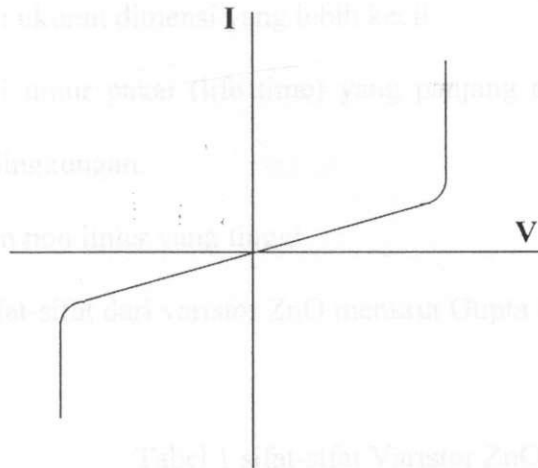


II. TINJAUAN PUSTAKA

II. 1. VARISTOR

Varistor atau disebut sebagai Variabel Resistor atau juga disebut *Voltage-Dependent Resistors*, adalah merupakan piranti elektronik yang berfungsi untuk mengatasi gelombang tegangan sesaat yang tidak diinginkan (Topan K.G,1991). Sehingga dapat dipergunakan sebagai proteksi didalam suatu rangkaian elektronik. Pertama kali varistor dibuat dari bahan berbasis selenium yang banyak dipergunakan pada peralatan telekomunikasi. Varistor memiliki sifat-sifat khusus yang ditunjukkan pada pola hubungan arus listrik I dengan tegangan listrik V seperti gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Pola Hubungan Arus I dan Tegangan V pada Varistor (Moulson A.J. and Herbert J.M. 1990).

Varistor akan memiliki resistansi yang rendah pada tegangan tinggi, dan sebaliknya akan memiliki resistansi tinggi pada tegangan rendah.



Dengan perkembangan teknologi akhirnya ditemukan bahan pengganti selenium yaitu kristal tunggal silicon yang digunakan untuk aplikasi tegangan rendah, dan jenis material lain yaitu polikristal SiC dan ZnO yang mampu untuk aplikasi pada tegangan tinggi (Topan K.G,1991). Perkembangan terakhir ternyata ZnO merupakan material yang mampu menggantikan SiC maupun kristal tunggal Si, hal ini dikarenakan varistor ZnO memiliki kemampuan yang luas untuk segala tingkatan daya (Topan K.G,1991). Beberapa keunggulan ZnO sebagai bahan varistor adalah (Topan K.G,1991):

- Memiliki respon yang jauh lebih cepat
- Harga bahan lebih murah dan lebih muda fabrikasinya
- Kemampuan penyerapan energi yang tinggi
- Memiliki ukuran dimensi yang lebih kecil
- Memiliki umur pakai (life time) yang panjang dan tahan pada segala kondisi lingkungan.
- Koefisien non linier yang tinggi

Beberapa sifat-sifat dari varistor ZnO menurut Gupta 1991 ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 sifat-sifat Varistor ZnO

Parameter	Nilai
Grain boundary resistance	$10^{12} \Omega\text{cm}$
Grain resistance	(1-10) Ωcm
Bulk density	5,61 g/cm^3
Non linier voltage	1 – 10 kV/cm
Non linier Coefficient	15 – 100
Response time	5 – 10 ns
Life	> 30 years



II. 2. VARISTOR ZnO DAN KARAKTERISTIKNYA

Umumnya hubungan tegangan V dengan arus I merupakan hubungan linier atau ohmik, tetapi untuk jenis resistor tertentu tidak menunjukkan hubungan ohmik seperti pada varistor ZnO. Polikristalin dari keramik semikonduktor yang berbasis ZnO dapat dipergunakan sebagai varistor yang mampu memproteksi tegangan yang berlebih (*overvoltage*) pada suatu rangkaian dan mampu beroperasi pada berbagai kisaran tegangan atau *voltage range* (Mattias E, 2002). Dimana sifat utama dari varistor ZnO adalah sifat yang non linier koefisien (α) yaitu resistor dapat menghantarkan arus I yang besar tanpa tergantung pada kenaikan tegangan V (Moulson A.J. and Herbert J.M. 1990). Non linier koefisien didefinisikan sebagai perbandingan antara perbedaan arus listrik (I) yang melalui varistor dengan perbedaan tegangan listrik (V) pada varistor, ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut (Mattias E, 2002) :

