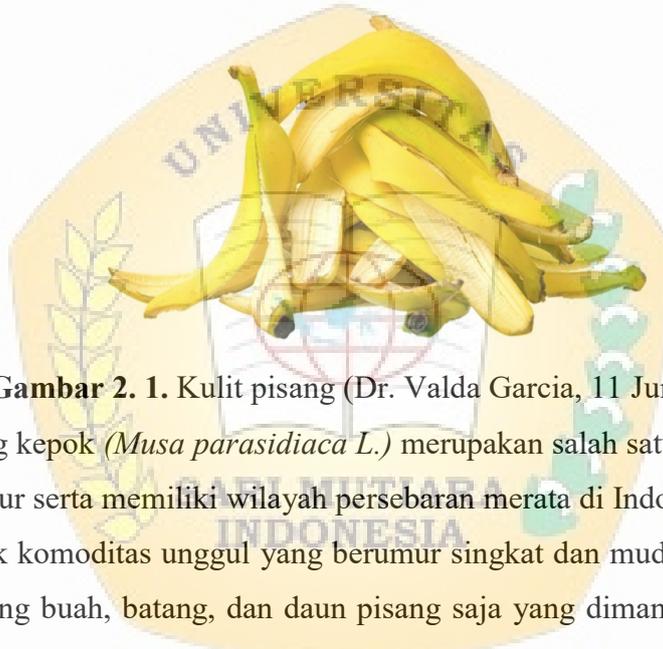


BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kulit Pisang

Pisang adalah tanaman buah berupa herba yang berasal dari kawasan di Asia Tenggara (termasuk Indonesia). Tanaman pisang merupakan tanaman asli daerah Asia Tenggara dengan pusat keanekaragaman utama wilayah Indo-Malaya. Tumbuhan pisang dapat tumbuh di daerah pantai maupun di daerah pegunungan. Hampir semua wilayah yang ada di Indonesia dapat ditumbuhi tumbuhan dan pisang. Gambar 2.1 merupakan representasi kulit pisang.



Gambar 2. 1. Kulit pisang (Dr. Valda Garcia, 11 Juni 2020)

Pisang kepok (*Musa parasidiaca L.*) merupakan salah satu jenis pisang yang tumbuh subur serta memiliki wilayah persebaran merata di Indonesia. Jenis pisang ini termasuk komoditas unggul yang berumur singkat dan mudah dipanen. Hanya bagian daging buah, batang, dan daun pisang saja yang dimanfaatkan, sementara bagian kulit pisang tidak dimanfaatkan dan hanya menjadi limbah organik (Novianti dan Setyowati, 2016). Kulit pisang merupakan limbah organik yang memiliki rantai karbon cenderung pendek sehingga mudah untuk diuraikan oleh mikroorganisme. Selama ini kulit pisang sering dimanfaatkan untuk pakan ternak maupun dibuat menjadi pupuk organik (Masese dan Yatim, 2017).

Kulit pisang kepok tersusun atas hemiselulosa 59,57%, selulosa 14,25%, lignin 12,82%, dan abu 13,36% (Kabenge dkk., 2018). Selulosa adalah polimer sederhana yang membentuk ikatan kimia dengan permukaan rantai seragam dan memiliki lapisan pori. Dengan adanya pori, selulosa dapat menyerap bahan-bahan yang berbahaya bagi lingkungan. Gugus fungsional yang terdapat pada senyawa

organik kulit pisang yang berperan sebagai adsorben yaitu -OH, -COO, dan -NH (Wardani dkk., 2018).

Kulit pisang merupakan bahan buangan (limbah buah pisang) yang cukup banyak jumlahnya. Menurut Basse (2000) jumlah kulit pisang adalah 1/3 dari buah pisang yang belum dikupas. Produksi pisang di Indonesia pada tahun 2011 mencapai 6.189.052 ton, sedangkan produksi pisang di Lampung pada tahun 2011 mencapai 687.761 Ton (BPS, 2012). Dilihat dari jumlah produksi pisang di Indonesia maka jumlah kulit pisang mencapai 2.063.017 ton/tahun. Pada umumnya kulit pisang belum dimanfaatkan secara nyata dan hanya dibuang sebagai limbah organik saja atau digunakan sebagai makanan ternak seperti kambing, sapi, dan kerbau. Jumlah kulit pisang yang cukup banyak akan memiliki nilai jual yang menguntungkan apabila bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku makanan (Susanti, 2006).

Kulit pisang telah terbukti mengandung banyak nutrisi dan mineral. Di dalam kulit pisang terdapat protein kasar sebesar $1,95 \pm 0,14\%$, lemak kasar $5,93 \pm 0,13\%$, dan karbohidrat $11,82 \pm 2,17\%$. Komposisi mineral kulit pisang adalah fosfor, besi, kalsium, magnesium, dan natrium. seng, tembaga, kalium, dan mangan (konsentrasi yang sangat rendah seperti mg/100 g).

Kulit pisang biasanya diolah ke dalam bidang pangan atau menjadi senyawa kimia seperti pektin dan bioetanol. Menjadi suatu keunggulan jika kulit pisang mampu berperan dalam bidang penghematan energi. Hal ini dikarenakan kulit pisang mengandung 43,7% unsur karbon yang mendukung untuk menghasilkan karbon aktif sebagai bahan elektroda superkapasitor. Nilai hasil karbonisasi yang dimiliki kulit pisang sekitar 96,56% (Chairul dkk, 2015). Proses karbonisasi bertujuan memperluas ukuran pori. Hasil dari proses karbonisasi disebut dengan arang aktif atau karbon aktif.

Tabel 2. 1 Kandungan senyawa dalam kulit pisang (Sumber : Anonim, 1978).

Komponen	Jumlah
Air	69,80%
Karbohidrat	18,50%
Lemak	2,11%
Protein	0,32%
Kalsium	715 mg/ 100 gr
Pospor	117 mg/ 100 gr
Besi	0,6 mg / 100 gr

Tabel 2. 2 Komposisi kimia kulit pisang kepok (Essien et al. 2005; (Lee, Yeom, Ha, & Bae, 2010); Emaga et al. 2007).

