

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang telah dilakukan menghasilkan beberapa data yang menunjukkan hubungan berbagai variasi densitas spesimen pirolisis terhadap beberapa variabel terikatnya antara lain adalah perubahan massa, perubahan volume, perubahan warna, serta peningkatan nilai kalor spesimen.

4.2 Pembahasan

Pembahasan pada subbab ini dilakukan untuk mengetahui kecenderungan dari data hasil penelitian setiap variasi temperatur pirolisis terhadap perubahan massa, volume, warna, dan nilai kalor spesimen.

4.2.1 Produk Hasil Pirolisis

Pada pirolisis sampah rumah tangga ini dihasilkan dihasilkan beberapa jenis produk antara lain :

1. Arang (*Char*)

Char merupakan produk hasil pirolisis yang berupa padatan. Pada penelitian ini akan dibahas perubahan massa dan volume antara spesimen awal dan *char* yang dihasilkan. Selain itu, juga akan dibahas nilai kalor yang dihasilkan oleh *char* dari berbagai macam variasi yang telah ditentukan.

2. Asap Cair (*Tar*)

Pada penelitian ini *tar* yang dihasilkan tidak sepenuhnya murni, namun masih ada campuran berupa air yang komposisinya masih sangat tinggi, dimana posisi *tar* berada di permukaan campuran tersebut. Hal ini disebabkan karena masih tingginya kadar air dari sampah yang dipirolisis.

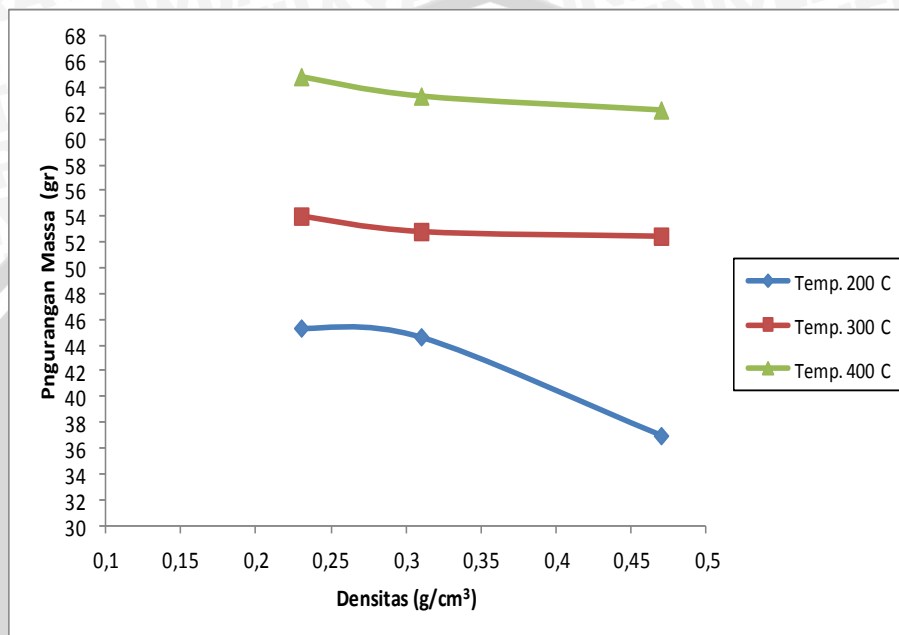
3. Gas

Pada penelitian ini tidak dilakukan pembahasan terhadap gas yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah rumah tangga.

4.2.2 Produk Pirolisis Berupa Arang

a. Hubungan antara Densitas Bahan Pirolisis dan Pengurangan Massa Spesimen

Hubungan antara densitas bahan pirolisis dan pengurangan massa spesimen dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik hubungan densitas bahan pirolisis dan pengurangan massa spesimen

Dari grafik terlihat bahwa semakin besar densitas, penurunan massa yang terjadi semakin kecil. Hal ini disebabkan karena semakin besar densitas ruang antar partikel sampah semakin kecil, laju pemanasan yang terjadi antar partikel sampah akan semakin besar, hal ini yang akan mengakibatkan terhambatnya difusi *volatile matter*, sehingga zat-zat yang mudah menguap tersebut sulit terangkat, serta proses dekomposisi menjadi bentuk cair dan gas menjadi terhambat. Terhambatnya difusi *volatile matter* ini disebabkan lambatnya difusi panas yang terjadi pada bahan karena difusivitas termalnya yang menurun seiring dengan peningkatan densitas. Hal ini sesuai dengan rumus persamaan difusivitas termal, yaitu $\alpha = \frac{k}{C_p \times \rho}$ dimana nilai α (difusivitas termal) berbanding terbalik dengan ρ (densitas bahan).

