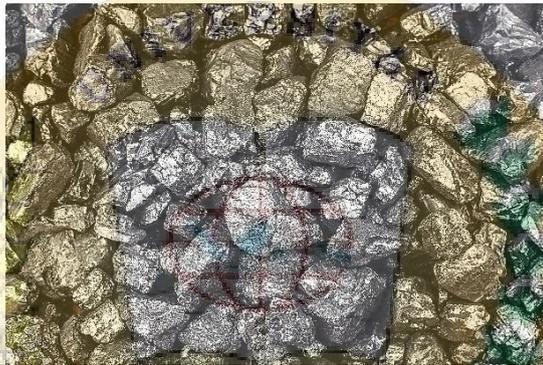


## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Batubara

Batubara adalah senyawa hidrokarbon padat yang terbentuk dari tumbuh-tumbuhan setelah mengalami proses pembusukan secara biokimia, kimia, fisika pada kondisi bebas oksigen, tekanan dan suhu tertentu dalam rentang waktu yang sangat lama. Batubara terbentuk dari endapan sisa tumbuhan dengan komponen penyusunnya diperkaya dengan berbagai macam polimer organik seperti karbohidrat, lignin, protein dan lainnya (Nugroho, 2017)



**Gambar 1.** Batubara  
(Sumber: [www.freepik.com](http://www.freepik.com))

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya oleh tekanan, suhu, dan waktu, batubara diklasifikasi dalam lima kelas yaitu (PTBA, 2014):

1. Antrasit; batubara dengan grade paling tinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.
2. Bituminus; batubara yang mengandung 68% - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8 – 10% dari beratnya.
3. Sub-bituminus; batubara yang mengandung sedikit karbon dan banyak air, oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
4. Lignit; batubara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.
5. Gambut; batubara berpori dan memiliki kadar air diatas 75% serta nilai kalori

yang paling rendah.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Sepfitrah, 2016), bahwa batubara yang terdapat di desa selensen merupakan batubara berjenis *sub-bituminous* dimana kualitasnya dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Table 1** Kualitas Batubara Desa Selensen (Sepfitrah, 2016)

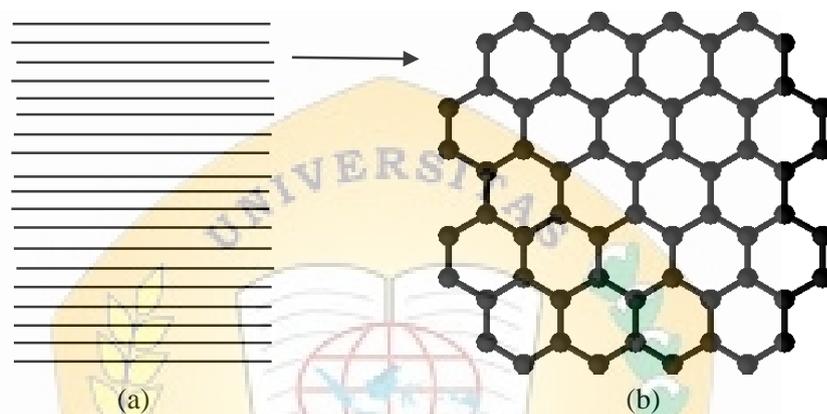
No.	Parameter	Nilai
1	Total moisture	15.78 %
2	ADL	2.8169
3	Proximate Analysis :	
	- Inherent moisture	8.9550 %
	- Volatile matter	42.1421 %
	- Fixed carbon (adb)	44.02 %
	- Ash content	4.8595 %
4	Total sulfur	0.2900 %
5	Calorific value (Kcal/kg)	6525
6	HGI (index)	62

Desa Selensen terletak di kecamatan Kemuning, kabupaten Indra Giri Hilir provinsi Riau dengan luas wilayah mencapai 218 km<sup>2</sup>. Daerah ini sampai sekarang masih menjalankan pertambangan batubara yang juga ikutserta menyumbangkan untuk peningkatan produksi batubara Indonesia. Namun, seiring berkembangnya riset mengenai batubara yang bisa dimanfaatkan untuk alternatif lain, hingga saat ini masih belum ada yang melakukan riset lanjutan khusus untuk batubara di desa Selensen.

