

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengolahan Data

Pada bab ini dilakukan pengambilan, pengolahan, perhitungan dan pembahasan data hasil pengujian yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Data dalam table dan grafik di analisa lebih lanjut untuk ditampilkan dan di analisa.

4.2. Data Hasil Penelitian

Data hasil penelitian proses steam reforming dengan variasi katalis 1 tahapan, 2 tahapan, 3 tahapan dan variasi temperatur pemanasan 200°C, 250°C dan 300°C pada perbandingan campuran minyak randu dan air 3:1. Data yang diperoleh berupa kandungan konsentrasi gas hidrogen (H₂) dalam satuan ppm (*part per million*) yang disajikan dalam table pada lampiran dan diolah dalam bentuk grafik yang di bahas dalam pembahasan.

Pada penelitian ini, data logger dikonversikan ke dalam table sehingga mempermudah pengolahannya. Data tersebut menggunakan satuan ppm (*part per million*) yang merupakan konversi dari tegangan (volt) yang terbaca sensor gas hidrogen MQ-8.

4.3. Perhitungan Efisiensi

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

Data perhitungan :

$$\rho_{\text{hidrogen}} = 0,0000852 \text{ g/ml}$$

$$\text{Minyak randu 45 tetes} = 1 \text{ ml}$$

$$1 \text{ tetes minyak randu} = \frac{1}{45} \text{ ml} = 0,022 \text{ ml}$$

$$1 \text{ tetes minyak randu} = 0,014 \text{ mg}$$

Waktu alir minyak tiap tetes pada perbandingan massa minyak randu dan air 3:1

$$\frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{m.randu}}} = \frac{t_{\text{alir minyak randu}}}{t_{\text{alir air}}}$$

$$\frac{1,0,02}{3,0,022} = \frac{2}{t_{\text{alir air}}}$$

$T_{\text{alir air}} = 6,6$ detik

Air 50 tetes = 1 ml

$$1 \text{ tetes air} = \frac{1}{50} \text{ ml} = 0,02 \text{ ml}$$

$$1 \text{ tetes air} = 0,028 \text{ mg}$$

Waktu alir minyak randu tiap 1 tetes adalah 2 detik.

$$Q_{\text{minyak randu}} = 9314,75 \text{ Kcal/kg}$$

$$Q_{\text{hidrogen}} = 28651 \text{ Kcal/kg}$$

- Kalor minyak randu tiap tetes

$$1 \text{ tetes minyak randu} = 0,014 \text{ mg/2 s}$$

$$= 0,007 \text{ mg/s}$$

$$1 \text{ kg} = 9314,75 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{minyak}} = 0,007 \text{ mg/s} = 0,000652 \text{ Kcal/s}$$

Reaksi kimia pada kondisi stoikiometri dari reaksi pembentukan hidrogen adalah :



Dimana:

Atom C= 12, H=1, O=16

Maka,

$$\text{Mr C}_{18}\text{H}_{30}\text{O}_2 = (12 \cdot 18 + 30 \cdot 1 + 16 \cdot 2) = 278$$

$$\text{Mr H}_2 = (1 \cdot 2) = 2$$

Kalor yang dihasilkan $C_{18}H_{30}O_2$:

$$278 \text{ gram} = 0,278 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} Q_{C_{18}H_{30}O_2} &= 9314,75 \text{ Kcal/kg} \cdot 0,278 \text{ Kg} \\ &= 2589,5 \text{ Kcal} \end{aligned}$$

Kalor yang dihasilkan H_2 :

$$\begin{aligned} Q_{hidrogen} &= 28651 \text{ Kcal/kg} \cdot 0,098 \text{ Kg} \\ &= 2807,798 \text{ Kcal} \end{aligned}$$

Pada kondisi kesetimbangan reaksi 278 gram $C_{18}H_{30}O_2$ memiliki kalor sebesar 2589,5 Kcal menjadi 98 gram H_2 dengan nilai kalor 2807,798 Kcal. Dalam kondisi stoikiometri tersebut efisiensi yang di hasilkan :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{Q_{hidrogen}}{Q_{minyak\ randu}} \times 100 \% \\ &= \frac{2807,798 \text{ Kcal}}{2589,5 \text{ Kcal}} \times 100 \% \\ &= 108,4 \% \end{aligned}$$

