

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Kristal<sup>(1,4,5,14)</sup>

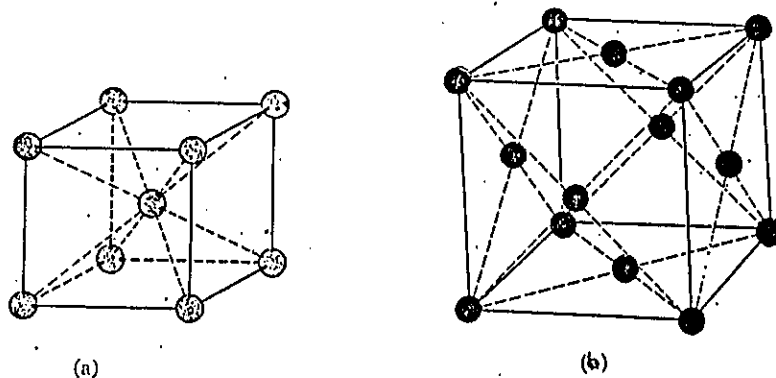
Kristal dapat digambarkan sebagai pola dimensi-tiga dalam mana corak struktur diulang sedemikian rupa sehingga lingkungan dari setiap corak sama di dalam kristal. Coraknya sering berupa molekul, tetapi dapat pula berupa kumpulan molekul. Kristal terdiri dari sel satuan yang masing-masing memiliki karakteristik koordinasi atom dalam seluruh kristal. Letak setara dalam setiap sel satuan, mempunyai tetangga yang sama arahnya, dan pada jarak yang sama pula. Pola pengaturan dalam kristal disebut kisi. Ada tujuh sistem kristal berdasarkan geometri sel satuan ( dimensi sel satuan dan sudut sumbu), yaitu kubik, tetragonal, orthorombik, monoklinik, triklinik, heksagonal dan rombohedral. George (1955) membedakan kristal dalam tujuh kelompok, berdasarkan pada kombinasi antar atom-atom dalam molekul dan ikatan yang terbentuk yaitu ionik, kovalen, molekular, metalik, silikat, lapisan kisi-kisi, dan metaloid. Sebuah struktur kristal dapat terbentuk dari satu tipe ikatan (homodestik) atau gabungan dari beberapa tipe ikatan (heterodestik).

#### 2.1.1. Struktur Kristal<sup>(4,17)</sup>

Kristal kubik memiliki pola yang sama sepanjang ketiga sumbu tegak lurus yaitu  $a_1 = a_2 = a_3$ . Beberapa logam berbentuk kristal kubik. Sistem kristal kubik terdiri dari

tiga bentuk kisi; kubik sederhana, kubik pemusatan ruang dan kubik pemusatan sisi.

Struktur kubik pemusatan ruang dan sisi diperlihatkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. (a) Struktur kubik pemusatan ruang dari logam besi

