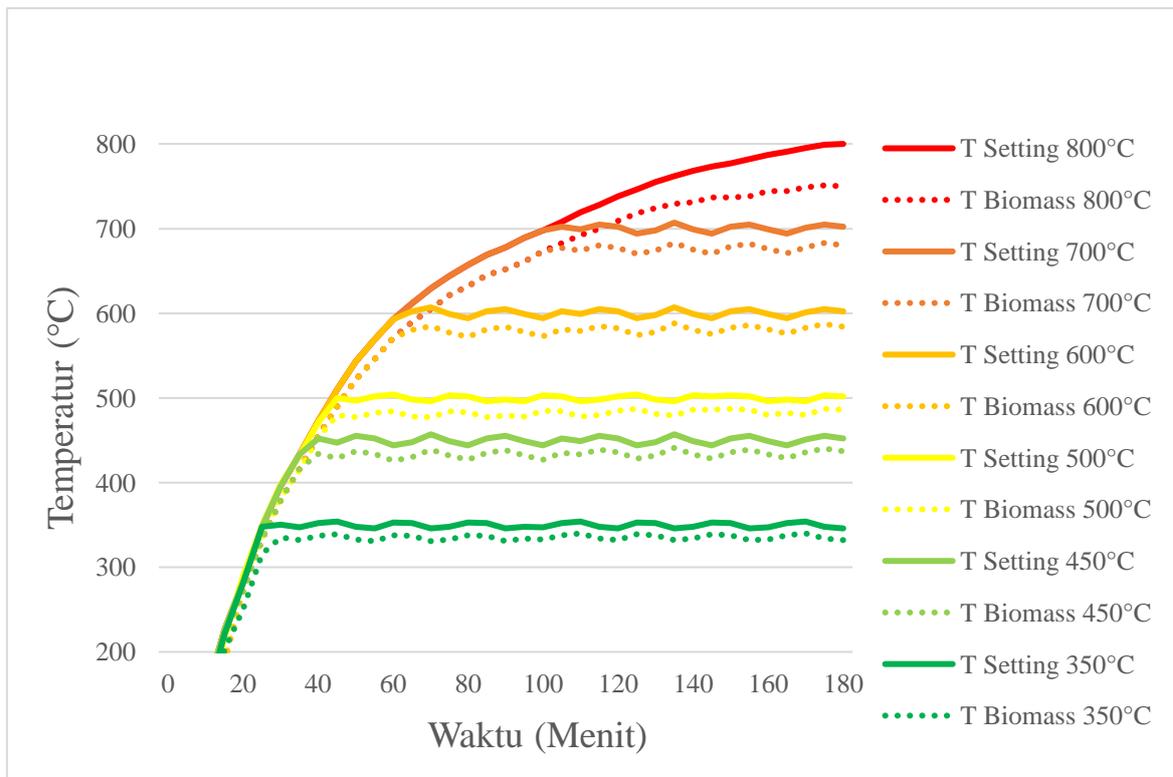


## BAB IV

### PEMBAHASAN

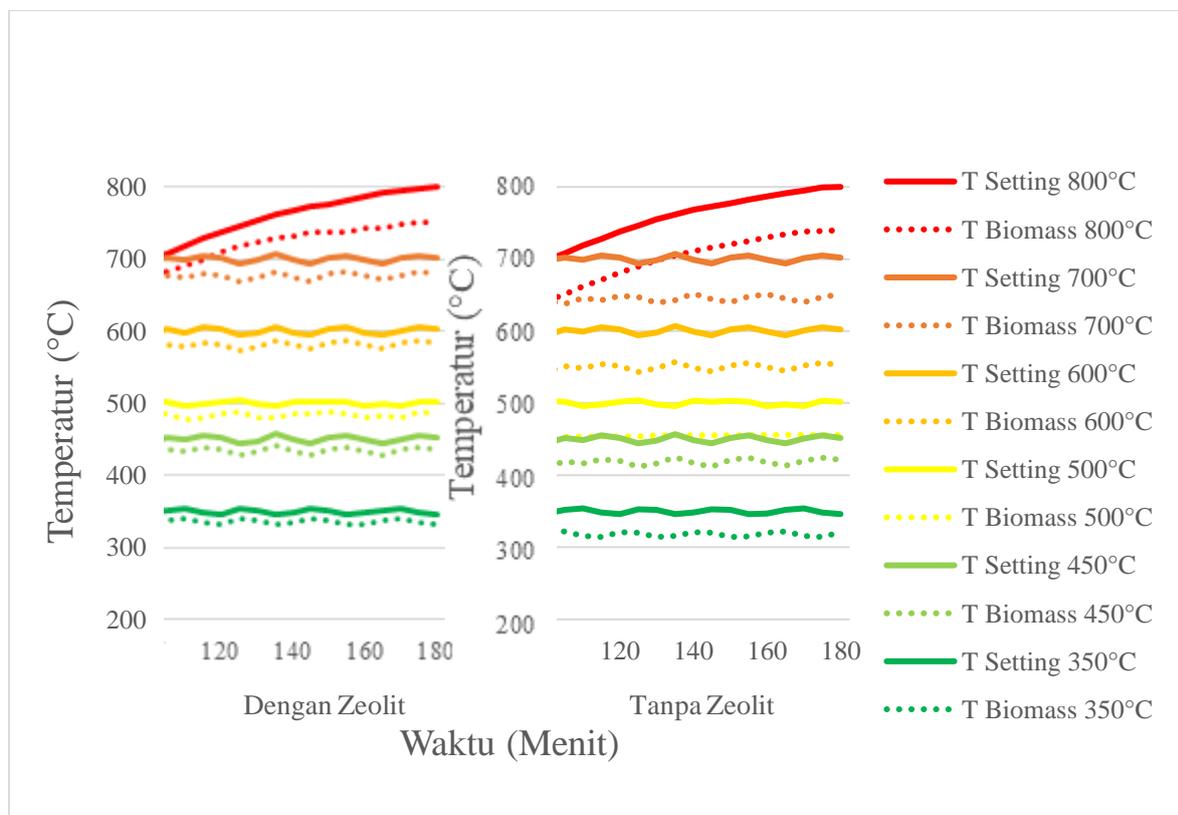
#### 4.1 Temperatur Setting dan Biomassa