Unsur	Komposisi (%)
Kadar Air	11,09
Kadar Abu	4,82
Kadar Lemak	16,47
Kadar Protein	5,99
Kadar Serat Kasar	20,96
Kadar Karbohidrat	40,74
Kadar Selulosa	17,04
Kadar Lignin	15,36

2.2. Komposisi Gizi Kulit Pisang

Pemanfaatan kulit buah dalam suplementasi nutrisi terutama bergantung pada komposisi kimianya. Serupa dengan pulpnya, kulit pisang mengandung kandungan organik yang kaya (lipid, serat, karbohidrat dan protein) sebagai sumber utama dari banyak senyawa bioaktif dengan berbagai fungsi.

Tabel 2. 3 Komponen gizi kulit pisang

Komponen Gizi	Konten Rata-rata, % DM
Pati	3.5 – 6.3
Serat Makanan	47 – 53
Lemak Mentahan	2.24 – 11.6
Protein Mentah	5.5 – 7.87
Abu	9 – 11
Karbohidrat	59,51 – 78,56

2.2.1 Asam Lemak

Asam lemak esensial (EFA) telah dianggap sebagai nutraceuticals dan makanan fungsional. EFA berfungsi sebagai fondasi untuk struktural komponen sel, jaringan dan organ serta sintesis beberapa senyawa biologis aktif. Pentingnya EFA dalam banyak proses metabolisme telah didokumentasikan dalam berbagai studi penelitian (Gupta dan Houston, 2017). EFA mungkin memiliki manfaat kardioprotektif karena sifat antiaterogenik, antitrombotik, antiinflamasi, dan antiaritmia. Selain itu, EFA dapat mengurangi risiko penyakit serius, seperti penyakit kardiovaskular (CVD), kanker, osteoporosis, diabetes, dan tindakan promosi kesehatan lainnya, karena interaksi kompleksnya pada konsentrasi lipoprotein dan fluiditas membran biologis. Tabel 2.4 menunjukkan EFA yang terkandung dalam kulit pisang matang dan mentah dari beberapa varietas.

Tabel 2. 4 Asam lemak esensial pada kulit pisang (Khawas & Emaga dkk.2016).

Kulit pisang	Kuliner Kulit Pisang (<i>Musa ABB</i>) (%)		Clair Prancis (FC) (%)		Grande Nine (GN) (%)	
Tahap kematangan kulit	1	5	1	7	1	7
Asam lemak jenuh						
Asam laurat (12:0)	0,8	0,4	0,8	-	1,0	0,7
Asam miristat (14:0)	0,2	0,1	5,2	0,9	4,3	4,6
Asam palmitat (16:0)	3,3	2,7	38,1	37,2	38,2	41,5
Asam stearat (C18:0)	3,0	2,6	3,7	4,5	5,3	3,4
Asam lemak tak jenuh tunggal						
Asam oleat (C18:1)	5,3	4,8	4,1	6,1		
Asam lemak tak jenuh ganda						
Linoleic acid (18:3n-3)	2,1	2,0	20,2	29,0	21,1	21,2
Asam linolenat (18:2n-6)	2,3	2,0	23,9	22,2	22,7	23,9

2.2.1 Asam Amino

Asam amino adalah blok bangunan utama protein dan tulang punggung nitrogen untuk neurotransmitter dan hormon. Kulit pisang dapat dianggap sebagai sumber asam amino yang baik karena sebagian besar dari 18 asam amino (sembilan asam amino esensial dan sembilan asam amino non-esensial) terdapat dalam kulit pisang pada berbagai tingkat perkembangan (Khawas & Deka, 2016; Emaga et al., 2007).

Asam amino esensial seperti leusin dan lisin berlimpah di kulit pisang raja. Konsumsi leusin makanan telah disarankan untuk memiliki manfaat kesehatan bersih dalam jangka panjang, termasuk pengurangan kenaikan berat badan akibat diet, hiperglikemia dan hiperkolesterolemia.

Tabel 2. 5 Asam amino dalam kulit pisang (Tsado et al., 2021)

Asam amino	Kulit pisang kepok (g/100 g protein)	Kulit pisang (g/100 g protein)
Leusin	7,76 ± 0,05	0,01 ± 0,00
Lisin	7,90 ± 0,03	6,71 ± 0,06
Isoleusin	5,24 ± 0,05	8,06 ± 0,04
Fenilalanin	4,79 ± 0,06	4,98 ± 0,07
Norleucine	0,02 ± 0,00	5,23 ± 0,06
Tritofan	0,58 ± 0,03	0,01 ± 0,00
Valin	5,67 ± 0,01	0,52 ± 0,02
Metionin	1,60 ± 0,03	5,79 ± 0,03
Prolin	3,25 ± 0,02	1,71 ± 0,02
Arginin	4,99 ± 0,03	3,25 ± 0,05
Tirosin	3,96 ± 0,06	5,50 ± 0,03
Histidin	2,11 ± 0,04	3,96 ± 0,01
Sistin	0,85 ± 0,02	2,24 ± 0,03
Alanin	6,22 ± 0,05	0,85 ± 0,04
Asam glutamat	12,72 ± 0,02	5,31 ± 0,01
Glisin	3,94 ± 0,01	13,02 ± 0,82
Treonin	5,38 ± 0,06	6,10 ± 0,03

Serin	4,05 ± 0,04	4,59 ± 0,04
Asam aspartat	8,68 ± 0,02	9,06 ± 0,05
Total	89,71 ± 5,45	86,71 ± 3,02

2.3 Karbon Aktif

Arang aktif atau dikenal juga dengan nama karbon aktif berasal dari proses pemanasan pada suhu tinggi. Luas permukaan yang dimiliki oleh karbon aktif berkisar 300–2000 m²/g. Luas permukaan dan ukuran pori-pori dapat dimodifikasi. Proses pengubahan karbon mulai dari yang memiliki daya serap rendah menuju ke daya serap yang lebih tinggi dinamakan proses aktivasi (Rosita, 2013). Melalui aktivasi fisika dan kimia, maka luas permukaan dan ukuran pori-pori menjadi bervariasi. Aktivasi fisika dengan cara meletakkan karbon pada suhu tinggi membuat karbon memiliki ukuran pori dan luas permukaan yang semakin meningkat (Zhou, 2018). Peningkatan luas permukaan dan ukuran pori dikarenakan pada saat proses aktivasi terbentuk poripori baru karena adanya pengikisan suatu atom karbon setelah proses pemanasan (Ramadhana, 2019).

