

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Qirom (2015). Meneliti pengaruh variasi temperatur terhadap kuantitas *char* yang dihasilkan dengan menggunakan serbuk kayu mahoni (*switenia macrophylla*) pada *pirolisis rotary kiln*. Dengan menggunakan variasi temperatur 250, 350, 450, 500 dan 600°C. Putaran pada tungku di kondisikan 10 rpm, laju pemanasan 8,60°C/menit atau 0,14°C/dt dan pemanasan dilakukan selama 180 menit. Dihadirkan bahwa semakin besar temperatur yang digunakan dalam proses pirolisis maka *char* yang dihasilkan akan semakin kecil. Yaitu pada pemanasan 600°C dihasilkan *char* 245,72 ml, sedangkan pada pemanasan 200°C menghasilkan *char* sebesar 381,12 ml. Akan tetapi dengan pemanasan temperatur yang tinggi akan menghasilkan nilai kalor semakin besar. Nilai kalor terbesar pada pemanasan temperatur 600°C yaitu sebesar 7592,524 kJ/kg. Sedangkan yang terkecil pada pemanasan temperatur 250°C yaitu 5763,941 kJ/kg.

Lailunnazar (2012). Meneliti pengaruh temperatur pirolisis terhadap kualitas tar hasil pirolisis serbuk kayu mahoni. Variasi yang digunakan yaitu temperatur 250, 350, 450 dan 500°C selama 3jam. Dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka massa *tar* yang terbentuk akan semakin meningkat di semua titik dan peningkatan tertinggi pada titik 500°C dimana peningkatan 4 kali lipat dari titik 450°C. Untuk nilai kalor yang dihasilkan mengalami peningkatan sampai temperatur pemanasan 450°C akan tetapi pada titik 500°C terjadi penurunan nilai kalor sebesar 70 kali lipat dibandingkan dengan titik 450°C.

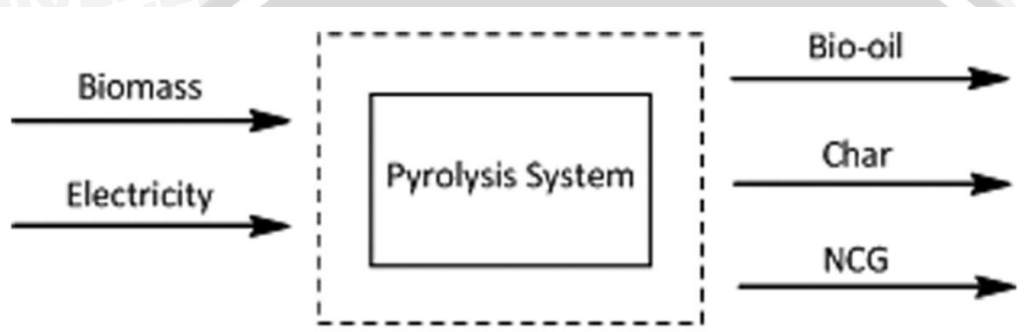
Zhou (2014). Meneliti pengaruh ukuran partikel pada komposisi lignin yang berasal dari oligomers pada proses *fast pyrolysis* dari *beech wood*. Variasi yang digunakan ukuran partikel 2-14 mm dengan temperatur yang digunakan 500°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil *char* meningkat dari ukuran 2 sampai 6 mm kemudian setelah itu cenderung konstan.

Selain itu Park (2008). Meneliti karakteristik pirolisis dari pohon oriental putih: pengamatan gerak dan *fast pyrolysis* dalam *fluidized bed* dengan peningkatan sistem reaksi. Variasi yang digunakan ukuran partikel 0.1–0.425, 0.425–1.0 and 0.85–1.18 mm dengan temperatur pemanasan 450°C. Hasil penelitian bahwa *char* mengalami peningkatan dari titik

petama hingga ketiga, sedangkan nilai *tar* mengalami peningkatan pada titik pertama ke kedua akan tetapi mengalami penurunan pada titik kedua ke ketiga.

