

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang dan Masalah

Indonesia merupakan negara industri, yang mana sektor industri memiliki kontribusi yang besar bagi pertumbuhan ekonomi Indonesia, hal ini juga menjadikan Indonesia termasuk dalam jajaran negara yang kontribusi industrinya tinggi sebesar 19% (Kemenperin, 2017). Menurut Badan Pusat Statistik (2017) pertumbuhan industri sektor non-migas sebesar 5,49% atau lebih tinggi dari pertumbuhan ekonomi yang mencapai 5,06%, selain itu cabang industri yang memiliki pertumbuhan tinggi salah satunya industri logam dengan pertumbuhan sebesar 10,06%. Seiring dengan perkembangannya, maka kebutuhan pada industri akan meningkat seperti kegiatan produksi yang membutuhkan energi yang cukup untuk melakukan proses produksi dengan baik.

Umumnya energi yang digunakan oleh industri saat ini masih menggunakan bahan dari fosil salah satunya batu bara yang digunakan pada industri pembangkit listrik sebagai bahan bakar boiler. Batu bara digunakan karena ketersediaannya yang cukup banyak dibandingkan bahan fosil lainnya. Seiring dengan peningkatan kebutuhan batu bara menurut Kementerian ESDM pada tahun 2022 kebutuhan batu bara mencapai 188,9 juta ton dan diperkirakan kedepannya akan meningkat seiring dengan perkembangan industri. Pemakaian batu bara memiliki sejumlah sorotan terhadap aspek lingkungan batu bara juga merupakan bahan bakar yang kotor, karena dalam proses produksi hingga konsumsi memiliki resiko terhadap kerusakan alam seperti pembakarannya dapat menimbulkan gas rumah kaca dan meningkatkan jumlah emisi karbon, hal ini terjadi karena batu bara berkontribusi paling besar pada peningkatan emisi, salah satu contoh yaitu industri pembangkit listrik akan meningkat emisinya hingga tahun 2028 sebesar 351.3 juta ton CO<sub>2</sub> yang mana PLTU memiliki kontribusi sebesar 86% dari total emisi pembangkit listrik (RUPTL 2019 – 2028 PLN).

Banyaknya resiko maka diperlukan sebuah solusi untuk mengurangi potensi buruk dari penggunaan bahan fosil untuk kedepannya, Adapun pengembangannya dilakukan secara bertahap salah satunya dengan melakukan pemanfaatan bahan biomassa. Bahan biomassa memiliki potensi untuk menjadi sebuah solusi dalam mengurangi penggunaan bahan fosil, karena biomassa bersumber dari tumbuh seperti pertanian, tanaman pangan, dan perkebunan (Mohtasham, 2015). Biomassa dapat dikonversi salah satunya menjadi sebuah energi untuk pemanas, reduktor dan bahan bakar kendaraan, Menurut (IEA, 2019) bahwa energi terbarukan menyediakan 26% pasokan energi dunia, dimana skala kecil penggunaan biomassa padat menjadi sumber pembangkit listrik, karena dengan penggunaan biomassa menjadi campuran bahan bakar pada pembangkit listrik uap dan pada tahun 2024 diperkirakan kebutuhan listrik dengan energi terbarukan akan meningkat menjadi 30%, sehingga dengan opsi ini dibutuhkan penyediaan biomassa dalam jumlah yang besar.

Tongkol jagung merupakan salah satu bahan biomassa yang dihasilkan dari tanaman jagung yang berpotensi menjadi sumber energi bagi industri. Indonesia merupakan salah satu negara dengan penghasil jagung pipil terbesar didunia, tercatat pada tahun 2022 tingkat produktivitas panen jagung pipil sebesar 57,09 kuintal per-hektare dengan luas lahan jagung nasional sebesar 5,5 juta hektare (Kementan, 2020). Adapun wilayah yang menjadi penghasil jagung terbesar di Indonesia salah satunya Provinsi Lampung, yang mana produktivitas panen di provinsi tersebut sebesar 2,3 juta ton dengan luas lahan sebesar 474,9 hektare (Pemprov Lampung, 2020). Hasil panen jagung pipilan memiliki limbah padat berupa tongkol jagung, dimana limbah tersebut memiliki proporsi dari seluruh tanaman jagung sebesar 20% sehingga dapat dikalkulasikan bahwa limbah tongkol jagung Provinsi Lampung yang dihasilkan sebesar 460.000 ton (Samples, 2002 ; Tampoebolon, 2012).