Gambar 4.1 merupakan grafik hubungan antara temperatur *Setting* dan temperatur biomassa terhadap waktu pirolisis dimana untuk mencapai kestabilan temperatur tertentu dibutuhkan waktu untuk mencapai temperatur yang diinginkan. Pada penelitian ini pemanas yang digunakan untuk memanaskan biomassa adalah heater element yang menggunakan energi listrik. Pada grafik diatas terdapat dua temperatur, yaitu temperatur *setting* yang merupakan temperatur pada *thermocontroller* (temperatur yang diinginkan), temperatur ini menunjukkan suhu dari *heater*. Sedangkan temperatur biomassa merupakan temperatur aktual pada biomassa.



Gambar 4.1 Grafik temperatur *setting* dan biomassa terhadap waktu pirolisis dengan zeolit 50%

Pada temperatur 350°C, waktu yang dibutuhkan singkat yaitu sekitar 25 menit. Seiring dengan kenaikan temperatur maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur pirolisis juga semakin lama. Dari variasi temperatur di atas dapat dilihat bahwa setiap temperatur pirolisis tidak memiliki gradien kurva yang sama persis. Gradien atau kemiringan pada kurva menunjukkan heating rate atau waktu pemanasan. Pada penelitian ini menggunakan heating rate maksimal dari *heater* yaitu sekitar 13°C/menit. Perbedaan gradient pada kurva disebabkan arus listrik yang digunakan tidak selalu konstan sehingga terjadi sedikit perbedaan *heating rate* pada setiap variasi temperatur.

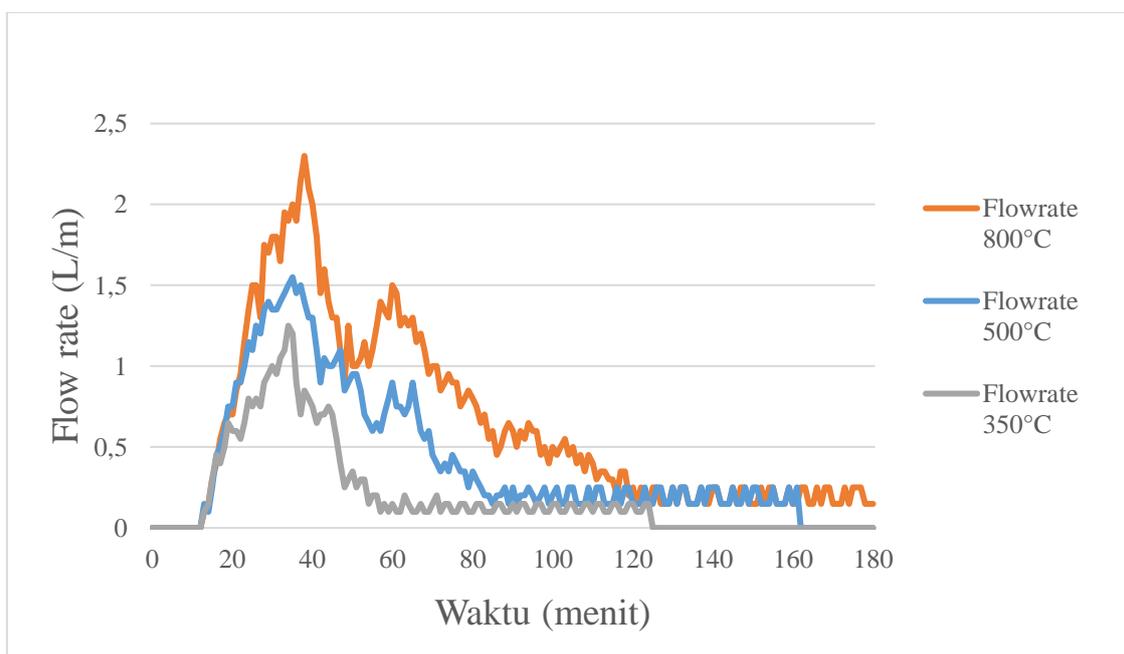


Gambar 4.2 Perbandingan grafik temperatur terhadap waktu dengan zeolit dan tanpa zeolit

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa temperatur aktual biomassa tanpa zeolit mengalami kenaikan temperatur yang lebih lambat dibandingkan kenaikan temperatur dengan tambahan zeolit, hal ini terjadi karena zeolit mengandung mineral Alumina yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi, sehingga suhu biomassa yang ditambahkan zeolit akan lebih cepat meningkat (Purbo, 2015). Dimana konduktivitas termal alumina sebesar 200 ( $k = 500 \cdot 10^4$ ) dan konduktivitas termal kayu sebesar 0,08 – 0,16 ( $k = 0,2 \cdot 10^4 - 0,4 \cdot 10^4$ ), sehingga zeolit lebih mudah menyerap panas sehingga temperatur yang terbaca lebih tinggi.

