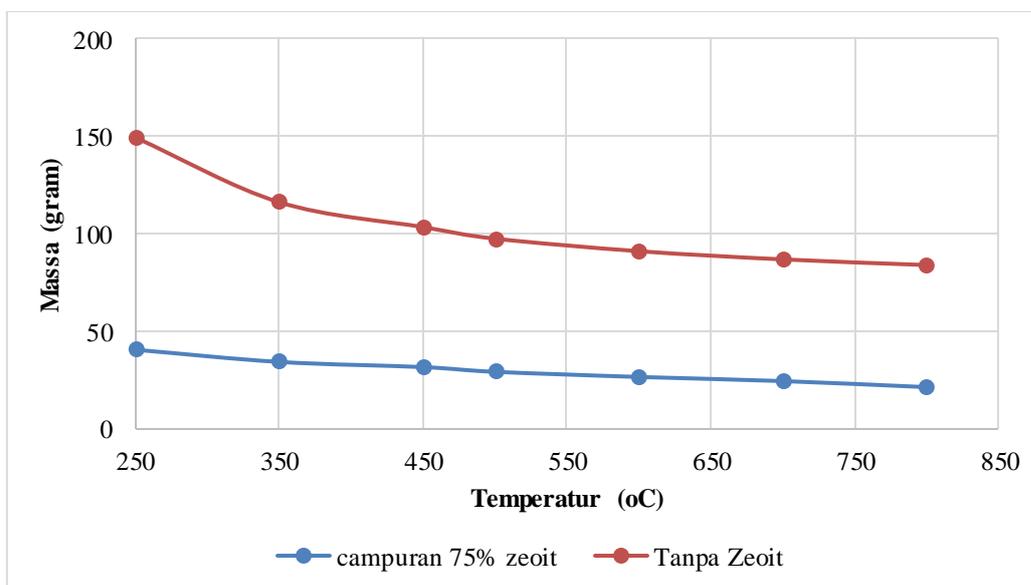


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

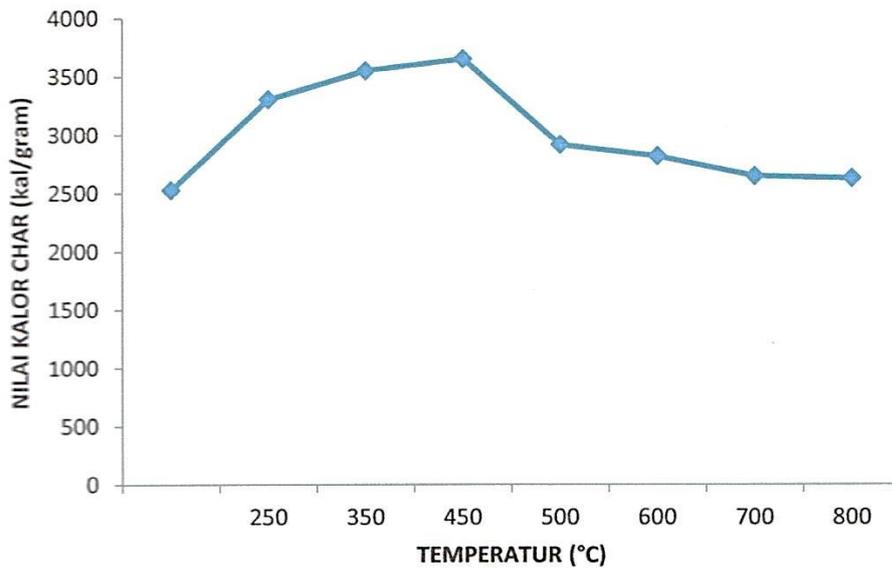
Hakim (2017) dalam penelitiannya tentang pengaruh variasi temperatur terhadap produk *char* pada pirolisis serbuk kayu mahoni dengan katalis zeolit 75%, dengan variasi temperatur pirolisis yaitu 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800 °C. Dimana didapatkan perbandingan antara massa *char* yang dihasilkan dari pirolisis tanpa zeolit dan pirolisis dengan zeolit 75%, hasilnya pirolisis tanpa zeolit menghasilkan massa *char* yang lebih besar dari pada massa *char* yang dihasilkan pada pirolisis dengan zeolit 75%. Massa *char* terbanyak pada pirolisis zeolit 75% berada pada temperatur 250°C yaitu sebanyak 40,46 gram lalu massa *char* paling sedikit pada temperatur 800°C yaitu sebanyak 21,25 gram. Sedangkan massa *char* terbanyak pada pirolisis tanpa zeolit berada pada temperatur 250°C yaitu sebanyak 141,48 gram lalu massa *char* paling sedikit berada pada temperatur 800°C yaitu sebanyak 83,95 gram, dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Grafik temperatur pirolisis terhadap massa *char*
Sumber: Hakim (2017)

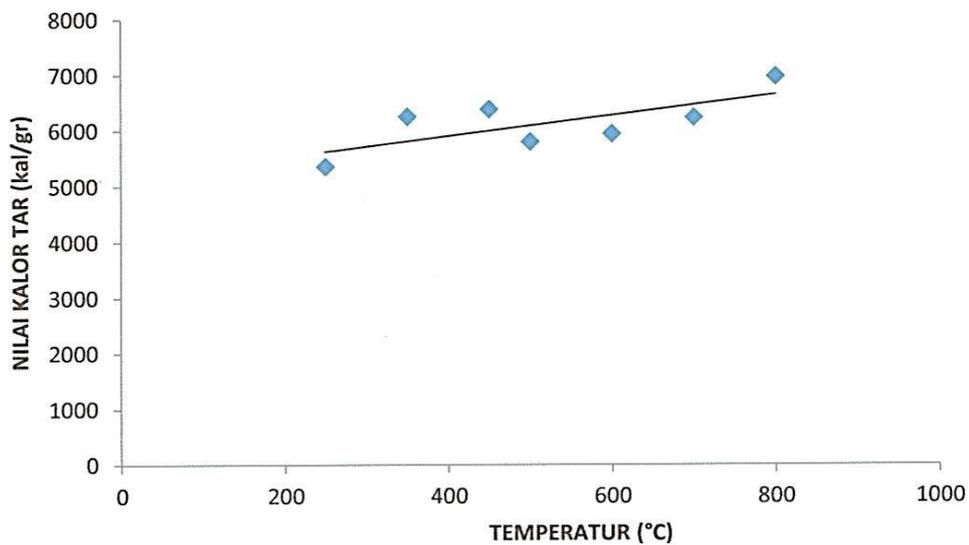
Samsoko (2014) meneliti tentang pengaruh temperatur pirolisis terhadap produk hasil pirolisis makroalga *gracilaria*. Dengan variasi temperatur pirolisis yaitu 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700 °C, dan 800 °C. Dimana didapatkan data pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai kalor *char* dan *tar*. Pada nilai kalor *char* yang didapatkan, terjadi

kenaikan dari temperatur 25°C (sebelum proses) sampai 450°C, kemudian terjadi penurunan nilai kalor sampai temperatur 800°C.



