

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomaterial

Secara umum biomaterial diartikan sebagai material yang ditanam di dalam tubuh manusia untuk mengganti jaringan organ tubuh yang terserang penyakit, rusak atau cacat (Widyastuti, 2009).

Sedangkan menurut Larsson *et al* (2007), biomaterial adalah suatu material dengan sifat baru yang digunakan sebagai perangkat medis dan mampu berinteraksi dengan sistem biologis. Biomaterial merupakan bidang dengan berbagai disiplin ilmu yang membutuhkan pengetahuan dan pemahaman mendasar dari sifat-sifat material secara umum dan interaksi material dengan lingkungan biologis. Biomaterial alami yaitu; *allograft* (tulang manusia), *xenograft* (tulang sapi), dan *autograft* (tulang dari pasien yang sama) (Dewi, 2009). Menurut Ylien (2006), biomaterial diklasifikasikan ke dalam 4 kelompok kimia antara lain polimer, komposit, logam, dan keramik. Sementara menurut Lobo and Arinzeh (2010), biomaterial diklasifikasikan ke dalam 3 kelompok dalam penggunaannya antara lain biokompabiliti, bioinert, dan bioaktif. Biokompabiliti merupakan material yang dapat bertahan tanpa memberikan efek atau kerusakan pada jaringan tubuh (stainless steel), Bioinert merupakan

material yang mempunyai lapisan oksida pada permukaan (aluminium zirkonium, titanium, dan material karbon), dan Bioaktif yaitu ketika terdapat ikatan langsung secara biokimia dan biologi. Biomaterial dengan tulang induk melalui pembentuk suatu lapisan apatit pada permukaan biomaterial (keramik kalsium fosfat dan keramik gelas).

2.2 Biokeramik

Biokeramik adalah keramik yang secara khusus dimanfaatkan untuk memperbaiki dan merekonstruksi bagian tubuh yang terkena penyakit atau cacat. Menurut Herliansyah dkk (2010), biokeramik merupakan salah satu jenis bahan keramik yang baik sebagai produk yang digunakan dalam kedokteran dan industri, terutama sebagai *implant* ataupun organ pengganti. Biokeramik memiliki sifat biokompatibilitas, stabilitas kimia, ketahanan aus yang tinggi dan memiliki komposisi yang sama dengan bentuk mineral dari jaringan keras dalam tubuh (tulang dan gigi).

Berdasarkan adaptasinya biokeramik dibedakan menjadi empat, yaitu; Biokeramik *bionert*, biokeramik terserap ulang, biokeramik bioaktif, dan biokeramik berpori. Biokeramik *bionert* biokeramik yang tebal daerah permukaan yang rendah dan antar permukaan biokeramik dengan tebal daerah permukaan tidak terikat secara kimia maupun biologis sehingga sistem pelekatan biasanya hanya secara mekanis. Pada lapisan permukaan akan terbentuk suatu kapsul berserat yang tidak terikat secara baik pada jaringan keras maupun jaringan lunak (alumina dan zirkonia). Biokeramik terserap ulang dirancang untuk resorpsi secara perlahan dalam jangka waktu tertentu secara

