ\text{C}$ (Sumber : Irvan Okatama,2016)

T lingkungan = 32°C

ΔT = $95^\circ\text{C} - 32^\circ\text{C} = 63^\circ\text{C}$

Panas yang diserap limbah plastik

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (\text{Sumber : Hougen, 1959})$$

Jadi panas yang diserap sampah adalah

$$Q_1 = 0,5 \text{ kg} \times 1,08 \text{ cal/kg}^\circ\text{C} \times 63^\circ\text{C}$$
$$= 34,02 \text{ cal} \times \frac{4,1840 \text{ J}}{1 \text{ Cal}}$$
$$= 142.339,68 \text{ J}$$

Kondisi 2. Kalor Laten / Peleburan

Pada $T = 255 \text{ K}$, $\Delta H = 18,42 \text{ KJ/mol}$

Pada $T = 312 \text{ K}$, $\Delta H = 18,7 \text{ KJ/mol}$ (Sumber : Webbook Nist)

Interpolasi untuk mencari ΔH pada kondisi temperatur 368 K

$$\Delta H_{PP} = 18,42 \text{ KJ/mol} + \left(\frac{368 \text{ K} - 255 \text{ K}}{312 \text{ K} - 255 \text{ K}} \right) \times (18,42 - 18,7) \text{ KJ/mol}$$
$$= 17,86 \text{ KJ/mol}$$

Panas yang dibutuhkan pada kondisi 2.

$$\Delta H = \frac{-Q}{n} \quad (\text{Sumber : Hougen,1959 dan Erlangga kimia,2019})$$

$$n = \frac{m}{BM}$$

$$n = \frac{500 \text{ gram}}{42 \text{ gram/grmol}}$$

$$n = 11,904 \text{ grmol}$$

Sehingga,

$$Q_2 = 17,86 \text{ KJ/grmol} \times 11,904 \text{ grmol} = 212,605 \text{ KJ} \cdot \left| \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} \right| = 212.605 \text{ Joule}$$

Kondisi 3. Panas sensibel pada saat limbah PP mencair

Asumsi menggunakan temperatur pada saat penelitian $T_3 = 130^\circ\text{C}$

Massa sampah = 500 gram

$$\Delta T = 130^\circ\text{C} - 95^\circ\text{C} = 35^\circ\text{C} + 273 = 308 \text{ K}$$

Untuk menentukan CP komponen cair PET

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 \quad (\text{Sumber: Carl.L Yaws, 1995})$$

Komponen	A	B	C	D	T (K)	CP J/mol.K
		3,451 x	-1,6315 x			
C ₃ H ₆	54,718	10 ⁻¹	10 ⁻³	3,8755 x10 ⁻⁶	308	119,4729

(Sumber: *Chemical Properties Handbook*, Carl.L.Yaws, 1995)

Menentukan mol dalam 500 gram limbah plastik PET dapat menggunakan rumus :

$$n = \frac{m}{BM}$$

$$n = \frac{500 \text{ gram}}{42 \text{ gram/grmol}}$$

$$n = 11,904 \text{ grmol}$$

Panas yang diserap limbah plastik

$$Q = n \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (\text{Sumber : Hougen, 1959})$$

Jadi panas yang diserap sampah adalah

$$\begin{aligned} Q_3 &= 11,904 \text{ mol} \times 119,4729 \text{ J/mol.K} \times 308 \text{ K} \\ &= 438.039,263 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Kondisi 4. Laten Heat (*Heat of Vaporation*)

Pada T = 255 K , $\Delta H = 18,42 \text{ KJ/mol}$

Pada T = 312 K , $\Delta H = 18,7 \text{ KJ/mol}$

(*Sumber : Webbook Nist*)

Interpolasi untuk mencari ΔH pada kondisi temperatur 403 K

$$\begin{aligned}\Delta H_{PP} &= 18,42 \text{ KJ/mol} + \left(\frac{403 \text{ K} - 255 \text{ K}}{312 \text{ K} - 255 \text{ K}} \right) \times (18,42 - 18,7) \text{ KJ/mol} \\ &= 17,69 \text{ KJ/mol}\end{aligned}$$

Panas yang dibutuhkan pada kondisi 4.

$$\Delta H = \frac{-Q}{n} \quad (\text{Sumber : Hougen, 1959 dan Erlangga kimia, 2019})$$

$$n = \frac{m}{BM}$$

$$n = \frac{500 \text{ gram}}{42 \text{ gram/grmol}}$$

$$n = 11,904 \text{ grmol}$$

Sehingga,

$$Q_4 = 17,69 \text{ KJ/grmol} \times 11,904 \text{ grmol} = 210,581 \text{ KJ} \cdot \left| \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ KJ}} \right| = 210.581 \text{ Joule}$$

Konsumsi energi yang digunakan untuk mengkonversi limbah plastik jenis PP menggunakan alat pirolisis dengan pemanas induksi antara lain :

$$\begin{aligned}\text{Panas yang dibutuhkan} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \\ &= (142.339,68 + 212.605 + 438.039,263 + 210.581) \text{ Joule} \\ &= 1.003.564,943 \text{ Joule}\end{aligned}$$

Daya yang digunakan untuk 2 jam operasi (t = 7200 s)

$$\begin{aligned}P &= \frac{Q}{t} \\ P &= \frac{1.003.564,943 \text{ J}}{7200 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ watt}}{1 \text{ J/S}} = 139,384 \text{ watt}\end{aligned}$$

LAMPIRAN III
GAMBAR PENDUKUNG

1. Pirolisis Sampah Plastik



Bahan Baku Sampah Plastik



Alat Pirolisis Sampah Plastik
dengan Pemanas Induksi



Produk Pirolisis Sampah Jenis PP



Produk Pirolisis Sampah Jenis PP

2. Analisa Minyak Hasil Pirolisis



Pengujian Denisitas



Pengujian Viskositas



Pengujian Titik Nyala