## 2.2 Grafena

Grafena didefinisikan sebagai lapisan karbon setipis atom dua dimensi dengan struktur heksagonal menyerupai sarang lebah dengan ikatan  $sp^2$  terkonjugasi yang berikatan kovalen, yang bermula pada penemuan Geim dan Novoselov pada tahun 2004 (Geim, 2009; Novoselov et al., 2004). Material ini memiliki sifat mekanik yang sangat baik dengan nilai uji tarik sekitar 130 GPa, *Modulus elastic* sekitar 1,1 TPa,

dan *Modulus Young* sekitar 1000 GPa. Bahan ini memiliki konduktivitas yang mirip dengan tembaga, yaitu sekitar  $10^8$  S / m, sehingga juga berkinerja baik di perangkat elektronik. Mobilitas pembawa  $\sim 200.000$  cm<sup>2</sup> / V.s dan *ampacity* 1 – 2 GA / cm<sup>2</sup>. Bahan ini juga memiliki sifat menarik lainnya, seperti konduktivitas termal 5 kali lipat dari tembaga 5000 W / m.K dan ketahanan tinggi terhadap bahan kimia hingga 50 kali lebih kuat dari baja meskipun kepadatannya rendah (Xu & Gao, 2015)



**Gambar 2.** (a) Grafit (b) Grafena

Dalam (Trache et al., 2020) ada beberapa turunan dari grafena antara lain sebagai berikut:

1. Grafena oksida (GO)

Grafena oksida atau *graphene oxide* (GO) umumnya dibuat dari oksidasi grafit, terdiri dari beberapa atau lembaran satu lapis yang mengandung oksigen seperti hidroksil, epoksi, karboksil, karbonil, fenol, lakton, dan kuinon, yang dapat mengubah interaksi van der Waals. Gugus fungsi di GO ini dapat sangat memengaruhi fitur elektrokimia, mekanik, dan elektroniknya. Karena eksploitasi elektron dalam ikatan kovalen gugus - oksida pada GO membuatnya lebih mudah terdispersi dalam pelarut organik dan air.

2. Grafena oksida tereduksi

Grafena oksida tereduksi atau *reduced Graphene Oxide* (rGO), yang diperoleh dengan mereduksi GO, mengandung lebih sedikit atom oksigen, oleh karena itu, lebih

sedikit bermuatan negatif. Selama reduksi, rGO memulihkan susunan grafit (pemulihan sebagian sp<sup>2</sup> dari hibridisasi sp<sup>3</sup>) melalui eliminasi gugus yang mengandung oksigen, yang telah dimasukkan dalam langkah oksidasi, dengan demikian, memulihkan sifat elektronik graphene.

### 3. Grafena Quantum Dots

Grafena Quantum Dots (GQDs), merupakan partikel atau kristal dari grafena yang dapat ditemukan sebagai lapisan tunggal atau ganda, menampilkan fitur menarik seperti stabilitas kimia yang baik, luas permukaan yang tinggi, karakteristik fisik yang dapat diatur, fotoluminesensi yang stabil, dan toksisitas yang rendah. GQDs dapat digunakan dalam optoelektronik, elektronik, biomedis, sensor dan penyimpanan energi. GQDs memiliki ukuran kristal 2 – 10 nm (10 – 50 atom).

Keunggulan dari sifat material grafena seperti yang disebutkan diatas, membuat grafena banyak dimanfaatkan untuk memproduksi berbagai komponen listrik seperti berikut:

#### 1. Sensor

Sifat konduktansinya yang besar membuat grafena dapat diaplikasikan dalam perangkat sensor. Luas permukaan spesifik yang besar membuat grafena *monolayer* mampu mendeteksi berbagai molekul termasuk gas, hal ini dibuktikan oleh beberapa penelitian yang disebutkan dalam Zhu et al., (2010).

#### 2. Panel Surya

Grafena memiliki tingkat efisiensi konversi daya yang tinggi seperti disebutkan dalam Liu et al., (2012) dengan konduktivitas yang baik dan transparansi yang tinggi, grafena berhasil diaplikasikan dalam teknologi panel surya.

#### 3. Penyimpan energi/ baterai

Grafena sebagai material dengan luas permukaan yang besar dan sifat konduktifitasnya yang tinggi, membuat grafena banyak diaplikasikan dalam teknologi penyimpanan energi seperti baterai dan superkapasitor.