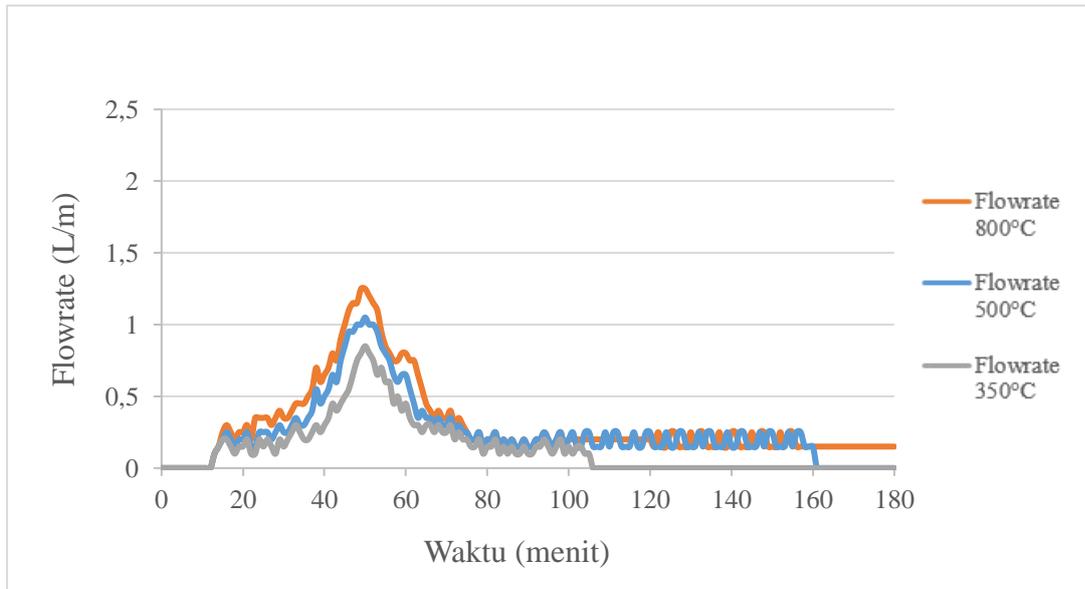
## 4.2 Flowrate

Flowrate adalah banyaknya atau jumlah fluida yang mengalir yang diukur persatuan waktu. Pada penelitian kali ini satuan yang digunakan adalah Liter per menit (L/m). Pada gambar 4.3 dapat dilihat kenaikan *flow rate* dengan zeolit lebih cepat dibandingkan dengan *flow rate* tanpa zeolite, hal ini juga disebabkan oleh mineral alumina yang terkandung pada zeolit yang menyebabkan *flow rate* meningkat seiring dengan kenaikan temperatur yang juga lebih cepat dibandingkan dengan kenaikan temperatur tanpa zeolit.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara flowrate terhadap waktu pirolisis dengan zeolit

Gas yang dihasilkan dengan menggunakan zeolite lebih banyak dibandingkan tanpa zeolit, dapat dilihat pada gambar 4.3 dengan zeolit pada *flow rate* pada temperatur 350°C, 500°C, maupun 800°C dibandingkan titik tertinggi *flow rate* tanpa zeolit (gambar 4.4). Hal ini disebabkan biomassa terpirolisis lebih efektif dengan menggunakan zeolit karena zeolit membantu proses pemecahan struktur karbon (C) dari selulosa, hemiselulosa, dan juga lignin pada biomassa (Chen, 2014).

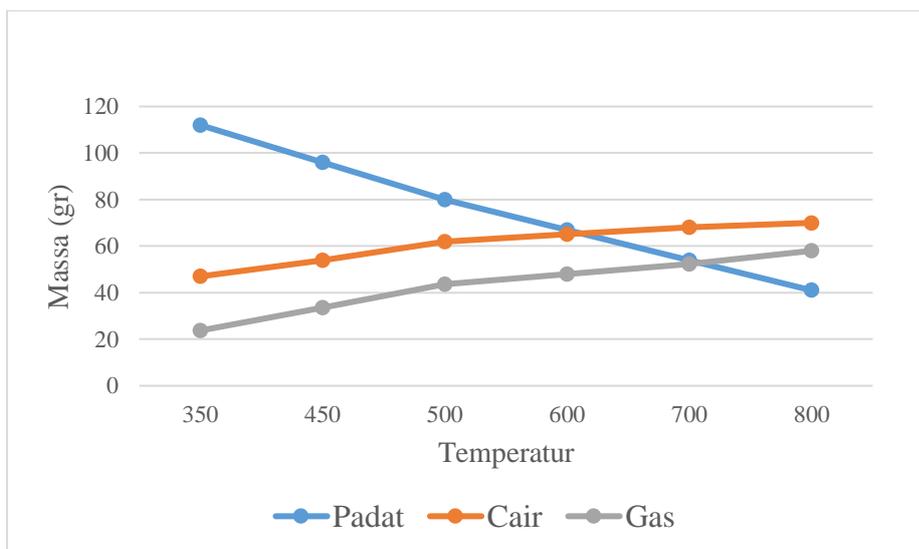


Gambar 4.4 Grafik hubungan antara flowrate terhadap waktu pirolisis tanpa zeolit

Selain itu, ada penyebab lain yang meningkatkan flow rate gas, yaitu adanya reaksi sekunder. Reaksi sekunder adalah reaksi yang terjadi dikarenakan kenaikan temperatur sehingga tar yang terbentuk terdekomposisi lagi menjadi char dan gas. Jadi pada temperatur 600, 700 dan 800°C flow rate gas semakin besar karena selain ada reaksi primer juga ada reaksi sekunder, sehingga jumlah total gas yang dihasilkan juga semakin banyak. (Purbo, 2015).