Gambar 2.2 Grafik temperatur terhadap nilai kalor *char*
Sumber: Samsoko (2014)

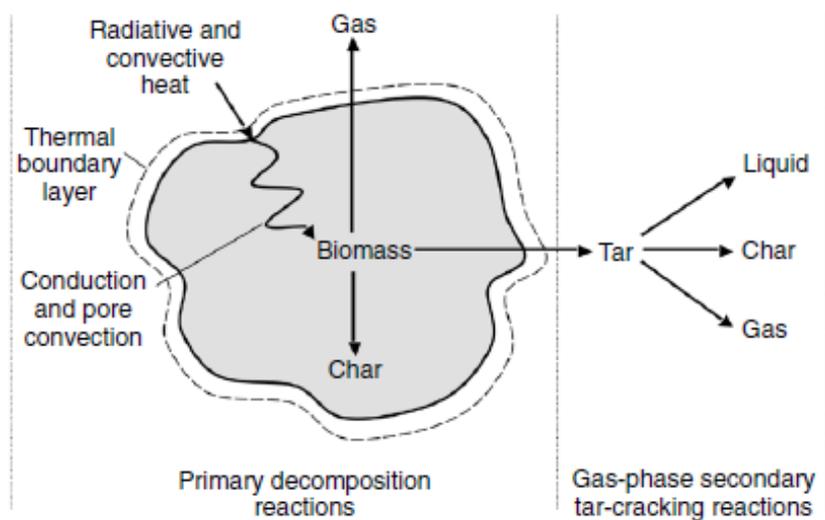
Lalu untuk nilai kalor *tar* yang didapatkan adalah semakin tinggi temperatur pirolisis maka kecenderungan nilai kalor akan semakin tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.3 Grafik temperatur terhadap nilai kalor *tar*
Sumber: Samsoko (2014)

2.2 Pirolisis

Pirolisis adalah proses dekomposisi kimia biomassa kedalam berbagai produk bermanfaat dengan proses pemanasan suhu tinggi tanpa atau dengan oksigen yang terbatas. Selama proses pirolisis, molekul hidrokarbon kompleks yang besar dari biomassa terpecah menjadi molekul gas, cair (*tar*), dan padat (*char*) yang relatif lebih kecil dan sederhana. Produk dari pirolisis berawal dari gas yang dapat dikondensasi dan padat (*char*). Lalu gas yang dapat dikondensasi dapat memecah lebih jauh ke dalam gas yang tidak dapat dikondensasi (CO , CO_2 , H_2 , dan CH_4), cair (*tar*), *char* (Basu, 2010).



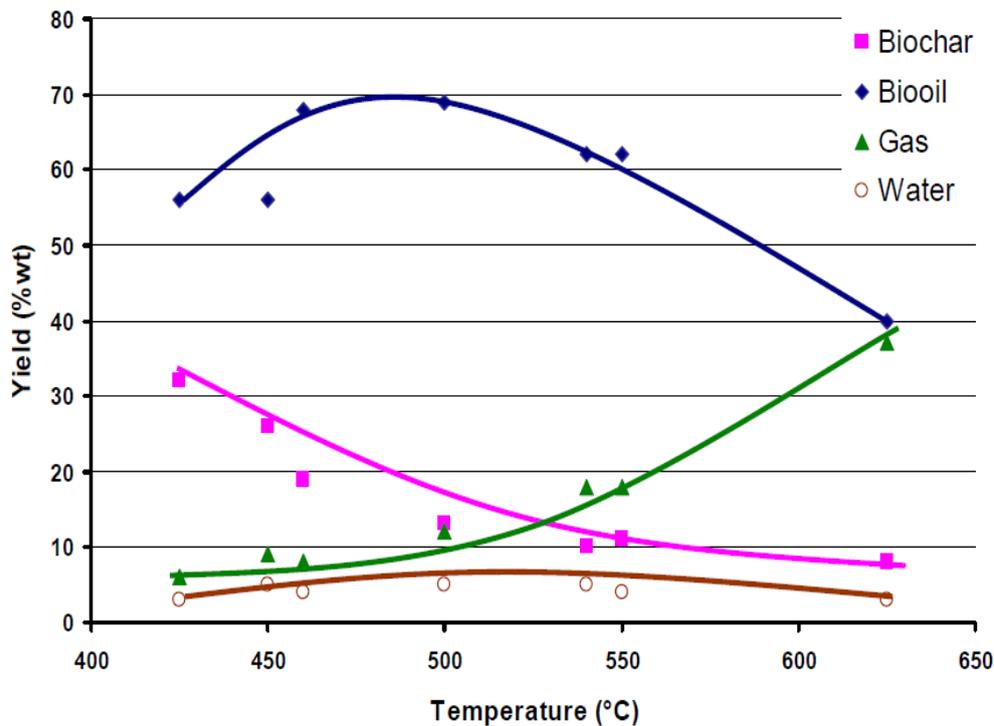
Gambar 2.4 Pirolisis pada partikel biomassa

Sumber: Basu (2010)

Pada pemanasan biomassa, biomolekul biomassa yang telah terpecah setelah terkondensasi menghasilkan bio-oil. Keadaan bebas oksigen memungkinkan proses pirolisis memanaskan biomassa ke temperatur di atas batas stabilitas thermalnya, sehingga produk yang lebih stabil dan residu padat dapat dihasilkan. Dengan membuat kondisi bebas oksigen juga memastikan bahwa pada saat pemanasan biomassa tidak terjadi proses pembakaran.

Salah satu kelebihan dari proses pirolisis ialah mampu mengoptimalkan sesuai hasil yang diinginkan, contohnya untuk untuk produksi biochar yang banyak slow pirolisis bisa digunakan, sementara untuk menghasilkan bio-oil yang tinggi proses *fast* pirolisis lah yang sesuai. Dan salah satu keuntungan utama pirolisis adalah bahan baku yang bisa bervariasi. Kualitas produk dari pirolisis lebih unggul dari proses lainnya. Produk pirolisis mengandung gas sulfur dan NO_x yang rendah sehingga membuat produk pirolisis ramah lingkungan (Tripathi, 2015).

