

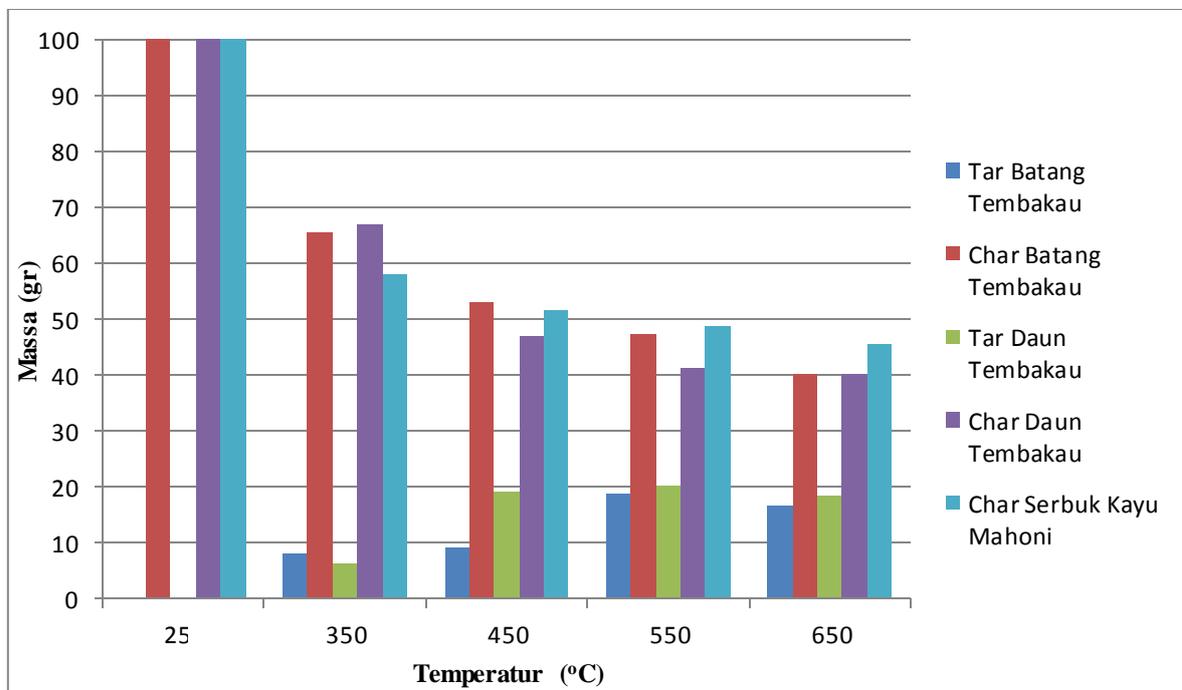
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Data hasil penelitian yang telah dilakukan dengan metode *eksperimental research* dengan menggunakan biomassa batang tembakau dengan variasi temperatur pirolisis terhadap beberapa variabel terikatnya, yaitu:

4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap Massa *Tar* Dan Massa *Char*



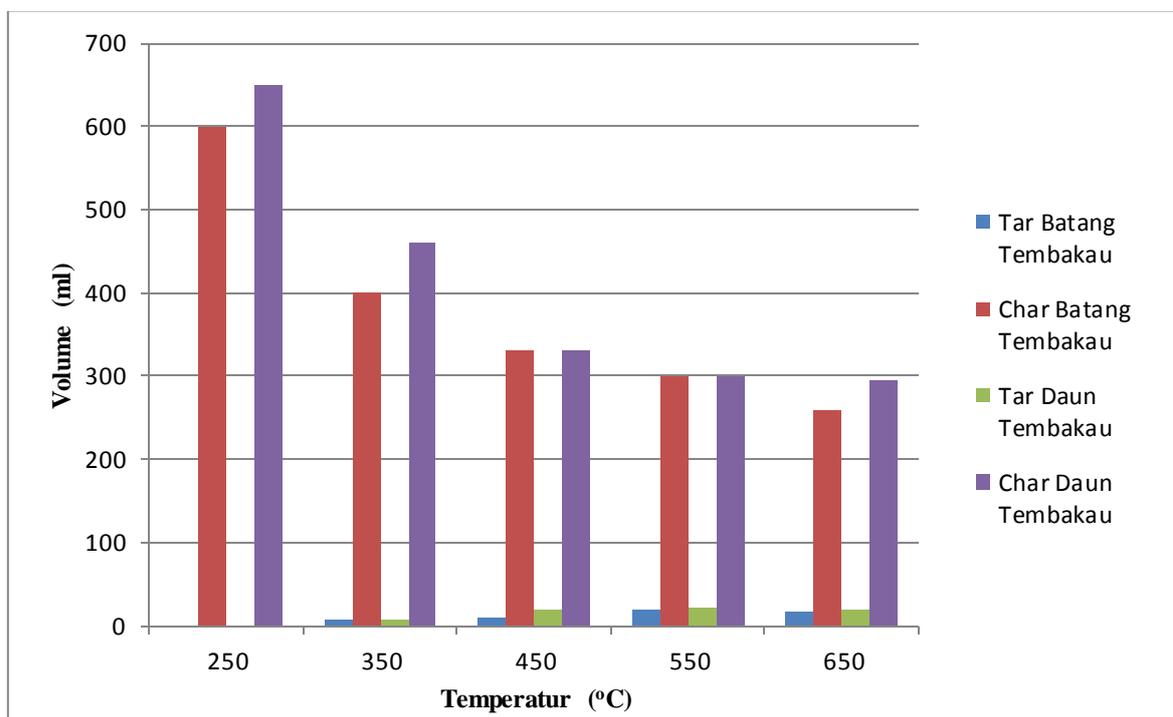
Gambar 4.1 Temperatur pirolisis terhadap massa *tar* dan massa *char*

Gambar 4.1 merupakan grafik hubungan temperatur pirolisis terhadap massa *tar* dan massa *char* yang dihasilkan dari pirolisis batang tembakau, yang dibandingkan dengan daun tembakau, dan serbuk kayu mahoni. Dimana variasi temperatur pada penelitian ini ialah 350°C, 450°C, 550°C, dan 650 °C. Untuk data massa *tar* dan *char* daun tembakau didapatkan dari (Gusmana, 2018), dan data massa *char* serbuk kayu mahoni didapatkan dari (Hakim, 2017). Data dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya temperatur pirolisis maka massa produk *tar* yang dihasilkan akan meningkat sampai temperatur 550°C lalu mengalami penurunan. Sedangkan massa *char* mengalami penurunan dengan meningkatnya temperatur pirolisis.