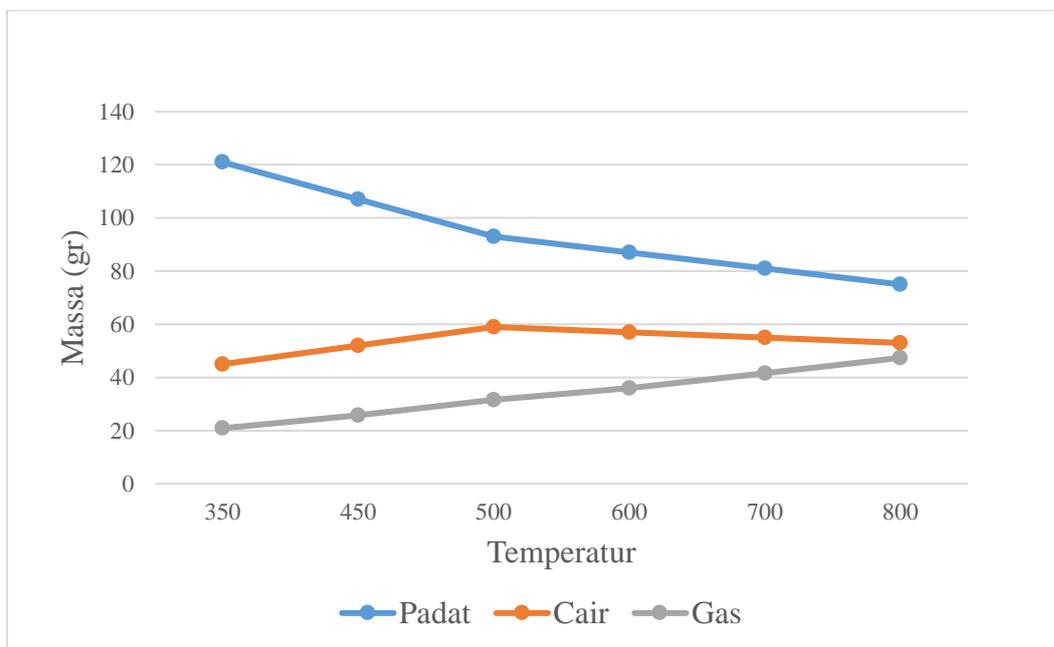
### 4.3 Massa Produk Hasil Pirolisis

#### 4.3.1 Massa Produk Char, Tar, dan gas



Gambar 4.5 Grafik massa produk hasil pirolisis dengan zeolit

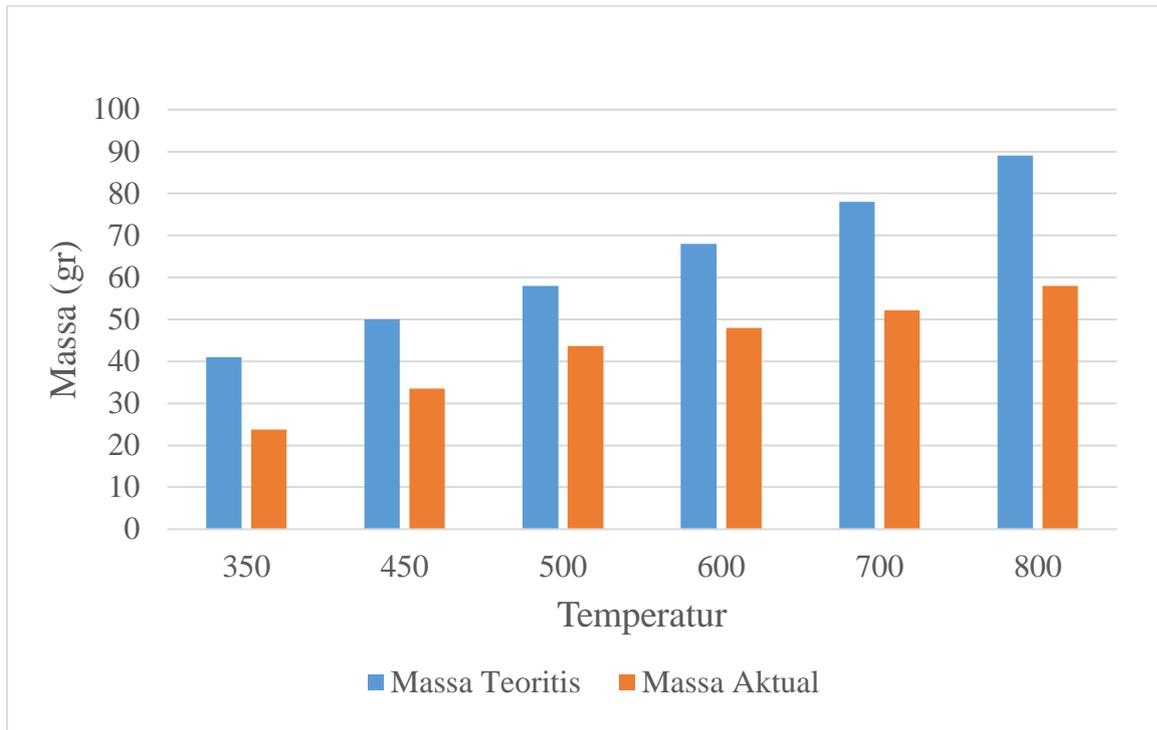
Gambar 4.5 merupakan grafik massa semua produk pirolisis dengan zeolit menunjukkan bahwa semakin tinggi variasi temperatur pirolisis, maka semakin tinggi produk gas yang dihasilkan. Pada temperatur 350°C, berat dari produk gas tidak terlalu banyak yaitu sebesar 23,71 gram, hal ini disebabkan pada temperatur 350°C hanya selulosa dan hemiselulosa yang terdekomposisi. Pada temperatur 500°C berat dari produk mengalami peningkatan yaitu sebesar 43,66 gram, hal ini terjadi karena pada suhu 500°C sebagian lignin sudah terdekomposisi bersama dengan selulosa dan hemiselulosa. Kemudian pada suhu 800°C, berat dari produk gas juga mengalami peningkatan yaitu sebesar 57,99 gram, hal ini disebabkan pada suhu 800°C lignin sudah terdekomposisi sempurna sehingga pemecahan atom karbon pada selulosa dan hemiselulosa terjadi lebih baik lagi.