Pada umumnya limbah tongkol jagung oleh petani hanya dibiarkan atau dibakar untuk menghilangkan limbah tersebut, namun tongkol jagung memiliki kandungan karbon yang tinggi sehingga berpotensi dimanfaatkan menjadi sumber energi bagi industri, karena sifatnya yang padat dan seragam serta kandungan energinya yang tinggi dan rendah sulfur serta nitrogen (Anukam, 2017). sehingga

dengan pemanfaatan tongkol jagung akan menjadi sumber energi yang ramah lingkungan dan juga dapat meningkatkan nilai ekonomi dari pengolahan limbah tongkol jagung tersebut.

Karbon merupakan sumber energi yang bermanfaat untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dengan memanfaatkan limbah tongkol jagung, menjadi bahan bakar bersih pada industri. Selain itu pada bidang metalurgi, karbon diaplikasikan sebagai reduktor pada proses mereduksi oksida besi ataupun nikel yang memerlukan reduktor dengan kadar *fixed carbon* yang tinggi (Sugiarto *et al.*, 2017). Adapun penelitian ini dilakukan dengan mengkombinasikan antara karbon tongkol jagung dan batu bara *sub-bituminous* yang memiliki kadar *fixed carbon* terbaik dari hasil karbonisasi dengan variasi temperatur dan ukuran partikel, dimana proses karbonisasi tersebut akan berpengaruh terhadap nilai *fixed carbon* dan nilai kalor.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan umum penelitian ini yaitu untuk meningkatkan kadar karbon pada tongkol jagung dan mengurangi penggunaan batu bara jenis *sub-bituminous*, selain itu juga untuk meningkatkan nilai ekonomi dari limbah tongkol jagung, dilakukan pengolahan dengan kombinasi karbon antara tongkol jagung dan batu bara *sub-bituminous* untuk meningkatkan *fixed carbon*. Serta diharapkan dengan adanya penelitian ini menjadi inovasi dalam memanfaatkan limbah biomassa dan batu bara jenis *sub-bituminous* menjadi energi yang ramah lingkungan. Adapun tujuan khusus yang ingin dicapai, antara lain:

1. Mengetahui potensi limbah tongkol jagung dan batu bara *sub-bituminous* menjadi sumber energi.
2. Menentukan *char* dari proses karbonisasi tongkol jagung dan batu bara *sub-bituminous*
3. Menganalisis variasi temperatur dan ukuran partikel yang terbaik untuk menghasilkan *fixed carbon* dengan kadar tertinggi dari proses karbonisasi
4. Mengidentifikasi nilai kalor dari kombinasi bahan tongkol jagung dan batu bara *sub-bituminous* hasil karbonisasi.

### 1.3 Kerangka Berpikir

Indonesia merupakan negara yang memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap bahan fosil, maka perlu dilakukan upaya dalam mengurangi penggunaan bahan fosil tersebut dengan cara melakukan kombinasi antara batu bara jenis *sub-bituminous* dengan limbah tongkol jagung melalui karbonisasi untuk menjadi produk karbon. Adapun karbonisasi merupakan salah satu upaya dengan tujuan agar karbon dapat menjadi kebutuhan energi alternatif bagi industri maupun sebagai bahan reduktor pada industri metalurgi, selain itu untuk memperbaiki lingkungan dalam mewujudkan keberlanjutan pengembangan industri (Zhang *et al.*, 2018).

Tanaman jagung akan menghasilkan limbah, yang mana terdiri atas batang jagung, kulit jagung dan tongkol jagung. Tongkol jagung merupakan biomassa memiliki potensi meningkatkan nilai ekonomi dengan pemanfaatan sebagai bahan bakar alternatif, karena memiliki kandungan ligniselulosa dan karbon yang tinggi (Arumugam, 2021). Untuk memperoleh hasil karbon dengan kualitas yang baik, maka dilakukan optimasi terhadap variasi temperatur yaitu 350, 450, 550 dan 650 °C. bahan baku berupa batu bara *sub-bituminous* dan tongkol jagung yang digunakan masing-masing 500 g. Berdasarkan penelitian (Kluska *et al.*, 2020) char proses karbonisasi yang tertinggi dan nilai *Higher Heating Value* yang cukup pada temperatur 380 °C hingga 420 °C.