Pada grafik tersebut temperatur secara signifikan mempengaruhi distribusi produk pirolisis. Dimana dengan meningkatnya temperatur maka biomassa akan semakin terdekomposisi dengan adanya *thermal cracking*. Dengan begitu *char* yang merupakan residu produk padat utama yang dihasilkan dari dekomposisi biomassa akan semakin menurun. Lalu dapat dilihat massa *tar* mengalami peningkatan sampai konsentrasi puncaknya pada temperatur 550°C dan kemudian mengalami penurunan pada temperatur 650°C. Hal ini disebabkan pada temperatur lebih dari 600°C produk *tar* dan *char* diubah menjadi gas karena adanya reaksi *secondary cracking* yang dominan (Kan, 2016).

Bila dibandingkan dengan massa *char* daun tembakau, dan *char* serbuk kayu mahoni pirolisis batang tembakau menghasilkan massa *char* yang lebih banyak. Hal ini disebabkan kandungan lignin pada batang tembakau lebih banyak yaitu 27% dibandingkan dengan daun tembakau dan serbuk kayu mahoni yaitu 12,1% dan 23,75% karena produksi *char* lebih tinggi pada biomassa yang memiliki lebih banyak lignin (Tripathi, 2015). Lalu massa *tar* yang dihasilkan pada pirolisis daun tembakau lebih banyak dibandingkan dengan batang tembakau, menurut (Syamsudin dkk, 2016) semakin tinggi kandungan hemiselulosa dan selulosa pada biomassa maka semakin banyak *tar* yang dihasilkan. Namun pada batang dan daun tembakau memiliki jumlah selulosa dan hemiselulosa yang hampir sama, sehingga yang mempengaruhi massa *tar* daun tembakau lebih banyak adalah dimensi daun yang lebih tipis dibandingkan dengan batang sehingga daun akan lebih mudah terdekomposisi dan menghasilkan massa *tar* yang lebih tinggi dibandingkan batang tembakau.

4.2.2 Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap Volume *Tar* dan Volume *Char*



Gambar 4.2 Temperatur pirolisis terhadap volume *tar* dan volume *char*

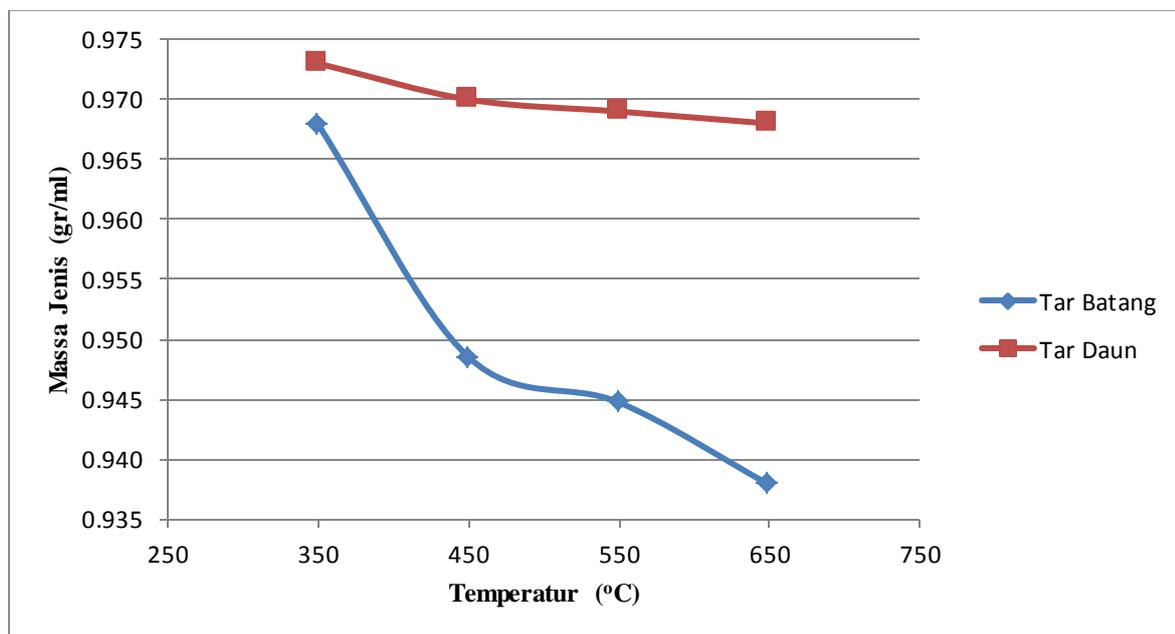
Pada gambar 4.2 menjelaskan hubungan temperatur pirolisis terhadap volume *tar* dan volume *char* hasil pirolisis batang tembakau, dan dibandingkan dengan daun tembakau, dan serbuk kayu mahoni dengan variasi temperatur 350°C, 450 °C, 550 °C, dan 650 °C. Untuk data volume *tar* dan *char* daun tembakau didapatkan dari (Gusmana, 2018), data volume *char* serbuk kayu mahoni didapatkan dari (Hakim, 2017) dan data volume *tar* serbuk kayu mahoni didapatkan dari (Azis, 2016). Dapat dilihat pada gambar tersebut dengan meningkatnya temperatur volume *tar* yang dihasilkan terus meningkat sampai temperatur 550 °C lalu mengalami penurunan. Dan volume *char* mengalami penurunan seiring meningkatnya temperatur pirolisis.