Proporsi relatif dari produk akhir setelah proses pirolisis biomassa pada kisaran temperatur dapat dilihat pada Gambar 2.5. Namun, proses pirolisis tidak dapat dibatasi pada jalur reaksi tunggal karena struktur dan sifat komposisi biomassa yang bervariasi



Gambar 2.5 Proporsi relatif dari produk akhir pirolisis biomassa
Sumber : Jahiril et al (2012)

Pada dasarnya pirolisis dibagi menjadi dua tahap yaitu:

a. Pirolisis primer

Pada pirolisis primer biomassa akan membelah dan terdevolatilisasi dimana menjadi penyusun utama karena efek panas. Karbonil karboksil, karbonil, dan gugus hidroksil yang berbeda juga terbentuk pada tahap primer ini. Pada proses devolatilisasi melibatkan proses *dehydration, decarboxylation and dehydrogenation* pada biomassa (Tripathi, 2015).

b. Pirolisis sekunder

Proses pirolisis sekunder sesuai dengan pirolisis primer dimana terjadi *cracking* pada senyawa berat yang mengubah biomassa menjadi CH_2 , CH_4CO dan CO_2 . Selain itu terdapat beberapa molekul yang kembali terkondensasi yang menjadi fase cair atau disebut dengan bio-oil. Terkadang *cracking* ini adalah *thermal cracking* dan terkadang *catalytic cracking* tergantung pada kondisi pirolisis.

Berikut reaksi yang dapat diwakili sebagai berikut:



Bagian pertama dari sisi produk mewakili hasil gas dengan berbagai jenis gas yang dihasilkan selama proses berlangsung. Bagian kedua sisi produk mewakili dari campuran berbagai jenis produk cair dan sisi yang terakhir adalah hasil padat (Tripathi, 2015).

2.3 Jenis Pirolisis

Distribusi produk akhir relatif bergantung pada jenis pirolisis yang digunakan. Berdasarkan pada laju pemanasan pirolisis dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu konvensional, fast, dan flash pirolisis.

Tabel 2.1

Parameter jenis pirolisis

Pyrolysis Process	Solid Residence Time (s)	Heating Rate (K/s)	Particle Size (mm)	Temp. (K)	Product Yield (%)		
					Oil	Char	Tar
Slow	450-550	0.1-1	5-50	550-950	30	35	35
Fast	0.5-10	10-200	<1	850-1250	50	20	30
Flash	<0.5	>1000	<0.2	1050-1300	75	12	13

Sumber: Jahirul et al (2012)

2.3.1 Pirolisis konvensional

Pirolisis konvensional (lambat) telah diterapkan selama ribuan tahun dan terutama digunakan untuk produksi arang. Dalam pirolisis kayu lambat, biomassa dipanaskan hingga ~500 °C. Waktu tinggal uap bervariasi dari 5 menit sampai 30 menit. Uap tidak lolos secepat yang terjadi pada pirolisis cepat. Dengan demikian, komponen dalam komponen dalam fase uap terus bereaksi satu sama lain, seperti padatan dan cairan apapun yang terbentuk. Tingkat pemanasan dalam pirolisis konvensional biasanya jauh lebih lambat dari pada proses pirolisis cepat. Bahan baku dapat ditahan pada suhu konstan atau dipanaskan perlahan. Uap dapat terus menerus dikeluarkan saat proses berlangsung (Mohan, 2006).

2.3.2 Fast pyrolysis

Pada fast pyrolysis, biomassa terurai sangat cepat untuk menghasilkan sebagian besar uap dan aerosol dan beberapa arang dan gas. Setelah pendinginan dan kondensasi, terbentuk cairan homogen yang berwarna coklat gelap yang memiliki nilai pemanasan sekitar separuh dari bahan bakar minyak konvensional (Bridgwater, 2011).

Beberapa hal penting pada proses pirolisis cepat untuk memproduksi cairan adalah:

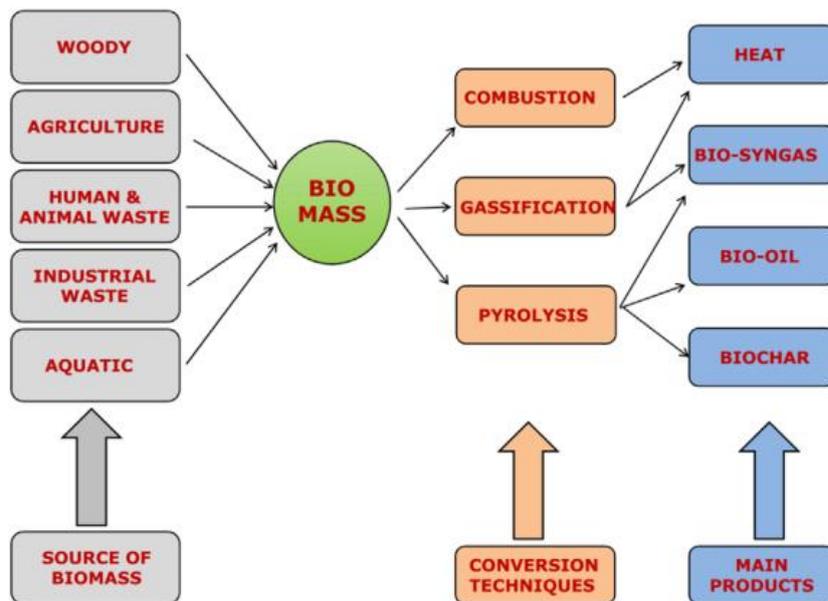
- Tingkat pemanasan dan perpindahan panas yang sangat tinggi. Untuk biomassa biasanya berukuran kurang dari 1 mm, biomassa umumnya memiliki konduktivitas termal yang rendah.
- Temperature reaksi pirolisis yang dikontrol berkisar 500° C untuk dapat memaksimalkan hasil cairan sebagian besar biomassa.
- *Resistences times* biasanya kurang dari 2 s untuk meminimalkan reaksi sekunder.
- Pendinginan yang cepat pada uap pirolisis untuk menghasilkan produk bio-oil.