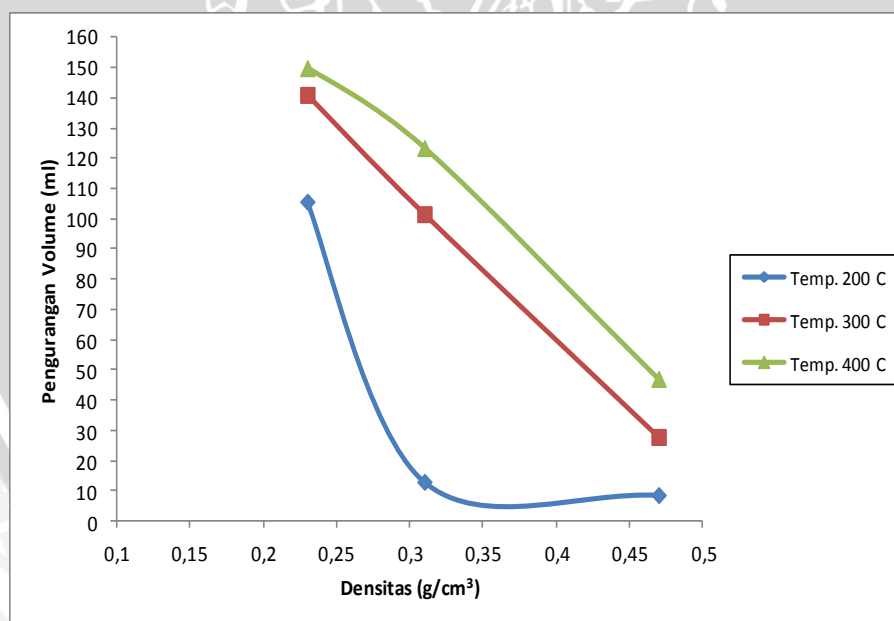
Temperatur pirolisis berdampak signifikan terhadap hasil pirolisis. Semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin besar pula pengurangan massa

spesimennya. Sebaliknya, pada temperatur lebih rendah pengurangan massanya lebih sedikit. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur mengakibatkan semakin cepat proses dekomposisi dari bahan tersebut.

Pada saat temperatur pirolisis 200 °C pengurangan massa yang terjadi tidak terlalu besar karena pada temperatur tersebut, panas hanya dapat menguapkan kadar air yang terkandung dalam spesimen tanpa mengalami dekomposisi pada komponen-komponen spesimen. Sedangkan pada temperatur pirolisis 400 °C mengalami pengurangan massa yang paling besar, karena komponen-komponen spesimen mengalami dekomposisi termal menjadi bentuk cair, gas dan padat, sehingga massa padatan yang tersisa tentunya lebih sedikit akibat dikurangi oleh hasil pirolisis dalam bentuk cair dan gas.

b. Hubungan antara Densitas Bahan Pirolisis dan Pengurangan Volume Spesimen

Hubungan antara densitas bahan pirolisis dan pengurangan volume spesimen dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik hubungan densitas bahan pirolisis dan pengurangan volume spesimen