$$\alpha = \frac{d(\log I)}{d(\log V)} \quad (1)$$

dan nilai α untuk jenis varistor ZnO bervariasi yaitu sekitar 35 sampai 100 , serta nilai α dapat dipengaruhi oleh beberapa factor antara lain : temperatur, tekanan, mikrostruktur, dan parameter-parameter dalam proses fabrikasi (Mattias E, 2002). Skema sifat listrik dari varistor ZnO. Persamaan hubungan non linier ditunjukkan pada persamaan berikut ini menurut Moulson 1990, dan Gupta 1991 :



$$\text{Arus } I = (V / C)^\alpha \quad (2)$$

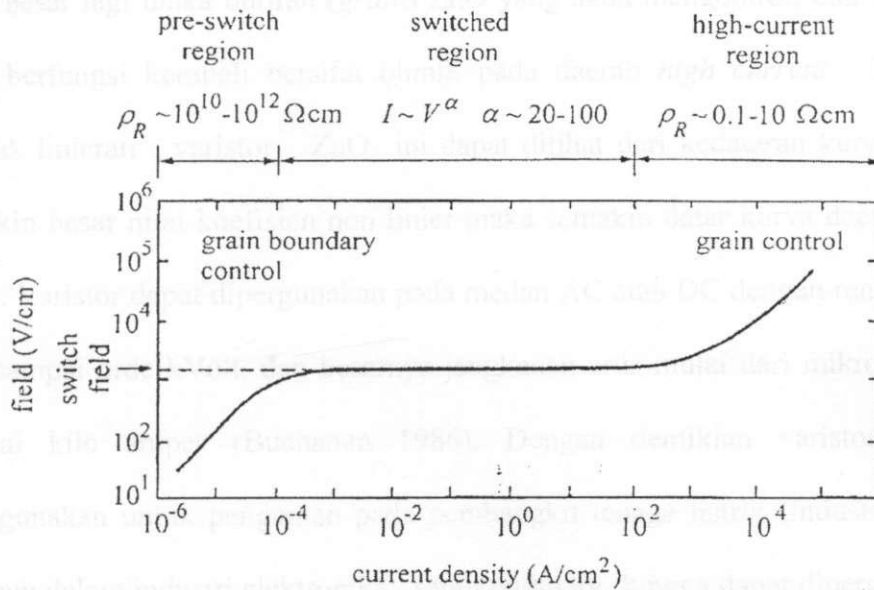
Dimana :

V = tegangan, volt

C = konstanta

α = koefisien non linier.

Skema karakteristik non linier dari varistor ZnO diperlihatkan pada kurva hubungan antara tegangan listrik V dengan arus listrik I seperti diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Kurva hubungan arus I dengan tegangan V dari Varistor ZnO (Gupta 1991, Mattias E, 2002)

Dimana pada kurva tersebut menunjukkan ada tiga daerah karakteristik yaitu daerah *pre switch / pre-breakdown* dimana varistor bertindak sebagai resistor ohmik yaitu arus listrik berbanding lurus terhadap kenaikan tegangan listrik secara linier dengan rapat arus sekitar 10^{-4} A/cm². Dalam kondisi normal hanya terjadi kebocoran arus yang sangat kecil di varistor pada daerah tersebut, artinya varistor masih bersifat isolator listrik. Tetapi begitu memasuki daerah *switch*