Pada pengambilan data secara actual di dapatkan perhitungan kalor hidrogen yang dihasilkan tiap detik untuk temperatur 200°C seperti pada perhitungan di bawah ini :

Katalis 1 Tahapan :

- Massa hidrogen = $\frac{\text{hidrogen tiap detik}}{1000000} \times \text{volume penampung} \times \rho_{hidrogen}$

$$= \frac{3,1023 \text{ ppm/s}}{1000000} \times 5000 \text{ ml} \times 0,0000852 \text{ g/ml}$$

$$= 1,32158 \times 10^{-06} \text{ g/s}$$
- $Q_{hidrogen} = 1,32158 \times 10^{-06} \text{ g/s} \times 28,651 \text{ Kcal/g}$

$$= 3,7864 \times 10^{-5} \text{ Kcal/s}$$
- Efisiensi = $\frac{Q_{hidrogen}}{Q_{minyak\ randu}} \times 100 \%$

$$= \frac{3,7864 \times 10^{-5} \text{ Kcal/s}}{0,00019561 \text{ Kcal/s}} \times 100 \%$$

$$= 19,42 \%$$

Katalis 2 Tahapan :

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Massa hidrogen} &= \frac{\text{hidrogen tiap detik}}{1000000} \times \text{volume penampung} \times \rho_{\text{hidrogen}} \\ &= \frac{3,6909 \text{ ppm/s}}{1000000} \times 5000 \text{ ml} \times 0,0000852 \text{ g/ml} \\ &= 1,5723 \times 10^{-06} \text{ g/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet Q_{\text{hidrogen}} &= 1,5723 \times 10^{-06} \text{ g/s} \times 28,651 \text{ Kcal/kg} \\ &= 4,5048 \times 10^{-5} \text{ Kcal/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Efisiensi} &= \frac{Q_{\text{hidrogen}}}{Q_{\text{minyak randu}}} \times 100 \% \\ &= \frac{4,5048 \times 10^{-5} \text{ Kcal/s}}{0,00019561 \text{ Kcal/s}} \times 100 \% \\ &= 23,03 \% \end{aligned}$$

Katalis 3 Tahapan :

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Massa hidrogen} &= \frac{\text{hidrogen tiap detik}}{1000000} \times \text{volume penampung} \times \rho_{\text{hidrogen}} \\ &= \frac{4,0664 \text{ ppm/s}}{1000000} \times 5000 \text{ ml} \times 0,0000852 \text{ g/ml} \\ &= 1,73228 \times 10^{-06} \text{ g/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet Q_{\text{hidrogen}} &= 1,73228 \times 10^{-06} \text{ g/s} \times 28,651 \text{ Kcal/kg} \\ &= 4,9632 \times 10^{-5} \text{ Kcal/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Efisiensi} &= \frac{Q_{\text{hidrogen}}}{Q_{\text{minyak randu}}} \times 100 \% \\ &= \frac{4,9632 \times 10^{-5} \text{ Kcal/s}}{0,00019561 \text{ Kcal/s}} \times 100 \% \\ &= 25,37 \% \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama diperoleh hasil perhitungan Q_{hidrogen} sebagaimana dalam table berikut (detail perhitungan dapat di lihat pada lampiran):

Table 4.1. Data Hasil Q_{hidrogen} Pada Laju Produksi Rata-Rata

Katalis	Q_{hidrogen} pada Variasi Temperatur Pemanasan (Kcal/s)		
	200° C	250° C	300° C
1 Tahapan	$3,7864 \times 10^{-5}$	$4,08351 \times 10^{-5}$	$4,4254 \times 10^{-5}$
2 Tahapan	$4,5048 \times 10^{-5}$	$5,9415 \times 10^{-5}$	$6,0689 \times 10^{-5}$
3 Tahapan	$4,9632 \times 10^{-5}$	$7,5926 \times 10^{-5}$	$8,2526 \times 10^{-5}$

Dengan cara perhitungan yang sama diperoleh hasil perhitungan η_{hidrogen} sebagaimana dalam table berikut (detail perhitungan dapat di lihat pada lampiran):