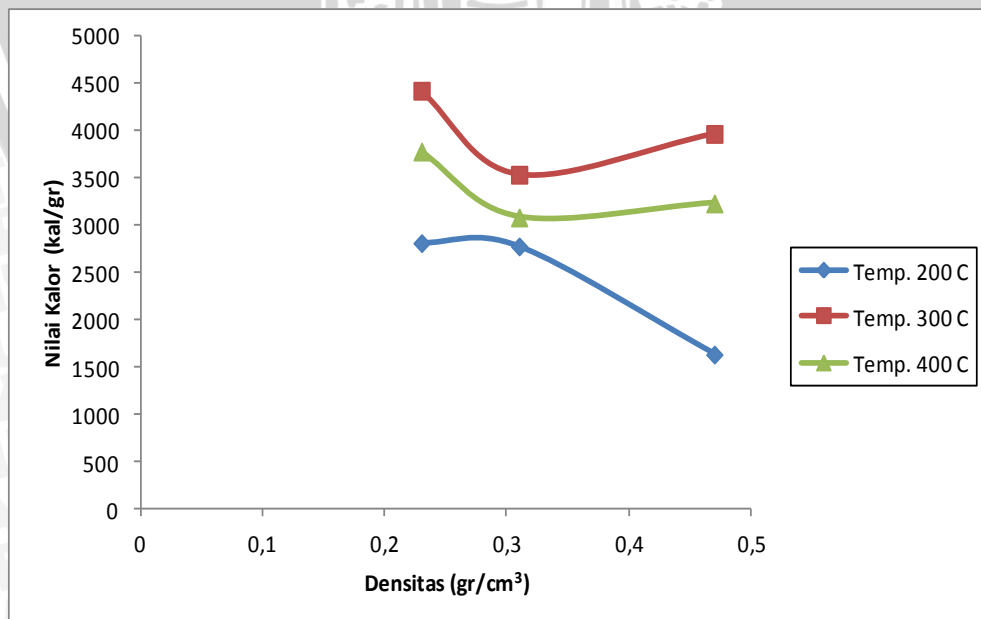
Gambar 4.2 menunjukkan pengurangan volume *char* pada tingkat densitas bahan yang berbeda. Dari grafik terlihat bahwa semakin tinggi densitas

bahan maka pengurangan volume yang terjadi semakin menurun. Hal ini disebabkan karena semakin besar densitas ruang antar partikel sampah semakin kecil, yang mengakibatkan terhambatnya difusi *volatile matter*, sehingga zat-zat yang mudah menguap tersebut sulit terangkat, serta proses dekomposisi menjadi bentuk cair dan gas menjadi terhambat. Sehingga, semakin besar densitas bahan, perubahan volume yang terjadi akan semakin kecil karena tingkat penyusutan akibat dekomposisi spesimen menjadi cair dan gas akan semakin sedikit.

Secara umum, semakin meningkatnya temperatur pirolisis maka pengurangan volume biomassa/spesimen semakin besar. Hal tersebut terjadi karena semakin tinggi temperatur maka semakin banyak komponen-komponen biomassa yang terdekomposisi menjadi bentuk cair, padat, dan gas, sehingga pengurangan volumenya juga akan semakin besar. Namun pada temperatur 200 °C terjadi pengurangan volume paling kecil pada saat densitas bahan 0,31 gr/cm³. Hal ini disebabkan karena proses dekomposisi menjadi cair dan gas belum terjadi, dan hanya uap air saja yang menguap. Hal yang sama juga terjadi pada densitas bahan 0,47 gr/cm³, sehingga pengurangan volumenya tidak jauh berbeda.

c. Hubungan antara Densitas Bahan Pirolisis dan Nilai Kalor Arang

Hubungan antara densitas bahan pirolisis dan nilai kalor arang dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik hubungan densitas bahan pirolisis dan nilai kalor arang

Gambar 4.3 menunjukkan perubahan nilai kalor yang terjadi setelah proses pirolisis pada beberapa variasi densitas. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya densitas, nilai kalor cenderung menurun dan naik kembali setelah melewati densitas $0,311 \text{ g/cm}^3$. Hal tersebut terjadi karena saat pirolisis terjadi dekomposisi komponen biomassa menjadi char, tar dan gas. Char yang merupakan hasil padatan pirolisis mengandung *fixed carbon* yang nantinya akan menaikkan nilai kalornya. Pada proses pirolisis dengan variasi densitas bahan, didapatkan nilai kalor tertinggi terjadi saat densitas bahan paling kecil, yakni $0,23 \text{ gr/cm}^3$. Hal ini disebabkan karena densitas bahan yang kecil akan memudahkan proses dekomposisi karena tingkat difusi dari *volatile matter* yang tinggi melalui rongga-rongga pada spesimen. Terlihat bahwa semakin tinggi densitas, nilai kalor akan semakin rendah, yang disebabkan karena semakin besar densitas, ruang antar partikel sampah semakin kecil, yang mengakibatkan terhambatnya difusi *volatile matter*, sehingga zat-zat yang mudah menguap tersebut sulit terangkat, serta proses dekomposisi menjadi bentuk cair dan gas menjadi terhambat. Hal ini mengakibatkan *fixed carbon* yang ada dalam char menjadi sedikit karena masih ada zat-zat lain yang tidak terdekomposisi.