Adapula aktivasi secara kimia dilakukan dengan penambahan bahan kimia, misalnya FeCl₃ yang telah dilakukan oleh Bedia (2020). Berbeda halnya dengan Sa'diyah (2020) yang menganalisa karbon aktif hasil aktivasi menggunakan larutan basa kuat (NaOH) dan asam kuat (H₂SO₄) pada konsentrasi 2N, selama 5 jam. Karbon aktif telah banyak diaplikasikan sebagai penyerap. Beberapa proses penyerapan yang menggunakan karbon aktif sebagai media penyerap diantaranya menyerap ion besi, logam berat serta pewarna yang ada pada limbah buangan air (Masriatini, 2018). Banyak contoh biomassa yang dapat dijadikan karbon aktif, kulit pisang kepok merupakan salah satu biomassa yang berpotensi dijadikan karbon aktif. Selain sebagai penyerap, karbon aktif yang dihasilkan dari kulit pisang juga dapat digunakan sebagai kapasitor elektrokimia.

Karbon aktif merupakan material karbon amorf yang berasal dari biomassa melalui proses termal atau termokimia dan memiliki tingkat porositas tinggi serta adanya jarak antar partikel pada luas permukaan (Ukanwa dkk., 2019). Menurut Megiyo dkk. (2018), karbon aktif adalah padatan amorf yang diproduksi dari

bahan baku yang mengandung karbon dan memiliki permukaan dalam (internal surface), serta memiliki kemampuan untuk menyerap material tertentu. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sifat adsorpsi karbon aktif yaitu temperatur, ukuran partikel impuritas, derajat keasaman, dan waktu kontak.

Karbon aktif dapat diproduksi dari berbagai material yang mengandung karbon, namun sifat material tersebut akan mempengaruhi produk yang dihasilkan. Untuk meminimalkan biaya bahan baku dan memanfaatkan limbah organik, maka bahan baku karbon aktif menggunakan limbah yang berasal dari agroindustri maupun agrokultural. Limbah yang biasa digunakan sebagai bahan baku karbon aktif yaitu ampas tebu, tempurung kelapa, ampas tahu, kulit pisang, sekam padi, tongkol jagung dan lainnya (Bonassa dkk., 2016).

Tahap persiapan dari produksi karbon aktif terbagi menjadi dua, yaitu tahap karbonisasi atau pirolisis dan tahap aktivasi. Proses aktivasi material karbon dapat dilakukan secara fisik, kimia ataupun kombinasi dari keduanya. Persiapan fisika harus melewati dua proses yaitu karbonisasi dan aktivasi sampel terkarbonisasi, sementara persiapan secara kimia hanya satu langkah proses karena karbonisasi dan aktivasi dilakukan secara bersamaan. Sifat karbon aktif dapat dipengaruhi oleh aktivator, kondisi karbonisasi, dan proses aktivasi (Ukanwa dkk., 2019).

Tabel 2. 6 Sifat-sifat karbon aktif

Sifat Fisis	Sifat Kimia
Warna : Hitam	Tidak larut dalam air dan asam, namun larut dalam alkali, misalnya NaOH dan KOH
Bentuk Kristalin : Amorf	
Massa Molekul : 12,1 g/mol	
Massa Jenis : 1,8-2,1 g/cm	
Titik Leleh : > 3500°C	
Titik Didih : 4200°C	

2.4 Karbonisasi

Karbonisasi adalah proses pembakaran bahan organik untuk dikonversi menjadi arang pada temperatur tinggi dan kadar oksigen rendah. Proses

karbonisasi terjadi pada temperatur dibawah 800°C . Sebagian besar unsur-unsur non karbon seperti oksigen, nitrogen, dan hidrogen akan mudah menguap dari bahan baku karbon aktif ketika proses karbonisasi. Karbon aktif memiliki struktur mikrokristalin yang mulai terbentuk karena adanya temperatur tinggi. Struktur 6 mikrokristalin ini tersusun secara tidak teratur dan memiliki pori (Ukanwa dkk., 2019).

Karbonisasi adalah proses pembentukan material dengan meningkatkan kandungan karbon dari material organik (G.Savage, 1992: 26). terdapat 3 komponen utama yang dihasilkan pada proses ini, yaitu arang atau karbon, tar dan gas. Tar akan banyak terbentuk pada suhu sekitar 280°C demikian juga dengan gas-gas seperti hidrogen, metana dan hidrokarbon lainnya seperti fenol, asam asetat, ammonia, aseton. Pada range suhu diatas 320°C - 450°C mengakibatkan zat-zat volatile tersebut semakin sedikit sehingga pembentukan karbon atau arang semakin banyak. Menurut Hasseler (1963) karbonisasi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: waktu karbonisasi, suhu pemanasan, kadar air, dan ukuran bahan.

Pirolisis yaitu pemanasan pada kondisi bebas oksigen. Dalam proses pirolisis umumnya adalah mendegradasi suatu senyawa-senyawa yang terdapat dalam suatu material untuk memecahnya menjadi senyawa-senyawa yang terdapat dalam suatu material untuk memecahnya menjadi senyawa-senyawa parsial. Proses pirolisis dapat dilakukan dengan reaktor pirolisis, *furnance*, dan *microwave*. Dalam suatu penelitian yang sudah sering dilakukan adalah bertujuan untuk mengambil senyawa hidrokarbon dalam suatu bentuk ikatan plastik. Senyawa turunan hidrokarbon mempunyai kegunaan yang sangat banyak dan mencakup semua bidang kehidupan. Hidrokarbon (minyak dan gas) mayoritas digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi dan untuk memanaskan ruangan (Sukiran, 2009).

Pada proses pirolisis menghasilkan arang atau karbon dan gas, secara umum gas yang terbentuk antara lain H_2 , CO , H_2O , CH_4 . Pirolisis ekstrim yang hanya meninggalkan karbon sebagai residu, disebut karbonisasi. Pirolisis biasanya merupakan reaksi kimia pertama yang terjadi dalam terbakarnya banyak bahan

bakar organik padat, seperti kayu, kain, dan kertas, dan juga beberapa jenis plastik. Dalam api pembakaran kayu, api terlihat bukan karena pembakaran kayu itu sendiri, melainkan dari gas yang dilepaskan dari proses pirolisis tersebut (Shin, 2008).

2.5 Aktivasi

Aktivasi adalah proses lanjutan pada produksi karbon aktif secara fisika maupun kimia yang berfungsi untuk memperbesar pori pada material hasil karbonisasi. Proses aktivasi secara fisika dilakukan dengan mengkontakkan material karbon dengan udara, CO_2 , ataupun uap pada temperatur $800\text{--}900^\circ\text{C}$, sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan dengan mereaksikan material karbon dengan aktivator berupa ZnCl_2 , NaOH , KOH , H_3PO_4 , H_2SO_4 , dan lainnya (Hui dan Zaini, 2015).