2.3.3 Flash pyrolysis

Flash pyrolysis adalah proses pirolisis untuk produksi bahan bakar padat, cair, dan gas dari biomassa yang dapat mencapai hingga 75% hasil bio-oil. Proses ini bisa jadi ditandai dengan laju pemanasan tinggi, temperatur reaksi antara 450°C dan 1000°C, waktu tinggal gas yang sangat singkat (>1s). Namun proses ini memiliki beberapa keterbatasan teknologi misalnya: stabilitas thermal yang buruk dan korosif minyak, terdapat padatan dalam minyak (Jahirul et al, 2012).

2.4 Produk Hasil Pirolisis

Terdapat tiga produk utama yang dihasilkan pada pirolisis biomassa yaitu *tar* (bio-oil), gas, dan bio-*char*.



Gambar 2.6 Konversi biomassa dari berbagai sumber dan produknya
Sumber: Tripathi (2015)

2.4.1 Tar

Tar atau biasa dikenal juga sebagai bio-oil merupakan sebuah istilah yang diberikan pada cairan coklat gelap yang diperoleh dari pirolisis biomassa. Cairan ini bukan produk kesetimbangan termodinamika namun cairan ini diproduksi dengan kondensasi atau pendinginan cepat pada produk gas yang dihasilkan proses pirolisis. Kandungan dari cairan ini terdiri dari beberapa fragmen selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Bahan baku yang lembab dapat menghasilkan dua fase yang berbeda (fasa berair dan fasa organik) dimana fasa organik dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar atau bahan kimia, sedangkan pada fasa berair yang terdiri dari beberapa senyawa yang dapat larut dalam air seperti asam asetat, hidrosil aseton dan fenol tidak dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar (Dhyani, 2017).

2.4.2 Char

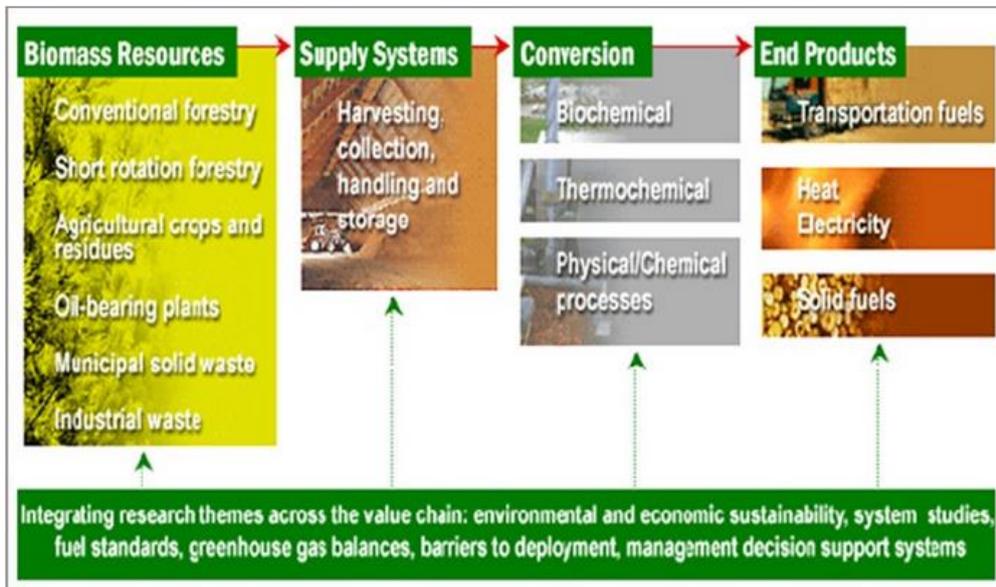
Char, *biochar*, atau arang adalah residu kaya karbon padat yang tersisa setelah pirolisis biomassa. *Char* sendiri dapat digunakan sebagai bahan bakar namun bermutu rendah, dan juga dapat digunakan sebagai aditif tanah yang mampu membuat lahan subur bersamaan dengan penyerapan karbon secara simultan (Dhyani, 2017).

2.4.3 Gas

Dalam hal ini produk gas yang dihasilkan ialah gas yang tidak dapat dikondensasi dari reaksi pirolisis terutama gas seperti CO, CO₂, CH₄ dan beberapa hidrokarbon non-metana. Komposisi kimia dari produk gas tergantung dari komposisi kimia komponen biomassa. Hemiselulosa, dengan kandungan karboksil yang lebih tinggi dapat menghasilkan CO₂ yang lebih tinggi. Selulosa menghasilkan CO yang lebih tinggi, terutama disebabkan oleh retak termal karbonil dan karboksil. Dengan kehadiran cincin aromatic dan kelompok fungsional metoksil yang lebih tinggi, pirolisis lignin dapat melepaskan lebih banyak H₂ dan CH₄ (Dhyani, 2017).

2.5 Biomassa

Biomassa, matahari (sel surya), angin (turbin angin), air (pembangkit tenaga air, energi pasang surut), dan geothermal merupakan energi terbarukan, namun biomassa adalah satu-satunya sumber energi terbarukan dari karbon yang digunakan untuk produksi zat kimia, material dan bahan bakar (Wild, 2011).



Gambar 2.7 Konsep sistem aliran biomassa menjadi produk akhir energi
Sumber: Nur (2014)

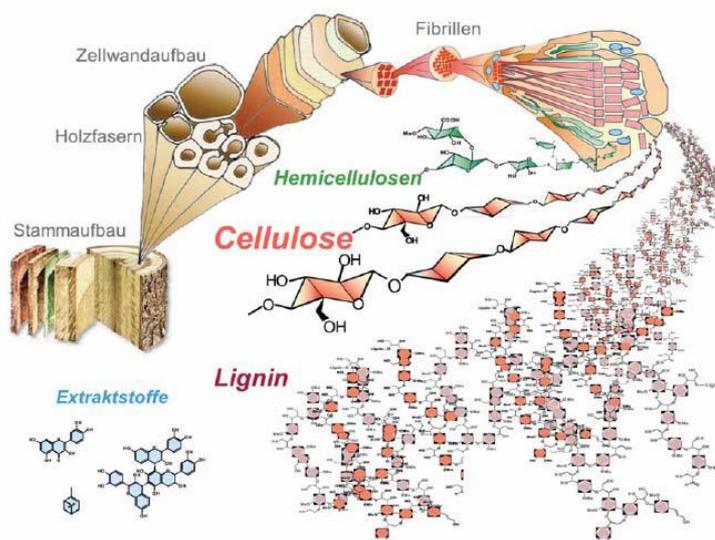
Biomassa merupakan suatu bahan yang dapat diperoleh dari tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung dan dimanfaatkan sebagai atau bahan dalam jumlah yang besar. Biomassa disebut juga sebagai “fitomassa” dan seringkali diterjemahkan sebagai bioresource atau sumber daya yang diperoleh dari hayati. Basis sumber daya meliputi ratusan dan ribuan spesies tanaman, daratan dan lautan, berbagai sumber pertanian, perhutanan, dan limbah residu dan proses industri, limbah dan kotoran hewan. Tanaman energi yang membuat perkebunan skala besar akan menjadi salah satu biomassa yang menjanjikan, walaupun belum dikomersialkan pada saat ini.