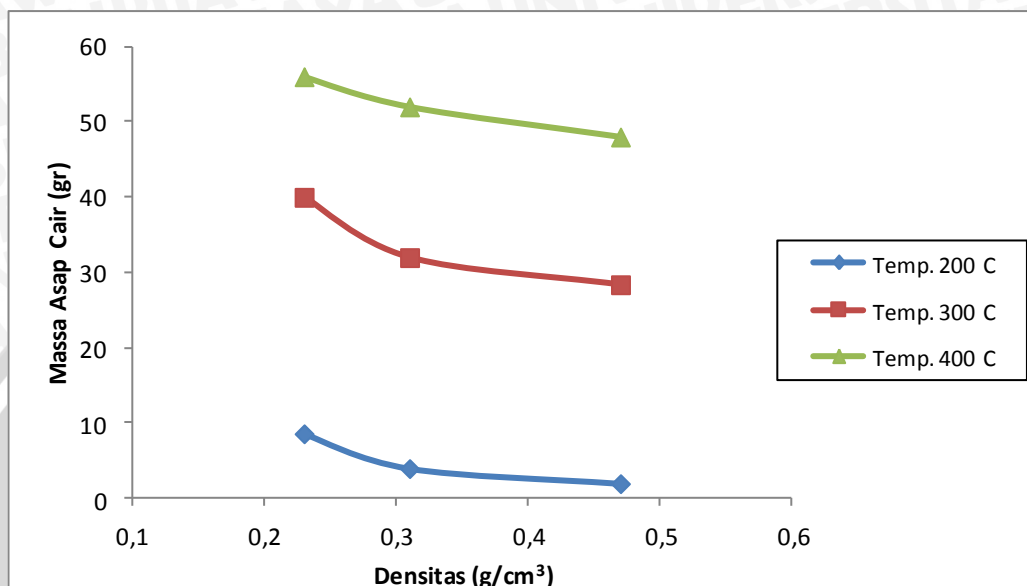
Tetapi pada titik tertentu terjadi kenaikan nilai kalor, yakni pada saat densitas $0,47 \text{ gr/cm}^3$, temperatur $300 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $400 \text{ }^\circ\text{C}$. Hal ini mungkin dapat disebabkan karena pada proses pirolisis bahan dengan densitas $0,31 \text{ gr/cm}^3$, ada oksigen yang masuk atau oksigen yang masih terjebak didalam furnace yang memicu terjadinya reaksi oksidasi sehingga meninggalkan abu yang menyebabkan nilai kalornya lebih rendah dari hasil pirolisis bahan dengan densitas $0,47 \text{ gr/cm}^3$.

Dari ketiga variasi temperatur, didapatkan nilai kalor tertinggi terjadi pada saat temperatur $300 \text{ }^\circ\text{C}$, dan terendah pada $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Semakin tinggi temperatur pirolisisnya maka semakin sedikit *char* yang terbentuk, namun kandungan *fixed carbon*nya semakin tinggi sehingga nilai kalornya akan semakin tinggi pula. Akan tetapi nilai kalor char pada temperatur pirolisis $400 \text{ }^\circ\text{C}$ lebih rendah dari temperatur $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Hal ini kemungkinan disebabkan temperatur $300 \text{ }^\circ\text{C}$ adalah temperatur optimum untuk nilai kalor tertinggi pada pirolisis sampah rumah tangga.

4.2.3 Produk Pirolisis Berupa Asap Cair (*Tar + air*)

a. Hubungan antara Densitas Bahan Pirolisis dan Massa Asap Cair

Hubungan antara densitas bahan pirolisis dan massa asap cair dapat dilihat pada gambar 4.4.