Proses aktivasi secara kimia lebih sering digunakan karena proses aktivasi lebih cepat, temperatur aktivasi yang lebih rendah, karbon aktif yang dihasilkan memiliki luas permukaan yang lebih besar dan pori yang lebih kecil (Ahmed dkk., 2019).

Komponen utama karbon aktif tersusun atas $88\%\text{C}$, $0,5\%\text{N}$, $0,5\%\text{H}$, $1\%\text{S}$, $6\text{--}7\%\text{O}$, dan sisanya abu anorganik. Proses aktivasi dan bahan baku karbon aktif akan mempengaruhi jumlah komponen utama penyusun karbon aktif. Selama proses aktivasi, struktur mikrokristalin mengalami pemecahan ikatan hidrokarbon sehingga karbon aktif memiliki luas permukaan pori yang lebih besar (Ukanwa dkk., 2019).

Suhu aktivasi karbon aktif sangat mempengaruhi karbon aktif yang dihasilkan. Pada penelitian Mopoung (2008), variabel suhu yang digunakan yaitu 500°C , 600°C , dan 700°C . Karbon aktif dengan hasil terbaik dihasilkan pada suhu 700°C , sementara pada penelitian ini variabel suhu yang digunakan yaitu 650°C dan 700°C . Suhu 650°C belum diteliti pada penelitian sebelumnya, maka diharapkan dapat mengetahui hasil karbon aktif pada suhu 650°C .

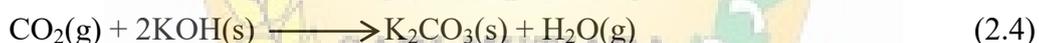
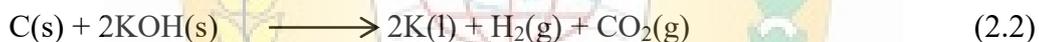
2.5.1 Kalium Hidroksida

Kalium hidroksida (KOH) merupakan senyawa anorganik yang bersifat basa kuat dengan berat molekul 56,1 g/mol. KOH bertindak sebagai agen dehidrasi ketika proses karbonisasi yang bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam bahan baku karbon aktif (prekursor). Berikut merupakan reaksi yang terjadi ketika proses karbonisasi :



Selama proses karbonisasi, prekursor dipanaskan pada temperatur tinggi sehingga prekursor akan terkonversi menjadi arang, tar, dan gas. Namun, terbentuk tar yang akan menyumbat pori dari karbon aktif. Maka dari itu, material harus diaktivasi yang bertujuan untuk mengurangi kandungan tar pada karbon aktif sehingga memperbesar luas permukaan karbon aktif dan daya serap adsorpsi akan meningkat (Hui dan Zaini, 2015).

Berikut merupakan reaksi proses aktivasi :



Rasio antara prekursor dengan aktivator mempengaruhi karbon aktif yang dihasilkan. Pada penelitian Mopoung (2008) dengan prekursor kulit pisang dan aktivator KOH, variabel yang digunakan 1:2, 1:3, 1:4, dan 1:5. Pori karbon aktif yang bagus dihasilkan pada rasio 1:2, 1:3, dan 1:4, sementara pada rasio 1:5 pori karbon aktif rusak dan tidak berbentuk sehingga pada penelitian ini dipilih rasio 1:3,5 dengan harapan pori karbon aktif yang dihasilkan lebih baik pada penelitian sebelumnya.

2.6 Kapasitor

Kapasitor atau kondensator ditemukan oleh Michael Faraday (1791-1867) pada hakikatnya adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi/ muatan listrik di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik atau komponen listrik yang mampu menyimpan muatan listrik

yang dibentuk oleh permukaan (piringan atau kepingan) yang berhubungan yang dipisahkan oleh suatu penyekat.

Ketika kapasitor dihubungkan pada sebuah sumber tegangan maka piringan atau kepingan terisi elektron. Bila elektron berpisah dari satu plat ke plat lain maka muatan elektron akan terdapat diantara kedua kepingan. Muatan ini disebabkan oleh muatan positif pada plat yang kehilangan elektron dan muatan negatif pada plat yang memperoleh elektron.

Kapasitor adalah komponen elektronika yang mempunyai kemampuan menyimpan elektron-elektron selama waktu yang tertentu atau komponen elektronika yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik yang terdiri dari dua konduktor dan di pisahkan oleh bahan penyekat (bahan dielektrik) tiap konduktor di sebut keping. Seperti juga halnya resistor, kapasitor adalah termasuk salah satu komponen pasif yang banyak digunakan dalam membuat rangkaian elektronika. Kapasitor berbeda dengan akumulator dalam menyimpan muatan listrik terutama tidak terjadi perubahan kimia pada bahan kapasitor. Pengertian lain Kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan dan melepaskan muatan listrik. Kapasitor atau yang sering disebut kondensator merupakan komponen listrik yang dibuat sedemikian rupa sehingga mampu menyimpan muatan listrik.

Prinsip sebuah kapasitor pada umumnya sama halnya dengan resistor yang juga termasuk dalam kelompok komponen pasif, yaitu jenis komponen yang bekerja tanpa memerlukan arus panjar. Kapasitor terdiri atas dua konduktor (lempeng logam) yang dipisahkan oleh bahan penyekat (isolator). Isolator penyekat ini sering disebut sebagai bahan (zat) dielektrik.

Zat dielektrik yang digunakan untuk menyekat kedua penghantar komponen tersebut dapat digunakan untuk membedakan jenis kapasitor. Beberapa pengertian kapasitor yang menggunakan bahan dielektrik antara lain berupa kertas, mika, plastik cairan dan lain sebagainya.