### 1.4 Hipotesis

Dapat diambil hipotesis dari rencana penelitian ini sebagai berikut :

1. Karbon dari bahan batu bara jenis *sub-bituminous* dan tongkol jagung memiliki kadar *fixed carbon* dan nilai kalor yang tinggi.
2. Karbon dari kombinasi bahan batu bara jenis *sub-bituminous* dan tongkol jagung menjadi sumber bahan bakar alternatif bagi industri
3. Karbon kombinasi memiliki nilai kalor yang tinggi dari variasi temperatur, ukuran partikel dan persentase kombinasi yang terbaik.

## 1.5 Kontribusi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini memiliki harapan dalam menghasilkan bahan bakar yang memiliki kualitas yang memenuhi standar dan dapat meningkatkan nilai ekonomi bahan baku. Selain itu diharapkan juga menjadi energi yang terbarukan serta sebagai sumber energi alternatif untuk masa mendatang.

Tabel 1. Hasil Penelitian Terdahulu

Peneliti	Hasil Penelitian	Keterangan
Ibitoye, S. E., Mahamood, R. M., Jen, T. C., & Akinlabi, E. T. (2022).	Pembuatan briket dengan menggunakan proses karbonisasi pada variasi perlakuan yaitu persentase kombinasi antara tongkol jagung dan batang pisang 90 % : 10 %, 80 % : 20 %, 70 % : 30%, 60 % : 40 % dan 50 % massa : 50 % massa	menghasilkan nilai <i>Higher Heating Value</i> tertinggi pada persentase 90 % : 10 % yaitu 23 MJ/Kg atau 5.490 kal/g .
Suliestyah, S.,& Sari,I.P. (2021)	Proses karbonisasi batu bara <i>sub-bituminous</i> dengan nilai kalor 4915 kal/g pada temperatur 400 °C sampai dengan 900 °C, dihasilkan pada temperatur 500, 600 dan 700 °C menghasilkan kadar fixed carbon di atas 65 % massa.	
Kluska, J., Ochnio, M., &	Proses karbonisasi dari Pembuatan	

Peneliti	Hasil Penelitian	Keterangan
Kardaś, D. (2020).	tongkol jagung dengan menggunakan karbonisasi dengan heating rate sebesar 60 °C/menit pada variasi temperatur yang mendapatkan <i>char</i> tertinggi pada temperatur 300 dan nilai kalor yang tinggi pada temperatur 700 °C.	karbon dengan melakukan proses karbonisasi yang menggunakan reaktor
Sunardi, S., Djuanda, D., & Mandra, M. A. S. (2019).	Pembuatan briket dari tongkol jagung menggunakan temperatur karbonisasi 300 °C dan variasi ukuran partikel 40 mesh hingga 60 mesh dengan mendapatkan kadar <i>fixed carbon</i> yang paling tinggi pada ukuran 40 mesh sebesar 33,14%.	

Kebaharuan dari penelitian ini adalah studi karakteristik bahan baku limbah tongkol jagung dari Desa Margodadi Provinsi Lampung dan batu bara *sub-bituminous* PT PLN Nusantara Power Unit Tarahan yang dilakukan saat sebelum dan sesudah karbonisasi, lalu dilakukan sebuah kombinasi antara kedua bahan hasil karbonisasi yang memiliki kadar *fixed carbon* terbaik, sehingga dengan kombinasi tersebut dapat menjadi sebuah solusi dalam rangka mengurangi penggunaan batu bara *sub-bituminous* yang dimanfaatkan menjadi bahan bakar untuk pembangkit listrik maupun pemanfaatan lain di industri metalurgi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tongkol Jagung

Tongkol Jagung merupakan salah satu jenis bahan biomassa yang didapatkan dari residu tanaman jagung, pada sisa tanaman jagung dengan proporsi terbesar adalah batang jagung 50%, daun 20%, tongkol 20% dan kulit jagung 10% (Rahmawati *et al.*, 2022). Tongkol jagung adalah salah satu sumber daya biomassa dan banyak penelitian telah dilakukan untuk berbagai aplikasinya (Czajkowski *et al.*, 2019).



