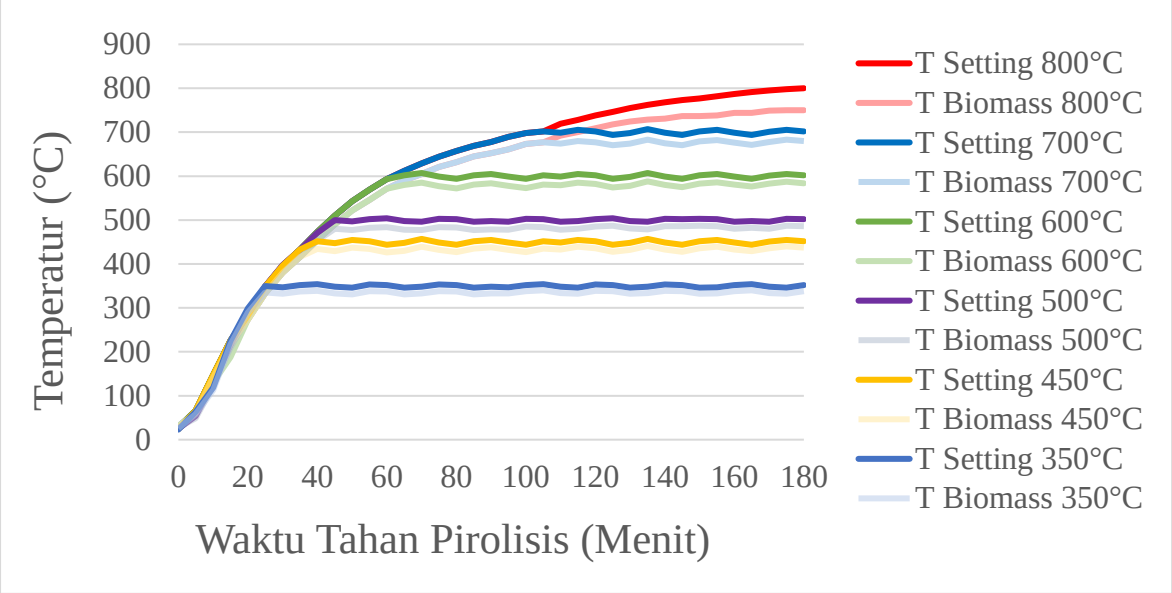
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dihasilkan merupakan hasil penelitian *true experimental* menggunakan reaktor pirolisis *fix bed* , kayu mahoni sebagai biomassa dengan variasi temperatur kerja 350; 450; 500; 600; 700; dan 800^{0}C serta dengan penambahan zeolit 25%wt sebagai katalis. Data yang disajikan telah diolah, dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk grafik.

4.1 Temperatur terhadap Waktu



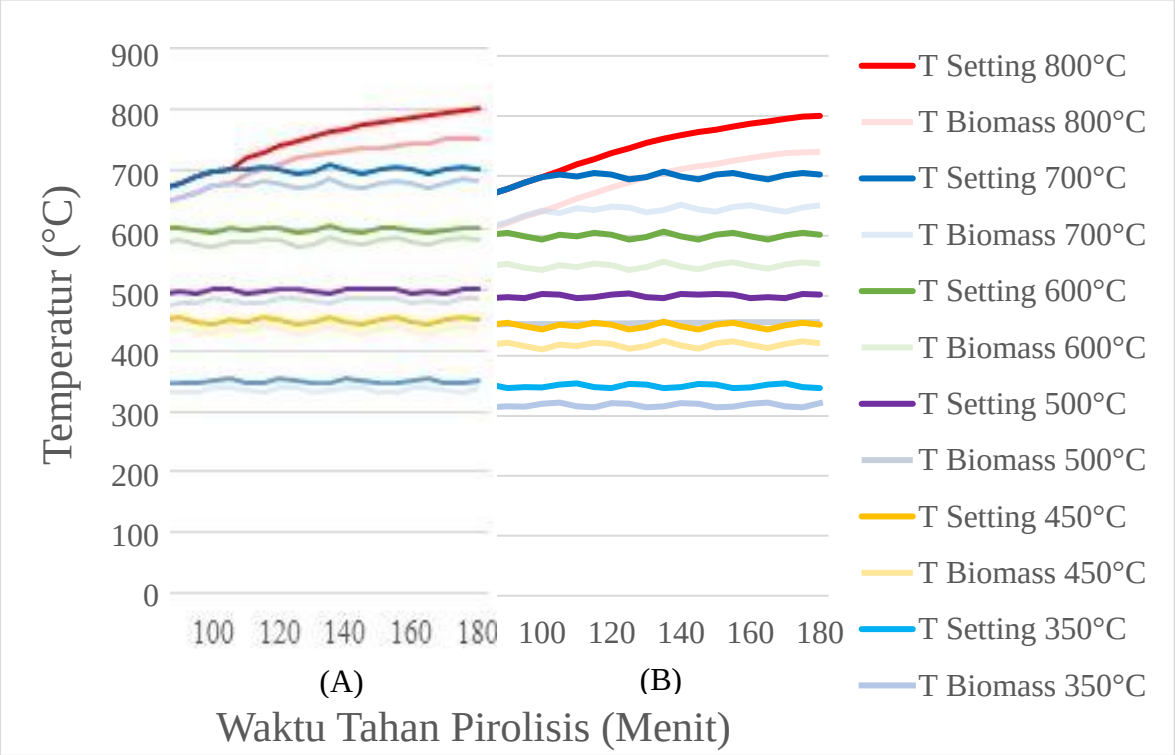
Gambar 4.1 Grafik temperatur *setting* dan biomassa terhadap waktu pirolisis dengan zeolit 25%wt