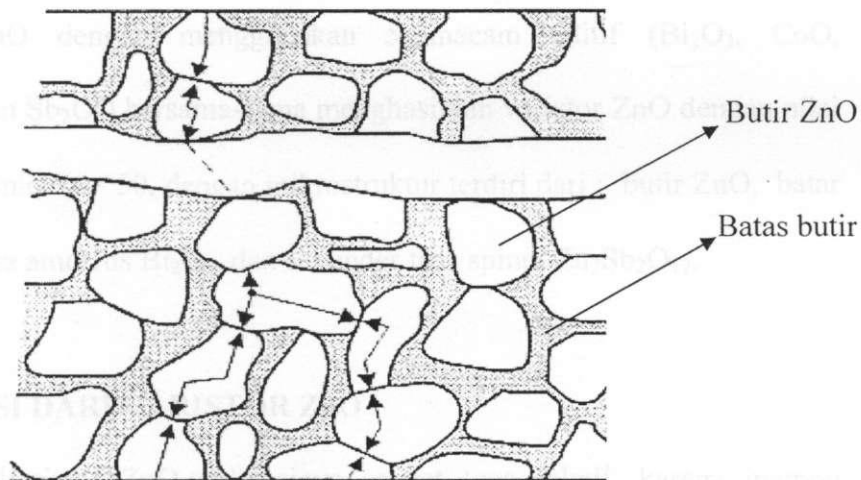
region / non linier maka di varistor akan terjadi penurunan drastis resistansi / tahanan secara tiba-tiba, sehingga konduksi arus listrik akan jauh lebih besar dengan perubahan tegangan listrik yang sangat kecil sekali (hampir tidak terjadi lonjakan tegangan listrik). Mekanisme hantaran listrik di Varistor pada daerah *pre switch* / *pre-breakdown* sampai ke daerah *switch region* / non linier sangat dipengaruhi dan dikontrol oleh mikrostruktur ZnO yaitu khususnya batas butir atau *grain boundary* (Mattias E, 2002). Untuk menaikkan arus listrik yang jauh lebih besar lagi maka butiran (*grain*) ZnO yang akan mengontrol, dan varistor akan berfungsi kembali bersifat ohmik pada daerah *high current*. Tingkat ketidak linieran varistor ZnO ini dapat dilihat dari kedataran kurva I-V, semakin besar nilai koefisien non linier maka semakin datar kurva daerah non linier. Varistor dapat dipergunakan pada medan AC atau DC dengan rentang 10 volt sampai orde kVolt, dan besarnya jangkauan arus mulai dari mikro ampere sampai kilo ampere (Buchanan 1986). Dengan demikian varistor dapat dipergunakan untuk pengamanan pada pembangkit tenaga listrik (industri daya) maupun dalam industri elektronika / semikonduktor, hingga dapat dipergunakan juga sebagai penangkal petir (Kostorz 1988, Mattias E, 2002).

II.3. MIKROSTRUKTUR VARISTOR ZnO

Mikrostruktur dari polikristalin ZnO terdiri dari butiran (*grain*) dan fasa diantara butiran yang disebut batas butir (*grain boundary*). Butiran dari ZnO memiliki resistansi yang rendah yaitu $< 10 \Omega\text{cm}$ berarti bersifat konduktor, sedangkan batas butir memiliki resistansi yang tinggi sekitar sekitar $10^{12} \Omega\text{cm}$



yang menunjukkan sifat isolator listrik. Pada gambar 3 berikut ini menunjukkan mikrostruktur dari ZnO (Moulson 1990 dan EPCOS 2004).



Gambar 3. Mikrostruktur dari ZnO.