(b) Struktur kubik pemusatan sisi dari logam tembaga.<sup>(17)</sup>

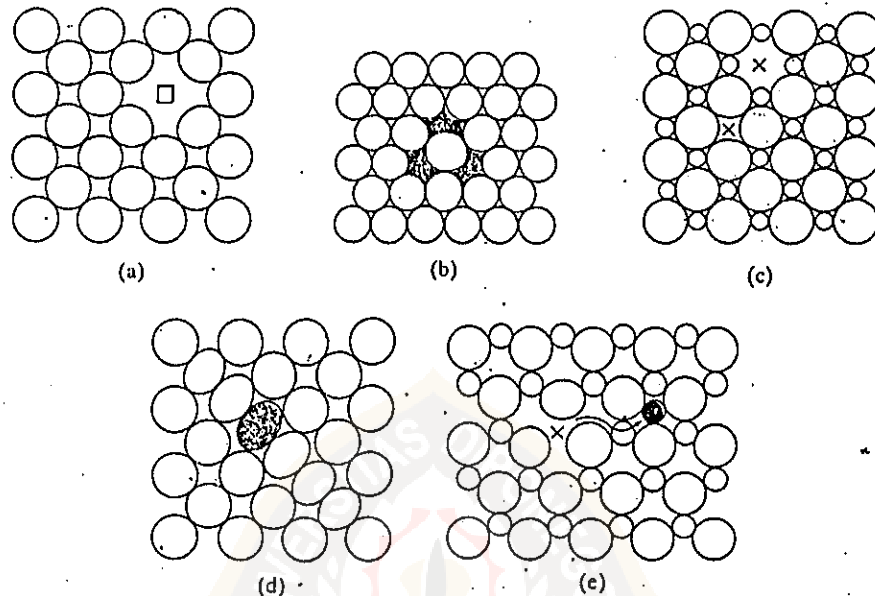
Besi mempunyai struktur kubik. Sel satuan dalam struktur kubik dari besi mempunyai atom pada tiap titik sudut kubus dan satu atom pada pusat kubus. Tiap atom besi dalam struktur kubik pemusatan ruang dikelilingi oleh delapan atom tetangga, oleh karena itu setiap atom akan mempunyai lingkungan geometrik yang sama. Sedangkan pada struktur kubik pemusatan sisi dari logam tembaga, atom logam tembaga tidak hanya terdapat pada tiap titik sudut kubus sel satuan, sebuah atom tembaga menempati setiap bidang permukaan, namun tak satupun dititik pusat kubus.

### 2.1.2. Ketidaktepatan Dalam Kristal<sup>(1,17)</sup>

Kristal dapat mempunyai ketidaktepatan atau cacat. Bila ketidaktepatan berupa kekosongan sebuah atau beberapa atom disebut cacat titik. Sedangkan

ketidaksempurnaan kristal yang lain dapat berujud; cacat garis, cacat permukaan. Sifat hantaran listrik pada kristal dapat ditentukan oleh ketidaksempurnaan kristal.

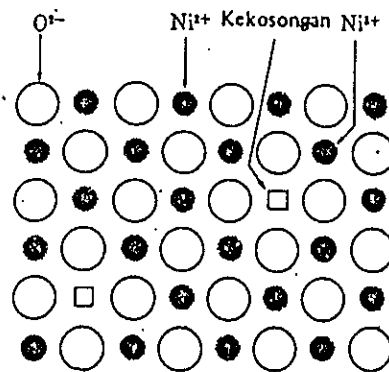
Suatu cacat titik dapat dihasilkan dari ketiadaan atom (lowongan/kekosongan), disini ada atom yang "hilang" dalam kristal (Gambar 2.2).



Gambar 2.2. Cacat titik (a) kekosongan, □ (b) kekosongan ganda (dua atom hilang) (c) kekosongan pasangan ion (d) sisipan (e) ion terpisah<sup>(17)</sup>

Bila satuan ulangan dalam kisi kristal adalah netral secara listrik, lowongan tak menghasilkan suatu problema khas terhadap kesetimbangan total dari muatan listrik. Tetapi dalam kristal ionik, lowongan harus diimbangi sedemikian rupa sehingga kristal sebagai keseluruhan adalah netral.

Ketidaktepurnaan ion dalam kristal ionik menyebabkan hantaran listrik, beberapa ion  $\text{Ni}^{2+}$  dalam kristal NiO tergantikan oleh ion  $\text{Ni}^{3+}$  sehingga menghasilkan kekosongan, yang mengakibatkan difusi dan konduktifitas ion lebih mudah.