Meningkatnya temperatur maka biomassa akan semakin terdekomposisi sehingga volume *char* akan terus menurun dengan meningkatnya temperatur. Pada temperatur 550°C menghasilkan volume *tar* paling banyak dibandingkan temperatur lainnya. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya temperatur, biomassa akan terdekomposisi secara menyeluruh dimana komposisi atau komponen tersebut memiliki fraksi volume sehingga volume *tar* akan terus meningkat. Namun pada temperatur 650°C volume *tar* mengalami penurunan hal ini dikarenakan dekomposisi yang terjadi pada biomassa merupakan reaksi

secondary cracking yang dominan dimana pada rekasi tersebut dapat merubah *tar* menjadi gas.

Namun ada perbedaan pada volume *char* yang dihasilkan, dimana volume *char* daun tembakau memiliki jumlah volume yang lebih banyak dibandingkan dengan volume *char* batang tembakau hal ini dikarenakan massa jenis *char* batang lebih tinggi dibandingkan dengan massa jenis *char* daun. Ini sesuai dengan pembahasan pada Gambar 4.8 tentang pengaruh temperatur pirolisis terhadap massa jenis *char*.

4.2.3 Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap Massa Jenis Tar



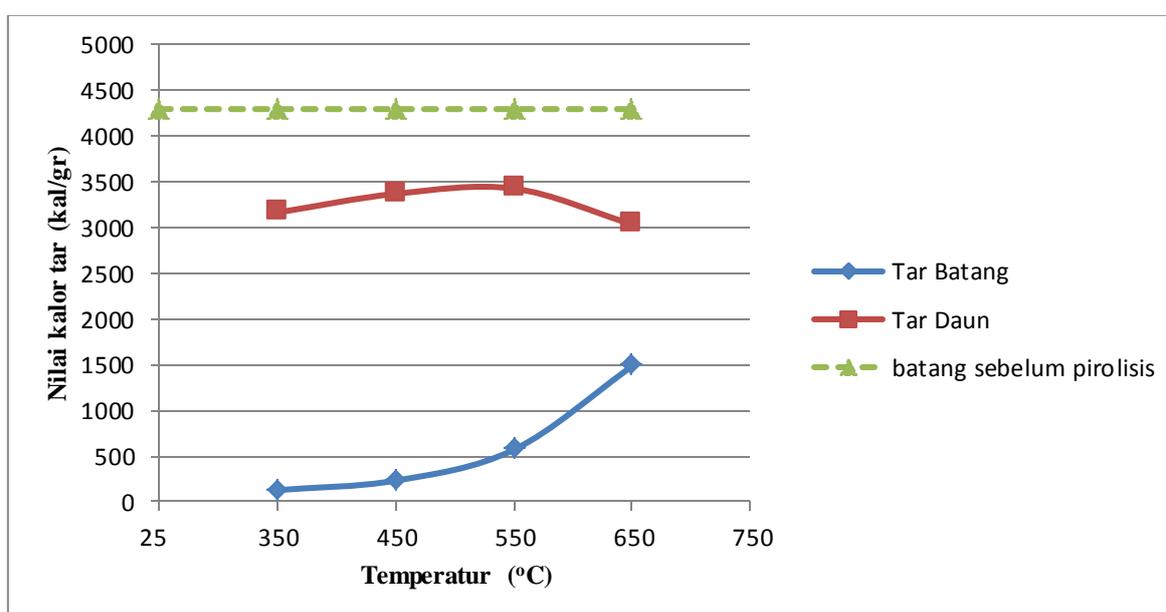
Gambar 4.3 Temperatur pirolisis terhadap massa jenis tar

Pada Gambar 4.3 menjelaskan grafik hubungan antara temperatur pirolisis terhadap massa jenis *tar* batang dan massa jenis *tar* daun tembakau dengan variasi temperatur 350°C, 450°C, 550°C, dan 650°C. Dimana data hubungan temperatur dan massa jenis *tar* daun tembakau didapatkan dari (Gusmana, 2018). Dapat dilihat pada grafik tersebut dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka massa jenis *tar* yang dihasilkan mengalami penurunan.

Hal ini disebabkan peningkatan massa *tar* yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan peningkatan volume pada *tar* tersebut. Dengan meningkatnya temperatur pirolisis cenderung menghasilkan *tar* yang lebih ringan dengan ikatan rantai karbon yang lebih pendek yang disebabkan oleh *thermal cracking* sehingga massa jenis *tar* yang dihasilkan semakin menurun. Lalu pada massa jenis *tar* yang dihasilkan dari pirolisis daun tembakau

juga memiliki kecenderungan yang sama dengan massa jenis *tar* pada batang, namun massa jenis *tar* hasil pirolisis daun tembakau lebih tinggi dibandingkan massa jenis *tar* batang tembakau ini bisa disebabkan karena senyawa rantai karbon pada *tar* yang dihasilkan lebih panjang. Penurunan massa jenis pada *tar* juga dapat mempengaruhi viskositas pada *tar* tersebut. Meningkatnya temperatur pirolisis maka massa jenis *tar* akan menurun maka viskositas pada *tar* juga akan menurun ini sesuai dengan pembahasan pada Gambar 4.6.