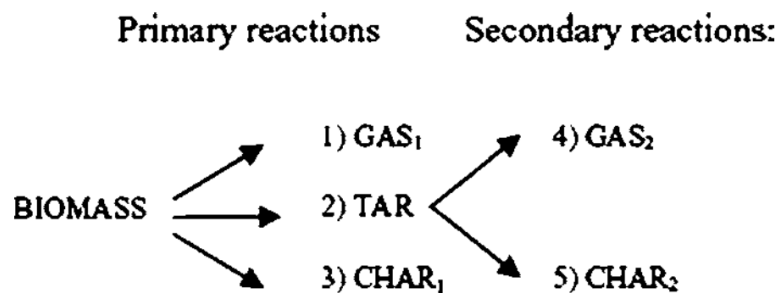
2.2 Pirolisis

Pirolisis merupakan teknologi alternatif dengan proses dekomposisi *thermal* bahan organik (memiliki kandungan $C_xH_yO_z$) melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit melibatkan O_2 dengan menggunakan gas inert berupa N_2 yang dapat menghasilkan produk berupa *char* (karbon padat), *tar* (minyak) dan gas.



Gambar 2.1 Proses Pirolisis
Sumber : Boateng dan Mullen (2012)

Pirolisis terbagi menjadi dua, yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pada pirolisis primer, biomassa akan terdekomposisi menjadi gas_1 , tar_1 , dan $char_1$. Sedangkan pada reaksi tambahan atau disebut juga pirolisis sekunder ada sebagian tar yang terdekomposisi menjadi gas_2 dan $char_2$.



Gambar 2.2 Pirolisis Primer dan Sekunder
Sumber: Fantozzi et.,al (2007)

Secara umum berdasarkan waktu tinggal (*residence time*) pirolisis dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

1. *Slow pyrolysis*

Slow pyrolysis adalah proses pirolisis dengan menggunakan laju pemanasan yang lambat, temperatur yang kecil dan waktu pemanasan yang lama. Laju pemanasan yang digunakan 0,1 – 2°C/detik (Bridgwater, 2004). Produk utama yang dihasilkan pada *slow pyrolysis* adalah *char* akan tetapi masih diikuti dengan produk yang lain seperti *tar* dan gas. Degradasi biomassa pada proses pirolisis dari temperatur 100°C – 500°C (Yuan dan Liu, 2007). Produk-produk non-combustible seperti, CO₂, senyawa organik, uap air akan hilang pada temperatur 100°C– 200°C. Pada temperature diatas 200°C akan terjadi pemecahan struktur komponen bahan organik menjadi gas dengan massa molekul yang rendah (*volatile*) dan *char*. Pada temperatur 500°C semua *volatile* hilang dan hanya menyisakan *char*.

2. *Fast pyrolysis*

Fast pyrolysis adalah metode untuk memproduksi cairan dari bahan organik. Keuntungan dari *fast pyrolysis* adalah biaya produksi yang rendah, efisiensi panas yang tinggi, penggunaan bahan bakar fosil yang rendah dan netralitas CO₂ (Mohan et al,2006). Menggunakan *heating rate* 500 hingga 10⁵°C/detik (Bridgwater, 2004), ukuran partikel kurang dari 2mm, kelembapan kurang dari 10% dan uap harus segera dipisahkan dari *char* untuk mencegah reaksi sekunder yang menyebabkan terbentuknya gas. Hasil dari proses *fast pyrolysis* adalah 60-70% *bio-oil*, 15-25% *char* dan 10-20% *non-condensable gas*, tergantung bahan baku yang digunakan (Mohan et al, 2006)