Gambar 2.3. Semikonduktor jenis -p dari oksida nikel yang cacat akibat kekosongan<sup>(17)</sup>

## 2.2. Gelas<sup>(1,3,11,12,16)</sup>

Berdasarkan penelusuran literatur yang telah dilakukan, gelas dapat didefinisikan sebagai materi yang memiliki sifat-sifat sebagai berikut: optis-transparan, mudah pecah, amorf solid, non-crystalline solid, dan berstruktur random network. Anthony (1983) membedakan unsur-unsur pembentuk gelas menjadi dua yaitu: unsur pembentuk gelas utama dan unsur pembentuk gelas kondisional. Unsur pembentuk gelas utama dapat membentuk gelas dengan sendirinya, terdiri dari :  $\text{SiO}_2$  ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  ,  $\text{GeO}_2$  , dan  $\text{P}_2\text{O}_5$  sedangkan unsur pembentuk gelas kondisional tidak dapat membentuk gelas dengan sendirinya melainkan harus bersama-sama dengan unsur pembentuk gelas kondisional lainnya. Unsur pembentuk gelas kondisional terdiri dari:  $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{PbO}_2$ ,  $\text{SeO}_2$ ,  $\text{TeO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Ba}_2\text{O}_3$  dll . Uhlmann (1984) mempelajari bahwa unsur-unsur

pembentuk gelas tidak hanya dalam bentuk oksida, seperti: unsur kalkogenida: sulfur, selenium, telurium, senyawa organik sederhana; toluena, etil alkohol, gliserol, polimer organik: polietilen, logam-logam paduan;  $Au_4Si$ ,  $Pd_4Si$ , Karbonat;  $K_2CO_3$ – $MgCO_3$ , Nitrat;  $KNO_3$ – $Ca(NO_3)_2$ , dan sulfida;  $As_2S_3$ ,  $Sb_2S_3$  .

### 2.2.1. Kegunaan Gelas<sup>(1,16)</sup>

Pada awalnya kegunaan gelas ditujukan sebagai bahan dekoratif. Seiring dengan kepesatan ilmu dan teknologi gelas, gelas telah digunakan dalam banyak aplikasi; pelapis pada badan pesawat terbang, pembuatan kaca pengaman pada mobil, bahan tahan panas (refraktor), bahan anti korosi, gelas laser, gelas keramik, dan dalam bidang elektronika sebagai detektor, elektroda gelas, isolator, semikonduktor, dan konduktor.

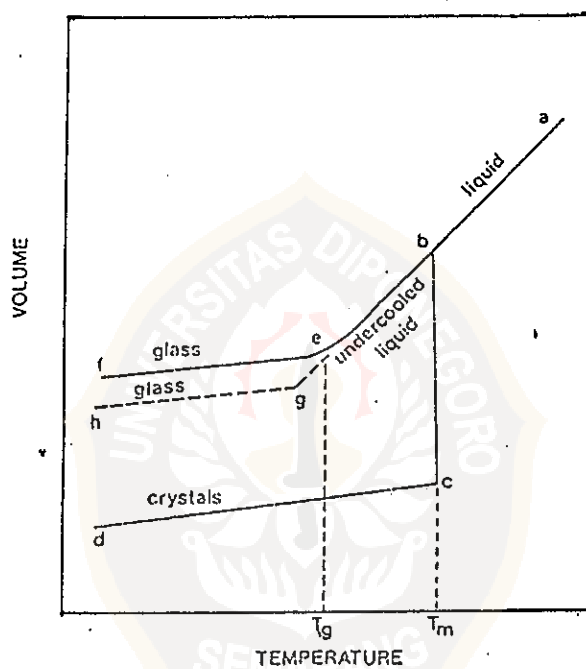
Gelas silika dibuat pada temperatur yang tinggi, sangat baik digunakan untuk bahan yang membutuhkan stabilitas pada temperatur tinggi. Gelas borosilikat memiliki transmisi optis yang baik, kemurnian yang tinggi, dan stabil pada temperatur tinggi sehingga sangat baik untuk alat-alat laboratorium, kaca mobil, dan peralatan memasak. Gelas timbal lebih mudah dibuat, dan indek bias gelas yang dihasilkan besar sehingga banyak digunakan sebagai gelas optik untuk kaca mata, lampu neon, dan kristal gelas untuk seni. Gelas aluminasilikat digunakan sebagai gelas keramik, gelas fiber, peralatan memasak dan bahan tahan korosi karena memiliki ketahanan yang tinggi terhadap bahan-bahan kimia, seperti asam, basa, dan garam, memiliki harga resistivitas yang besar, dan stabil pada temperatur tinggi.

