

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengolahan Data

Pada bab ini dilakukan pengambilan, pengolahan, perhitungan, dan pembahasan data hasil pengujian. Data berupa tabel dan grafik akan dianalisa dan dibahas lebih mendetail tentang proses dan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

#### 4.2 Data Hasil Penelitian

Dari hasil pengujian dengan menggunakan alat uji *steam reformer* dengan menggunakan variasi temperatur 300 °C, 230 °C, dan 180 °C dengan variasi perbandingan massa minyak randu dan air, yaitu 1:3 ; 1:2 ; 1:1 ; 2:1. Data yang diperoleh berupa kandungan konsentrasi hidrogen (H<sub>2</sub>) dalam satuan ppm. Data hasil penelitian akan disajikan dalam bentuk grafik.

#### 4.3 Pengkalibrasian Sensor

Kalibrasi rangkaian sensor gas tipe TGS 2610 bertujuan untuk mengetahui tingkat keakurasian sensor tersebut. Namun karena tidak adanya alat ukur langsung kadar gas hidrogen yang dapat digunakan sebagai pembanding maka nilai kadar hidrogen dapat diketahui dengan cara melihat data kadar gas hidrogen pengukuran. Dimana data kadar gas sesuai dengan pembacaan nilai Volt sensor gas pada mikrokontroller. Nilai Volt sensor gas TGS 2610 untuk kenaikan tiap satuan ppm disesuaikan dengan data yang ada pada *datasheet*.

Sensor ini melakukan pembacaan melalui perubahan energi oleh gas hidrogen yang semakin meningkat. Semakin besar nilai ppm hidrogen, semakin besar pula nilai resistansinya, sehingga menyebabkan sensor mengalami perubahan tegangan output yang bernilai sebesar  $0V < x < 5V$ . Tegangan *output* ( $V_o$ ) sensor masih berbentuk tegangan analog, sehingga dibutuhkan rangkaian ADC (*analog to digital converter*) untuk dapat dibaca oleh mikrokontroller. Rangkaian ADC adalah rangkaian yang mengkonversi sinyal analog berupa tegangan *output* sensor tadi ke dalam bentuk sinyal digital dengan membandingkan tegangan *output* terhadap tegangan referensi, sehingga menjadi teganganinput yang berupa sinyal digital. Inputan berupa sinyal digital ini kemudian dimasukkan ke dalam mikrokontroller untuk diolah ke dalam pembacaan antarmuka. Dalam pembacaan antar muka pada mikrokontroller tegangan *output* sensor

dari 0-5 V akan diubah menjadi bacaan data yang memiliki rentang 0-1023 dengan perubahan per-digitnya diolah menggunakan rumus linier. Pada awal mula setelah dirakit dan sebelum di inputkan rumusan linier sensor menunjukkan angka 60 ppm, seharusnya sensor menunjukkan angka 0 ppm. Dan setelah di injeksi hidrogen murni sebanyak 500 ml (400 ppm) sensor menunjukkan angka 532 ppm. Berikut rumus linier dari pengkalibrasian gas hidrogen.

No	x	y
1	0	400
2	60	532

1 = ppm teoritis

2 = ppm aktual

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

Maka di dapatkan nilai  $x = \frac{y}{0,84} + 50,84$

Setiap perubahan rentang yang terjadi akan diolah ke dalam rumus linier di atas, dan hasilnya akan di tampilkan oleh mikrokontroller.

#### 4.4 Contoh Perhitungan

##### 4.4.1 Menghitung Perbandingan Tetesan Minyak randu dan Air

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan tetesan antara minyak randu dan air berdasarkan perbandingan massa.

Tabel 4.1 Berat Minyak randu dan Air

Berat Minyak (g)	Berat Air (g)
0,02	0,04
0,01	0,03
0,02	0,04
0,02	0,04
0,01	0,03
0,016	0,036

Berdasarkan data tabel 4.1 di atas dapat dilihat rata – rata berat minyak randu setelah dilakukan 5 kali pengujian adalah 0,016 gram, sedangkan berat air adalah 0,036 gram. Jadi agar perbandingan massa minyak randu dan air sama maka untuk jumlah tetesan minyak randu adalah 2 tetes dan air 1 tetes untuk perbandingan massa 1:1.

#### 4.4.2 Menghitung Efisiensi

Contoh perhitungan nilai efisiensi yang dihasilkan oleh *steam reforming* pada variasi minyak randu dan air (1:1) dengan 4 buah katalis dengan temperatur pemanasan katalis 300°C.

- **Pehitungan Nilai Kalor**

Pada menit ke-1

- Q Minyak randu 
$$= \frac{\text{Massa Minyak}}{1000} \times \text{Nilai Kalor Minyak}$$

$$= \frac{0,2 \text{ gr}}{1000} \times 8588 \text{ kkal/kg}$$

$$= 1,7176 \text{ kkal} = 7191.24768 \text{ watt}$$
- Massa Total 
$$= (\text{Massa Minyak} + \text{Massa Air} + \text{Massa Udara})$$

$$= (0.2 + 0,176 + 5,94)$$

$$= 6,316 \text{ gr}$$
- Hidrogen produk 
$$= \frac{\text{Massa Total}}{1000000} \times \text{ppm } H_2$$

$$= \frac{6,316}{1000000} \times 162,2787$$

$$= 0.001989477 \text{ gr}$$
- Q Hidrogen 
$$= \frac{\text{Hidrogen Produk}}{1000} \times \text{Nilai Kalor } H_2$$

$$= \frac{0.001989477}{1000} \times 141.79$$

$$= 145,327972 \text{ joule}$$

- **Perhitungan daya yang diterima 2 Tabung 50 ml dan 2 Tabung 100 ml**

- Luas Tabung 50 ml (elemeyer)  $= 2041.785 \text{ mm}^2$
- Luas Tabung 100 ml (elemayer)  $= 3215.360 \text{ mm}^2$
- Luas Tabung 100 ml (reaksi)  $= 40 \text{ mm}^2$

- Daya yang digunakan = 602,5 watt (kompor) dan 1100watt (pemanas)

$$\begin{aligned} \text{- Heat Flux kompor} &= \frac{\text{Daya}}{\text{Luas Penampang}} \\ &= \frac{602,5}{17662,5} = 0,034 \text{ watt/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Heat Flux pemanas} &= \frac{\text{Daya}}{\text{Luas Penampang}} \\ &= \frac{1100}{400} = 2,75 \text{ watt/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Daya pada Tabung 50 ml (elemeyer)} &= (2,75 \times 2041.785) \times 15 \text{ menit} \\ &= 84223,63125 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Daya pada Tabung 100 ml (elemeyer)} &= (2,75 \times 3215.360) \times 15 \text{ menit} \\ &= 132633,6 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Daya pada Tabung 100 ml (reaksi)} &= (0,034 \times 400) \times 15 \text{ menit} \\ &= 13,6 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Daya Total} &= (84223,63125 \times 2) + 132633,6 + 13,6 \\ &= 302726,089 \text{ watt} \end{aligned}$$

- **Efisiensi tanpa Penambahan Daya Kompor dan Pemanas**

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{Q \text{ Hidrogen}}{Q \text{ Minyak}} \\ &= \frac{145,327972}{7191,24768} = 0.020209007 = 2,0209007 \% \end{aligned}$$

- **Efisiensi dengan Penambahan Daya Kompor**

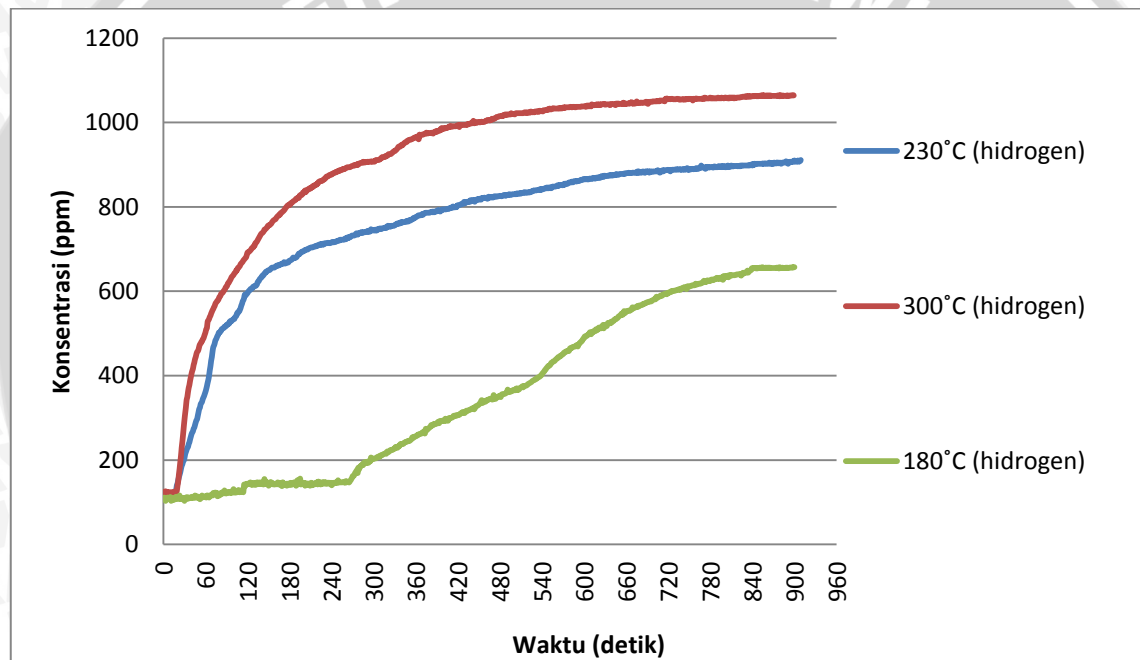
$$\begin{aligned} \text{- Q Total} &= Q \text{ Minyak randu} + \text{Daya Total} \\ &= 7191,24768 + 302726,089 \\ &= 39917,24768 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Efisiensi} &= \frac{Q \text{ Hidrogen}}{Q \text{ Total}} \\ &= \frac{145,327972}{39917,24768} = 0.0036407 = 0,36407 \% \end{aligned}$$

#### 4.5 Pembahasan

Pembahasan ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh variasi temperatur dan variasi perbandingan minyak randu dan air terhadap produksi hidrogen dan karbondioksida yang dihasilkan. Selain itu juga dibahas efisiensi dari perbandingan campuran minyak randu dan air pada setiap variasi temperatur yang digunakan. Sehingga nantinya dapat disimpulkan bagaimana pengaruh variasi temperatur dan perbandingan campuran minyak randu dan air terhadap produksi hidrogen.