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 reaktor pirolisis menggunakan pemanas listrik. Pada gambar 4.1 dapat dilihat tiap variasi temperatur memiliki 2 garis yang menunjukkan temperatur pemanas dan temperatur biomassa selama penelitian.

Perbedaan temperatur yang terbaca pada temperatur pengaturan dengan temperatur biomassa disebabkan oleh sensor pada temperatur setting diletakkan pada elemen pemanas. Sensor pembaca temperatur biomassa diletakkan pada biomassa. Selama pemanasan

temperatur pemanas lebih tinggi karena dibutuhkan waktu untuk memindahkan panas dari elemen pemanas menuju biomassa.

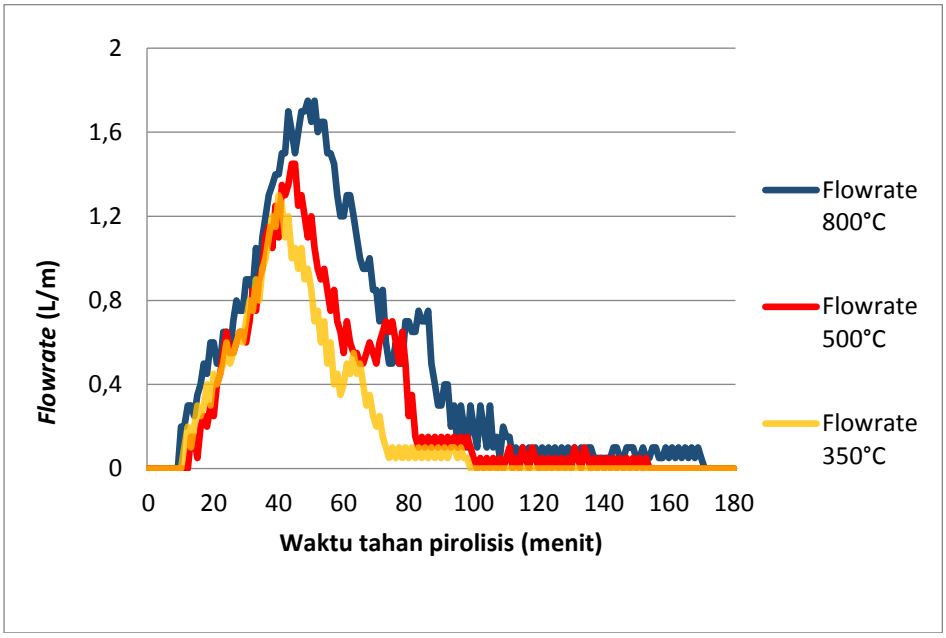
Pada gambar 4.1 juga menunjukkan semakin tinggi temperatur, laju pemanasan akan semakin menurun, hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur dibutuhkan arus yang lebih tinggi untuk meningkatkan temperatur. Pemanas yang digunakan tidak diprogram untuk menjaga laju pemanasan agar tetap sama hingga temperatur tertinggi.