Table 4.2. Data Hasil η_{hidrogen} Proses Steam Reforming

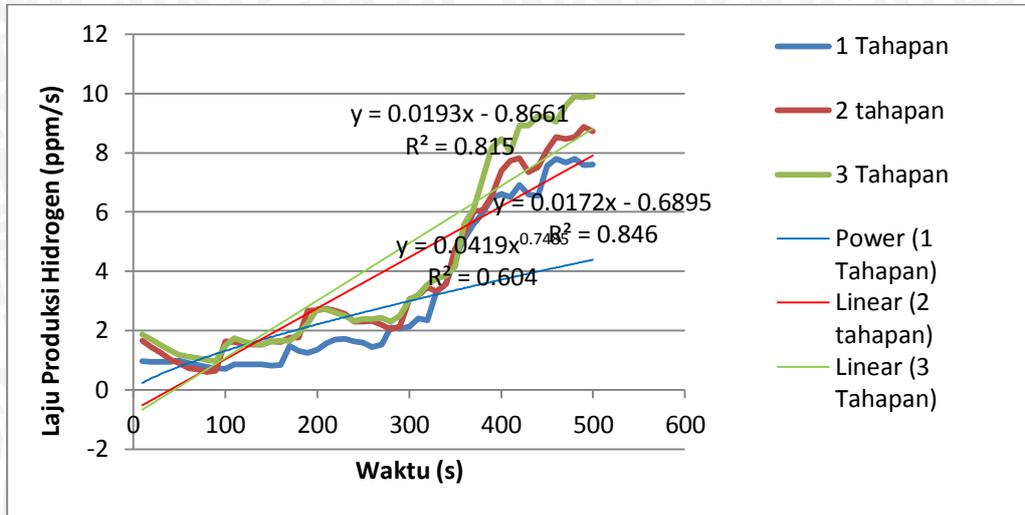
Katalis	η_{hidrogen} pada Variasi Temperatur Pemanasan (%)		
	200° C	250° C	300° C
1 Tahapan	19,42	20,87	22,62
2 Tahapan	23,03	30,37	31,02
3 Tahapan	25,37	38,81	42,18

4.4. Pembahasan

Pembahasan ini untuk menganalisa pengaruh tahapan katalis dan variasi temperatur pemanasan pada campuran minyak randu dan air dengan perbandingan 3:1 terhadap produksi hidrogen yang dihasilkan.

Berikut disajikan dalam bentuk grafik untuk membahas setiap point variasi temperatur pemanasan yang di dapat dari hasil penelitian.

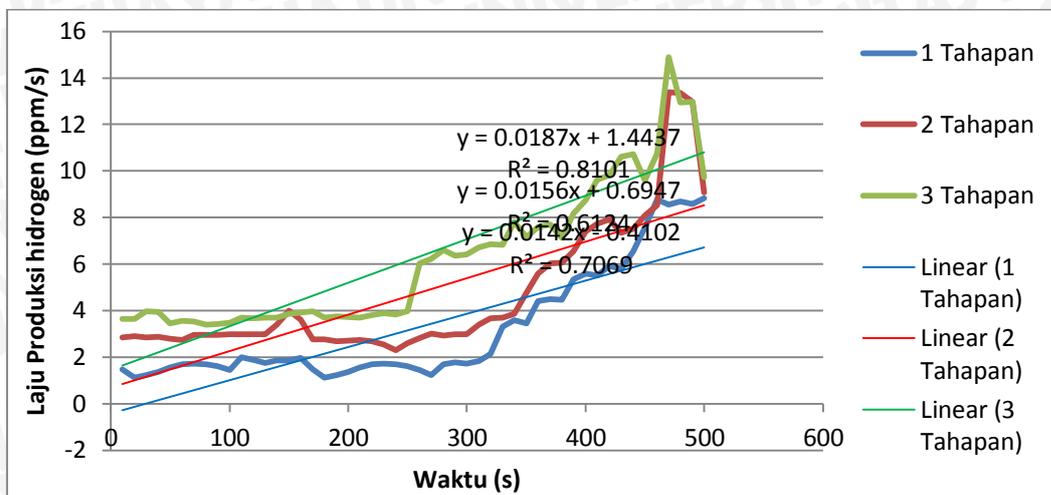
4.4.1. Analisa Grafik Hubungan Antara Laju Produksi Hidrogen Pada Setiap Tahapan Katalis Terhadap Waktu Pemanasan Dengan Variasi Temperatur 200° C