Gambar 1 Tongkol Jagung (Kompas.com)

Komposisi kimia yang terdapat pada tongkol jagung seperti selulosa (40-44%), hemiselulosa (31-33%), dan lignin (16-18%). Dengan komposisi tersebut maka tongkol jagung dapat dikonversi menjadi karbon, karena kandungan lignin dan selulosa banyak memiliki unsur karbon yang pada umumnya dapat diolah menjadi karbon atau menjadi bahan bakar padat (Garcia *et al.*, 2022).

Adapun analisis proksimat dan ultimate pada bahan baku tongkol jagung terdapat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Karakteristik Tongkol Jagung

Pengujian	(% massa)
Kadar air	9,27
Kadar <i>volatile matter</i>	74,39
Kadar abu	2,42
Kadar <i>fixed carbon</i>	13,92
Nilai kalor (kal/g)	3855,1625

Sumber : Zainuddin *et al.*, 2020

## 2.2 Batu bara *sub-bituminous*

Batu bara adalah batuan sedimen organik yang mudah terbakar dengan berwarna hitam atau hitam kecoklatan yang memiliki kandungan karbon tinggi serta sifat fisik, kimia, dan teknologi yang bervariasi tergantung pada peringkat (tingkat evolusi) yang dicapai dalam sepanjang sejarah geologisnya. batu bara *sub-bituminous* sebagian besar terdiri dari bahan organik yang berasal dari berbagai sisa tanaman (pohon, pakis, jamur, dan ganggang) dan juga yang memiliki jaringan yang berbeda (daun, batang, batang kayu, kulit kayu, serbuk sari, spora, sklerotia, resin, dll). (Suarez *et al.*, 2019).



Gambar 2. Batu bara *sub-bituminous* (ptba.co.id)

Batu bara *sub-bituminous* adalah bahan bakar fosil termurah, paling melimpah, dan telah didistribusikan secara luas di dunia, saat ini batu bara *sub-bituminous* masih menjadi sumber energi utama untuk tenaga listrik yang menyumbang 41% dari jumlah dari jenis pembangkit energi yang ada di dunia (National Coal Council, 2015 ; Suarez 2019). Selain untuk pembangkit pada

tenaga listrik, penggunaan utama batu bara ialah untuk industri baja serta pada produksi semen dan bahan kimia. Dalam industri baja, batu bara diaplikasikan untuk menghasilkan kokas yang digunakan dalam tanur sembur untuk peleburan bijih besi untuk menghasilkan besi cair, yang mana itu merupakan komponen utama baja. Tujuh puluh persen baja yang diproduksi di dunia dibuat dengan menggunakan batu bara (National Coal Council, 2015 ; Suarez 2019). Selain itu, batu bara sub-bituminous merupakan bahan baku penting dalam produksi bahan karbon seperti karbon aktif berbasis batu bara sub-bituminous dengan luas permukaan yang tinggi untuk perawatan udara dan air dan produk turunan kimia seperti minyak, tar, dan pitches serta berbagai macam produk kimia seperti pupuk dan bahan kimia primer lain.

Batu bara *sub-bituminous* pada dasarnya merupakan bahan yang heterogen dan secara makroskopik dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori atau jenis berikut:

1. Batu bara *sub-bituminous* humat atau batu bara *sub-bituminous* berpita, yang paling banyak ditemukan di alam, berasal dari campuran heterogen dari berbagai sisa tanaman. Secara umum, batu bara sub-bituminous komersial adalah batu bara sub-bituminous humat. Pita berbeda yang membentuk batu bara sub-bituminous humik telah digambarkan sebagai litotipe dan diklasifikasikan menjadi empat kelas, masing-masing memiliki komposisi mikroskopis yang berbeda dan sifat yang berbeda: vitrain (lapisan cemerlang), clarain (lapisan semibrilian), durain (lapisan tika), dan fusain (lapisan fibrosa). Komposisi mikroskopis dari setiap lapisan dijelaskan dalam (Stach et al., 1982 ; Suarez, 2019).
2. Batu bara sub-bituminous sapropelik, tidak terikat, atau masif (ICCP, 1963) bersifat homogen (tidak tampak) dan memerlukan kondisi khusus untuk akumulasi dan pengawetan bahan organik asli (Stach et al., 1982 ; Suarez, 2019).