Gambar 4.2 Grafik perbandingan temperatur terhadap waktu (A) dengan zeolit 25%wt dan (B) tanpa zeolit

Pada gambar 4.2 terlihat bahwa termperatur 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 konduktifitas termal yang tinggi, sehingga suhu biomassa yang ditambahkan zeolit akan lebih cepat meningkat (Purbo, 2015). Dimana konduktivitas termal alumina sebesar 200 (w / (m ^{0}C)) dan konduktivitas termal kayu sebesar 0,12 – 0,14 (w/(m ^{0}C))

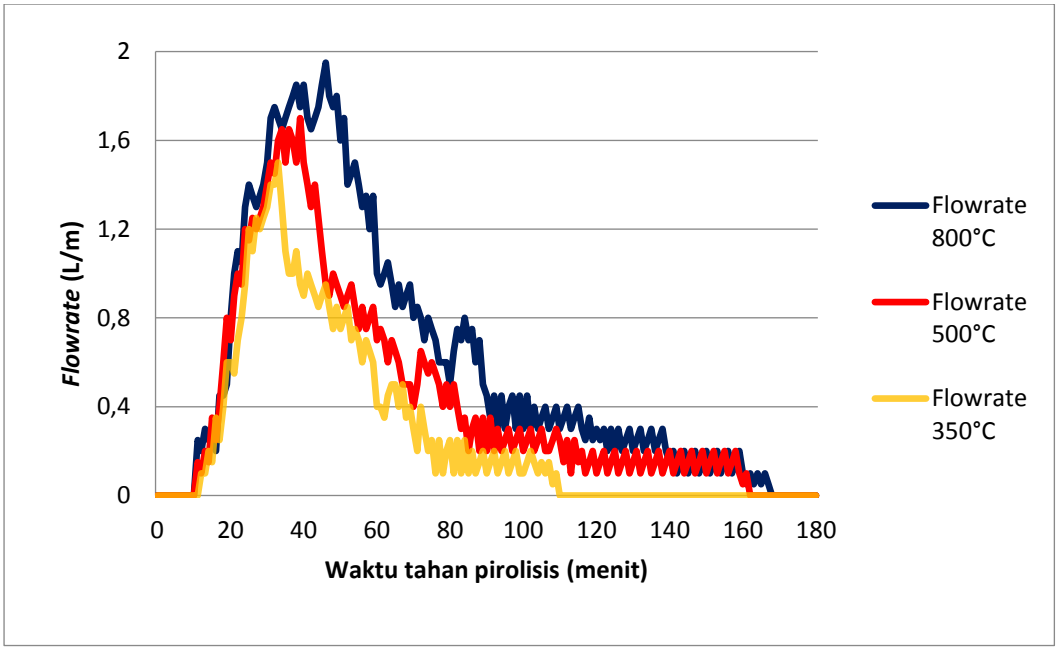
4.2 Laju Aliran



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara *flowrate* terhadap waktu pirolisis tanpa zeolit 25%

Laju aliran adalah besarnya volume fluida yang mengalir yang per satuan waktu. Pada penelitian kali ini satuan yang digunakan adalah Liter per menit (L/m). Pada Gambar 4.3 pada masing masing variasi temperatur terdapat titik optiomal dimana laju aliran paling tinggi. Hal ini disebabkan oleh reaksi pada biomassa memiliki temperatur optimum dimana banyak reaksi pemecahan yang terjadi, sehingga menghasilkan senyawa dengan berat molekul rendah yang menyebabkan laju aliran gas optimal pada jarak temperatur tertentu. (Collard dan Blin ,2014).

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat titik optimum terjadi pada variasi temperatur 800^0C. karena pada variasi ini jarak temperatur optimal lebih panjang yang memungkinkan tercapainya titik optimum dimana banyak terjadi reaksi pada biomassa. Pada temperatur 350 ^{0}C memiliki titik optimum yang paling kecil, skarena disebabkan oleh jarak temperatur titik optimalnya kecil dan terbatas pada temperatur 350 ^{0}C karena itu reaksi yang membutuhkan temperatur >350 ^{0}C untuk beraeaksi tidak dapat terjadi. Sehingga membatasi produk yang dihasilkan. Penurunan laju aliran disebabkan oleh mulai habisnya senyawa yang dapat terdekomposisi pada temperatur tertentu. Hal ini juga terjadi pada laju aliran dengan reaksi pirolisis yang menggunakan zeolit 25%wt sebagai katalis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara *flowrate* terhadap waktu pirolisis dengan zeolit 25%wt