##### 4.5.1 Analisa Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Produksi Kecepatan Hidogen pada Perbandingan Minyak Randu dan Air 3 : 1



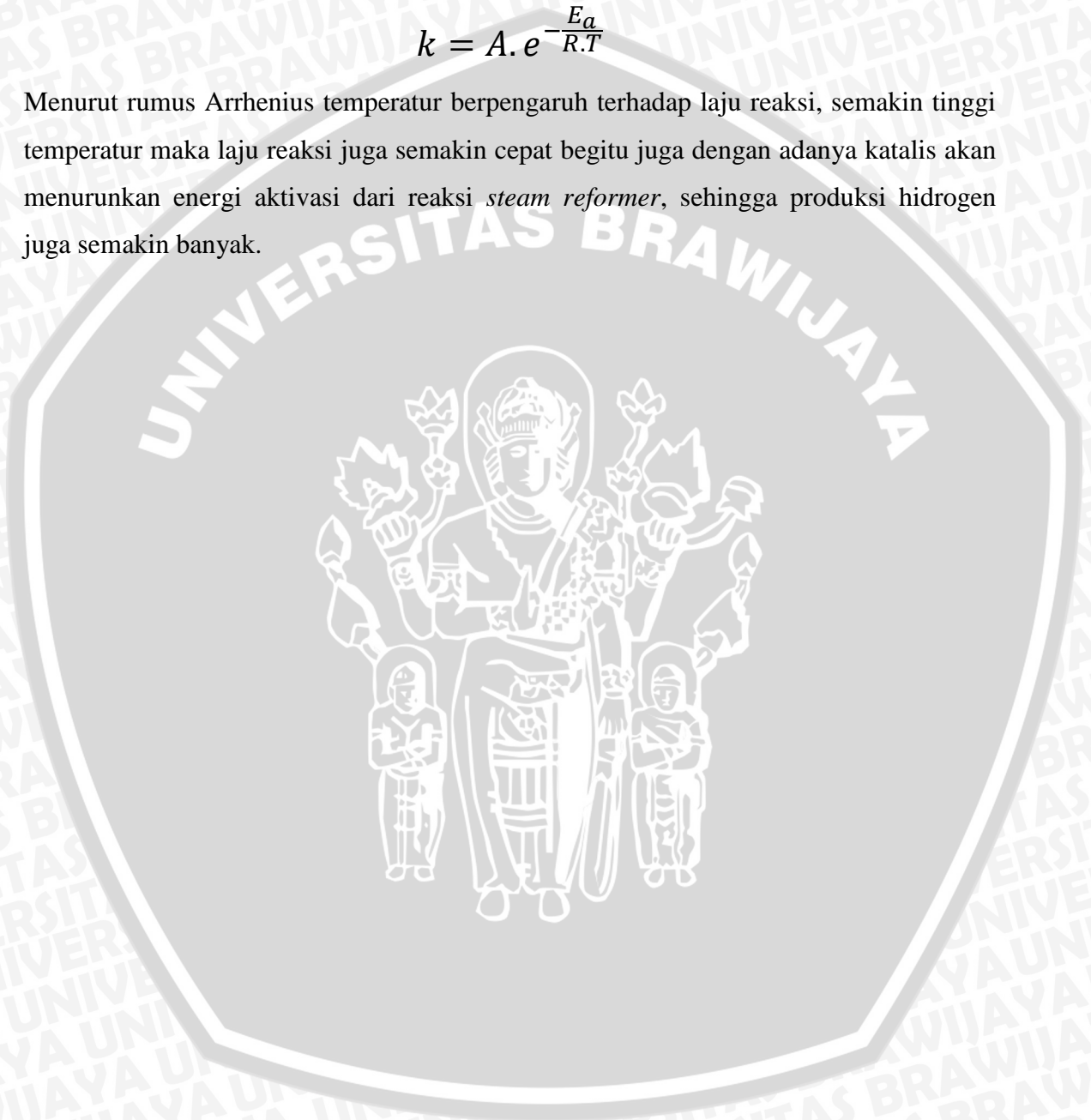
Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Kecepatan Produksi Hidogen pada Perbandingan Minyak randu dan Air 3 : 1

Grafik 4.1 menunjukkan konsentrasi produksi  $H_2$  dengan variasi temperatur pemanasan katalis pada perbandingan minyak dan air 3:1. Pada temperatur pemanasan  $180^\circ C$  produksi  $H_2$  relatif kecil dibandingkan dengan temperatur pemanasan  $230^\circ C$  dan  $300^\circ C$ . Pada temperatur pemanasa  $180^\circ C$  juga menunjukkan bahwa konsentrasi  $H_2$  yang diproduksi memiliki peningkatan yang relatif rendah. Pada variasi temperatur  $230^\circ C$  terlihat mengalami peningkatan produksi yang cepat pada menit awal, namun terjadi penurunan peningkatan dan mencapai kestabilan produksi di menit akhir percobaan. Hal ini juga terjadi pada variasi temperatur  $300^\circ C$ , dimana pada 5 menit pertama minyak

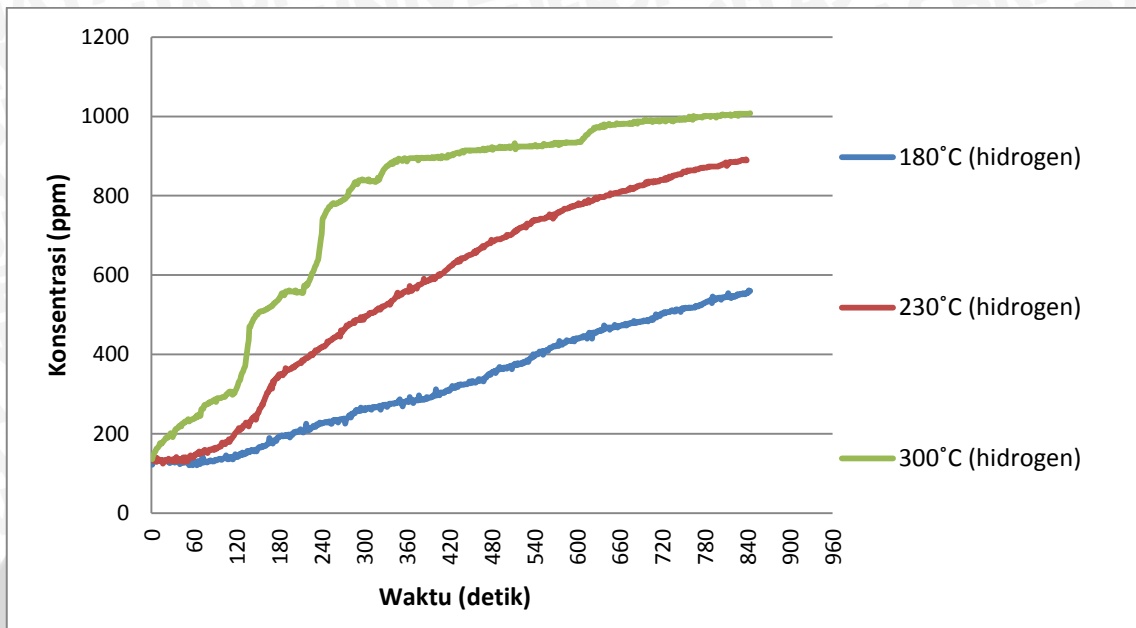
mampu memproduksi  $H_2$  sebesar 912 ppm secara cepat dan namun menurun tingkat produksinya pada 10 menit terakhir. Pada grafik juga ditunjukkan bahwa produksi  $H_2$  paling tinggi terdapat pada temperatur pemanasan  $300^\circ C$  yakni 1064 ppm. Ini membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada katalis, maka semakin besar pula  $H_2$  yang diproduksi. Hal ini sudah sesuai dengan rumus Arrhenius, yaitu :

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}$$

Menurut rumus Arrhenius temperatur berpengaruh terhadap laju reaksi, semakin tinggi temperatur maka laju reaksi juga semakin cepat begitu juga dengan adanya katalis akan menurunkan energi aktivasi dari reaksi *steam reformer*, sehingga produksi hidrogen juga semakin banyak.



#### 4.5.2 Analisa Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Produksi Kecepatan Hidrogen pada Perbandingan Minyak Randu dan Air 2 : 1



Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Kecepatan Produksi Hidrogen pada Perbandingan Minyak randu dan Air 2 : 1

Grafik 4.2 menunjukkan konsentrasi produksi  $H_2$  dengan variasi temperatur pemanasan katalis pada perbandingan minyak dan air 2:1. Pada temperatur pemanasan  $180^\circ C$  produksi  $H_2$  relatif kecil dibandingkan dengan temperatur pemanasan  $230^\circ C$  dan  $300^\circ C$ . Pada temperatur pemanasa  $180^\circ C$  juga menunjukkan bahwa konsentrasi  $H_2$  yang diproduksi memiliki peningkatan yang relatif rendah. Pada variasi temperatur  $230^\circ C$  terlihat mengalami peningkatan produksi yang cepat pada menit awal, namun terjadi penurunan peningkatan dan mencapai kestabilan produksi di menit akhir percobaan. Hal ini juga terjadi pada variasi temperatur  $300^\circ C$ , dimana pada 5 menit pertama minyak mampu memproduksi  $H_2$  sebesar 839 ppm secara cepat dan namun menurun tingkat produksinya pada 10 menit terakhir. Pada grafik juga ditunjukkan bahwa produksi  $H_2$  paling tinggi terdapat pada temperatur pemanasan  $300^\circ C$  yakni 1008 ppm. Ini membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada katalis, maka semakin besar pula  $H_2$  yang diproduksi. Hal ini sudah sesuai dengan rumus Arrhenius, yaitu :

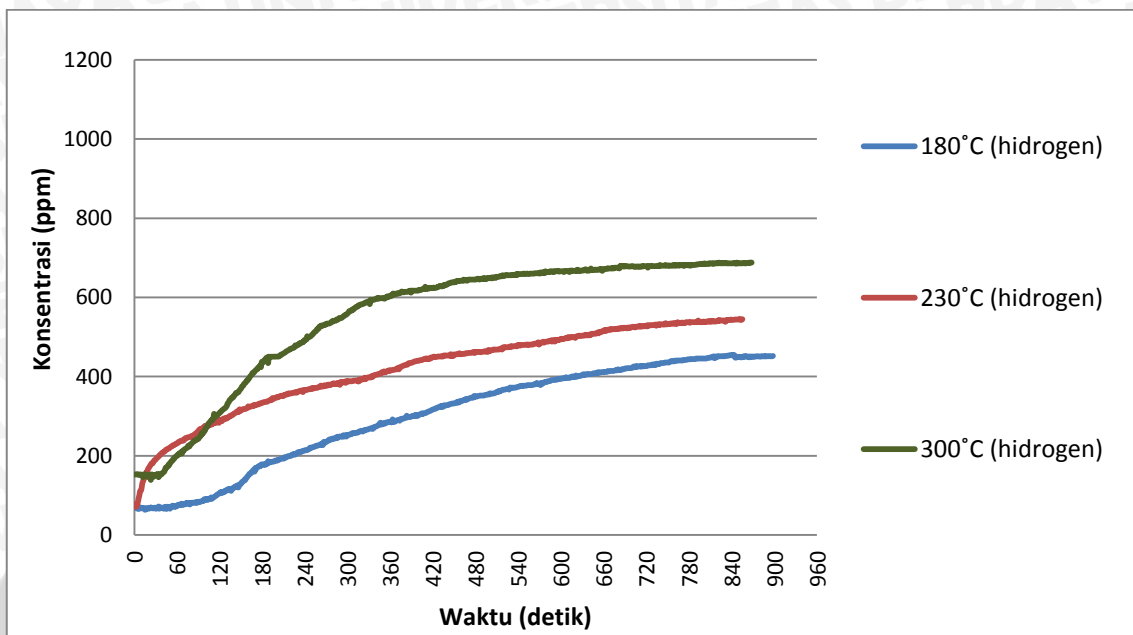
$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}$$

Menurut rumus Arrhenius temperatur berpengaruh terhadap laju reaksi, semakin tinggi temperatur maka laju reaksi juga semakin cepat begitu juga dengan adanya katalis akan menurunkan energi aktivasi dari reaksi *steam reformer*, sehingga produksi hidrogen juga semakin banyak.





