

# Struktur Kristal

Dr. I Made Astra, M.Si.



## PENDAHULUAN

---

Fisika zat padat secara umum berfokus pada atom dan elektron di dalam kristal. Kajian fisika zat padat dimulai pada permulaan abad 20 mengikuti penemuan difraksi sinar-X oleh kristal, publikasi dari serangkaian perhitungan sederhana, dan keberhasilan memprediksi sifat-sifat kristal. Ketika sebuah kristal tumbuh di sebuah lingkungan yang konstan, bentuknya berkembang seperti balok-balok identik yang ditambah secara terus-menerus. Balok-balok tersebut adalah atom atau kumpulan atom sehingga kristal adalah barisan atom periodik tiga dimensi. Hal ini sudah diketahui pada abad ke-18 ketika ahli mineral menemukan bahwa angka-angka indeks dari arah semua muka kristal adalah angka bulat. Modul 1 ini akan memudahkan Anda untuk mempelajari modul berikutnya tentang difraksi sinar-X.

Untuk keberhasilan Anda dalam belajar, ikutilah semua petunjuk dengan cermat. Bacalah uraian berulang-ulang, cari contoh lain yang serupa, kerjakan latihan secara disiplin, dan bacalah rangkuman sebelum mengerjakan tes formatif. Jika Anda menunjukkan disiplin yang tinggi dalam belajar, Anda akan mampu menyelesaikan tugas dan tes yang ada dalam modul ini dengan baik. Setelah menyelesaikan modul ini, Anda diharapkan mampu

1. membedakan kristal dengan amorf;
2. menentukan perbedaan antara kisi dan basis;
3. menggambarkan bidang kisi kristal;
4. membedakan bentuk-bentuk kristal sederhana;
5. membedakan sel primitif;
6. menghitung volume sel primitif;
7. menjelaskan bidang kisi dan indeks miller;
8. menyebutkan ciri-ciri sel kubik;
9. menentukan letak koordinat atom dalam kristal;
10. menghitung jari-jari atom;
11. menghitung rapat kemasan atomik.

Agar tujuan tersebut dapat Anda kuasai, modul ini diorganisasikan menjadi dua kegiatan belajar sebagai berikut.

1. Kegiatan Belajar 1: Kisi Kristal.
2. Kegiatan Belajar 2: Struktur Kristal.

Bacalah petunjuk penggunaan modul dan cermati Anda pasti berhasil dan secara berangsur-angsur Anda akan menjadi mahasiswa yang mampu mandiri.

**Selamat belajar!**

### **PETUJUK BELAJAR**

Petunjuk mahasiswa dalam proses belajar dengan menggunakan setiap kegiatan belajar dalam modul ini:

1. Anda harus telah menguasai prasyarat agar dapat mempelajari setiap kegiatan belajar pada modul ini dengan baik.
2. Pastikan bila Anda membuka setiap kegiatan belajar, Anda siap mempelajarinya minimal satu kegiatan hingga tuntas. Jangan terputus-putus atau berhenti di tengah-tengah kegiatan.
3. Pahami tujuan pembelajaran di setiap kegiatan belajar.
4. Bacalah materi pada setiap kegiatan belajar dengan cermat dan berikan tanda pada setiap kata kunci pada setiap konsep yang dijelaskan.
5. Perhatikanlah langkah-langkah atau alur dalam setiap contoh penyelesaian soal.
6. Kerjakan latihan dan evaluasi di tiap akhir materi yang telah dipelajari serta jangan melihat kunci jawaban sebelum Anda selesai mengerjakannya.
7. Tandailah bagian-bagian yang belum Anda pahami, kemudian diskusikan dengan teman atau tanyakan kepada tutor atau orang yang Anda anggap mampu.
8. Bacalah referensi lain yang berhubungan dengan materi di setiap kegiatan belajar agar Anda mendapatkan pengetahuan tambahan.
9. Bila Anda belum menguasai 70% dari tiap kegiatan, maka ulangi lagi langkah-langkah di atas dengan seksama dan lebih teliti.
10. Kerjakanlah soal-soal evaluasi akhir.

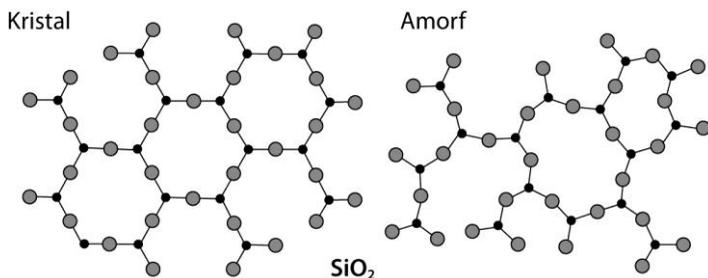
## KEGIATAN BELAJAR 1

## Kisi Kristal

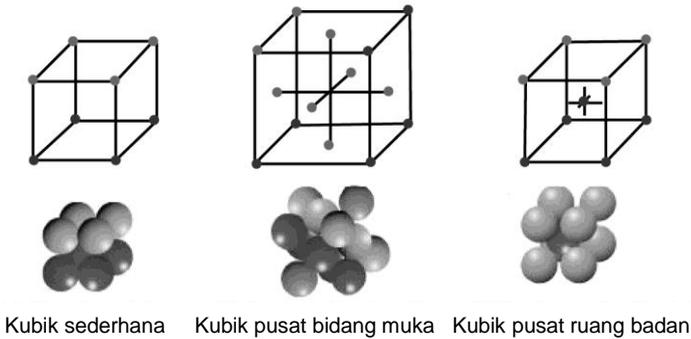
Kegiatan Belajar 1 (KB 1) ini akan mengajak Anda untuk mengkaji kisi kristal. Oleh karena itu, setelah menyelesaikan KB 1 ini Anda diharapkan mampu menjelaskan tentang kristal (barisan periodik atom), vektor kisi translasi, basis dan sel primitif, bidang dari partikel-partikel identik dalam barisan periodik dapat menjadi sebuah hukum untuk angka bulat pada indeks kisi dan indeks Miller, serta menjelaskan dan mengklasifikasikan tipe dasar ke kisi. Berkaitan dengan tujuan tersebut, bacalah uraian berikut dengan cermat, kerjakan latihan setelah membaca rambu-rambu pengerjaan latihan, dan kerjakan tes formatif setelah membaca rangkuman.

## A. KRISTAL

Material zat padat dapat diklasifikasikan berdasarkan keteraturan, di mana atom atau ion tersusun secara teratur antara atom yang satu dengan yang lainnya (atau disebut kristal) seperti intan. Sebuah material kristalin merupakan suatu kondisi di mana atom terletak dalam susunan yang berulang dalam jarak atomik yang besar; oleh karena itu, muncul urutan yang panjang. Seperti pada saat terjadi proses pepadatan (solidifikasi), atom-atom akan menempatkan diri mereka sendiri ke dalam pengulangan pola tiga dimensi di mana masing-masing atom terikat dengan atom tetangga yang letaknya sangat dekat.



Gambar 1.1  
Material Silikon Oksida (SiO<sub>2</sub>) dalam Bentuk Kristal dan Amorf



**Gambar 1.2**  
Tiga Jenis Unit Sel untuk Sistem Kristal Kubik

Semua logam, beberapa jenis keramik, dan polimer tertentu membentuk kristal di bawah kondisi pemadatan normal. Untuk material yang tidak bersifat kristalin, rantai pengulangan ini tidak muncul dalam jarak yang panjang; material ini disebut *nonkristalin* atau *amorf* (contohnya kaca). Sebagai contoh dalam Gambar 1.1 diperlihatkan bentuk kristal dan bentuk *amorf* dari material  $\text{SiO}_2$ .

Susunan atomik dalam kristal zat padat mengindikasikan bahwa sedikit kelompok atom membentuk sebuah pola pengulangan. Oleh karena itu, dalam menggambarkan struktur kristal, terkadang lebih mudah untuk membagi struktur tersebut ke dalam entitas pengulangan kecil yang disebut sebagai **unit sel**.

Unit sel (sel satuan) merupakan pola berulang dalam tiga dimensi dan membentuk kisi suatu kristal. Unit sel digambarkan sebagai volume terkecil suatu zat padat (Gambar 1.2). Semua sel satuan di dalam suatu kristal bersifat identik, jika kita membahas salah satunya berarti kita telah mendeskripsikan semuanya sehingga mempermudah proses analisis. Dalam Gambar 1.2 ditampilkan beberapa bentuk unit sel yang lazim ditemui dalam sebuah padatan.

## B. VEKTOR KISI TRANSLASI

Sebuah kristal ideal tersusun dari pengulangan struktur-struktur identik yang tidak berhingga. Pada Kristal yang sangat sederhana satuan penyusunnya adalah atom tunggal seperti pada tembaga, perak, emas, besi,

aluminium, dan logam-logam alkali. Namun, dalam bentuk kristal dapat meliputi banyak atom dan molekul.

Semua struktur kristal dapat dijelaskan dalam istilah kisi (*lattice*) yang dihadapi sebagai kumpulan atom berada pada tiap titik kisi. Kumpulan atom ini disebut basis; dan ketika berulang dalam ruang menjadi sebuah kristal sehingga kisi dapat didefinisikan sebagai *sebuah susunan titik-titik yang teratur dan periodik di dalam ruang*. Pada setiap titik kisi, baris atom-atom setiap basis adalah identik dalam komposisinya, susunannya serta orientasinya sehingga basis dapat didefinisikan sebagai *sekumpulan atom dengan jumlah atom dalam sebuah basis dapat bernilai satu atom atau lebih*.

**1. Vektor Kisi Translasi**

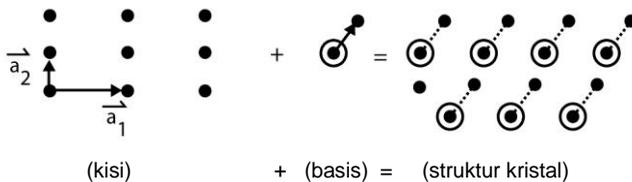
Kisi didefinisikan dengan tiga vektor pokok translasi  $a_1, a_2, a_3$  ketika susunan atom-atomnya terlihat sama di setiap arah ketika dilihat dari titik  $r$ . Begitu pula ketika dilihat dari titik lain:

$$r' = r + u_1 a_1 + u_2 a_2 + u_3 a_3 \tag{1}$$

Di mana  $u_1, u_2, u_3$  adalah bilangan bulat. Persamaan titik  $r'$  didefinisikan dengan (1) untuk semua  $u_1, u_2, u_3$  yang didefinisikan sebagai vektor basis.

Sebuah kisi adalah barisan periodik reguler dari titik-titik dalam ruang. Kisi adalah abstraksi matematika; struktur kristal yang terbentuk saat basis atom ditambahkan pada setiap titik kisi. Hubungan logisnya adalah:

$$Kisi + basis = struktur kristal \tag{2}$$



Gambar 1.3  
Bagan Struktur Kristal

Kisi dan vektor translasi  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  disebut primitif jika terdapat dua titik  $r$  dan  $r'$  yang susunan atomnya terlihat sama dan selalu memenuhi persamaan (1) dengan pilihan nilai  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$  tertentu. Dengan definisi dari **vektor translasi primitif**, tidak ada sel yang volumenya lebih kecil dari sel primitif yang dapat menyusun struktur kristal, atau dapat dikatakan bahwa sel primitif merupakan basis sel penyusun kristal terkecil.

Kita sering menggunakan vektor translasi primitif untuk mendefinisikan sumbu kristal. Namun, sumbu kristal nonprimitif sering digunakan ketika memiliki hubungan dengan simetri dari struktur. Sumbu kristal  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  dari 3 tepi yang berdekatan dapat membentuk sebuah *parallelepiped*. Jika titik kisi hanya ada di sudut-sudutnya, maka itu adalah *parallelepiped* primitif.

Sebuah operasi kisi didefinisikan sebagai perpindahan dari kristal dengan vektor translasi kristal:

$$T = u_1 a_1 + u_2 a_2 + u_3 a_3 \quad (3)$$

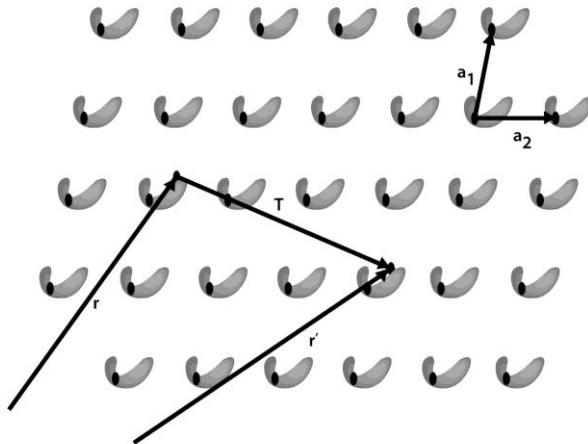
Dua titik kisi sembarang dihubungkan oleh vektor dengan bentuk pers (3).