3. *Flash pyrolysis*

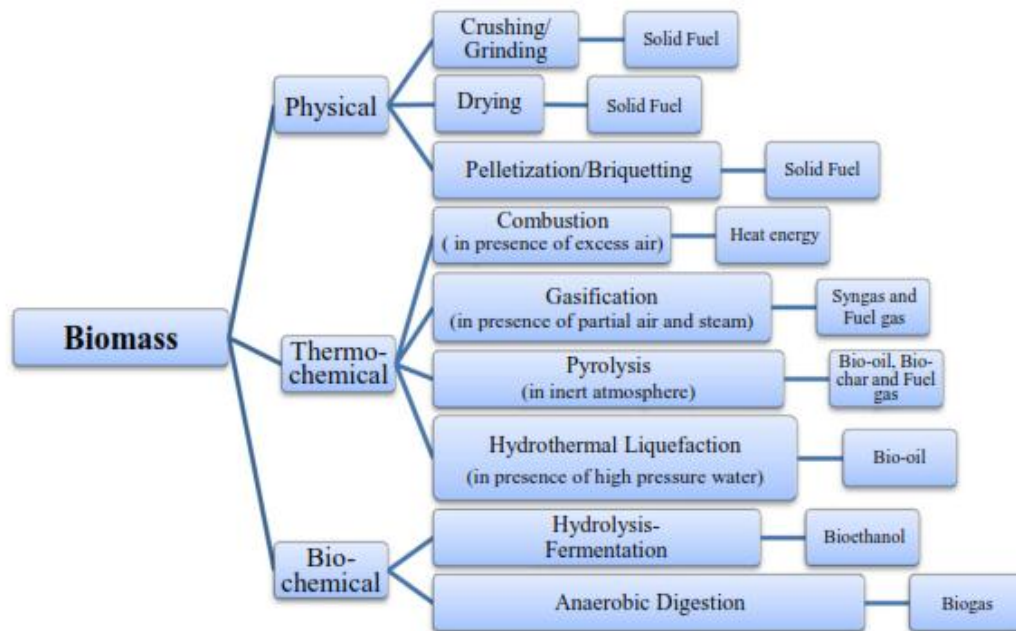
Flash pyrolysis memiliki karakteristik heating rate yang sangat cepat yaitu lebih dari 10⁵°C/detik (Bridgwater, 2004).. Jika dibandingkan dengan hasil produk proses *Slow pyrolysis* maka *char* dan gas lebih sedikit, sehingga proses *flash pyrolysis* lebih banyak menghasilkan *tar*.

2.3 Biomassa

Biomassa adalah salah satu energi terbarukan yang bersifat dapat diperbaharui (*renewable energi*) dan ketersediaannya yang banyak di alam. Biomassa dapat berasal dari hutan, peternakan, perkebunan, pertanian, bahkan dari sampah. Biomassa berasal dari bahan organik yang mana karbon hasil pembakaran disebut karbon netral, karena karbon

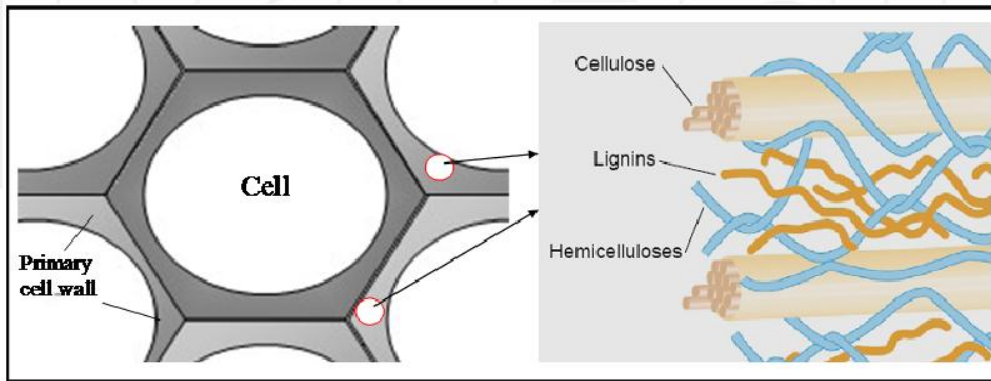
yang dilepaskan saat pembakaran diserap kembali oleh tumbuhan sehingga tidak menyebabkan polusi udara.