Selain itu Batu bara *sub-bituminous* memiliki beberapa jenis tingkatan kualitas dengan berdasarkan komposisi kimia yang dimiliki oleh batu bara *sub-bituminous* , yang tertera pada Tabel 3 dan 4 berikut :

Tabel 3. Spesifikasi ASTM Batu bara *sub-bituminous*

Kelas	Grup		<i>Fixed Carbon</i> Dry (% massa)	<i>Volatile Matter</i> Dry (% massa)
	Nama	Simbol		
Antrachite	Meta-Antrachite	ma	>98	<2
	Antrachite	an	92-98	2,0-8,0
	Semi-Antrachite	sa	86-92	8,0-1,5
Bituminous	Low-Volatile	Lvb	78-86	14-22
	Medium-Volatile	Mvb	89-78	22-31
	High-Volatile A	hvAb	<69	>31
	High-Volatile B	hvBb	57	57
	High-Volatile C	hvCb	54	54
	<i>Sub-bituminous</i> A	subA	55	55
	<i>Sub-bituminous</i> B	SubB	56	56
<i>Sub-bituminous</i>	<i>Sub-bituminous</i> C	subC	53	53
	Lignite A	ligA	52	52
	Lignite B	ligB	52	52

Sumber : ASTM, 2018

Tabel 4. Kategori Berdasarkan Nilai Kalor

Penggunaan	Nilai Kalor (kal/g)
Antrasite	> 8338,7
Bituminous	5837,1 – 7782,8
Sub Bituminous	4616.2 – 6393,1
Lignite	<4614,14

Sumber : ASTM, 2018

Tabel 3 dan 4 diatas merupakan ranking batu bara *sub-bituminous* yang ditetapkan oleh *American Society Testing and Material* (ASTM), yang digolongkan menjadi beberapa peringkat berdasarkan nilai *fixed carbon* dan *volatile matter*. Hal ini dipengaruhi oleh kandungan yang terdapat pada batu bara *sub-bituminous* , yang mana jika kadar karbon semakin tinggi maka kualitas batu bara *sub-bituminous* tersebut semakin tinggi, karena nilai karbon akan memiliki pengaruh terhadap nilai kalor yang bertujuan untuk mendapatkan jumlah energi panas secara maksimum dengan melalui reaksi pembakaran yang sempurna.(Ardiansyah, 2022).

### 2.3 Karbonisasi

Pirolisis adalah dekomposisi termal yang terjadi tanpa adanya oksigen. Selama pirolisis bahannya tidak teroksidasi. Selama pirolisis, selalu dihasilkan serangkaian produk antara lain arang, cairan, dan gas. Menurut Hornung, A (2013) pirolisis memiliki beberapa klasifikasi yang tersedia dalam berbagai desain dan berbagai kondisi antara lain pirolisis cepat, menengah atau lambat.

Pirolisis cepat merupakan proses dekomposisi dengan energi panas yang ditransfer dalam hitungan detik ke dalam bahan, dan uap yang dihasilkan dikeluarkan dari reaktor dengan keadaan singkat, dalam proses pirolisis cepat laju pemanasan dapat mencapai 1000 °C/menit. Kedua bagian proses tersebut biasanya memiliki waktu tinggal 0,5 hingga 2 detik dan karakter produk terutama ditentukan oleh aliran energi tinggi ke dalam sampel. Untuk pirolisis cepat, memiliki produk keluaran yang khas yaitu pembentukan tar dan cairan viskositas yang tinggi selama pirolisis.

Pirolisis menengah berbeda dari pirolisis cepat terutama dalam hal perpindahan panas ke bahan. Laju pemanasan jauh lebih rendah, pada kisaran 100 hingga 500 °C/menit. Hal ini menyebabkan berkurangnya pembentukan selama proses pirolisis seiring dengan berlangsungnya reaksi kimia.

Pirolisis lambat adalah cara tertua untuk mengolah biomassa dalam kondisi bebas oksigen dan yang paling tradisional. *Char* merupakan produk yang khas dari proses pirolisis lambat, pirolisis lambat memiliki tingkat pemanasan yang lebih rendah yang menghasilkan hasil padat atau karbon yang lebih tinggi. Pirolisis lambat bahkan diklasifikasikan lebih lanjut ke dalam karbonisasi dan juga torefaksi.

