



**LEMBAR KERJA MAHASISWA  
(LKM)  
SENYAWA ANORGANIK**

**M. Mahfudz Fauzi S., S.Pd., M.Sc.**

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Penulis menghaturkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, Rabb semesta alam, yang telah memberikan kesempatan dan kemampuan kepada penulis untuk dapat merampungkan “Lembar Kegiatan Mahasiswa (LKM ) Senyawa Anorganik.” Shalawat teriring salam semoga senantiasa tercurah untuk Muhammad SAW yang menjadi sumber inspirasi dan motivasi penulis.

LKM ini ditulis dengan maksud untuk membimbing mahasiswa dalam mempelajari mata kuliah Senyawa Anorganik. Hal ini dilakukan mengingat kegiatan tatap muka selama pandemi Covid-19 dilakukan secara daring dan buku-buku relevan yang beredar terkait mata kuliah tersebut tidak membahas secara rinci dan komprehensif.

LKM ini disusun secara konstruktif dan komprehensif dengan menyajikan materi meliputi: (1) Model kemas geometri padatan logam; (2) Efisiensi kemasan; (3) Aloi; (4) Model kemas geometri padatan ionik; (5) Jari-jari ionik dan perhitungan rasio jarak; (6) Cacat-catat pada kristal; (7) Asam-basa dalam sistem pelarut; (8) Asam-basa keras dan lunak; dan (9) Reaksi reduksi dan oksidasi. Dengan mengerjakan LKM ini secara terstruktur diharapkan mahasiswa akan memiliki suatu pengetahuan yang komprehensif terkait senyawa anorganik.

Penulis juga menyadari bahwa dalam LKM ini masih banyak kesalahan dan kekeliruan. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis memohon kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan selanjutnya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Palembang, Juli 2022

Penulis,

M. Mahfudz Fauzi S., S.Pd., M.Sc.



## DAFTAR ISI

<b>Kata Pengantar</b> .....	i
<b>Daftar Isi</b> .....	iii
<b>Lembar Kerja Mahasiswa 1</b> .....	1
<b>Lembar Kerja Mahasiswa 2</b> .....	7
<b>Lembar Kerja Mahasiswa 3</b> .....	17
<b>Lembar Kerja Mahasiswa 4</b> .....	25
<b>Lembar Kerja Mahasiswa 5</b> .....	39
<b>Lembar Kerja Mahasiswa 6</b> .....	49
<b>Lembar Kerja Mahasiswa 7</b> .....	59
<b>Lembar Kerja Mahasiswa 8</b> .....	67
<b>Lembar Kerja Mahasiswa 9</b> .....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	81



## LEMBAR KEGIATAN MAHASISWA 1

### STRUKTUR KRISTAL: MODEL KEMAS GEOMETRI PADATAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَمَا ذَرَأَ لَكُمْ فِي الْأَرْضِ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَذَّكَّرُونَ

dan (Dia juga mengendalikan) apa yang Dia ciptakan untukmu di bumi ini dengan berbagai jenis dan macam warnanya. Sungguh, pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengambil pelajaran (Q.S An Nahl:13).

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُنْ لَهُ شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا

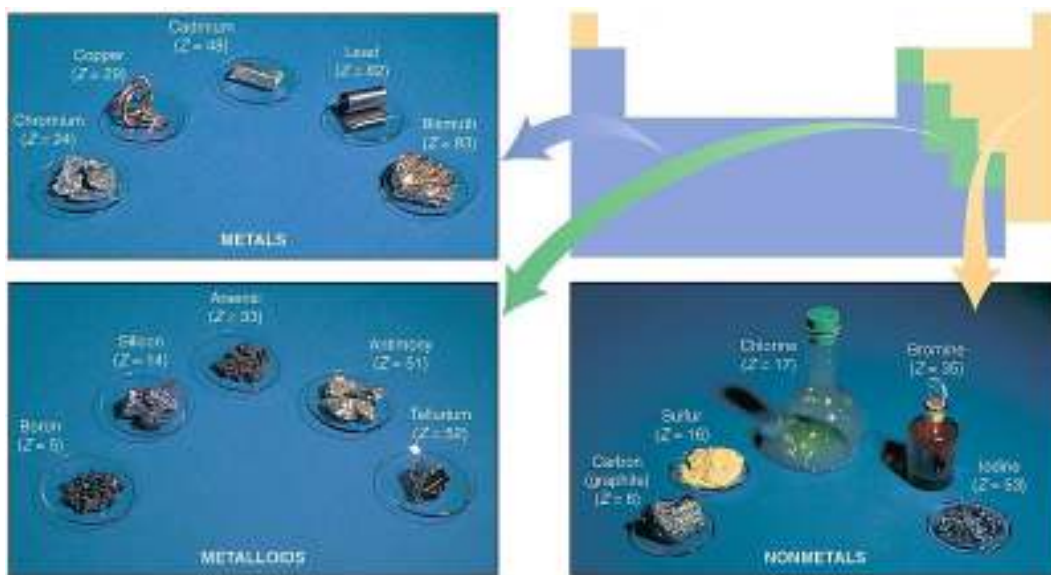
Yang memiliki kerajaan langit dan bumi, tidak mempunyai anak, tidak ada sekutu bagi-Nya dalam kekuasaan(-Nya), dan Dia menciptakan segala sesuatu, lalu menetapkan ukuran-ukurannya dengan tepat (Q.S Al Furqan:2).

**ASK**

Bacalah wacana berikut dengan cermat!

Wacana

Unsur-unsur logam jumlahnya lebih banyak dibandingkan dengan unsur-unsur semilogam dan non logam, seperti yang disajikan dalam Gambar 1. Pada suhu kamar ( $25^{\circ}\text{C}$ ) mayoritas unsur-unsur logam berwujud padat dan memiliki susunan tertentu, dapat sama ataupun berbeda antara unsur satu dengan lainnya.



**Gambar 1.** Klasifikasi unsur-unsur dalam tabel periodik unsur.

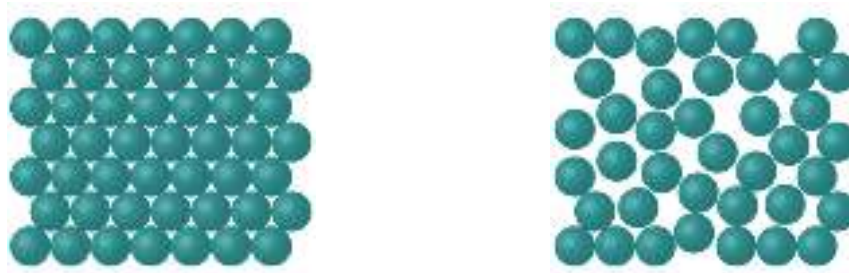
Ajukanlah hal-hal yang tidak kalian mengerti terkait gambar dan wacana di atas?

**INVESTIGATE & CREATE**

**Zat Padat/Material Padatan**

Secara umum material berfasa padat berdasarkan struktur kristalnya terdiri atas padatan kristalin dan non kristalin/amorf.

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 2.** Representasi submikroskopis material padatan

1. Identifikasilah persamaan dan perbedaan dari representasi submikroskopis material padatan tersebut.
  
2. Manakah yang merupakan material kristalin dan non kristalin.

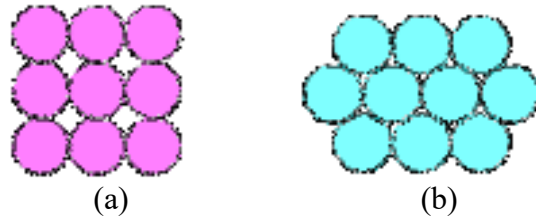
### **Susunan Kristal Material Padatan**

Atom-atom yang menyusun suatu material kristalin dianggap sebagai bola pejal. Atom-atom tersebut terkemas (*packed*) bersama dalam suatu kristal yang tertata dalam rangkaian berulang dalam kisi kristal. Ada yang membentuk dasar berupa susunan bujur sangkar dan ada pula yang berupa susunan heksagonal. Berdasarkan susunannya, material kristalin ada yang terkemas secara rapat dan ada pula yang tidak.

#### **A. Susunan Atom-atom dalam Kemasan**

1. Ambil model susunan atom seperti pada Gambar 3.
2. Cermati jumlah bola secara maksimal yang mampu menyentuh satu bola yang lain dalam satu lapis untuk masing-masing susunan atom. Cermati pula ukuran rongga (selitan) yang terbentuk pada masing-masing susunan. Susunan mana yang lebih rapat?





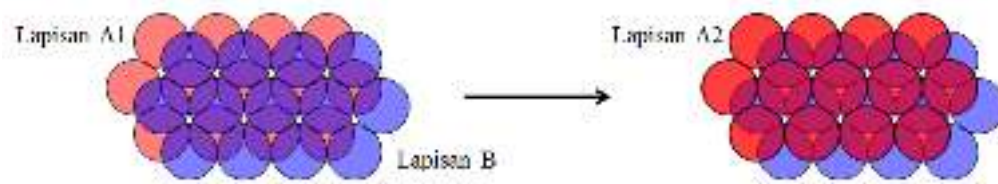
**Gambar 3.** Model susunan atom: (a) bujur sangkar dan (b) heksagonal.

### **B. Kemasan Tidak Rapat Kubus**

1. Susun model susunan 3 (a) hingga membentuk tiga lapisan sehingga setiap bola persis lurus di atas bola yang lain. Kemasan ini selanjutnya disebut kemasan kubus lapis AAA.
2. Cermati jumlah bola secara maksimal yang mampu menyentuh satu bola yang lain dalam satu kemasan. Cermati pula, apa yang terbentuk dari kemasan tersebut?
3. Susun model susunan 3 (a) kedua di antara selitan model susunan 3 (a) pertama dan ketiga. Kemasan ini selanjutnya disebut kemasan kubus lapis ABA.
4. Cermati jumlah bola secara maksimal yang mampu menyentuh satu bola yang lain dalam satu kemasan. Cermati pula, apa yang terbentuk dari kemasan tersebut?
5. Bandingkan hasil dari prosedur 1-2 dengan hasil dari prosedur 3-4.

### **C. Kemasan Rapat Heksagonal**

1. Susun model susunan 3 (b) kedua di antara selitan model susunan 3 (b) pertama dan ketiga. Kemasan ini selanjutnya disebut kemasan heksagonal lapis ABA.

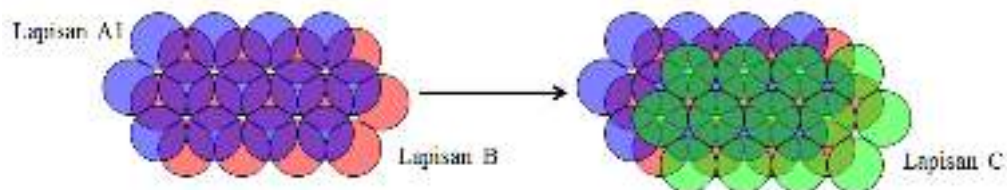


**Gambar 4.** Kemasan heksagonal lapis ABA

2. Cermati jumlah bola secara maksimal yang mampu menyentuh satu bola yang lain dalam satu kemasan. Cermati pula, apa yang terbentuk dari kemasan tersebut?
  
3. Cermati tempat selitan tetrahedral dan oktahedral yang terbentuk dalam kemasan tersebut. Cermati pula jumlah bola yang mampu membentuk masing-masing tempat selitan dan ukurannya. Manakah yang memiliki volume lebih besar?

#### **D. Kemasan Rapat Kubus**

1. Susun model susunan 3 (b) kedua pada selitan susunan 3 (b) pertama dan model susunan 3 (b) ketiga pada selitan susunan 3 (b) kedua. Kemasan ini selanjutnya disebut kemasan kubus lapis ABC.



**Gambar 5.** Kemasan kubus lapis ABC

2. Cermati jumlah bola secara maksimal yang mampu menyentuh satu bola yang lain dalam satu kemasan. Cermati pula, apa yang terbentuk dari kemasan tersebut?

## LKM Senyawa Anorganik

3. Cermati tempat selitan tetrahedral dan oktahedral yang terbentuk dalam kemasan tersebut. Cermati pula jumlah bola yang mampu membentuk masing-masing tempat selitan dan ukurannya. Manakah yang memiliki volume lebih besar?

### ***DISCUSS***

1. Jelaskan yang terkait material kristalin dan non kristalin!
2. Jelaskan yang terkait dengan selitan dan tempat selitan!
3. Jelaskan model susunan atom mana yang merupakan kemasan rapat dan tidak rapat!
4. Model kemasan yang seperti apa yang dihasilkan dari pola susunan atom bujur sangkar dan heksagonal?
5. Jelaskan terkait bilangan koordinasi (BK)! Tentukan BK dari masing-masing kemasan!

### ***REFLECT***

Presentasikan hasil pengerjaan kalian dengan santun untuk memperoleh tanggapan/konfirmasi dari teman kalian dan dosen!

## LEMBAR KEGIATAN MAHASISWA 2

### STRUKTUR KRISTAL: EFISIENSI KEMASAN DAN PERHITUNGAN GEOMETRI

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
وَمَا ذَرَأَ لَكُمْ فِي الْأَرْضِ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَذَّكَّرُونَ

dan (Dia juga mengendalikan) apa yang Dia ciptakan untukmu di bumi ini dengan berbagai jenis dan macam warnanya. Sungguh, pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengambil pelajaran (Q.S An Nahl:13).

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُنْ لَهُ شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا

Yang memiliki kerajaan langit dan bumi, tidak mempunyai anak, tidak ada sekutu bagi-Nya dalam kekuasaan(-Nya), dan Dia menciptakan segala sesuatu, lalu menetapkan ukuran-ukurannya dengan tepat (Q.S Al Furqan:2).

**ASK**

Bacalah wacana berikut dengan cermat!