4.2.4 Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap Nilai Kalor *Tar*



Gambar 4.4 Temperatur pirolisis terhadap nilai kalor *tar*

Gambar 4.4 menjelaskan grafik hubungan temperatur pirolisis terhadap nilai kalor produk *tar* yang dihasilkan dari pirolisis batang tembakau dan daun tembakau yang didapatkan dari (Gusmana, 2018) dengan variasi temperatur 350°C, 450 °C, 550 °C, dan 650 °C. Dapat dilihat pada grafik, temperatur 350°C memiliki nilai kalor yang paling rendah dibandingkan temperatur lainnya yaitu sebesar 127,825 kal/gr. Hal ini dikarenakan kandungan pada batang tembakau yaitu hemiselulosa dan sedikit selulosa yang baru terdekomposisi sehingga senyawa hidrokarbon (C-H) yang terbentuk masih sedikit dan juga persentase kandungan air yang cukup tinggi pada *tar* yang dihasilkan pada temperatur 350°C.

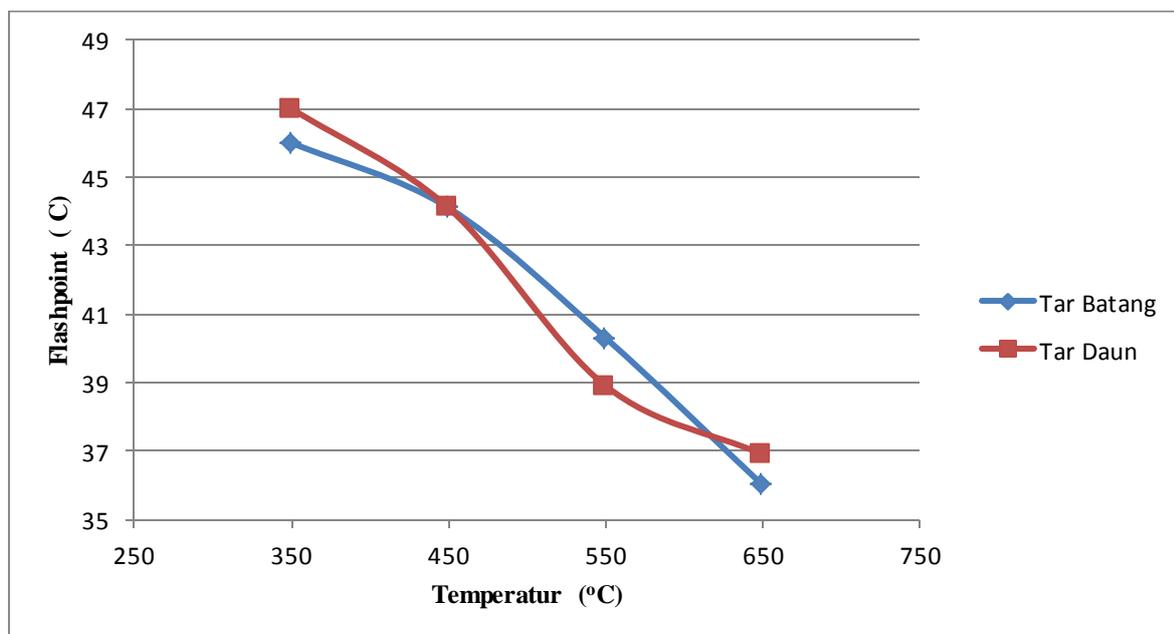
Temperatur 450°C menghasilkan nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur sebelumnya yaitu 231,635 kal/gr hal ini dikarenakan hemiselulosa, selulosa dan lignin sudah mulai terdekomposisi sehingga senyawa hidrokarbon (C-H) yang terbentuk

lebih banyak dibandingkan sebelumnya. Lalu pada temperatur 550°C terjadi peningkatan nilai kalor yaitu sebesar 569,901 kal/gr hal ini dikarenakan kandungan pada batang tembakau yaitu hemiselulosa, selulosa, dan lignin sudah terdekomposisi sehingga senyawa hidrokarbon yang terbentuk semakin banyak.

Pada temperatur 650°C menghasilkan *tar* dengan nilai kalor yang paling tinggi dibandingkan temperatur lainnya. Hal ini dikarenakan pada temperatur tersebut memiliki jarak temperatur optimal yang lebih panjang sehingga kandungan lignin lebih terdekomposisi secara optimum dan menghasilkan senyawa hidrokarbon paling banyak.

Nilai kalor pada *tar* yang dihasilkan dari daun tembakau memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan batang tembakau hal ini dikarenakan kandungan senyawa hidrokarbon (C-H) pada *tar* hasil pirolisis daun lebih banyak.

4.2.5 Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap *Flashpoint Tar*



Gambar 4.5 Temperatur pirolisis terhadap nilai *flashpoint tar*

Gambar 4.5 merupakan grafik hubungan temperatur pirolisis terhadap nilai flashpoint pada produk *tar* yang dihasilkan dari pirolisis batang tembakau dan daun tembakau. Dimana data flashpoint pada *tar* hasil pirolisis daun tembakau didapatkan dari (Gusmana, 2018) dengan variasi temperatur. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya temperatur maka nilai flashpoint pada *tar* terus menurun.