Tabel 2. 7 Karakteristik kapasitor dan superkapasitor

Karakteristik	Kapasitor	Superkapasitor
Konstruksi	Kapasitor adalah perangkat dua terminal logam (Elektroda) dengan media dielektrik di antaranya. Energi listrik disimpan dalam medan elektrostatik di dalamnya.	Superkapasitor adalah jenis kapasitor polar dan larutan elektrolitik digunakan sebagai pengganti dielektrik. Karbon aktif digunakan pada elektroda untuk memperbesar area.
Defenisi	Kapasitor menyimpan energi potensial dalam bentuk medan listrik (secara elektrostatik) dan melepaskan ke sirkuit sebagai energi listrik.	Superkapasitor terletak diantara kapasitor dan juga baterai. Juga dikenal sebagai super cap, double layer, capasitor atau Ultra-kapasitor. Superkapasitor memiliki kapasitansi yang sangat tinggi dan peringkat tegangan rendah dibandingkan dengan kapasitor normal.
Working	Kapasitor menyimpan energi dalam bentuk medan listrik.	Superkapasitor menyimpan energi antara ion-ion elektrolit dan elektroda dalam dua lapisan muatan.
Types	Elektrolit kapasitor, Film kapasitor, Tantalum dan Integrated Kapasitor.	Electrostatic Double-Layer Capacitor (EDLC) Electrochemical Pseudocapacitor, Hybrid Supercapacitor.
Bahan Dielektrik	Aluminium oksida, film polimer atau keramik digunakan dalam kapasitor sebagai media dielektrik di antara elektroda.	Dalam superkapasitor karbon aktif digunakan sebagai media ketika tegangan diterapkan, medan listrik ganda dihasilkan yang bertindak seperti media dielektrik
Charge/ Discharge	Charging dan discharging kapasitor konvensional	Supercapacitor dapat mengirimkan muatan lebih cepat

Time	adalah normal dibandingkan dengan superkapasitor yaitu 10 ⁻³ -10 ⁻⁶ detik.	dari pada baterai dan menyimpan muatan lebih dari kapasitor elektrolitik per unit volume.
Charge/	>0.95	0.85 – 0.98
Discharge Efficiency		
Operating Temperature	-20 to 650C (-4 to 1490F)	-40 to 650C (-4 to 1490F)
Energi	<0.1 Wh/Kg	1-10 Wh/Kg
Energi Density	Low	Very High
Specific Power	Upto 100,000 Wh/Kg	Upto 10,000 Wh/Kg
Cost	Low	High

2.6.1 Kapasitor Elektrokimia

Kapasitor elektrokimia (superkapasitor), sel bahan bakar dan baterai merupakan perangkat penyimpanan energi sebagai elektroda karbon (Syarif, 2013). Superkapasitor termasuk salah satu sistem yang dapat menyimpan energi secara efisien melalui lapisan ganda listrik dan reaksi *faradic* (Surawan, 2019). Kapasitor elektrokimia merupakan teknologi penyimpanan energi listrik yang menjanjikan di masa depan. Penyimpanan energi dengan densitas tinggi dan siklus yang panjang merupakan salah satu jenis dari kapasitor elektrokimia (Salmawati, 2016). Superkapasitor memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan penyimpanan energi lain seperti baterai. Selain konstruksi dan prinsip yang sederhana, superkapasitor juga memiliki kerapatan energi yang tinggi, serta kemampuan menyimpan energi yang besar. Daya dan kerapatan energi yang dihasilkan oleh superkapasitor dipengaruhi oleh metoda aktivasi, jenis aktivator, jenis elektrolit, proses karbonisasi atau pirolisis yang digunakan (Kurniawati, 2020). Kapasitas penyimpanan energi dipengaruhi oleh luas

elektroda, yang mana semakin luas elektroda, maka kapasitas penyimpanan energi semakin besar (Satriady, 2016).

Kapasitor elektrokimia memiliki siklus yang panjang pada penyimpanan energi tanpa mengalami degradasi. Hal ini dikarenakan pada kapasitor elektrokimia tidak terjadi reaksi pertukaran ion yang pada umumnya terjadi di baterai konvensional.

2.6.2 Modifikasi Karbon Aktif sebagai Superkapasitor

Luas permukaan serta ukuran pori karbon aktif mendukung untuk media penyimpanan energi. Karbon aktif yang digunakan sebagai superkapasitor telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Beberapa jenis karbon aktif dari biomassa untuk superkapasitor sudah terpublikasi diantaranya, kulit kacang, kulit durian, limbah daun teh, kayu apu dan kulit pisang (Rojas, 2021; Febriyanto, 2019; Kurniawati, 2020; Syarif, 2018; Salmawati, 2016; Ramadhana, 2019). Masing-masing biomassa sebagai superkapasitor pasti memiliki kapasitansi yang berbeda. Hanya saja dalam upaya meningkatkan kapasitansi dapat dilakukan dengan memodifikasi karbon aktif. Modifikasi ini dilakukan setelah proses aktivasi fisika dan kimia. Tujuan memodifikasi karbon aktif yaitu agar gugus yang aktif dapat bertambah. Salmawati (2016) melakukan analisa terhadap modifikasi karbon aktif dengan menggunakan asam nitrat, asam sulfat dan hidrogen peroksida. Hasil yang diperoleh bahwa karbon aktif hasil modifikasi dengan asam nitrat memiliki potensi terbaik sebagai superkapasitor. Upaya lain agar meningkatkan kemampuan karbon aktif sebagai superkapasitor dilakukan modifikasi pada ukuran karbon aktif yang nantinya akan berpengaruh terhadap ukuran pori karbon aktif. Hal ini dikarenakan elektroda semakin meningkat pada permukaan yang luas. Yang mana sebenarnya karbon aktif pada aplikasi bahan elektroda superkapasitor, harus memiliki pori-pori yang berukuran skala nanometer (Salmawati, 2016). Modifikasi luas permukaan ini telah dilakukan oleh Ramadhana (2019). Tiga jenis ukuran karbon aktif dianalisa, yaitu ukuran 100 *mesh*, 170 *mesh* dan 230 *mesh*. Kapasitansi tertinggi sebesar 0,00030 F/mg dihasilkan oleh elektroda ukuran partikel 230 *mesh*.

Berdasarkan penelitian terdahulu, maka *state of the art* pada penelitian ini mengenai modifikasi penambahan agen kimia dan modifikasi luas permukaan karbon aktif. Peneliti di sini ingin menganalisa mengenai kaitannya antara kedua modifikasi tersebut. Yang mana, belum ada informasi yang terpublikasi melalui riset yang sudah dilakukan sebelumnya terkait hal tersebut. Sehingga nantinya melalui riset ini akan diperoleh informasi keterkaitan n agen kimia dengan luas permukaan karbon aktif.