Biomassa merupakan energi alternatif yang menyediakan energi sebesar 3×10^{12} J/tahun dan yang dimanfaatkan hanya 2% sebagai bahan bakar (Abraham, 2012). Dengan ketersediaan energi biomassa yang begitu besar maka penggunaan energi biomassa perlu ditingkatkan. Sedangkan selama ini pemanfaatan energi biomassa hanya dilakukan secara konvensional yaitu dengan membakar secara langsung. Oleh karena itu perlunya sebuah teknologi untuk mengkonversikan biomassa menjadi energi terbarukan. Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah teknologi pirolisis yang dapat menghasilkan produk berupa *char*, *tar* dan gas.



Gambar 2.3 Konversi Biomassa
Sumber :Sharma et al (2015)

Komponen penyusun utama biomassa adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin.

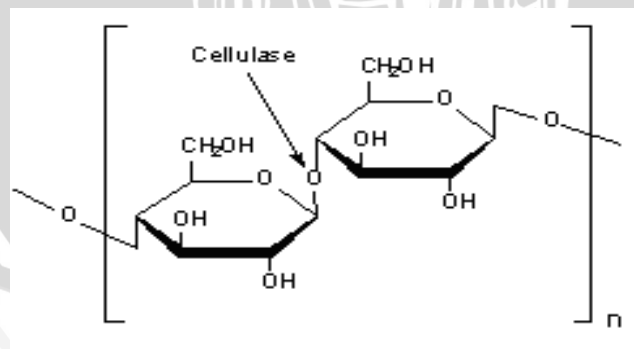


Gambar 2.4 Komponen Utama Biomassa
Sumber: Shen et al., 2013

Secara bertahap proses dekomposisi struktur molekul hemiselulosa akan terjadi pada temperatur 200-260°C, selulosa pada temperatur 240-350°C dan lignin pada temperatur 280-500°C (Sjostrom, 1993).

2.3.1 Selulosa

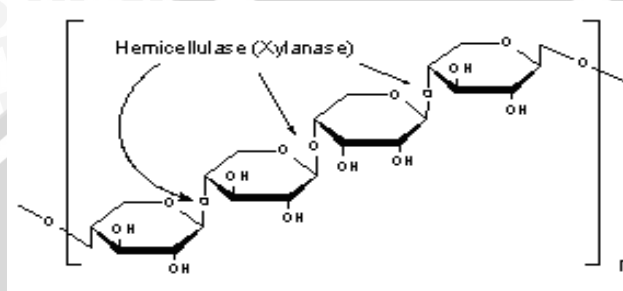
Selulosa merupakan penyusun utama dari kayu yang memiliki serat-serat panjang yang bersama hemiselulosa, pectin, dan protein membentuk struktur jaringan yang berfungsi sebagai memperkuat dinding sel tanaman. Selulosa adalah polimer berantai lurus α -(1,4)-D-glukosa (Winarno, 2002). Rumus molekul dari selulosa adalah $(C_6H_{12}O_6)_n$. Dimana n menunjukkan derajat polimerisasi dari selulosa.