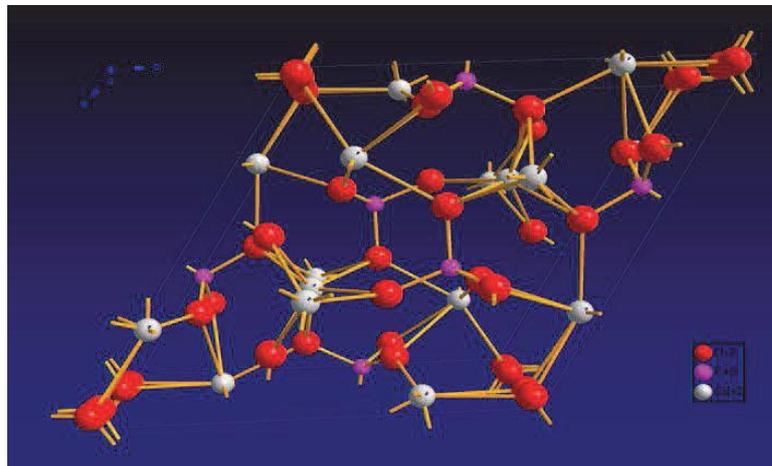
bersamaan akan digantikan oleh jaringan alamiah baru dengan lapisan antara permukaan yang sangat tipis menstimulas tulang untuk tumbuh pada bahan keramik dan melalui pori-porinya melanjutkan transformasi secara total dari bahan-bahan yang masuk kedalam tulang yang tinggal (trikalsium fosfat). Biokeramik bioaktif memiliki respon biologis khas pada antar permukaan sehingga terbentuk ikatan antar jaringan dan bahan tersebut. Kehasanya adalah dasar materi yang meyerupai komponen inorganik bagian tulang disertai kemampuan melarut yang dapat memberian ikatan secara langsung terhadap *implant* (hidroksiapatit, bioaktif, dan gelas keramik), dan Biokeramik berpori untuk pertumbuhan dalam jaringan yang dikenal biokeramik *inert* mikropori pada daerah permukaan memiliki pori-pori dalam ukuran mikro dimana terjadi pertumbuhan dan jaringannya ke pori permukaan atau keseluruhan implanasinya (logam berlapis HA).

Biokeramik dapat berupa kristal tunggal seperti saffir, polikristal (alumina atau HA, gelas keramik, komposit seperti baja- stainless-gelas diperkuat serat atau politilen HA).

2.3. Hidroksiapatit

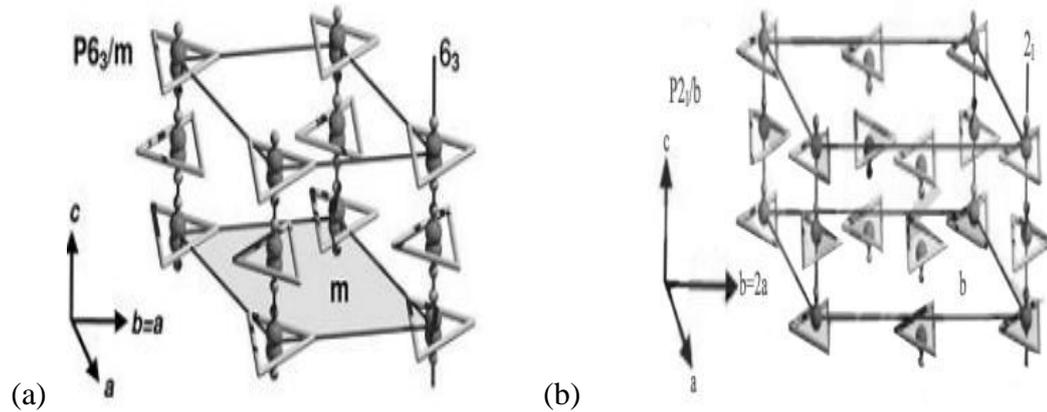
Hidroksiapatit adalah kalsium fosfat yang mengandung hidroksida, anggota dari kelompok mineral dalam tulang (Berlianty, 2011). Hidroksiapatit memiliki kandungan kalsium dan fosfat yang terdapat pada tulang dan gigi, karena memiliki sifat biokompabilitas yang baik pada jaringan manusia serta komposisi kimianya hampir sama dengan tulang (Mondal *et al*, 2012).

Hidroksiapatit juga memiliki rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ dan mempunyai struktur heksagonal dengan parameter kisi $a = 9.443\text{\AA}$ dan $c = 6.875\text{\AA}$ serta nisbah Ca/P sekitar 1.67. Kristal apatit mengandung gugus karbon dalam bentuk karbon (Muntamah, 2011). Hidroksiapatit memiliki dua bagian struktur yaitu heksagonal dan monoklinik. Struktur heksagonal terdiri dari susunan gas PO_4 tetrahedral yang diikat oleh ion-ion Ca, sedangkan struktur monoklinik dapat dijumpai apabila HA yang terbentuk benar-benar stoikometri. Rasio Ca/P dari HA adalah 1,67 dan densitasnya 3,19 g/ml (Ferraz *et al*, 2004). Menurut Darwis dan Warastuti (2008) dengan metode basah sekitar 34-37% (Ca) dan 16-20% (P) akan diperoleh rasio Ca/P berkisar antara 1,68 – 1,73 dengan rata-rata 1,69 dan kandungan Ca berkisar 35% dan Fosfat 20%. Dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Hidroksiapatit (Rivera-Monozq1, 2011).