Dari bahan-bahan organik inilah sumber karbon dan energi besar yang dapat dimanfaatkan untuk kehidupan manusia. Dimana komponen-komponen karbon dan energi yang terkandung di dalam biomassa dalam jumlah besar adalah minyak, protein, gula, pati dan lignoselulosa sebagai komponen terbesar. Dalam mempelajari lignoselulosa biasanya digunakan sel kayu dan secara umum terdapat dua jenis kayu, yaitu jenis kayu lunak (*softwood*) dan kayu keras (*hardwood*).

2.6 Struktur dan Komposisi Lignoselulosa

Bagian utama dari biomassa adalah lignoselulosa. Biomassa lignoselulosa adalah material komposit dimana selulosa adalah yang utama ~ 50%, hemiselulosa ~ 25% dan lignin ~ 25%. Selulosa, hemiselulosa, dan lignin dapat ditemukan secara universal dalam berbagai jenis biomassa dan merupakan sumber daya karbon alami yang paling berlimpah

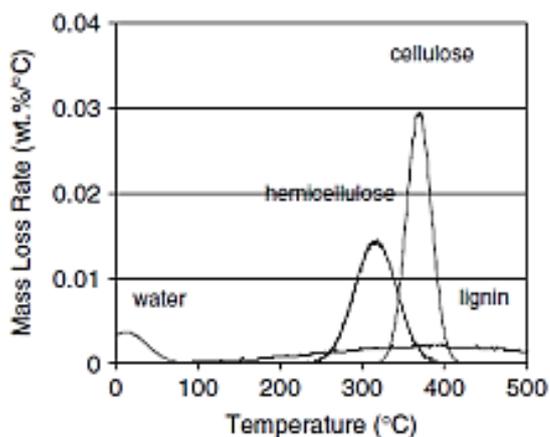
di bumi. Dekomposisi dari ketiga material ini yang sebagian besar berperan dalam pembentukan produk hasil pirolisis. Struktur lignocellulostic biomassa digambarkan seperti dibawah ini:



Gambar 2.8 Lignuselusolik biomassa

Sumber: Wild (2011)

Setiap komponen pada struktur lignoselulosa memiliki temperatur yang berbeda-beda untuk terdekomposisi seperti pada Gambar 2.9



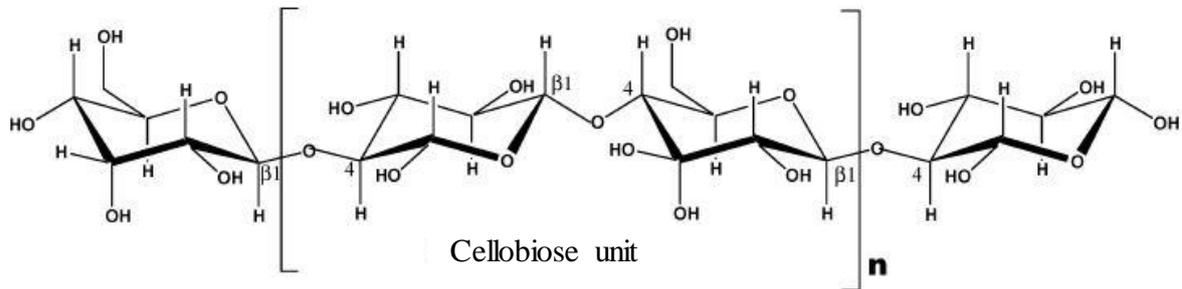
Gambar 2.9 Laju dekomposisi struktur lignoselulosa

Sumber: Jahiril et al (2012)

2.6.1 Selulosa

Polisakarida yang tersusun dari D-glukosa yang terhubung secara seragam oleh ikatan β -glukosa. Rumus molekulnya adalah $(C_6H_{12}O_6)_n$. Derajat polimerasinya, ditunjukkan oleh n , dengan nilai kisaran yang lebar mulai dari berapa ribu hingga puluhan ribu. Hidrolisis total selulosa menghasilkan D-glukosa (sebuah monosakarida), akan tetapi hidrolisis

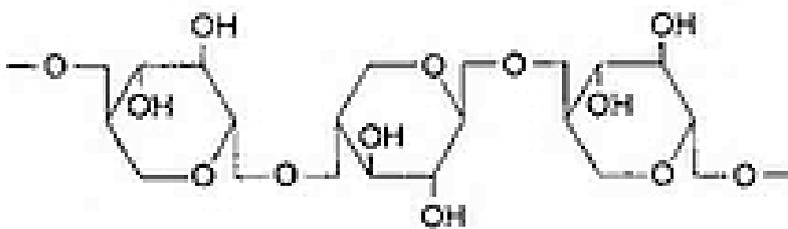
parsial menghasilkan disakarida (selobiosa) dan polisakarida yang memiliki n berurutan dari 3 ke 10. Selulosa memiliki struktur kristal dan memiliki resistensi yang tinggi terhadap asam dan basa (Yokoyama, 2008).



Gambar 2.10 Struktur molekul selulosa
Sumber: Mohan et al (2006)

2.6.2 Hemiselulosa

Polisakarida dimana unit-unitnya adalah terdiri atas monosakarida dengan 5 karbon seperti D-xilosa, D-arabinosa dan monosakarida karbon-6 seperti D-manosa, D-galaktosa dan D-glukosa. Jumlah monosakarida karbon-5 lebih banyak dibandingkan monosakarida karbon-6 dan rumus molekul rata-ratanya $(C_5H_8O_4)_n$. Karena derajat polimerisasi (n) hemiselulosa adalah antara 50 sampai 200, yaitu lebih kecil dari selulosa, maka ia lebih mudah terurai dibandingkan selulosa, dan kebanyakan hemiselulosa dapat larut dalam larutan alkali. Hemiselulosa yang umum adalah xilan, yang terdiri atas xilosa dengan ikatan 1,4. Hemiselulosa yang lain adalah glukoman, tetapi semua hemiselulosa beragam tergantung pada jenis pohon dan juga bagian tumbuhan itu sendiri (Yokoyama, 2008).