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Antara Laju Produksi Hidrogen Pada Setiap Tahapan Katalis Terhadap Waktu Pemanasan Dengan Variasi Temperatur 200° C

Gambar 4.1. menunjukkan hubungan antara laju produksi hidrogen pada setiap tahapan katalis terhadap waktu pemanasan dengan variasi temperatur 200 ° C pada kondisi perbandingan massa minyak randu dan air 3:1. Terlihat dari grafik produksi hidrogen yang dihasilkan tiap 10 detiknya pada rentang waktu 10-310 detik tidak jauh berbeda antar tiap variasi tahapan katalis dan cenderung konstan. Dari data yang diperoleh laju produksi dengan katalis 1 tahapan memiliki nilai rata-rata 3,102326 ppm/detik, katalis 2 tahapan memiliki nilai rata-rata 3,690947 ppm/detik, dan katalis 3 tahapan memiliki nilai rata-rata 4,066387 ppm/detik. Dari produksi hidrogen yang dihasilkan tiap 10 detiknya katalis 3 tahapan adalah yang memiliki nilai tertinggi. Hal tersebut terjadi karena semakin banyak jumlah tahapan katalis maka luasan penampang permukaan kontak katalis akan semakin besar dan waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan juga semakin panjang sehingga akan menghasilkan hidrogen yang lebih banyak.

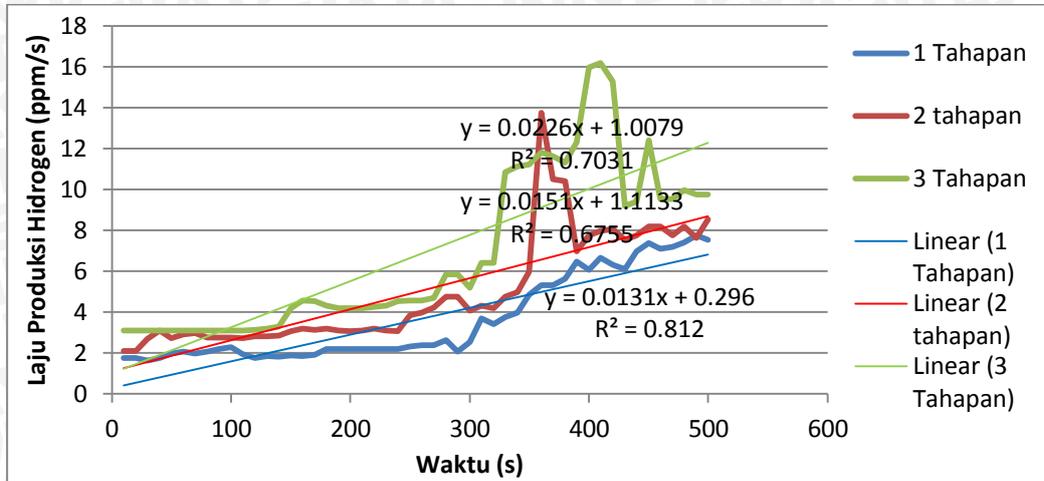
4.4.2. Analisa Grafik Hubungan Antara Laju Produksi Hidrogen Pada Setiap Tahapan Tahapan Katalis Terhadap Waktu Pemanasan Dengan Variasi Temperatur 250° C



Gambar 4.2. Grafik Hubungan Antara Laju Produksi Hidrogen Pada Setiap Tahapan Tahapan Katalis Terhadap Waktu Pemanasan Dengan Variasi Temperatur 250° C