Struktur monoklinik terjadi karena susunan OH^- membentuk urutan $\text{OH}^-\text{OH}^-\text{OH}^-$ yang membuat parameter kisi b menjadi 2 kali a (Gambar 2.b). Akan tetapi, struktur heksagonal juga dapat diperoleh pada kondisi stoikiometrik jika susunan OH^- tidak teratur (Gambar 2.a) (Suryadi, 2011).



Gambar 2. (a) Struktur HA Heksagonal (b) Struktur HA Monoklinik (Corno *et al.*, 2006).

Hidroksiapatit memiliki struktur heksagonal dan merupakan senyawa yang paling stabil diantara berbagai kalsium. Hidroksiapatit sebagai salah satu biokeramik yang dibuat dari bahan alami sebagai pengganti tulang (Balgies dkk, 2011).

Hidroksiapatit cukup aman digunakan sebagai bahan *implant* karena sifatnya yang non toxic, cepat membangun ikatan dengan tulang (bioaktif), memiliki biokompatibilitas dengan jaringan sekitar, tidak korosi, dan dapat mendorong pertumbuhan tulang baru dalam strukturnya yang berpori. Namun HA mempunyai kelemahan yaitu bersifat rapuh, tidak bersifat osteoikonduktif, sifat mekanik rendah dan memiliki ketidakstabilan struktur pada saat bercampur dengan cairan tubuh.

2.4 Sifat Hidroksiapatit

Hidroksiapatit memiliki sifat biokompatibel dan bioaktif. Biokompatibel adalah kemampuan material untuk menyesuaikan dengan kecocokan tubuh penerima, sedangkan bioaktif adalah kemampuan material bereaksi dengan jaringan dan menghasilkan ikatan kimia yang sangat baik (Purnama dkk, 2006). Hidroksiapatit juga memiliki sifat biokompabilitas ke jaringan tulang sangat baik karena kandungan komposisi kimia yang serupa dengan mineral tulang dan gigi (Purmawargapratala, 2011) hidroksiapatit juga bersifat rapuh (Warsatuti dan Abbas, 2011).

Menurut Suryadi (2011) sifat hidroksiapatit adalah biokompatibel, bioaktif dan bioresorable. Biokompatibel material yang banyak diaplikasikan pada proses penyembuhan jaringan keras (tulang) yang mengalami kerusakan, juga sebagai pelapis *implant* yang dimasukkan ke dalam tubuh manusia untuk meningkatkan sifat biokompabilitas. Bioaktif mampu berintegrasi dengan jaringan hidup melalui proses-proses aktif dalam penolakan kembali tulang yang sehat. Bioresorable material akan melarut sepanjang waktu (tanpa memperhatikan mekanisme yang menyebabkan pembedahan material) dan mengizinkan jaringan yang baru terbentuk dan tumbuh pada sembarang permukaan material. Fungsi bioresorable berperan penting dalam proses dinamis pembentuk dan reabsorpsi yang terjadi didalam jaringan tulang. Material bioresorable digunakan sebagai *scaffolds* atau pengisi (*filler*) yang menyebabkan mereka berinfiltrasi dan berganti ke dalam jaringan, sedangkan laju solusi dari hidroksiapatit yang memiliki sifat bioaktif dapat bergantung pada beragam faktor, seperti derajat kristalinitas, kuran kristalit, kondisi proses (temperatur, tekanan, dan tekanan parsial air), dan

porositas. Hidroksiapatit yang larut dalam larutan asam dan sedikit pada larutan destilasi. Kelarutan pada destilasi meningkat seiring dengan penambahan elektrolit. Kelarutan hidroksiapatit juga akan berubah jika memiliki asam amino, protein, enzim dan senyawa organik lainnya. Sifat kelarutan yang dimiliki hidroksiapatit berhubungan dengan sifat biokompatibel. Laju kelarutan tergantung pada perbedaan bentuk, porositas, ukuran kristal, kristalinitas, dan ukuran kristalit. Hidroksiapatit bereaksi aktif dengan protein, lemak, dan senyawa organik ataupun non-organik lainnya.