Wacana

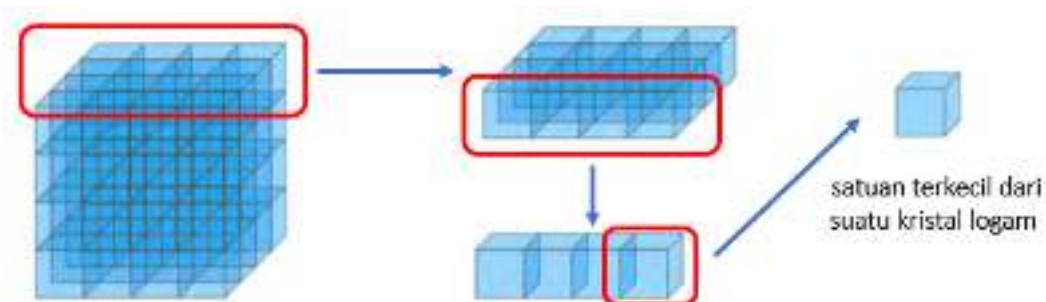
Pada suhu kamar ( $25^{\circ}\text{C}$ ) mayoritas unsur-unsur logam berwujud padat dan memiliki susunan tertentu, dapat sama ataupun berbeda antara unsur satu dengan lainnya. Pada pertemuan sebelumnya, terdapat dua jenis pengemasan, kemasan tidak rapat dengan pola susunan bujur sangkar dan kemasan rapat dengan pola susunan heksagonal. Berdasarkan pola susunan bujur sangkar diperoleh kemasan kubus sederhana dan kubus berpusat badan, sedangkan berdasarkan pola susunan heksagonal diperoleh kemasan kubus berpusat muka dan heksagonal rapat. Masing-masing kemasan tersebut memiliki efisiensi kemasan atau faktor tumpukan yang berbeda antara yang satu dengan yang lainnya.

Ajukanlah hal-hal yang tidak kalian mengerti terkait gambar dan wacana di atas?

**INVESTIGATE & CREATE**

**1. Sel Satuan atau Sel Unit**

Perhatikan gambar berikut:



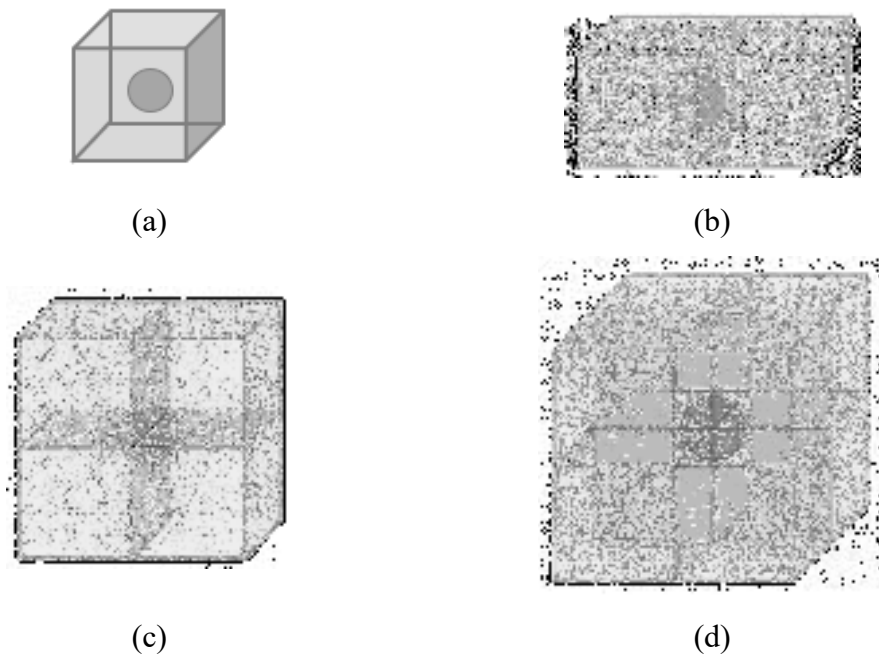
**Gambar 1.** Susunan sel unit kubus dalam satu, dua, dan tiga dimensi

Kristal logam dapat dianggap terdiri dari banyak satu-satuan kecil yang selanjutnya disebut sel satuan atau sel unit. Sel satuan merupakan bagian fundamental dari suatu

struktur kristal. Sel satuan tersusun secara berulang, teratur, dan tidak terbatas melalui translasi pada 3-dimensi.

Di dalam kristal logam, selain atom-atom pada pojok sel satuan, atom-atom logam mungkin juga terdapat pada pusat muka, di sumbu, atau pada pusat sel satuan.

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 2.** Sel satuan kubus dengan atom pada (a) pusat; (b) pusat muka; (c) sumbu; dan (d) pojok sel satuan.

Identifikasilah berapa fraksi/bagian dari 1 buah atom yang terdapat pada: (a) pusat; (b) pusat muka; (c) sumbu; dan (d) pojok sel satuan.

## 2. Faktor Tumpukan atau Efisiensi Kemasan

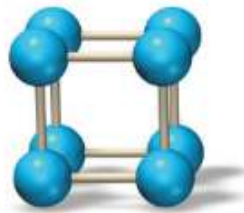
Faktor tumpukan atau efisiensi kemasan menyatakan fraksi/bagian dari volume sel satuan yang ditempati oleh atom-atom logam dalam suatu kemasan.

**A. Faktor tumpukan sel satuan kubus sederhana**

Perhatikan gambar berikut:



(a)



(b)

**Gambar 3.** Kemasan kubus sederhana: (a) model ball dan (b) model stick-ball

Dengan menggunakan fraksi atom, hitunglah berapa jumlah atom dalam sel satuan kubus sederhana?

Fraksi atom di pojok sel satuan =

$\Sigma$  atom di pojok sel satuan =

$\Sigma$  atom dalam sel satuan = fraksi atom x  $\Sigma$  atom di pojok sel satuan

=

=

Dengan menganggap atom berbentuk bola pejal, maka:

$$\text{Volume 1 atom} = \frac{4}{3} \pi r^3$$

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 4.** Hubungan antara panjang rusuk dan jari-jari atom logam dalam kubus sederhana

Apabila  $a$  adalah panjang rusuk kubus, dan  $r$  adalah jari-jari atom logam, maka:

$$\text{Rusuk kubus} = a = 2r$$

$$\text{Volume kubus} = a^3$$

=

$$\text{Faktor tumpukan} = \text{jumlah atom} \times \frac{\text{volume atom dalam sel satuan}}{\text{volume sel satuan}}$$

$$= \text{jumlah atom} \times \frac{\text{volume 1 atom}}{\text{volume kubus}}$$

$$= \quad \times \text{—————}$$

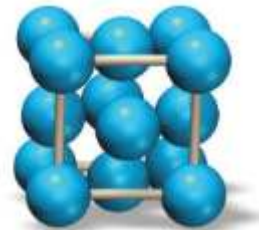
=

## B. Faktor tumpukan sel satuan kubus berpusat muka

Perhatikan gambar berikut:



(a)



(b)

**Gambar 5.** Kemasan kubus berpusat badan: (a) model ball dan (b) model stick-ball

Dengan menggunakan fraksi atom, hitunglah berapa jumlah atom dalam sel satuan kubus sederhana?

$$\text{Fraksi atom di pojok sel satuan} =$$

$$\Sigma \text{ atom di pojok sel satuan} =$$

$$\text{Fraksi atom di pusat muka sel satuan} =$$

$$\Sigma \text{ atom di pusat muka sel satuan} =$$

$$\Sigma \text{ atom dalam sel satuan} = (\text{fraksi atom} \times \Sigma \text{ atom di pojok sel satuan}) + (\text{fraksi atom} \times \Sigma \text{ atom di pusat muka})$$

=

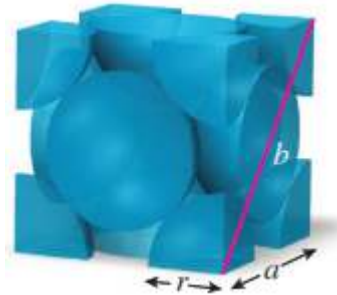
=



Dengan menganggap atom berbentuk bola pejal, maka:

$$\text{Volume 1 atom} = \frac{4}{3}\pi r^3$$

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 6.** Hubungan antara panjang rusuk dan jari-jari atom logam dalam kubus berpusat muka

Apabila  $a$  adalah panjang rusuk kubus,  $b$  adalah panjang diagonal bidang rusuk kubus, dan  $r$  adalah jari-jari atom logam, maka:

$$\text{Rusuk kubus} = a$$

Dengan menggunakan persamaan segitiga siku-siku maka:

$$b^2 = a^2 + a^2$$

$$b^2 = 2a^2$$

$$b = \sqrt{2a^2}$$

$$b = a\sqrt{2}$$

$$\text{Panjang diagonal bidang rusuk kubus} = b = 4r$$

} substitusikan

$$a\sqrt{2} = 4r$$

$$a = \text{—————}$$

$$\text{Volume kubus} = a^3$$

=

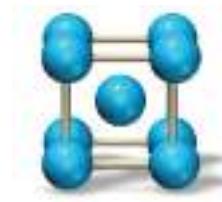
$$\begin{aligned}
 \text{Faktor tumpukan} &= \text{jumlah atom} \times \frac{\text{volume atom dalam sel satuan}}{\text{volume sel satuan}} \\
 &= \text{jumlah atom} \times \frac{\text{volume 1 atom}}{\text{volume kubus}} \\
 &= \quad \times \text{—————} \\
 &=
 \end{aligned}$$

### C. Faktor tumpukan sel satuan kubus berpusat badan

Perhatikan gambar berikut:



(a)



(b)

**Gambar 7.** Kemasan kubus berpusat badan: (a) model ball dan (b) model stick-ball

Dengan menggunakan fraksi atom, hitunglah berapa jumlah atom dalam sel satuan kubus sederhana?

$$\text{Fraksi atom di pojok sel satuan} =$$

$$\Sigma \text{ atom di pojok sel satuan} =$$

$$\text{Fraksi atom di dalam sel satuan} =$$

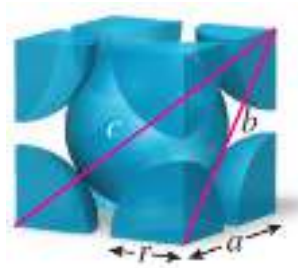
$$\Sigma \text{ atom di dalam sel satuan} =$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma \text{ atom dalam sel satuan} &= (\text{fraksi atom} \times \Sigma \text{ atom di pojok sel satuan}) + \\
 &\quad (\text{fraksi atom} \times \Sigma \text{ atom di dalam sel satuan}) \\
 &= \\
 &=
 \end{aligned}$$

Dengan menganggap atom berbentuk bola pejal, maka:

$$\text{Volume 1 atom} = \frac{4}{3}\pi r^3$$

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 8.** Hubungan antara panjang rusuk dan jari-jari atom logam dalam kubus berpusat badan

Apabila  $a$  adalah panjang rusuk kubus,  $b$  adalah panjang diagonal bidang rusuk kubus,  $c$  adalah panjang diagonal ruang rusuk kubus, dan  $r$  adalah jari-jari atom logam, maka:

Rusuk kubus =  $a$

Dengan menggunakan persamaan segitiga siku-siku maka:

$$b^2 = a^2 + a^2$$

$$b^2 = 2a^2$$

$$b = \sqrt{2a^2}$$

$$b = a\sqrt{2}$$

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$c^2 = a^2 + 2a^2$$

$$c^2 = 3a^2$$

$$c = \sqrt{3a^2}$$

$$c = a\sqrt{3}$$

Panjang diagonal bidang rusuk kubus =  $c = 4r$

$$a\sqrt{3} = 4r$$

$$a = \text{—————}$$

} substitusikan

$$\text{Volume kubus} = a^3$$

=

$$\text{Faktor tumpukan} = \text{jumlah atom} \times \frac{\text{volume atom dalam sel satuan}}{\text{volume sel satuan}}$$

$$= \text{jumlah atom} \times \frac{\text{volume 1 atom}}{\text{volume kubus}}$$

$$= \quad \times \text{—————}$$

=

### 3. Massa Jenis Kristal

Dikenal ada 2 jenis massa jenis kristal logam, yakni massa jenis hasil eksperimen/observasi ( $D_{\text{obs}}$ ) dan massa jenis teoritis/perhitungan ( $D$ ). Massa jenis hasil observasi diperoleh dari hasil bagi massa dan volume kristal hasil pengukuran. Lain halnya dengan massa jenis teoritis yang diperoleh dengan anggapan tidak ada cacat dalam kristal tersebut.

Massa jenis teoritis dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$D = \frac{\text{massa kristal}}{\text{volume kristal}}$$

$$D = \frac{\text{massa atom (gram/mol)} \times \text{jumlah atom}}{\text{volume kubus (cm}^3\text{)} \times \text{bilangan avogadro (atom/mol)}}$$

### **DISCUSS**

1. Jelaskan terkait sel satuan atau sel unit!
  
2. Jelaskan bagaimanakah fraksi atom dalam sel satuan kubus!
  
3. Bagaimanakah urutan efisiensi kemasan dari kubus sederhana, kubus berpusat muka, dan kubus berpusat badan!

4. Tentukan jari-jari atom logam platina bila logam tersebut mengkristal dalam bentuk kubus berpusat muka dengan panjang rusuk kubus sel satuannya sebesar 392,31 pm!
5. Hitunglah massa jenis teoritis kristal emas bila panjang rusuk kubus sel satuan kristalnya adalah 4,0786 Å!

***REFLECT***

Presentasikan hasil pengerjaan kalian dengan santun untuk memperoleh tanggapan/konfirmasi dari teman kalian dan dosen!

### LEMBAR KEGIATAN MAHASISWA 3

#### ALOI

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

أَتُونِي زُبَرَ الْحَدِيدِ حَتَّىٰ إِذَا سَاوَىٰ بَيْنَ الصَّدَفَيْنِ قَالَ انْفُخُوا لَّحْتِي إِذَا  
جَعَلَهُ نَارًا قَالَ أَتُونِي أفرغْ عَلَيْهِ قَطْرًا

Berilah aku potongan-potongan besi!” Hingga ketika (potongan) besi itu telah (terpasang) sama rata dengan kedua (puncak) gunung itu, dia (Zulkarnain) berkata, “Tiuplah (api itu)!” Ketika (besi) itu sudah menjadi (merah seperti) api, dia pun berkata, “Berilah aku tembaga (yang mendidih) agar kutuangkan ke atasnya (besi panas itu).” (Q.S Al Kahf:96).