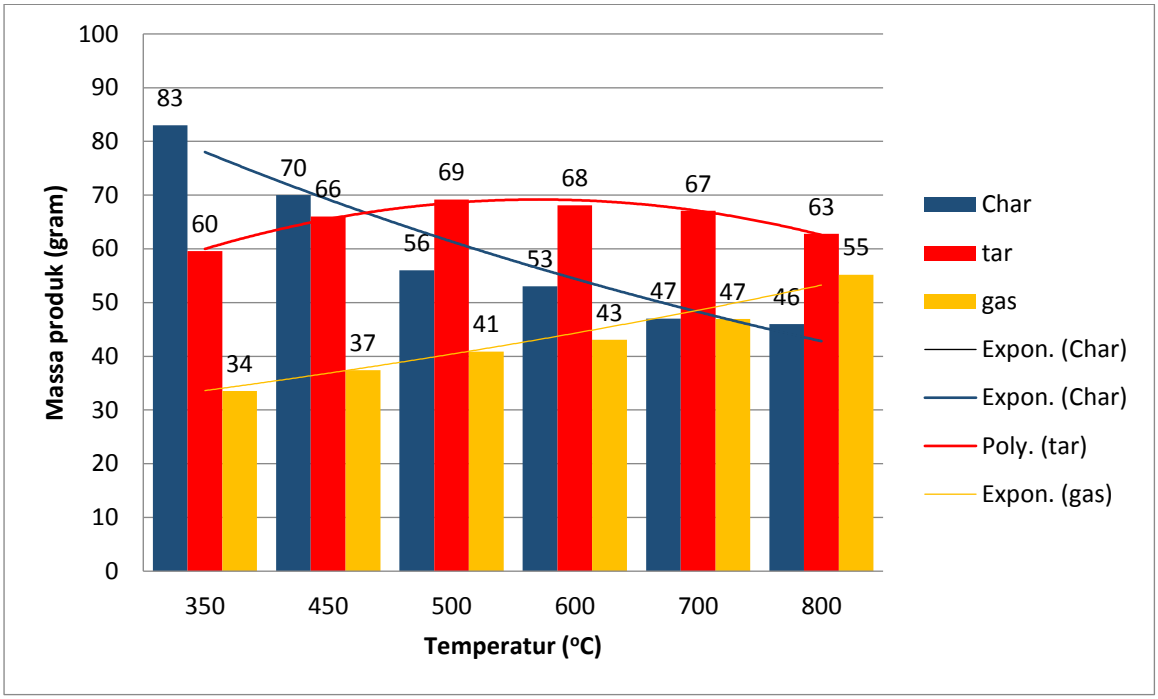
Dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 dapat dilihat laju aliran optimal pada masing masing variasi temperatur mengalami perbedaan, dengan menggunakan zeolit 25%wt laju aliran optimal lebih cepat dan lebih tinggi dibandingkan laju aliran tanpa zeolit.

Laju aliran menggunakan zeolit 25%wt terjadi dalam waktu yang lebih cepat dibandingkan tanpa zeolit, hal ini disebabkan karena dengan penambahan zeolit meningkatkan konduktivitas termal, sehingga peningkatan temperatur terjadi lebih cepat. Dengan itu, temperatur optimal reaksi pada biomassa lebih cepat dicapai.

Titik optimal dengan menggunakan zeolit 25%wt lebih tinggi dibandingkan tanpa zeoilit. Hal ini disebabkan oleh peranan zeolit sebagai katalis menurunkan energi aktivasi dan meningkatkan laju reaksi pemecahan yang terjadi pada biomassa. Jadi dengan jarak temperatur yang sama, reaksi pemecahan yang terjadi pada biomassa akan lebih banyak terjadi pada proses yang menggunakan zeolit sebagai katalis.