2.5 Metode Pembuatan Hidroksiapatit

Menurut Thamaraiselvi *et al* (2006) sintesis hidroksiapatit dapat dilakukan enam metode yaitu metode basah, metode kering, metode hidrotermal, metode alkoksida, metode fluks, dan metode sol-gel.. Metode basah menggunakan reaksi cairan dari larutan menjadi padatan, metode ini digunakan karena sederhana dan menghasilkan serbuk hidroksiapatit dengan sedikit kristal atau amorf. Metode kering, menggunakan reaksi padat dari padatan menjadi padatan dan menghasilkan serbuk hidroksiapatit dengan butiran halus dan derajat kristalinitasnya tinggi. Metode hidrotermal, menggunakan reaksi hidrotermal dari larutan menjadi padatan dan menghasilkan hidroksiapatit dengan kristal tunggal. Metode alkoksida, menggunakan reaksi hidrolisa dari larutan menjadi padatan. Metode ini digunakan untuk membuat lapisan tipis (thin flm) dan hidroksiapatit yang dihasilkan mempunyai derajat kristalinitas tinggi. Metode fluks, menggunakan reaksi peleburan garam dari pelelehan menjadi padatan. Metode ini menghasilkan hidroksiapatit kristal tunggal yang mengandung unsur

lain seperti; boron apatit, fluorapatit, dan kloroapatit, dan Metode sol-gel, menghasilkan serbuk hidroksiapatit dengan ukuran butir yang relatif homogen dan derajat kristalinitas.

Metode yang digunakan dalam pembuatan hidroksiapatit mempengaruhi karakter-karakter kristal hidroksiapatit yang diperoleh.

2.6 Aplikasi Hidroksiapatit

Hidroksiapatit (HA) dapat dimodifikasi menjadi berbagai jenis sediaan radiofarmaka sebagai pembawa unsur radionuklida untuk aplikasi terapi *rheumatoid arthritis* karena mempunyai kemiripan dengan fasa mineral pada matrik tulang (Setiawan dan Basit, 2011). Hidroksiapatit digunakan sebagai bahan pelapis logam yang diimplantasikan kedalam tubuh (Arifianto dkk, 2006). Penggunaan hidroksiapatit dalam aplikasi biomedik telah banyak digunakan antara lain sebagai pembawa obat, *scaffold*, tulang pengisi dan tulang pengganti. Hidroksiapatit dapat dimanfaatkan sebagai biomedik karena sifat yang dimiliki hidroksiapatit tidak beracun, biokompatibilitas, non inflamasi, dan struktur mesori dari hidroksiapatit (Oner *et al*, 2011).

Hidroksiapatit sintetik dapat diperoleh tidak hanya melalui reaksi senyawa-senyawa sintetik (Dahlan, 2013), dan dapat juga diperoleh dengan mereaksikan senyawa sintetik tersebut dengan senyawa alami (Amrina, 2008). Keunggulan dari hidroksiapatit sintetik adalah bahan yang mempunyai karakter komposisi fasa dan struktur mikro yang hampir sama dengan tulang manusia (Purnama dkk,

2006). Hidroksiapatit sangat stabil dalam cairan tubuh serta diudara kering atau lembab hingga 1200°C.