وَعَلَّمْنَاهُ صَنْعَةَ لَبُؤْسٍ لَّكُمْ لِيُحْصِنَكُمْ مِّنْ بَأْسِكُمْ فَهَلْ أَنْتُمْ شَاكِرُونَ

Dan Kami ajarkan (pula) kepada Dawud cara membuat baju besi untukmu, guna melindungi kamu dalam peperangan. Apakah kamu bersyukur (kepada Allah)? (Q.S Al Anbiya’:80).

**ASK**

Bacalah wacana berikut dengan cermat!

Wacana

Masih ingatkah Anda dengan konsep campuran? Campuran didefinisikan sebagai materi yang tersusun atas dua atau lebih zat tunggal. Terdapat dua jenis campuran, yakni campuran homogen dan heterogen.

Perhatikan gambar berikut!



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Gembok kuningan dan (b) Kerangka atap dari baja ringan

Kuningan dan baja merupakan contoh dari aloi. Kuningan dibuat dengan mencampurkan antara logam tembaga dengan seng. Di sisi lain, baja dibuat dengan mencampurkan antara logam besi dan karbon.

Ajukanlah hal-hal yang tidak kalian mengerti terkait wacana di atas?

***INVESTIGATE & CREATE***

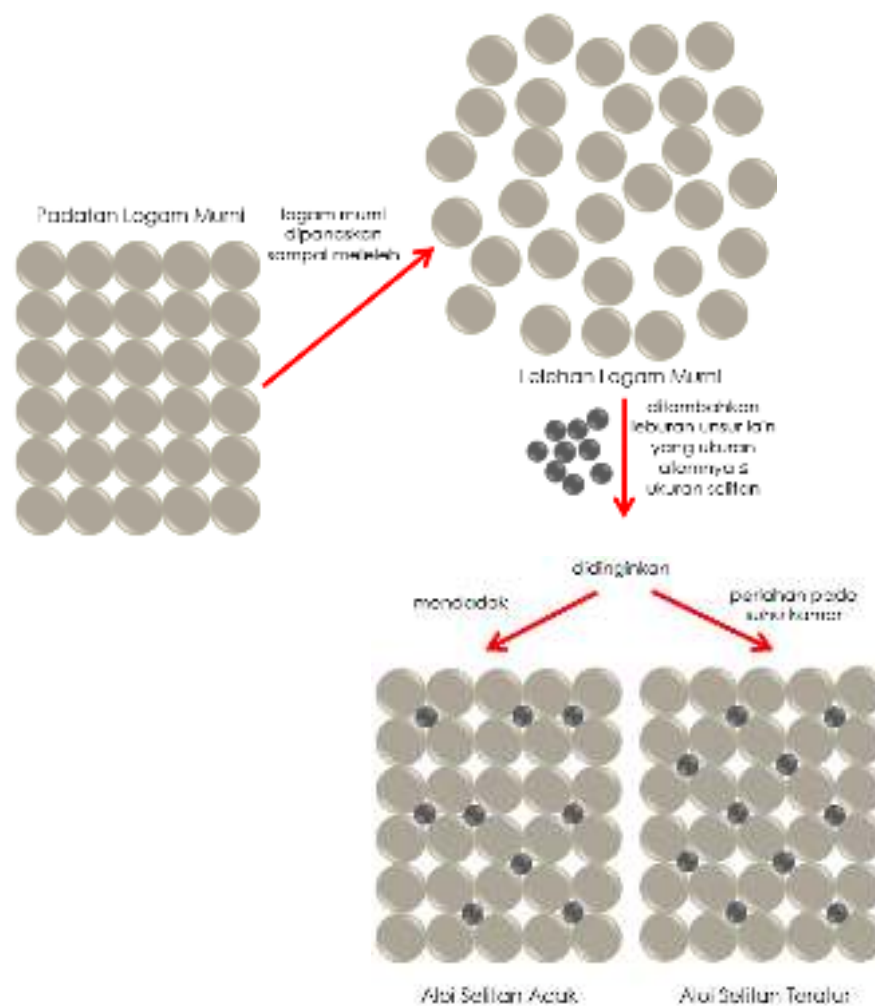
Apabila leburan dari dua macam atau lebih logam dicampur atau leburan suatu logam dicampur dengan unsur-unsur non logam, maka ketika didinginkan akan diperoleh suatu padatan. Di dalam padatan ini tidak terjadi reaksi kimia dan masih menunjukkan sifat-sifat sebagai logam, meskipun berbeda dengan sifat logam murninya. Padatan yang dihasilkan tersebut selanjutnya disebut aloi atau paduan logam.

Berdasarkan ukuran atom-atom logam atau non logam yang bercampur, aloi dibedakan menjadi dua, yakni aloi selitan dan aloi substitusi.

### 1. AloI Selitan

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa di dalam kristal logam terdapat tempat selitan. Jumlah tempat selitan tersebut banyak sekali. Atom-atom dari unsur logam atau non logam dengan ukuran sama atau lebih kecil dari ukuran tempat selitan yang ada dapat menempati tempat-tempat selitan tersebut sehingga membentuk aloi selitan. Ditempatinya tempat-tempat selitan tersebut oleh atom logam atau non logam dianggap tidak mengubah struktur kristal logam murninya.

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 2.** Representasi proses pembentukan aloi selitan



Berdasarkan Gambar 2, identifikasilah:

a. Bagaimanakah proses pembentukan aloi selitan acak?

b. Bagaimanakah proses pembentukan aloi selitan teratur?

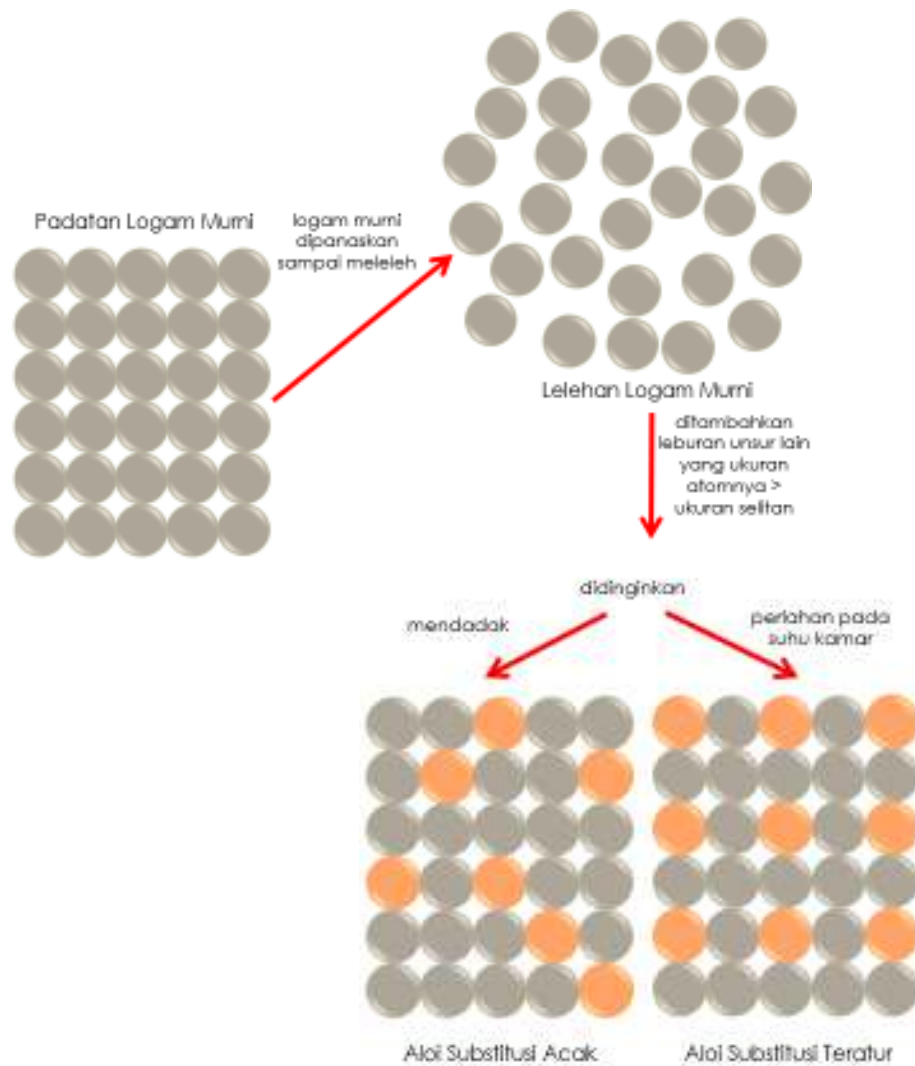
Komposisi dari aloi selitan yang diperoleh tergantung pada banyaknya tempat selitan yang ditempati oleh atom-atom dari unsur yang dipadukan, sehingga sifat fisik dari aloi selitan yang diperoleh adalah bervariasi. Begitu juga dengan sifat kimianya.

Carilah informasi terkait sifat fisik dan kimia dari aloi selitan dibandingkan dengan logam murninya!

## **2. AloI Substitusi**

Pada aloi substitusi atom-atom dari unsur yang dipadukan menggantikan sebagian atom-atom dari logam murni. AloI substitusi terjadi apabila ukuran dari atom-atom unsur yang dipadukan lebih besar dari ukuran tempat selitan.

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 3.** Representasi proses pembentukan aloi substitusi

Berdasarkan Gambar 3, identifikasilah:

- c. Bagaimanakah proses pembentukan aloi substitusi acak?
  
- d. Bagaimanakah proses pembentukan aloi substitusi teratur?

Aloi substitusi dari dua macam logam atau lebih dapat terbentuk dengan rentang komposisi tertentu atau dengan segala komposisi. Aloi dengan segala komposisi

terbentuk apabila logam-logam yang dipadukan dapat membentuk larutan zat padat (solid solution) dengan sembarang komposisi.

Menurut Hume dan Rothery (dalam Efendy, 2010), aloi substitusi dengan segala komposisi dapat terjadi antara dua macam logam, dengan syarat:

- a. Perbedaan jari-jari atom logam yang dipadukan tidak lebih dari 15%;
- b. Logam yang dipadukan memiliki struktur kristal yang sama
- c. Logam yang dipadukan memiliki elektrovalensi yang sama.

Apabila persyaratan tidak terpenuhi, maka hanya membentuk aloi substitusi dengan rentang komposisi tertentu.

### 3. AloI Gabungan

Selain aloi selitan dan substitusi, ada juga aloi yang merupakan gabungan dari aloi selitan dan substitusi.

Perhatikan gambar berikut!



**Gambar 4.** Representasi aloi gabungan

Salah satu contohnya adalah baja tahan karat (stainless steel). AloI ini terdiri dari besi, karbon, kromium (18-20%), dan nikel (8-12%).

***DISCUSS***

1. Menurut Anda, aloi termasuk campuran homogen atau heterogen? Jelaskan!
2. Jelaskan terkait aloi selitan dan berikan contohnya!
3. Jelaskan terkait aloi substitusi dan berikan contohnya!
4. Paduan Al dengan Zn merupakan paduan yang paling terkenal sebagai bahan pembuat badan dan sayap pesawat terbang. Paduan Al dengan 5,5% Zn memiliki kekuatan tertinggi dibandingkan paduan lainnya. Gambarkan representasi submikroskopis dari paduan yang terbentuk! ( $r_{\text{Al}}=118 \text{ pm}$ ;  $r_{\text{Zn}}=142 \text{ pm}$ )

***REFLECT***

Presentasikan hasil pengerjaan kalian dengan santun untuk memperoleh tanggapan/konfirmasi dari teman kalian dan dosen!



## LEMBAR KEGIATAN MAHASISWA 4

### STRUKTUR KRISTAL: MODEL KEMAS GEOMETRI PADATAN IONIK

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَمَا ذَرَأَ لَكُمْ فِي الْأَرْضِ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَذَّكَّرُونَ

dan (Dia juga mengendalikan) apa yang Dia ciptakan untukmu di bumi ini dengan berbagai jenis dan macam warnanya. Sungguh, pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengambil pelajaran (Q.S An Nahl:13).

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُنْ لَهُ شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا

Yang memiliki kerajaan langit dan bumi, tidak mempunyai anak, tidak ada sekutu bagi-Nya dalam kekuasaan(-Nya), dan Dia menciptakan segala sesuatu, lalu menetapkan ukuran-ukurannya dengan tepat (Q.S Al Furqan:2).

**ASK**

Bacalah wacana berikut dengan cermat!

Wacana

Selain gas mulia, unsur-unsur yang lain di alam ditemukan berikatan secara kimia membentuk senyawanya dengan cara pemakaian bersama pasangan elektron atau serah-terima elektron. Berdasarkan hal tersebut, dikenal ikatan kovalen dan ikatan ionik. Umumnya ikatan kovalen terbentuk dari atom unsur non logam dan non logam dengan cara pemakaian bersama pasangan elektron, sedangkan ikatan ionik terbentuk dari atom unsur logam dan non logam dengan cara serah-terima elektron membentuk ion positif dan negatif dan terikat secara elektrostatik.

Ikatan ionik terdapat pada senyawa-senyawa ionik. Senyawa ionik tersusun atas ion-ion positif dan negatif yang terikat secara elektrostatik serta dapat berada dalam fasa gas, cair, dan padat. Effendy (2010) mengatakan bahwa hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa ionik dalam fasa gas terdiri dari pasangan-pasangan ion. Senyawa ionik dalam fasa cair terdiri dari ion-ion positif dan negatif yang tersusun secara acak. Senyawa ionik dalam fasa padat terdiri dari ion-ion positif dan negatif yang tersusun secara teratur, bergantian, dan berulang.

Ajukanlah hal-hal yang tidak kalian mengerti terkait wacana di atas?

***INVESTIGATE & CREATE***

**1. Penggolongan Senyawa Ionik**

Berdasarkan jenis ion-ion yang terdapat dalam senyawa ionik, senyawa ionik dibagi dalam 4 golongan.

**a. Senyawa ionik biner**

Identifikasilah ion positif (kation) dan ion negatif (anion) dari senyawa-senyawa ionik berikut:

No	Senyawa Ion	Kation	Anion
1.	NaCl	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
2.	KCl	.....	.....
3.	MgCl <sub>2</sub>	.....	.....
4.	Na <sub>2</sub> O	.....	.....
5.	K <sub>2</sub> O	.....	.....
6.	MgO	.....	.....