2.7 Superkapasitor

Superkapasitor adalah kapasitor elektrokimia yang memiliki rapat energi yang tinggi yaitu antara 106 sampai 109 kali lipat dibandingkan kapasitor biasa. Superkapasitor biasa juga disebut kapasitor lapisan ganda atau Electro-chemical Double Layer Capacitor (EDLC). EDLC adalah kapasitor elektrokimia yang energi penyimpanan dominannya dicapai dengan dua lapisan kapasitansi, dimana proses penyimpanan energi oleh muatan berbeda yang ada pada batas antara elektroda dan elektrolit. Superkapasitor memiliki kelebihan jumlah siklus charging yang relatif banyak (>100000 siklus), pengaruh struktur pori terhadap kerapatan energi yang tinggi, kemampuan menyimpan energi yang besar, prinsip yang sederhana dan konstruksi yang mudah. Dari sisi keramahan terhadap pengguna, superkapasitor sangat aman karena tidak ada bahan korosif dan toksik

Superkapasitor memiliki konstruksi double layer yang terdiri dari 2 elektroda, elektrolit, pemisah (separator) dan pengumpul arus (current collector). Elektroda terdiri dari bahan semikonduktor seperti karbon. Elektrolit dapat berupa cairan atau non-cairan tergantung pembuatan superkapasitornya, sedangkan, separator dibuat dari membran yang berfungsi untuk melewatkan ion-ion yang saling bertukar dari elektroda positif dan negatif. Superkapasitor memiliki fisik yang hampir sama dengan baterai. Namun, superkapasitor memiliki konstruksi double layer yang terdiri dari dua elektroda karbon yang terbenam dalam elektrolit organik.

Prinsip kerja superkapasitor berdasarkan pada ion muatan listrik. Ion-ion tersebut berasal dari elektrolit yang terionisasi yang berada diantara dua elektroda.

Ion-ion pada elektroda terdiri dari ion positif (kation) dan ion negatif (anion). Mekanisme penyerapan dan pelepasan ion pada kedua elektroda berperan dalam pengisian dan pengosongan superkapasitor. Potensial yang diberikan pada elektroda yang saling berhadapan akan menyebabkan ion tertarik ke permukaan kedua elektroda tersebut sehingga terjadi proses pengisian (charging).

Elektroda pada superkapasitor menggunakan material karbon, sedangkan kapasitor biasa menggunakan logam. Efek kapasitansi superkapasitor muncul akibat dua lapis substrat karbon yang terpisah pada jarak sangat kecil pada skala nanometer.

Tabel 2. 8 Karakteristik superkapasitor

Keterangan	Superkapasitor	Lithium-ion
Waktu pengisian	1 – 10 detik	10 – 60 menit
Siklus pengisian	1 juta – 300.000	500
Voltasi sel	2,3 – 2,75 V	3,6 – 3,7 V
Energi spesifik (Wh/kg)	5	100 – 200
Daya spesifik (Wh/kg)	Min 10.000	1.000 – 3.000
Suhu pengisian	-40 – 65 °C	0 – 45 °C
Suhu pengosongan	-40 – 65 °C	-20 – 60 °C

Tabel 2. 9 Penggunaan kapasitor dan superkapasitor

Kapasitor	Superkapasitor
Smoothing power supply output	Cordless electric screwdriver, yang dapat diisi dalam beberapa menit
Koreksi faktor daya	Flash LED di kamera digital
Filter frekuensi, high pass, filter low pass	Untuk menstabilkan catu daya dilaptop dan perangkat genggam, dll
Coupling dan Decoupling sinyal	Uninterrupted power supply (UPS) di mana ia menggantikan bank kapasitor elektrolit
Motor Starter	Superkapasitor digunakan dalam IC, RAM, CMOS, Jam dan Komputer mikro, dll
Snubber (Surge absorber dan Noise filter)	-
Osilator	-

2.8 Karakterisasi

2.8.1 Fourier Transform Infra-Red (FTIR)

Salah satu hasil kemajuan instrumentasi IR adalah pemrosesan data seperti *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR). Teknik ini memberikan informasi dalam hal kimia, seperti struktur dan konformasional pada polimer dan polipaduan, perubahan induksi tekanan dan reaksi kimia. Dalam teknik ini padatan diuji dengan cara merefleksikan sinar infra merah yang melalui tempat kristal sehingga terjadi kontak dengan permukaan cuplikan. Degradasi atau induksi oleh oksidasi, panas, maupun cahaya, dapat diikuti dengan cepat melalui infra merah.

Sensivitas FTIR adalah 80-200 kali lebih tinggi dari instrumentasi dispresi standar karena resolusinya lebih tinggi (Kroschwitz, 1990). FTIR merupakan salah satu alat yang digunakan untuk menganalisa senyawa kimia. Spektra inframerah suatu senyawa dapat memberikan gambaran dan struktur molekul senyawa tersebut. Spektra IR dapat dihasilkan dengan mengukur absorpsi radiasi, refleksi atau emisi di daerah IR.

FTIR hadir dalam beragam jenis model dan bentuk. Secara spesifik, tiap model FTIR tentu punya cara kerja masing-masing. Namun, secara umum, prinsip kerja FTIR tidak jauh berbeda dari satu sama lain. Hal utama yang menjadi prinsip kerja FTIR adalah interaksi antara materi dan energi.

Ketika FTIR digunakan, inframerah akan melewati celah ke sampel. Celah ini berfungsi sebagai pengontrol jumlah energi yang akan diberikan kepada sampel. Sampel kemudian menyerap beberapa inframerah yang masuk, sedangkan inframerah lain yang tidak terserap akan dipindah melalui permukaan sampel. Tujuannya agar sinar inframerah tersebut bisa lolos hingga kedetektor. Nah, sinyal yang terukur lalu dikirim ke komputer untuk kemudian direkam.

Spektra yang dihasilkan bisa digunakan untuk analisis kualitatif untuk mengetahui ada tidaknya suatu gugus fungsional tertentu. Pembacaan spektra infra merah ini bisa dilakukan pada daerah bilangan gelombang $650\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ (Kusumastuti 2011). Bila frekuensi elektromagnetik infra merah yang dilewatkan pada suatu molekul sama dengan frekuensi meregang atau menekuk ikatan, maka energi tersebut akan diserap oleh molekul tersebut.