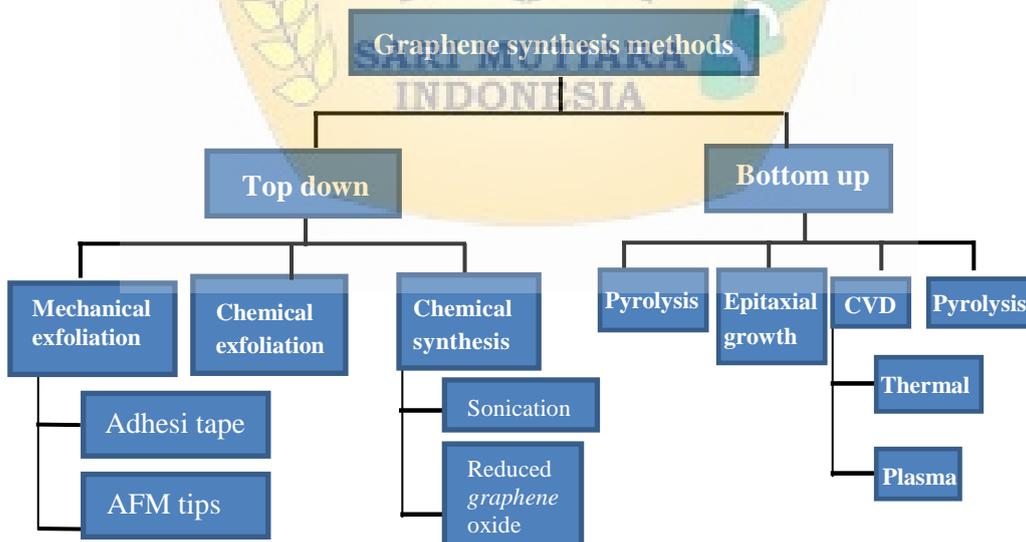
#### 4. Material nanokomposit

Grafena telah banyak diteliti dan direkayasa, terutama dengan cara mendoping dengan material lain untuk menghasilkan berbagai sifat baru atau meningkatkan stabilitas sifat asli grafena yang banyak dimanfaatkan untuk energi masa depan.

### 2.2.1 Sintesis Grafena

Banyak metode yang sudah digunakan dalam proses sintesis grafena. Namun, pada dasarnya metode sintesis grafena terbagi atas dua yaitu pembelahan grafit menjadi beberapa *layer* (*top down*) dan penumbuhan secara langsung grafena dari atom-atom karbon (*bottom up*). Metode *bottom-up* mengacu pada proses polimerisasi dan karbonisasi serangkaian molekul kecil kedalam skala nano melalui berbagai reaksi kimia, metode sintesis *bottom-up* meliputi metode hidrotermal, metode solvotermal, metode pirolisis, metode pendukung gelombang mikro, metode dehidrasi asam, metode ultrasonik dan pembakaran. Metode *top-down*, makromolekul atau struktur gugus karbon yang lebih besar didekomposisi oleh proses fisika atau kimia atau terdispersi menjadi gugus karbon yang lebih kecil (Triwardiati & Ermawati, 2018; X. Wang et al., 2019). Metode *top-down* melibatkan proses pengupasan bahan karbon yang lebih besar menjadi material berskala nano (Kang et al., 2020).

Beberapa metode yang sering digunakan saat ini dapat diilustrasikan pada gambar **Gambar 3**. (Choi et al., 2012)



**Gambar 3.** Skema berbagai metode sintesis grafena (Choi et al., 2012)

Adapun beberapa tahap dalam menghasilkan grafena secara umum yang

pernah dilakukan antara lain:

### 1. Tahap Karbonisasi

Karbonisasi merupakan suatu proses konversi dari zat organik menjadi karbon atau residu yang mengandung karbon. Dalam tahap ini, sampel di karbonisasi terlebih dahulu untuk menghasilkan karbon grafit yang akan dijadikan prekursor dalam sintesis grafena yang biasanya dilakukan melalui pirolisis pada suhu tertentu dengan perlakuan kimia pada sampel.

Selama proses karbonisasi, komponen yang mudah menguap dan komponen lainnya termasuk hidrogen, oksigen dan hidrokarbon yang tidak terorganisir akan menguap karena pirolisis batubara. Akumulasi karbon membentuk ikatan antara satu sama lain membentuk kristal yang terdiri dari struktur kristal grafit. Ketika perlakuan karbonisasi batubara yang pernah dilakukan, terjadi penghilangan air, dekomposisi batubara dan menghasilkan tar, metanol, fenol, dan lain-lain. Ini meninggalkan kandungan karbon dengan sekitar 80%, karbonnya akan didapatkan pada suhu 400 – 600<sup>o</sup> C (Gao, 2015; Purwandari et al., 2020). Namun, penggunaan suhu ini akan diminimalisir dengan adanya biokatalis yang membantu menurunkan energi aktivasi saat proses pirolisis. Jadi, prinsipnya adalah struktur kimia yang berupa ikatan karbon panjang pada batubara akan dipecah-pecah menjadi ikatan yang lebih kecil selama proses pirolisis.

### 2. Tahap oksidasi dan reduksi

Tahap oksidasi dan reduksi biasanya dilakukan dengan metode *Hummer* dengan pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KMnO<sub>4</sub>, NaNO<sub>3</sub> (oksidasi) dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (reduksi) kemudian pemurnian dengan HCl 10% (Tien et al., 2012). Tujuannya untuk menciptakan kisi atau jarak antar *layer* pada grafit, ini akan mempermudah proses pengelupasan dalam memperoleh grafena. Produk yang dihasilkan pada tahap ini berupa grafit oksida (GO).

### 3. Tahap eksfoliasi

Tahap eksfoliasi atau pengelupasan adalah proses pemisahan setiap *layer* grafit untuk mendapatkan suspensi grafena. Proses ini biasanya dilakukan dengan metode

ultrasonikasi. Metode ultrasonikasi pada umumnya memiliki dua cara untuk pengaplikasiannya pada larutan yang mengandung grafit yaitu *sonication bath* dan *tip bath*. Pada *sonication bath*, daya ultrasonikasi yang ditransfer menuju tabung yang diisi pelarut dan grafit akan dipengaruhi oleh berapa banyak air yang ditempatkan pada wadahnya, hingga tabung menyentuh dasar wadah, dan lokasi tabung wadah. Grafena yang dihasilkan ditahap ini dapat berupa grafena *mono-layer* atau bahkan *multi-layer*.