#### 4.5.3 Analisa Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Kecepatan Produksi Hidrogen pada Perbandingan Minyak Randu dan Air 1 : 1



Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Kecepatan Produksi Hidrogen pada Perbandingan Minyak randu dan Air 1 : 1

Grafik 4.3 menunjukkan konsentrasi produksi  $H_2$  dengan variasi temperatur pemanasan katalis pada perbandingan minyak dan air 1:1. Pada temperatur pemanasan  $180^\circ C$  produksi  $H_2$  relatif kecil dibandingkan dengan temperatur pemanasan  $230^\circ C$  dan  $300^\circ C$ . Pada temperatur pemanasan  $180^\circ C$  juga menunjukkan bahwa konsentrasi  $H_2$  yang diproduksi memiliki peningkatan yang relatif rendah. Pada variasi temperatur  $230^\circ C$  terlihat mengalami peningkatan produksi yang cepat pada menit awal, namun terjadi penurunan peningkatan dan mencapai kestabilan produksi di menit akhir percobaan. Hal ini juga terjadi pada variasi temperatur  $300^\circ C$ , dimana pada 5 menit pertama minyak mampu memproduksi  $H_2$  sebesar 558 ppm secara cepat dan namun menurun tingkat produksinya pada 10 menit terakhir. Pada grafik juga ditunjukkan bahwa produksi  $H_2$  paling tinggi terdapat pada temperatur pemanasan  $300^\circ C$  yakni 688 ppm. Ini membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada katalis, maka semakin besar pula  $H_2$  yang diproduksi. Hal ini sudah sesuai dengan rumus Arrhenius, yaitu :

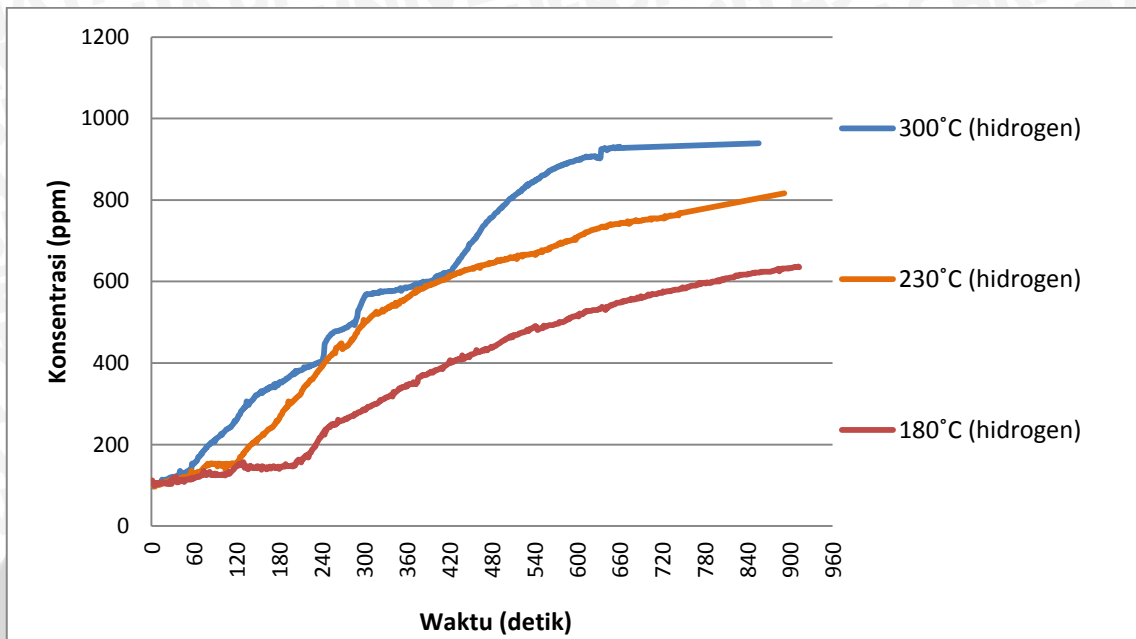
$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R.T}}$$

Menurut rumus Arrhenius temperatur berpengaruh terhadap laju reaksi, semakin tinggi temperatur maka laju reaksi juga semakin cepat begitu juga dengan adanya katalis akan

menurunkan energi aktivasi dari reaksi *steam reformer*, sehingga produksi hidrogen juga semakin banyak.



#### 4.5.4 Analisa Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Kecepatan Produksi Hidrogen pada Perbandingan Minyak Randu dan Air 1 : 2



Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Kecepatan Produksi Hidrogen pada Perbandingan Minyak randu dan Air 1 : 2

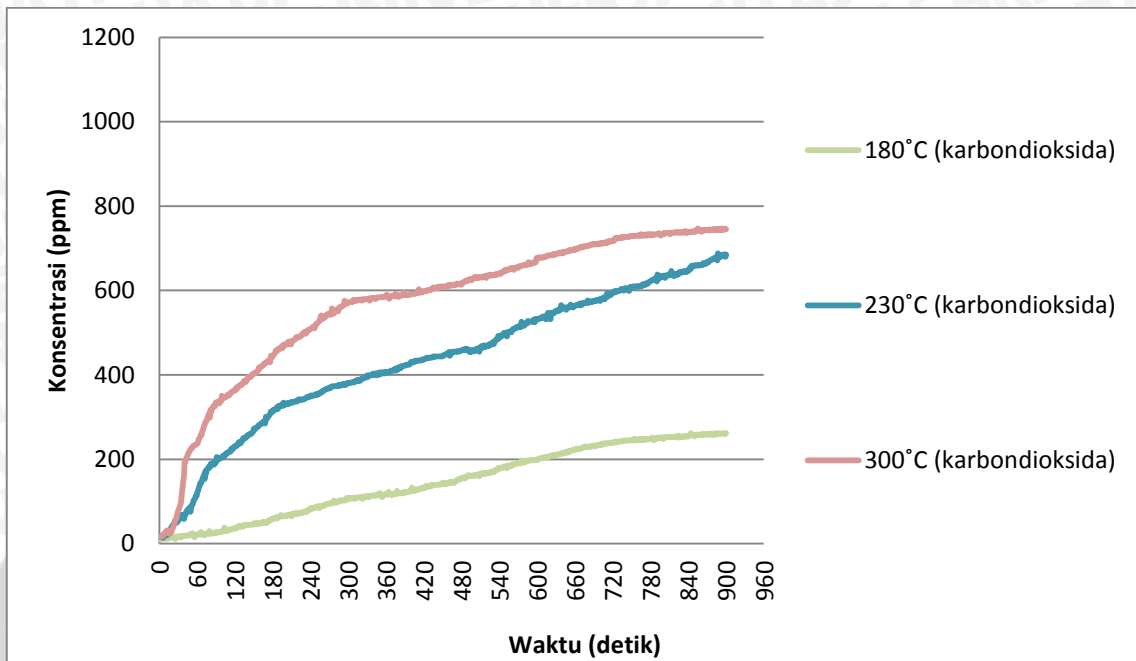
Grafik 4.4 menunjukkan konsentrasi produksi  $H_2$  dengan variasi temperatur pemanasan katalis pada perbandingan minyak dan air 1:2. Pada temperatur pemanasan  $180^\circ C$  produksi  $H_2$  relatif kecil dibandingkan dengan temperatur pemanasan  $230^\circ C$  dan  $300^\circ C$ . Pada temperatur pemanasan  $180^\circ C$  juga menunjukkan bahwa konsentrasi  $H_2$  yang diproduksi memiliki peningkatan yang relatif rendah. Pada variasi temperatur  $230^\circ C$  terlihat mengalami peningkatan produksi yang cepat pada menit awal, namun terjadi penurunan peningkatan dan mencapai kestabilan produksi di menit akhir percobaan. Hal ini juga terjadi pada variasi temperatur  $300^\circ C$ , dimana pada 5 menit pertama minyak mampu memproduksi  $H_2$  sebesar 571 ppm secara cepat dan namun menurun tingkat produksinya pada 10 menit terakhir. Pada grafik juga ditunjukkan bahwa produksi  $H_2$  paling tinggi terdapat pada temperatur pemanasan  $300^\circ C$  yakni 939 ppm. Ini membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada katalis, maka semakin besar pula  $H_2$  yang diproduksi. Hal ini sudah sesuai dengan rumus Arrhenius, yaitu :

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}$$

Menurut rumus Arrhenius temperatur berpengaruh terhadap laju reaksi, semakin tinggi temperatur maka laju reaksi juga semakin cepat begitu juga dengan adanya katalis akan menurunkan energi aktivasi dari reaksi *steam reformer*, sehingga produksi hidrogen juga semakin banyak.



#### 4.5.5 Analisa Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Kecepatan Produksi Karbondioksida pada Perbandingan Minyak Randu dan Air 3 : 1



Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Kecepatan Produksi Karbondioksida pada Perbandingan Minyak randu dan Air 3 : 1

Grafik 4.5 menunjukkan konsentrasi produksi CO<sub>2</sub> dengan variasi temperatur pemanasan katalis pada perbandingan minyak dan air 3:1. Pada temperatur pemanasan 180°C produksi H<sub>2</sub> relatif kecil dibandingkan dengan temperatur pemanasan 230°C dan 300°C. Pada temperatur pemanasan 180°C juga menunjukkan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> yang diproduksi memiliki peningkatan yang relatif rendah. Produksi CO<sub>2</sub> pada grafik yang ditunjukkan terlihat paling tinggi pada temperatur pemanasan 300°C sebesar 745 ppm, ini membuktikan bahwa selama proses reaksi pada temperatur 300°C memang cenderung memproduksi CO<sub>2</sub> dengan proses reaksi yang telah dijabarkan. Begitu pula dengan temperatur pemanasan yang semakin rendah maka produksi CO<sub>2</sub> selama percobaan cenderung lebih rendah, sehingga menunjukkan reaksi cenderung melakukan produksi CO. Ini membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada katalis, maka semakin besar pula CO<sub>2</sub> yang diproduksi.

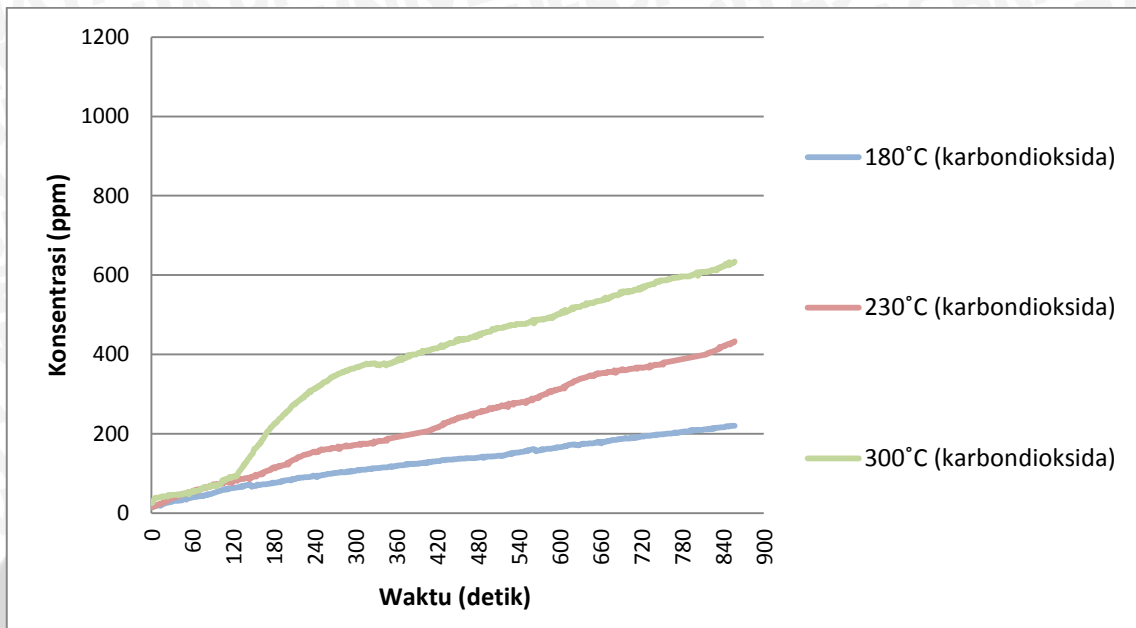
Hal ini sudah sesuai dengan rumus Arrhenius, yaitu :

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}$$

Menurut rumus Arrhenius temperatur berpengaruh terhadap laju reaksi, semakin tinggi temperatur maka laju reaksi juga semakin cepat begitu juga dengan adanya katalis akan menurunkan energi aktivasi dari reaksi *steam reformer*, sehingga produksi CO<sub>2</sub> juga semakin banyak.