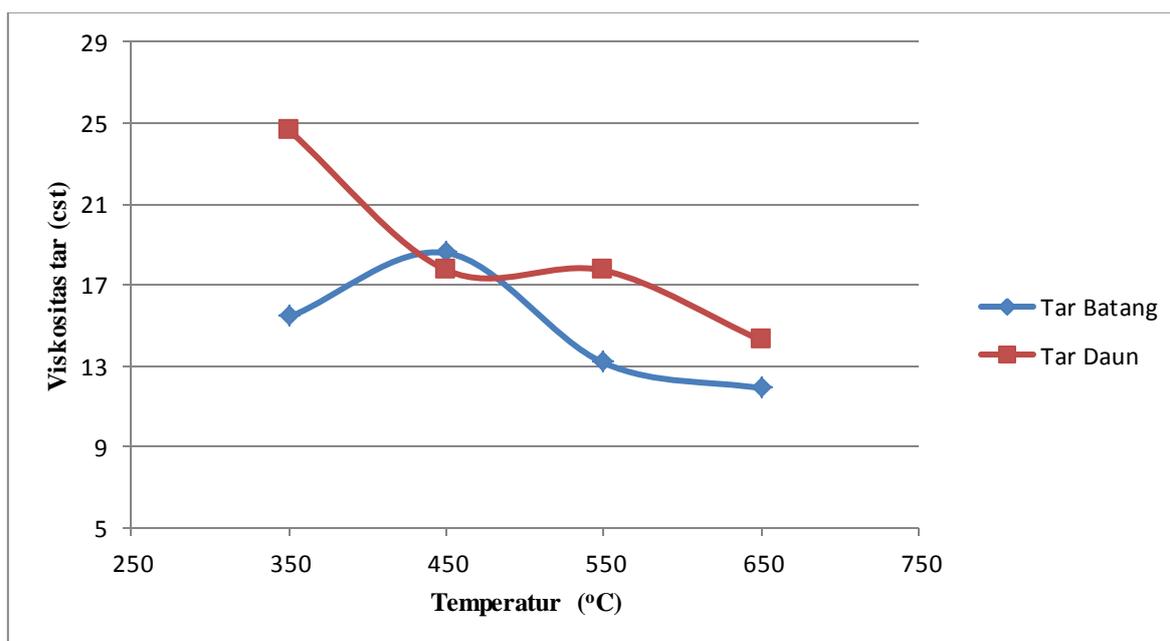
Hal ini disebabkan dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka molekul hidrokarbon panjang pada biomassa akan terpecah menjadi ikatan hidrokarbon rantai

pendek sehingga *tar* yang dihasilkan akan semakin membentuk senyawa dengan ikatan rantai karbon yang semakin pendek.

Dengan begitu pada temperatur pirolisis 650°C akan menghasilkan *tar* dengan senyawa hidrokarbon paling pendek dibandingkan dengan temperatur lainnya, yang menyebabkan nilai *flashpoint* nya akan semakin rendah karena hanya sedikit energi aktivasi yang dibutuhkan untuk *tar* berubah menjadi uap dan terbakar. Dan *flashpoint* pada *tar* hasil pirolisis daun tembakau memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan hasil *tar* pirolisis batang tembakau.

Pada temperatur 450°C menghasilkan *tar* dengan nilai *flashpoint* yaitu 44,1°C dimana hal tersebut hampir mendekati dengan nilai *flashpoint* dari Diesel yaitu sebesar 52°C (Sharuddin et al, 2016), artinya *tar* hasil pirolisis batang tembakau termasuk mudah terbakar.

4.2.6 Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap Viskositas *Tar*



Gambar 4.6 Temperatur pirolisis terhadap nilai viskositas *tar*

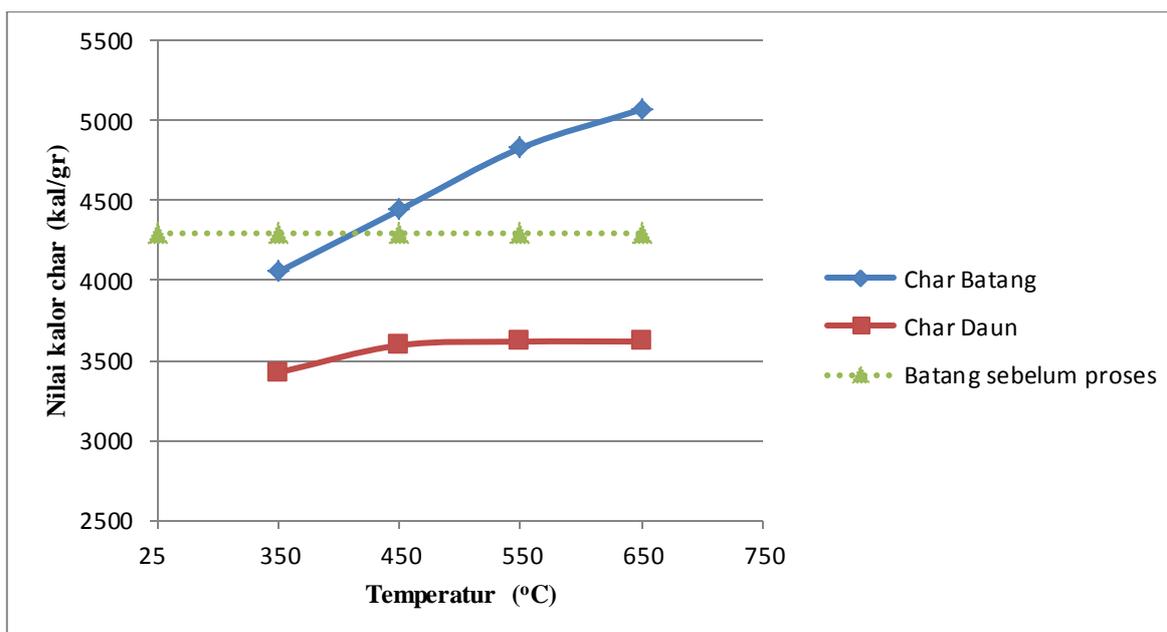
Gambar 4.6 merupakan grafik temperatur pirolisis terhadap viskositas dari produk *tar* hasil pirolisis batang tembakau dan daun tembakau dimana data hubungan temperatur terhadap viskositas *tar* daun tembakau didapatkan dari (Gusmana, 2016) dengan variasi temperatur 350°C, 450 °C, 550 °C, dan 650 °C. Dari grafik tersebut dapat dilihat terjadi kecenderungan penurunan nilai viskositas pada *tar* batang tembakau dengan meningkatnya

temperatur pirolisis dengan nilai 15,408 cst; 18,576 cst; 13,142 cst; dan 11,891 cst dan *tar* hasil pirolisis daun tembakau dengan nilai 24,634 cst; 17,73 cst; 17,708 cst; dan 14,254 cst.