Untuk menggambarkan struktur kristal, ada tiga pertanyaan penting untuk dijawab: Apa itu kisi? Pilihan mana dari  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  yang akan kita buat? Apa itu basis?

Dalam sebuah struktur dapat memiliki lebih dari satu kisi, dan dalam kisinya bisa memiliki lebih dari satu sumbu. Basis baru dapat diidentifikasi jika kita telah menentukan semua hal tersebut. Semua (termasuk pola difraksi sinar-X) terbukti jika persamaan (3) terpenuhi.

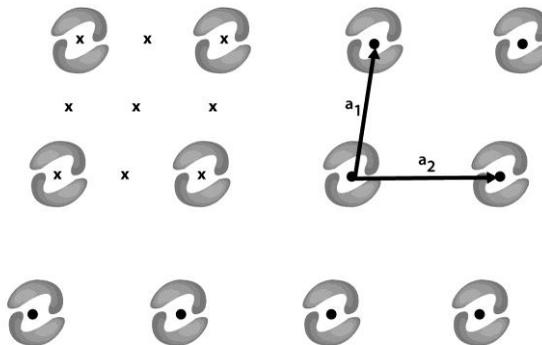
Operasi simetri dari kristal membawa struktur kristal ke bentuknya sendiri. Ini termasuk operasi translasi kisi. Selanjutnya, ada operasi rotasi dan refleksi, yang disebut operasi titik. Tentang titik kisi atau titik tertentu dalam sebuah paralelepipedum dasar, dimungkinkan untuk menerapkan rotasi dan refleksi yang dapat membawa kristal ke bentuknya sendiri.

Contoh :  $T = -a_1 + 3a_2$  (untuk molekul protein)



Gambar 1.4

Bagian dari Sebuah Kristal pada Molekul Protein Imajiner, dalam Dua Dimensi. (Molekul Protein Dipilih karena Tidak Mungkin Memiliki Simetri Khusus). Susunan Atom dalam Kristal Tampak Persis Sama untuk Pengamat di  $r'$  dan di  $r$ , dengan Ketentuan bahwa Vektor  $T$  ( $T = -a_1 + 3a_2$ ) yang Menghubungkan  $r'$  dan  $r$  Dinyatakan Sebagai Integral dari Vektor  $a_1$  dan  $a_2$ . Vektor  $a_1$  dan  $a_2$  adalah Vektor Translasi Primitif dari Kisi Dua Dimensi



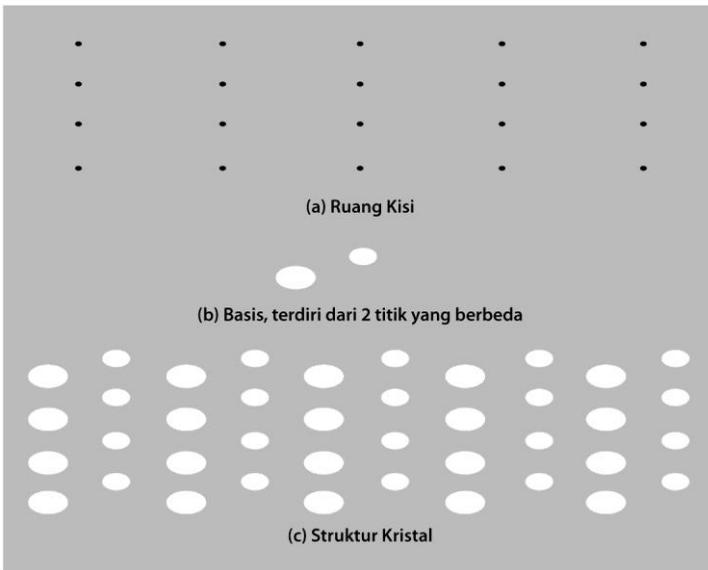
Gambar 1.5

Gambar 1.5 Mirip dengan Gambar 1.4, Tetapi dengan Molekul Protein yang Berpasangan. Vektor Translasi Kristal adalah  $a_1$  dan  $a_2$ . Sebuah Rotasi  $\pi$  Radian Terhadap Sumbu Putar Bertanda  $\times$  akan Memutar Kristal Sesuai dengan Bentuk Asalnya. Lini Terjadi juga untuk Posisi yang Ekuivalen pada Sel Lainnya, Tetapi Hanya Satu Sel yang Telah Ditandai  $\times$

Struktur kristal pada Gambar 1.4 telah menggambarkan operasi translasi simetri. Struktur kristal pada Gambar 1.5 mengikuti kedua translasi dan operasi titik simetri.

## 2. Basis

Sebuah basis atom ditambahkan pada setiap titik kisi, dengan setiap basis yang identik dalam komposisi, susunan, dan orientasi. Gambar 1.6 menunjukkan bagaimana struktur kristal terbentuk dengan menambahkan sebuah basis pada setiap titik kisi. Kisi ditunjukkan oleh titik pada Gambar 1.4 dan Gambar 1.5, tetapi pada Gambar 1.6c titik-titik tersebut dihilangkan.



Gambar 1.6

Struktur Kristal Terbentuk oleh Penambahan Basis (b) Pada Setiap Titik Kisi pada Sebuah Kisi (a) Dengan Melihat Pada (c), Anda Dapat Mengenali Basis dan Dapat Mengabstraksikan Ruang Kisi. Tidak Masalah Ketika Basis Ditaruh dalam Hubungan terhadap Titik Kisi

Jumlah atom yang terdapat pada basis mungkin hanya satu, atau mungkin lebih dari satu. Posisi pusat sebuah atom  $j$  dari basis terkait dengan titik kisi dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$r_j = x_j a_1 + y_j a_2 + z_j a_3 \quad (4)$$

Kita dapat mengatur titik asal, yang telah disebutkan sebagai titik kisi yang terkait sehingga

$$0 \leq x_j, y_j, z_j \leq 1$$

### 3. Sel Primitif dan Sel Konvensional

#### a. Sel Primitif

Paralel epipedum didefinisikan sebagai sumbu primitif  $a_1, a_2, a_3$  yang disebut sel primitif (Gambar 1.6b). Sebuah sel primitif adalah jenis sel atau sel satuan. Sebuah sel akan mengisi semua ruang dengan pengulangan operasi translasi kristal yang cocok. Sebuah sel primitif adalah sel dengan volume minimum.

Ada banyak cara untuk memilih sumbu primitif dan sel primitif untuk sebuah kisi tertentu. Jumlah atom dalam setiap sel primitif atau basis primitif selalu sama untuk struktur kristal tertentu.

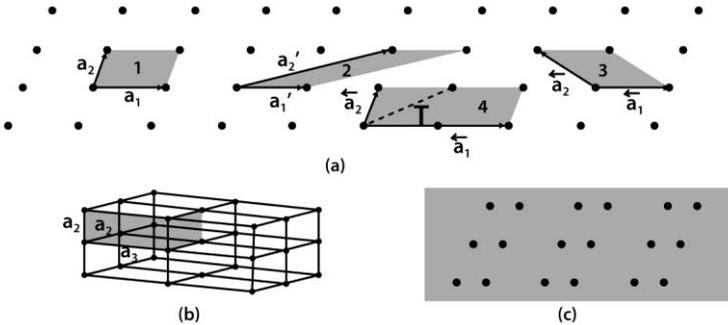
Selalu ada satu titik kisi per sel primitif. Jika sel primitif adalah sebuah paralel epipedum dengan titik kisi di setiap sudut dari kedelapan sudutnya, maka setiap titik kisi dibagi di antara delapan sel sehingga jumlah total titik kisi dalam sel adalah satu:  $8 \times \frac{1}{8} = 1$ .

Volume dari paralel epipedum dengan sumbu  $a_1, a_2, a_3$  adalah

$$V_c = |a_1 \cdot a_2 \times a_3|$$

$$V_c = |a_2 \cdot a_1 \times a_3|$$

$$V_c = |a_3 \cdot a_2 \times a_1| \quad (5)$$



Gambar 1.7

(a) Titik Kisi dari Kisi Ruang dalam Dua Dimensi. Jajaran Genjang 1, 2, 3 adalah Sama Di Daerah dan Salah Satu dari Mereka Dapat Diambil Sebagai Sel Primitif. Jajaran Genjang 4 Memiliki 2 Kali Area dari Sel Primitif. (b) Sel Primitif dari Kisi Ruang dalam Tiga Dimensi. (c) Misalkan Titik-titik Ini adalah Atom Identik: Sketsa pada Gambar Satu Set Titik Kisi, Sebuah Pilihan Sumbu Primitif, Sel Primitif, dan Dasar dari Atom yang Terkait dengan Titik Kisi

Contoh:

Apabila vektor-vektor translasi primitif adalah  $\vec{a}_1 = 4a$ ,  $\vec{a}_2 = 2a$ , dan  $\vec{a}_3 = 2a$ . Carilah volume sel primitifnya!

Jawab:

Ingat perkalian silang dan titik dua buah vektor:

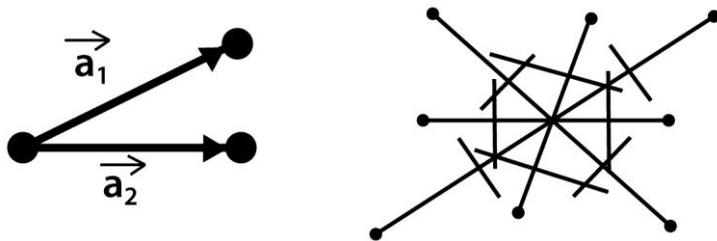
$$a_2 \times a_3 = 2a \times 2a = 4a^2$$

$$a_1 \cdot a_2 \times a_3 = 4a \cdot 4a^2 = 16a^3$$

Dengan analisis vektor dasar, basis yang terkait dengan sel primitif disebut basis primitif. Tidak ada basis yang mengandung atom kurang dari jumlah atom basis primitif.

Cara lain untuk menentukan atau memilih sel primitif adalah dengan metode "Wigner-Seitz". Apabila titik-titik kisi sudah tergambar atau terpolo, langkah berikutnya untuk menggambarkan sel primitif dengan metode "Wigner-Seitz" sebagai berikut.

- 1) Ambillah salah satu titik kisi sebagai acuan (biasanya di tengah).
- 2) Titik kisi yang Anda ambil sebagai acuan tadi, kemudian hubungkan dengan titik kisi terdekat di sekitarnya.
- 3) Di tengah-tengah garis penghubung tadi buatlah garis yang tegak lurus terhadap garis penghubung tadi.
- 4) Luas terkecil (2 dimensi) atau volume terkecil (3 dimensi) yang dilingkungi oleh garis-garis atau bidang-bidang ini yang disebut sel primitif Wigner-Seitz.



Gambar 1.8  
Menentukan Sel Primitif dengan Metode *Wigner-Seitz*

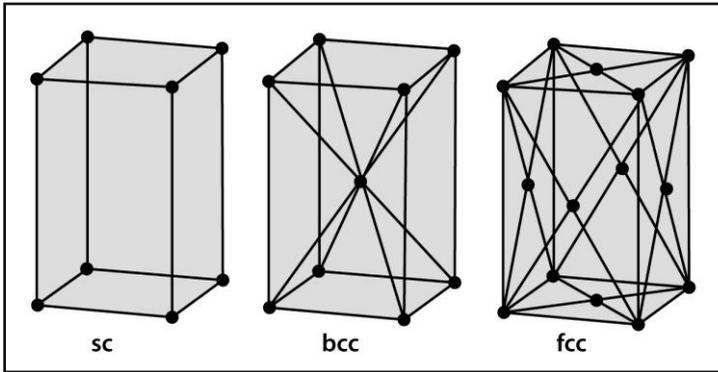
Cara lain untuk memilih sebuah sel primitif ditunjukkan pada Gambar 1.8. Hal ini diketahui fisikawan sebagai sebuah sel **Wigner-Seitz**.