## 2.3 Biokatalis

Biokatalis adalah suatu zat organik yang mempercepat laju reaksi yang dihasilkan oleh sel. Biokatalis mampu telah terbukti menurunkan energi aktivasi pada percobaan karbonisasi limbah rumah sakit yang mampu menurunkan suhu reaktif sampah dari 2400<sup>0</sup> F dengan tekanan tinggi ke suhu 800<sup>0</sup> F (200 – 400<sup>0</sup> C) dengan tekanan normal (Lukas et al., 2018). Contoh biokatalis adalah enzim. Enzim sangat penting dalam kehidupan karena semua reaksi metabolisme di katalis oleh enzim. Jika tidak ada enzim atau aktivitas enzim terganggu, maka reaksi metabolisme sel akan terhambat hingga pertumbuhan sel juga terganggu. Reaksi-reaksi *enzimatik* dibutuhkan agar bakteri dapat memperoleh makanan/*nutrient* dalam keadaan terlarut yang dapat diserap kedalam sel, memperoleh energi kimia yang digunakan untuk biosintesis, perkembangbiakan, pergerakan, dan lain-lain (Kurniasih, 2020).

Hingga saat ini pemanfaatan biokatalis sangat luas seperti penggunaannya dalam meningkatkan kualitas bahan bakar fosil rendah sulfur dan rendah emisi gas karbon dengan produksi biokatalis dari mikroba (Kilbane, 2006), dan bahan bakar berbahan dasar mikroba dengan pemanfaatan biokatalis (Li et al., 2018).

### 2.3.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim

#### 1. Temperatur atau suhu

Umumnya enzim bekerja pada suhu yang optimum. Apabila suhu turun, maka aktivitas akan terhenti tetapi enzim tidak rusak. Sebaliknya, pada suhu tinggi aktivitas menurun dan enzim menjadi rusak.

2. Air

Air sangat berpengaruh dalam memulai kerja enzim.

3. *pH*

Perubahan *pH* dapat membalikkan kegiatan enzim, yaitu mengubah hasil akhir kembali menjadi substrat.

4. Hasil akhir

Kecepatan reaksi dalam suatu proses kimia tidak selalu konstan. Kegiatan pada awal reaksi tidak sama dengan kegiatan pada pertengahan atau akhir reaksi. Apabila hasil akhir banyak, maka akan menghambat aktivitas enzim.

5. Substrat

Substrat adalah zat yang diubah menjadi sesuatu yang baru. Umumnya, terdapat hubungan yang sebanding antara substrat dengan hasil akhir apabila konsentrasi enzim tetap, *pH* konstan, dan temperatur konstan. Jadi apabila substrat yang tersedia dua kali lipat, maka hasil akhir juga dua kali lipat.

6. Zat-zat penghambat

Zat-zat penghambat adalah zat-zat kimia yang menghambat aktivitas kerja enzim (inhibitor). Contoh: garam-garam dari logam berat, seperti raksa.

Secara umum, enzim dikelompokkan dalam kategori sebagai berikut (Sumbono, 2021):

- a. *Oksidoreduktase* ; mengkatalisis reaksi reduksi-oksidasi terhadap berbagai gugus
- b. *Transferase* ; mengkatalisis berbagai reaksi transfer gugus fungsional dari molekul donor ke molekul akseptornya
- c. *Hidrolase* ; mengkatalisis reaksi penambahan molekul air pada suatu ikatan, yang kemudian dilanjutkan dengan reaksi penguraian (hidrolisis)
- d. *Liase* ; mengkatalisis reaksi penambahan molekul air, ammonia atau karbon dioksida pada suatu ikatan rangkap
- e. *Isomerase*; mengkatalisis berbagai reaksi isomerisasi
- f. *Ligase*; mengkatalisis reaksi dimana dua gugus kimia disatukan atau diikatkan (ligasi) dengan menggunakan energi yang berasal dari ATP.