Gambar 2.5 Struktur Molekul Selulosa
Sumber :Fangel et.,al, 1995

2.3.2 Hemiselulosa

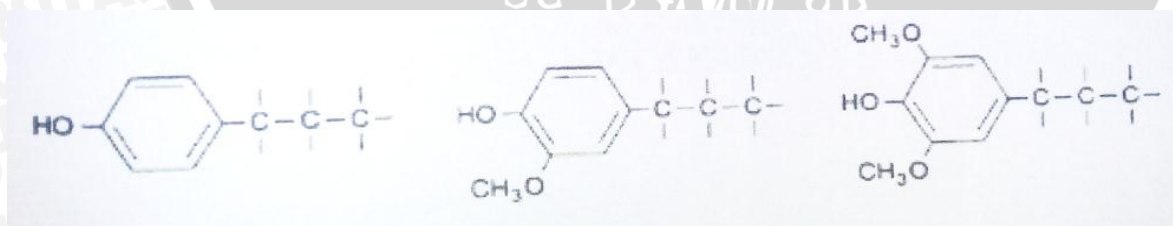
Hemiselulosa berbeda dengan selulosa yang memiliki serat-serat panjang dan suhu bakarnya tidak setinggi selulosa. Hasil hidrolisis hemiselulosa akan menghasilkan D-xilosa dan monosakarida lainnya. Unit pembentuk hemiselulosa terutama adalah D-xilosa, pentose dan heksosa lain (winarno, 2012). Rumus molekul dari hemiselulosa adalah $(C_5H_8O_4)_n$.



Gambar 2.6 Struktur Molekul Hemiselulosa
Sumber : Fangel et.,al, 1995

2.3.3 Lignin

Lignin merupakan suatu zat penyusun tumbuhan. Lignin terutama terdapat pada batang tumbuhan berbentuk pohon dan semak. Lignin berfungsi sebagai bahan pengikat komponen kayu penyusun lainnya yang mana pohon dapat berdiri dengan tegak. Lignin sangat stabil dan sukar dipisahkan. Struktur kimia pada lignin sangat kompleks dan tidak berpola sama. Gugus aromatic ditemukan pada lignin yang saling berhubungan dengan rantai alfatik, yaitu terdiri dari 2-3 karbon. Hasil pirolisis dari lignin menghasilkan senyawa kimia aromatis berupa fenol, terutama kresol.



Gambar 2.7 Struktur Molekul Lignin
Sumber : Basu, 2013

2.4 Kayu Mahoni

Salah satu jenis ketersediaan biomassa yang banyak tersedia di Indonesia adalah limbah serbuk kayu yang berasal dari industri pengolahan kayu. Potensi limbah

serbuk kayu cukup besar dan ternyata hanya 35 – 49% kayu yang dapat digunakan secara maksimal dan selebihnya berupa limbah kayu (Bahri, 2007). Serbuk kayu selama ini hanya banyak digunakan untuk bahan bakar konvensional dan sebagai media penanaman jamur. Yang menjadi permasalahan adalah dengan tidak dimanfaatkannya limbah tersebut tidak sedikit dari pengerajin kayu membuang serbuk kayu atau limbah hasil pemotongan ke aliran sungai, yang mana menyebabkan penyempitan aliran sungai yang akan mengakibatkan banjir. Bahkan tidak sedikit dari pengerajin yang membakar limbah kayu secara langsung (konvensional) sehingga dapat menimbulkan polusi udara dan juga dapat menyebabkan efek rumah kaca.

Salah satu jenis kayu yang banyak tumbuh di Indonesia adalah kayu mahoni. Berdasarkan data potensi mahoni di Jawa dan di luar Jawa mencapai 45.259.541 batang dan sebanyak 9.479.192 batang yang siap tebang, atau setara dengan 2,4 juta m³ (Sukadaryati, 2006). Jenis kayu mahoni banyak ditanam di hutan-hutan Indonesia (karlinasari, et al., 2012). Di dalam kayu mahoni terdapat penyusun-penyusun yang dapat terdekomposisi pada saat pirolisis antara lain adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin (mohan, et al., 2006).

Unsur-unsur utama yang terdapat pada kayu mahoni adalah lignin, hemiselulosa dan selulosa.