Gambar 4.6 Grafik massa produk hasil pirolisis tanpa zeolit

Pada gambar 4.6, massa produk hasil pirolisis tanpa zeolit memiliki kecenderungan yang sama dengan massa produk hasil pirolisis dengan katalis zeolit, tetapi jumlah massa gas yang dihasilkan tidak sebanyak yang dihasilkan pada massa produk hasil pirolisis dengan menggunakan katalis zeolit. Hal ini disebabkan oleh terjadinya *catalytic cracking* pada pirolisis yang menggunakan katalis zeolit, dimana katalis zeolit membantu memecah rantai karbon pada kayu mahoni sehingga kayu mahoni terpirolisis lebih efektif dibandingkan dengan pirolisis tanpa menggunakan katalis zeolit.

### 4.3.2 Perbandingan Massa Aktual dan Teoritis



Gambar 4.7 Grafik perbandingan massa teoritis dan massa aktual dengan zeolit

Contoh Perhitungan pada 500°C dengan zeolit 50% (Tabel data terlampir pada **Lampiran 4**)

- Perhitungan Teoritis (Hk. Keseimbangan Massa)

Massa masuk = masa keluar

Massa biomassa = massa char + massa tar + massa gas

Maka,

$$\begin{aligned}
 m_{\text{gas}} &= (m_{\text{biomassa}}) - (m_{\text{char}} + m_{\text{tar}}) \\
 &= (200 \text{ gr}) - (80 \text{ gr} + 62 \text{ gr}) \\
 &= 58 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Aktual

$PV = nRT \dots (1)$

Volume dicari dengan cara:

Rata-rata persentasi (%) komposisi gas yang terdeteksi GC ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{CO}_2$ ) dari menit 20 – 150:

$$\text{H}_2 = 44\%$$

$$\text{CH}_4 = 39\%$$

$$\text{CO}_2 = 17\%$$

Volume tiap senyawa:

$$\text{Rata-rata \% H}_2 \times V_{\text{total}}$$

$$44\% \times 72,7 \text{ L} = 32,29 \text{ L}$$

$$\text{Rata-rata \% CH}_4 \times V_{\text{total}}$$

$$39\% \times 72,7 \text{ L} = 28,34 \text{ L}$$

$$\text{Rata-rata \% CO}_2 \times V_{\text{total}}$$

$$17\% \times 72,7 \text{ L} = 12,06 \text{ L}$$

Hitung massa tiap Senyawa ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ):

$$PV = nRT \rightarrow PV = \frac{m}{M_r} RT \rightarrow m = \frac{PV \cdot M_r}{RT} \dots (2)$$

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$V = V_{\text{senyawa}} (\text{H}_2, \text{CH}_4, \text{atau CO}_2)$$

$$M_r = M_{r_{\text{senyawa}}} (\text{H}_2, \text{CH}_4, \text{atau CO}_2)$$

$$R = 0,082 \text{ L atm/mol K}$$

$$T = T_{\text{flowmeter}} = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$$

Massa  $\text{H}_2$

$$m_{\text{H}_2} = \frac{(1 \text{ atm})(32,29 \text{ L}) \cdot (2)}{(0,082 \text{ L} \frac{\text{atm}}{\text{mol K}})(293 \text{ K})}$$

$$\mathbf{m_{\text{H}_2} = 2,68 \text{ gr}}$$

Massa  $\text{CH}_4$

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{(1 \text{ atm})(28,34 \text{ L}) \cdot (16)}{(0,082 \text{ L} \frac{\text{atm}}{\text{mol K}})(293 \text{ K})}$$

$$\mathbf{m_{\text{CH}_4} = 18,87 \text{ gr}}$$

Massa  $\text{CO}_2$

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{(1 \text{ atm})(12,06 \text{ L}) \cdot (44)}{(0,082 \text{ L} \frac{\text{atm}}{\text{mol K}})(293 \text{ K})}$$

$$\mathbf{m_{\text{CO}_2} = 22,09 \text{ gr}}$$

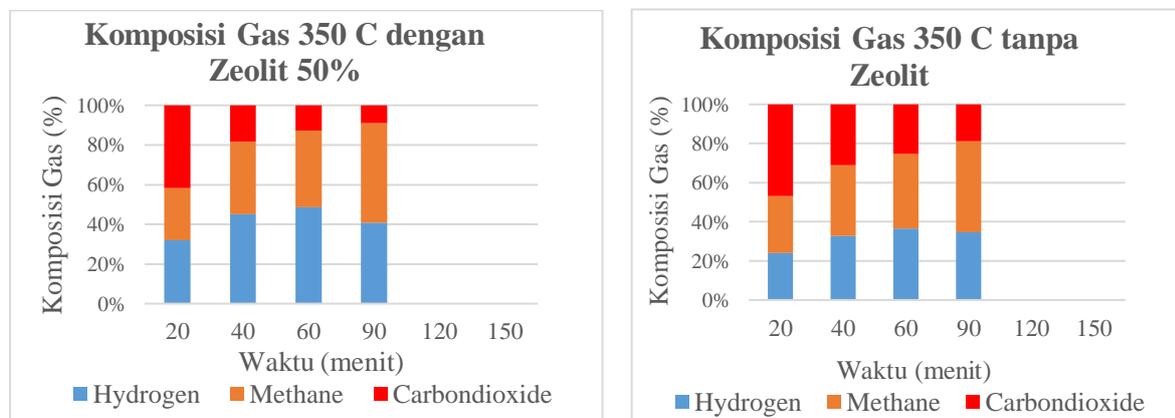
maka,

$$\begin{aligned} \text{total massa} &= m_{\text{H}_2} + m_{\text{CH}_4} + m_{\text{CO}_2} \\ &= 2,83 \text{ gr} + 14,7 \text{ gr} + 30,02 \text{ gr} \\ &= \mathbf{43,659 \text{ gr}} \end{aligned}$$