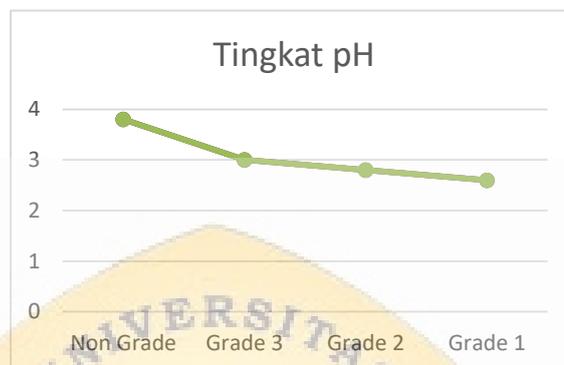
Enzim hidrolisis yang banyak dikenal berdasarkan zat yang dihidrolisis adalah sebagai berikut:

- a. Enzim hidrolisis karbohidrat ; *Glikosidase-selulase, amilase, sukrase, lactase, maltase,*
- b. Enzim hidrolisis protein ; *endopeptidase, eksopeptidase, dipeptidase, tripeptidase, amidase, dll.*
- c. Enzim *lipase* menghidrolisis lipid; *esterase, lechitinase*
- d. Enzim *hidolisis ester lainnya*; fosfatase, kolinesterase, klorofillase, sulfatase, pektinesterase, metilase.
- e. Enzim *oksidasi-reduksi* ; hidrase, mutase, oksidase, dehidrogenase, peroksidase
- f. Enzim *katalase miscellaneous*; *karboksilase, karbonat anhydrase, thiaminase, transpeptidase.*

#### 2.4 Asap Cair

Asap cair merupakan hasil kondensasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran yang dapat diperoleh melalui proses pirolisis dari bahan yang mengandung komponen selulosa, senyawa asam, hemiselulosa dan lignin. Dalam prosesnya, pemurnian asap cair menggunakan distilasi dan atau adsorpsi, sehingga asap cair dapat dikelompokkan menjadi grade 1, grade 2 dan 3 yang memiliki fungsi khusus. Dalam proses kondensasi asap cair, dihasilkan asap cair grade non-grade yang bisa diturunkan kemurniannya menjadi beberapa *grade* (1,2 & 3) yang memiliki fungsi masing-masing. Asap cair *grade* 1 dan 2 mengandung senyawa-senyawa asam dan turunannya (format, asetat, butirrat, propional, metil ester); alkohol (metil, etil, propil, alkil dan isobutil alkohol); aldehid (formaldehida, asetaldehida, furfural, dan metil furfural); hidrokarbon (silene, kumene dan simene); keton (aseton, metil etil keton, metil propil keton dan etil propil keton); fenol serta piridin dan metil piridin, biasanya digunakan sebagai pengawet bahan makanan. Sedangkan asap cair *grade* 3 adalah asap cair yang tidak melalui proses pemurnian hanya pengendapan selama 1 minggu dan setelah itu dilakukan penyaringan biasanya digunakan sebagai bahan penggumpal lateks, pupuk dan desinfektan (Fauzan & Ikhwanus, 2017).

Berdasarkan penelitian Rendi et al., (2020) menyatakan bahwa dari berbagai uji yang dilakukan terhadap asap cair, komponen terbesar yang dimiliki oleh asap cair batubara yaitu senyawa asam asetat dan fenol sehingga asap cair yang dihasilkan dari proses pirolisis pada suhu 280 – 300<sup>0</sup> C memiliki hasil uji sebagai berikut:

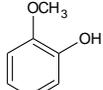
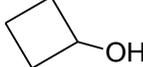
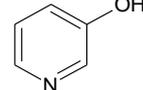
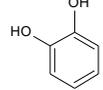
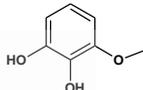
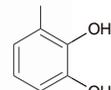
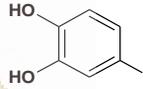
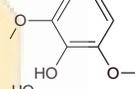
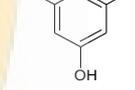
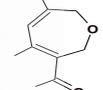
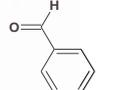
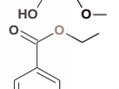
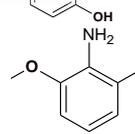
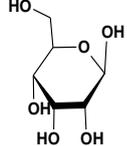


**Gambar 4.** Tingkat keasaman asap cair pada berbagai grade

Sumber : (Rendi et al., 2020)

**Table 2.** Kandungan asap cair non-grade (Rendi et al., 2020)

Nama Senyawa	% Area	RT	Rumus Molekul	Berat Molekul (gram/mol)	Rumus Struktur
Acetaldehyde (CAS)	2,49	1,397	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44,05	
Tetramethylammonium perchlorate	0,33	1,614	C <sub>4</sub> H <sub>12</sub> ClNO <sub>4</sub>	173,59	
Acetic Acid	15,78	1,824	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	60,052	
2-Propanone, 1 Hydroxy	1,66	1,915	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	74,079	
2 (3H)-Furanone, dihydro/butyrolactone	0,34	3,469	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	86,090	
Phenol	8,96	4,115	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	94,113	
Cyclohexanol, 4-methyl- (CAS)	0,89	4,435	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	114,19	
2-Cyclopenten-1,2-Hydroxy-3-Methyl	1,81	4,540	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	112,13	