#### 4. Sel Konvensional

Kalau dalam bahasan sebelumnya Anda tahu bahwa sel primitif ialah sel yang mempunyai luas atau volume terkecil maka sel konvensional (sel *tak* primitif) adalah sel yang mempunyai luas atau volume *bukan* terkecil artinya mempunyai luas atau volume yang besarnya merupakan kelipatan sel primitif

Sel satuan kristal boleh memiliki satu atom atau lebih dalam setiap selnya. Apabila dalam sel satuan terdapat hanya satu atom maka sel tersebut disebut sel primitif, di dalam sel primitif atom-atomnya hanya terdapat pada sudut-sudut sel, sedangkan untuk sel konvensional selain terdapat pada sudut-sudut sel, juga terdapat pada sisi muka (fcc) atau pusat sel (untuk bcc).

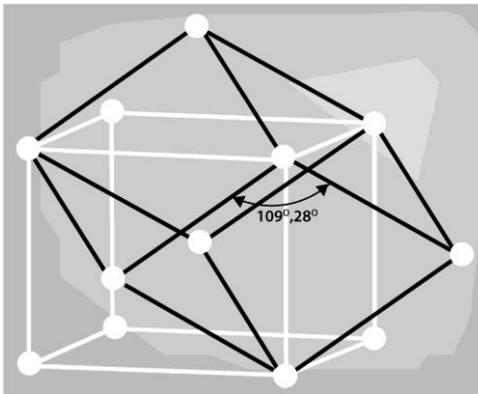
Apabila dalam sel primitif penggambaran sumbu-sumbunya dinyatakan dengan sumbu  $a_1$ ,  $a_2$ , dan  $a_3$ , maka untuk sel konvensional biasanya sumbu-sumbunya dinyatakan dengan sumbu  $x$ , sumbu  $y$  dan sumbu  $z$ . Gambar 1.9 adalah contoh dari sel konvensional.



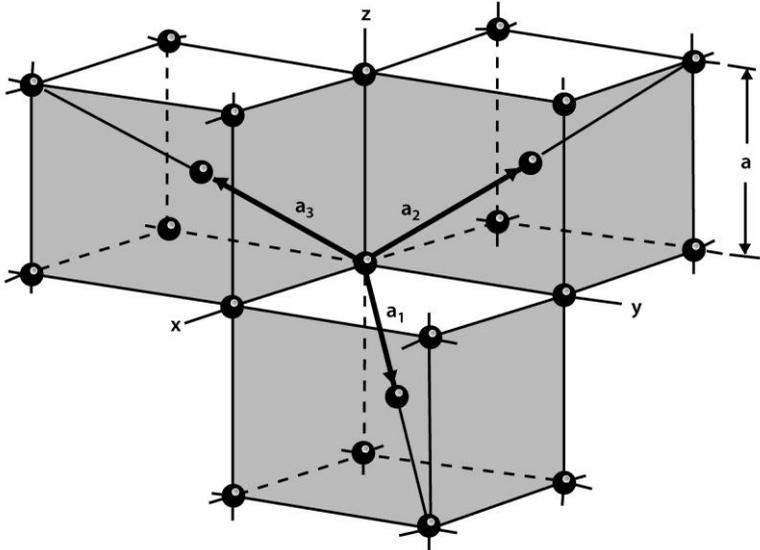
Gambar 1.9  
Kisi Ruang Kubik. Sel Di Atas Merupakan Sel Konvensional

### C. BIDANG KISI DAN INDEKS MILLER

Orientasi sebuah bidang kristal ditentukan oleh tiga titik pada bidang. Jika masing-masing titik berada pada sumbu yang berbeda, bidang kristal dapat digolongkan dengan memberikan koordinat dari titik dalam bentuk konstanta kisi  $a_1, a_2, a_3$ . Seperti pada Gambar 1.10.



Gambar 1.10  
Kisi Kubus Pusat Badan (body-centered cubic), Menunjukkan Sebuah Sel Primitif. Sel Primitif yang Ditunjukkan adalah Sebuah *Rhombohedron* dengan Tepi  $\frac{1}{2}\sqrt{3}a$  dan Sudut Antara Tepi Berdekatan adalah  $109^{\circ}, 28'$



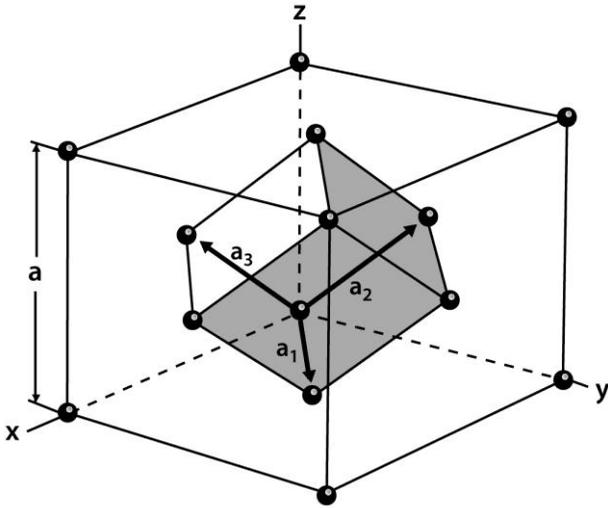
Gambar 1.11  
 Vektor Translasi Primitif dari Kisi Kubus Pusat Badan (*Body-Centered Cubic*), Vektor Tersebut Menghubungkan Titik Kisi pada Titik Asal ke Titik Kisi pada Pusat Badan. Sel Primitif Diperoleh pada Penyelesaian *Rhombohedron*

Perhatikan Gambar 1.11, pada bentuk dari tepi kubus  $a$  vektor translasinya adalah:

$$a_1 = \frac{1}{2}a(x + y - z)$$

$$a_2 = \frac{1}{2}a(-x + y + z)$$

$$a_3 = \frac{1}{2}a(x - y + z)$$



Gambar 1.12

Sel *Rhombohedral* Primitif dari Kristal Kubus Pusat Muka (*Face-Centered Cubic*). Vektor Translasi Primitif  $a_1, a_2, a_3$  Menghubungkan Titik Kisi pada Asal dengan Titik Kisi pada Pusat Muka

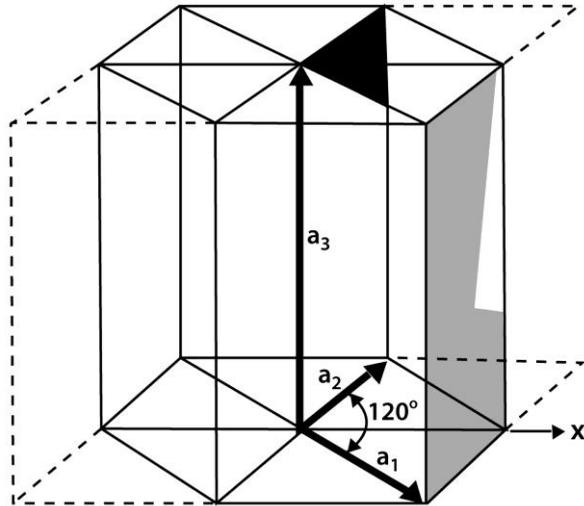
Seperti digambarkan pada Gambar 1.12, vektor primitifnya adalah

$$a_1 = \frac{1}{2}a(x + y)$$

$$a_2 = \frac{1}{2}a(y + z)$$

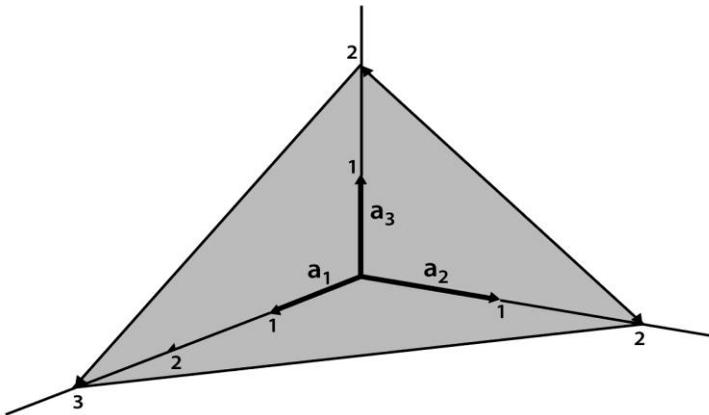
$$a_3 = \frac{1}{2}a(z + x)$$

Sudut antara sumbu adalah  $60^\circ$ , di mana  $x, y, z$  adalah vektor satuan kartesian.



Gambar 1.13

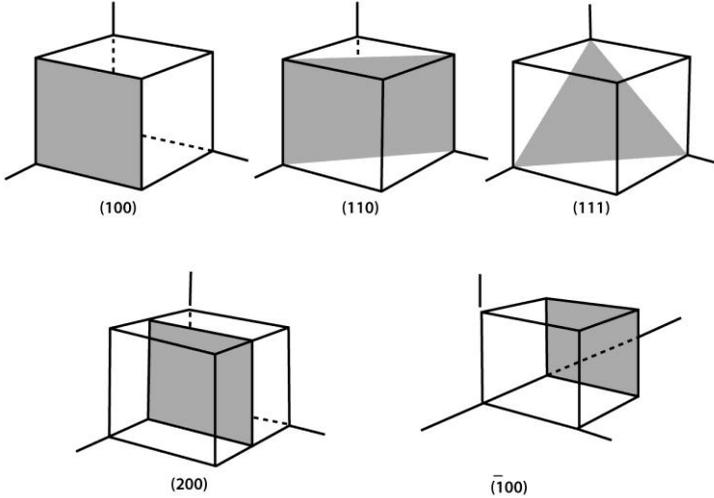
Relasi dari Sel Primitif pada Sistem Heksagonal (Garis Tebal) terhadap Prisma dari Heksagonal Simetris. Di mana  $a_1 = a_2 \neq a_3$ .



Gambar 1.14

Bidang Memotong Sumbu  $a_1, a_2, a_3$  di  $3a_1, 2a_2, 2a_3$ . Balikan dari Angka Ini adalah  $\frac{1}{3}; \frac{1}{2}; \frac{1}{2}$ . Tiga Bilangan Bulat yang Memiliki Rasio yang Sama adalah 2, 3, 3 maka Indeks Bidang adalah (2 3 3)

Konstanta kisi akan lebih bermanfaat untuk analisa struktur guna menentukan orientasi bidang dengan aturan sebagai berikut.



Gambar 1.15  
Indeks-indices Bidang Penting pada Kristal Kubus. Bidang (200) sejajar terhadap (100) dan ( $\bar{1}00$ )

1. Tentukan perpotongan pada sumbu dalam bentuk konstanta kisi  $a_1, a_2, a_3$ . Sumbu-sumbu dapat berasal dari sel primitif ataupun nonprimitif.
2. Tentukan balikan dari angka-angka tersebut, kemudian sederhanakan menjadi 3 angka bulat dengan memiliki rasio yang sama, biasanya angka bulat terkecil. Hasilnya ditulis dalam tanda kurung (hkl), disebut indeks bidang (bidang Kristal).

Untuk bidang yang terpotong 4,1,2, balikkannya  $\frac{1}{4}, 1, \text{ dan } \frac{1}{2}$ . Tiga angka bulat terkecil yang memiliki rasio sama adalah (142). Untuk perpotongan pada titik tak hingga, nilai indeks yang dimiliki adalah 0. Indeks untuk beberapa bidang penting pada kristal kubus dapat dilihat pada Gambar 1.15.

Indeks (hkl) dapat menggambarkan sebuah bidang atau bidang-bidang sejajar. Jika suatu bidang memotong sumbu pada sisi negatif dari titik acuan, maka indeksnya bernilai negatif, diindikasikan dengan tanda negatif di atas

indeks:  $(h\bar{k}l)$ . Sisi kubus dari Kristal kubus adalah  $(100)$ ,  $(010)$ ,  $(001)$ ,  $(\bar{1}00)$ ,  $(0\bar{1}0)$ , dan  $(00\bar{1})$ . Bidang-bidang yang ekuivalen karena kesimetrian didenotasikan dengan kurung kurawal di sekitar indeks; set dari sisi kubus adalah  $\{100\}$ . Ketika bidang  $(200)$  memiliki makna maka bidang tersebut sejajar dengan bidang  $(100)$ , tetapi memotong sumbu  $a_1$  pada  $\frac{1}{2} a_1$ .

Indeks  $[uvw]$  dari arah sebuah kristal adalah seperangkat angka bulat terkecil yang memiliki rasio komponen-komponen vektor pada arah yang diinginkan, berdasar kepada sumbu. Sumbu  $a_1$  adalah arah  $[100]$ ; sumbu  $a_2$  adalah arah  $[0\bar{1}0]$ . Pada kristal kubus, arah bidang Kristal  $[hkl]$  tegak lurus dengan bidang  $(hkl)$  mempunyai indeks yang sama, akan tetapi tidak benar untuk sistem kristal lainnya.