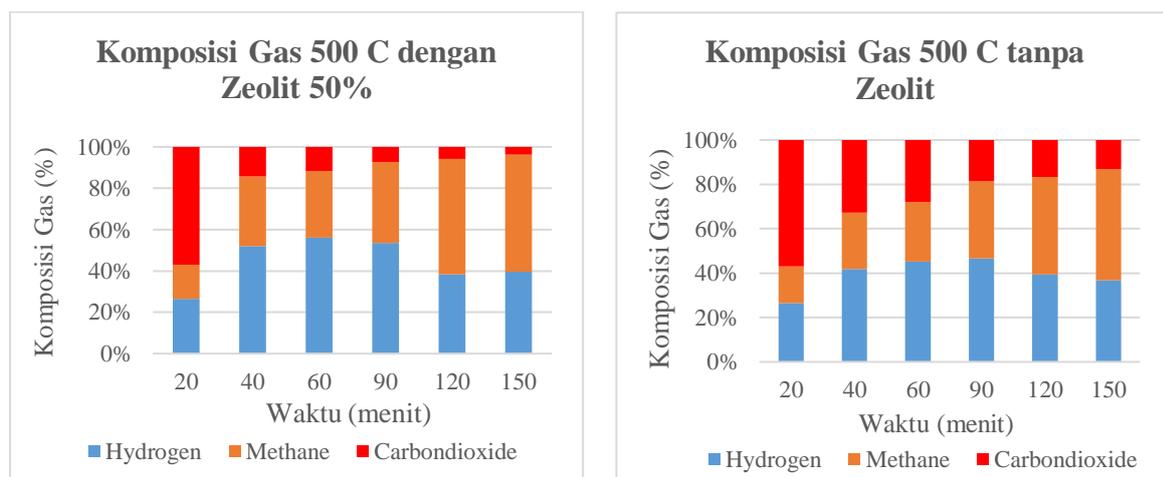
Dari gambar 4.7 dan contoh perhitungan diatas dapat dilihat bahwa massa aktual gas yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan teoritis, hal ini terjadi karena *Gas Chromatography* (GC) yang dipakai untuk pengujian hanya bisa melihat 3 senyawa gas, yaitu  $H_2$ ,  $CH_4$ , dan  $CO_2$ , sehingga penjumlahan massa yang terhitung hanya penjumlahan dari senyawa gas tersebut. Apabila dihubungkan dengan rumus (2), apabila gas yang terdeteksi lebih banyak, maka penjumlahan massa tiap senyawa gas semakin banyak, dan massa actual yang dapat dihitung pun akan semakin banyak.

#### 4.4 Perbandingan Komposisi Kimia Gas dengan Zeolit 50% dan tanpa Zeolit

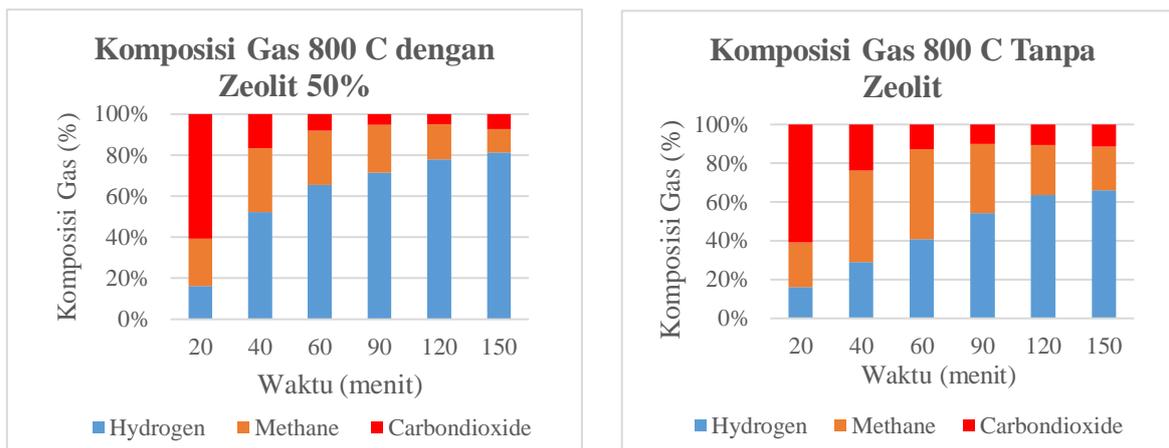
##### 4.4.1 Grafik Komposisi terhadap Waktu dengan Zeolit dan tanpa Zeolit



Gambar 4.8 Perbandingan grafik komposisi kimia produk gas 350°C dengan zeolit 50% dan tanpa zeolit



Gambar 4.9 Perbandingan grafik komposisi kimia produk gas 500°C dengan zeolit 50% dan tanpa zeolit



Gambar 4.10 Perbandingan grafik komposisi kimia produk gas 800°C dengan zeolit 50% dan tanpa zeolit

Gambar 4.8, 4.9, dan 4.10 merupakan perbandingan antara grafik hubungan antara komposisi gas terhadap waktu pirolisis temperatur dengan zeolit 50% dan tanpa zeolit pada suhu 350°C, 500°C, dan 800°C. Pada menit 20 pada ketiga variasi temperatur, komposisi gas CO<sub>2</sub> dengan zeolit 50% mau tanpa zeolit yang dihasil pirolisis cukup tinggi, hal ini disebabkan temperatur yang dicapai pada menit 20 belum bisa mendekomposisi selulosa, hemiselulosa, dan lignin dengan baik.