Phenol, 2-Methoxy-(CAS)	0,94	5,115	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	124,14	
Cyclobutanol (CAS)	8,07	5,255	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72,11	
3-Pyridinol	1,12	5,402	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> NO	95,1	
1,2-Benzenediol	15,03	6,480	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	110,112	
1,2-Benzenediol, 3-methoxy	3,96	6,725	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	140,14	
1,2-Benzenediol,3-methyl	2,06	6,991	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	124,14	
1,2-Benzenediol,4-methyl	3,02	7,425	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	124,14	
Phenol,2,6-dimethoxy	6,26	7,579	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	154,16	
1,3-Benzenediol, 5-methyl-(CAS)	0,89	7,915	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	124,14	
3,5-Dimethyl-2-furyl methyl ketone	1,65	8,133	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	138,16	
3-Hydroxy-4-methoxybenzoic acid	3,01	8,399	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	168,15	
Ethyl 3-hydroxybenzoate	1,11	8,826	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O	166,17	
2-Methoxy-6-methylaniline	3,13	9,134	C <sub>8</sub> H <sub>11</sub> NO	137,18	
D-Allose	11,06	9,659	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	180,16	

## 2.5 Metode Pirolisis

Pirolisis adalah salah satu proses dekomposisi melalui pemanasan tanpa adanya oksigen dengan memperhatikan suhu, tekanan, ukuran material, dan katalis yang

digunakan (Naimah et al., 2017), sekaligus sebagai pendekatan metode untuk mensintesis grafena dari batubara. Zat organik dalam batubara dapat secara bertahap diubah menjadi karbon yang kemudian menjadi grafit dengan pemanasan, dehidrasi, penguraian, dan karbonisasi pada suhu tinggi dalam ruang hampa atau dalam atmosfer inert. Proses pirolisis biasanya menggunakan konsentrasi tinggi alkali dan asam untuk memecah prekursor karbon menjadi nanopartikel. Karakteristik grafit yang diperoleh dapat diatur dengan mengubah kondisi pirolisis seperti waktu pirolisis, suhu pirolisis, dan *pH* sistem reaksi (C. Wang et al., 2019).

## 2.6 Metode Hidrotermal

Metode hidrotermal merupakan salahsatu dari metode bottom – up yang dikenal sebagai salahsatu metode yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan gas beracun, murah dan mudah ditangani, namun pada prakteknya proses ini menggunakan suhu yang cukup tinggi dan menggunakan waktu yang cukup lama (Gayen et al., 2019). Metode ini biasanya digunakan dalam sintesis *Carbon dots* karna kemampuannya dalam memperluas permukaan partikel dan menghasilkan partikel dengan ukuran yang hampir seragam (X. Wang et al., 2019).

## 2.7 Analisa Batubara

Analisa kualitas batubara disebut dengan istilah uji proksimat, uji ini dilakukan untuk mengetahui persen berat dari *fixed carbon*, kadar bahan yang menguap, kadar abu dan kadar air dalam batubara. Analisis proksimat ini mengacu pada standar *American Society for Testing and Materials* (ASTM) yang terdiri dari :

1. Kadar air (*Inherent Moisture*) ASTM D 2867 – 99
2. Kadar Abu (*Ash Content*) ASTM D 2866 – 94
3. Kadar Zat Terbang (*Volatile Matter*) ASTM D 5832 – 98
4. Karbon Padat (*Fixed Carbon*)
5. Nilai Kalor (*Calorific Value*)

Nilai kalor pada batubara sangat penting untuk diketahui dalam menentukan klasifikasi batubara dan kualitas dari batubara tersebut. Semakin tinggi nilai kalor sebuah batubara semakin baik kualitasnya. Dalam Prasetyo et al., (2018) disebutkan

ada 4 tingkatan batubara berdasarkan nilai kalori, yakni sebagai berikut:

- 1 Batubara kalori rendah (*lignite*), nilai kalor  $<5.100$  kal/g (adb), bersifat higroskopis dengan kadar air mencapai 10-70%, dan mudah diremas.
- 2 Batubara kalori sedang (*Sub-bituminous*), nilai kalor  $5.100 - 6.100$  kal/g (adb), bersifat lebih keras, dan kadar air relatif lebih rendah.
- 3 Batubara kalori tinggi (*bituminous*), nilai kalorinya  $6.100 - 7.100$  kal/g (adb), sifatnya sangat keras, kristalinitas yang tinggi, dan kadar air yang relatif rendah.
- 4 Batubara kalor sangat tinggi (*antracite*), nilai kalorinya  $>7.100$  kal/g (adb), merupakan jenis batubara dengan peringkat paling tinggi dengan kadar air sangat rendah.

## 2.8 Karakterisasi

### 2.8.1 Difraksi Sinar-X (*X-ray diffraction*)

Difraksi sinar-X atau *X-ray diffraction* (XRD) adalah metode analisis yang mengidentifikasi fase kristal dan keberadaan suatu senyawa pada sampel dengan memanfaatkan interaksi antara sinar-X dengan atom yang tersusun dalam sebuah sistem kristal. Kristal merupakan susunan atom-atom yang berulang dalam ruang tiga dimensi, keteraturan susunan atom ini disebabkan oleh sebuah kondisi geometris dikarenakan ikatan atom yang memiliki arah.