Secara singkat langkah-langkah untuk menentukan indeks Miller, antara lain berikut ini.

1. Tentukan titik-titik potong antara bidang yang bersangkutan dengan sumbu-sumbu  $(a_1, a_2, a_3)$  dalam satuan konstanta kisi  $a_1, a_2,$  dan  $a_3$ . Sumbu-sumbu di atas dapat dipakai sumbu konvensional  $(x, y, z)$  atau sumbu-sumbu primitif  $(a_1, a_2, a_3)$ .
2. Tentukan kebalikan dari bilangan-bilangan tadi.
3. Tentukan tiga bilangan bulat terkecil yang mempunyai perbandingan yang sama.
4. Bidang yang sering muncul disebut indeks  $(hkl)$  atau *Index Miller*.

Catatan:

Jika salah satu dari  $hkl$  negatif maka indeks bidang tersebut dapat dituliskan dengan tanda setrip di atasnya seperti  $(\bar{h}kl)$  artinya  $h$  bertanda negatif.

Contoh:

Tentukan *Indeks Miller* bidang ABC  $(1/3, 1/2, 1/2)$  dari Gambar 1.14 di atas!

Jawab:

1. Bidang-bidang ABC akan memotong sumbu  $a_1$  di  $3a_1$  memotong sumbu  $a_2$  di  $2a_2$  dan memotong  $a_3$  di  $2a_3$ .
2. Apabila  $[a_1] = [a_2] = [a_3] = 1$  maka kebalikan bilangan-bilangan tersebut adalah  $1/3, 1/2, 1/2$ .
3. Jadi, ketiga bilangan bulat yang mempunyai perbandingan yang sama dari  $1/3, 1/2, 1/2$  adalah 2, 3, 3 di dapat dari  $(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ .
4. Dengan demikian, *Indeks Miller* bidang ABC adalah  $(hkl)$  senilai  $(233)$ .

Kelompok bidang ini tergantung pada sistem kristal, dua bidang, atau lebih dapat tergolong dalam kelompok bidang yang sama. Kelompok bidang identik karena simetri biasanya dituliskan dalam kurung kurawal  $\{hkl\}$ .

Contoh:

Tentukan yang termasuk kelompok bidang  $\{100\}$ !

Jawab:

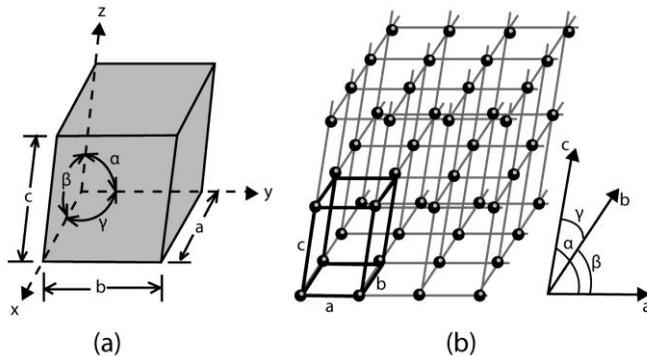
1. Kelompok bidang ini tergantung pada sistem kristal, dua bidang atau lebih dapat tergolong dalam kelompok bidang yang sama.
2. Kelompok bidang identik karena simetri biasanya dituliskan dalam kurung kurawal  $\{hkl\}$ .
3. Kelompok bidang ini adalah:  
mempunyai 6 kemungkinan bidang hkl yaitu  
 $(100), (010), (001), (\bar{1}00), (0\bar{1}0), (00\bar{1})$ .

#### D. TIPE DASAR KISI BRAVAIS

Pada tahun 1880, seorang ilmuwan bernama Auguste Bravais memperkenalkan suatu konsep mengenai kisi ruang. Apabila  $T$  merupakan vektor penghubung antara satu atom dengan atom lainnya maka berlaku persamaan berikut.

$$T = n_1a + n_2b + n_3c \quad (6)$$

Dengan  $n_1, n_2$ , dan  $n_3$  merupakan bilangan bulat,  $a, b, c$ , yang biasanya disebut vektor basis. Vektor basis merupakan vektor-vektor elementer yang dapat menunjukkan posisi kisi. Semua titik kisi dapat direproduksi dari kombinasi linier vektor-vektor. Persyaratan ini memberikan pembatasan pada rotasi yang diperbolehkan dan translasi yang cocok dengan rotasi yang diberikan.



Gambar 1.16  
 (a) Dimensi Sebuah Unit Sel; (b) Pengulangan Unit Sel ke Tiga

Kita dapat menggunakan vektor translasi sederhana (vektor satuan) untuk menggambarkan kedudukan sumbu kristal  $x, y, z$  yaitu dengan simbol  $a, b, dan c$ . Biasanya kita mengarahkan kristal sedemikian rupa sehingga sumbu- $x$  arahnya selalu menghadap kita dan titik asalnya diletakkan di sudut bagian bawah, kiri, belakang. Sudut-sudut yang dibentuk oleh sumbu ini ditandai dengan huruf Yunani, alpha ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), dan gamma ( $\gamma$ ). Keenam parameter ini dapat dilihat dalam Gambar 1.16.a dan terkadang disebut sebagai parameter kisi dari sebuah struktur kristal.

Variasi dari keenam parameter kisi ini menghasilkan tujuh sistem kristal yang ciri-cirinya ditentukan oleh tiga unsur simetri yaitu 1) sumbu simetri; 2) bidang simetri; 3) pusat simetri.

Kisi Kristal dapat dipetakan dengan translasi kisi  $T$  dan beragam operasi simetri lainnya. Sebuah operasi simetri yang khas adalah rotasi terhadap sebuah sumbu yang melewati titik kisi. Kisi-kisi dapat ditemukan dengan satu, dua, tiga, empat, dan enam kali rotasi sumbu yang membawa kisi itu sendiri, sesuai terhadap rotasi sebesar  $2\pi, 2\pi/2, 2\pi/3, 2\pi/4, dan 2\pi/6$  radian dan integral lipat dari putaran tersebut. Sumbu rotasi didenotasikan dengan simbol 1, 2, 3, 4, dan 6.

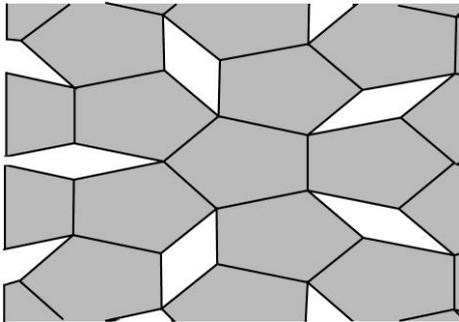
Kita tidak dapat menemukan sebuah kisi dengan rotasi lainnya seperti  $2\pi/7$  radian atau  $2\pi/5$  radian. Sebuah molekul tunggal didisain dengan tepat dapat memiliki sudut berapa pun pada rotasi simetris, tetapi sebuah kisi periodik tak hingga tidak bisa. Kita dapat memiliki sebuah kristal dari

molekul-molekul yang secara individual memiliki lima kali rotasi sumbu, tetapi kita tidak bisa mengharapkan kisi memiliki lima kali rotasi sumbu. Pada Gambar 1.16 kita saksikan apa yang terjadi jika kita mencoba membangun sebuah kisi periodik yang memiliki lima kali simetri: segi lima tidak cocok bersama-sama mengisi semua ruang, ditunjukkan bahwa kita tidak bisa mengombinasikan titik simetri lima kali dengan translasi periodik yang dibutuhkan.

Dengan kelompok titik kisi, kita memiliki kumpulan operasi simetri yang diterapkan pada titik kisi, membawa kisi ke dalam dirinya sendiri. Rotasi yang memungkinkan didaftar. Kita dapat memiliki refleksi  $m$  di sekitar bidang melalui titik kisi. Operasi pembalikan tersusun dari rotasi  $\pi$  diikuti oleh refleksi pada bidang tegak lurus terhadap sumbu rotasi; efek keseluruhan menggantikan  $r$  dengan  $-r$ . sumbu simetri dan bidang simetri dari sebuah kubus ditunjukkan oleh Gambar 1.16.

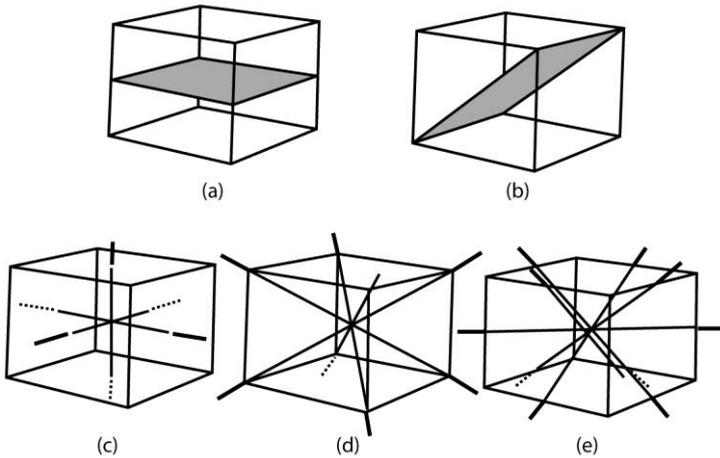
### 1. Tipe Kisi Dua Dimensi

Terdapat jumlah yang tak berhingga dari kisi yang memungkinkan karena tidak ada pembatasan alami pada panjang dari vektor translasi kisi atau pada sudut  $\phi$  di antara mereka. Kisi pada Gambar 1.17 telah digambarkan semuanya  $a_1$  dan  $a_2$ . Sebuah kisi umum seperti ini dikenal sebagai kisi miring dan hanya invariant dalam rotasi  $\pi$  dan  $2\pi$  di sekitar kisi mana pun.



Gambar 1.17

Sebuah Sumbu Lima Kali dari Simetri Tidak Dapat Ada pada Sebuah Kisi Periodik karena Tidak Mungkin untuk Mengisi Area Sebuah Bidang dengan Sebuah Barisan Terhubung pada Segi Lima. Kita Dapat, Bagaimana pun, Mengisi Semua Area Bidang Hanya dengan Dua Disain Berbeda dari “ubin” atau Polygon Dasar. Sebuah Kristal Kuasi Merupakan Penyusunan Kuasi Periodik Tak Acak dari Dua Jenis Gambar



Gambar 1.18

(a) Sebuah Bidang yang Sejajar Simetris terhadap Muka Kubus. (b) Bidang Diagonal dari Simetri pada Sebuah Kubus. (c) Tiga Sumbu Tetrad dari Sebuah Kubus. (d) Empat Sumbu Triad dari Sebuah Kubus. (e) Enam Sumbu Diad dari Sebuah Kubus

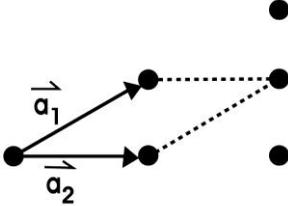
Akan tetapi, kisi istimewa dari tipe miring dapat menjadi invarian pada rotasi  $2\pi/3$ ,  $2\pi/4$ , atau  $2\pi/6$  atau pada refleksi cermin. Kita harus memaksakan kondisi terlarang pada  $a_1$  dan  $a_2$  jika kita ingin membangun sebuah kisi yang akan invarian pada satu operasi baru atau lebih. Ada empat tipe berbeda pada batasan, dan masing-masing akan mengarah pada apa yang kita sebut tipe kisi spesial. Demikian ada lima kisi berbeda pada dua dimensi, kisi miring dan empat kisi istimewa ditunjukkan pada Gambar 1.18. Kisi bravais adalah frase umum untuk tipe kisi berbeda; kita katakan bahwa ada lima kisi bravais atau jaring-jaring pada dua dimensi.

Berdasarkan pada parameter kristal maka kisi kristal dibagi ke dalam tipe kisi 2 dimensi dan tipe 3 dimensi. Tipe 2 dimensi ada 5 macam sebagai berikut.

- a. Kisi miring.
- b. Kisi bujur sangkar.
- c. Kisi heksagonal.
- d. Kisi segi panjang.
- e. Kisi segi panjang berpusat.

Tipe kisi b, c, d, dan e biasanya sering disebut jenis kisi kubus.

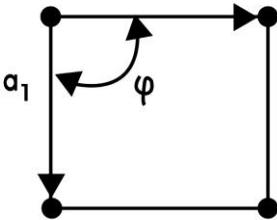
a. Kisi miring



Pada kisi miring:

- 1) Sudut  $\varphi = 90^\circ$
- 2) Sel satuannya berbentuk jajaran genjang, harga  $[a_1] \neq [a_2]$ .