4.3 Massa Produk Hasil Pirolisis

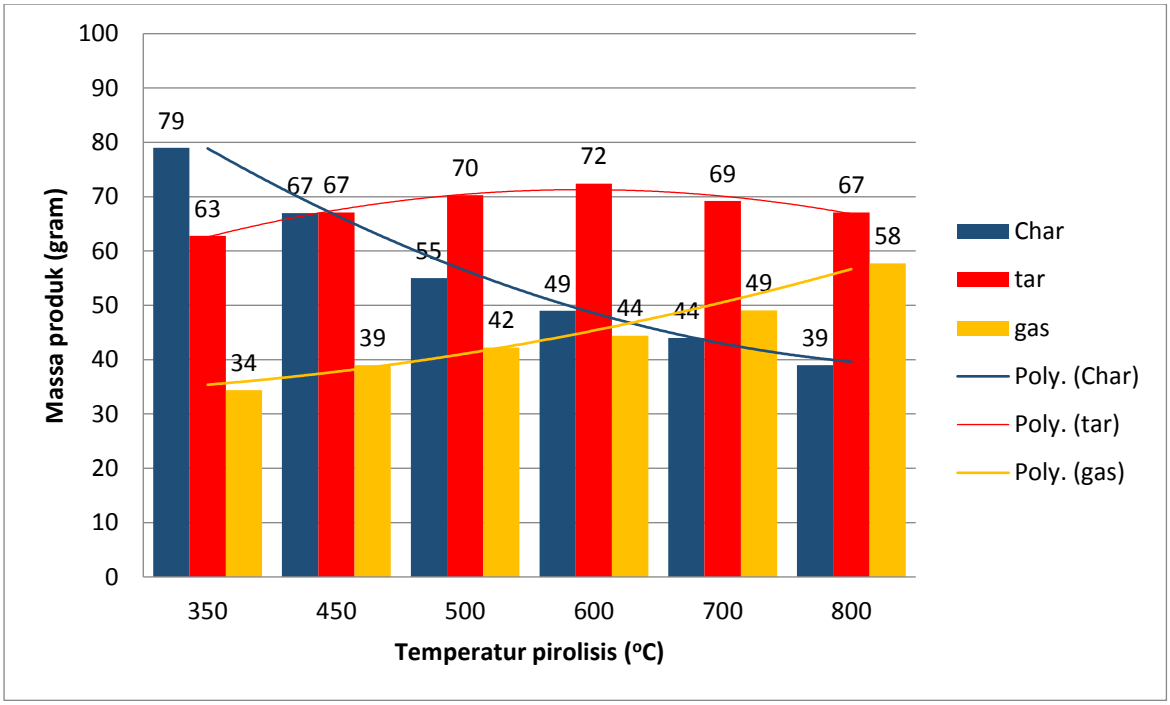
4.3.1 Massa Produk *Char, Tar*, dan gas



Gambar 4.5 Grafik Massa produk hasil pirolisis tanpa zeolit

Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa semakin tinggi tmperatur, produk char yang dihasilkan akan semakin menurun, produk tar yang dihasilkan meningkat sampai temperatur tertentu kemudian menurun. Produk gas yang dihasilkan akan semakin meningkat. Produk char menurun disebabkan oleh semakin meningkatnya temperatur maka semakin banyak biomassa yang terdekomposisi sehingga produk char akamenjadi semakin sedikit.

Biomassa yang terdekmomposisi seiring bertambahnya temperatur akan mengalami reaksi pemecahan lanjut dan menghasilkan senyawa volatil. Senyawa tersebut terdiri dari senyawa volatil ringan dan berat. Senyawa volatil berat akan menghasilkan tar dan senyawa volatil ringan menjadi gas yang tidak terkondensasi. Pada temperatur tertentu, produk akan mengalami penurunan karena pada reaksi pemecahan lanjut akan menghasilkan lebih banyak senyawa volatil ringan.(Collard dan Blin, 2014). Begitu juga dengan produk hasil pirolisis dengan menggunakan zeolit seperti pada Gambar 4.6