#### 4.5.6 Analisa Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Kecepatan Produksi Karbondioksida pada Perbandingan Minyak Randu dan Air 2 : 1



Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Kecepatan Produksi Karbondioksida pada Perbandingan Minyak randu dan Air 2 : 1

Grafik 4.6 menunjukkan konsentrasi produksi CO<sub>2</sub> dengan variasi temperatur pemanasan katalis pada perbandingan minyak dan air 2:1. Pada temperatur pemanasan 180°C produksi H<sub>2</sub> relatif kecil dibandingkan dengan temperatur pemanasan 230°C dan 300°C. Pada temperatur pemanasan 180°C juga menunjukkan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> yang diproduksi memiliki peningkatan yang relatif rendah. Ini membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada katalis, maka semakin besar pula CO<sub>2</sub> yang diproduksi. Produksi CO<sub>2</sub> pada grafik yang ditunjukkan terlihat paling tinggi pada temperatur pemanasan 300°C sebesar 634 ppm, ini membuktikan bahwa selama proses reaksi pada temperatur 300°C memang cenderung memproduksi CO<sub>2</sub> dengan proses reaksi yang telah dijabarkan. Begitu pula dengan temperatur pemanasan yang semakin rendah maka produksi CO<sub>2</sub> selama percobaan cenderung lebih rendah, sehingga menunjukkan reaksi cenderung melakukan produksi CO.

Hal ini sudah sesuai dengan rumus Arrhenius, yaitu :

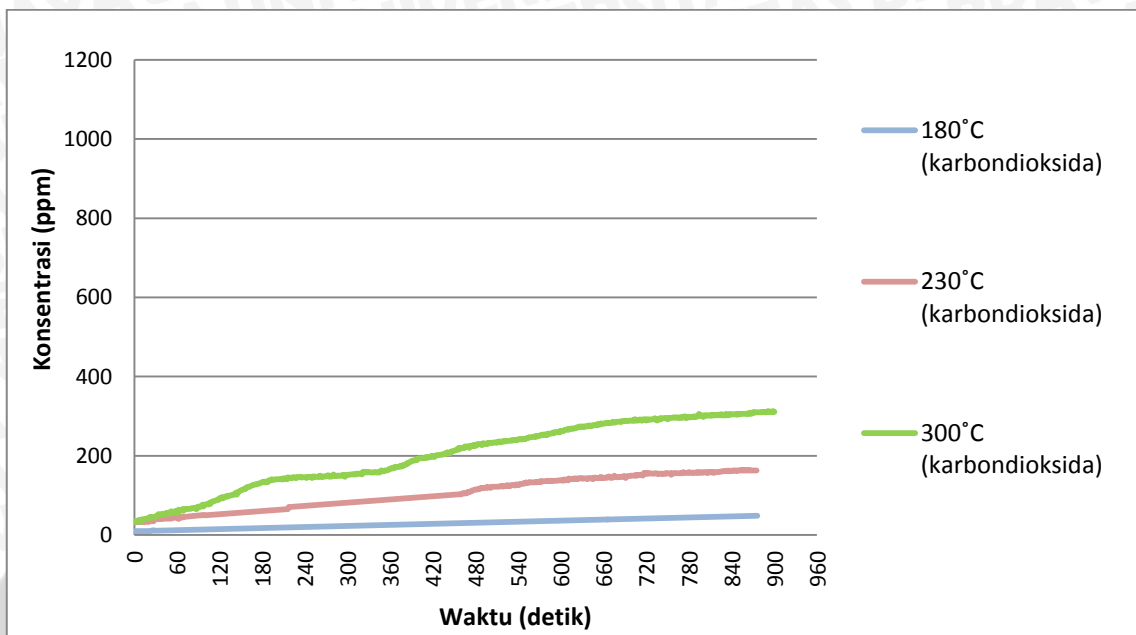
$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}$$

Menurut rumus Arrhenius temperatur berpengaruh terhadap laju reaksi, semakin tinggi temperatur maka laju reaksi juga semakin cepat begitu juga dengan adanya katalis akan menurunkan energi aktivasi dari reaksi *steam reformer*, sehingga produksi CO<sub>2</sub> juga semakin banyak.





#### 4.5.7 Analisa Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Kecepatan Produksi Karbondioksida pada Perbandingan Minyak Randu dan Air 1 : 1



Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Kecepatan Produksi Karbondioksida pada Perbandingan Minyak randu dan Air 1 : 1

Grafik 4.7 menunjukkan konsentrasi produksi dan  $\text{CO}_2$  dengan variasi temperatur pemanasan katalis pada perbandingan minyak dan air 1:1. Pada temperatur pemanasan  $180^\circ\text{C}$  produksi  $\text{H}_2$  relatif kecil dibandingkan dengan temperatur pemanasan  $230^\circ\text{C}$  dan  $300^\circ\text{C}$ . Pada temperatur pemanasan  $180^\circ\text{C}$  juga menunjukkan bahwa konsentrasi  $\text{CO}_2$  yang diproduksi memiliki peningkatan yang relatif rendah. Pada variasi temperatur  $230^\circ\text{C}$  terlihat mengalami peningkatan produksi yang cepat pada menit awal, namun terjadi penurunan peningkatan dan mencapai kestabilan produksi di menit akhir percobaan. Produksi  $\text{CO}_2$  pada grafik yang ditunjukkan terlihat paling tinggi pada temperatur pemanasan  $300^\circ\text{C}$  sebesar 311 ppm, ini membuktikan bahwa selama proses reaksi pada temperatur  $300^\circ\text{C}$  memang cenderung memproduksi  $\text{CO}_2$  dengan proses reaksi yang telah dijabarkan. Begitu pula dengan temperatur pemanasan yang semakin rendah maka produksi  $\text{CO}_2$  selama percobaan cenderung lebih rendah, sehingga menunjukkan reaksi cenderung melakukan produksi  $\text{CO}$ .

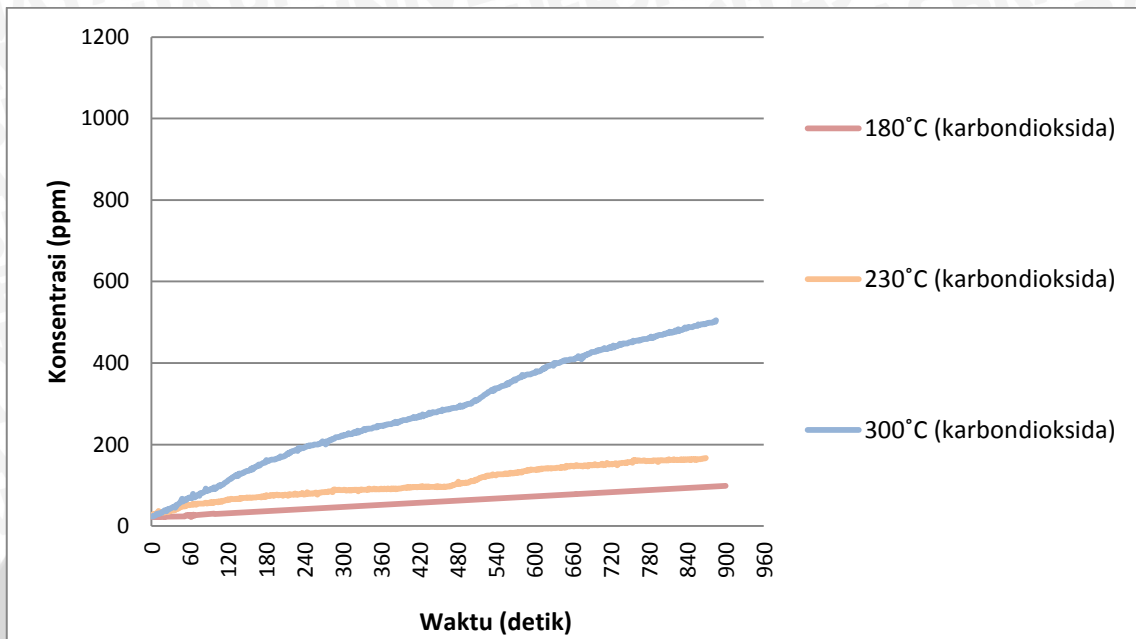
Hal ini sudah sesuai dengan rumus Arrhenius, yaitu :

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}$$

Menurut rumus Arrhenius temperatur berpengaruh terhadap laju reaksi, semakin tinggi temperatur maka laju reaksi juga semakin cepat begitu juga dengan adanya katalis akan menurunkan energi aktivasi dari reaksi *steam reformer*, sehingga produksi CO<sub>2</sub> juga semakin banyak.



#### 4.5.8 Analisa Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Kecepatan Produksi Karbondioksida pada Perbandingan Minyak Randu dan Air 1 : 2



Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Variasi Temperatur terhadap Kecepatan Produksi Karbondioksida pada Perbandingan Minyak randu dan Air 1 : 2

Grafik 4.8 menunjukkan konsentrasi produksi CO<sub>2</sub> dengan variasi temperatur pemanasan katalis pada perbandingan minyak dan air 1:2. Pada temperatur pemanasan 180°C produksi H<sub>2</sub> relatif kecil dibandingkan dengan temperatur pemanasan 230°C dan 300°C. Pada temperatur pemanasan 180°C juga menunjukkan bahwa konsentrasi H<sub>2</sub> yang diproduksi memiliki peningkatan yang relatif rendah. Pada variasi temperatur 230°C terlihat mengalami peningkatan produksi yang cepat pada menit awal, namun terjadi penurunan peningkatan dan mencapai kestabilan produksi di menit akhir percobaan. Produksi CO<sub>2</sub> pada grafik yang ditunjukkan terlihat paling tinggi pada temperatur pemanasan 300°C sebesar 545 ppm, ini membuktikan bahwa selama proses reaksi pada temperatur 300°C memang cenderung memproduksi CO<sub>2</sub> dengan proses reaksi yang telah dijabarkan. Begitu pula dengan temperatur pemanasan yang semakin rendah maka produksi CO<sub>2</sub> selama percobaan cenderung lebih rendah, sehingga menunjukkan reaksi cenderung melakukan produksi CO.

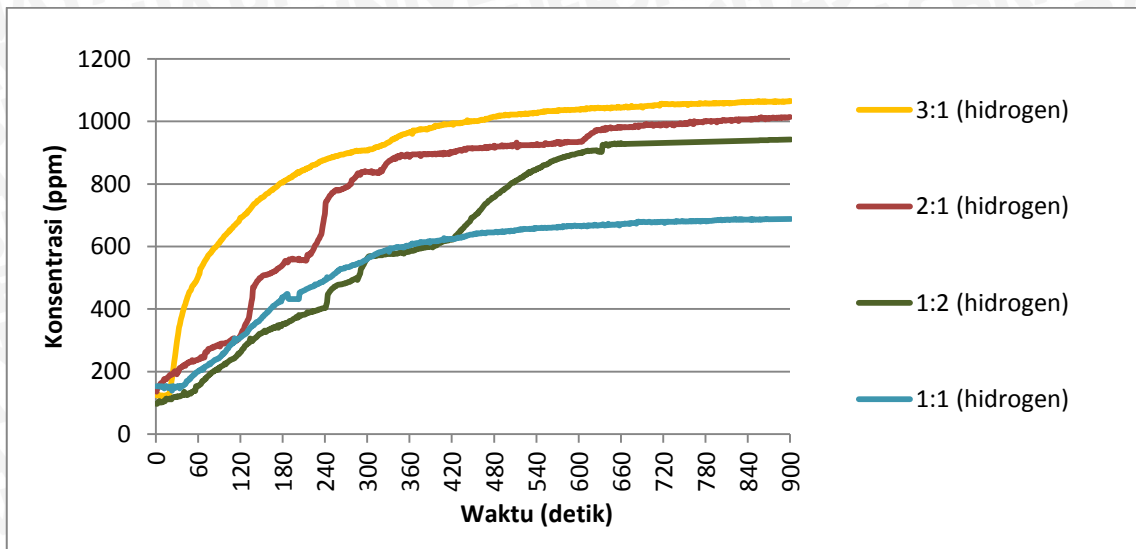
Hal ini sudah sesuai dengan rumus Arrhenius, yaitu :

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}$$

Menurut rumus Arrhenius temperatur berpengaruh terhadap laju reaksi, semakin tinggi temperatur maka laju reaksi juga semakin cepat begitu juga dengan adanya katalis akan menurunkan energi aktivasi dari reaksi *steam reformer*, sehingga produksi hidrogen juga semakin banyak.