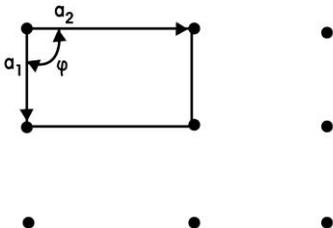
b. Kisi bujur sangkar



Pada kisi bujur sangkar:

- 1) Harga  $[a_1] = [a_2]$ , sudut  $\varphi = 90^\circ$
- 2) Sel satuannya berbentuk bujur sangkar, jumlah titik kisi pada:
  - a) sel primitif:  $(4 \times 1/4) = 1$  buah.
  - b) sel konvensional:  $(4 \times 1/4) = 1$  buah.

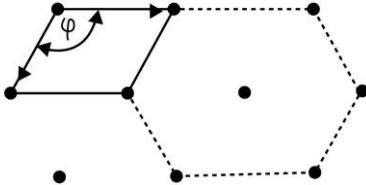
c. Kisi segi panjang



Pada kisi segi panjang:

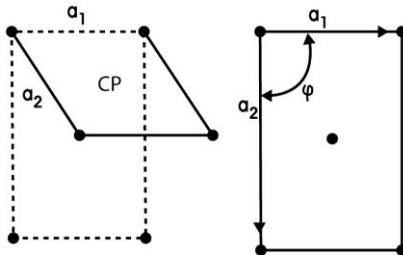
- 1) Harga  $[a_1] = [a_2]$ , sudut  $\varphi = 90^\circ$
- 2) Sel satuannya berbentuk segi empat panjang

d. Kisi heksagonal



- 1) Harga  $[a_1] = [a_2]$ , sudut  $\varphi = 120^\circ$
- 2) Sel satuannya berbentuk belah ketupat, jumlah titik kisi pada:  
Sel primitif:  $(4 \times 1/4) = 1$  buah.
- 3) Sel konvensional:  $(6 \times 1/3) + 1 = 1$  buah.

e. Kisi segi panjang berpusat



- 1) Harga  $[a_1] \neq [a_2]$ , sudut  $\varphi = 90^\circ$
- 2) Sel satuannya berbentuk segi panjang berpusat, jumlah titik kisi pada:
  - a) sel primitif:  $(4 \times 1/4) = 1$  buah;
  - b) sel konvensional:  $(4 \times 1/4) + 1 = 2$  buah.

## 2. Tipe Kisi Tiga Dimensi

Grup titik simetri pada tiga dimensi memiliki 14 tipe kisi berbeda pada Tabel 1.2. Kisi yang umum adalah triklinik, dan ada 13 kisi khusus. Kisi dikelompokkan agar memudahkan dalam sistem klasifikasi berdasarkan tujuh tipe sel seperti berikut.

- a. Triklinik.
- b. Monoklinik.
- c. Orthombik.
- d. Tetragonal.
- e. Kubik.
- f. Trigonal.
- g. Heksagonal.

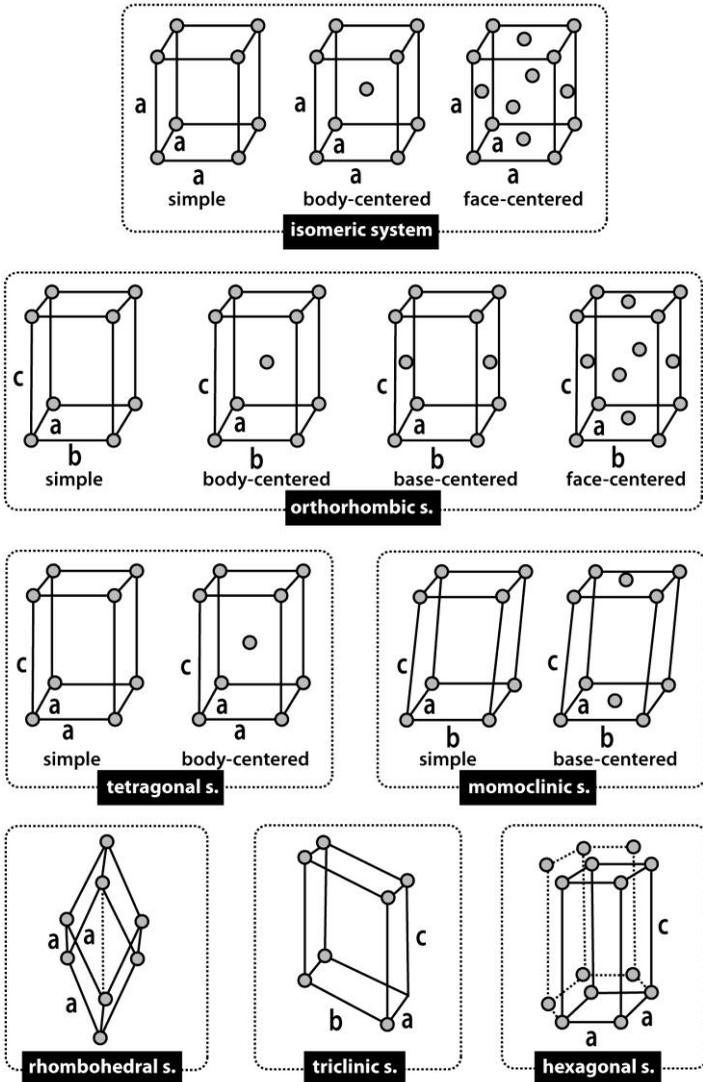
Pembagian dalam sistem ditunjukkan pada tabel dalam bentuk hubungan sumbu yang menggambarkan sel.

Sel pada Gambar 1.19 adalah sel konvensional, hanya sel sc yang merupakan sel primitif. Biasanya sel nonprimitif memiliki hubungan yang lebih nyata dengan operasi titik simetri daripada yang dimiliki sel primitif.

Dalam tiga dimensi, terdapat 14 kisi Bravais terbentuk dengan mengombinasikan salah satu dari tujuh sistem kristal (atau sistem aksial) dengan salah satu pusat kisi. Masing-masing kisi Bravais menunjukkan jenis kisi yang berbeda. Adapun pusat-pusat kisi tersebut sebagai berikut.

- a. Kisi primitif atau sederhana (P); titik kisi hanya terletak di sudutnya saja.
- b. Kisi *Body centered* (I); terdapat tambahan satu titik kisi yang terletak di pusat sel.
- c. Kisi *Face centered* (F); terdapat tambahan 6 titik kisi yang terletak di pusat masing-masing permukaan sel.
- d. Kisi *Base centered* (A, B, atau C); terdapat tambahan satu titik kisi pada salah satu pusat permukaan sel.

Banyaknya kombinasi dari kisi Bravais ini berjumlah 42, namun tidak semua kombinasi sistem kristal dan pusat kisi ini dibutuhkan untuk menggambarkan kisi-kisi yang mungkin terbentuk karena sebenarnya beberapa kombinasi ini bersifat ekuivalen dengan yang lainnya. Keempat belas kisi Bravais ditampilkan dalam gambar berikut.



Gambar 1.19  
Kisi Bravais

Tabel 1.1  
Tipe Kisi Tiga Dimensi

Sistem	Jumlah kisi	Batas Pada Sumbu dan Sudut Sel Konvensional
Triklinik	1	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$
Monoklinik	2	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$
Orthombik	4	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Tetragonal	2	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Kubik	3	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Trigonal	1	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha = \beta = \gamma < 120^\circ, \neq 90^\circ$
Heksagonal	1	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$

Hubungan antar 6 variabel pada kisi tiga dimensi dapat ditunjukkan seperti pada Tabel 1.1.

Terdapat tiga kisi pada sistem kubik yaitu

- kisi kubik sederhana (*simple cubic*);
- kisi kubik pusat badan (*Body-centered*) (bcc);
- dan kisi kubik pusat muka (*face-centered*) (fcc). Karakteristik dari ketiga kisi kubik terangkum pada Tabel 1.2.

Sel primitif pada kisi bcc ditunjukkan oleh Gambar 1.9, dan vektor translasi primitif ditunjukkan oleh Gambar 1.1. Vektor translasi primitif dari kisi fcc ditunjukkan oleh Gambar 1.2. Sel primitif berdasarkan pengertian hanya memiliki satu titik kisi, akan tetapi sel konvensional bcc memiliki dua titik kisi, dan sel fcc memiliki empat titik kisi.



## LATIHAN

---

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Apa yang membedakan antara kristal dan amorf?
- 2) Apakah yang dimaksud dengan kisi?
- 3) Apakah yang dimaksud dengan basis?
- 4) Apakah yang dimaksud dengan sel primitif?
- 5) Apa yang dimaksud dengan sel konvensional?
- 6) Jelaskan dan beri contoh cara melukiskan sel primitif *wigner-seitz*?
- 7) Apa yang dimaksud dengan vektor translasi primitif?
- 8) Berapakah vektor posisi atom apabila atom berada pada posisi  $2/3, 1/3$ , dan  $1/2$ ?
- 9) Gambarkan vektor translasi kristal dalam dua dimensi bila diketahui  $u_1 = 3$  satuan panjang,  $u_2 = -2$  satuan panjang?
- 10) Apabila vektor-vektor translasi primitif adalah  $a_1 = 4ax$  ;  $a_2 = 2ay$  dan  $a_3 = 2az$ . carilah volume sel primitifnya.

### *Petunjuk Jawaban Latihan*

- 1) Baca teori kristal.
- 2) Baca teori tentang kisi.
- 3) Baca teori tentang basis.
- 4) Baca pembahasan sel primitif.
- 5) Baca pembahasan sel konvensional.
- 6) Baca pembahasan sel *primitive wigner-seitz*.
- 7) Baca pembahasan vektor translasi.
- 8) Gunakan rumus:  $r_j = x_j a_1 + y_j a_2 + z_j a_3$ .
- 9) Lukis gunakan aturan sistem salib sumbu bidang x-y.
- 10) Gunakan rumus:  $V_o = |a_2 \cdot a_3 \times a_1|$ .



## RANGKUMAN

Berdasarkan apa yang telah Anda pelajari dalam Kegiatan Belajar 1 maka dapat dirangkum hal-hal penting seperti berikut.

1. Kristal ideal disusun oleh satuan-satuan struktur yang identik secara berulang-ulang yang tak hingga di dalam ruang, sedangkan yang susunannya tidak teratur disebut amorf.
2. Kisi (*lattice*) adalah sebuah susunan titik-titik yang teratur dan periodik di dalam ruang.
3. Basis adalah sekumpulan atom-atom dengan jumlah atom dalam sebuah basis dapat satu buah atom atau lebih.
4. Kristal adalah gabungan antara kisi dan basis.
5. Suatu kristal selalu memenuhi operasi translasi, dalam tiga dimensi dinyatakan dalam bentuk atom  $T = u_1 a_1 + u_2 a_2 + u_3 a_3$ , dengan:
  - $T$  = vektor translasi kristal
  - $u_1, u_2$  dan  $u_3$  = bilangan bulat (boleh positif ataupun negatif)
  - $a_1, a_2$  dan  $a_3$  = vektor-vektor translasi primitif
  - = sumbu-sumbu Kristal primitif
6. Vektor posisi  $r_j$  dari sebuah pusat atom  $j$  dari sebuah basis relatif terhadap titik kisi adalah  $r_j = x_j a_1 + y_j a_2 + z_j a_3$  dengan  $0 \leq x_j, y_j, z_j \leq 1$ .
7. Sel primitif adalah sebuah sel yang mempunyai luas (2 dimensi) atau volume (3 dimensi) terkecil, atau sebuah paralelepipedum yang dibentuk oleh sumbu-sumbu  $a_1, a_2$  dan  $a_3$ .
8. Volume sel primitif dinyatakan dalam bentuk persamaan
  - $V_o = |a_1 \cdot a_2 \times a_3|$
  - $V_o = |a_2 \cdot a_3 \times a_1|$
9. Cara lain untuk menggambarkan sel primitif adalah dengan metoda *wigner seitz*.



## TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Dalam dua dimensi yang termasuk kisi bravais adalah, *kecuali* bentuk ....
  - A. miring
  - B. persegi panjang
  - C. bujur sangkar memusat
  - D. monoklinik

- 2) Tipe kisi yang memiliki kisi 1 adalah ....
- trigonal
  - tetragonal
  - orthombik
  - ,onoklinik
- 3) Berikut yang merupakan sistem kristal tetragonal adalah ....
- NaCl
  - FeSO<sub>4</sub>
  - CuSO<sub>4</sub>
  - SiO<sub>2</sub>
- 4) Indeks Miller bidang yang memotong sumbu kristal pada  $a_1 = \frac{1}{2}$ ,  $a_2 = \frac{1}{3}$  dan  $a_3 = \frac{1}{2}$  adalah ....
- $(-\frac{1}{2} \frac{1}{3} \frac{1}{2})$
  - (3 2 3)
  - (2 3 2)
  - (-3 2 -3)
- 5) Indeks bidang dalam sel kubus konvensional adalah {1 0 0} artinya ....
- memotong sumbu x di titik =1
  - memotong sumbu y di tak hingga
  - memotong sumbu z di titik tak hingga
- Pernyataan yang benar adalah
- hanya 1
  - 1 dan 3
  - 2 dan 3
  - Semua benar
- 6) Apabila vektor-vektor translasi primitif adalah  $\vec{a}_1 = 4a$ ;  $\vec{a}_2 = 2a$  dan  $\vec{a}_3 = 2a$  maka volume sel primitifnya adalah ....
- $32 a^3$
  - $8 a^3$
  - $16 a^3$
  - $4 a^3$
- 7) Untuk sistem kisi *face centered cubic* tambahan kisi pada masing-masing permukaan sel sebanyak ....
- 1
  - 2

- C. 4  
D. 6
- 8) Untuk sistem kristal tetragonal besar sudut-sudut sumbu yang benar adalah ....
- A.  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$   
 B.  $\alpha = \gamma = 90^\circ = \beta$   
 C.  $\alpha = \beta = \gamma < 120^\circ, = 90^\circ$   
 D.  $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
- 9) Jumlah titik kisi tiap sel untuk fcc adalah ....
- A. 1  
 B. 2  
 C. 3  
 D. 4
- 10) Bila kisi kubus a maka volume sel primitif fcc adalah ....
- A.  $a^3$   
 B.  $1/3 a^3$   
 C.  $1/4 a^3$   
 D.  $1/8 a^3$

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

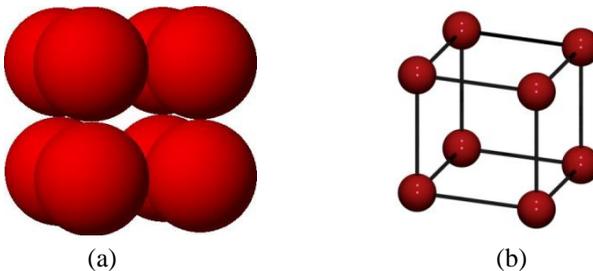
## KEGIATAN BELAJAR 2

## Struktur Kristal

Kegiatan Belajar 2 (KB 2) ini akan mengajak Anda untuk mengkaji struktur kristal. Oleh karena itu, setelah menyelesaikan KB 2 ini Anda diharapkan mampu menjelaskan pengertian struktur kristal, dan jari-jari atom. Berkaitan dengan tujuan tersebut, bacalah uraian berikut dengan cermat, kerjakan latihan setelah membaca rambu-rambu pengerjaan latihan, dan kerjakan tes formatif setelah membaca rangkuman.

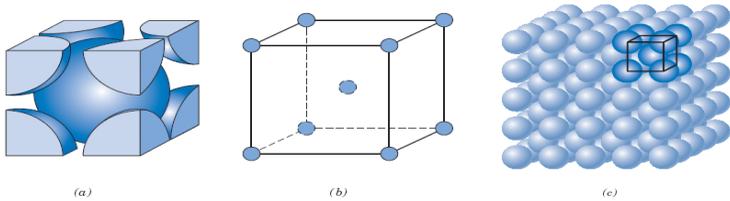
**A. STRUKTUR KRISTAL****1. Struktur Kristal Kubik***a. Struktur Simple Cubic (SC) atau Kubik Sederhana*

Dalam struktur kubik sederhana, atom-atom hanya terletak di bagian sudut saja sehingga hanya bersinggungan di sepanjang sisi kubus. Total atom yang berada dalam sebuah unit sel dengan struktur SC berjumlah 1 yang diperoleh dari penjumlahan seperdelapan atom yang terletak di sudut. Struktur ini kurang rapat dan memiliki bilangan koordinasi yang berjumlah enam. Bilangan koordinasi diartikan sebagai banyaknya atom tetangga terdekat atau banyaknya atom yang bersentuhan. Skema dari struktur kubik sederhana ini dapat dilihat dalam Gambar 1.20.



Gambar 1.20

Bentuk Struktur Kristal SC, a) Penggambaran Satu Unit Sel Bola Pejal, b) Gambar Unit Sel dengan Ukuran Bola Pejal yang Sudah Diperkecil



Gambar 1.21

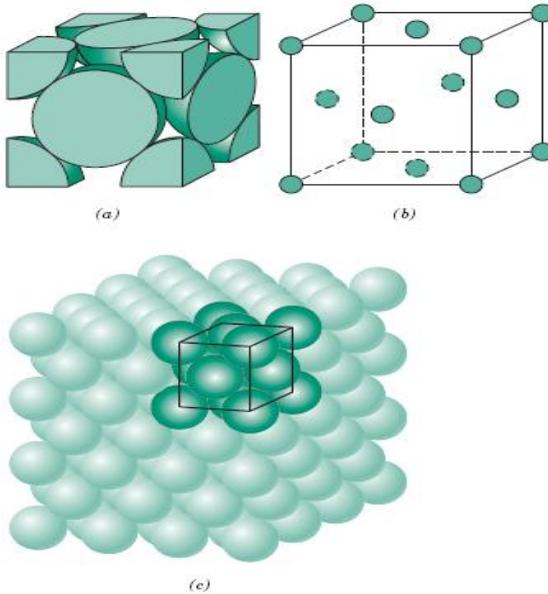
Bentuk Struktur Kristal BCC, a) Penggambaran Satu Unit Sel Bola Pejal, b) Gambar Unit Sel dengan Ukuran Bola Pejal yang Sudah Diperkecil, c) Kumpulan dari Banyak Atom

### b. Struktur Body Centered-Cubic (BCC)

Dalam struktur ini terdapat atom-atom yang terletak di semua sudut (delapan sudut) dan atom tunggal di bagian pusat kubus. Masing-masing unit sel BCC memiliki dua atom; satu atom berasal dari penjumlahan satu per delapan atom yang terletak di delapan sudut kubus dan satu lagi berasal dari atom yang terletak di pusat kubus, ketika posisi atom yang terletak di bagian sudut dengan di bagian pusat adalah sama. Bilangan koordinasi untuk struktur kristal BCC adalah 8, dan dapat dilihat pada Gambar 1.21.

### c. Struktur Face Centered-Cubic

Dalam struktur kristal FCC atom-atom terletak pada bagian sudut dan juga di pusat dari semua permukaan kubus. Untuk struktur kristal FCC, masing-masing atom yang terletak di sudut dibagi-bagi ke dalam delapan unit sel, oleh karena itu atom *face-centered* yang terletak pada bagian sisi terbagi menjadi dua. Total atom yang dimiliki oleh struktur kristal FCC ada 4 yang diperoleh dari penjumlahan satu per delapan dari masing-masing atom yang terletak di delapan sudut dengan setengah bagian atom yang terletak di enam permukaan sel yang dapat dilihat dalam Gambar 1.21. Untuk FCC, bilangan koordinasinya ada 12.



Gambar 1.22

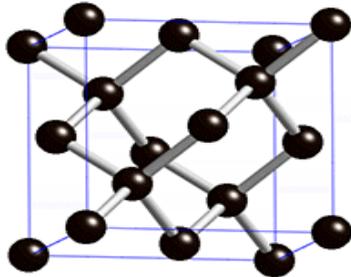
Bentuk Struktur Kristal FCC, a) Penggambaran Satu Unit Sel Bola Pejal, b) Gambar Unit Sel dengan Ukuran Bola Pejal yang Sudah Diperkecil, c) Kumpulan dari Banyak Atom

#### d. Struktur Kubik Lainnya

Terdapat beberapa struktur kristal yang merupakan kombinasi dari salah satu struktur kubik dasar yang saling menyusup antara satu dengan yang lainnya. Struktur kristal seperti ini biasanya disebut sebagai struktur kristal campuran jenis AX, ketika A merupakan notasi untuk kation dan X merupakan notasi untuk anion. Beberapa di antara struktur ini adalah struktur kubik intan, seng *blended*, natrium klorida, dan cesium klorida yang akan dijelaskan sebagai berikut.

##### 1) Struktur Kubik Intan

Struktur intan merupakan gabungan dari subkisi FCC, yang tersusun dari delapan atom sudut dan enam atom yang terletak di pusat permukaan unit sel. Semua ini membentuk satu struktur FCC yang titik asalnya terletak pada koordinat  $0, 0, 0$  sedangkan subkisi yang lain terletak pada koordinat  $\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}$ ;  $\frac{3}{4}, \frac{3}{4}, \frac{1}{4}$ ;  $\frac{3}{4}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4}$ ; dan  $\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4}$  yang dapat dilihat dalam Gambar 1.23.

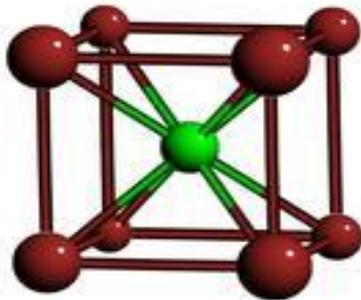


Gambar 1.23  
Sebuah Unit Sel untuk Struktur Kristal Intan

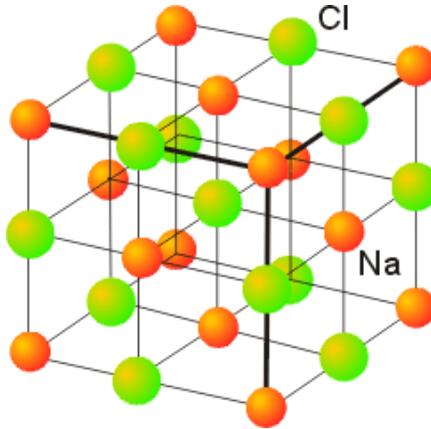
2) Struktur Cesium Klorida (CsCl)

Dalam struktur Kristal ini, anion terletak pada masing-masing sudut kubus dan di bagian pusat dari kubus ini diisi oleh satu kation yang dapat dilihat dalam Gambar 1.24. Pertukaran antara kation dan anion ataupun sebaliknya, menghasilkan struktur kristal yang sama. Struktur ini memiliki bilangan koordinasi yang berjumlah 8 buah baik untuk kation maupun anion.

Struktur cesium klorida (CsCl) merupakan gabungan dari dua buah kisi kubus sederhana (SC) sehingga atom sudut yang berada pada salah satu kisi dapat berlaku seperti atom pusat untuk kisi yang lain. Struktur ini memiliki koordinat untuk Cs : 0, 0, 0 dan Cl :  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{2}$ .



Gambar 1.24  
Sebuah Unit Sel untuk Struktur Kristal Cesium Klorida



Gambar 1.25  
Sebuah Unit Sel untuk Struktur Kristal Natrium Klorida

### 3) Struktur Natrium Klorida (NaCl)

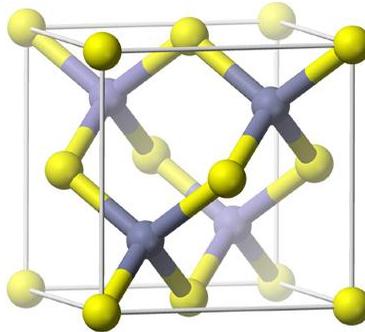
Sebuah unit sel untuk struktur kristal ini dibentuk oleh susunan FCC dari anion dengan satu kation yang terletak di pusat dan di tengah-tengah sepanjang tepi kubus (Gambar 1.25). Bilangan koordinasi yang dimiliki oleh kation dan anion untuk struktur kristal natrium klorida (NaCl) ini berjumlah enam. Pada setiap kubus terdapat empat molekul, dengan koordinat atom-atomnya sebagai berikut.

$$\text{Na} \rightarrow 0, 0, 0 ; \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0 ; \frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2} ; 0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$$

$$\text{Cl} \rightarrow \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2} ; 0, 0, \frac{1}{2} ; 0, \frac{1}{2}, 0 ; \frac{1}{2}, 0, 0$$

### 4) Struktur Seng Sulfida (ZnS)

Dalam struktur ini, semua posisi sudut dan permukaan ditempati oleh atom S, sedangkan atom Zn mengisi bagian dalam posisi tetrahedral. Jika posisi atom Zn dan S ditukar maka akan diperoleh susunan yang ekuivalen. Masing-masing atom Zn mengikat 4 atom S begitu pun sebaliknya (Gambar 1.26).