Tabel 5. Torefaksi dan Karbonisasi

Parameter	Torefaksi	Karbonisasi
Temperatur (°C)	200-300	>300
Waktu tinggal	< 1 jam	> 1 jam
Tekanan operasi	Atmosferi	Hingga 10 atmosfer

Parameter	Torefaksi	Karbonisasi
Hasil utama	Masa jenis yang tinggi	<i>Fixed carbon</i> yang tinggi
Kadar air (% massa)	< 10	< 10
Kadar <i>volatile matter</i> (% massa)	65	10
Kadar <i>fixed carbon</i> (% massa)	30	80

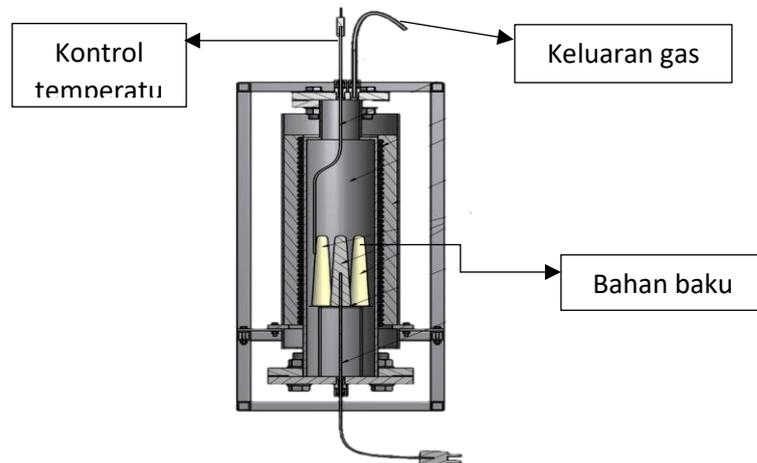
Sumber : Amer *et al.*, 2020

Karbonisasi adalah proses termokimia tertua dalam memproduksi karbon dari biomassa ataupun batu bara untuk menjadi produk energi, proses ini melibatkan pemanasan dan penangkapan volatil cairan dan meninggalkan karbon yang tereduksi dalam hidrogen. Jumlah cairan yang dihasilkan dari proses ini kurang dari 20%, dan kualitasnya buruk karena terdapat campuran senyawa kimia yang kompleks dengan pencemaran air. Namun, karbonisasi adalah proses yang terutama untuk produksi residu karbon (kokas) oleh dekomposisi termal (dengan penghilangan distilat secara simultan) zat organik (Gibson and Gregory, 1971; Speight, 2017). Karbonisasi pada dasarnya adalah proses untuk produksi karbon residu dengan dekomposisi termal (dengan penghilangan distilat secara bersamaan) dari zat organik (Speight, 2017). :



Konversi yang dilakukan, yaitu dengan menggunakan panas untuk memulai proses dekomposisi bahan organik dengan memecahkan ikatan hidrokarbon untuk mengubahnya menjadi energi yang kaya. Proses konversi termokimia ini meliputi pembakaran, pirolisis, karbonisasi, *co-firing*, gasifikasi, dan pencairan (Patel et al., 2016). Pirolisis dianggap sebagai titik awal dari semua teknologi konversi termokimia karena melibatkan semua reaksi kimia untuk membentuk "*char*" padat, "*bio-oil*" cair, dan "*bio-gas*" gas yang dilakukan di bawah kondisi bebas oksigen atau kondisi terbatas oksigen. Gas dan bio-oil berasal dari fraksi biomassa yang

mudah menguap, sedangkan karbon sebagian besar merupakan komponen *fixed carbon* (Jameel., 2017).



Gambar 3. Reaktor Karbonisasi (Kluska, et al., 2020)

Proses karbonisasi menggunakan temperatur operasi yang lebih tinggi dan waktu tinggal yang lebih lama daripada torefaksi. Karbonisasi bertujuan untuk menghasilkan produk yang sangat berkarbon, sementara torefaksi dapat berupa proses pretreatment untuk pemrosesan lebih lanjut (Basu, 2018). Produk dari salah satu dari dua proses pirolisis lambat disebut “char”, sedangkan karbon dicadangkan untuk produk karbonisasi. Karbon mengacu pada produk yang sangat karbon yang dimaksudkan untuk digunakan sebagai bahan bakar. Selanjutnya, karbon dapat digunakan dalam proses peleburan dan sintering sebagai reduktor dalam industri metalurgi (Rozhan et al., 2018). Char juga dapat diproses lebih lanjut untuk mendapatkan karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben (Patuzzi et al., 2018). Selain itu, karbon memiliki potensi yang baik untuk digunakan sebagai pupuk tanah, sehingga disebut “biochar” (Lopez-cano et al., 2018).