Gambar 4.2. menunjukkan hubungan antara laju produksi hidrogen pada setiap tahapan katalis terhadap waktu pemanasan dengan variasi temperatur 200 ° C pada kondisi perbandingan massa minyak randu dan air 3:1. Terlihat dari grafik produksi hidrogen yang dihasilkan tiap 10 detiknya pada rentang waktu 10-310 detik tidak jauh berbeda antar tiap variasi tahapan katalis dan cenderung konstan. Dari data yang diperoleh laju produksi dengan katalis 1 tahapan memiliki nilai rata-rata 3,22024 ppm/detik, katalis 2 tahapan memiliki nilai rata-rata 4,685395 ppm/detik, dan katalis 3 tahapan memiliki nilai rata-rata 6,220894 ppm/detik. Dari produksi hidrogen yang dihasilkan tiap 10 detiknya katalis 3 tahapan adalah yang memiliki nilai tertinggi. Hal tersebut terjadi karena semakin banyak jumlah tahapan katalis maka luasan penampang permukaan kontak katalis akan semakin besar dan waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan juga semakin panjang sehingga akan menghasilkan hidrogen yang lebih banyak.

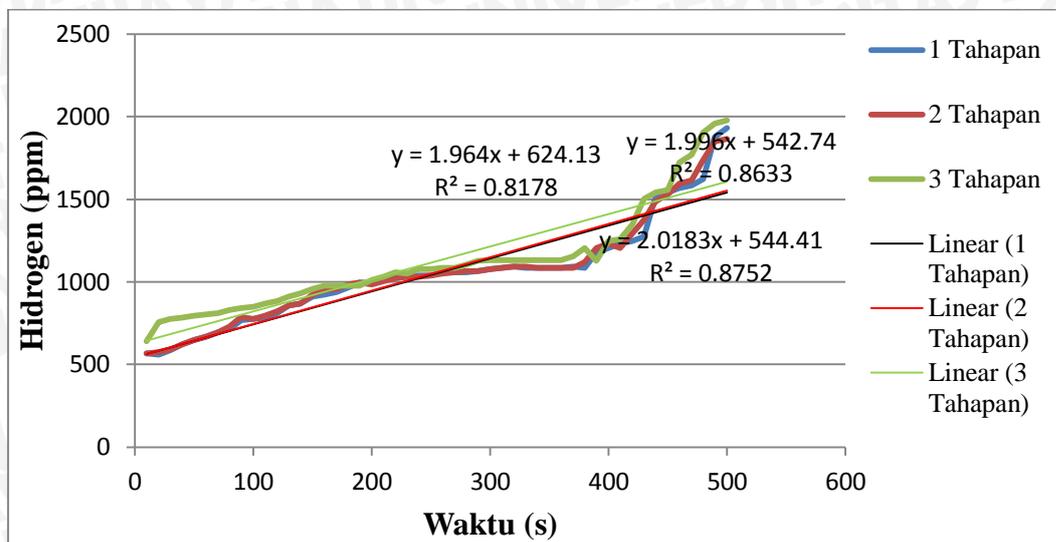
4.4.3. Analisa Grafik Hubungan Antara Laju Produksi Hidrogen Pada Setiap Tahapan Katalis Terhadap Waktu Pemanasan Dengan Variasi Temperatur 300° C



Gambar 4.3. Grafik Hubungan Antara Laju Produksi Hidrogen Pada Setiap Tahapan Katalis Terhadap Waktu Pemanasan Dengan Variasi Temperatur 300° C

Gambar 4.3. menunjukkan hubungan antara laju produksi hidrogen pada setiap tahapan katalis terhadap waktu pemanasan dengan variasi temperatur 200 ° C pada kondisi perbandingan massa minyak randu dan air 3:1. Terlihat dari grafik produksi hidrogen yang dihasilkan tiap 10 detiknya pada rentang waktu 10-310 detik tidak jauh berbeda antar tiap variasi tahapan katalis dan cenderung konstan. Dari data yang diperoleh laju produksi dengan katalis 1 tahapan memiliki nilai rata-rata 3,625858 ppm/detik, katalis 2 tahapan memiliki nilai rata-rata 4,972395 ppm/detik, dan katalis 3 tahapan memiliki nilai rata-rata 6,761506 ppm/detik. Dari produksi hidrogen yang dihasilkan tiap 10 detiknya katalis 3 tahapan adalah yang memiliki nilai tertinggi. Hal tersebut terjadi karena semakin banyak jumlah tahapan katalis maka luasan penampang permukaan kontak katalis akan semakin besar dan waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan juga semakin panjang sehingga akan menghasilkan hidrogen yang lebih banyak.