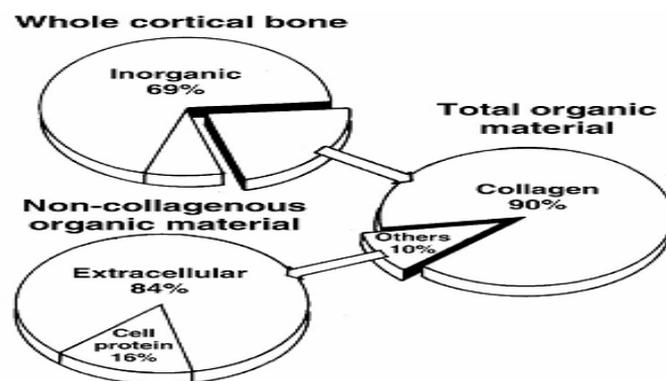
2.7 Tulang Sapi

Tulang merupakan bagian tubuh atau organ dari suatu individu yang mulai tumbuh dan berkembang sejak masa embrional. Sistem pertulangan merupakan salah satu hasil perkembangan dari sel-sel mesoderm. Pola bangunan tubuh suatu individu ditentukan oleh kerangka yang disusun dari puluhan atau ratusan tulang. Tulang-tulang tersebut membentuk suatu susunan atau kelompok tulang yang disebut dengan kerangka. Tulang-tulang kerangka disebut juga skeleton dalam melaksanakan fungsinya dilengkapi dengan tulang rawan (cartilago) dan ligment (pita pengikat). Kerangka pada ternak termasuk dalam endoskeleton (Anonim A, 2013). Menurut Septimus (1961) tulang merupakan jaringan yang dinamis yang secara terus-menerus dapat diperbaharui dan direkonstruksi.

Tulang mempunyai pembuluh darah, pembuluh limfe, dan syaraf. Tulang panjang seperti tulang paha (*femur*) memiliki bentuk silinder dengan bagian ujung yang membesar. Bagian yang berbentuk silinder disebut diafisis, sedangkan bagian ujung yang membesar terdiri dari tulang berongga dan disebut epifisis. Tulang kering terdiri dari bahan organik dan bahan anorganik dalam perbandingan 2:1. Zat organik oleh panas tidak menyebabkan perubahan struktur tulang secara keseluruhan, tetapi akan mengurangi berat tulang. Tulang mempunyai dua fungsi utama yaitu sebagai penopang tubuh dan pendukung gerakan. Keduanya merupakan tempat cadangan mineral dan berkaitan dengan

metabolisme tubuh, yang disimpan ataupun dikeluarkan setiap kali diperlukan oleh tubuh. Pada pembentukan tulang, sel-sel tulang keras membentuk senyawa kalsium fosfat dan senyawa kalsium karbonat.

Tulang merupakan jaringan hidup, sekitar 15% beratnya terdiri dari sel. Tulang *cortical* disusun 22% matrik organik, 90-96% kolagen, 69% mineral dan 9% air seperti pada Gambar 3. Mineral tulang biasanya sebagai senyawa kalsium hidroksiapatit dengan stokiometri sempurna. Bentuk utama mineralnya mengandung kalsium kristal apatit dan fosfat, menirukan struktur kristal hidroksiapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$.



Gambar 3. Distribusi komponen penyusun tulang *cortical* (Liu, 1996).

Tulang secara alami umumnya terdiri dari 70% mineral anorganik, 20% bahan organik dan 10% air (Toppe *et al*, 2007). Rangka tubuh sapi terdiri dari 191 hingga 193 ruas tulang (Suryanto, 2009). Tulang mempunyai mineral yang mengandung 35% senyawa organik dan 65% senyawa anorganik (Fakhrijadi, 2013).

Tulang sapi memiliki karakteristik mendekati tulang manusia. Hal ini didukung oleh penelitian Aerssens *et al* (1998) yang membandingkan komposisi dan kepadatan tulang pada tujuh hewan vertebrata yang biasa digunakan dalam penelitian tulang (manusia, anjing, sapi, babi, domba, ayam dan tikus), diketahui bahwa sapi memiliki struktur komposisi yang paling mendekati tulang manusia. Indriyani (2011) juga melakukan penelitian mengenai karakteristik mekanik dan fisik tulang sapi berdasarkan berat hidup. Tulang yang digunakan adalah tulang belakang (*metatarsus*) sapi dari jenis sapi induk lokal pesisir yang diinseminasi dengan sapi simmental dengan rentang berat hidup 200 kg sampai 500 kg. Dari penelitian yang dilakukan disimpulkan bahwa berat hidup sapi dengan berat 500 kg memiliki kekuatan tarik rata-rata adalah 177,26 MPa. Pada berat yang sama regangan tarik rata-rata adalah 0,11 MPa, modulus elastisitas rata-rata adalah 1,61 GPa, dan ketangguhan rata-rata adalah 9,89 MJ/m³.