Pola unik yang terbentuk dari setiap difraksi cahaya pada suatu material akan memiliki perbedaan seperti halnya sebuah sidik jari untuk setiap senyawa yang berbeda, ini dikarenakan setiap objek yang terkena cahaya akan menghasilkan bayangan yang berbeda dari berbagai arah. Pola difraksi pada XRD dinyatakan dalam nilai sudut  $2\theta$ , dimana  $\theta$  merepresentasikan sudut datang cahaya dan nilai  $2\theta$  adalah besar sudut datang cahaya dengan sudut difraksi yang terdeteksi oleh detektor. Intensitas sinar dan besar sudut hamburan akan menggambarkan struktur atom kristalin. Pada uji ini, sampel yang berbentuk serbuk yang telah dimampatkan diletakkan diatas wadah yang posisinya telah diatur, kemudian seberkas sinar-X ditembakkan ke sampel dan akan mengalami difraksi yang seterusnya difraksi sinar-X akan masuk ke alat pencacah. Intensitas sinar ini akan ditangkap oleh detektor dan diterjemahkan dalam bentuk kurva.

Karakterisasi material dengan menggunakan XRD menghasilkan beberapa data bersifat kualitatif dan kuantitatif yang dapat diolah menjadi informasi seperti pada **Table 3**.

**Table 3.** Informasi yang terkandung dalam karakter tinggi, posisi serta lebar dan bentuk puncak difraksi (Pratapa, 2010)

No	Karakter	Informasi dari material
1	Posisi puncak ( $2\Theta$ )	• Fasa kristal/identifikasi
		• Struktur kristal
		• Parameter kisi
2	Tinggi puncak (intensitas)	• Regangan seragam
		• Identifikasi
		• Komposisi
		• Hamburan tak koheren
3	Lebar dan bentuk puncak	• <i>Extinction</i>
		• <i>Preferred-orientation</i>
		• Ukuran kristal (bukan partikel atau <i>grain</i> )
		• Distribusi ukuran

Identifikasi karakteristik puncak (002) pada pola XRD dari grafena menunjukkan tingkat grafitisasi. Nilai tipikal pada celah antar layar (002) adalah 3,34 Å pada grafit dan nilai yang mendekati nilai yang mendekati ini menunjukkan adanya kehadiran susunan grafit dari sampel sehingga merefleksikan kristalinitas dari grafena.

### 2.8.2 Spektroskopi Raman

Spektroskopi Raman adalah proses hamburan cahaya inelastik yang memungkinkan untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi struktur molekul dari gas ke fase padat dan dari amorf ke kristal. Ini diawali oleh gaya dipol listrik yang berfluktuasi yang disebabkan oleh sumber berkas cahaya dan oleh elemen yang mengalami eksitasi dari media yang tersebar, misalnya, getaran molekul bebas, fonon dalam kristal, kotoran, dan mode getaran lokal. Spektroskopi raman digunakan dengan

bantuan gelombang laser yang dapat diatur dengan panjang gelombang ( $\lambda_0 = 244 - 1064$  nm), ini telah banyak diaplikasikan dalam sistem klasifikasi dan karakterisasi material yang mengandung karbon yang berukuran nano, terutama dengan karbon  $sp^2$  yang juga mengandung cacat yang biasanya terdapat pada grafena dan nanografena (nanotube, nanoribbon, nanocones). Beberapa parameter spesifik dalam spektroskopi raman mencakup: posisi pita, lebar penuh pada setengah maksimum, dan rasio intensitas relatif antara dua pita (Merlen et al., 2017).

Pada perlakuannya secara singkat, sampel akan ditembakkan dengan sinar laser dengan memantulkan sinar laser terlebih dahulu pada sepasang cermin yang sejajar, kemudian pantulan ini akan diteruskan dan difokuskan pada posisi sampel di level XY. Gelombang sinar laser yang digunakan dapat diatur ( $\lambda_0 = 244 - 1064$  nm), dengan optik yang sesuai maka data spektroskopi akan ditampilkan. Besarnya energi yang digunakan memiliki persamaan sebagai berikut:

$$E_0 = 2,41 \frac{514,5}{\lambda_0 \text{ (nm)}}$$

Setelah cahaya dan materi berinteraksi dalam sampel, foton (baik yang dipantulkan, dihamburkan secara elastis, dihamburkan secara inelastis, atau foton lain yang berasal dari proses yang berinteraksi seperti fluoresensi) dikumpulkan dengan tujuan yang sama dan didorong ke filter yang mengurangi intensitas cahaya. foton elastis. Umumnya, frekuensi cut-off filter ini mendekati  $50 - 100 \text{ cm}^{-1}$ , yang berarti bahwa mode dengan bilangan gelombang yang lebih rendah tidak akan terdeteksi. Selain foton yang elastis akan didorong ke monokromator di mana dispersi cahaya terjadi. Cahaya akhirnya disebarkan pada kamera CCD (charged coupled device), diubah menjadi sinyal elektronik yang direkam di komputer. Dalam rentang spektral, kita dapat mengamati keberadaan satu pita (disebut pita G) pada  $1582 \text{ cm}^{-1}$  untuk sampel bebas cacat, dan kita dapat melihat dua pita tambahan (pita D dan D') untuk sampel yang cacat. Dalam rentang  $2000 - 3000 \text{ cm}^{-1}$ , mereka disebabkan oleh proses dua fonon dan diberi nama 2D, D + D', 2D', dan seterusnya (Couzi et al., 2016).

Analisis grafena dengan spektroskopi raman secara umum memiliki puncak yang khas dikenal dengan puncak D-, G-, dan 2D- yang masing-masing berada

disekitar puncak 1350, 1580 dan 2700  $\text{cm}^{-1}$ . Puncak G umumnya mengacu pada adanya peregangan tangensial ( $E_{2g}$ ) grafit pirolitik dengan orientasi tinggi, sedangkan puncak D menggambarkan atom karbon hibridisasi  $sp^2$  (distorsi kisi) dan D adalah proses hamburan raman orde dua. Rasio dari intensitas puncak D dan G ( $I_D/I_G$ ) dapat digunakan untuk menentukan derajat ketidakteraturan dalam sampel grafena. Selain itu, rasio intensitas puncak 2D dan G ( $I_{2D}/I_G$ ) dapat digunakan untuk menganalisis dan mengevaluasi kualitas dari grafena. Perbedaan rasio  $I_{2D}/I_G$  yang besar dan puncak D yang tidak signifikan menunjukkan tingginya kualitas grafena yang dihasilkan (X. J. Lee et al., 2019).

### 2.8.3 Mikroskop Pemindai Elektron (SEM)

Mikroskop pemindai elektron atau *scanning electron microscopy* (SEM) adalah suatu jenis mikroskop elektron yang dapat menghasilkan gambar sebagai dari hasil interaksi elektron terhadap atom pada permukaan sampel. Interaksi elektron dengan sampel memunculkan beberapa sinyal yang memuat informasi topografi dan komposisi sampel. Permukaan material dipindai menggunakan berkas elektron, dan sinar yang dipantulkan atau dihamburkan, dikumpulkan dan selanjutnya akan ditampilkan pada layar tabung sinar katoda. Interaksi elektron dengan spesimen tidak hanya berfokus pada lapisan permukaan saja tapi juga dengan atom dan molekul di dalam permukaan spesimen, detektor pada SEM berperan untuk mendeteksi lokasi dari emisi elektron dari spesimen. Semua data ini digunakan bersamaan untuk menghasilkan gambar (Gea & Harahap, 2019)

Ada beberapa citra yang dapat dihasilkan SEM sebagai karakteristik suatu spesimen, antara lain:

1. Citra Topografi; berupa ciri-ciri permukaan gelap-terang sebagai hasil dari pemantulan elektron secara langsung dan tidak langsung
2. Citra Komposisi; berupa variasi level warna gelap (abu-abu) dalam sebuah citra yang menunjukkan variasi komposisi kimia didalam spesimen, namun tidak dapat membantu prediksi komposisi secara akurat
3. Citra Kristalografi; berupa informasi orientasi kristal dalam spesimen
4. Citra Morfologi; berupa bentuk dan sebaran ukuran partikel penyusun

spesimen.

Data yang dihasilkan berupa data permukaan atau lapisan pada skala 1 - 20  $\mu\text{m}$  dari permukaan yang berupa citra topologi dengan seluruh puncak, lembah, dan lubang pada permukaannya yang dapat dilakukan dengan perbesaran 100 – 300.000 kali.

#### 2.8.4 Mikroskop Transmisi Elektron

Mikroskop transmisi elektron atau *transmission electron microscopy* (TEM) adalah alat utama untuk mengkarakterisasi bahan berstruktur mikro. Pada kenyataannya, pola difraksi yang diukur dengan metode sinar-X lebih kuantitatif daripada pola difraksi elektron, tetapi elektron memiliki keunggulan yang signifikan dibandingkan sinar-X, di mana elektron dapat dengan mudah difokuskan. Dengan memfokuskan berkas elektron, gambar difraksi dapat diukur hingga jangkauan mikroskop. Mikroskop elektron optik dapat mengambil gambar intensitas elektron yang keluar dari sampel. Misalnya, perubahan intensitas difraksi elektron dari sampel tipis, yang disebut pola difraksi, dapat mengirimkan gambar cacat material seperti dislokasi, antarmuka, dan partikel fase kedua (Gea & Harahap, 2019). Dalam penelitian ini, TEM digunakan untuk mengkonfirmasi distribusi dan dispersi partikel grafena dalam sampel.