4.4.4. Analisa Grafik Hubungan Antara Jumlah Hidrogen Dengan Variasi Jumlah Tahapan Katalis Terhadap Waktu Pemanasan Pada Variasi Temperatur 200° C

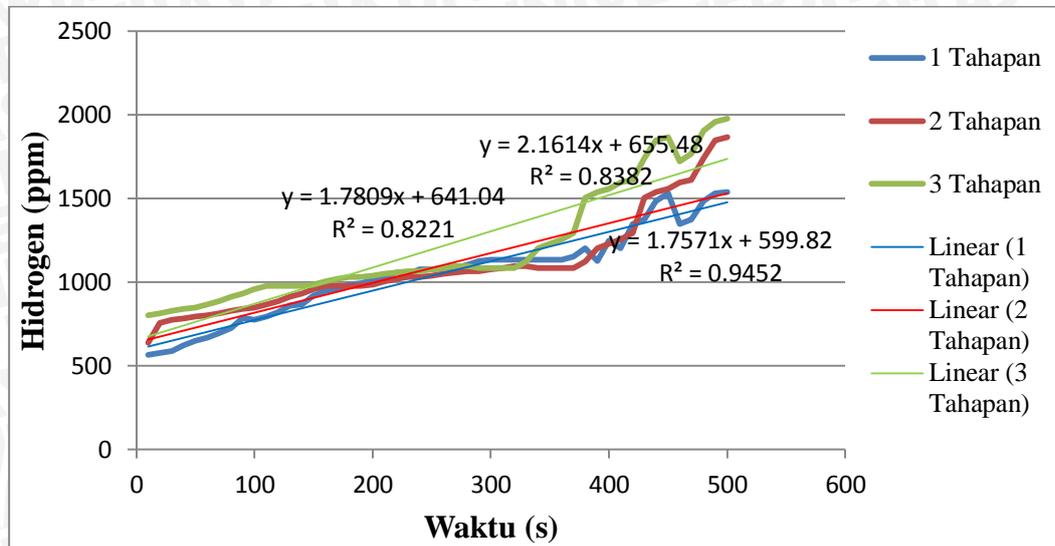


Gambar 4.4. Grafik Hubungan Antara Produksi Jumlah Dengan Variasi Jumlah Tahapan Katalis Terhadap Waktu Pemanasan Pada Variasi Temperatur 200° C

Gambar 4.4. menunjukkan hubungan antara jumlah hidrogen pada variasi jumlah tahapan katalis pada variasi temperatur 200° C dengan rentang waktu 10 – 500 detik. Pada grafik tersebut cenderung mengalami peningkatan pada setiap variasi tahapan katalis. Perbedaan hasil gas hidrogen yang dihasilkan tidak terlalu jauh dari variasi tiap jumlah tahapan katalis pada temperatur 200° C. Pada pengujian ini menggunakan ratio 3:1 sehingga proses penguapan minyak randu lebih sulit terjadi maka gas hidrogen yang dihasilkan akan lebih banyak.

Meskipun hasil hidrogen yang diperoleh tidak terlalu berbeda jauh, katalis 3 tahapan tetap memiliki nilai yang lebih tinggi. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak tahapan katalis maka luas penampang bidang kontak semakin besar dan waktu bidang kontak akan semakin lama sehingga gas hidrogen yang dihasilkan akan lebih maksimal.