## 2.4 Karbon

Karbon adalah bahan yang dihasilkan dari bahan baku organik yang dengan proses pembakaran termal dengan oksigen terbatas (Lehmann, 2009 ; Wang *et al.*, 2019). Banyak limbah organik yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk memproduksi karbon seperti limbah pertanian dan sampah kota. Limbah karbon memiliki keunggulan tersendiri, seperti kandungan karbon yang kaya, kapasitas pertukaran kation yang tinggi, luas permukaan yang besar dan struktur yang stabil (Rizwan *et al.*, 2016).



Gambar 4. Karbon (greenfields.com)

Proses karbonisasi ini merupakan proses yang ekonomis, berkelanjutan dan mudah diproduksi sehingga dapat memungkinkan produksi bahan dengan aplikasi yang luas dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan dari petrokimia atau proses kimia lainnya. Meskipun sebagian besar aplikasinya masih dalam tahap awal, namun karbon sudah dapat digunakan dalam banyak aplikasi dengan hasil yang luar biasa. Aplikasi tersebut meliputi perbaikan tanah, katalisis, pemurnian air, dan penyimpanan energi dan gas (Qian *et al.*, 2015).

Karbon pada umumnya memiliki beberapa parameter uji untuk menentukan kualitas karbon, antara lain :

### 2.4.1. Uji Proksimat

Analisis Uji Proksimat adalah prosedur untuk menentukan komponen-komponen di dalam karbon, antara lain kadar air, zat mudah menguap, kadar abu, dan *fixed carbon* (Hasan *et al.*, 2017).

#### 1. Kadar *volatile matter*

*Volatile Matter* adalah kandungan bahan yang mudah terbakar, dan mudah membentuk gas, komponen kimia pada volatile matter yaitu hidrokarbon, aldehid, alkohol, ester dan fenol (Cheng, R *et al.*, 2021). Tingginya kandungan bahan mudah menguap dalam limbah pertanian mengindikasikan bahwa limbah pertanian tersebut mudah terbakar, bahkan lebih cepat terbakar dan sulit untuk dikontrol. Temperatur penyalaan karbon lebih rendah dan waktu pembakaran lebih singkat dibandingkan dengan karbon batu bara *sub-bituminous*. Ketika karbon dipanaskan, temperatur naik, dan setelah mencapai temperatur tertentu, maka bahan yang mudah menguap keluar dan terbakar di sekitar partikel karbon. Temperatur nyala api rendah jika semakin mudah menguap campuran biomassa dan temperatur nyala biomassa lebih rendah daripada batu bara *sub-bituminous*

## 2. Kadar Abu

Kadar abu adalah ukuran kandungan material dan berbagai bahan anorganik dalam bahan yang diuji. Abu adalah material yang tersisa, misalnya pada kayu yang dipanaskan hingga berat konstan, kadar abu sebanding dengan kandungan bahan anorganik dalam kayu. Salah satu unsur utama yang terkandung dalam abu adalah silika yang berpengaruh terhadap kurang baiknya nilai kalor yang dihasilkan. Abu terdiri dari bahan-bahan mineral seperti tanah liat, silika, kalsium, magnesium oksida dan lain-lain.

## 3. Kadar Air

Kandungan air adalah salah satu komponen bahan bakar padat. Kadar air bahan bakar padat adalah variasi massa air yang terkandung dalam bahan bakar padat terhadap massa kering bahan bakar padat. Air dalam bahan bakar padat terdiri dari air internal / higroskopis dan air eksternal / mekanis. kandungan air itu akan berpengaruh negatif terhadap nilai kalor dan karakteristik pembakaran bahan bakar padat.

## 4. *Fixed carbon*

Komponen yang tidak membentuk gas ketika dibakar adalah "*Fixed Carbon*" memiliki peran penting dalam menentukan kualitas karbon karena dapat mempengaruhi jumlah nilai kalor yang dihasilkan. Semakin tinggi *fixed carbon* dalam karbon maka semakin tinggi pula nilai kalor yang dihasilkan.

Karbon yang berkualitas adalah karbon yang memiliki nilai kalor dan *fixed carbon* yang tinggi.