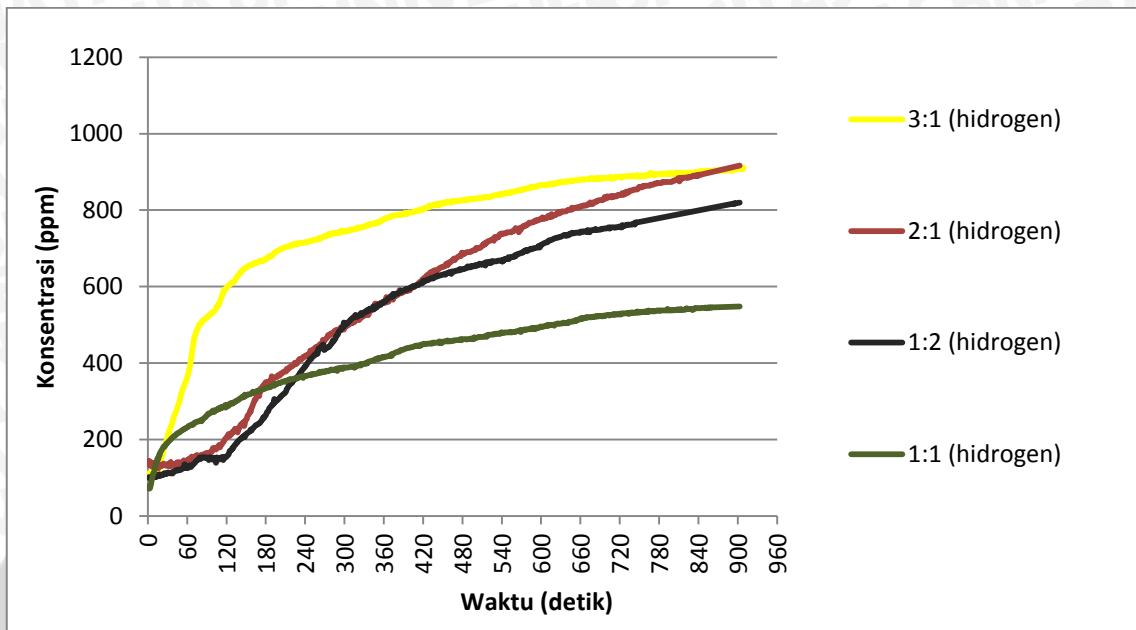
#### 4.5.9 Analisa Grafik Hubungan Perbandingan Minyak Randu dan Air terhadap Kecepatan Produksi Hidrogen pada Temperatur 300 °C



Gambar 4. 9 Analisa Grafik Hubungan Perbandingan Minyak randu dan Air terhadap Kecepatan Produksi Hidrogen pada Temperatur 300 °C

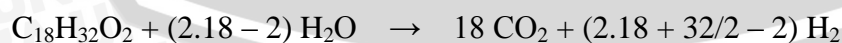
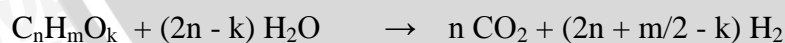
Grafik 4.9 ini menunjukkan perbandingan hasil  $H_2$  pada tiap masing-masing perbandingan konsentrasi massa antara minyak randu dan air pada temperatur pemanasan 300°C. pada grafik ini terlihat kecenderungan peningkatan produksi hidrogen pada setiap detiknya. Produksi hidrogen tertinggi terdapat pada variasi 3 : 1 kemudian 2 : 1 lalu 1: 2 dan yang terendah adalah 1:1. Rata-rata peningkatan hidrogen terjadi pada detik 60. Peningkatan yang paling stabil terdapat pada perbandingan minyak dan air sebesar 3 : 1 ,kemudian cenderung konstan tetapi tetapi ada penambahan pada detik 360 sampai 900. Produksi tertinggi terdapat pada perbandingan minyak dan air sebesar 3 : 1 yakni 1065 ppm. Hal ini dikarenakan pada perbandingan 3 : 1 memiliki reaktan yang paling banyak dibandingkan dengan perbandingan yang lainnya. Sehingga pada perbandingan reaktan yang paling banyak inilah kecenderungan terbentuknya hidrogen akan semakin besar.

#### 4.5.10 Analisa Grafik Hubungan Perbandingan Minyak Randu dan Air terhadap Kecepatan Produksi Hidrogen pada Temperatur 230 °C



Gambar 4. 10 Analisa Grafik Hubungan Perbandingan Minyak randu dan Air terhadap Kecepatan Produksi Hidrogen pada Temperatur 230 °C

Grafik 4.10 ini menunjukkan perbandingan hasil  $H_2$  pada tiap masing-masing perbandingan konsentrasi massa antara minyak randu dan air pada temperatur pemanasan  $230^\circ C$ . pada grafik ini terlihat kecenderungan peningkatan produksi hidrogen pada setiap detiknya. Produksi hidrogen tertinggi terdapat pada variasi 3 : 1 kemudian 1 : 2 lalu 2 : 1 dan yang terendah adalah 1:1. Rata-rata peningkatan hidrogen terjadi pada detik 60. Peningkatan yang paling stabil terdapat pada perbandingan minyak dan air sebesar 1 : 2, hal ini sesuai dengan perbandingan reaksi pencampuran antara minyak randu dan air, yaitu:

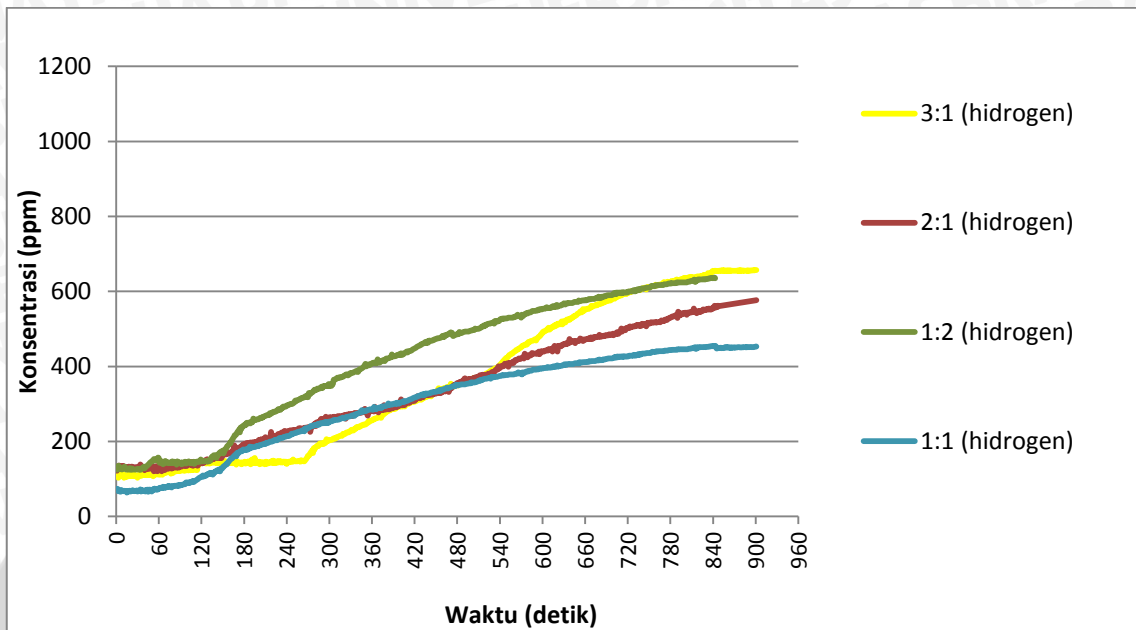


Dimana menurut reaksi pencampuran diatas perbandingan massa yang sesuai adalah 1 : 1,87. Tetapi produksi tertinggi terdapat pada perbandingan minyak dan air sebesar 3 : 1 yakni 923 ppm. Hal ini dikarenakan pada perbandingan 3 : 1 memiliki reaktan yang paling banyak dibandingkan dengan perbandingan yang lainnya. Sehingga pada

perbandingan reaktan yang paling banyak inilah kecenderungan terbentuknya hidrogen akan semakin besar.

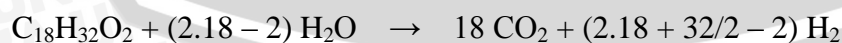
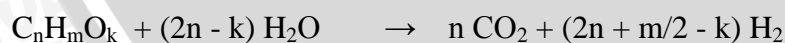


#### 4.5.11 Analisa Grafik Hubungan Perbandingan Minyak randu dan Air terhadap Kecepatan Produksi Hidrogen pada Temperatur 180 °C



Gambar 4. 11 Analisa Grafik Hubungan Perbandingan Minyak randu dan Air terhadap Kecepatan Produksi Hidrogen pada Temperatur 180 °C

Grafik 4.11 ini menunjukkan perbandingan hasil H<sub>2</sub> pada tiap masing-masing perbandingan konsentrasi massa antara minyak randu dan air pada temperatur pemanasan 180°C. pada grafik ini terlihat kecenderungan peningkatan produksi hidrogen pada setiap detiknya. Produksi hidrogen tertinggi terdapat pada variasi 3 : 1 kemudian 1 : 2 lalu 2 : 1 dan yang terendah adalah 1:1. Rata-rata peningkatan hidrogen terjadi pada detik 60. Peningkatan yang paling stabil terdapat pada perbandingan minyak dan air sebesar 1 : 2, hal ini sesuai dengan perbandingan reaksi pencampuran antara minyak randu dan air, yaitu:



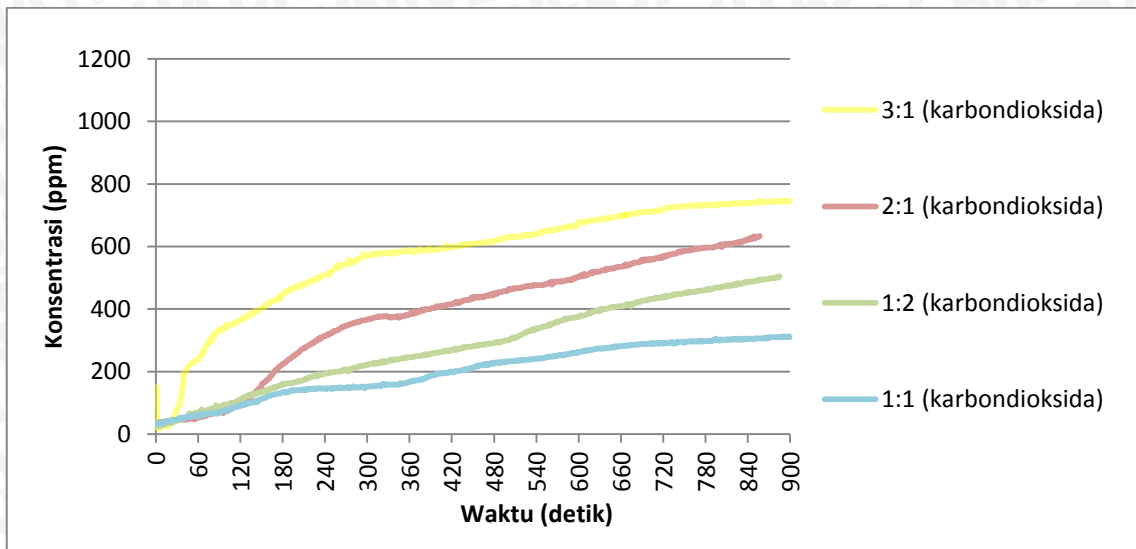
Dimana menurut reaksi pencampuran diatas perbandingan massa yang sesuai adalah 1 : 1,87. Tetapi produksi tertinggi terdapat pada perbandingan minyak dan air sebesar 3 : 1 yakni 911 ppm. Hal ini dikarenakan pada perbandingan 3 : 1 memiliki reaktan yang paling banyak dibandingkan dengan perbandingan yang lainnya. Sehingga pada



perbandingan reaktan yang paling banyak inilah kecenderungan terbentuknya hidrogen akan semakin besar.