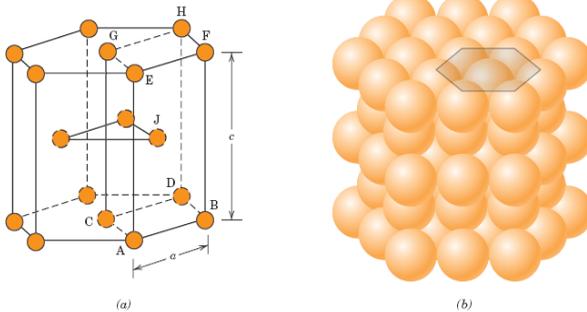
Gambar 1.26  
Sebuah Unit Sel untuk Struktur Kristal Seng Sulfida

Pada struktur seng sulfida ini, atom-atom Zn menempati salah satu kisi FCC dan atom-atom S menempati kisi FCC yang lain sehingga strukturnya sama dengan struktur intan. Koordinat atom-atom untuk Zn sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Zn} &\rightarrow 0, 0, 0 ; 0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2} ; \frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2} ; \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0 \\ \text{S} &\rightarrow \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4} ; \frac{3}{4}, \frac{3}{4}, \frac{3}{4} ; \frac{3}{4}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4} ; \frac{3}{4}, \frac{3}{4}, \frac{1}{4} \end{aligned}$$

## 2. Struktur Kristal Heksagonal *Closed Packed* (HCP)

Tidak semua logam memiliki unit sel dengan simetri kubik. Struktur kristal umum yang terakhir ini memiliki struktur kristal heksagonal. Permukaan atas dan bawah unit sel ini terdiri atas enam atom yang membentuk hexagon dan mengelilingi sebuah atom tunggal di bagian pusat. Bidang lain yang membentuk tiga atom tambahan dalam unit sel diletakkan di antara bidang bagian atas dan bawah. Atom yang terletak pada bidang tengah memiliki atom tetangga terdekat di kedua bidang yang berdekatan. Dengan demikian, struktur kristal HCP memiliki bilangan koordinasi yang berjumlah 6. Struktur ini biasanya ditemui pada beberapa logam di antaranya magnesium, titanium, seng, berrelium dan kobalt, yang dapat dilihat pada Gambar 1.27.

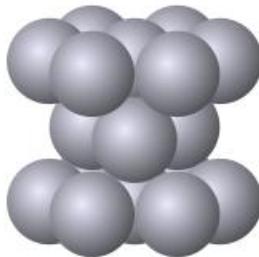


Gambar 1.27  
Struktur Kristal HCP a) Tumpukan Bidang-bidang HCP,  
b) Kedudukan Relatif Atom-atom dalam kristal HCP

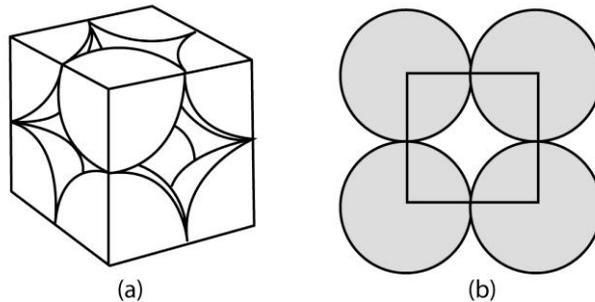
Dalam struktur ini bola-bola atom tersusun dalam satu bidang ketika satu bola atom bersinggungan dengan enam bola atom di sekitarnya (lapisan A). Pada lapisan kedua (B) terdiri atas tiga atom yang saling bersinggungan. Sedangkan pada lapisan ketiga (C) strukturnya sama dengan lapisan A, Gambar 1.27.

## B. JARI-JARI ATOM

Dengan menggunakan ciri-ciri utama yang terdapat dalam struktur, kita dapat menghitung ukuran dalam suatu jenis struktur tertentu. Dalam subbab ini akan dibahas beberapa ciri-ciri geometris yang penting antara lain; jari-jari atom, jumlah atom perunit sel, densitas kemasan relatif, dan bilangan koordinasi.



Gambar 1.28  
Susunan Tumpukan Padat untuk HCP



Gambar 1.29

- a) Struktur Kristal Kubik Sederhana (SC),  
 b) Keterkaitan antara Jari-jari  $R$  dengan Kisi Kristal  $a$

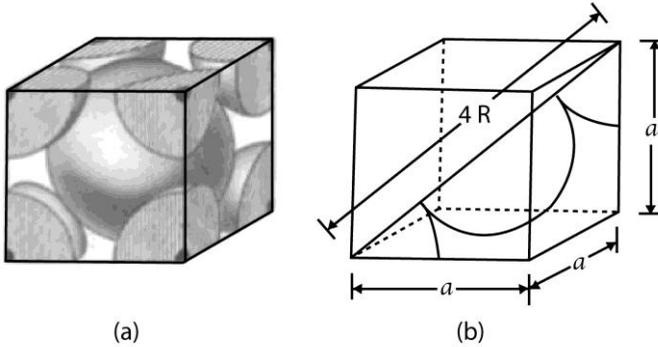
### 1. Jari-jari Atom

Jari-jari atom digunakan untuk menghitung besarnya jarak kesetimbangan antara dua pusat atom yang berdekatan. Beberapa hal yang dapat mempengaruhi besarnya jarak antar atom, faktor pertama adalah suhu. Bertambahnya kalor dapat membuat suatu benda memuai sehingga jarak kesetimbangan antar atomnya bertambah. Faktor kedua adalah ionisasi elektron valensi, hal ini disebabkan karena berkurangnya elektron terluar menyebabkan elektron yang tersisa semakin tertarik ke dalam mendekati bagian inti. Sedangkan faktor yang ketiga adalah bilangan koordinasi, semakin besar bilangan koordinasi atau dengan kata lain semakin banyak atom tetangga terdekatnya maka tolakan elektronik semakin besar sehingga jarak kesetimbangan antar atom bertambah. Pada umumnya, jari-jari atom dinyatakan dengan ' $R$ ' dan kisi kubus dinyatakan dengan ' $a$ '. Pada bagian ini akan dibahas keterkaitan antara jari-jari atom dengan sisi kubus untuk beberapa sistem kristal seperti pada Gambar 1.29.

#### a. Kristal Kubik Sederhana

Dalam sistem kristal kubik sederhana, terlihat bahwa atom-atom bersinggungan hanya sepanjang sisi kubus, dengan demikian kristal ini memiliki jari-jari atom yang bernilai  $a/2$  yang dapat dilihat dalam Gambar 1.30. Dalam gambar ini kita juga dapat melihat bahwa masing-masing atom memiliki enam atom tetangga terdekat yaitu empat atom yang posisinya berada dalam satu bidang, serta dua atom yang terletak di bagian atas dan

bawah sehingga bilangan koordinasi untuk sistem kristal kubik sederhana adalah 6.



Gambar 1.30

a) Struktur Kristal BCC, b)  $R$  dengan kisi kristal  $a$

#### b. Kristal BCC

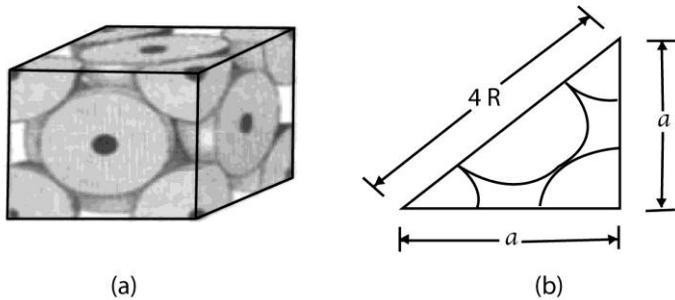
Pada Gambar 1.30 struktur kristal BCC memiliki satu atom tambahan yang terletak di pusat dan bersinggungan dengan delapan atom yang berada di sudut, yang perlu dicatat adalah atom-atom dalam struktur kristal BCC ini hanya bersinggungan sepanjang garis diagonal ruang, dengan memperhatikan kondisi ini kita dapat menghitung besarnya jari-jari atom kristal BCC sebagai berikut.

Dari gambar *b* dapat kita lihat bahwa diagonal ruang ( $AC$ ) besarnya empat kali jari-jari atom sehingga:

$$\begin{aligned} AC &= \sqrt{AB^2 + BC^2} \\ &= \sqrt{2a^2 + a^2} \\ &= a\sqrt{3} \\ 4R &= a\sqrt{3} \\ R &= \frac{\sqrt{3}}{4} \text{ atau } a = \frac{4}{\sqrt{3}}R \end{aligned}$$

#### c. Kristal FCC

Pada kristal FCC ini terdapat 8 atom yang menempati posisi titik sudut, dan 6 atom yang menempati posisi permukaan namun di antara atom yang terletak di sudut tidak ada yang bersinggungan. Dari Gambar 1.31 dapat kita lihat bahwa atom-atom ini saling berhubungan secara diagonal sisi permukaan kubus sehingga  $AC$  besarnya sama dengan  $4R$ .



Gambar 1.31

a) Struktur Kristal FCC, b) Keterkaitan antara Jari-jari  $R$  dengan Kisi Kristal  $a$

Besarnya jari-jari atom ini dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 AC &= \sqrt{AB^2 + BC^2} \\
 &= \sqrt{a^2 + a^2} \\
 &= a\sqrt{2} \\
 4R &= a\sqrt{2} \\
 R &= \frac{\sqrt{2}}{4} \text{ atau } a = \frac{4}{\sqrt{2}}R
 \end{aligned}$$

**b) Atomic Packing Faktor (APF)**

**Rapat kemasan atomik** = *atomic packing factor* (APF) adalah fraksi dari volume bola pejal di dalam sebuah unit sel, dalam hal ini atom dianggap menggunakan model bola pejal yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$APF = N_{atom} \times \frac{\text{volume atom dalam satu unit sel}}{\text{total volume unit sel}} = N_{atom} \times \frac{V_a}{V_s} \quad (1)$$

Di mana  $N_{atom}$  adalah jumlah atom dalam setiap unit sel. Setiap sistem kristal memiliki APF yang berbeda-beda bergantung terhadap geometri sel yang mereka miliki. Dalam subbab ini akan dibahas mengenai perhitungan dari beberapa sistem kristal sebagai berikut.

a. *Struktur Kubik Sederhana*

Seperti yang sudah dibahas sebelumnya bahwa struktur kristal ini memiliki jumlah atom yang berada dalam unit sel sebanyak satu buah sehingga besarnya APF sebagai berikut.

Volume atom ( $V_a$ )

$$V_a = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{1}{2}a\right)^3 = \frac{\pi}{6}a^3$$

Volume Unit Sel ( $V_s$ )

$$V_s = a^3$$

Rapat Kemasan:

$$APF = N_{atom} \times \frac{V_a}{V_s} = 1 \times \frac{\frac{\pi}{6}a^3}{a^3} = \frac{\pi}{6} = 0.52$$

Dari hasil ini dapat kita simpulkan bahwa hampir setengah dari ruang dalam unit sel ini kosong, oleh karena struktur SC ini bersifat longgar.

b. *Struktur BCC*

Pada struktur ini terdapat 8 atom sudut dan 1 atom pusat sehingga total atomnya berjumlah 2, sedangkan jari-jarinya adalah  $R = \frac{\sqrt{3}}{4}a$  maka besarnya APF untuk struktur BCC ini adalah:

Volume atom ( $V_a$ )

$$V_a = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{\sqrt{3}}{4}a\right)^3 = \frac{\sqrt{3}\pi}{16}a^3$$

Volume Unit Sel ( $V_s$ )

$$V_s = a^3$$

Rapat Kemasan:

$$APF = N_{atom} \times \frac{V_a}{V_s} = 2 \times \frac{\frac{\sqrt{3}\pi}{16}a^3}{a^3} = \frac{\sqrt{3}\pi}{8} = 0.68$$

Hasil ini menunjukkan bahwa atom hanya menempati sekitar 68% dari keseluruhan volume unit sel.

c. *Struktur FCC*

Pada struktur ini terdapat 8 atom yang besarnya seperdelapan bagian sudut dan 6 atom pada pusat bidang permukaan kubus yang besarnya setengah. Dengan demikian, struktur ini memiliki 4 atom dalam sebuah unit sel, sedangkan jari-jari atomiknya adalah  $R = \frac{\sqrt{2}}{4}a$  maka besarnya densitas kemasan FCC adalah:

Volume atom ( $V_a$ )

$$V_a = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{\sqrt{2}}{4}a\right)^3 = \frac{\sqrt{2}\pi}{24}a^3$$