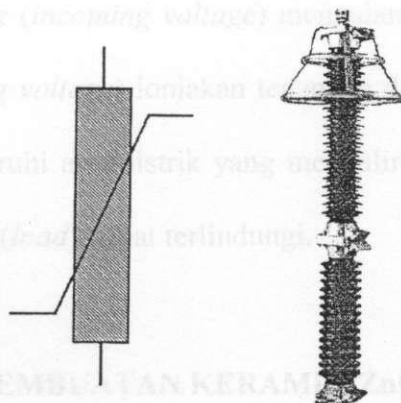
Konduksi arus listrik terlihat melalui garis tanda panah yang melalui butiran-butiran ZnO. Mikrostruktur dari keramik ZnO adalah multifasa polikristalin yang terbentuk pada proses pembakaran keramik ZnO (sintering). Untuk menghasilkan varistor ZnO dengan mikrostruktur seperti pada gambar 3 yaitu harus terbentuknya fasa pada batas butir sekaligus sebagai berfungsi pengikat butiran-butiran ZnO dan bersifat isolator listrik, dan fasa ZnO sebagai butir (grain). Umumnya fasa batas butir tersebut merupakan fasa gelas dari beberapa aditif yang ditambahkan pada waktu proses pembuatan varistor ZnO, yaitu antara lain : Bi_2O_3 , Sb_2O_3 , SiO_2 , CoO , MnO dan Cr_2O_3 (Buchanan 1986 dan Gupta 1991). Sifat listrik varistor ZnO khususnya koefisien non linier sangat dipengaruhi oleh aditif tersebut. Semakin banyak fasa gelas sebagai batas butir (grain boundary) maka keramik ZnO akan semakin padat dan kuat, serta nilai

koefisien non linier semakin besar, sehingga kemampuan varistor menahan lonjakan tegangan yang semakin tinggi akan lebih baik.

Beberapa hasil yang pernah dilakukan oleh **Peter Kocher, 2004** bahwa pembuatan ZnO dengan menggunakan 5 macam aditif (Bi_2O_3 , CoO , MnO , Cr_2O_3 , dan Sb_2O_3) bersama-sama menghasilkan varistor ZnO dengan nilai koefisien non linier $\alpha = 50$, dengan mikrostruktur terdiri dari : butir ZnO, batar butir berupa fasa amorfus Bi_2O_3 , dan sekunder fasa spinel $\text{Zn}_7\text{Sb}_2\text{O}_{12}$.

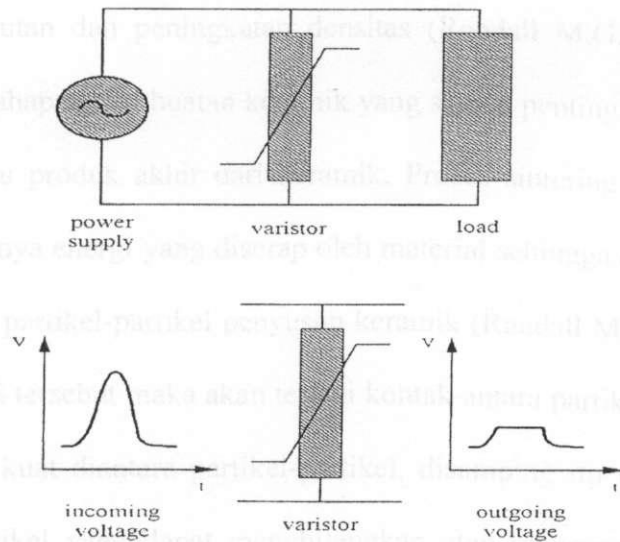
II.4. APLIKASI DARI VARISTOR ZnO

Varistor ZnO aplikasinya sangat luas sekali ,karena mampu bekerja pada daerah tegangan yang cukup lebar , antara lain : sebagai pengaman dalam rangkaian elektronik , dan digunakan sebagai pengaman pada jaringan distribusi listrik tegangan tinggi (Moulson 1990, Gupta 1991, dan Mattias E, 2002). Pada gambar 4, ditunjukkan contoh penggunaan dari varistor pada jaringan listrik tegangan tinggi.



Gambar 4. Varistor ZnO yang digunakan di jaringan listrik tegangan tinggi sebagai *Switchgear* (Mattias E, 2002).

Varistor ZnO pada gambar 4 terletak dibagian dalam dari isolator keramik, dimana varistor dihubungkan secara paralel dengan beban atau transformer atau *relay station* yang akan dilindunginya. Adapun hubungan rangkaian penggunaan varistor ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Skema rangkaian aplikasi varistor (Mattias E, 2002).

Pada gambar 5 tersebut bahwa varistor dihubungkan secara paralel terhadap sistem rangkaian (*load*) yang akan dilindungi. Dimana tegangan yang akan masuk ke varistor (*incoming voltage*) mengalami lonjakan dan setelah melalui varistor (*outgoing voltage*) lonjakan tegangan dapat ditekan serendah mungkin tanpa mempengaruhi arus listrik yang mengalir ke sistem rangkaian, sehingga sistem rangkaian (*load*) dapat terlindungi.