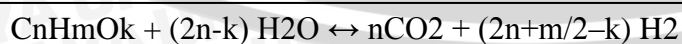
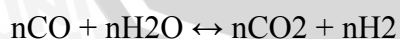
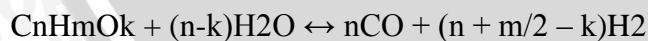
#### 4.5.12 Analisa Grafik Hubungan Perbandingan Minyak Randu dan Air terhadap Kecepatan Produksi Karbondioksida pada Temperatur 300 °C



Gambar 4. 12 Analisa Grafik Hubungan Perbandingan Minyak randu dan Air terhadap Kecepatan Produksi Karbondioksida pada Temperatur 300 °C

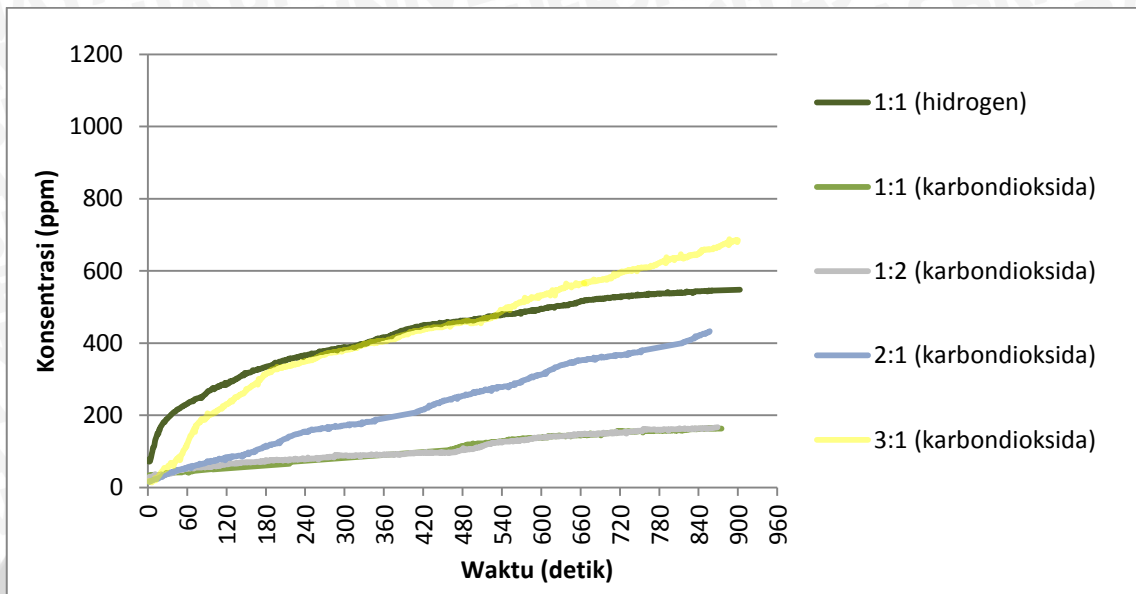
Grafik 4.12 ini menunjukkan perbandingan hasil CO<sub>2</sub> pada tiap masing-masing perbandingan konsentrasi massa antara minyak randu dan air pada temperatur pemanasan 300°C.

Produksi CO<sub>2</sub> pada grafik yang ditunjukkan terlihat paling tinggi pada perbandingan minyak dan air 3 : 1 sebesar 685 ppm, ini membuktikan bahwa selama proses reaksi pada perbandingan minyak dan air 3:1 memang cenderung memproduksi H<sub>2</sub> dengan proses reaksi yang telah dijabarkan. Begitu pula dengan perbandingan minyak dan air yang lebih rendah maka produksi CO<sub>2</sub> selama percobaan cenderung lebih rendah.



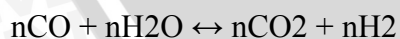
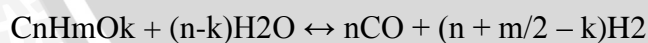
Pada reaksi diatas terdapat 2 tahap reaksi. Pada grafik diatas perbandingan 1 : 1 menunjukkan produksi CO<sub>2</sub> yang terbaca cenderung kecil, yakni hanya 311 ppm selama 15 menit. Diduga pada perbandingan 1:1 ini reaksi cenderung membentuk CO daripada CO<sub>2</sub>.

#### 4.5.13 Analisa Grafik Hubungan Perbandingan Minyak Randu dan Air terhadap Kecepatan Produksi Karbondioksida pada Temperatur 230 °C



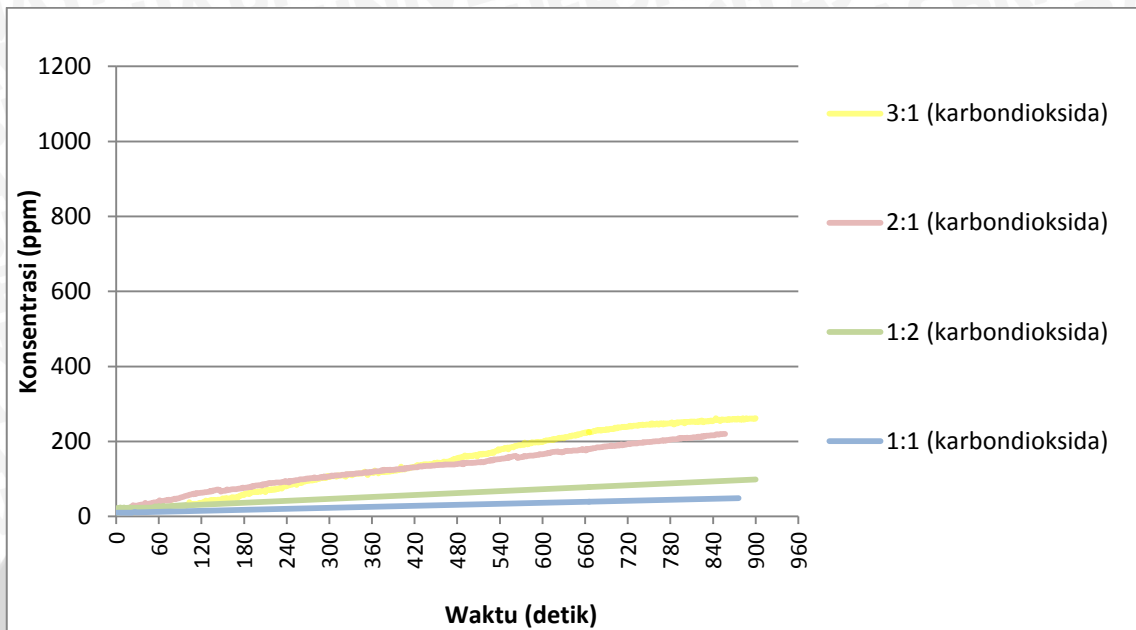
Gambar 4. 13 Analisa Grafik Hubungan Perbandingan Minyak randu dan Air terhadap Kecepatan Produksi Karbondioksida pada Temperatur 230 °C

Grafik 4.13 ini menunjukkan perbandingan hasil CO<sub>2</sub> pada tiap masing-masing perbandingan konsentrasi massa antara minyak randu dan air pada temperatur pemanasan 230°C. Produksi CO<sub>2</sub> pada grafik yang ditunjukkan terlihat paling tinggi pada perbandingan minyak dan air 3 : 1 sebesar 685 ppm, ini membuktikan bahwa selama proses reaksi pada perbandingan minyak dan air 3:1 memang cenderung memproduksi H<sub>2</sub> dengan proses reaksi yang telah dijabarkan. Begitu pula dengan perbandingan minyak dan air yang lebih rendah maka produksi CO<sub>2</sub> selama percobaan cenderung lebih rendah.



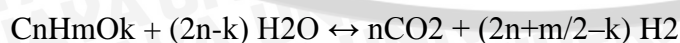
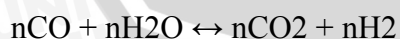
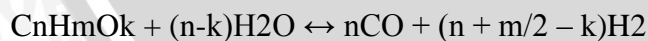
Pada reaksi diatas terdapat 2 tahap reaksi. Pada grafik diatas perbandingan 1 : 1 menunjukkan produksi CO<sub>2</sub> yang terbaca cenderung kecil, yakni hanya 163 ppm selama 15 menit. Diduga pada perbandingan 1:1 ini reaksi cenderung membentuk CO daripada CO<sub>2</sub>.

#### 4.5.14 Analisa Grafik Hubungan Perbandingan Minyak randu dan Air terhadap Kecepatan Produksi Karbondioksida pada Temperatur 180 °C



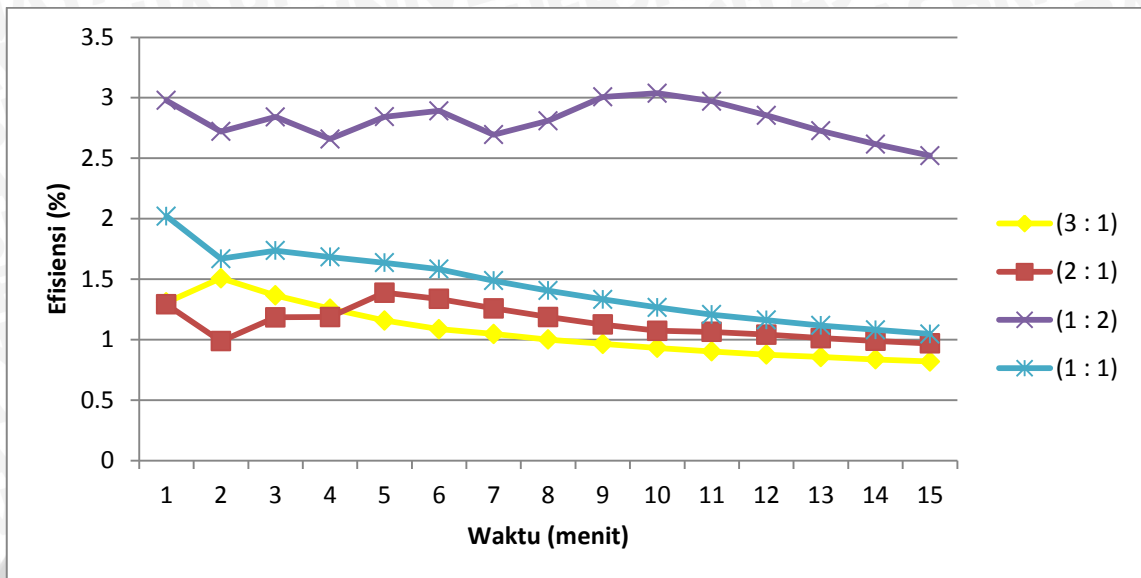
Gambar 4. 14 Analisa Grafik Hubungan Perbandingan Minyak randu dan Air terhadap Kecepatan Produksi Karbondioksida pada Temperatur 180 °C

Grafik 4.14 ini menunjukkan perbandingan hasil CO<sub>2</sub> pada tiap masing-masing perbandingan konsentrasi massa antara minyak randu dan air pada temperatur pemanasan 180°C. Produksi CO<sub>2</sub> pada grafik yang ditunjukkan terlihat paling tinggi pada perbandingan minyak dan air 3 : 1 sebesar 267 ppm, ini membuktikan bahwa selama proses reaksi pada perbandingan minyak dan air 3 : 1 memang cenderung memproduksi H<sub>2</sub> dengan proses reaksi yang telah dijabarkan. Begitu pula dengan perbandingan minyak dan air yang lebih rendah maka produksi CO<sub>2</sub> selama percobaan cenderung lebih rendah.