Hal ini disebabkan viskositas dipengaruhi oleh struktur kimia penyusunnya, dimana semakin panjang ikatan struktur kimianya maka viskositasnya semakin tinggi. Seperti pada pembahasan Gambar 4.4 bahwa dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka molekul hidrokarbon panjang pada biomassa akan terpecah menjadi ikatan hidrokarbon rantai pendek sehingga *tar* yang dihasilkan akan semakin membentuk senyawa dengan ikatan rantai karbon yang semakin pendek dan menurunkan massa jenisnya yang menyebabkan viskositasnya pun menurun. Namun pada temperatur 450°C menghasilkan *tar* dengan nilai viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan *tar* pada temperatur 350°C hal ini disebabkan terdapat kandungan berupa padatan pada *tar* yang dapat menghambat aliran pada *tar* tersebut. Viskositas *tar* yang dihasilkan dari pirolisis daun tembakau lebih tinggi dibandingkan dengan viskositas *tar* hasil pirolisis batang tembakau hal ini disebabkan massa jenis *tar* batang tembakau lebih tinggi dibandingkan dengan daun tembakau sesuai penjelasan pada Gambar 4.3.

Pada temperatur 650°C menghasilkan *tar* dengan viskositas terendah yaitu sebesar 11,891 cst, namun bila dibandingkan dengan viskositas diesel nilai tersebut masih lebih tinggi dimana diesel memiliki viskositas yaitu 4,1 mm²/s atau 4,1 cst.

4.2.7 Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap Nilai Kalor Char



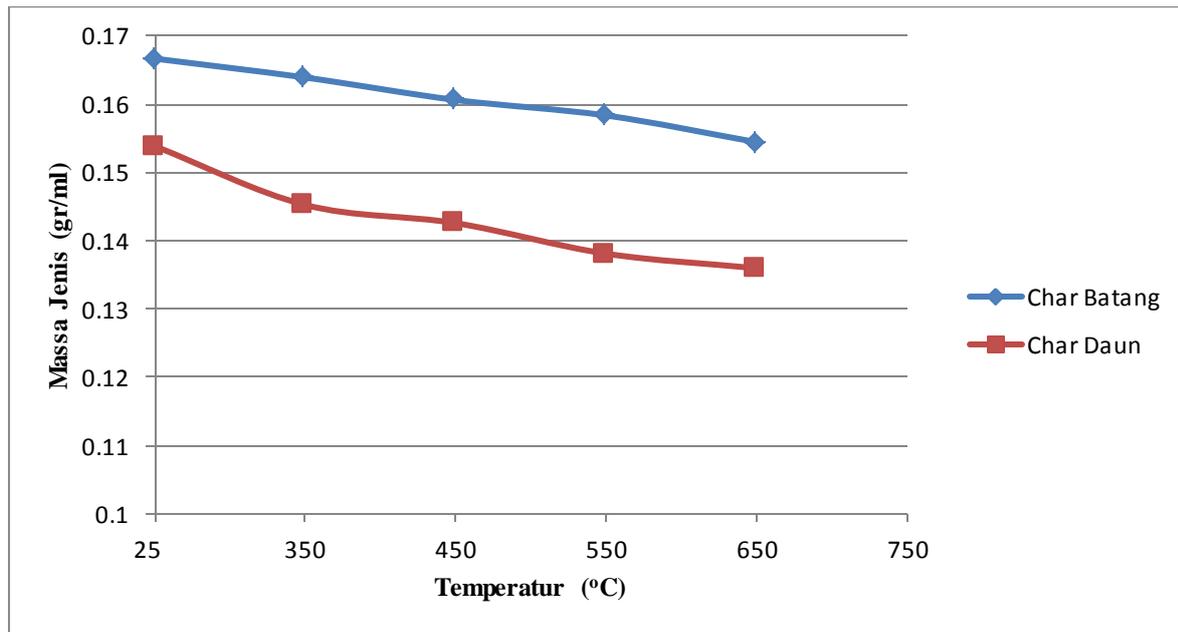
Gambar 4.7 Temperatur pirolisis terhadap nilai kalor char

Gambar 4.7 menjelaskan grafik hubungan temperatur pirolisis terhadap nilai kalor char batang tembakau dan daun tembakau dimana didapatkan dari hasil penelitian (Gusmana, 2018) dengan variasi temperatur 350°C, 450 °C, 550 °C, dan 650 °C. Dan berikut nilai kalor char batang tembakau secara berurutan: 4054,91 kal/gr; 4441,711 kal/gr; 4828,512 kal/gr; dan 5070,688 kal/gr. Pada grafik tersebut dapat dilihat dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka nilai kalor pada produk char terus meningkat.

Hal ini disebabkan dengan meningkatnya temperatur maka komponen pada biomassa akan terdekomposisi. Dimana rantai karbon panjang yang berada pada komponen batang tembakau akan semakin terpecah sehingga menurunkan hasil char yang terbentuk, namun kandungan atom C (karbon) semakin murni dan semakin banyak yang menyebabkan nilai kalor terus meningkat. Hal ini juga sesuai dengan Tabel 4.1 dimana pada tabel tersebut dapat dilihat kandungan karbon pada temperatur 350°C dan 650°C adalah 66,308 % dan 73,059 %. Pada grafik nilai kalor char hasil pirolisis batang tembakau lebih tinggi dibandingkan char hasil pirolisis daun tembakau, hal ini dikarenakan kandungan karbon yang lebih rendah yaitu 62,874% dan 68,449% pada temperatur 350°C dan 650°C.

Pada temperatur 650°C menghasilkan char dengan nilai kalor paling tinggi dibandingkan dengan char pada temperatur lainnya yaitu sebesar 5070,688 kal/gr. Nilai kalor tersebut bila dibandingkan dengan nilai kalor batubara setara dengan batubara class Lignite yang memiliki range nilai kalor sebesar 4830 – 6360 kal/gr (Billah, 2010).