2.8.2 Scanning Electron Miroskop (SEM)

Scanning Electron Miroskop (SEM) adalah peralatan untuk menguji atau melihat struktur permukaan sampel dengan perbesaran sampai dengan 1.000.000 kali. Peralatan ini memiliki 2 modus operasional, Low Vacuum (untuk sampel non konduktif) dan High Vacuum (untuk sampel konduktif). Alat ini dilengkapi EDX (Energy Dispersive X-Ray) yaitu alat yang dapat digunakan untuk menguji kandungan unsur pada bahan yang dilihat struktur permukaannya.

Prinsip kerja dari SEM, sebuah pistol elektron akan memproduksi sinar elektron, kemudian elektron tersebut dipercepat oleh anoda, setelah itu lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel, elektron telah fokus tadi memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai, ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT) (Farid. 2017).

Prinsip kerja SEM adalah menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi. Permukaan benda yang dikenai berkas elektron akan memantulkan kembali berkas tersebut atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah, tetapi ada satu arah dimana berkas dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor di dalam SEM mendeteksi elektron yang dipantulkan dan menentukan lokasi berkas yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Arah tersebut memberikan informasi profil permukaan benda seperti seberapa landai dan kemana arah kemiringan.

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 elektro 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.

2.8.3 Spektroskopi Raman

Spektroskopi Raman adalah proses hamburan cahaya inelastis yang memungkinkan untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi struktur molekul dari gas ke fase padat, dari amorf ke kristal. Itu dibuat oleh dipol listrik yang berfluktuasi yang disebabkan oleh berkas cahaya yang datang dan oleh eksitasi elementer dari media yang tersebar. Misalnya, ro-vibrasi molekul bebas, fonon dalam kristal, pengotor dan mode getaran lokal. Dalam ilmu material, ini digunakan secara rutin, sejak tahun 1970-an, untuk mengkarakterisasi bahan berbasis karbon, mulai dari karbon yang terorganisasi dengan sangat baik seperti empat berlian terkoordinasi ketiga karbon aromatik terkoordinasi seperti graphene, nanotube, dan nanoribbons, down menjadi karbon amorf (Merlen et al., 2017).

Spektroskopi Raman merupakan suatu teknik spektroskopi yang digunakan untuk mengamati metode vibrasional, rotasional, dan mode frekuensi rendah lainnya dalam suatu sistem (Y. S. Li. & Church, 2014). Spektroskopi Raman akan menghasilkan suatu informasi berupa grafik, dimana grafik tersebut terdapat nilai intensitas yang bisa dijadikan sebagai pendeteksi molekul (Vaskova, 2011).

Raman merupakan teknik pembiasan sinar yang memiliki berbagai keunggulan dalam penggunaannya. Dalam spektrum Raman tidak ada dua molekul yang memberikan spektrum yang benar – benar sama dan intensitas biasan sinar proporsional dengan jumlah senyawa yang ada pada sampel. Maka dari itu spektrum Raman dapat digunakan sebagai informasi kualitatif dan kuantitatif sampel, melalui interpretasi spektra, pencocokan dengan library.

Biasan Raman merupakan salah satu teknik pembiasan yang digunakan untuk identifikasi molekul. Prinsip biasan Raman yaitu sumber sinar dengan frekuensi tunggal berinteraksi dengan molekul dan mengubah awan elektron yang memutar nukleus untuk membentuk posisi short-lived atau dikenal sebagai virtual state.

Fenomena Spektroskopi Raman mencakup interaksi cahaya dengan ikatan kimia di dalam molekul. Ketika seberkas cahaya berintensitas tinggi jatuh pada molekul maka ia akan tersebar ke arah yang berbeda.

Sebagian besar cahaya yang dihamburkan memiliki panjang gelombang yang sama dengan cahaya datang, ini disebut hamburan Rayleigh. Sejumlah cahaya dihamburkan pada panjang gelombang yang berbeda, ini disebut hamburan Raman.

2.8.4 TGA/DTA

2.8.4.1 Thermal Gravimetry Analysis (TGA)

Thermal Gravimetry Analysis (TGA) merupakan teknik untuk mengetahui karakter material terhadap panas melalui perubahan berat sebagai fungsi suhu dan waktu. Sampel dipanaskan dengan kenaikan panas dengan interval tertentu disebut sebagai pengukuran dinamis atau sampel dipanaskan dengan suhu tertentu dan konstan disebut sebagai pengukuran isothermal. Pemilihan suhu akan tergantung pada jenis informasi yang dibutuhkan mengenai sampel. Atmosfir lingkungan berperan penting dalam TGA. Pada saat pemanasan akan terjadi perubahan berat karena sampel kehilangan material saat dipanaskan atau bereaksi dengan atmosfer lingkungan. Beberapa faktor yang harus diperhatikan ketika preparasi sampel TGA seperti sampel harus mewakili material yang akan dianalisa, massa sampel harus tepat, sampel harus diubah sekecil mungkin, dan sampel tidak mengandung kontaminan (Gea,2019).

Beberapa faktor yang mempengaruhi pengukuran TGA, seperti parameter metode (kecepatan panas, atmosfer), preparasi sampel (ukuran sampel, homogenitas, dan morfologi sampel), pemilihan wadah, pengaruh instrumen seperti aliran gas, perubahan sifat fisis sampel selama pengukuran, misalnya perubahan emisivitas (Gea,2019). Thermal Gravimetry Analysis (TGA) adalah pengujian untuk mengetahui karakteristik panas suatu material. Spesifikasi sampel-sample berbentuk padatan dalam kondisi siap uji. Dalam teknik analisis termogravimetri (TGA), sampel uji dikenakan program suhu terkontrol dalam lingkungan terkontrol dan massa zat dipantau sebagai fungsi suhu atau waktu. Dengan kata lain, teknik analisis termogravimetri adalah teknik di mana suatu bahan bertambah atau berkurang beratnya saat dipanaskan. Dalam metode ini, berat sampel diukur saat bahan dipanaskan atau didinginkan dalam oven.

Pengalialis termogravimetri terdiri dari panci sampel yang didukung oleh skala presisi. Panci ini ditempatkan dalam oven dan dipanaskan atau didinginkan selama percobaan. Sementara itu, massa sampel dimonitor. Gas pembersih sampel mengontrol lingkungan sampel. Gas ini dapat berupa gas inert atau gas reaktif yang mengalir melalui sampel atau keluar dari knalpot. Pengalialis termogravimetri menggunakan gravitasi untuk mendapatkan pengukuran yang sangat akurat dan berulang.