Apabila dicermati senyawa-senyawa ionik tersebut mengandung ion-ion sederhana, baik kation maupun anion terdiri dari satu atom.

**b. Senyawa ionik dengan kation sederhana dan anion poliatomik**

Identifikasilah kation dan anion dari senyawa-senyawa ionik berikut:

No	Senyawa Ion	Kation	Anion
1.	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	.....	.....
2.	KOH	.....	.....
3.	NaNO <sub>3</sub>	.....	.....
4.	Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	.....	.....

Apabila dicermati senyawa-senyawa ionik tersebut mengandung kation sederhana yang terdiri dari satu atom dan anion poliatomik.

**c. Senyawa ionik dengan kation poliatomik dan anion sederhana**

Identifikasilah kation dan anion dari senyawa-senyawa ionik berikut:

No	Senyawa Ion	Kation	Anion
1.	NH <sub>4</sub> Cl	.....	.....
2.	(N(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> )Br	.....	.....



Apabila dicermati senyawa-senyawa ionik tersebut mengandung kation poliatomik dan anion sederhana yang terdiri dari satu atom.

#### d. Senyawa ionik dengan kation dan poliatomik

Identifikasilah kation dan anion dari senyawa-senyawa ionik berikut:

No	Senyawa Ion	Kation	Anion
1.	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	.....	.....
2.	(N(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> )CN	.....	.....
3.	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	.....	.....

Apabila dicermati senyawa-senyawa ionik tersebut mengandung kation poliatomik dan anion sederhana yang terdiri dari satu atom.

## 2. Karakter Ionik pada Senyawa Ionik Biner

Tidak ada senyawa ionik yang memiliki karakter ionik 100%. Menurut Pauling karakter ionik suatu senyawa biner dapat diperkirakan dengan persamaan:

$$\text{Karakter ionik} = 1 - e^{-\frac{1}{4}(|\chi_B - \chi_A|)}$$

di mana  $\chi_A$  adalah keelektronegativan atom A

$\chi_B$  adalah keelektronegativan atom B

Tabel 1. Persentase karakter ionik dalam senyawa ionik biner

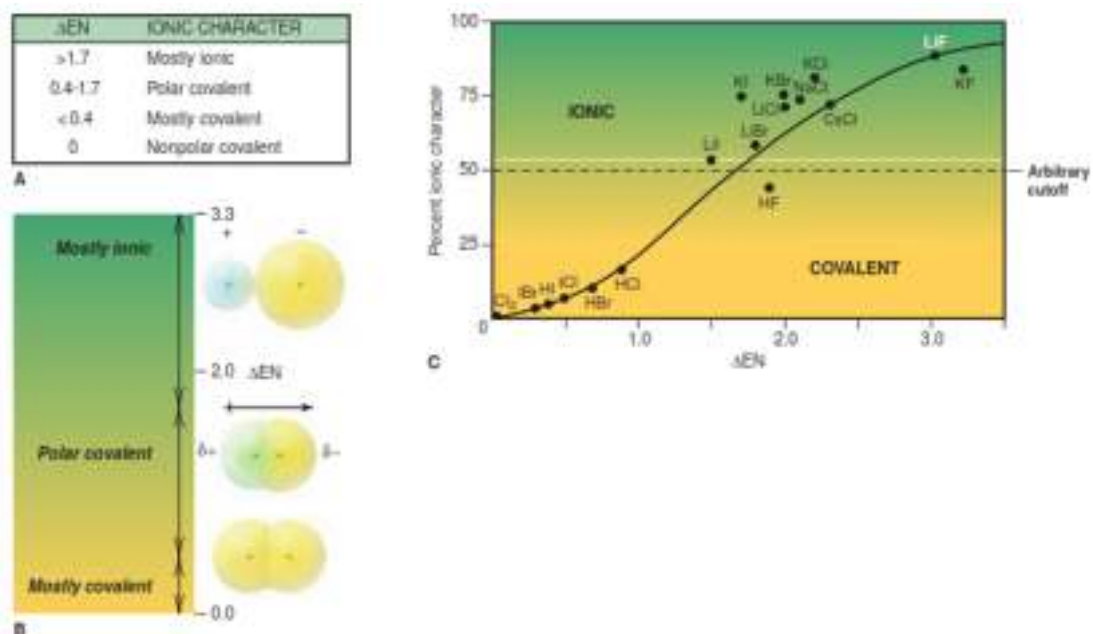
$\Delta\chi$	%	$\Delta\chi$	%	$\Delta\chi$	%	$\Delta\chi$	%
0,1	0,5	0,9	19	1,7	51	2,5	79
0,2	1	1,0	22	1,8	55	2,6	82
0,3	2	1,1	26	1,9	59	2,7	84
0,4	4	1,2	30	2,0	63	2,8	86
0,5	6	1,3	34	2,1	67	2,9	88
0,6	9	1,4	39	2,2	70	3,0	89
0,7	12	1,5	43	2,3	74	3,1	91
0,8	15	1,6	47	2,4	76	3,1	92

Keterangan:

$\Delta\chi$  adalah perbedaan keelektronegativan

% adalah persentase karakter ionik

Berdasarkan Tabel 1, suatu senyawa biner yang persentase karakter ioniknya  $\geq 50\%$  dapat dianggap sebagai senyawa ionik, sedangkan bila persentase karakter ioniknya  $< 50\%$  dapat dianggap sebagai senyawa kovalen.



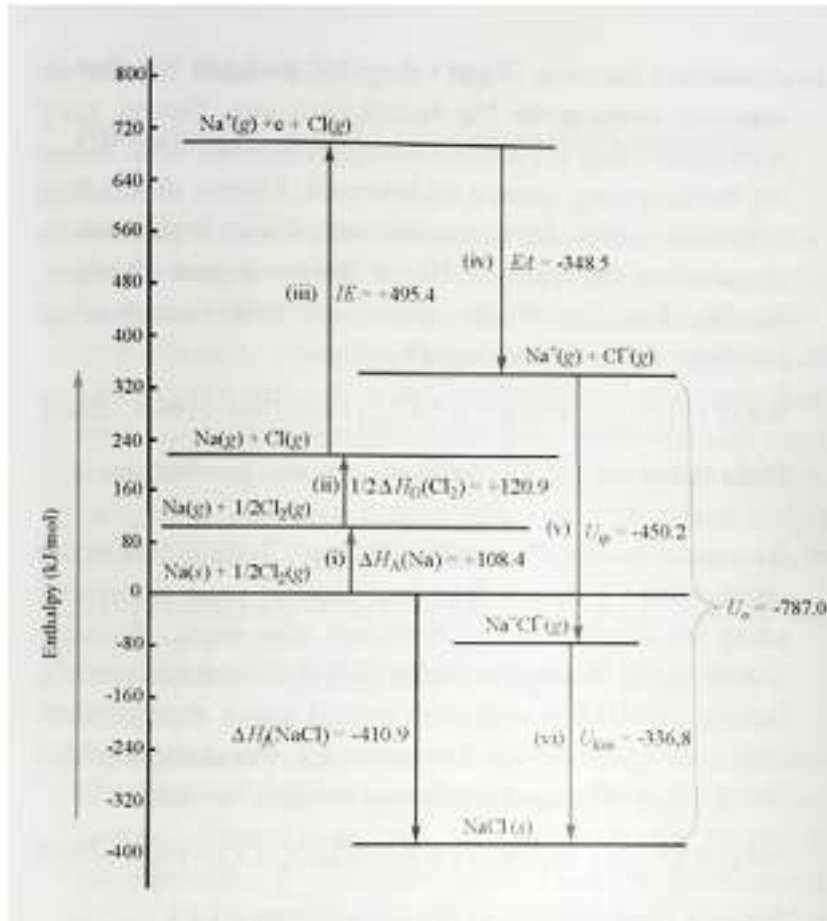
**Gambar 1.** Hubungan antara perbedaan keelektronegativan dengan persentase karakter ionik

### 3. Pembentukan Ikatan Ionik

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya bahwa senyawa ionik sederhana umumnya terbentuk antara unsur-unsur logam dan non logam yang sangat aktif. Berdasarkan hukum Hess, perubahan entalpi yang menyertai suatu reaksi adalah sama, tidak tergantung apakah reaksi itu melalui satu tahap atau melalui beberapa tahapan. Pada tahun 1919 Born dan Haber menerapkan hukum Hess untuk menghitung entalpi pembentukan suatu padatan ionik. Tahapan-tahapan tersebut selanjutnya disebut dengan siklus atau daur Born-Haber.

Dalam siklus Born-Haber terdapat enam tahapan, yakni: (1) atomisasi unsur logam yang melibatkan energi atomisasi; (2) atomisasi unsur non logam yang melibatkan energi disosiasi; (3) ionisasi atom logam yang melibatkan energi ionisasi; (4) ionisasi atom non logam yang melibatkan afinitas elektron; (5) pembentukan pasangan ion

positif dan ion negatif yang melibatkan energi pasangan ion; dan (6) pembentukan kisi kristal padatan ionik yang melibatkan energi kisi. Tahapan-tahapan tersebut dicontohkan seperti yang disajikan dalam gambar berikut terkait pembentukan padatan NaCl.



**Gambar 2.** Siklus Born-Haber dalam pembentukan padatan senyawa NaCl

Berdasarkan Gambar 2, uraikan proses pembentukan padatan senyawa NaCl:

#### 4. Pengemasan Kisi Kristal Senyawa Ionik

Terdapat beberapa macam model pengemasan kisi kristal senyawa ionik. Enam di antaranya yaitu:

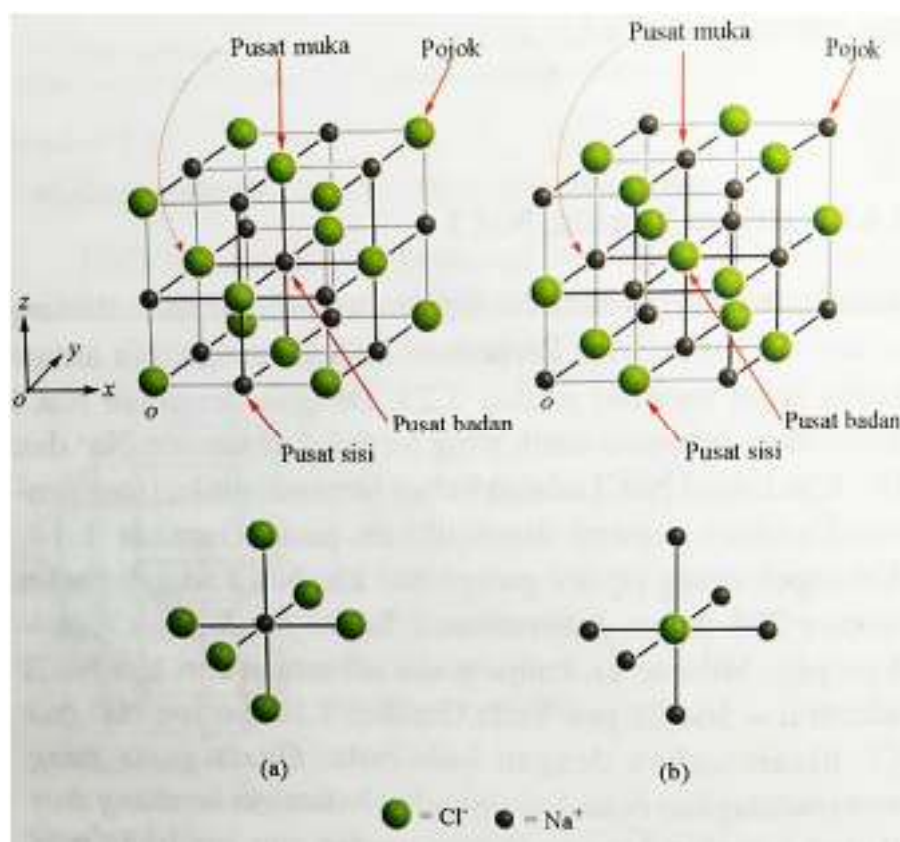
##### a. Kisi kristal natrium klorida (NaCl)

Keelektronegativan atom Na dan Cl dalam skala Pauling adalah 0,93 dan 3,16.

Perbedaan keelektronegativan kedua atom adalah .....

Karakter ionik senyawa NaCl adalah ..... jenis senyawa .....

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 3.** Kisi kubus berpusat muka dari NaCl

## LKM Senyawa Anorganik

Berdasarkan Gambar 3(a), hitunglah:

a. Jumlah ion  $\text{Na}^+$  dalam sel satuan!

$$\text{Fraksi ion di sumbu sel satuan} =$$

$$\Sigma \text{ ion di sumbu sel satuan} =$$

$$\text{Fraksi ion di pusat sel satuan} =$$

$$\Sigma \text{ ion di pusat sel satuan} =$$

$$\Sigma \text{ ion } \text{Na}^+ \text{ di sel satuan} = (\text{fraksi ion} \times \Sigma \text{ ion di sumbu}) + (\text{fraksi ion} \times \Sigma \text{ ion di pusat})$$

$$=$$

b. Jumlah ion  $\text{Cl}^-$  dalam sel satuan!

$$\text{Fraksi ion di pojok sel satuan} =$$

$$\Sigma \text{ ion di pojok sel satuan} =$$

$$\text{Fraksi ion di pusat muka sel satuan} =$$

$$\Sigma \text{ ion di pusat muka sel satuan} =$$

$$\Sigma \text{ ion } \text{Cl}^- \text{ di sel satuan} = (\text{fraksi ion} \times \Sigma \text{ ion di pojok}) + (\text{fraksi ion} \times \Sigma \text{ ion di pusat muka})$$

$$=$$

Dengan cara sama, maka berdasarkan Gambar 3(b) pun akan diperoleh hasil yang sama. Di dalam suatu kristal ionik, banyaknya anion yang mengelilingi kation

dengan jarak yang sama disebut sebagai bilangan koordinasi (BK) kation.

Sebaliknya, , banyaknya kation yang mengelilingi anion dengan jarak yang sama disebut sebagai bilangan koordinasi (BK) anion.