4.2.8 Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap Massa Jenis *Char*



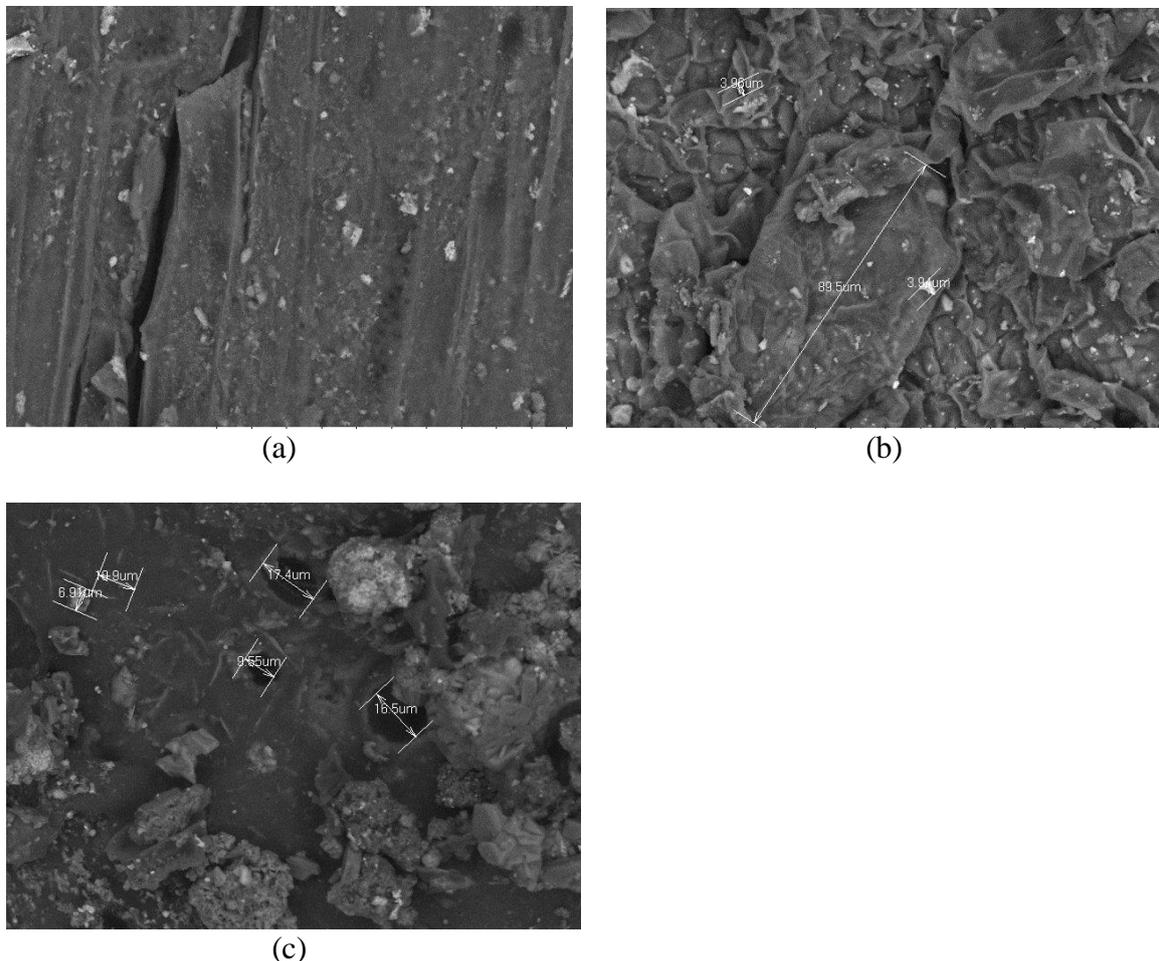
Gambar 4.8 Temperatur pirolisis terhadap massa jenis *char*

Gambar 4.8 menjelaskan grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap massa jenis *char* batang dan daun tembakau yang didapatkan dari penelitian (Gusmana, 2018). Dimana dari grafik tersebut dapat dilihat dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka massa jenis *char* terus menurun. Penurunan massa jenis *char* ini disebabkan karena massa dan volume pada *char* mengalami penurunan seiring meningkatnya temperatur namun penurunan massa *char* yang signifikan lebih besar dibandingkan dengan penurunan volume *char*.

Penurunan massa jenis *char* juga dapat mempengaruhi rongga atau pori-pori pada *char*. Semakin rendah massa jenisnya maka pori-pori yang terdapat pada *char* akan semakin besar. Hal ini juga dapat dilihat pada Gambar 4.9 dimana rongga atau pori-pori semakin besar dengan meningkatnya temperatur pirolisis. Massa jenis hasil *char* pirolisis batang tembakau lebih tinggi dibandingkan dengan daun tembakau hal ini disebabkan penurunan massa *char* pirolisis daun tembakau jauh lebih signifikan dibandingkan dengan penurunan massa *char* batang tembakau. Hal ini juga bisa disebabkan karena daun yang memiliki dimensi lebih tipis sehingga mudah terdekomposisi yang membuat rongga pada *char* daun tembakau lebih besar.

4.2.9 Hubungan Temperatur Pirolisis Terhadap Kandungan Unsur *char*

Untuk menganalisa kandungan unsur pada *char* penulis menggunakan perangkat *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) berdasarkan hasil foto SEM.