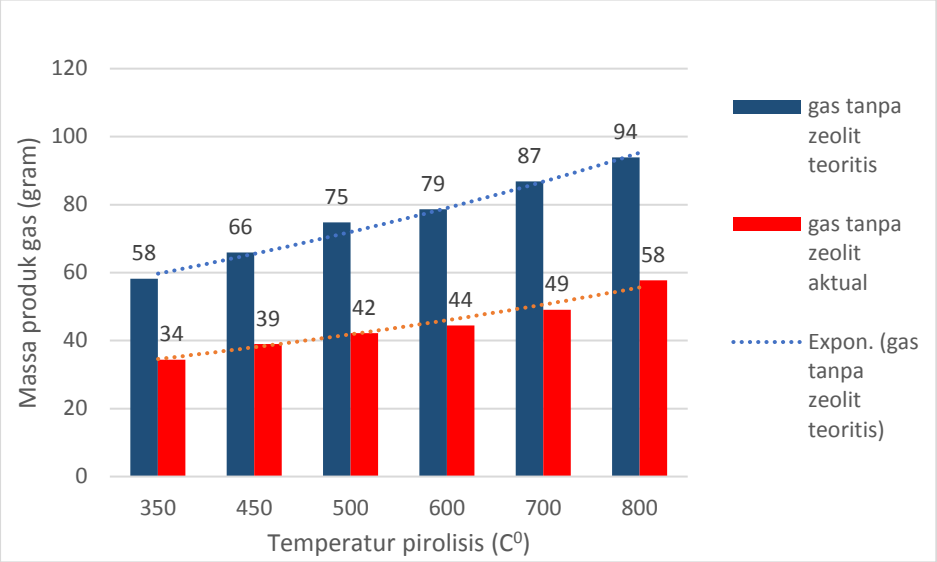


Gambar 4.6 Grafik massa produk hasil pirolisis dengan zeolit 25%

Pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 dapat dilihat perbedaan produk hasil pirolisis tanpa katalis dibandingkan dengan peggunaan zeolit 25 %wt sebagai katalis. Produk char dengan zeolit lebisedikit daripada tanpa zeolit. Hal ini disebabkan oleh peran zeolit yang dapat mengurangi energi aktivasi dan mempercepat laju reaksi.sehingga pada temperatur yang sama, reaksi yang terjadi pada biomassa lebih banyak daripada tanpa zeolit. Dengan banyaknya reaksi yang terjadi selama proses, maka massa biomassa akan semakin berkurang. Hal inilah yang menyebabkan produk char dengan zeolit lebih kecil daripada ptanpa zeolit

Peran zeolit juga dirasakan oleh produk tar dan gas. Dengan adanya zeolit, produk char dan tar juga meningkat dibandingkan dengan tanpa zeolit.

4.3.2 Perbandingan Massa Aktual dan Teoritis



Gambar 4.7 Grafik perbandingan massa teoritis dan massa aktual dengan zeolit 25%wt

Contoh Perhitungan pada 500°C dengan zeolit 25%: (data pada Lampiran 2)

- Perhitungan Teoritis (Hk. Kesetimbangan Massa)

  Massa masuk = masa keluar .....(4-1)

  Massa biomassa = massa char + massa tar + massa gas

  Maka,

  m gas = (m biomassa) – (m char + m tar)

  = (200 gr) – (55 gr + 70 gr)

  = 75 gr

- Perhitungan Aktual

  PV = nRT ..... (4-2)

  Volume dicari dengan cara:

  Rata-rata persentasi fraksi mol (%) komposisi gas yang terdeteksi GC (H_2, CH_4, dan CO_2) dari menit 20 – 150:

  H2 = 50,1 %

  CH4 = 35,1 %

  CO2 = 14,7 %

  Volume tiap senyawa:

  Rata-rata % H_2 x Vtotal

  50.1 % x 77,35 L = 38.76 L

  Rata-rata % CH_4 x Vtotal

35.1 % x 77.35 L = 27.16 L

Rata-rata % CO_2 x Vtotal

14.7 % x 77,35 L = 11,4 L

Hitung massa tiap Senyawa (H_2, CH_4, CO_2):

PV = nRT → PV = $\frac{m}{Mr}$ RT → **m = $\frac{PV\,.\,Mr}{RT}$** .....(4-3)

P = 1 atm = 101,3 kPa

V = $V_{senyawa}$ ((H_2, CH_4, atau CO_2)

Mr = $Mr_{senyawa}$ (H_2, CH_4, atau CO_2)

R = 0,082 L atm/mol K

T = $T_{flowmeter}$ = 20ºC = 293 K

Massa H_2

$$mH_2 = \frac{(1\text{ atm})(38.76\text{ L})\,.\,(2)}{(0{,}082\text{ L}\frac{\text{atm}}{\text{mol K}})(293\text{ K})}$$

mH_2 = 3.22 g

Massa CH_4

$$mCH_4 = \frac{(1\text{ atm})(27.16\text{ L})\,.\,(16)}{(0{,}082\text{ L}\frac{\text{atm}}{\text{mol K}})(293\text{ K})}$$

mCH_4 = 18.09 g

Massa CO_2

$$mCO_2 = \frac{(1\text{ atm})(11{,}41)\,.\,(44)}{(0{,}082\text{ L}\frac{\text{atm}}{\text{mol K}})(293\text{ K})}$$