Berdasarkan Gambar 3, hitunglah:

$$\text{BK ion } \text{Na}^+ =$$

$$\text{BK ion } \text{Cl}^- =$$

Perbandingan BK ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  = ..... : .....  
 = ..... : .....

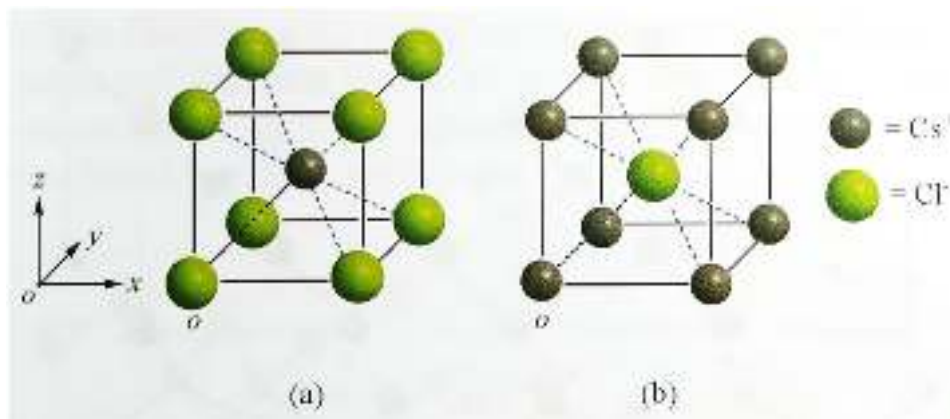
b. Kisi kristal sesium klorida ( $\text{CsCl}$ )

Keelektronegativan atom Cs dan Cl dalam skala Pauling adalah 0,79 dan 3,16.

Perbedaan keelektronegativan kedua atom adalah .....

Karakter ionik senyawa  $\text{CsCl}$  adalah ..... jenis senyawa .....

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 4.** Kisi kubus sederhana dari  $\text{CsCl}$

Berdasarkan Gambar 4, hitunglah:

BK ion  $\text{Cs}^+$  =

BK ion  $\text{Cl}^-$  =

Perbandingan BK ion  $\text{Cs}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  = ..... : .....

= ..... : .....

c. Kisi kristal zink sulfida ( $\text{ZnS}$ )

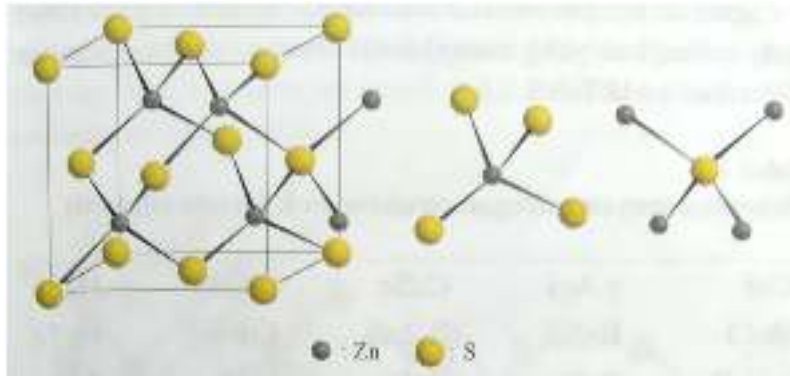
Keelektronegativan atom Zn dan S dalam skala Pauling adalah 1,65 dan 2,58.

Perbedaan keelektronegativan kedua atom adalah .....

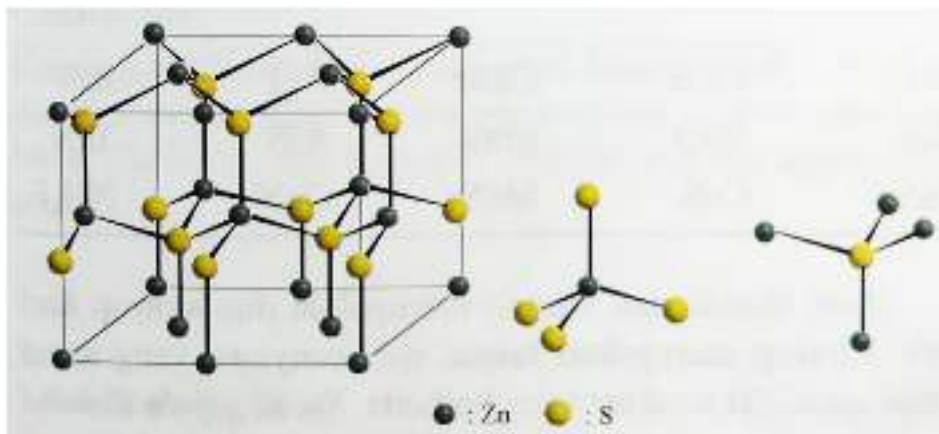
Karakter ionik senyawa  $\text{ZnS}$  adalah ..... jenis senyawa .....

ZnS mengkristal dalam dua kisi kristal yang berbeda, yakni kubus berpusat muka untuk zink blende dan heksagonal untuk zink wurtzit.

Perhatikan gambar berikut:



(a)



(b)

**Gambar 5.** Kisi kubus berpusat muka untuk: (a) zink blende dan (b) zink wurtzit

Berdasarkan Gambar 4, hitunglah:

BK atom Zn =

BK atom S =

Perbandingan BK ion Zn dan S = ..... : .....

= ..... : .....

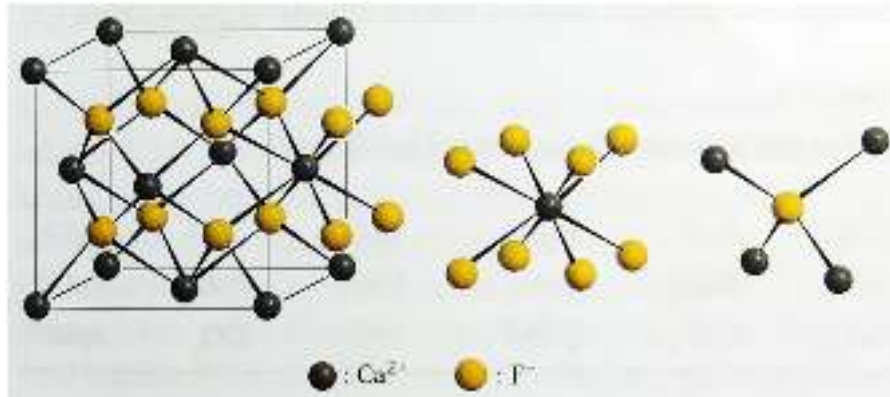
d. Kisi kristal kalsium fluorida ( $\text{CaF}_2$ )

Keelektronegativan atom Ca dan F dalam skala Pauling adalah 1,00 dan 3,98.

Perbedaan keelektronegativan kedua atom adalah .....

Karakter ionik senyawa  $\text{CaF}_2$  adalah ..... jenis senyawa .....

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 6.** Kisi kubus berpusat muka dari  $\text{CaF}_2$

Berdasarkan Gambar 6, hitunglah:

BK ion  $\text{Ca}^{2+}$  =

BK ion  $\text{F}^-$  =

Perbandingan BK ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{F}^-$  = ..... : .....  
= ..... : .....

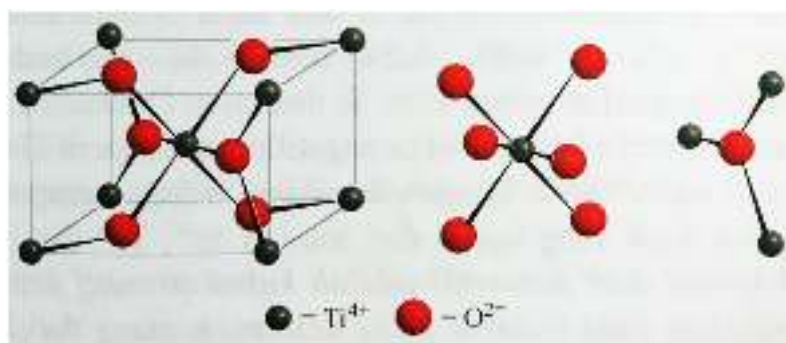
e. Kisi kristal Rutil ( $\text{TiO}_2$ )

Keelektronegativan atom Ti dan O dalam skala Pauling adalah 1,54 dan 3,44.

Perbedaan keelektronegativan kedua atom adalah .....

Karakter ionik senyawa  $\text{TiO}_2$  adalah ..... jenis senyawa .....

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 7.** Kisi tetragonal dari rutil ( $\text{TiO}_2$ )



Berdasarkan Gambar 7, hitunglah:

BK ion  $Ti^{4+}$  =

BK ion  $O^{2-}$  =

Perbandingan BK ion  $Ti^{4+}$  dan  $O^{2-}$  = ..... : .....  
 = ..... : .....

e. Kisi kristal Perovskit ( $SrTiO_3$ )

Keelektronegativan atom Sr, Ti, dan O dalam skala Pauling adalah 0,95; 1,54; dan 3,44.

Perbedaan keelektronegativan kedua atom (Sr dan O) adalah .....

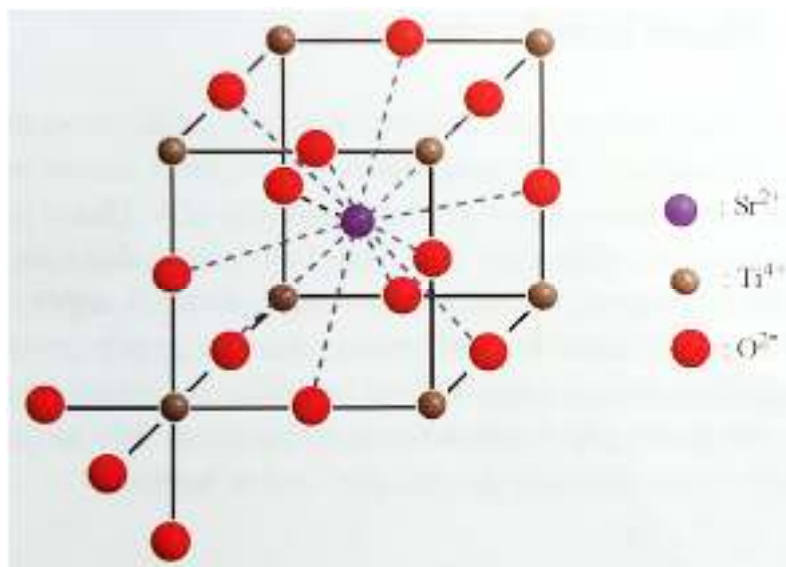
Karakter ionik .....

Perbedaan keelektronegativan kedua atom (Ti dan O) adalah .....

Karakter ionik .....

Jenis senyawa .....

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 7.** Kisi kubus sederhana dari perovskit

Berdasarkan Gambar 7, hitunglah:

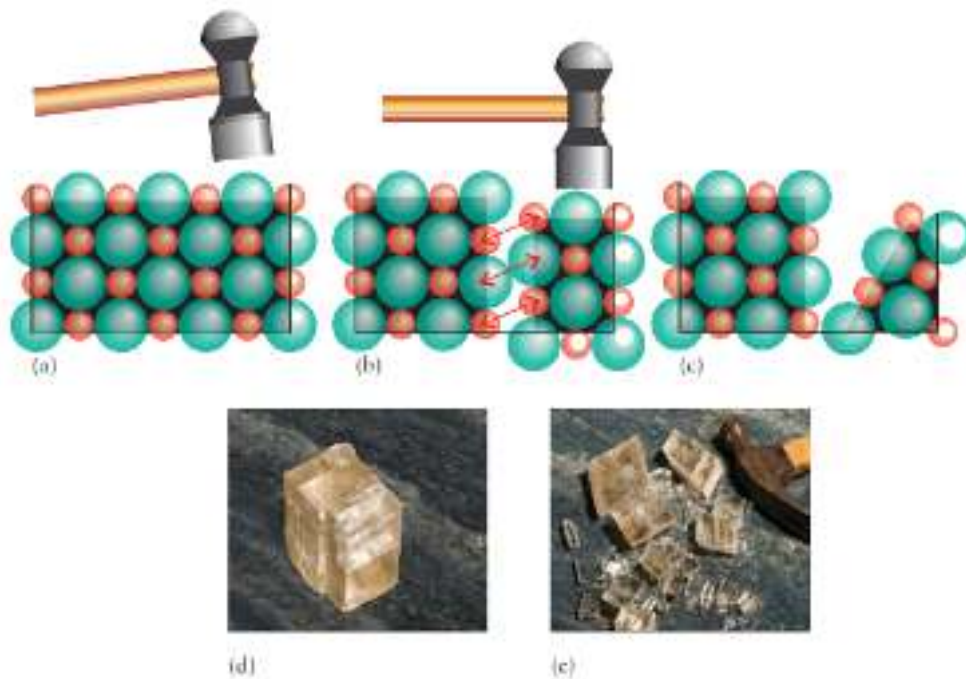
BK ion  $Sr^{2+}$  terhadap  $O^{2-}$  =

BK ion  $Ti^{4+}$  terhadap  $O^{2-}$  =

## 5. Sifat-sifat Senyawa Ionik

Berikut adalah beberapa sifat senyawa ionik:

- Dalam fasa padat memiliki daya hantar listrik yang rendah, akan tetapi sebaliknya justru memiliki daya hantar listrik yang cukup tinggi dalam fasa cair
- Dibandingkan dengan senyawa kovalen, senyawa ionik memiliki titik lebur dan titik didih yang tinggi. Hal ini berkaitan dengan besarnya entalpi pembentukannya.
- Senyawa ionik mudah larut dalam pelarut polar dengan tetapan dielektrik yang tinggi
- Meskipun keras, ternyata senyawa ionik sangat rapuh. Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 8.** Representasi submikroskopis yang menerangkan mengapa senyawa ionik bersifat rapuh

### ***DISCUSS***

- Jelaskan yang terkait penggolongan senyawa ionik!

## LKM Senyawa Anorganik

2. Berikan beberapa senyawa yang memiliki kisi kristal mirip dengan struktur NaCl!
3. Berikan beberapa senyawa yang memiliki kisi kristal mirip dengan struktur CsCl!
4. Berikan beberapa senyawa yang memiliki kisi kristal mirip dengan struktur rutil!
5. Jelaskan mengapa dalam bentuk padatnya senyawa ionik sukar menghantarkan listrik, tetapi sebaliknya senyawa ionik memiliki daya hantar listrik yang cukup baik bila berwujud lelehan!