Kandungan tulang sapi terdiri dari 93% HA dan 7% β -TCP dengan perlakuan panas memakai suhu 400°C– 1200°C (Ooi *et al*, 2007). Hidroksiapatit berasal dari tulang sapi telah banyak digunakan untuk mencangkok, memperbaiki, mengisi, pergantian tulang dan pemulihan jaringan gigi karena biokompatibilitas yang sangat baik dengan jaringan keras, bioaktivitas merenkonstruksi ulang jaringan tulang yang telah rusak dan di dalam jaringan lunak (Kusrini and Sontang, 2012). Unsur pokok anorganik tulang memiliki kesamaan dengan yang ada pada komposisi hidroksiapatit sintetis. Kristal hidroksiapatit yang berada pada tulang memiliki bentuk yang menyerupai jarum atau batang dengan panjang 40-60 nm, lebar 10-20 nm, dan ketebalan 1-3 nm (Mollazadeh *et al*, 2007).

Materil pengganti tulang yang umum digunakan adalah *autograft* (pergantian satu bagian tubuh dengan bagian tubuh dengan bagian tubuh lainya dalam satu individu), *allograft* (pergantian tulang manusia dengan tulang yang berasal dari manusia lain), *xenograft* (pergantian tulang manusia dengan tulang yang berasal dari hewan). Namun, pengganti tulang ini biasanya tersedia dalam jumlah terbatas (Sopyan *et al*, 2007).

2.8 Suhu Sintering

Sintering adalah suatu proses pemadatan dari sekumpulan serbuk pada suhu tinggi hingga melebihi titik leburnya (Ristic, 1989). Proses sintering merupakan proses perubahan struktur mikro yaitu; perubahan ukuran pori, pertumbuhan butir, peningkatan densitas, dan penyusutan masa (Kang, 2005). Ada setidaknya enam mekanisme yang terjadi selama proses sintering.

1. Difusi kisi permukaan atom, permukaan memiliki tangga yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan atom pada kekisi, sehingga energi aktivitas pada difusi permukaan menjadi lebih rendah daripada difusi kekisi, maka difusi permukaan akan terus meningkat seiring berkurangnya temperatur.
2. Difusi dari permukaan
3. Transformasi uap
4. Difusi batas butir, jika ketebalan sempel sama maka batas butiran akan bertambah dengan berkurangnya ukuran butiran, hal itu memperlihatkan bahwa difusi batas butiran bergantung pada ukuran butiran.
5. Difusi kisi atas batas butir
6. Difusi kisi dari dislokasi

Mekanisme-mekanisme diatas sangat penting dalam penyusutan dan pepadatan

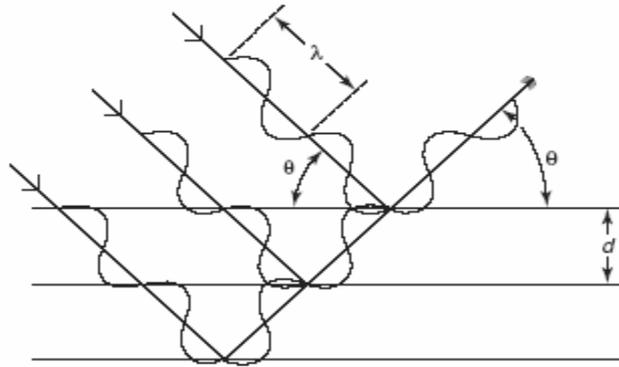
Sintering memerlukan suhu tinggi agar partikel halus dapat berglomerasi menjadi padat. Sintering menyebabkan butiran-butiran partikel saling mendekat sehingga menyebabkan pengurangan volume. Perlakuan pemanasan ini menghasilkan sebuah transformasi padatan berpori menjadi padat.