Pada reaksi diatas terdapat 2 tahap reaksi. Pada perbandingan 1 : 1 menunjukkan reaksi cenderung memproduksi CO, karena produksi CO<sub>2</sub> yang terbaca sangatlah kecil, yakni hanya 49 ppm selama 15 menit.

#### 4.5.15 Analisa Grafik Efisiensi Hasil Produksi Hidrogen tanpa Penambahan Daya Kompor dan Pemanas pada Temperatur 300 °C



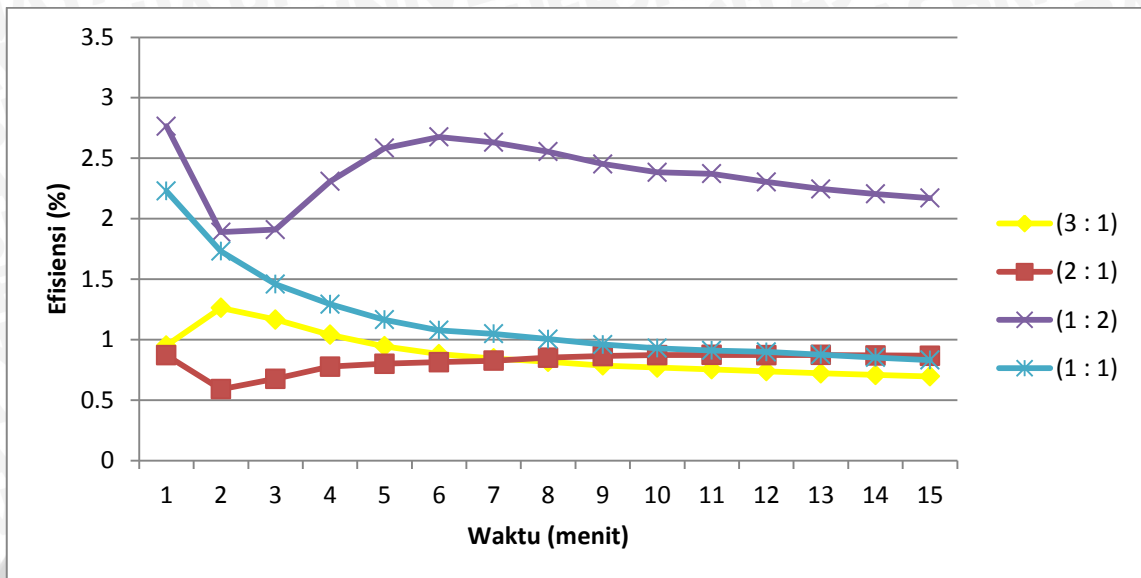
Gambar 4. 15 Analisa Grafik Efisiensi Hasil Produksi Hidrogen tanpa Penambahan Daya Kompor dan Pemanas pada Temperatur 300 °C

Gambar 4.15 diatas menjelaskan hubungan waktu dan efisiensi pada temperatur 300 °C dengan berbagai macam variasi perbandingan massa minyak randu dan air. Perhitungan efisiensi dilakukan dengan cara membagi nilai kalor total H<sub>2</sub> yang dihasilkan dengan nilai kalor total minyak randu yang dibutuhkan selama 15 menit.

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai rata - rata efisiensi perbandingan minyak randu dan air dari efisiensi paling tinggi ke efisiensi paling rendah adalah variasi 1:2 (2,812%), variasi 1:1 (1,429%), variasi 2:1 (1,139%), dan variasi 3:1 (1,061%). Pada variasi perbandingan 3:1 dengan suhu 300 °C produksinya paling tinggi, namun variasi ini memiliki nilai efisiensi terendah dibandingkan variasi yang lain, hal ini dikarenakan pemakaian bahan baku (minyak randu) yang terlalu banyak. Karena menurut persamaan  $C_{18}H_{34}O_2 + 34H_2O \rightarrow 18CO_2 + 51H_2$ , perbandingan massa minyak randu dan air yang efisien dengan persamaan diatas adalah 1:1,87. Sehingga disini pada variasi perbandingan 1:2 nilai rata – rata efisiensinya paling tinggi.

Pada menit – menit awal efisiensi cenderung tinggi kemudian menurun seiring bertambahnya waktu, hal ini disebabkan pada awal proses pembacaan hidrogen oleh sensor di dalam hidrogen storage sudah tinggi ( $\pm 100$  ppm), sedangkan rata – rata kenaikan konsentrasi hidrogen per menit cenderung rendah, yaitu sebesar 628,163 ppm.

#### 4.5.16 Analisa Grafik Efisiensi Hasil Produksi Hidrogen tanpa Penambahan Daya Kompor dan Pemanas pada Temperatur 230 °C



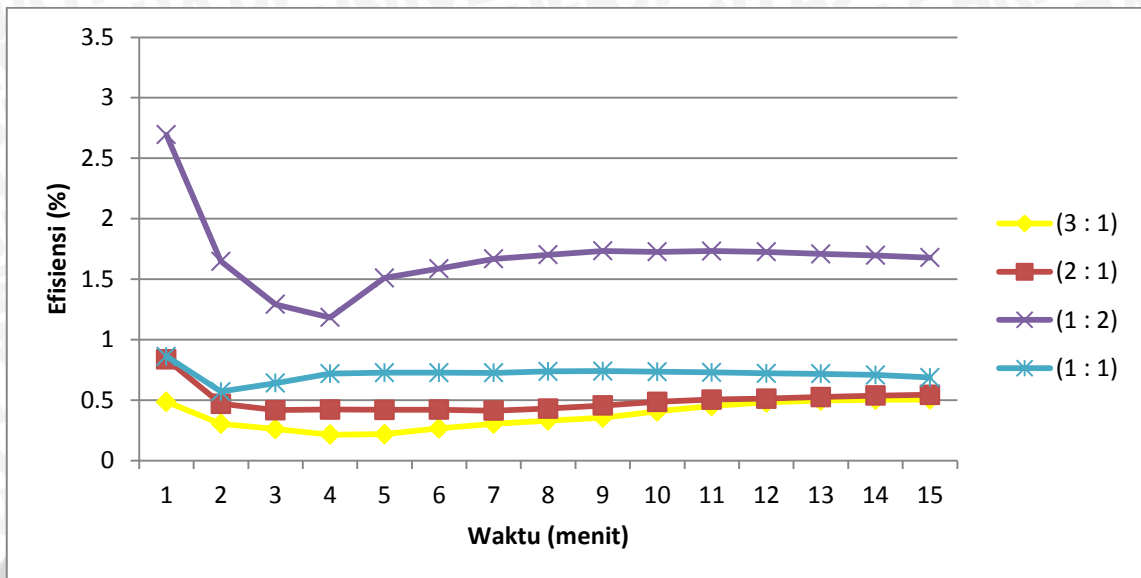
Gambar 4. 16 Analisa Grafik Efisiensi Hasil Produksi Hidrogen tanpa Penambahan Daya Kompor dan Pemanas pada Temperatur 230 °C

Gambar 4.16 diatas menjelaskan hubungan waktu dan efisiensi pada temperatur 230 °C dengan berbagai macam variasi perbandingan massa minyak randu dan air. Perhitungan efisiensi dilakukan dengan cara membagi nilai kalor total H<sub>2</sub> yang dihasilkan dengan nilai kalor total minyak randu yang dibutuhkan selama 15 menit.

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai rata - rata efisiensi perbandingan minyak randu dan air dari efisiensi paling tinggi ke efisiensi paling rendah adalah variasi 1:2 (2,361%), variasi 1:1 (1,151%), variasi 3:1 (0,872%), dan variasi 2:1 (0,819%). Pada variasi perbandingan 3:1 dengan suhu 230 °C produksinya paling tinggi, namun variasi ini memiliki nilai efisiensi terendah dibandingkan variasi yang lain, hal ini dikarenakan pemakaian bahan baku (minyak randu) yang terlalu banyak. Karena menurut persamaan  $C_{18}H_{34}O_2 + 34H_2O \rightarrow 18CO_2 + 51H_2$ , perbandingan massa minyak randu dan air yang efisien dengan persamaan diatas adalah 1:1,87. Sehingga disini pada variasi perbandingan 1:2 nilai rata – rata efisiensinya paling tinggi.

Pada menit – menit awal efisiensi cenderung tinggi kemudian menurun seiring bertambahnya waktu, hal ini disebabkan pada awal proses pembacaan hidrogen oleh sensor di dalam hidrogen storage sudah tinggi ( $\pm 100$  ppm), sedangkan rata – rata kenaikan konsentrasi hidrogen per menit cenderung rendah, yaitu sebesar 546 ppm.

#### 4.5.17 Analisa Grafik Efisiensi Hasil Produksi Hidrogen tanpa Penambahan Daya Kompor dan Pemanas pada Temperatur 180 °C



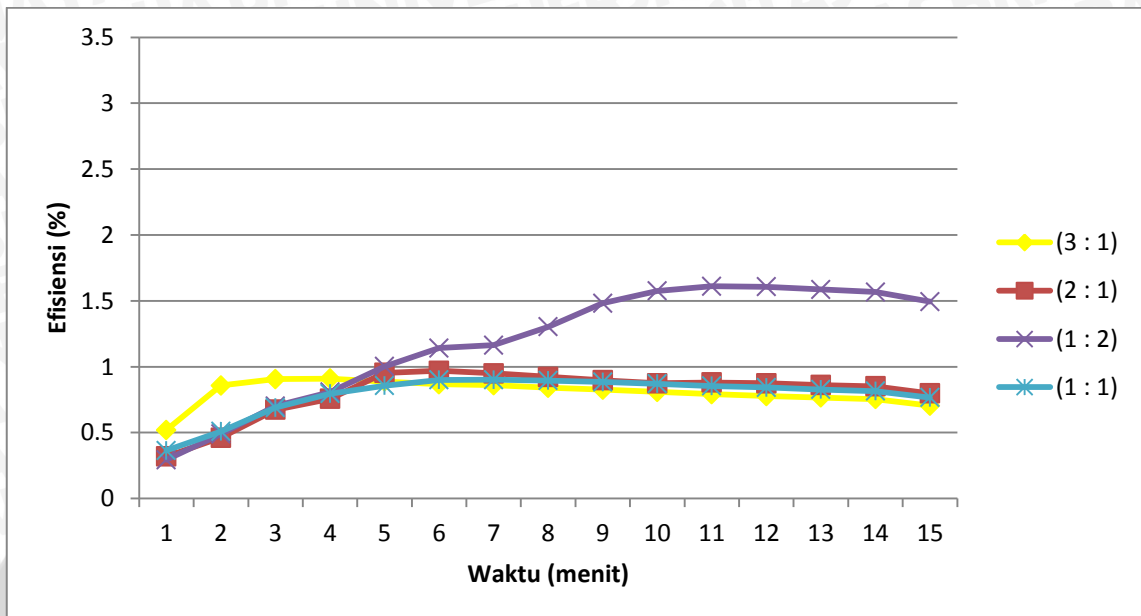
Gambar 4. 17 Analisa Grafik Efisiensi Hasil Produksi Hidrogen tanpa Penambahan Daya Kompor dan Pemanas pada Temperatur 180 °C

Gambar 4.17 diatas menjelaskan hubungan waktu dan efisiensi pada temperatur 180 °C dengan berbagai macam variasi perbandingan massa minyak randu dan air. Perhitungan efisiensi dilakukan dengan cara membagi nilai kalor total H<sub>2</sub> yang dihasilkan dengan nilai kalor total minyak randu yang dibutuhkan selama 20 menit.