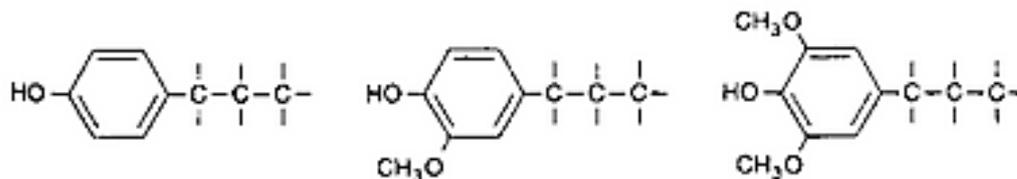


Gambar 2.11 Struktur molekul hemiselulosa
Sumber: Basu (2010)

2.6.3 Lignin

Merupakan senyawa dimana unit komponennya, fenilpropana dan turunannya, terikat secara 3 dimensi. Struktur 3 dimensi yang kompleks ini menyebabkan ia sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme dan bahan-bahan kimia. Berdasarkan pengamatan ini,

maka dapat disimpulkan bahwa lignin memberikan kekuatan mekanis dan juga perlindungan untuk tumbuhan itu sendiri (Yokoyama,2008).



Gambar 2.12 Beberapa unit struktural lignin
Sumber: Basu (2010)

2.7 Tembakau

Tembakau adalah tanaman musiman yang tergolong dalam tanaman perkebunan. Pemanfaatan tanaman tembakau terutama pada daunnya yaitu untuk pembuatan rokok. Tanaman tembakau diklasifikasikan dalam kelas Dicotyledonaea, Ordo Personatae, famili *Solanaceae*, sub family *Nicotianae*, genus *Nicotianae*, spesies *Nicotiana tabacum L* (Hanum, 2008).



Gambar 2.13 Tanaman tembakau
Sumber: Balittas (2018)

Penanaman dan penggunaan tembakau di Indonesia sudah dikenal sejak lama. Komoditi tembakau mempunyai arti penting. Hampir seluruh (96%) produksi tembakau Indonesia berasal dari tiga provinsi. Produksi tembakau terbanyak adalah provinsi Jawa Timur (56%) kemudian Jawa Tengah (23%) dan NTB (17%) dan sisanya di Yogyakarta, Sumatera Utara, Jawa Barat, dan Bali. (Indriana, 2016).

Tanaman tembakau memiliki batang yang berbentuk bulat, agak lunak tetapi kuat. Ruas-ruas batang mengalami penebalan yang ditumbuhi daun. Diameter batang tembakau

sekitar 5 cm. Berikut kandungan kimia yang terkandung pada batang tembakau: selulosa 42,4%, hemiselulosa 28,2%, dan lignin 27% (Dhyani, 2017).

2.8 Bahan bakar

Bahan bakar adalah setiap material yang dapat dibakar untuk melepaskan energi panas. Bahan bakar pada umumnya terdiri dari hidrogen (H) dan karbon (C) oleh karena itu biasa disebut bahan bakar hidrokarbon dan dilambangkan dengan rumus C_xH_y . Bahan bakar hidrokarbon ada disemua fase contohnya adalah batu bara, bensin, dan gas alam (Cengel, 1989).

Bahan bakar dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu bahan bakar primer dan sekunder. Bahan bakar primer merupakan bahan bakar yang dapat digunakan secara langsung seperti gas alam dan kayu bakar. Sedangkan bahan bakar sekunder adalah bahan bakar yang perlu pengolahan terlebih dahulu untuk dapat digunakan contohnya seperti bensin, minyak tanah dan lain-lain.

2.8.1 Bahan bakar cair

Bahan bakar cair merupakan bahan bakar yang berada pada fase cair. Meskipun bahan bakar cair merupakan campuran dari banyak hidrokarbon yang berbeda, namun biasa dianggap sebagai hidrokarbon tunggal. Contohnya, bensin disebut sebagai *octane*, C_8H_{18} , dan solar sebagai *dodecane* $C_{12}H_{26}$. Lalu bahan bakar cair hidrokarbon lainnya adalah metil alcohol CH_3OH , yang juga disebut methanol dan digunakan sebagai campuran bensin.

Diperlukan mengetahui sifat fisik dari bahan bakar cair sebagai pembanding produk *tar* hasil pirolisis. Berikut merupakan sifat fisik dari gasoline dan diesel:

Tabel 2.2

Sifat fisik dari bahan bakar minyak

Sifat Fisik	Nilai Standar Komersial (ASTM 1979)	
	Gasoline	Diesel
Nilai Kalor (MJ/kg)	42,5	43,0
Viskositas (mm^2/s)	1,17	1,9-4,1
Densitas @ 15°C (g/cm^3)	0,780	0,807
FlashPoint (°C)	-42	52

Sumber: Sharuddin et al (2016)

2.8.2 Bahan bakar padat

Dari namanya kita tahu bahwa materi dari bahan bakar ini adalah padat. Bahan bakar padat juga banyak digunakan contohnya kayu yang bisa digunakan untuk memanaskan air

lalu batubara juga banyak digunakan pada sektor industri. Unsur utama batubara adalah karbon. Batu bara juga mengandung berbagai unsur seperti oksigen, hidrogen, nitrogen, sulfur, kelembapan dan abu (Cengel, 1989).

Dibutuhkan sifat fisik dari bahan bakar padat sebagai pembanding produk *char* hasil pirolisis. Berikut sifat fisik berbagai jenis batubara:

Tabel 2.3
Nilai kalor dan Komposisi pada Batubara

Class	Group		Fixed carbon	Volatile matter	Heating values
	Name	Symbol	Dry %	Dry %	Dry basis (Kcal/kg)
I. Anthracite	Meta-anthracite	ma	>98	>2	7740
	Anthracite	an	92 – 98	2.0 – 8.0	8000
	Semianthracite	sa	86 – 92	8.0 – 15	8300
II. Bituminous	Low-volatile	lvb	78 – 86	14 – 22	8741
	Medium volatile	mvb	89 – 78	22- 31	8640
	High- volatile A	hvAb	<69	>31	8160
	High- volatile B	hvBb	57	57	6750 – 8160
	High- volatile C	hvCb	54	54	7410 – 8375
					6765 – 7410
III. Subbituminous	Subbituminous A	subA	55	55	6880 – 7540
	Subbituminous B	SubB	56	56	6540 – 7230
	Subbituminous C	subC	53	53	5990 – 6860
IV. Lignite	Lignite A	ligA	52	52	4830 – 6360
	Lignite B	ligC	52	52	<5250

Sumber : Billah, 2010

2.9 Sifat-Sifat Fisik Bahan Bakar

Secara umum beberapa sifat fisik yang perlu diketahui dari bahan bakar minyak antara lain nilai kalor (*heating value*), titik nyala (*flash point*), massa jenis (*density*), viskositas (*viscosity*).