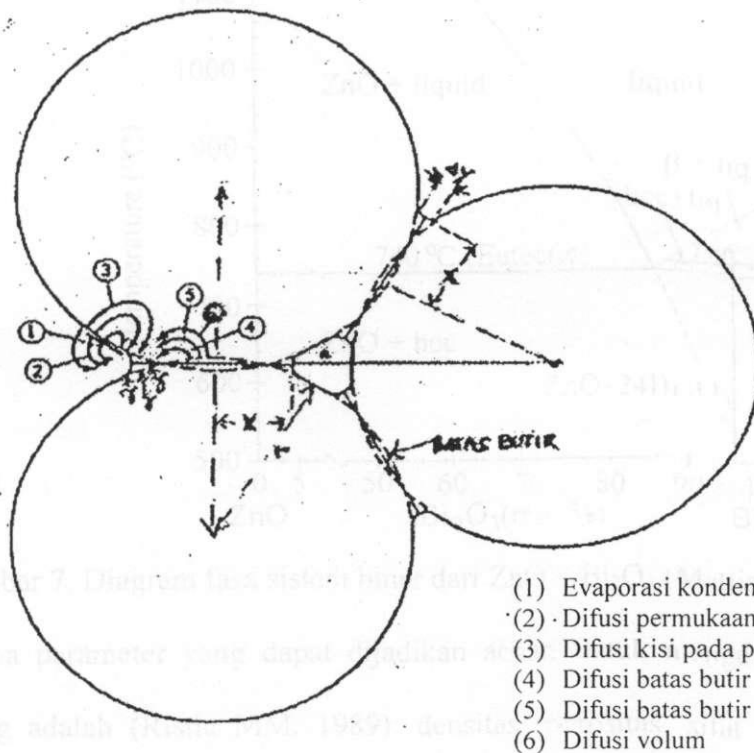
II.5. PROSES PEMBUATAN KERAMIK ZnO

Pembuatan suatu produk keramik melalui beberapa tahapan proses antara lain : proses preparasi campuran serbuk (bahan baku), proses



pembentukan, proses pengeringan dan terakhir proses pembakaran atau proses sintering. Proses sintering pada pembuatan keramik adalah suatu proses pemadatan dari sekumpulan serbuk pada suhu tinggi dibawah titik leburnya hingga terjadi perubahan struktur mikro seperti pertumbuhan butir, pengurangan pori, penyusutan dan peningkatan densitas (Randall M.G. 19 91). Sintering merupakan tahapan pembuatan keramik yang sangat penting dalam menentukan kualitas suatu produk akhir dari keramik. Proses sintering dapat berlangsung apabila : adanya energi yang diserap oleh material sehingga dapat terjadi proses difusi antara partikel-partikel penyusun keramik (Randall M.G. 1991). Dengan adanya difusi tersebut maka akan terjadi kontak antara partikel dan terjadi suatu ikatan yang kuat diantara partikel-partikel, disamping itu terjadi rekonstruksi susunan partikel yang dapat menghilangkan atau mengurangi pori-pori yang berada diantara partikel. Proses difusi yang berlangsung ada beberapa macam antara lain : difusi volum, difusi permukaan, difusi batas butir, dan difusi evaporasi – kondensasi (Reynen P. 1979, dan Randall M.G. 1991). Pada gambar 6. ditunjukkan macam proses difusi diantara tiga partikel yang saling kontak. Tiap macam difusi akan memberikan efek terhadap perubahan sifat-sifat fisis yaitu perubahan densitas, porositas, penyusutan, ukuran butir (Randall M.G. 1991). Umumnya peningkatan densitas, pengurangan pori dan penyusutan disebabkan karena adanya difusi volum dan difusi batas butir (Ristic .MM. 1989, dan Randall M.G. 1991).