Tabel 2.1 Kandungan Unsur Kayu Mahoni

No.	Nama Unsur	Persentase
1.	Selulosa	42,86%
2.	Hemiselulosa	14,37%
3.	Lignin	23,75%
4.	Lain-lain	10,36%

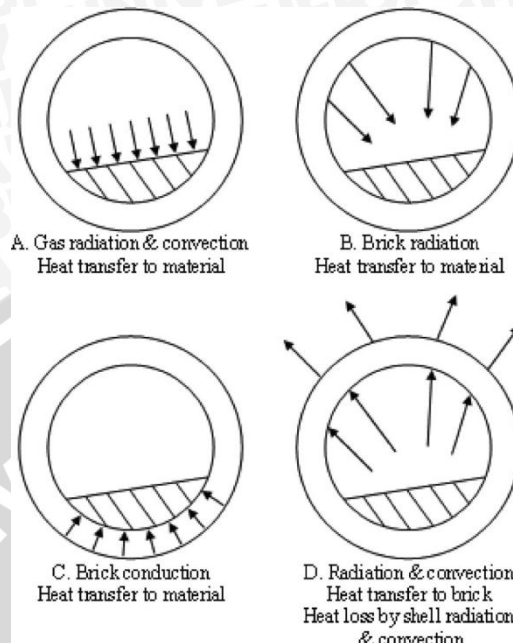
Sumber : Batubara, R. 2009

2.5 Pirolisis *Rotary Kiln*

Pirolisis *rotary kiln* adalah pengembangan dari pirolisis tungku diam (*fix bed*) yang mana tungku dapat berputar dengan kecepatan tertentu dan memiliki sudu-sudu di dalamnya. Yang bertujuan agar transfer panas dari tungku ke partikel biomassa lebih merata, sehingga yang diharapkan adalah hasil *tar* yang dihasilkan lebih banyak dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan pirolisis *fix bed*.

Pada proses pirolisis *rotary kiln* ketiga jenis perpindahan panas (radiasi, konduksi dan konveksi) terjadi di dalamnya diantara adalah perpindahan panas radiasi dan konveksi pada panas sistem ke bahan, perpindahan panas radiasi dari tungku ke bahan, perpindahan

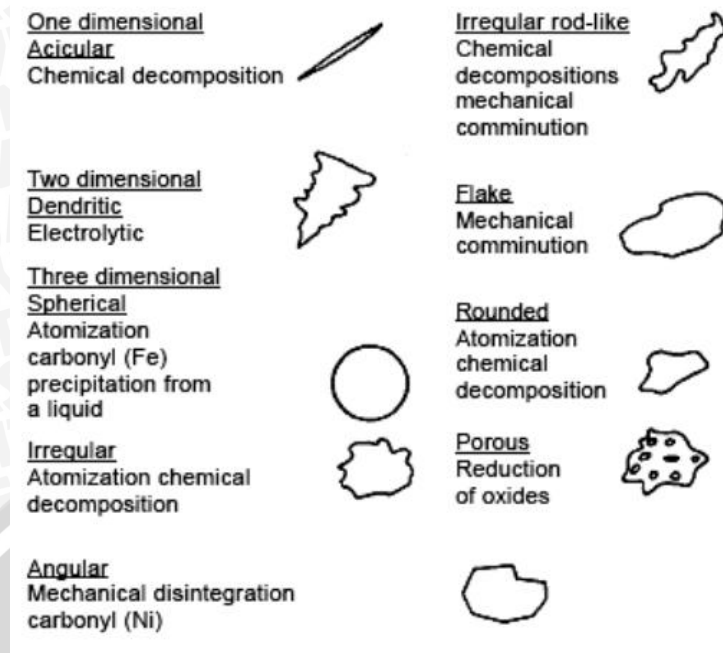
panas konduksi dari tungku ke bahan dan perpindahan panas secara radiasi dan konveksi dari sistem ke lingkungan.