Volume Unit Sel ( $V_s$ )

$$V_s = a^3$$

Rapat Kemasan:

$$APF = N_{atom} \times \frac{V_a}{V_s} = 4 \times \frac{\frac{\sqrt{2}\pi}{24}a^3}{a^3} = \frac{\sqrt{2}\pi}{6} = 0.74$$

Maka atom-atom dari struktur FCC ini menempati kira-kira 74% dari total keseluruhan volume dari satu unit sel.

d. *Struktur HCP*

Pada struktur HCP terdapat 12 atom yang terletak di sudut dengan besarnya seperenam bagian, 2 atom yang berada di tengah-tengah dengan besarnya setengah bagian, dan tiga atom yang terletak di bidang tengah sehingga atom dengan struktur HCP memiliki 6 atom dalam satu unit sel. Bilangan koordinasi dari HCP adalah 12 yang nilainya sama dengan struktur kristal FCC sehingga kristal ini memiliki APF yang besarnya 0.74.

e. *Struktur Kubik Intan*

Dalam struktur kubik intan, terdapat 8 atom yang menempati posisi sudut yang besarnya seperdelapan bagian, kemudian ditambahkan dengan empat atom yang menempati posisi  $\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}$ ;  $\frac{3}{4}, \frac{3}{4}, \frac{1}{4}$ ;  $\frac{3}{4}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4}$ ; dan  $\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4}$  sehingga atom yang berada dalam satu unit sel berjumlah 8 atom. Karena atom-atom ini terikat secara tetrahedral maka besarnya bilangan koordinasi dari struktur kubik intan ini adalah 4. Dengan demikian, besarnya APF untuk struktur kubik intan adalah:

Menghitung jari-jari atom kubik intan:

$$\begin{aligned}
 AB = BC = CE &= \frac{a}{2} \\
 AC &= \sqrt{AB^2 + BC^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}a\right)^2 + \left(\frac{1}{2}a\right)^2} = a\sqrt{\frac{1}{2}} \\
 AE &= \sqrt{AC^2 + CE^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}a\right)^2 + \left(\frac{1}{4}a\right)^2} = a\sqrt{\frac{3}{2}} \\
 AD = 2R &= \frac{AE}{2} \\
 R &= \frac{AE}{4} = \frac{a}{4}\sqrt{\frac{3}{2}} = \frac{a}{8}\sqrt{3}
 \end{aligned}$$

Volume Atom ( $V_a$ )

$$V_a = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{1}{2}a\right)^3 = \frac{\pi}{6}a^3$$

Volume Unit Sel ( $V_s$ )

$$\begin{aligned}
 V_s &= L \times c = (3 \times 1) \times c \\
 &= 3 \times (a \times t) \times c \\
 &= 3 \times a \times \frac{a}{2}\sqrt{3} \times \frac{2a}{6}\sqrt{6} \\
 &= 3a^3\sqrt{2}
 \end{aligned}$$

Rapat Kemasan:

$$APF = N_{atom} \times \frac{V_a}{V_s} = \frac{a^3}{3\sqrt{2}a^3} = \frac{1}{3\sqrt{2}} = 0.74$$

### c) Dimensi Unit Sel

Dimensi dari suatu unit sel atau kisi kristal ( $a$ ) dapat dicari berdasarkan pada massa atom atau massa molekul, bilangan Avogadro  $N$ , kerapatan zat, dan struktur kisi kristal, yang dihubungkan dengan persamaan berikut.

$$a^3 = \frac{nA}{V_s \rho N_a} \quad (2)$$

Di mana:

$n$  = jumlah atom yang sesuai dengan masing-masing bentuk unit sel

$A$  = Berat atom

$V_s$  = volume unit sel

$N_a$  = bilangan Avogadro ( $6.023 \times 10^{23}$  atom/mol)

Tabel 1.2  
Karakteristik Kisi Kubik

	Sederhana	Pusat Badan (Body-centered)	Pusat Muka (Face-centered)
Volum, sel konvensional	$a^3$	$a^3$	$a^3$
Titik kisi tiap sel	1	2	4
Volume, sel primitif	$a^3$	$\frac{1}{2}a^3$	$\frac{1}{4}a^3$
Titik kisi tiap satuan volume	$1/a^3$	$2/a^3$	$4/a^3$
Jumlah tetangga terdekat	6	8	12
Jarak tetangga terdekat	a	$\frac{3^{1/2}a}{2} = 0.866a$	$a/2^{1/2} = 0.707a$
Jumlah tetangga terdekat kedua	12	6	6
Jarak tetangga terdekat kedua	$2^{1/2}a$	a	A
Fraksi pengisian (APF)	$\frac{1}{6}\pi = 0.524$	$\frac{1}{8}\pi\sqrt{3} = 0.680$	$\frac{1}{6}\pi\sqrt{2} = 0.740$



**LATIHAN**

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Tuliskan ke-7 sistem kristal yang Anda ketahui?
- 2) Jelaskan ciri-ciri kristal kubik?
- 3) Jelaskan ciri-ciri kristal orthombik?
- 4) Apakah ciri-ciri struktur kubus sederhana?
- 5) Secara umum apakah perbedaan antara kristal kubik dan kristal heksagonal?

*Petunjuk Jawaban Latihan*

- 1) Baca pembahasan tentang sistem kristal.
- 2) Baca pembahasan tentang kristal kubik.
- 3) Baca pembahasan tentang kristal orthombik.
- 4) Baca pembahasan kubus sederhana.
- 5) Baca pembahasan tentang struktur kristal.

**RANGKUMAN**

Berdasarkan apa yang telah Anda pelajari dalam Kegiatan Belajar 2 maka dapat dirangkum hal-hal penting seperti berikut.

1. Cara pengisian sel satuan dengan atom tanpa merusak unsur simetri yang ada pada sistem kristal menghasilkan 14 kisi bravais.
2. Untuk kristal kubus mempunyai 3 kisi bravais sebagai berikut.
  - a. SC (*Simple Cubic*/kubus sederhana).
  - b. BCC (*Body-Centered Cubic*/kubus pusat badan).
  - c. FCC (*Face-Centered Cubic*/kubus pusat muka).
3. Ciri-ciri kubus sederhana (*simple cubic*) seperti berikut ini.
  - a. Memiliki 8 atom sudut.
  - b. Atom-atom yang bersinggungan di sepanjang sisi kubus.
  - c. Setiap atom memiliki 6 atom tetangga terdekat.
  - d. Sel primitifnya  $a_1 = ax$  ;  $a_2 = ay$  ;  $a_3 = az$ .
4. Ciri-ciri kubus pusat muka (*face-centered cubic*) sebagai berikut.
  - a. Memiliki 8 atom dan satu atom pada pusat masing-masing bidang muka.
  - b. Atom-atom yang memiliki enam atom pusat bidang kristal.
  - c. Atom-atom yang bersinggungan hanya di sepanjang diagonal bidang muka kristal, sedangkan atom-atom sudutnya tidak bersinggungan.
5. Ciri-ciri kubus pusat badan (*body-centered cubic*) seperti berikut.
  - a. Satu atom yang berada di pusat kubus bersinggungan dengan 8 sudut atom.
  - b. Antara kedelapan atom tidak bersinggungan.

Untuk tipe kisi 3 dimensi terdapat 7 sistem Kristal yaitu triklinik, monoklinik, orthombik, tetragonal, kubus, trigonal, dan heksagonal.



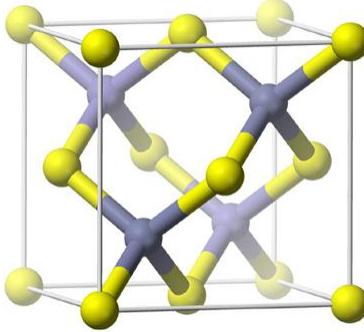
## TES FORMATIF 2

---

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Bila kisi kristal SC = a maka volume atomnya adalah ....
  - A.  $\pi/6 a^3$
  - B.  $\pi/16 a^3$
  - C.  $\pi/8a^3$
  - D.  $\pi/4 a^3$
  
- 2) Kristal FCC dengan kisi a dan jari-jari atomiknya R nilainya ....
  - A.  $R = \frac{1}{2} a$
  - B.  $R = \frac{\sqrt{3}}{4} a$
  - C.  $R = \frac{\sqrt{2}}{4} a$
  - D.  $R = \frac{1}{2}\sqrt{2}a$
  
- 3) Bila nilai APF (*atomic packing faktor*) 0,68 itu artinya ....
  - A. atom hanya menempati 32% dari volume keseluruhan volume unit sel
  - B. atom hanya menempati 68% dari volume keseluruhan volume unit sel
  - C. atom hanya menempati 6,8% dari volume keseluruhan volume unit sel
  - D. atom hanya menempati 86% dari volume keseluruhan volume unit sel
  
- 4) Pada struktur HCP terdapat 12 atom yang terletak di sudut dengan besarnya seperenam bagian, 2 atom yang berada di tengah-tengah dengan besarnya setengah bagian, dan tiga atom yang terletak di bidang tengah, sehingga atom dengan struktur HCP memiliki 6 atom dalam satu unit sel. Bilangan koordinasi dari HCP adalah 12 yang nilainya sama dengan struktur kristal FCC sehingga kristal ini memiliki APF yang besarnya sekitar ....
  - A. 0,64
  - B. 0,74
  - C. 0,78
  - D. 0,56

- 5) Gambar di bawah merupakan contoh kristal ....
- SC
  - FCC
  - HCC
  - BCC



- 6) Untuk Kristal BCC, bila jari-jari atomnya  $R$  dan kisinya  $a$  maka nilai  $kisi$  dalam  $R$  adalah ....
- $a = 4/3 R$
  - $a = \sqrt{3}/4 R$
  - $a = 4/\sqrt{3} R$
  - $a = 3/4 R$
- 7) Bila atom-atom menempati 74% dari volume keseluruhan dari suatu unit sel, itu berarti besar rapat kemasannya adalah ....
- 7,4
  - 0,74
  - 0,26
  - 74
- 8) Berikut merupakan ciri-ciri kristal kubus sederhana (*simple cubic*) yaitu:
- Memiliki 8 atom sudut.
  - Atom-atom yang bersinggungan di sepanjang sisi kubus
  - Setiap atom memiliki 6 atom tetangga terdekat
- Ciri-ciri yang benar adalah ....
- 1 dan 2
  - 1 dan 3
  - hanya 1
  - 1, 2, dan 3

- 9) Pada setiap kubus Kristal NaCl terdapat empat molekul, dengan koordinat atom Na salah satu yang benar adalah ....
- a.  $0, 0, 0$  ;  $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0$  ;  $\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}$  ;  $0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$
  - b.  $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$  ;  $0, 0, \frac{1}{2}$  ;  $0, \frac{1}{2}, 0$  ;  $\frac{1}{2}, 0, 0$
  - c.  $\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}$  ;  $\frac{3}{4}, \frac{3}{4}, \frac{1}{4}$  ;  $\frac{3}{4}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4}$  ;  $\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4}$
  - d.  $0, 0, 0$  ;  $0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$  ;  $\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}$  ;  $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0$
- 10) Bila massa jenis dari pada KCl  $1980 \text{ kg/m}^3$ , dan berat molekulnya  $74.6 \text{ kg/kmol}$  bila  $1 \text{ m} = 10^{10} \text{ Angstrom (A}^0\text{)}$  maka besar jarak pisah 2 bidang kristal KCL adalah sekitar ....
- A.  $3.14\text{A}^0$
  - B.  $4.2\text{A}^0$
  - C.  $3.8\text{A}^0$
  - D.  $2.4\text{A}^0$

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali  
 80 - 89% = baik  
 70 - 79% = cukup  
 < 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

## Kunci Jawaban Tes Formatif

### *Tes Formatif 1*

- 1) D
- 2) A
- 3) B
- 4) B
- 5) D
- 6) C
- 7) D
- 8) A
- 9) D
- 10) C

### *Tes Formatif 2*

- 1) A
- 2) C
- 3) B
- 4) B
- 5) B
- 6) C
- 7) B
- 8) D
- 9) A
- 10) A

## Daftar Pustaka

Charles Kittel. 1996. *Introduction to Solid State Physics*. 6th Edition. John Wiley & Sons, Inc.

Callister, William.D. 1994. *Material Science and Engineering An Introduction*. Edisi 3. John Willey & Sons, Inc, USA.

Lawrence, Van Vlack. 1989. *Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material*. Edisi 6. Terj. Srie Djaprie, Erlangga, Indonesia.