Keterangan: perbesaran 1000x

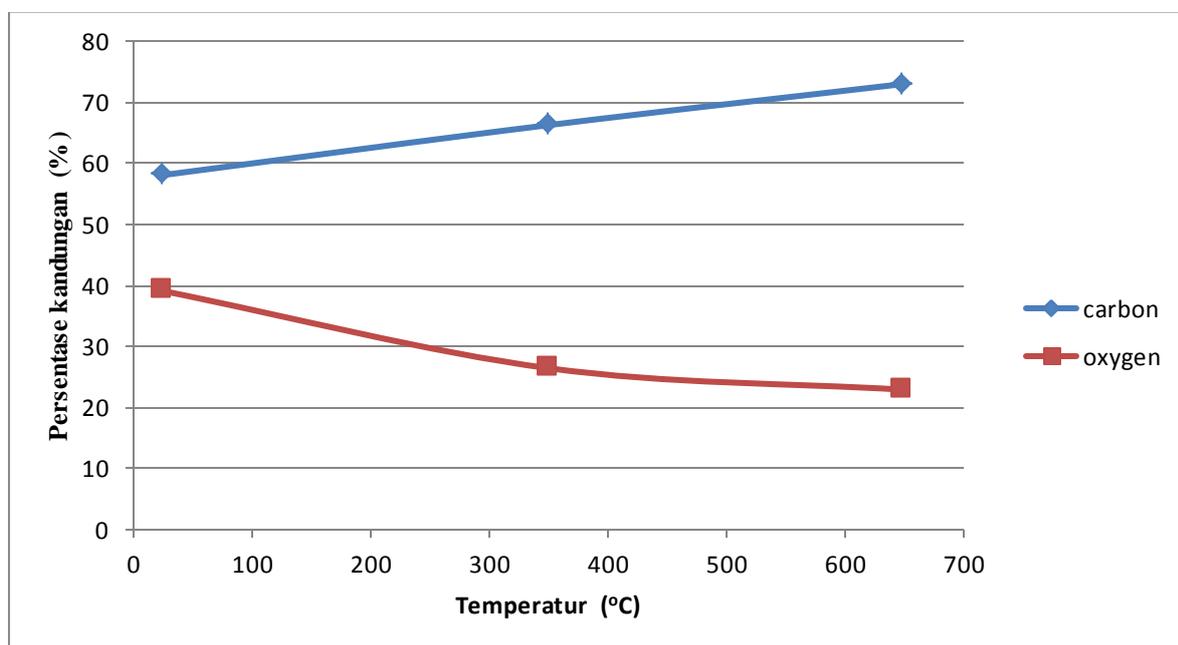
Gambar 4.9 Foto *char* hasil pengujian SEM EDX (a) batang sebelum proses pirolisis, (b) batang 350°C, (c) batang 650°C

Dapat dilihat pada Gambar 4.9 (a) yang merupakan batang sebelum dilakukan proses pirolisis dimana partikel masih utuh karena belum ada proses dekomposisi, lalu pada Gambar 4.9 (b) yang merupakan *char* hasil pirolisis temperatur 350°C dimana partikel-partikel sudah mulai terpecah namun ukurannya masih besar dan terdapat rongga pada *char* tersebut tetapi ukurannya masih kecil yang berarti sudah terdapat beberapa komponen yang sudah terdekomposisi, dan pada Gambar 4.9 (c) adalah *char* hasil pirolisis dengan temperatur 650°C dimana partikel-partikel sudah mulai mengecil dan ronggapun lebih besar dibandingkan sebelumnya karena komponen pada biomassa sudah hampir terdekomposisi semua. Dari gambar tersebut ini yang menyebabkan dengan meningkatnya

temperatur maka massa yang dihasilkan terus menurun karena partikel-partikel yang mengecil karena adanya proses dekomposisi.

Tabel 4.1 Kadar unsur *char* pada setiap variasi temperatur

Keterangan	Kandungan Unsur (%)				
	C	O	Si	S	Ca
Sebelum proses	58,135	39,065	0,065	0,123	0,342
350°C	66,308	26,429	0,574	0,107	0,585
650°C	73,059	22,899	0,144	0,128	0,733



Gambar 4.10 Temperatur pirolisis terhadap kadar karbon dan oksigen

Tabel 4.1 merupakan kandungan unsur yang terdapat pada batang sebelum proses pirolisis, *char* pada temperatur 350°C, dan *char* pada temperatur 650°C. Kandungan silikon sangat terkait dengan kandungan abu pada *char* dan terdapat peningkatan pada kandungan Si, lalu terdapat kandungan kalsium pada batang tembakau yang meningkat sampai temperatur 650°C ini disebabkan kandungan kalsium yang sulit bereaksi. Sifat *char* sangat dipengaruhi oleh temperatur pirolisis dimana rasio O/C merupakan indikator yang digunakan untuk menganalisa karakteristik dari *char* hasil pirolisis (Jindo et al, 2014).

Pada Gambar 4.10 menjelaskan bahwa dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka kandungan karbon yang terdapat pada *char* akan semakin meningkat dan kandungan oksigen pada *char* akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan ketika temperatur pirolisis meningkat maka tingkat karbonisasi pada biomassa juga akan meningkat ini

mengindikasikan bahwa *char* banyak kehilangan air dan gugus fungsi yang mengandung O (Wang et al, 2015).



Gambar 4.11 Reaksi dekarboksilasi pada saat pirolisis



Gambar 4.12 Reaksi dehidrasi yang terjadi saat pirolisis

Hal ini terjadi karena adanya pemecahan rantai karbon pada biomassa yang disebabkan *thermal cracking* yang merupakan fungsi temperatur. Reaksi utama yang terjadi adalah pemisahan ikatan karbon sehingga karbon kehilangan elektron dan menjadi reaktif sehingga terjadi reaksi dekarboksilasi yang menyebabkan hilangnya gugus karboksil dan melepaskan CO₂ lalu terdapat juga reaksi dehidrasi pada proses pirolisis yang melepaskan H₂O. Oleh karena itu dengan meningkatnya temperature pirolisis maka *char* yang dihasilkan akan semakin melepas oksigen. Artinya dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka kualitas *char* yang dihasilkan akan meningkat karena rasio O/C semakin menurun.