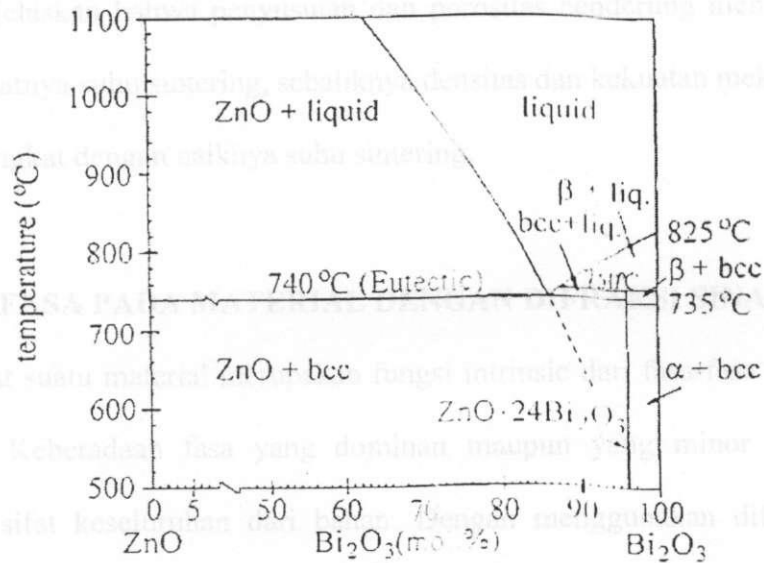


- (1) Evaporasi kondensasi
- (2) Difusi permukaan
- (3) Difusi kisi pada permukaan
- (4) Difusi batas butir
- (5) Difusi batas butir
- (6) Difusi volum

Gambar 6. Proses difusi selama proses sintering (Randall M.G. 1991).

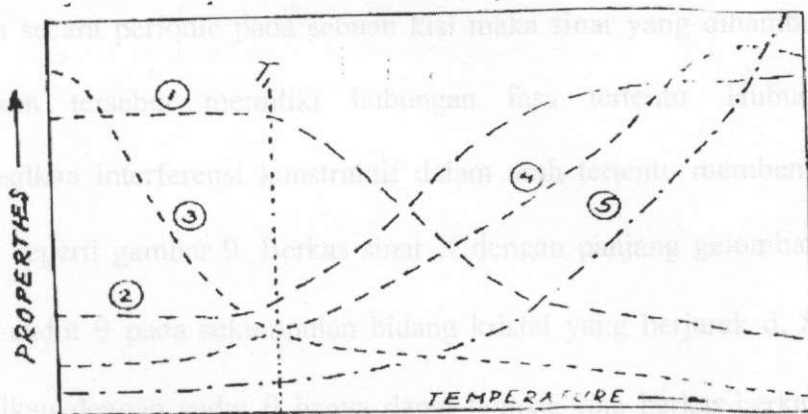
Faktor-faktor yang dapat mempercepat laju proses sintering antara lain : ukuran partikel, dan penggunaan aditif . Dalam pembuatan keramik ZnO digunakan bahan aditif yang mampu mempercepat proses sintering dan sekaligus dapat menurunkan suhu sintering. ZnO murni memiliki suhu sintering yang cukup tinggi yaitu diatas suhu 1300°C , dengan penggunaan aditif Bi_2O_3 yang memiliki titik lebur yang lebih rendah yaitu 825°C , maka suhu sintering dari keramik ZnO dapat ditekan dibawah 1000°C (Mattias E, 2002). Pada gambar berikut ditunjukkan diagram fasa sistem ZnO - Bi_2O_3 . Dengan menambahkan aditif sampai 50 % mole Bi_2O_3 hanya terbentuk fasa tunggal ZnO, dan suhu sintering berkisar antara $800 - 1000^{\circ}\text{C}$ menurut diagram fasa tersebut.





Gambar 7. Diagram fasa sistem biner dari ZnO - Bi₂O₃ (Mattias E, 2002).

Beberapa parameter yang dapat dijadikan acuan untuk mengevaluasi proses sintering adalah (Ristic MM, 1989): densitas, porositas, sifat mekanik, dan penyusutan. Pada gambar 8 ditunjukkan hubungan antara parameter-parameter tersebut terhadap perubahan suhu sintering.