Kemajuan pesat dialami gelas non silika, dengan teknik pembuatan yang lebih mudah dapat diperoleh gelas untuk aplikasi yang lebih beragam. Gelas kalkogenida dibuat dengan mengkombinasikan unsur-unsur golongan VIA (kalkogenida) sulfur, selenium dan telurium sendiri atau dengan unsur-unsur golongan VA yaitu fosfor, arsen, antimon, dan bismut yang terkadang juga ditambahkan dengan unsur golongan VIIA yaitu fluor, klor, brom, yodium, bahkan dapat juga ditambahkan dengan unsur germanium dan talium. Gelas kalkogenida banyak diaplikasikan di bidang elektronika sebagai semikonduktor. Pembuatan gelas kalkogenida dilakukan pada temperatur rendah dibawah  $500^{\circ}\text{C}$  dan memiliki temperatur gelas yang rendah sehingga perubahan panas yang kecil dapat mengubah struktur gelas. Gelas kalkogenida sistem As-S-Br dengan komposisi 25% As : 31% S : 44% Br yang menghasilkan harga resistivitas ( $\rho$ ) sebesar  $3,6 \cdot 10^6 \Omega\text{cm}$  telah dibuat oleh Pearson dkk (1969). Gelas selenium telah dibuat oleh David (1977) yang digunakan pada proses fotocopy.

### 2.2.2. Struktur Gelas<sup>(1,12,16)</sup>

Turnbull (1969) mengungkapkan pertanyaan mengapa gelas bersifat stabil dibawah titik leburnya. Sedangkan gelas dibuat dari sebuah cairan yang harus didinginkan dibawah titik leburnya dengan sangat cepat sehingga tidak terbentuk kristal. Turnbull<sup>(1)</sup> melakukan pengamatan terhadap kecepatan kristalisasi kristobalit dari gelas silika sebagai fungsi temperatur dan menemukan bahwa pada pendinginan dibawah suhu  $900^{\circ}\text{C}$  secara perlahan-lahan akan dihasilkan bentuk kristobalit sedangkan pada pendinginan secara cepat bentuk kristobalit tidak didapati. Angel (1970) memberikan

penjelasan tentang fenomena ini bahwa terdapat temperatur limit dimana gelas akan terbentuk yaitu temperatur gelas ( $T_g$ ) yang diperlihatkan pada grafik 2.1, pembentukan gelas mengikuti arah kurva a-b-e-f atau a-b-g-h, sedangkan pembentukan kristal mengikuti kurva a-b-c-d. Temperatur gelas diperlihatkan pada titik e dan g, dan titik lebur ( $T_m$ ) diperlihatkan pada titik b. Kurva b-e menunjukkan bahwa dalam gelas terjadi pendinginan secara cepat dari bentuk cairan menjadi padat yaitu gelas, tidak demikian dengan kristal, pendinginan dilakukan secara lambat ditunjukkan oleh kurva b-c.



Grafik 2.1. Volume versus temperatur kritis dari kristal, cairan, dan gelas<sup>(1)</sup>

Akibatnya, di dalam gelas akan terjadi ketidakteraturan pengaturan atom-atom karena pendinginan yang cepat dari keadaan cairan menjadi padat tidak memberikan kesempatan setiap atom untuk melakukan pengaturan diri. Untuk kristal, terjadi

pendinginan secara lambat sehingga dijumpai keteraturan dalam penyusunan atom-atom dalam struktur kristal.