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai rata - rata efisiensi perbandingan minyak randu dan air dari efisiensi paling tinggi ke efisiensi paling rendah adalah variasi 1:2 (1,685%), variasi 1:1 (0,716%), variasi 2:1 (0,493%), dan variasi 3:1 (0,372%). Pada variasi perbandingan 1:3 dengan suhu 180 °C produksinya paling tinggi, namun variasi ini memiliki nilai efisiensi terendah dibandingkan variasi yang lain, hal ini dikarenakan pemakaian bahan baku (minyak randu) yang terlalu banyak. Karena menurut persamaan  $C_{18}H_{34}O_2 + 34H_2O \rightarrow 18CO_2 + 51H_2$ , perbandingan massa minyak randu dan air yang efisien dengan persamaan diatas adalah 1:1,87. Sehingga disini pada variasi perbandingan 1:2 nilai rata – rata efisiensinya paling tinggi.

Pada menit – menit awal efisiensi cenderung tinggi kemudian menurun seiring bertambahnya waktu, hal ini disebabkan pada awal proses pembacaan hidrogen oleh sensor di dalam hidrogen storage sudah tinggi ( $\pm 100$  ppm), sedangkan rata – rata kenaikan konsentrasi hidrogen per menit cenderung rendah, yaitu sebesar. 378 ppm.

#### 4.5.18 Analisa Grafik Efisiensi Hasil Produksi Hidrogen dengan Penambahan Daya Kompur dan Pemanas pada Temperatur 300 °C



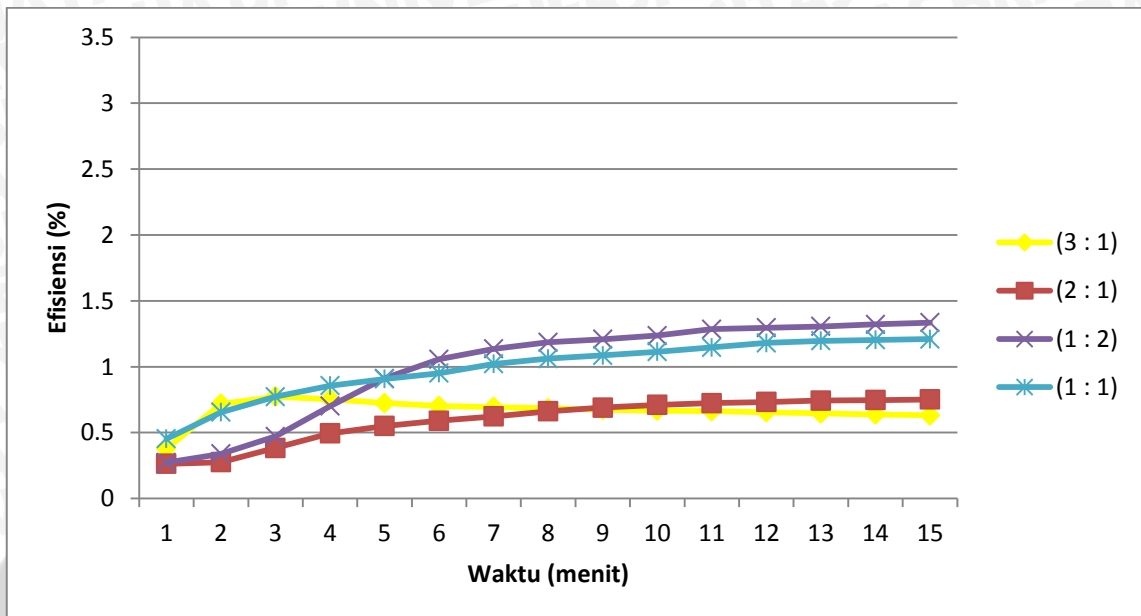
Gambar 4. 18 Analisa Grafik Efisiensi Hasil Produksi Hidrogen dengan Penambahan Daya Kompur dan Pemanas pada Temperatur 300 °C

Gambar 4.18 diatas menjelaskan hubungan waktu dan efisiensi pada temperatur 300 °C dengan berbagai macam variasi perbandingan massa minyak randu dan air. Perhitungan efisiensi dilakukan dengan cara membagi nilai kalor total H<sub>2</sub> yang dihasilkan dengan nilai kalor total minyak randu yang sudah ditambah dengan daya kompur yang dibutuhkan selama 15 menit.

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai rata - rata efisiensi perbandingan minyak randu dan air dari efisiensi paling tinggi ke efisiensi paling rendah adalah variasi 1:2, variasi 2:1, variasi 1:1, dan variasi 3:1. Pada nilai efisiensi dengan penambahan daya kompur dan pemanas terjadi penurunan jika dibandingkan dengan tanpa penambahan daya kompur dan pemanas (Gambar 4.8), hal ini dikarenakan dengan hidrogen yang dihasilkan sama dengan pada gambar 4.8, akan tetapi pada grafik ini terjadi penambahan daya yang digunakan oleh kompur dan pemanas selama 15 menit yaitu sebesar 32726,089 joule sehingga nilai efisiensinya lebih rendah dari nilai efisiensi pada gambar 4.8. Walaupun ada penambahan daya pada setiap menitnya apabila diimbangi dengan hidrogen yang dihasilkan maka nilai efisiensinya tidak akan jauh berbeda dengan nilai efisiensi pada gambar 4.8.



#### 4.5.19 Analisa Grafik Efisiensi Hasil Produksi Hidrogen dengan Penambahan Daya Kompur dan Pemanas pada Temperatur 230 °C

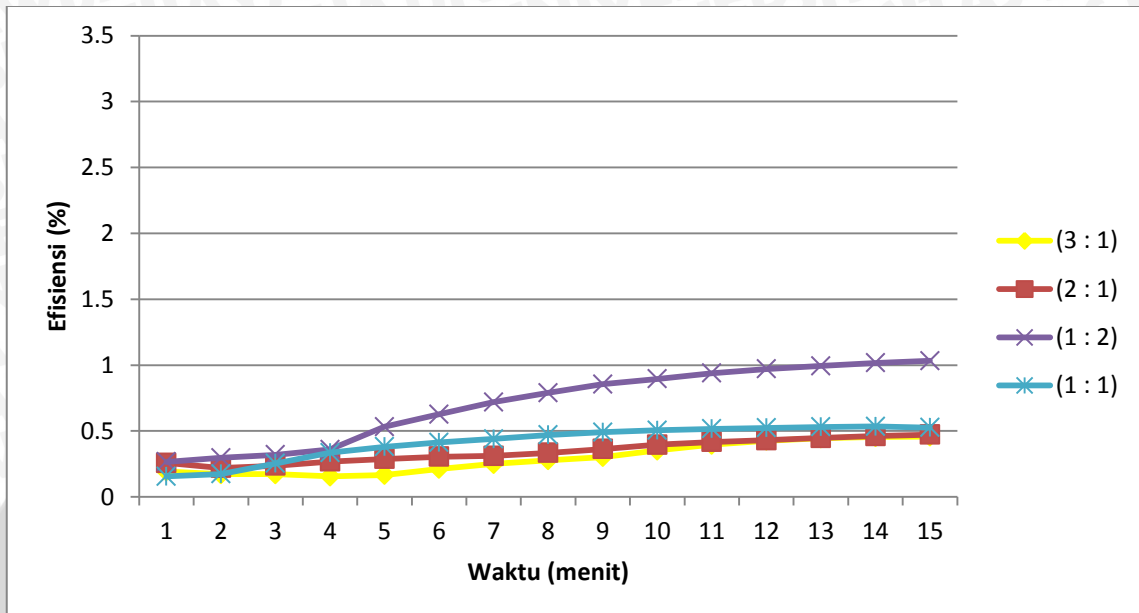


Gambar 4. 19 Analisa Grafik Efisiensi Hasil Produksi Hidrogen dengan Penambahan Daya Kompur dan Pemanas pada Temperatur 230 °C

Gambar 4.19 diatas menjelaskan hubungan waktu dan efisiensi pada temperatur 230 °C dengan berbagai macam variasi perbandingan massa minyak randu dan air. Perhitungan efisiensi dilakukan dengan cara membagi nilai kalor total H<sub>2</sub> yang dihasilkan dengan nilai kalor total minyak randu yang sudah ditambah dengan daya kompur yang dibutuhkan selama 15 menit.

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai rata - rata efisiensi perbandingan minyak randu dan air dari efisiensi paling tinggi ke efisiensi paling rendah adalah variasi 1:2, variasi 1:1, variasi 2:1, dan variasi 3:1. Pada nilai efisiensi dengan penambahan daya kompur dan pemanas terjadi penurunan jika dibandingkan dengan tanpa penambahan daya kompur dan pemanas (Gambar 4.9), hal ini dikarenakan dengan hidrogen yang dihasilkan sama dengan pada gambar 4.9, akan tetapi pada grafik ini terjadi penambahan daya yang digunakan oleh kompur dan pemanas selama 15 menit yaitu sebesar 32726,089 joule sehingga nilai efisiensinya lebih rendah dari nilai efisiensi pada gambar 4.9. Walaupun ada penambahan daya pada setiap menitnya apabila diimbangi dengan hidrogen yang dihasilkan maka nilai efisiensinya tidak akan jauh berbeda dengan nilai efisiensi pada gambar 4.9.

#### 4.5.20 Analisa Grafik Efisiensi Hasil Produksi Hidrogen dengan Penambahan Daya Kompur dan Pemanas pada Temperatur 180 °C



Gambar 4. 20 Analisa Grafik Efisiensi Hasil Produksi Hidrogen dengan Penambahan Daya Kompur dan Pemanas pada Temperatur 180 °C

Gambar 4.20 diatas menjelaskan hubungan waktu dan efisiensi pada temperatur 180 °C dengan berbagai macam variasi perbandingan massa minyak randu dan air. Perhitungan efisiensi dilakukan dengan cara membagi nilai kalor total H<sub>2</sub> yang dihasilkan dengan nilai kalor total minyak randu yang sudah ditambah dengan daya kompur yang dibutuhkan selama 15 menit.

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai rata - rata efisiensi perbandingan minyak randu dan air dari efisiensi paling tinggi ke efisiensi paling rendah adalah variasi 1:2, variasi 1:1, variasi 2:1, dan variasi 3:1. Pada nilai efisiensi dengan penambahan daya kompur dan pemanas terjadi penurunan jika dibandingkan dengan tanpa penambahan daya kompur dan pemanas (Gambar 4.10), hal ini dikarenakan dengan hidrogen yang dihasilkan sama dengan pada gambar 4.10, akan tetapi pada grafik ini terjadi penambahan daya yang digunakan oleh kompur dan pemanas selama 15 menit yaitu sebesar 32726,089 joule sehingga nilai efisiensinya lebih rendah dari nilai efisiensi pada gambar 4.10. Walaupun ada penambahan daya pada setiap menitnya apabila diimbangi dengan hidrogen yang dihasilkan maka nilai efisiensinya tidak akan jauh berbeda dengan nilai efisiensi pada gambar 4.10.