2.9 Karakterisasi Material Keramik

2.9.1 X-Ray Diffraction (XRD)

Sinar- X adalah gelombang elektromagnet yang panjang gelombang sekitar 0,2-0,5Å (panjang gelombang cahaya tampak adalah 6000 Å). Sifat-sifat sinar-X adalah: radiasi elektromagnet tidak tampak, dapat menembus benda, bergerak dengan lintasan lurus dengan kecepatan 3×10^{10} cm/detik, menghasilkan efek foto kimia pada film, tidak dipengaruhi oleh medan magnet dan listrik, dapat membebaskan elektron.

Difraksi adalah suatu metode eksperimen hamburan listrik. Proses perubahan energi dapat diabaikan dalam proses perubahan tersebut. Informasi yang diperoleh dari metode difraksi berupa data koordinat atom-atom didalam kristal yang mendasari sifat dan karakteristik suatu bahan pada umumnya (Sunardi dan Suminta, 2003). Gambar 4 dibawah adalah sinar datang dan sinar terdifraksi oleh kisi kristal.



Gambr 4. Sinar datang dan sinar terdifraksi oleh kisi kristal.

Berkas sinar yang dihamburkan oleh atom bila sefasa akan mengakibatkan terjadinya interferensi saling menguatkan (interferensi konstruktif), bila tidak sefasa akan saling meniadakan. Interaksi sinar-X dengan material dapat digunakan untuk menghasilkan pola difraksi tertentu yang dapat dipakai analisis kualitatif dan kuantitatif material.

Dasar dari prinsip pendifraksian sinar-X yaitu 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.

Jika seberkas sinar-X dengan panjang gelombang λ diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut θ . Maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bilangan atom Kristal dan akan menghasilkan puncak difraksi. Besar sudut bergantung panjang gelombang λ berkas sinar -X dan jarak antar bidang penghamburan (d) (Cullity, 1978). Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg:

$$n.\lambda = 2.d.\sin \theta ; n = 1,2,\dots \quad (2.1)$$

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Setiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material. Standar ini disebut JCPDS.

XRD terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti, dan detektor sinar-X. Sinar-X dihasilkan ditabung sinar-X yang berisi katoda memanaskan filamen, sehingga menghasilkan elektron.

2.9.2 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning electron microscopy (SEM) adalah suatu jenis mikroskopi elektron yang menggambarkan permukaan sampel. Pembesaran dari pemindaian gambar adalah sama dengan perbandingan ukuran gambar yang ditampilkan oleh pengguna ketika dipindai oleh penyorot pada spesimen. Pembesaran minimum adalah sudut maksimum yang dibentuk penyorot yang terdefleksi dan bergantung

dengan jarak yang dikerjakan. Pembesaran minimum kira-kira 10, dengan area pemindai berorde 1 cm^2 . Pembesaran dapat ditambahkan dengan mereduksi amplitudo dari gelombang yang digunakan untuk memindai. Penggunaan maksimum tentu bergantung dengan resonansi, dan untuk yang berada pada batas 10^4 sampai 10^6 , Berdasarkan tipe gambar spesimenya dan kondisi operasi (Reed, 1993).

Prinsip kerja SEM mirip dengan mikroskop optik, namun berbeda dalam perangkatnya. Pertama berkas elektron disejajarkan dan difokuskan oleh magnet yang didesain khusus berfungsi sebagai lensa. Energi elektron 100 keV, menghasilkan panjang gelombang kira-kira 0,04 nm. Spesimen sasaran sangat tipis agar berkas yang dihantarkan tidak diperlambat atau dihamburkan terlalu banyak. Bayangan akhir diproyeksikan ke dalam layar pendar atau film. Berbagai distorsi yang terjadi akibat masalah pemfokusan dengan lensa magnetik membatasi resolusi hingga sepersepuluh nanometer (Prabakaran *et al*, 2005).