Keterangan : (1) Penyusutan, (2) Densitas, (3) Porositas,
(4) Kekuatan mekanik, (5) Ukuran butir

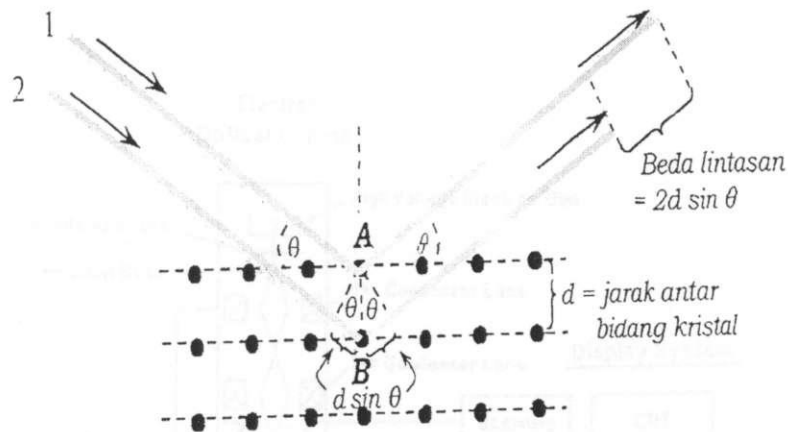
Gambar 8. Hubungan Suhu Sintering terhadap sifat-sifat keramik (Ristic MM, 1989).

Gambar 8, menjelaskan bahwa penyusutan dan porositas cenderung mengecil dengan meningkatnya suhu sintering, sebaliknya densitas dan kekuatan mekanik cenderung meningkat dengan naiknya suhu sintering.

II.6. ANALISA FASA PADA MATERIAL DENGAN DIFRAKSI SINAR X

Sifat-sifat suatu material merupakan fungsi intrinsic dari fasa-fasa yang terkandungnya. Keberadaan fasa yang dominan maupun yang minor akan mempengaruhi sifat keseluruhan dari bahan. Dengan menggunakan difraksi sinar X dapat diidentifikasi fasa-fasa yang terdapat dalam bahan. Sinar X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 0,5 sampai 2,5 Angstrom yang mendekati jarak antar atom kristal (Hassen dan Chan, 1992). Jika sinar X ditembakkan kesegalah arah dan dalam arah tertentu berkas sinar yang dihamburkan akan sefasa dan saling menguatkan. Jika atom-atom tersusun secara periodic pada sebuah kisi maka sinar yang dihamburkan oleh atom-atom tersebut memiliki hubungan fasa tertentu. Hubungan fasa menghasilkan interferensi konstruktif dalam arah tertentu membentuk berkas difraksi seperti gambar 9. Berkas sinar X dengan panjang gelombang λ jatuh dengan sudut θ pada sekumpulan bidang kristal yang berjarak d . Sinar yang dipantulkan dengan sudut θ hanya dapat tampak jika berkas-berkas dari tiap bidang yang berdekatan saling menguatkan. Oleh karena itu berkas sinar yang dihamburkan dari bidang difraksi sesuai dengan jarak antar kisi.





Gambar 9. Difraksi Dari Bidang Kristal

Persamaan dari pantulan sinar yang saling menguatkan dinyatakan dengan hukum Bragg yaitu (Hassen dan Chan, 1992) :

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (3)$$

dengan n adalah orde difraksi, λ adalah panjang gelombang, d adalah jarak antara bidang difraksi dan θ adalah sudut difraksi.

II.7. ANALISA MIKROSTRUKTUR DENGAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM).

Analisa mikrostruktur untuk mengetahui bentuk dan ukuran dari butir-butir serta mengetahui interaksi satu butir dengan butir yang lainnya. Melalui observasi dengan SEM dapat dilihat pula seberapa jauh ikatan butiran yang satu dengan yang lainnya dan apakah terbentuk lapisan diantara butiran atau disebut grain boundary. Skema peralatan SEM diperlihatkan pada gambar 10.