mCO_2 = 20,90 g

maka,

total massa = mH_2 + mCH_4 + mCO_2

= 3,22 g + 18,09 g +20,90 g

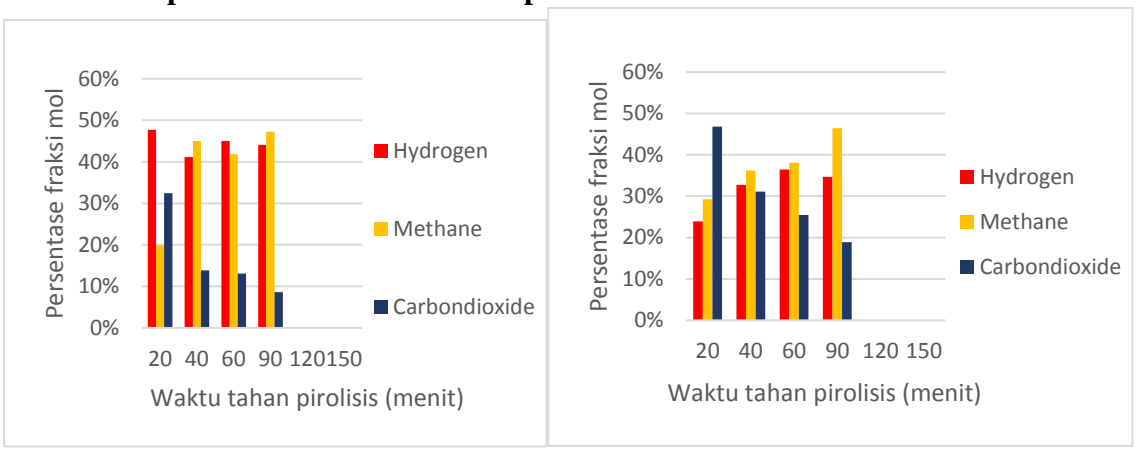
= 42,229 gr

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 mendeteksi 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 tertedeksi lebih banyak,

maka penjumlahan massa tiap senyawa gas semakin banyak, dan massa aktual yang dapat dihitung pun akan semakin banyak.

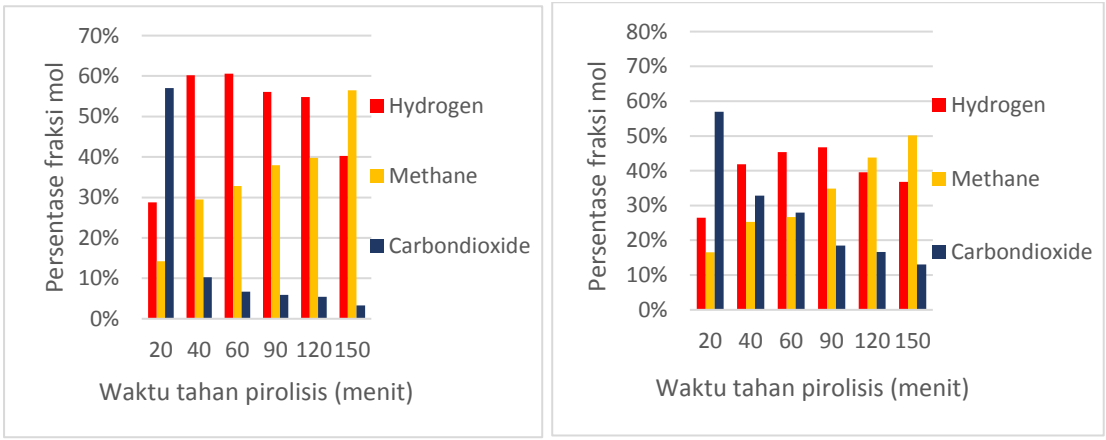
4.4 Perbandingan Komposisi Kimia Gas dengan dan Tanpa Zeolit

4.4.1 Komposisi Kimia Gas Terhadap Waktu



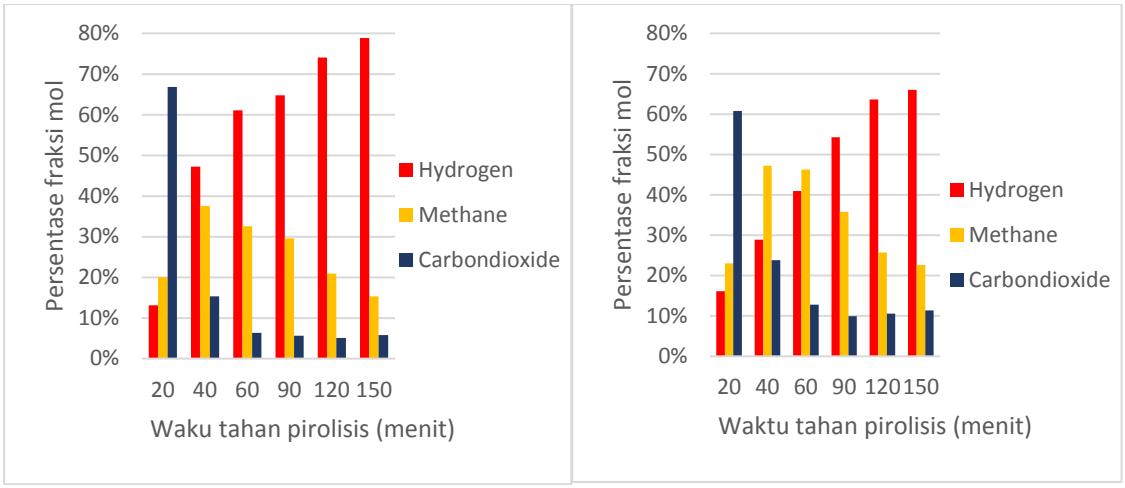
(A) (B)