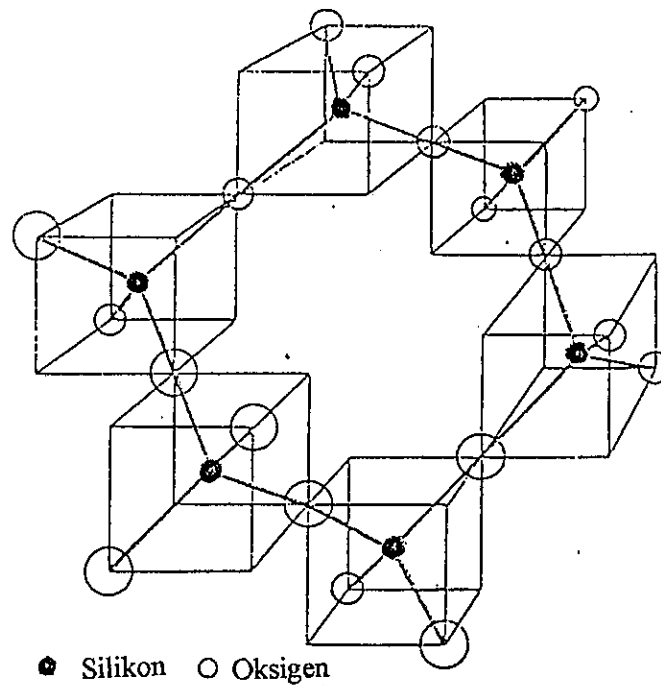
Lebih jauh Uhlmann menjelaskan bahwa pembentukan gelas memerlukan kecepatan pendinginan minimum untuk menekan pembentukan dan pertumbuhan inti kristal, menurutnya faktor yang menentukan pembentukan gelas adalah viskositas pada titik lebur gelas dan kecepatan penurunan viskositas terhadap temperatur dibawah titik lebur gelas.

Viskositas gelas berhubungan dengan struktur dan ikatan yang terjadi dalam gelas. Gelas silika dengan struktur polimer dimana ikatan antara Si—O sangat kuat, menjelaskan mengapa gelas silika memiliki viskositas yang sangat tinggi. Zachariasen (1932) menjelaskan kemampuan pembentukan gelas oleh beberapa oksida dan menyimpulkan bahwa dalam pembentukan gelas, oksida akan membentuk jaringan tiga dimensi yang tidak memiliki keteraturan sebagaimana struktur tiga dimensi dari kristal, namun memiliki energi yang sama. Zachariasen memberikan empat aturan untuk pembentukan struktur gelas oksida, sehingga struktur dari beberapa gelas oksida dapat diprediksikan:

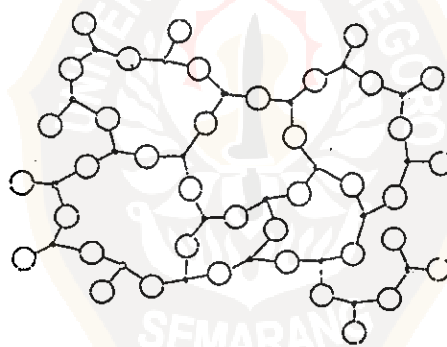
1. Atom oksigen terikat tidak lebih dari dua atom pembentuk gelas
2. Atom-atom pembentuk gelas harus memiliki bilangan koordinasi terkecil
3. Oksigen polihedra terbagi dipojok/ujung satu dengan yang lainnya
4. Struktur polihedra menyambung membentuk sebuah jaringan tiga dimensi

Struktur gelas silika yang memperlihatkan ketaatan terhadap aturan Zachariasen diperlihatkan oleh gambar 2.4.