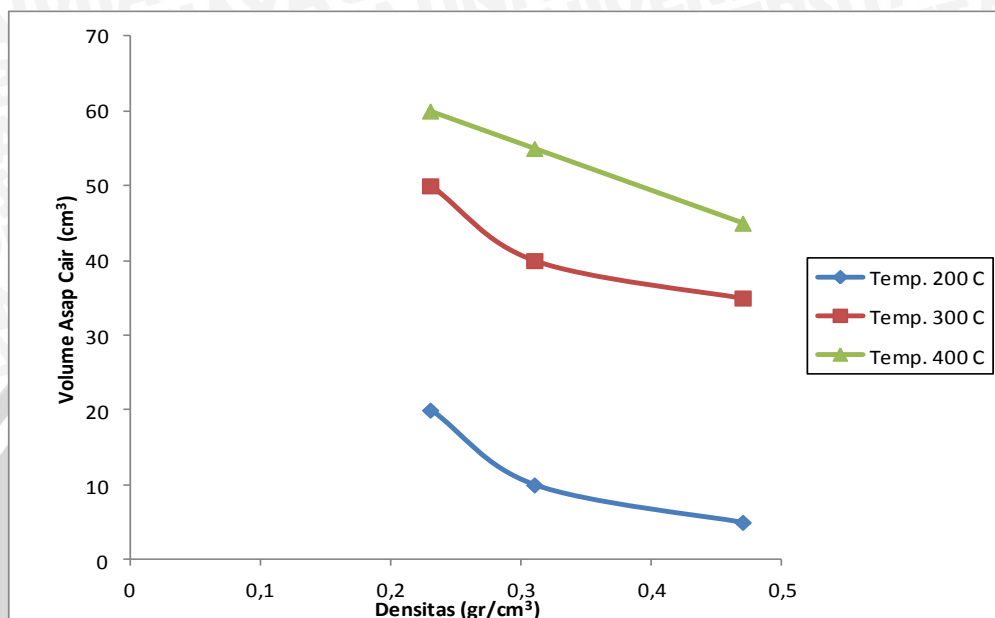
Gambar 4.4 Grafik hubungan densitas bahan pirolisis dan massa asap cair

Gambar diatas menunjukkan produk hasil pirolisis berupa campuran antara *tar* dan air. Dari gambar terlihat bahwa semakin tinggi densitas massa asap cair yang dihasilkan cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena dengan semakin tinggi densitas akan menyebabkan difusi dari volatile matter dan dekomposisi dari sampah menjadi menurun akibat difusivitas termal yang semakin kecil karena terhambat kerapatan bahan. Hal ini sesuai dengan rumus difusivitas termal dimana difusivitas termal berbanding terbalik dengan densitas (kerapatan) bahan, yaitu $\alpha = \frac{k}{C_p \times \rho}$, dimana semakin tinggi nilai α makin cepat kalor berdifusi ke bahan.

Dari ketiga variasi temperatur, didapatkan massa asap cair tertinggi terjadi pada saat temperatur 400 °C, dan terendah pada 200 °C. Semakin tinggi temperatur pirolisisnya maka semakin tinggi tingkat dekomposisi dari *volatile matter* dan banyak pula sampah yang akan terdekomposisi menjadi uap atau gas.

b. Hubungan antara Densitas Bahan Pirolisis dan Volume Asap Cair

Hubungan antara densitas bahan pirolisis dan volume asap cair dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik hubungan densitas bahan pirolisis dan volume asap cair

Dari gambar terlihat bahwa semakin tinggi densitas, volume asap cair yang dihasilkan cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena dengan semakin tinggi densitas akan menyebabkan difusi dari *volatile matter* dan dekomposisi dari sampah menjadi terhambat. Hal ini juga berhubungan dengan difusivitas termal bahan, dimana dengan semakin tinggi densitas, nilai dari difusivitas termal akan menurun sehingga menghambat laju proses dekomposisi.

Dari ketiga variasi temperatur, didapatkan volume asap cair tertinggi terjadi pada saat temperatur 400 °C, dan terendah pada 200 °C. Semakin tinggi temperatur pirolisisnya maka semakin banyak pula sampah yang akan terdekomposisi menjadi asap cair.

4.2.4 Perbandingan Padatan Hasil Pirolisis Dengan Berbagai Variasi Densitas Bahan dan Temperatur

Perbandingan padatan hasil pirolisis dengan berbagai variasi densitas bahan dan temperatur dapat dilihat pada gambar 4.6.

a. Densitas $0,233 \text{ g/cm}^3$ (Volume 300 ml)