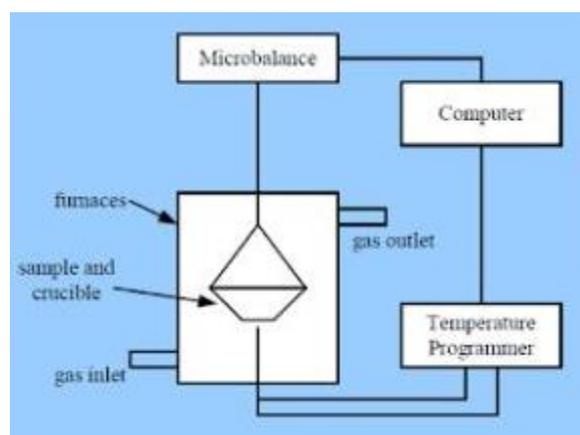
#### 5. Nilai Kalor

Jumlah unit kalor yang dilepaskan oleh pembakaran sempurna dari unit massa atau volume bahan bakar tertentu yang didefinisikan sebagai nilai kalor dari bahan bakar. *Bomb Calorimeter* adalah instrumen yang digunakan untuk menentukan panas yang dilepaskan oleh bahan bakar dan oksigen pada volume yang konstan dengan cara dibakar hingga mencapai temperatur awal sehingga uap yang dihasilkan dalam pembakaran bahan bakar akan terkondensasi dan panas yang tertinggal dari uap tersebut akan dilepaskan. Dengan demikian, nilai kalor pembakaran total mengandung panas uap (Mahapatra, 2016).

### 2.4.2. *Simultan Thermal Analysis* (STA)

#### 1. *Thermogravimetric Analysis* (TGA)

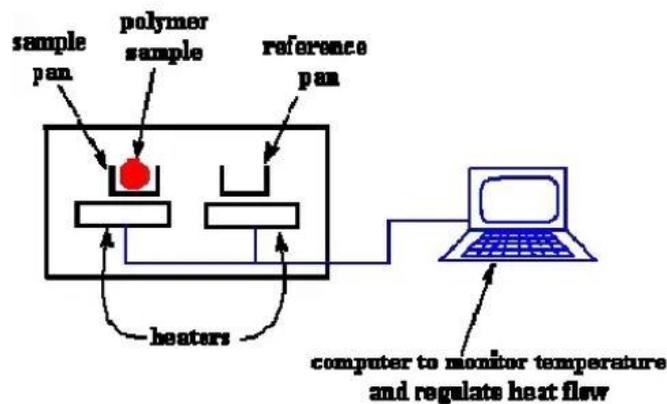
*Thermogravimetric Analysis* merupakan alat yang laboratorium penting untuk mengetahui karakterisasi material, penggunaannya yaitu dalam berbagai bidang seperti aplikasi lingkungan, makanan, farmasi, dan petrokimia adalah metode analisis termal di mana massa sampel diukur dari waktu ke waktu seiring dengan perubahan suhu. Pengukuran ini memberikan informasi tentang fenomena fisik, seperti transisi fasa, penyerapan, adsorpsi, dan desorpsi; serta fenomena kimia termasuk chemisorptions, dekomposisi termal, dan reaksi gas-padat (Coats *et al.*, 1963 ; Hwang *et al.*, 2019).



Gambar 5. Skema Prinsip Kerja Analisis TGA

#### 2. *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

*Differential Scanning Calorimetry* merupakan teknik analisis termal yang paling umum dan efektif digunakan pada berbagai aplikasi, termasuk penelitian fundamental, pengembangan material baru dan untuk mengkarakterisasi sifat fisik dari suatu bahan. DSC memungkinkan untuk menentukan titik leleh, kristalisasi, temperatur transisi dan perubahan entalpi ataupun entropi (Mauro *et al.*, 2019). Dengan DSC, sampel dipindai secara dinamis atau ditahan secara isothermal dalam instrumen dengan aliran panas lalu dipantau pada waktu dan suhu.(Pignatello, R. 2013 : Mauro *et al.*, 2019). Pada dasarnya, energi yang diserap atau dilepaskan oleh sampel ketika terkena pada jalur suhu tertentu, seperti reaksi kimia dan transisi fisik yang terjadi yaitu ada generasi terikat (reaksi eksotermik) atau konsumsi (reaksi endotermik) dari panas. Pada proses ini akan menciptakan aliran yang berfungsi sebagai sinyal yang akan terdeteksi oleh instrument DSC. (Hemminger *et al.*, 2003 : Mauro *et al.*, 2019).



Gambar 6. Skema Prinsip Kerja DSC