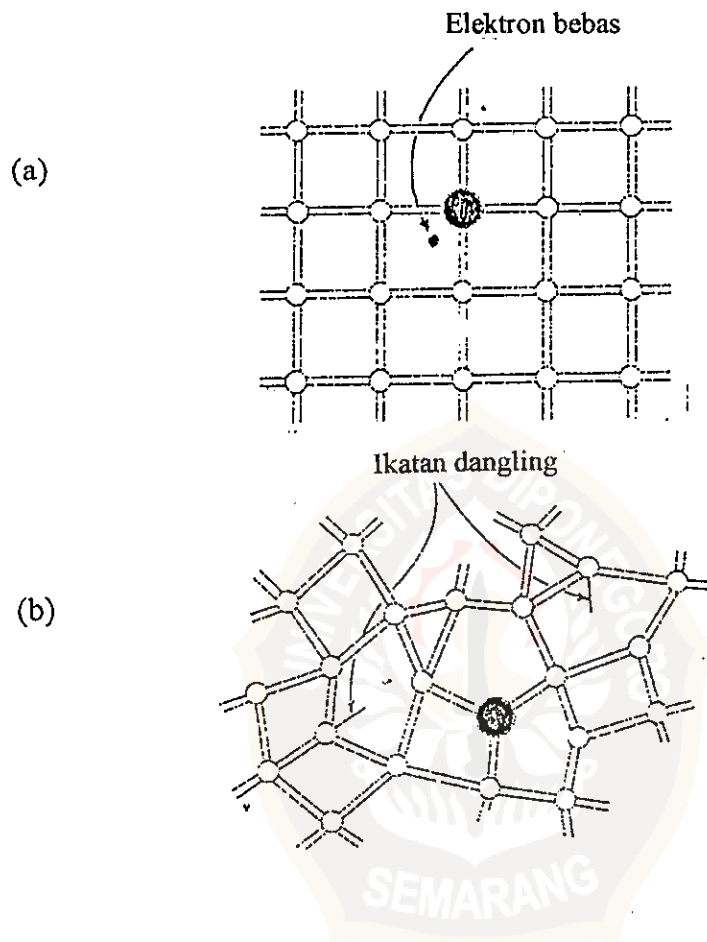
(a)



(b)

Gambar 2.4. (a) Memperlihatkan oksigen yang terbagi di ujung setiap polihedra.  
 (b) Struktur random network dalam dua dimensi gelas silika yang taat terhadap aturan Zachariasen.<sup>(12)</sup>

Gelas non oksida, diambil contoh gelas sistem Ge-As dalam kenyataannya memberikan struktur yang tidak taat terhadap aturan zachariasen demikian pula dengan gelas non oksida lainnya. Jadi struktur gelas tidak selalu taat pada aturan Zachariasen. Struktur gelas Ge-As diperlihatkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. (a) Struktur dua dimensi dari kristal germanium dengan penyisipan satu atom arsen.

(b) Struktur dua dimensi dari gelas sistem Ge-As.<sup>(1)</sup>

Kristal germanium memiliki struktur yang diperlihatkan pada gambar 2.5.(a), untuk setiap atom berikatan secara tetrahedra satu dengan yang lain membentuk struktur tiga dimensi. Penyisipan atom arsen, pentavalen, ke dalam struktur kristal germanium mengakibatkan terlepasnya atom germanium dan tergantikan oleh atom arsen. Arsen memiliki lima elektron valensi dimana empat elektron digunakan untuk membentuk ikatan kovalen dengan empat atom germanium, elektron kelima sangat mudah bergerak dalam struktur sehingga dihasilkan hantaran listrik dalam kristal germanium. Dalam struktur gelas Ge-As (gambar 2.5.(b)) menunjukkan bahwa atom germanium tidak hanya berikatan secara tetrahedra namun juga membentuk koordinat tiga sehingga sisa satu elektron yang membentuk ikatan dangling (elektron yang terjuntai) yang dapat menghasilkan hantaran listrik dalam gelas. Atom arsen membentuk ikatan kovalen dengan tiga atom germanium dan satu pasang elektron bebas menghasilkan ikatan anti bonding. Jadi dalam gelas Ge-As, atom arsen adalah netral dan tidak memiliki elektron bebas yang tidak berpasangan yang dapat menghasilkan hantaran listrik, namun demikian gelas Ge-As dapat memberikan hantaran listrik dengan keberadaan elektron dangling dalam struktur gelas Ge-As.