### ***REFLECT***

Presentasikan hasil pengerjaan kalian dengan santun untuk memperoleh tanggapan/konfirmasi dari teman kalian dan dosen!

## LEMBAR KEGIATAN MAHASISWA 5

### STRUKTUR KRISTAL: JARI-JARI ION DAN RASIO JARAK

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَمَا ذَرَأَ لَكُمْ فِي الْأَرْضِ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَذَّكَّرُونَ

dan (Dia juga mengendalikan) apa yang Dia ciptakan untukmu di bumi ini dengan berbagai jenis dan macam warnanya. Sungguh, pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengambil pelajaran (Q.S An Nahl:13).

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُنْ لَهُ شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا

Yang memiliki kerajaan langit dan bumi, tidak mempunyai anak, tidak ada sekutu bagi-Nya dalam kekuasaan(-Nya), dan Dia menciptakan segala sesuatu, lalu menetapkan ukuran-ukurannya dengan tepat (Q.S Al Furqan:2).

**ASK**

Bacalah wacana berikut dengan cermat!

Wacana

Panjang ikatan antara kation dan anion dalam suatu kristal padatan ionik sesungguhnya dapat ditentukan melalui eksperimen. Akan tetapi, terdapat permasalahan dimana harga jari-jari ion baik jari-jari kation maupun anion sukar untuk ditentukan dengan tepat. Hal ini dikarenakan adanya tumpang tindih antara rapatan elektron dari kation dan dari anion sebagai akibat adanya sumbangan kovalen dalam ikatannya.

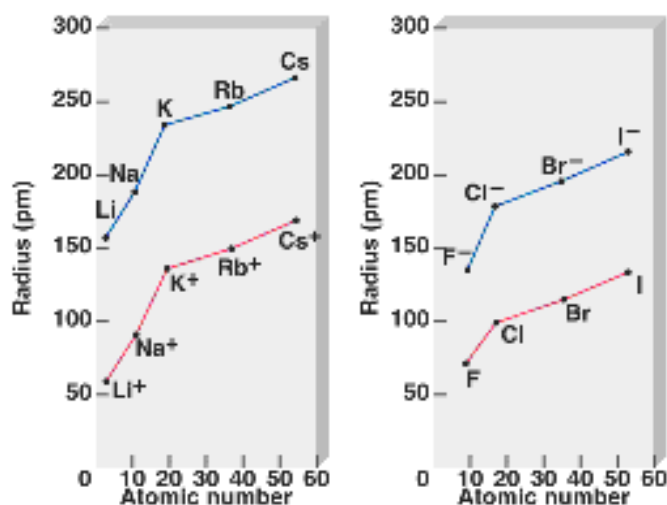
Ajukanlah hal-hal yang tidak kalian mengerti terkait wacana di atas?

***INVESTIGATE & CREATE***

**1. Jari-jari Ion**

Dalam padatan ionik adalah mungkin mengukur jarak antara kation dan anion tetangganya. Akan tetapi, perbedaan anion tetangga dan juga bilangan koordinasi kisi kristal akan menghasilkan jarak yang berbeda pula. Seperti yang telah dikemukakan bahwa harga jari-jari ion baik jari-jari kation maupun anion sukar untuk ditentukan dengan tepat. Jari-jari ion didefinisikan sebagai jarak antara pusat kation dan anion yang dibagi secara adil berdasarkan standar pembanding. Oleh karena itu ditetapkan standar pembanding, yaitu ion oksida  $O^{2-}$  (jari-jari anionnya sebesar 1,40 Å). Alasan ion oksida dijadikan standar adalah banyak dijumpai senyawaan oksida ionik dan tidak mudah terpolarisasi sehingga ukurannya tidak banyak bervariasi.

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 1.** Perbandingan jari-jari ion dengan jari-jari atom netralnya

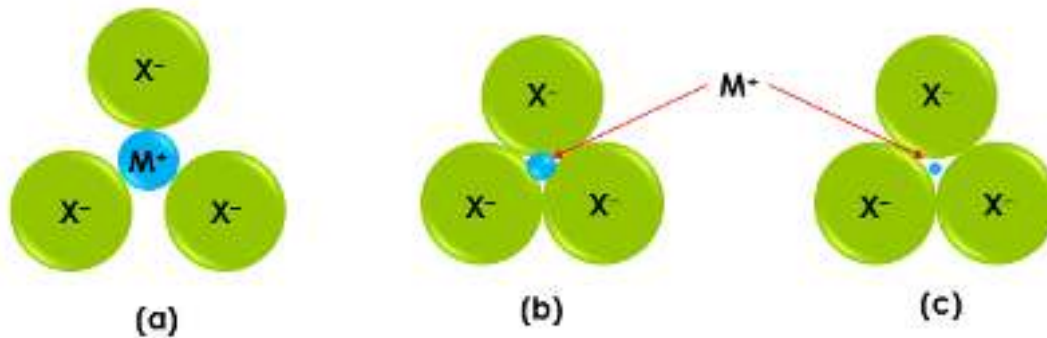
Identifikasilah, informasi apa yang dapat Anda peroleh berdasarkan gambar di atas?

Terkait besarnya jari-jari kation dibandingkan jari-jari atom netralnya dapat dijelaskan bahwa apabila suatu atom netral melepas satu atau lebih elektron valensinya, maka akan terbentuk kation. Pengelepasan elektron oleh suatu atom menyebabkan bertambahnya rasio muatan inti dengan muatan elektron, sehingga tarikan inti terhadap elektron akan lebih efektif. Akibatnya jari-jari kation akan lebih kecil dibandingkan jari-jari atom netralnya.

Terkait besarnya jari-jari anion dibandingkan jari-jari atom netralnya dapat dijelaskan bahwa apabila suatu atom netral menarik satu atau lebih elektron, maka akan terbentuk anion. Hal ini menyebabkan berkurangnya rasio muatan inti dengan muatan elektron, sehingga tarikan inti terhadap elektron menjadi kurang efektif. Akibatnya jari-jari anion akan lebih besar dibandingkan jari-jari atom netralnya.

## 2. Rasio Jarak

Secara umum dalam senyawa ionik ukuran anion lebih besar dibandingkan dengan ukuran kation sehingga dapat dianggap kation menempati tempat selitan yang ada di antara anion-anion. Terkait hal tersebut, ada tiga kemungkinan model susunan, seperti yang ditunjukkan dalam gambar berikut:



**Gambar 2.** Tiga kemungkinan susunan kation dan anion dalam kisi kristal ionik

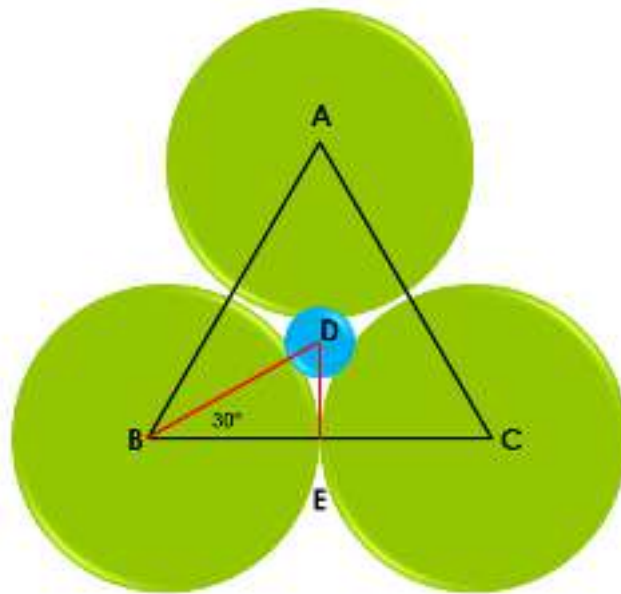
Seperti yang telah diketahui bahwa terdapat gaya tolakan antara ion-ion dengan jenis muatan yang sama dan terdapat tarikan elektrostatis antara ion-ion yang berbeda jenis muatannya.

Berdasarkan Gambar 2, identifikasilah bagaimana urutan kestabilannya? Jelaskan mengapa demikian!

Model seperti Gambar 2(b) merupakan kondisi batas atau batas minimal untuk diperolehnya susunan yang stabil. Gambar serupa merupakan kondisi batas untuk

susunan dengan kation yang memiliki bilangan koordinasi 3. Terkait hal tersebut, rasio jarak didefinisikan sebagai perbandingan antara jari-jari katio dan anion.

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 3.** Kondisi batas untuk susunan dengan kation yang memiliki bilangan koordinasi 3.

Berdasarkan Gambar 3.

$$\cos 30^\circ = \frac{BE}{BD}$$

$$BD = \frac{BE}{\cos 30^\circ}$$

$$r_+ + r_- = \frac{r_-}{\cos 30^\circ}$$

$$r_+ + r_- = \frac{r_-}{0,866}$$

$$r_+ + r_- = 1,155r_-$$

$$r_+ = 1,155r_- - r_-$$

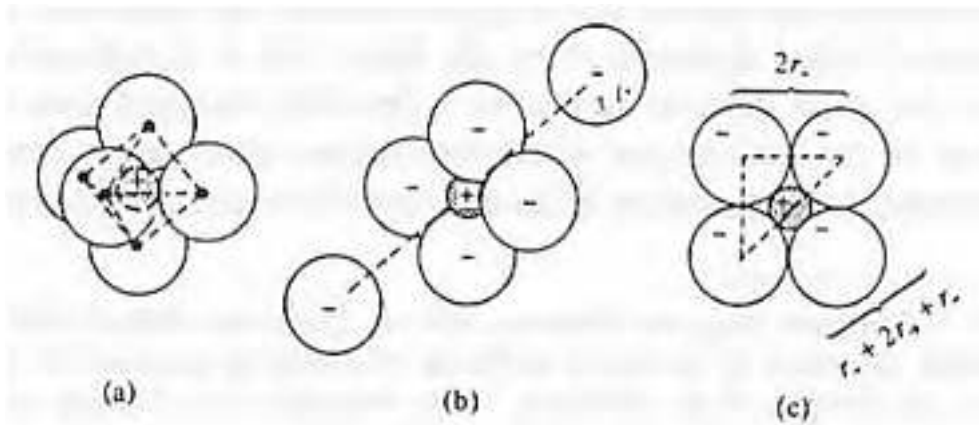
$$r_+ = 0,155r_-$$

$$\frac{r_+}{r_-} = 0,155$$



Apabila harga rasio jarak  $< 0,155$  maka akan diperoleh susunan seperti model 2(c) dan sebaliknya apabila rasio jarak  $> 0,155$  maka akan diperoleh model susunan seperti Gambar 2(a).

Untuk susunan dengan kation yang memiliki bilangan koordinasi 6, dapat menggunakan model seperti yang disajikan dalam gambar berikut:



**Gambar 4.** Kondisi batas untuk susunan dengan kation yang memiliki bilangan koordinasi 6.

Hitunglah rasio jarak berdasarkan Gambar 4(c)

$$\cos 45^\circ = \text{---}$$

Rentangan harga rasio jarak untuk bilangan koordinasi 4 (bujur sangkar) dan 6 (oktahedral) adalah sama. Hal ini disebabkan tempat selitan yang terbentuk dari empat buah anion dengan geometri bujur sangkar dan tempat selitan yang terbentuk dari enam anion dengan geometri oktahedral memiliki volume yang sama.

**Tabel 1.** Hubungan antara rasio jarak dengan kemungkinan struktur senyawa ionik

$r_+/r_-$	$r_-/r_+$	BK kation	Geometri di sekitar kation	Kemungkinan struktur
< 0,155	> 6,452	2	Linear	*
0,155 – 0,225	4,444 – 6,452	3	Segitiga Planar	*
0,225 – 0,414	2,415 – 4,444	4	Tetrahedral	Wurtzit, zink blende
0,414 – 0,732	1,366 – 2,415	4	Bujur Sangkar	*
0,414 – 0,732	1,366 – 2,415	6	Oktahedral	NaCl, rutil
0,732 – 0,999	1,001 – 1,366	8	Kubus	Fluorit
> 1	< 1	12	Dodekahedral	**

Keterangan:

\* belum pernah dilaporkan untuk kristal ionik

\*\* BK 12 belum pernah ditemukan untuk kristal ionik sederhana

### 3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Jari-jari Ion

Perhatikan tabel berikut:

**Tabel 2.** Jari-jari ion  $\text{Na}^+$  dengan BK 4 sampai 12

BK	4	5	6	7	8	9	12
Jari-jari ion (pm)	113	114	116	126	132	138	153

**Tabel 3.** Jari-jari ion  $\text{O}^{2-}$  dengan BK 2 sampai 8

BK	2	3	4	6	8
Jari-jari ion (pm)	121	122	124	126	128

Simpulkan informasi yang dapat Anda peroleh berdasarkan Tabel 2 dan 3!

Perhatikan tabel berikut:

**Tabel 4.** Perbandingan kation dengan BK 6

<b>Ion</b>	<b>BK</b>	<b>Jari-jari Ion (pm)</b>
Na <sup>+</sup>	6	116
Mg <sup>2+</sup>	6	86
Al <sup>3+</sup>	6	67,5

**Tabel 5.** Perbandingan anion dengan BK 4

<b>Ion</b>	<b>BK</b>	<b>Jari-jari Ion (pm)</b>
F <sup>-</sup>	4	117
O <sup>2-</sup>	4	124
N <sup>3-</sup>	4	132

Simpulkan informasi yang dapat Anda peroleh berdasarkan Tabel 4 dan 5!

***DISCUSS***

1. Hitunglah rasio jarak dengan aturan sinus pada kondisi batas susunan kation dengan BK 3 !

2. Hitunglah rasio jarak dalam kristal ionik NaI dengan geometri oktahedral dan prediksikan strukturnya bila diketahui jari-jari ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{I}^-$  masing-masing sebesar 116 pm dan 206 pm!
  
3. Faktor apa saja yang mempengaruhi jari-jari ion!

***REFLECT***

Presentasikan hasil pengerjaan kalian dengan santun untuk memperoleh tanggapan/konfirmasi dari teman kalian dan dosen!