4.4.5. Analisa Grafik Hubungan Antara Jumlah Hidrogen Dengan Variasi Jumlah Tahapan Katalis Terhadap Waktu Pemanasan Pada Variasi Temperatur 250° C

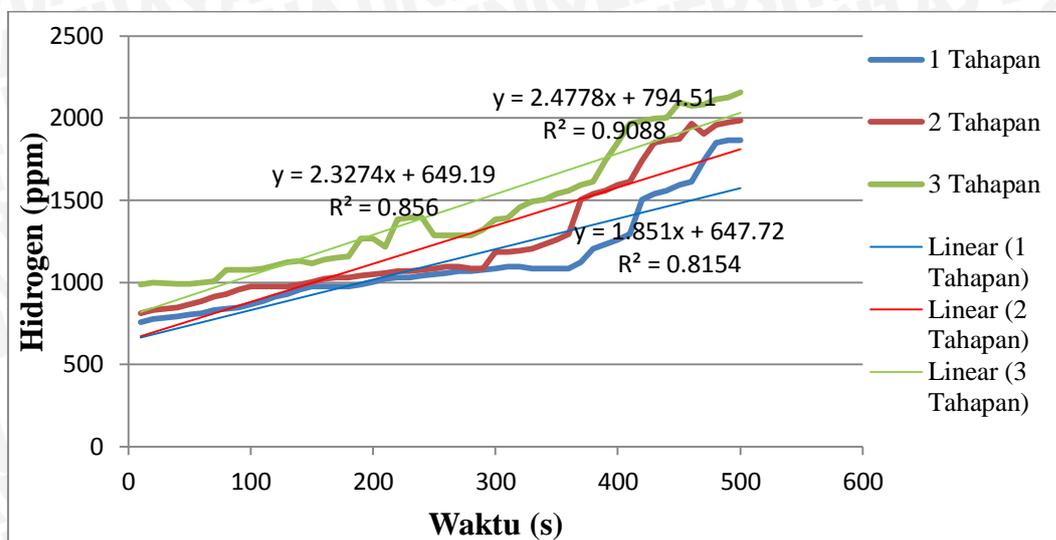


Gambar 4.5. Grafik Hubungan Antara Jumlah Hidrogen Dengan Variasi Jumlah Tahapan Katalis Terhadap Waktu Pemanasan Pada Variasi Temperatur 250° C

Gambar 4.5. menunjukkan hubungan antara jumlah hidrogen pada variasi jumlah tahapan katalis pada variasi temperatur 250° C dengan rentang waktu 10 – 500 detik. Terlihat pada grafik tersebut cenderung mengalami peningkatan pada setiap variasi tahapan katalis. Katalis 3 tahapan memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis 1 tahapan dan katalis 2 tahapan. Perbedaan hasil gas hidrogen yang dihasilkan tidak terlalu jauh dari variasi tiap jumlah tahapan katalis pada temperatur 250° C.

Terlihat pada rentang waktu 210-260 detik pada katalis 1 tahapan, 2 tahapan dan 3 tahapan menunjukkan hasil hidrogen yang hampir sama. Hal tersebut dikarenakan panas yang diterima oleh katalis 1 tahapan, 2 tahapan dan 3 tahapan besarnya sama, sehingga gas yang melalui katalis juga sama dan direaksikan menjadi hidrogen yang sama. Gas hidrogen akan semakin cepat terbentuk dengan bantuan reaksi permukaan dari katalis CuZn yang maksimal pada temperatur tinggi.

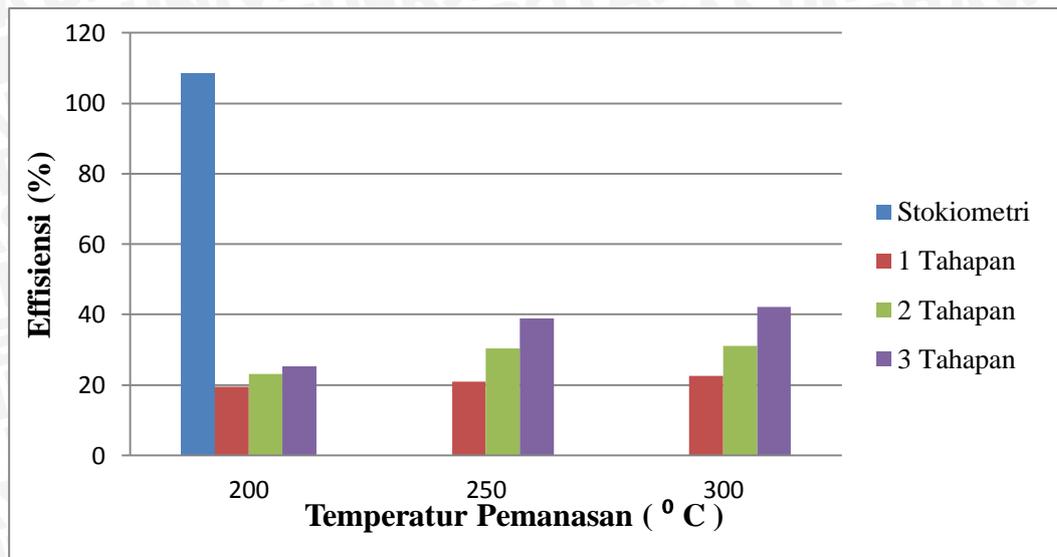
4.4.6. Analisa Grafik Hubungan Antara Jumlah Hidrogen Dengan Variasi Jumlah Tahapan Katalis Terhadap Waktu Pemanasan Pada Variasi Temperatur 300° C