Gambar 2.8 Proses Perpindahan Panas Pada *Rotary Kiln*
 Sumber : Zang, Wang (2010)

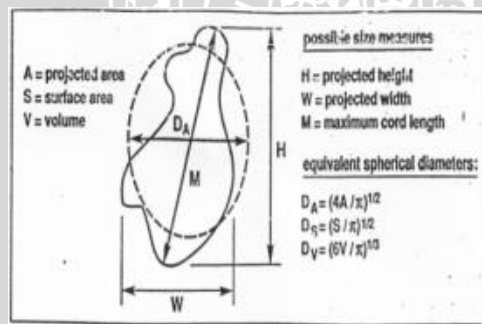
2.6 Ukuran partikel

Ukuran partikel (mikromiretik) adalah diameter rata-rata dari suatu partikel. Bentuk partikel mempengaruhi pengemasan serbuk kayu, aliran serbuk kayu dalam bentuk bulk serta kompresibilitasnya. Bentuk ini dipengaruhi oleh teknik pembuatan serbuk kayu. Gambar di bawah menunjukkan beragam bentuk partikel serbuk kayu, sesuai dengan ISO standard 3252, pada dasarnya terdiri dari bentuk *irregular*, *acicular (needle-like)*, *irregular rod – like*, *angular* dan *dendritic, flake, rounded, porous*. Bentuk partikel dapat berubah menjadi bentuk lain tergantung proses lanjutannya (Upadhyaya, 2002).



Gambar 2.9 Bentuk-bentuk Partikel Serbuk
 Sumber : Popov dkk, 2002

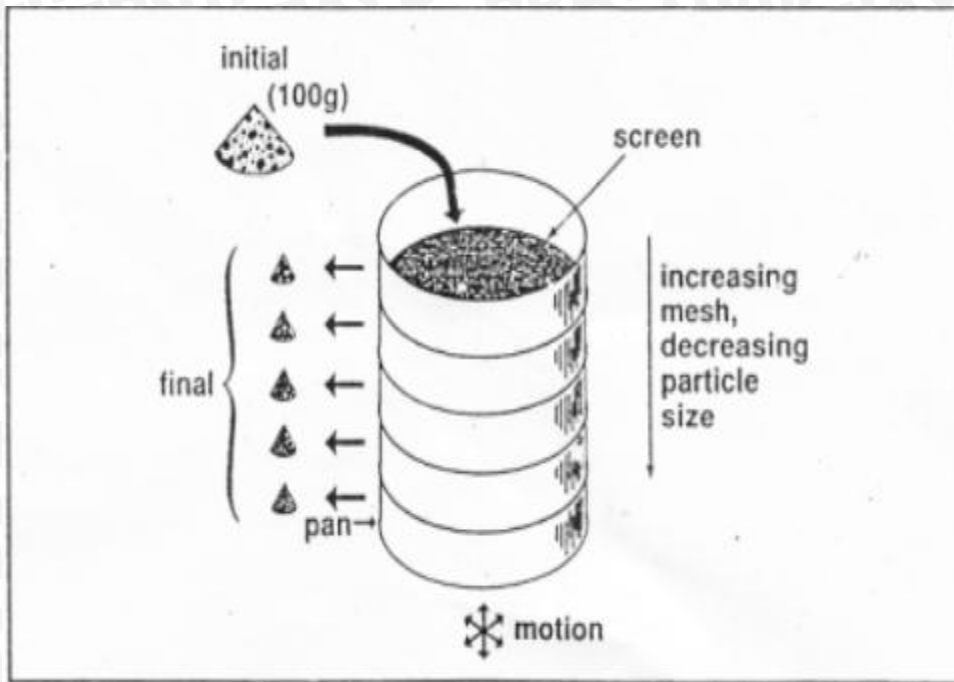
Ukuran partikel mempengaruhi salah satu karakteristik penting dalam metalurgi serbuk. Ada dua cara penentuan ukuran partikel, yaitu dengan *possible size measure* dan *equivalent sphere diameter*. *Possible size measure* dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.10 Possible Size Measure
 Sumber : German, 1994