2.9.1 Nilai Kalor (*heating value*)

Nilai kalor adalah sifat yang menyatakan jumlah energi panas/kalor yang dihasilkan melalui proses pembakaran dalam jumlah tertentu bahan bakar dengan udara/oksigen. Nilai kalor berbanding terbalik dengan berat jenis, pada volume yang sama semakin tinggi berat jenis bahan bakar minyak maka nilai kalor akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya semakin rendah berat jenisnya maka nilai kalornya meningkat. Pengukuran nilai kalor dapat diukur menggunakan *bomb calorimeter*. Yang terdiri dari container stainless steel

yang dikelilingi bak air dengan tujuan membuat temperatur akhir produk berada sedikit diatas temperatur awal yaitu 25°C. Satuan dari nilai kalor dinyatakan dalam kalori per gram (kal/gram)

2.9.2 Titik nyala (*heating value*)

Flash point atau titik nyala adalah temperatur terendah pada uap diatas permukaan bahan bakar minyak yang akan terbakar dengan cepat, bila nyala api didekatkan padanya. Titik nyala sangat berpengaruh pada proses pembakaran bila titik nyala atau flash point terlalu tinggi maka penyalan atau pembakaran yang terjadi akan terlambat, sementara bila titik nyala atau flash point terlalu rendah maka dapat terjadi detonasi atau ledakan-ledakan kecil yang terjadi sebelum saatnya. Dan juga titik nyala berpengaruh pada faktor *safety* yaitu apabila titik nyala terlalu rendah berarti sangat mudah menguap sehingga akan mudah terbakar maka dengan itu cara penyimpanan suatu bahan bakar haruslah tepat.

2.9.3 Massa jenis (*density*)

Massa jenis atau kerapatan massa didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah massa suatu material dengan volume material tersebut. Dengan jumlah volume yang sama untuk material yang berbeda bisa memiliki massa yang berbeda, artinya massa jenis juga menunjukkan kerapatan molekul dalam suatu volume yang sama. Semakin besar massa materialnya dan semakin kecil volume dari material tersebut artinya massa jenisnya makin besar. Massa jenis digunakan sebagai perhitungan kuantitatif dan pengkajian kualitas penyalan. Hal ini berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dapat dihasilkan oleh bahan bakar tersebut per satuan volume bahan bakar. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung massa jenis:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2-1)$$

dimana, ρ = massa jenis

m = massa (kg)

v = volume (m^3)

2.9.4 Viskositas (*viscosity*)

Viskositas merupakan ukuran yang menyatakan besar tahanan/perlawanan dari suatu bahan cair untuk dapat mengalir. Jadi semakin tinggi nilai viskositas minyak akan semakin kental maka tahanan untuk dapat mengalir akan semakin tinggi. Sebaliknya makin rendah

nilai viskositas minyak akan semakin encer yang menyebabkan lebih mudah minyak tersebut dapat mengalir. Viskositas juga dipengaruhi oleh temperatur dan dapat berkurang dengan meningkatnya temperature.

Viskositas menjadi sifat yang begitu penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak, hal ini dikarenakan viskositas akan mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk handling, penyimpanan dan atomisasi yang diinginkan. Viskositas yang tinggi akan menyulitkan kinerja injektor karena sulit dialirkan. Atomisasi yang buruk menyebabkan terjadinya endapan karbon pada ujung burner atau pada dinding-dinding silinder.

Selain itu viskositas menunjukkan sifat pelumasan pada bahan bakar. Bahan bakar yang memiliki viskositas yang tinggi memiliki sifat pelumasan yang baik tentunya ini baik agar terjadi pelumasan antara piston dan dinding silinder agar tidak terjadi keausan akibat gesekan yang terjadi terus menerus. Namun tetap ada batasnya dikarenakan putaran mesin yang begitu cepat membutuhkan aliran bahan bakar yang cepat pula, sehingga diperlukan bahan bakar dengan viskositas yang tepat.

2.9.5 Kadar air

Kadar air adalah jumlah air yang terkandung di dalam suatu zat (biomassa pada penelitian ini) dan dinyatakan dalam persentase (%). Kadar air, hal ini dapat ditetapkan oleh mengambil contoh dari biomassa, memanaskan biomassa tersebut di dalam pemanas agar seluruh air dapat menguap, dan menimbanginya kembali. Perbedaan dari berat akan memberikan hasil berat air yang menguap. Dari perbedaan ini, prosentase dari air dapat dihitung.

Pada pengujian kadar air akan dicari nilai dari berat awal dan berat akhir biomassa. Berat awal didapat dari berat biomassa. Berat akhir didapat dari berat biomassa yang dihilangkan air bebasnya melalui proses pengeringan. Untuk menghilangkan air dapat dilakukan dengan cara pengujian kadar air dari biomassa. Timbang biomassa 150 gram dan keringkan dalam oven pada 100 °C selama dua jam. Biomassa yang telah dikeringkan itu didinginkan ke temperature kamar dalam sebuah desikator dan kemudian ukur lagi beratnya. Nyatakan perbedaan antara berat mula dan berat akhir pada temperatur kamar dan nyatakan perbandingan antara harga tersebut dengan berat mula dalam prosentase. Harga ini berarti harga kadar air bebas.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{Berat awal tembakau} - \text{Berat akhir tembakau}}{\text{Berat awal tembakau}} \times 100\% \dots\dots\dots(2-2)$$

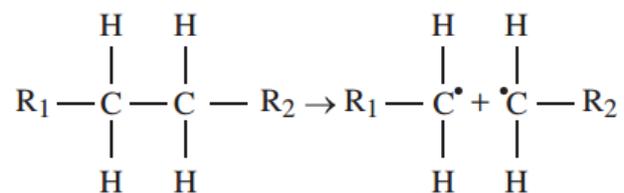
Keterangan:

- Kadar air (%) : jumlah air yang terkandung di dalam biomassa yang dinyatakan dalam persentase
- Berat awal : berat biomassa yang ditimbang sebelum dikeringkan dengan *moisture analyzer* (gram)
- Berat akhir : berat biomassa yang ditimbang setelah dikeringkan dengan *moisture analyzer* (gram)

2.10 Pengaruh variasi temperatur pada pirolisis

Temperatur pirolisis secara signifikan akan mempengaruhi distribusi dan sifat produknya. Pada umumnya, puncak produk bio-oil berada pada temperatur antara 400 °C - 550°C lalu kemudian menurun setelah dilanjutkan dengan pemanasan. Ketika temperatur lebih dari 600 °C, produk bio-oil dan *char* diubah menjadi gas karena reaksi *secondary cracking* yang dominan. Begitu juga pada produk *char* yang menurun dengan meningkatannya temperatur. Hal ini dikarenakan peningkatan temperatur memungkinkan terjadinya *thermal cracking* pada senyawa hidrokarbon berat. (Kan, 2016)

Menurut (Scheirs, 2006) dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka fraksi minyak ringan yang dihasilkan akan meningkat sementara fraksi minyak berat mengalami penurunan yang disebabkan oleh proses *thermal cracking*. *Thermal cracking* merupakan fungsi dari temperatur. Reaksi utama yang terjadi pada *thermal cracking* adalah pembentukan radikal bebas akibat pemisahan ikatan karbon. Radikal bebas adalah molekul tak bermuatan dengan electron yang tidak berpasangan. Dengan begitu akan menghasilkan dua buah senyawa yang berbagi sepasang elektron (Sadeghbeigi, 2012).



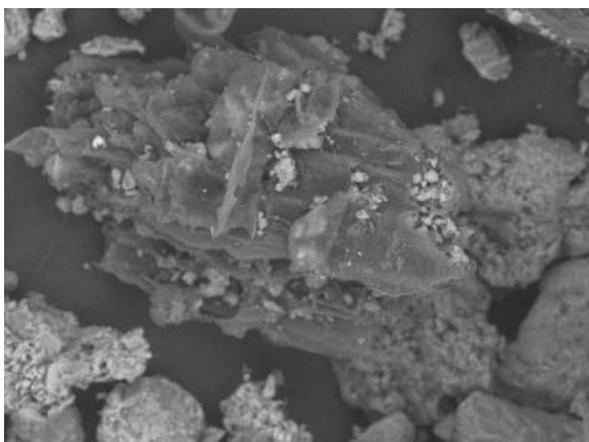
Gambar 2.14 Pembentukan radikal bebas akibat thermal cracking
Sumber: Sadeghbeigi (2012)

2.11 Pengujian SEM-EDX

Scanning Electron Microscope (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi senyawa padatan dan komposisi unsur yang terdapat dalam suatu senyawa. *Scanning Electron Microscope*

(SEM) adalah tipe mikroskop elektron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses *scan* dengan memancarkan energy yang tinggi dari elektron dalam suatu pola *scan raster*. Elektron akan berinteraksi dengan atom-atom yang membuat sampel menghasilkan sinyal yang memberi informasi mengenai permukaan topografi sampel, komposisi dan sifat-sifat lainnya seperti konduktivitas listrik.

SEM menghasilkan beberapa tipe sinyal yang meliputi elektron sekunder, sinar-X karakteristik dan cahaya (katodaluminisens). Sinyal tersebut datang dari hamburan elektron dari permukaan unsur dan berinteraksi dengan sampel. SEM menghasilkan gambar dengan resolusi yang sangat tinggi pada permukaan sampel, juga menampakakkan secara lengkap dengan ukuran sekitar 1-5 nm. Agar dapat menghasilkan gambar yang sesuai keinginan, maka SEM mempunyai lebar focus yang sangat besar (biasanya 25-250.000 kali pembesaran). Untuk membantu memahami struktur permukaan dari suatu sampel SEM dapat menghasilkan karakteristik bentuk 3-dimensi. Karakteristik sinar-X adalah bentuk gambar kedua yang paling sering digunakan dalam SEM, dan biasa digunakan untuk mengidentifikasi komposisi unsur dalam sampel.



Gambar 2.15 Contoh foto hasil SEM
Sumber: Hakim (2017)

Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) dapat mendeteksi energi spesifik sinar-X yang dipancarkan oleh setiap atom dalam senyawa. EDX adalah suatu teknik analitik yang digunakan untuk menganalisis unsur-unsur kandungan unsur kimia dari suatu sampel. EDX dapat menganalisis sampel dengan cara interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan unsur-unsur, menganalisis emisi sinar-X oleh unsur dalam partikel.

Agar emisi karakteristik sinar-X dari suatu sampel dapat terjadi, sebuah energi yang tinggi dari partikel yang bermuatan seperti elektron atau proton, atau pancaran sinar-X,

difokuskan pada sampel untuk dikarakterisasi. Sisanya, suatu atom dengan sampel yang mengandung elektron pada keadaan dasar (tidak tereksitasi) berada pada tingkat yang dikit atau kulit elektron bergerak ke inti. Pancaran yang terjadi mungkin mengeksitasi sebuah elektron di dalam kulit yang terdalam. Sebuah elektron dari kulit terluar, tingkat energi yang lebih tinggi kemudian mengisi kekosongan itu dan adanya perbedaan energi antara tingkat energi tertinggi dengan tingkat energi terendah dibentuk dalam bentuk sinar-X. Sinar-X yang terbentuk oleh elektron kemudian dideteksi dan dianalisis dengan EDX.

2.14 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka diatas maka, dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka produk *tar* yang dihasilkan akan semakin meningkat sampai temperatur optimum lalu menurun. Hal tersebut disebabkan dengan meningkatnya temperatur biomassa yang terdekomposisi semakin banyak, karena produk *tar* hasil pirolisis meningkat maka produk *char* yang dihasilkan akan terus menurun. Semakin meningkatnya temperatur pirolisis maka tar yang terbentuk semakin menuju fraksi yang lebih ringan dengan rantai karbon yang semakin pendek yang disebabkan oleh *thermal cracking* sehingga massa jenis, viskositas dan *flashpoint* akan semakin menurun seiring meningkatnya temperatur sedangkan nilai kalor meningkat. Untuk char yang dihasilkan dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka massa jenis char akan terus menurun yang disebabkan semakin banyak rongga yang terbentuk dan untuk nilai kalor pada char akan meningkat dikarenakan semakin banyak persentase kandungan karbon yang terbentuk.