Seperti yang dapat dilihat, teknik analisis termogravimetri (TGA) merupakan teknik analisis yang digunakan untuk menentukan kestabilan termal suatu material dan fraksi komponen volatil dengan memantau perubahan berat yang terjadi saat sampel dipanaskan dengan laju yang konstan.

2.8.4.2 Analisis Termal Diferensial (DTA)

Analisis termal diferensial (DTA) adalah teknik di mana perbedaan suhu antara sampel dan bahan referensi dipantau terhadap waktu atau suhu sambil memprogram suhu sampel di atmosfer tertentu. Selama analisis ini, sampel dan referensi ditempatkan secara simetris di dalam tungku, kemudian tungku dikontrol di bawah program suhu dan suhu sampel dan referensi diubah. Selama proses ini, termokopel diferensial dipasang untuk mendeteksi perbedaan suhu antara sampel dan referensi. Perangkat yang disebut termokopel memungkinkan pengukuran antara minus 200 derajat dan plus 2320 derajat. Suhu sampel ditentukan dengan perangkat ini. Bahan yang tidak berubah dalam rentang suhu pengukuran digunakan sebagai acuan.

Ketika tungku mulai memanaskan, referensi dan sampel mulai memanaskan dengan sedikit penundaan tergantung pada kapasitas panasnya masing-masing. Sinyal analisis termal diferensial berubah setelah pemanasan dimulai hingga tercapai keadaan statis, dan setelah stabilitas tercapai, sinyal tersebut mencapai jumlah yang sesuai dengan perbedaan kapasitas panas antara sampel dan referensi. Sinyal dalam keadaan statis dikenal sebagai fundamental. Dari sini, suhu reaksi ditentukan.

Seperti yang dapat dilihat, dengan teknik analisis termal diferensial, setiap perbedaan suhu antara sampel dan referensi dicatat dan melibatkan pemanasan atau pendinginan sampel uji dan referensi inert dalam kondisi yang sama. Suhu yang berbeda ini kemudian diplot terhadap waktu atau suhu dan perbedaan aliran panas antara referensi dan sampel yang disimpan di lingkungan yang sama (yaitu dalam tungku analisis termal diferensial) dihitung. Dengan cara ini, perubahan dalam sampel yang menyebabkan penyerapan atau pengembangan panas terdeteksi relatif terhadap referensi inert.

Aplikasi penting pertama dari metode analisis termal diferensial (DTA) adalah studi diagram fasa dan suhu transisi, dan analisis kualitatif logam, oksida, garam, keramik, gelas, mineral, dan tanah. Untuk banyak masalah, adalah menguntungkan untuk menggunakan metode analisis termal diferensial (DTA) dan metode analisis termogravimetri (TGA).

Analisis termal adalah analisis perubahan properti sampel yang terkait dengan perubahan suhu yang dikenakan. Sampel biasanya dalam keadaan padat dan perubahan pemanasan meliputi peleburan, transisi fase, sublimasi, dan pemisahan.

Analisis perubahan massa sampel selama pemanasan dikenal sebagai analisis termogravimetri. Dalam analisis ini, perubahan massa material di bawah atmosfer yang terkendali diukur sebagai fungsi suhu (atau waktu). Kegunaan utamanya adalah untuk mengukur stabilitas termal dan komposisi suatu material. Analisis ini paling berguna untuk proses dehidrasi, dekomposisi, desorpsi, dan oksidasi.

Analisis termal diferensial (DTA) adalah metode analisis termal yang paling banyak digunakan. Selama analisis termal diferensial, suhu sampel dibandingkan dengan suhu bahan referensi inert selama perubahan suhu yang diprogram. Suhu dijaga tetap sama sampai peristiwa termal seperti pelelehan, dekomposisi atau perubahan struktur kristal terjadi. Ketika peristiwa endotermik terjadi dalam sampel, suhu sampel tertinggal di belakang acuan dan suhu minimum teramati pada kurva. Namun, jika sebaliknya, terjadi peristiwa eksotermik dalam sampel,

suhu sampel melebihi suhu acuan dan suhu maksimum teramati pada kurva. Area di bawah endoterm atau aeksoterm terkait dengan energi peristiwa termal.

Dalam memecahkan banyak masalah, adalah menguntungkan untuk menggunakan baik analisis termal diferensial maupun metode analisis termogravimetri (TGA), karena peristiwa analisis termal diferensial kemudian dapat dikelompokkan menjadi peristiwa dengan atau tanpa perubahan massa. Kedua metode tersebut digunakan untuk menentukan kondisi berikut: titik lebur, suhu transisi gelas, kristalinitas, kelembaban dan kandungan volatil, stabilitas termal dan oksidatif, kemurnian dan suhu konversi.

2.8.5 X-Ray Diffraction (Xrd)

X-Ray Diffraction (XRD) adalah teknik analisis cepat non destruktif yang terutama digunakan untuk identifikasi fase bahan kristal dan dapat memberikan informasi tentang dimensi unit sel. Bahan yang dianalisis adalah dapat berupa bahan padat (terutama yang mempunyai struktur kristal) berbentuk powder atau tepung.

Prinsip dari alat XRD (X-ray diffraction) adalah sinar X yang dihasilkan dari suatu logam tertentu memiliki panjang gelombang tertentu, sehingga dengan memfariasi besar sudut pantulan sehingga terjadi pantulan elastis yang dapat dideteksi. Maka menurut Hukum Bragg jarak antar bidang atom dapat dihitung dengan data difraksi yang dihasilkan pada besar sudut-sudut tertentu.

Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg.

Pada umumnya, sinar diciptakan dengan percepatan arus listrik, atau setara dengan transisi kuantum partikel dari satu energi ke energi lainnya. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV.

Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum Sinar X memiliki panjang gelombang 5-10 nm,

berfrekuensi 1017-1020 Hz dan memiliki energi 103-106 eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal.

Karakterisasi material dengan menggunakan XRD menghasilkan beberapa data bersifat kualitatif dan kuantitatif yang dapat diolah menjadi informasi seperti pada Tabel 2.10.

Tabel 2. 10 Informasi yang terkandung dalam karakterisasi material XRD

Karakter	Informasi dari material
Posisi Puncak (2θ)	Fasa kristal/identifikasi Struktur kristal Parameter seragam
Tinggi puncak (intensitas)	Identifikasi Komposisi Haburan tak koheren <i>Extinction</i> <i>Preferred-orientation</i>
Lebar dan bentuk puncak	Ukuran kristal (bukan partikel atau <i>grain</i>) Distribusi ukuran