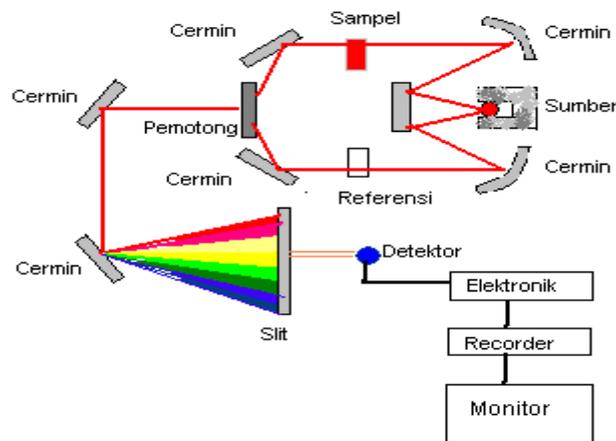
Cara kerja SEM adalah gelombang elektron yang dipancarkan *electron gun* terkondensasi dilensa kondensor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. *Scanning coll* yang diberi energi menyediakan medan magnetik bagi sinar elektron. Berkas sinar elektron yang mengenai cuplikan menghasilkan elektron sekunder dan kemudian dikumpulkan oleh detektor sekunder atau detector *backscatter*. Gambar yang dihasilkan terdiri dari ribuan titik berbagai intensitas dipermukaan *Cathode Ray Tube* (CRT) sebagai topografi (Kroscwitz,

1990). SEM yang dipantulkan dari sampel. Elektron-elektron sekunder mempunyai energi yang rendah maka elektron-elektron tersebut dapat dibelokkan membentuk sudut dan menimbulkan bayangan topografi. Elektron-elektron yang dihamburkan balik amat peka terhadap jumlah atom, sehingga itu penting untuk menunjukkan perbedaan pada perubahan komposisi kimia dalam sampel. Intensitas elektron yang dihamburkan juga peka terhadap orientasi berkas sinar datang relatif terhadap kristal. Efek ini mengakibatkan perbedaan orientasi antara butir satu dengan butir yang lain adalah suatu sampel kristal, yang memberikan kristallografi.

Sistem penyinaran dan lensa pada SEM sama dengan mikroskop cahaya biasa. Pengamatan yang menggunakan SEM lapisan cuplikan harus bersifat konduktif sehingga perlu dilapisi dengan emas.

2.9.3 Fourier Transform Infrared (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR), lebih dikenal dengan metode spektrometer. Pada dasarnya spektrofotometer FTIR adalah sama dengan spektrofotometer IR dispersi, perbedaannya terletak pada pengembangan sistem optik, sebelum berkas sinar infra merah melewati sampel. Beberapa radiasi inframerah diserap oleh sampel dan sebagian dilewatkan (ditransmisikan). Spektrum yang dihasilkan merupakan penyerapan dan transmisi molekul dan menciptakan bekas molekul dari sampel. Hal ini dapat dilihat pada sidik jari yang tidak ada dua struktur molekul khas yang menghasilkan spektrum inframerah sama (Thermo, 2001).



Gambar 5. Skema IR (Kroschwitz, 1990).

Instrumentasi IR adalah pemrosesan data seperti *Fourier Transform Infrared* (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. Sensitivitas FTIR adalah 80-200 kali lebih tinggi dari instrumentasi dispersi standar karena resolusinya lebih tinggi (Kroschwitz, 1990).

Cara kerja dari FTIR adalah energi inframerah diemisikan dari sumber bergerak melalui celah sempit untuk mengontrol jumlah energi yang akan diberikan ke sampel. Di sisi lain, berkas laser memasuki interferometer, kemudian terjadi pengkodean sampel menghasilkan sinyal interferogram selanjutnya keluar dari

interferogram. Berkas laser kemudian memasuki ruang sampel, berkas akan diteruskan atau dipantulkan oleh permukaan sampel bergantung dari energinya, yang merupakan karakterisasi dari sampel. Berkas akhirnya sampai ke detektor.