## LEMBAR KEGIATAN MAHASISWA 6

### CACAT-CACAT PADA KRISTAL

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سَبِّحْ اسْمَ رَبِّكَ الْأَعْلَىٰ - (الَّذِي خَلَقَ فَسَوَّىٰ) - (۲)

Artinya:

Sucikanlah nama Tuhanmu Yang Mahatinggi, Yang menciptakan, lalu menyempurnakan (ciptaan-Nya). (QS Al A'la : 1-2)

كُتِبَ عَلَيْكُمُ الْقِتَالُ وَهُوَ كُرْهُ لَكُمْ وَعَسَىٰ أَنْ تَكْرَهُوا شَيْئًا وَهُوَ خَيْرٌ لَّكُمْ وَعَسَىٰ أَنْ تُحِبُّوا

شَيْئًا وَهُوَ شَرٌّ لَّكُمْ وَاللَّهُ يَعْلَمُ وَأَنْتُمْ لَا تَعْلَمُونَ ع

Artinya:

Diwajibkan atas kamu berperang, padahal itu tidak menyenangkan bagimu. Tetapi boleh jadi kamu tidak menyenangi sesuatu, padahal itu baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu tidak baik bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui. (QS Al Baqarah : 216)

**ASK**

Bacalah wacana berikut dengan cermat!

Wacana

Pada pembahasan model kemas geometri padatan baik pada logam maupun ionik adalah dengan asumsi bahwa kristal-kristal tersebut merupakan kristal yang sempurna. Dengan kata lain tidak memiliki cacat (*defect*) tertentu. Namun kenyataannya, tidak ada satupun kristal yang tidak memiliki cacat

Ajukanlah hal-hal yang tidak kalian mengerti terkait wacana di atas?

**INVESTIGATE & CREATE**

Seperti yang telah dikemukakan bahwa semua kristal baik pada padatan logam maupun ionik selalu memiliki cacat-cacat tertentu. Namun ternyata ada rahasia yang tersembunyi dibalik cacat yang dimilikinya. Dengan adanya cacat tersebut maka kristal akan memiliki energi bebas yang lebih rendah dibandingkan dengan kristal tanpa adanya cacat.

Ada berbagai macam cacat pada kristal. Cacat dalam kristal dapat dibagi dalam dua kategori, yakni cacat yang tidak mengubah rumus kimia suatu padatan yang selanjutnya disebut cacat stoikiometrik dan cacat yang mengubah rumus kimia suatu padatan yang selanjutnya disebut cacat non stoikiometrik. Berdasarkan dimensinya terdapat empat jenis cacat, yakni cacat titik (*point defects*), cacat garis (*line defects*), cacat bidang antarmuka (*planar defects*), dan cacat ruang (*bulk defects*).

**1. Cacat Titik (*Point Defects*)**

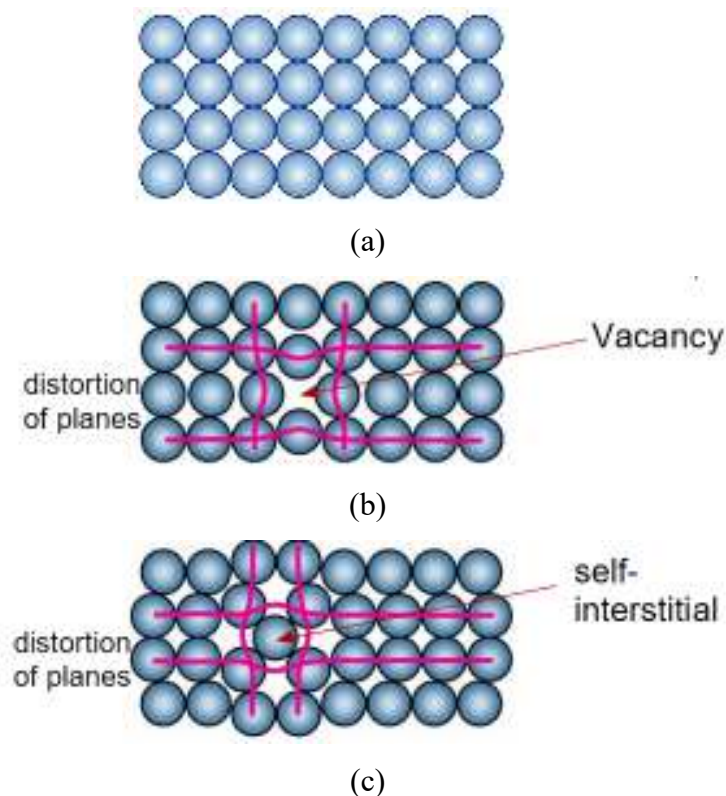
Tuliskan bagaimana bunyi Hukum Termodinamika ketiga?

Pada suhu 0 K atom-atom atau ion-ion yang terdapat dalam kisi kristal dapat dianggap memiliki keteraturan yang sempurna. Hal ini dikarenakan sistem berada dalam keadaan dengan energi paling minimum.

Seperti yang kita ketahui bahwa baik atom, ion, ataupun molekul senantiasa bergerak baik secara rotasi, vibrasi, maupun translasi. Kenaikan suhu mengakibatkan peningkatan pada gerak vibrasi suatu partikel. Apabila vibrasi dari atom-atom ataupun ion-ion tersebut cukup besar, maka partikel tersebut memiliki energi yang cukup untuk meninggalkan posisi normalnya (titik kisinya) sehingga kristal menjadi cacat. Cacat yang demikian disebut cacat titik (*point defects*).

Baik pada kristal logam maupun ionik, cacat titik dapat berupa cacat intrinsik dan cacat ekstrinsik.

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 1.** (a) Logam tanpa cacat dan logam dengan cacat intrinsik berupa terbentuknya: (b) *vacancy* dan (c) *self-interstitial*

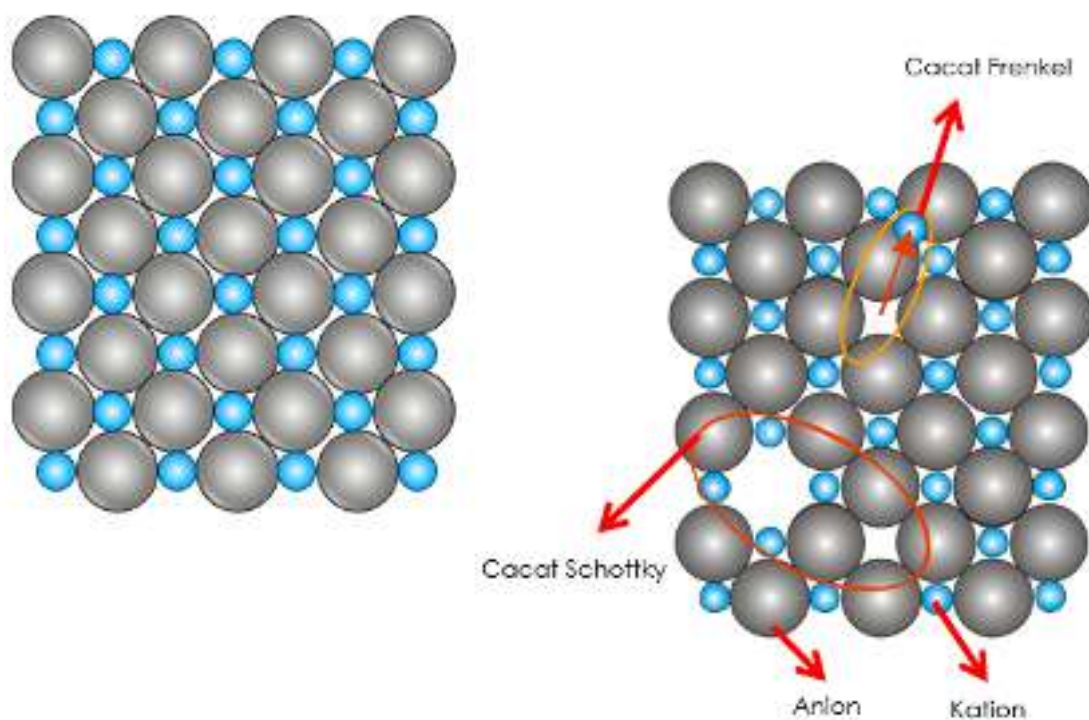




Berdasarkan Gambar 2:

- a. Definiskanlah terkait cacat ekstrinsik dengan pengotor *interstitial!*
  
- b. Definiskanlah terkait cacat ekstrinsik dengan pengotor *substitutional!*

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 3.** Padatan ionik tanpa cacat dan dengan cacat intrinsik

Berdasarkan Gambar 3:

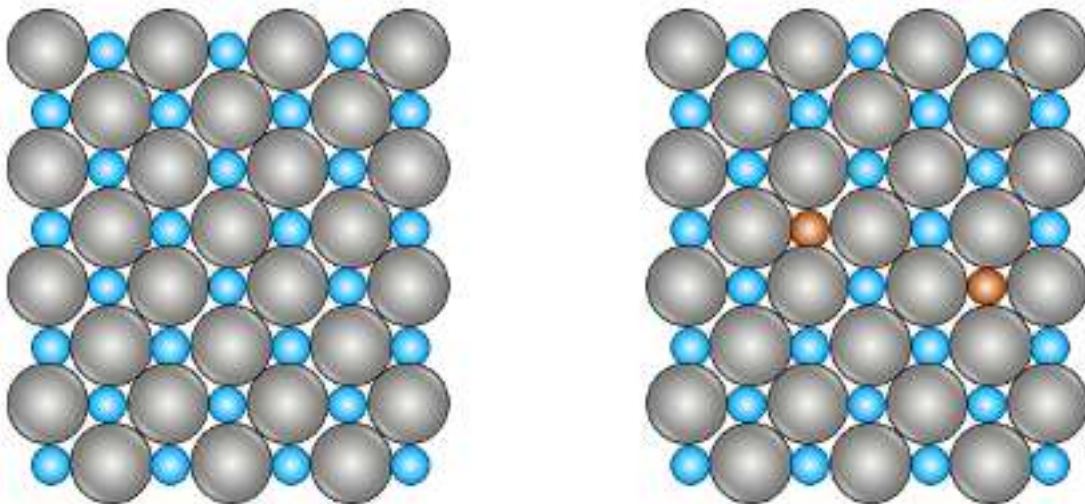
- a. Definiskanlah terkait cacat Schottky!

b. Definiskanlah terkait cacat Frenkel!

Cacat Schottky pada padatan ionik cenderung terjadi apabila kation dan anion yang terdapat dalam kristal ukurannya relatif sama. Pada proses pengkristalan, penurunan suhu yang dilakan dengan cepat cenderung meningkatkan terjadinya cacat Schottky.

Cacat Frenkel pada padatan ionik semakin mudah terjadi apabila perbedaan ukuran kation dan anion semakin besar. Terjadinya cacat Frenkel juga semakin bertambah dengan naiknya suhu karena naiknya suhu akan menaikkan mobilitas ion yang ukurannya lebih kecil.

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 4.** Padatan ionik tanpa cacat dan dengan cacat ekstrinsik

Cacat ekstrinsik pada padatan ionik dapat terjadi karena adanya pengotor.

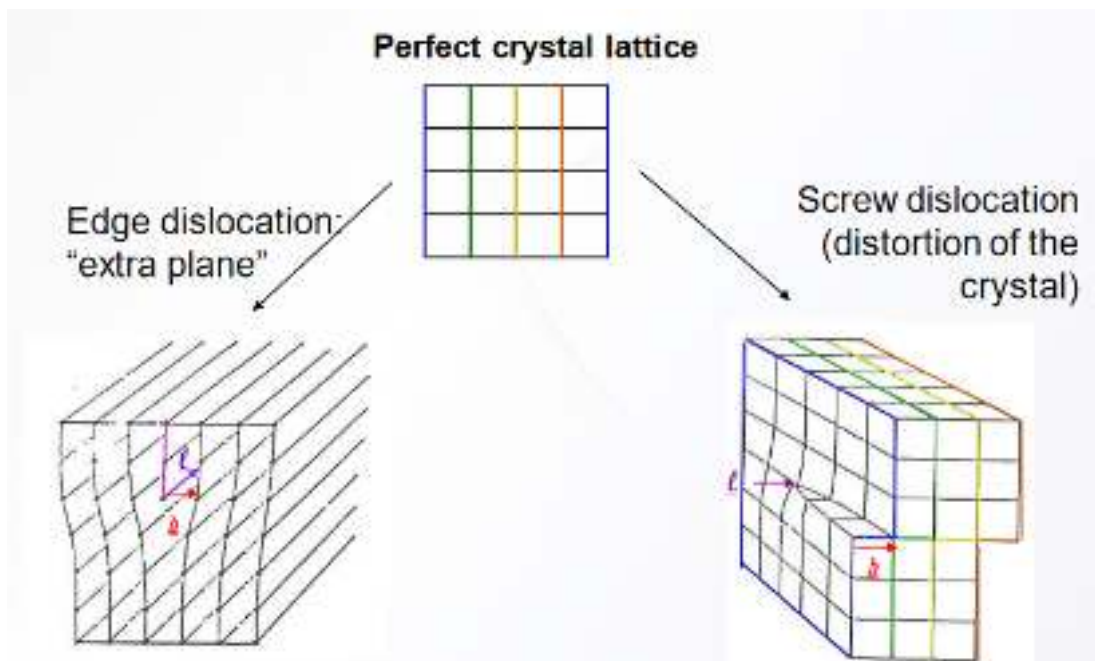
Berdasarkan Gambar 4, jelaskan terkait cacat ekstrinsik dengan adanya pengotor pada padatan ionik!

Perlu diketahui bahwa pada padatan oksida logam transisi dengan adanya pengotor yang berasal dari logam golongan utama dapat mengakibatkan kation-kation logam transisi dalam padatan tersebut mengalami reaksi oksidasi atau reduksi. Hal ini menyebabkan terjadinya perubahan warna pada padatan oksida logam transisi. Warna-warna inilah yang menjadi daya tarik bagi pencinta batu akik atau batu mulia.

## 2. Cacat Garis (*Line Defects*)

Cacat garis atau seringkali disebut cacat dislokasi dapat terjadi pada logam maupun aloi.