Gambar 4.6. Grafik Hubungan Antara Jumlah Hidrogen Dengan Variasi Jumlah Tahapan Katalis Terhadap Waktu Pemanasan Pada Variasi Temperatur 300° C

Gambar 4.6. menunjukkan hubungan antara produksi hidrogen pada variasi jumlah tahapan katalis pada variasi temperatur 300° C dengan rentang waktu 10-500 detik. Terlihat pada grafik tersebut cenderung mengalami peningkatan pada setiap variasi tahapan katalis. Katalis 3 tahapan memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis 1 tahapan dan katalis 2 tahapan. Pada ketiga tahapan katalis dari rentang waktu 10-350 detik grafik cenderung konstan dengan sedikit kenaikan hasil produksi hidrogen. Grafik terjadi kenaikan cukup tajam pada ketiga tahapan katalis dari rentang waktu 360-500 detik. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur maka gas hidrogen yang akan dihasilkan juga akan semakin banyak.

4.4.7. Analisa Grafik Efisiensi Hasil Produksi Hidrogen



Gambar 4.7. Grafik Efisiensi Hasil Produksi Hidrogen

Gambar 4.7 menunjukkan efisiensi kalor dari proses produksi hidrogen menggunakan *steam reforming*. Efisiensi di hitung dari nilai laju produksi rata-rata. Dapat dilihat dari diagram batang di atas bahwa efisiensi akan semakin meningkat setiap bertambahnya tahapan katalis dan kenaikan temperatur.

Pada kondisi kesetimbangan reaksi 278 gram $C_{18}H_{30}O_2$ memiliki kalor sebesar 2589,5 Kcal menjadi 98 gram H_2 dengan nilai kalor 2807,798 kcal. Dalam kondisi stokiometri tersebut dihasilkan efisiensi 108,4 %. Dari nilai rata-rata hasil laju hidrogen pada table 4.1. dapat dilihat bahwa nilai efisiensi paling tinggi pada setiap tahapan jumlah katalis terletak pada katalis 3 tahapan dengan nilai 25,37 % pada temperatur $200^{\circ}C$, 38,81 % pada temperatur $250^{\circ}C$, dan 42,18 % pada temperatur $300^{\circ}C$. Semakin banyak tahapan katalis laju produksi maka efisiensi semakin besar. Hal ini disebabkan oleh bertambah banyaknya jumlah tahapan katalis yang mengakibatkan luas bidang kontak katalis semakin besar, akibatnya reaksi penguraian minyak nabati oleh uap menjadi hidrogen semakin banyak.

Jika dibandingkan dengan efisiensi dari kondisi kesetimbangan reaksi yang dihasilkan dengan hasil efisiensi dari pengambilan data terjadi penurunan efisiensi karena tidak semua gas terbentuk menjadi gas hidrogen, terdapat pula gas-gas lain yang terbentuk dalam reaksi proses kimia dan katalis yang digunakan hanyalah 4 butir untuk setiap tahapnya sehingga tidak semua gas dapat melewati katalis dengan sempurna.

Pada temperatur 300°C efisiensi yang dihasilkan juga semakin tinggi dan hal ini telah sesuai dengan persamaan Arrhenius :

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

di mana : k = konstanta laju reaksi

A = faktor frekuensi

E_a = energi aktivasi