Gambar 4.8 Grafik komposisi kimia produk gas 350^{0}C (A) dengan zeolit 25% wt dan (B) tanpa zeolit



(A) (B)

Gambar 4.9 Grafik komposisi kimia produk gas 500^{0}C (A) dengan zeolit 25%wt dan (B) tanpa zeolit



(A) (B)

Gambar 4.10 Grafik komposisi kimia produk gas 800^{0}C (A) dengan zeolit 25%wt dan (B) tanpa zeolit

Gambar 4.8, 4.9, dan 4.10 merupakan perbandingan antara grafik hubungan antara komposisi gas terhadap waktu pirolisis temperatur dengan zeolit 25% dan tanpa zeolit pada suhu 350ºC, 500ºC, dan 800ºC. Pada menit 20 pada ketiga variasi temperatur, komposisi gas CO_2 dengan zeolit 25% maupun tanpa zeolit yang dihasil pirolisis cukup tinggi, hal ini disebabkan temperatur yang dicapai pada menit 20 masih rendah, sehingga reaksi yang terjadi pada temperatur tersebut masih sedikit.

Pada menit 40, temperatur pirolisis sudah mencapai sekitar 400-450ºC dimana H_2 dan CH_4 mulai meningkat. Hal ini disebabkan karena pada temperatur ini sebagian besar ikatan C-C diantara rantai alkyl mulai tidak stabil dan bereaksi. Pada temperatur ini juga terjadi reaksi fragmentasi methoxy yang mulai memproduksi CH_4.(Collard dan Blin, 2014)

Tetapi untuk variasi temperatur 350ºC, sekitar menit 30 sudah mulai holding pada temperatur 350ºC, sehingga pada menit 40, H_2 dan CH_4 yang dihasilkan pada variasi temperatur ini tidak sebanyak pada temperatur 500ºC dan 800ºC, dan komposisi gas CO_2 yang dihasilkan juga lebih banyak dibandingkan kedua variasi temperatur lainnya.

Pada menit 60 variasi temperatur 350ºC, peningkatan komposisi gas H_2 dan CH_4 tidak begitu signifikan, karena pada menit 60 telah memasuki masa *holding* temperatur pada suhu 350ºC. dan seterusnya juga terjadi hal yang sama pada pada menit 90. Lalu gas akan berhenti diproduksi, karena tidak adanya cukup energi untuk menimbulkan reaksi lebih lanjut.

Selanjutnya pada menit 60 variasi temperatur 500ºC, pembentukkan komposisi gas H_2 dan CH_4 mulai meningkat. Komposisi gas H_2 meningkat hingga menit 90 (titik optimum) lalu akan menurun hingga menit 150. Untuk komposisi CH_4 akan terus meningkat hingga menit 150. Hal ini kareana reaksi pembentukan CH_4 masih belum mencapai maksimal,, pembentukan CH_4

tertinggi biasanya dicapai pada temperatur 500^0-600^0C hasil dari proses dimetilasi dan fragmentasi (Collard dan Blin, 2014)

Untuk variasi 800ºC pada menit 60, pembentukkan H_2 yang terjadi cukup tinggi hingga menit 150, sedangkan pada komposisi gas CH_4 pada menit 60 merupakan titik optimalnya, lalu selanjutnya komposisi gas CH_4 akan menurun hingga menit 150. Hal ini terjadi karena pada menit 60 temperatur sudah mencapai lebih dari 600 dimana telah melewati titik maksimal pembentukan gas CH_4. Pada temperatur ini mulai terjadi reaksi pembentukan gugus aromatik pada struktur polisiklik (Collard dan Blin, 2014). Sehingga komposisi H_2 yang dihasilkan semakin lama semakin meningkat. Maka komposisi CO_2 pun semakin lama semakin menurun.

Jumlah komposisi gas pirolisis CO_2 dengan zeolit selalu lebih sedikit dibandingkan dengan pirolisis tanpa zeolit, dikarenakan zeolit membantu mempercepat reaksi reaksi yang terjadi selama proses pirolisis pada biomassa (Kumara, 2015). Sehingga biomassa tersebut dapat terdekomposisi secara lebih efektif..