Pada menit 40, temperatur pirolisis sudah mencapai sekitar 400-450°C dimana hemiselulosa dan selulosa telah terdekomposisi dengan baik, tetapi lignin belum terdekomposisi sama sekali, oleh karena itu pembentukan komposisi gas H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> mulai meningkat.

Tetapi untuk variasi temperatur 350°C, pada menit 30 sudah mulai holding di temperatur 350°C, sehingga pada menit 40, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> yang dihasilkan pada variasi temperatur ini tidak sebanyak pada temperatur 500°C dan 800°C, dan komposisi gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan juga lebih banyak dibandingkan kedua variasi temperatur lainnya.

Pada menit 60 variasi temperatur 350°C, peningkatan komposisi gas H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> tidak begitu signifikan, karena pada menit 60 telah memasuki masa *holding* temperatur pada suhu 350°C. dan seterusnya juga terjadi hal yang sama pada pada menit 90. Lalu gas akan berhenti berproduksi pada menit 103, karena selulosa dan hemiselulosa telah habis terdekomposisi, sedangkan lignin tidak terdekomposisi sama sekali, karena lignin baru akan terdekomposisi pada temperatur 450-550°C.

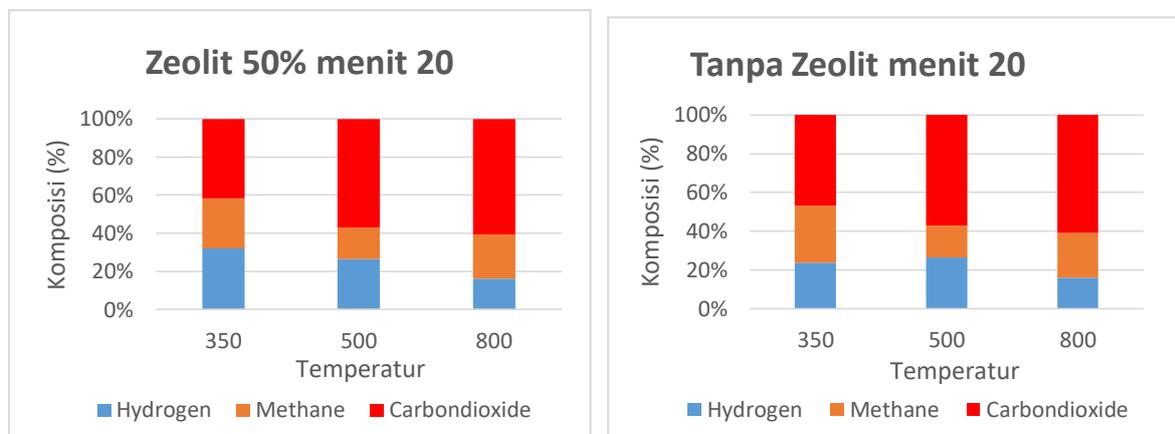
Selanjutnya pada menit 60 variasi temperatur 500°C, pembentukkan komposisi gas H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> mulai meningkat. Komposisi gas H<sub>2</sub> meningkat hingga menit 90 (titik optimum)

lalu akan menurun hingga menit 150. Untuk komposisi  $\text{CH}_4$  akan terus meningkat hingga menit 150. Hal ini terjadi karena lignin telah terdekomposisi sebagian, sehingga selulosa dan hemiselulosa terdekomposisi lebih baik dibandingkan dengan pada variasi temperatur  $350^\circ\text{C}$ .

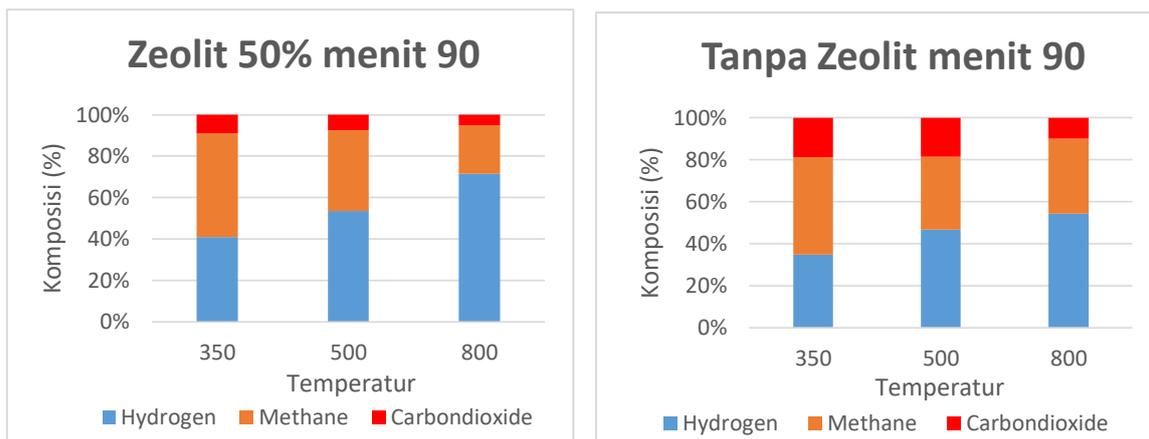
Untuk variasi  $800^\circ\text{C}$  pada menit 60, pembentukan  $\text{H}_2$  yang terjadi cukup tinggi hingga menit 150, sedangkan pada komposisi gas  $\text{CH}_4$  pada menit 60 merupakan titik optimalnya, lalu selanjutnya komposisi gas  $\text{CH}_4$  akan menurun hingga menit 150. Hal ini terjadi karena lignin, hemiselulosa, dan selulosa terdekomposisi dengan sempurna. Semakin tinggi temperatur, semakin banyak atom karbon yang terpecah. Sehingga komposisi  $\text{H}_2$  yang dihasilkan semakin lama semakin meningkat. Maka komposisi  $\text{CO}_2$  pun semakin lama semakin menurun.