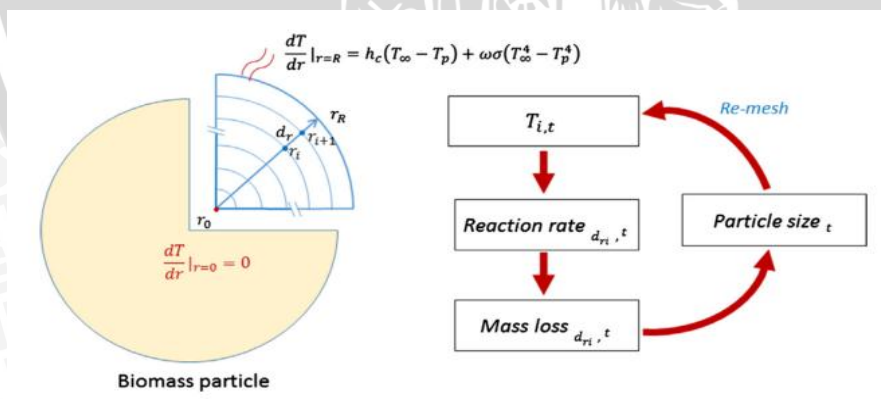
Untuk menghomogenkan biomassa digunakan peralatan uji ayakan (*sieve analysis mesh*)





Gambar 2.11 Peralatan uji ayakan
Sumber :German, 1994

Ukuran partikel mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk mendekomposisikan dari sebuah biomassa. Dimana perbandingan biomassa dengan massa yang sama yang memiliki ukuran partikel kecil-kecil dengan partikel yang besar dengan pemberian kalor yang sama (temperatur dapat mempengaruhi laju reaksi) maka massa yang hilang lebih besar biomassa yang memiliki ukuran partikel kecil.



Gambar 2.12 Pengaruh Ukuran Partikel
Sumber : Li et al, 2015

Perbedaan ukuran biomassa mempengaruhi proses dekomposisi *thermal* untuk mencapai keinti biomassa. Dimana biomassa dengan ukuran yang lebih besar memerlukan

waktu yang lebih lama dibandingkan dengan biomassa yang berukuran kecil. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut:

$$Q = h_c (T_\infty - T_p) + \omega \sigma (T_\infty^4 - T_p^4) = dT/dr \quad (\text{Li et,al, 2015})$$

$$Q = \rho C_p \delta T/\delta t \quad (\text{Cengel, 2011})$$

2.7 Char dan Tar

Tar adalah salah bahan bakar cair hasil dari proses pirolisis yang berwarna gelap, didalam tar masih terdapat kandungan air yang merupakan uap air pada kayu yang ikut menguap saat proses pirolisis dan ikut terkondensasi sehingga terjebak bersama *tar*. *Tar* biasa juga disebut dengan *bio-oil*, *pyrolysis oil*, *bio-crude oil*, *wood oil*, *liquid smoke*, dan *wood liquid*. Kuantitas tar hasil dari proses pirolisis yang baik dapat dilihat dari besarnya massa dan volume yang dihasilkan dengan bahan (biomassa) yang sedikit. Sedangkan kualitas *tar* dapat dilihat dari nilai kalor dari tar itu sendiri.

Char adalah salah satu bahan bakar padat yang dihasilkan dari proses pirolisis, *char* berwarna gelap hitam dengan komposisi utama adalah unsur karbon (C). Pada proses pirolisis diharapkan menghasilkan hasil produk *char* yang banyak dan memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibanding dengan serbuk kayu sebelum diberi perlakuan proses pirolisis.

2.8 Hipotesis

Dengan semakin kecil ukuran biomassa serbuk kayu mahoni maka produk hasil massa dan volume *tar* akan semakin meningkat. Tetapi akan terjadi penurunan terhadap produk hasil massa dan volume *char*.