Sebelum Pirolisis



200 °C

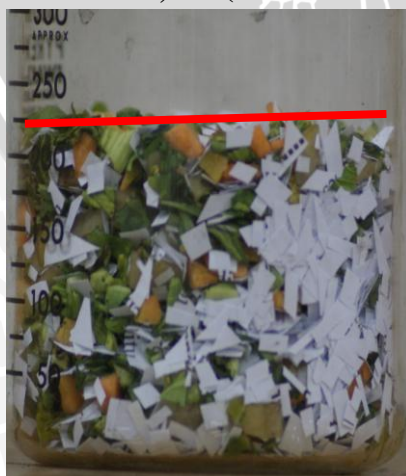


300 °C

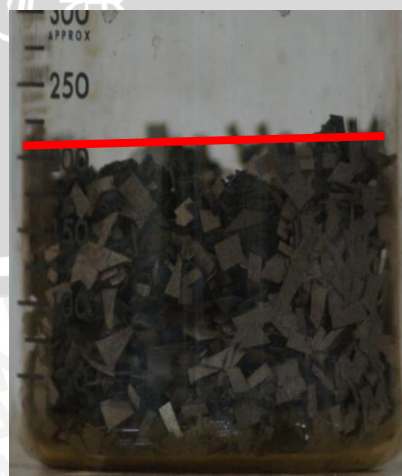


400 °C

b. Densitas $0,311$ (Volume 225 ml)



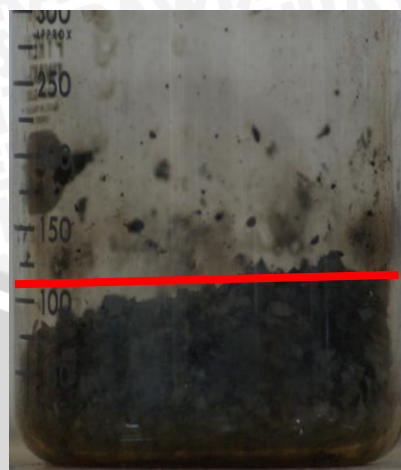
Sebelum Pirolisis



200 °C



300 °C



400 °C

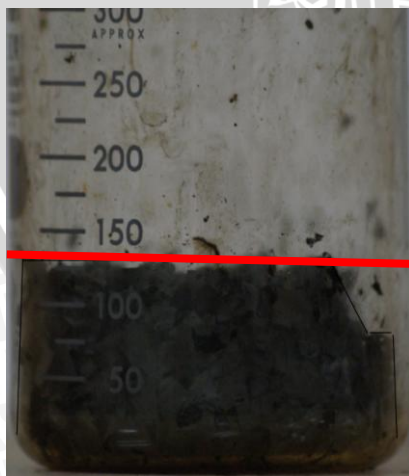
c. Densitas 0,467 gr/cm³ (150ml)



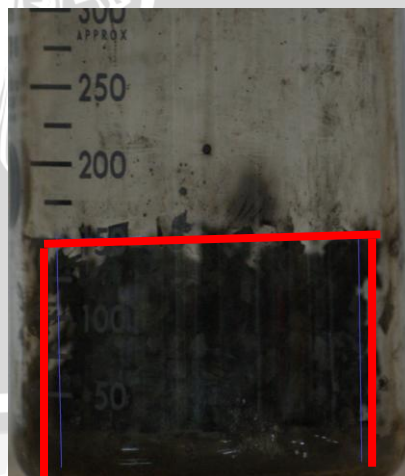
Sebelum



200 °C



300 °C



400 °C

Gambar 4.6 Perbandingan padatan hasil pirolisis dengan berbagai variasi densitas bahan dan temperatur

Perbedaan padatan hasil pirolisis dapat dianalisa secara visual dengan melihat perbedaan warna dari spesimen yang difoto. Dari hasil yang didapat menunjukkan bahwa spesimen sebelum dipirolisis masih berwarna alami dari masing-masing bahan dan spesimen yang dipirolisis 200 °C mulai berubah warna menjadi kecoklatan. Hal tersebut terjadi karena spesimen yang belum dipirolisis masih mengandung kadar air yang sangat tinggi, sedangkan spesimen yang dipirolisis 200 °C kadar airnya 0 % atau lebih kering dari sebelumnya.

Pada temperatur 300 °C warna spesimen tersebut menjadi coklat gelap. Hal itu dikarenakan hanya sebagian hemiselulosa yang terdekomposisi. Dan pada temperatur 300 °C spesimen berwarna hitam dan lebih gelap daripada temperatur 200 °C. Penyebabnya, karena hemiselulosa telah terdekomposisi sepenuhnya. Sedangkan lignin dan selulosa belum sepenuhnya terdekomposisi.

Namun saat temperatur 400 °C, warna dari spesimen berubah menjadi lebih hitam. Warna hitam pekat ini dari warna char. Pada tahap ini hanya lignin yang belum sepenuhnya terdekomposisi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa komponen-komponen biomassa telah terdekomposisi sepenuhnya, dan menyisakan *char* sebagai hasil padatan (*solid residue*).