Jumlah komposisi gas pirolisis  $\text{CO}_2$  dengan zeolit selalu lebih sedikit dibandingkan dengan pirolisis tanpa zeolit, dikarenakan zeolit membantu memecah atom karbon yang ada pada lignin, selulosa, dan hemiselulosa, sehingga ketiga komponen biomassa tersebut dapat terdekomposisi secara lebih efektif.

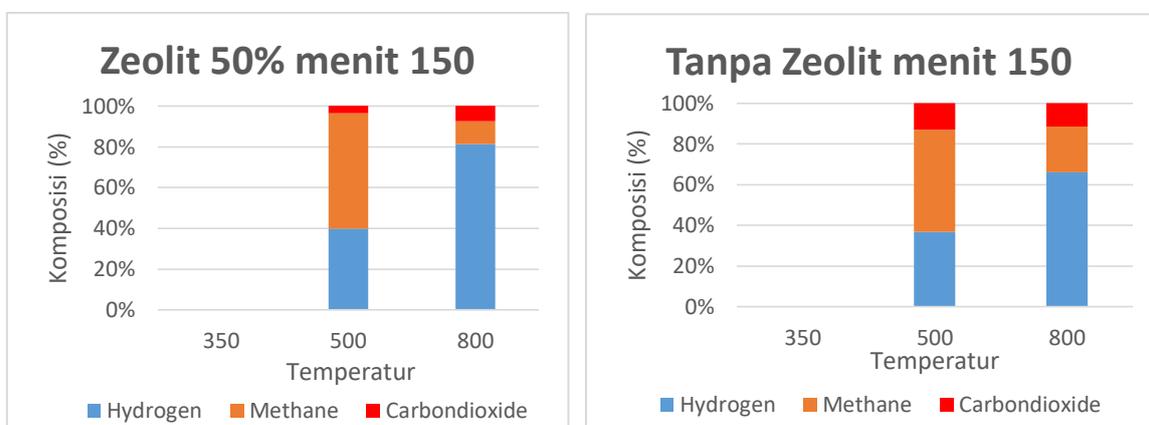
#### 4.4.2 Grafik Komposisi terhadap Temperatur dengan Zeolit dan tanpa Zeolit



Gambar 4.11 Perbandingan grafik komposisi kimia terhadap temperatur dengan zeolit 50% dan tanpa zeolite pada menit 20



Gambar 4.12 Perbandingan grafik komposisi kimia terhadap temperatur dengan zeolit 50% dan tanpa zeolite pada menit 90



Gambar 4.13 Perbandingan grafik komposisi kimia terhadap temperatur dengan zeolit 50% dan tanpa zeolite pada menit 150

Gambar 4.11, 4.12, dan 4.13 diatas merupakan perbandingan antara grafik hubungan antara komposisi gas terhadap variasi temperatur dengan zeolit 50% dan tanpa zeolit. Pada menit 20 variasi temperatur 350°C, 500°C, maupun 800°C, komposisi gas didominasi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), hal ini disebabkan pada menit 20 temperatur yang dicapai masih rendah, sehingga masih sedikit biomassa yang terdekomposisi.

Pada menit 90 variasi temperatur 350°C, 500°C, maupun 800°C, komposisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dihasilkan sedikit, dan komposisi gas metan (CH<sub>4</sub>) dan Hidrogen (H<sub>2</sub>) mulai meningkat, karena pada menit 90 temperatur yang dicapai sudah tinggi. Tetapi komposisi gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada temperatur 350°C dan 500°C masih lebih banyak dibandingkan suhu 800°C, hal ini terjadi karena pada variasi temperatur 350°C dan 500°C sudah memasuki fase *holding* temperature sehingga temperatur yang dicapai pada variasi

temperatur tersebut menjadi lebih rendah, hal ini menyebabkan biomassa yang terdekomposisi tidak sebanyak pada variasi temperatur 800°C.

Pada menit 150 variasi temperature 350°C sudah tidak ada gas yang di produksi. Pada variasi temperature 500°C dan 800°C, komposisi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dihasilkan sangat sedikit, karena pada menit 150 temperatur dalam tungku pirolizer tinggi, sehingga biomassa yang terdekomposisi lebih banyak. Biomassa terdekomposisi menjadi hydrogen (H<sub>2</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>), gas hydrogen (H<sub>2</sub>) yang dihasilkan lebih banyak dibanding metana (CH<sub>4</sub>). Hal ini disebabkan semakin lama waktu pirolisis maka semakin banyak biomassa yang terdekomposisi.

Jumlah komposisi gas pirolisis CO<sub>2</sub> dengan zeolit selalu lebih sedikit dibandingkan dengan pirolisis tanpa zeolit, dikarenakan zeolit membantu memecah atom karbon yang ada pada lignin, selulosa, dan hemiselulosa, sehingga ketiga komponen biomassa tersebut dapat terdekomposisi secara lebih efektif.