Perhatikan gambar berikut:



**Gambar 5.** Jenis cacat dislokasi

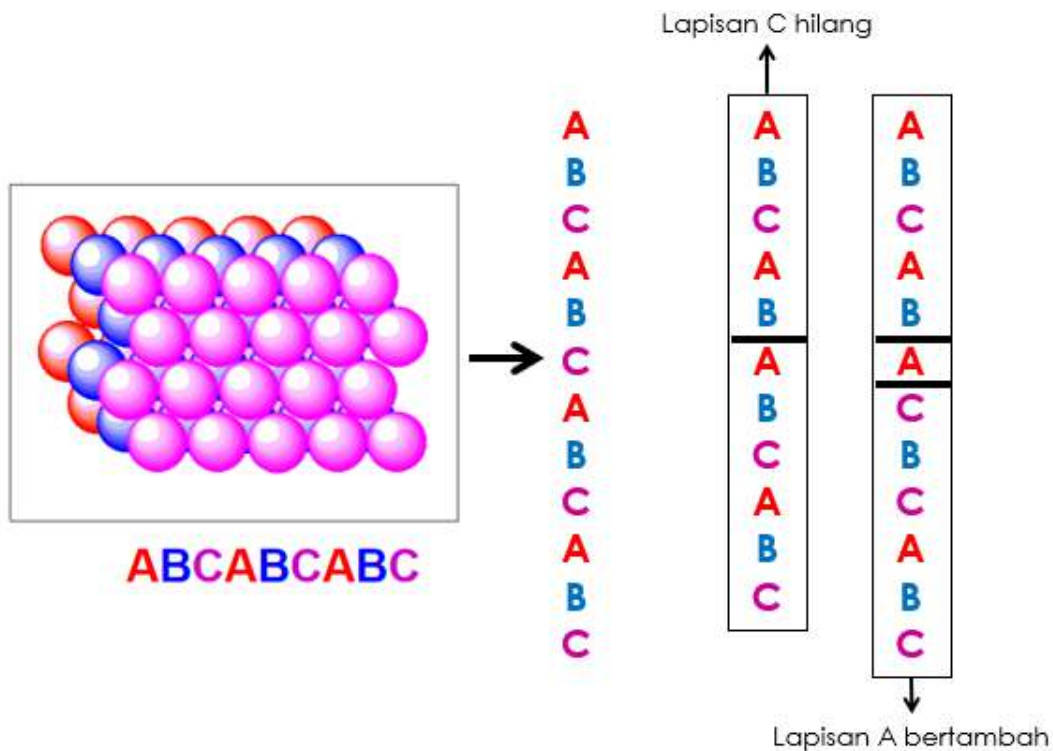
Berdasarkan Gambar 5, terdapat jenis dislokasi sisi (edge dislocation) dan dislokasi ulir (screw dislocation). Dislokasi sisi terjadi seperti adanya lapisan tambahan karena sisinya terputus lapisan di dalam kristal. Di sisi lain, dislokasi ulir terjadi karena adanya gaya geser sehingga terjadi distorsi. Kedua jenis dislokasi garis terjadi karena ada ketimpangan dalam orientasi bagian-bagian yang berdekatan dalam

kristal yang tumbuh sehingga ada suatu deretan atom tambahan ataupun deretan yang kurang.

### 3. Cacat Bidang Antarmuka (*Surface/Planar Defects*)

Cacat bidang antarmuka merupakan batas yang mempunyai dua dimensi yang biasanya memisahkan daerah-daerah pada material yang mempunyai struktur kristal dan/atau orientasi kristalografi yang berbeda. Salah satu jenis dari cacat bidang antarmuka adalah kesalahan tumpuk.

Perhatikan gambar berikut!



**Gambar 6.** Kristal dengan pola susunan ... ABCABC ... (hcp)

Berdasarkan Gambar 6, definisikanlah terkait kesalahan tumpuk pada cacat bidang antarmuka!

#### 4. Cacat Ruang (*Bulk/Volume Defects*)

Cacat ruang pada kristal dapat berupa : crack (retak), pori-pori, inklusi, presipitat, fasa kedua dan lain sebagainya. Adanya cacat ruang di dalam kristal biasanya memberikan suatu implikasi (misalnya terhadap sifat) yang akan menyebabkan perubahan densitas (terutama dengan adanya pori-pori ataupun fasa kedua pada suatu padatan).

#### ***DISCUSS***

1. Menurut Anda, bagaimanakah pengaruh terbentuknya *vacancy* terhadap masa jenis padatan?
  
2. Ramalkan, manakah di antara kristal NaCl dan NaI yang lebih mudah mengalami cacat Schottky dan manakah yang lebih mudah mengalami cacat Frenkel!

#### ***REFLECT***

Presentasikan hasil pengerjaan kalian dengan santun untuk memperoleh tanggapan/konfirmasi dari teman kalian dan dosen!



## LEMBAR KEGIATAN MAHASISWA 7

### ASAM-BASA DALAM SISTEM PELARUT

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَمِنْ كُلِّ شَيْءٍ خَلَقْنَا زَوْجَيْنِ لَعَلَّكُمْ تَذَكَّرُونَ

Artinya:

Dan segala sesuatu Kami ciptakan berpasang-pasangan agar kamu mengingat (kebesaran Allah). (QS Az Zariyat : 49)



**ASK**

Bacalah wacana berikut dengan cermat!

Wacana

Sebagian besar reaksi kimia dan juga pengukuran sifat zat dilakukan dalam fasa larutan, baik dengan menggunakan pelarut air maupun pelarut bukan air. Saat duduk di bangku SMP/MTs Anda telah belajar tentang sifat larutan, yakni asam, basa, dan netral. Saat duduk di bangku SMA/MA Anda telah belajar tentang teori Asam-Basa, salah satu di antaranya adalah teori Asam-Basa Arrhenius. Akan tetapi, teori Arrhenius hanya terbatas pada media pelarut air saja. Arrhenius tidak dapat menjelaskan sifat asam-basa suatu zat apabila menggunakan pelarut bukan air.

Ajukanlah hal-hal yang tidak kalian mengerti terkait wacana di atas?

***INVESTIGATE & CREATE***

**A. Sifat-sifat Pelarut**

Pelarut merupakan zat dengan jumlah lebih banyak dalam larutan yang dapat melarutkan zat lain (zat terlarut) yang jumlahnya lebih sedikit. Sifat-sifat yang terutama menentukan fungsi suatu pelarut di antaranya sebagai berikut:

1. Pelarut dalam keadaan cair

Pelarut dalam keadaan cair akan lebih mudah melarutkan zat lain yang berfasa padat, cair, maupun gas. Lain halnya dengan pelarut dalam keadaan gas yang hanya mampu melarutkan zat berfasa gas saja.

2. Tetapan dielektrik

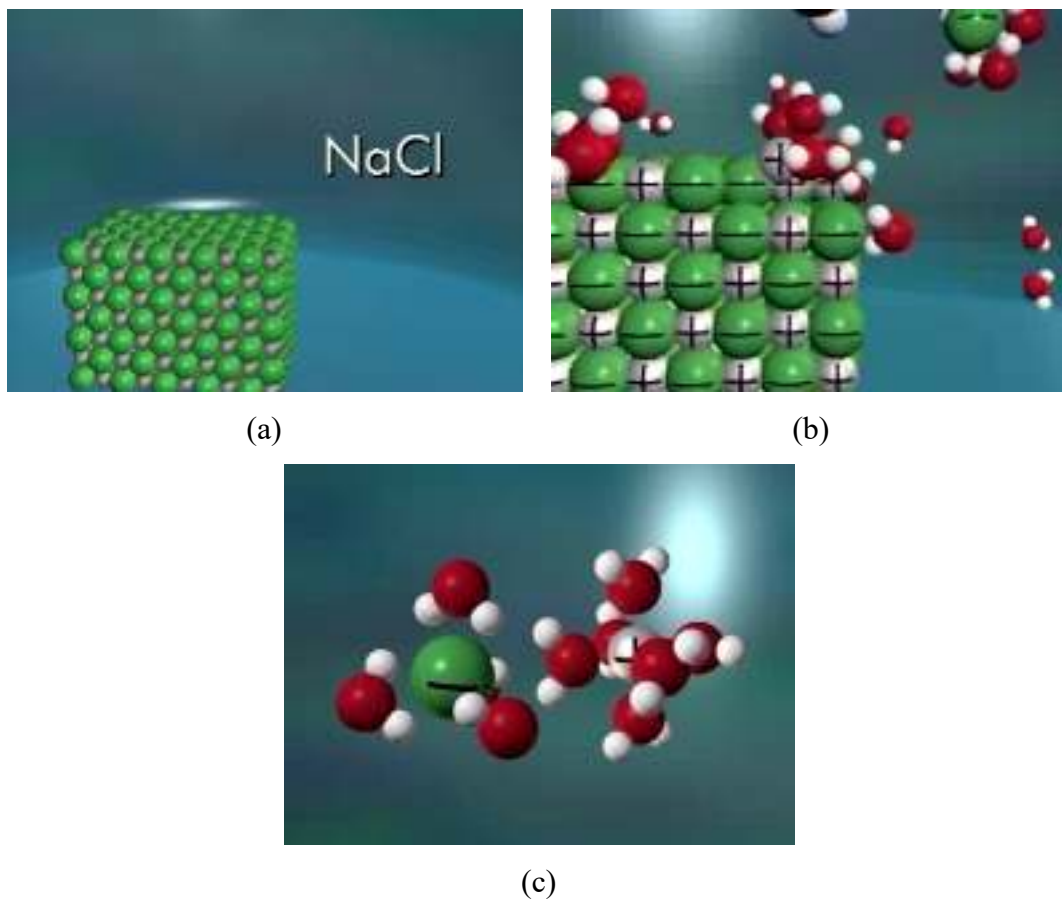
Tetapan dielektrik merupakan kemampuan suatu pelarut untuk melarutkan zat terlarut. Tetapan dielektrik umumnya dijadikan pengukuran relatif dari kepolaran suatu pelarut. Semakin tinggi tetapan dielektrik pelarut, maka semakin besar

kemampuannya untuk melarutkan zat terlarutnya yang bersifat polar, demikian sebaliknya.

### 3. Sifat donor dan akseptor elektron

Sifat donor dan akseptor suatu pelarut terhadap elektron terkait dengan kemampuan suatu pelarut mensolvasi zat terlarut dalam suatu larutan. Semakin besar daya solvasinya, semakin banyak pula zat yang dapat dilarutkan.

Perhatikan gambar berikut:



Gambar 1. (a) kristal NaCl sebelum dilarutkan dalam air; (b) kristal NaCl sesaat setelah dilarutkan dalam air; (c) molekul air mensolvasi ion  $\text{Na}^+$  dan ion  $\text{Cl}^-$

Berdasarkan Gambar 1, dalam proses solvasi terlihat bahwa molekul-molekul pelarut air mengelilingi ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  dari kristal NaCl sebagai zat terlarut. Dengan

demikian solvasi merupakan interaksi antara pelarut dan zat terlarut di mana molekul-molekul pelarut mengelilingi partikel-partikel zat terlarut.

#### 4. Autodisosiasi pelarut

Berdasarkan ada atau tidaknya atom hidrogen yang menyusun molekul pelarut, pelarut dibedakan atas pelarut berproton dan pelarut tidak berproton. Dalam pelarut berproton, proton dapat didisosiasikan dan bersifat asam kuat atau lemah. Sebagai contoh  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{HCN}$ . Bahkan amonia ( $\text{NH}_3$ ) yang biasanya dianggap sebagai basa, merupakan pelarut berproton dan dapat memberikan  $\text{H}^+$  kepada basa yang lebih kuat. Pelarut berproton mempunyai ciri mengalami autodisosiasi.

		Kation spesifik		Anion Spesifik
Air	$2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons$	$\text{H}_3\text{O}^+$	+	$\text{OH}^-$
Asam klorida	$2 \text{HCl} \rightleftharpoons$	$\text{H}_2\text{Cl}^+$	+	$\text{Cl}^-$
Asam sulfat	$2 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons$	$\text{H}_3\text{SO}_4^+$	+	$\text{HSO}_4^-$
Amoniak	$2 \text{NH}_3 \rightleftharpoons$	$\text{NH}_4^+$	+	$\text{NH}_2^-$
Asam asetat	$2 \text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons$	$\text{CH}_3\text{COOH}_2^+$	+	$\text{CH}_3\text{COO}^-$
Asetonitril	$2 \text{CH}_3\text{CN} \rightleftharpoons$	$\text{CH}_3\text{CNH}^+$	+	$\text{CH}_2\text{CN}^-$

Pelarut tidak berproton terbagi atas tiga golongan, yaitu:

1. Zat cair non polar atau kepolarannya sangat kecil, tetapan dielektriknya rendah, tidak terdisosiasi, dan daya solvasinya lemah, sebagai contoh  $\text{CCl}_4$ . Pelarut dengan sifat demikian hanya dapat digunakan untuk melarutkan zat terlarut yang bersifat non polar saja.
2. Pelarut tidak terdisosiasi, tetapi daya solvasinya sangat kuat, sebagai contoh dimetilformamida (DMF), dimetilsulfoksida (DMSO), dan tetrahidrofuran (THF).
3. Pelarut sangat polar dan berautodisosiasi.

	Kation spesifik		Anion Spesifik
$2 \text{BrF}_3 \rightleftharpoons$	$\text{BrF}_2^+$	+	$\text{BrF}_4^-$
$2 \text{IF}_5 \rightleftharpoons$	$\text{IF}_4^+$	+	$\text{IF}_6^-$
$2 \text{POCl}_3 \rightleftharpoons$	$\text{POCl}_2^+$	+	$\text{POCl}_4^-$

Definisikanlah asam berdasarkan teori Asam-Basa Arrhenius!

Definisikanlah basa berdasarkan teori Asam-Basa Arrhenius!

Dalam sistem pelarut, sifat asam dan basa suatu zat berkaitan dengan kemampuan autodisosiasi pelarut yang digunakan. Misalnya  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{HCl}$ , dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  merupakan contoh senyawa yang bersifat asam jika dilarutkan dalam air.



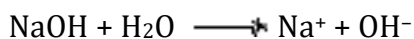
Ketika dilarutkan dalam air, senyawa-senyawa tersebut menghasilkan ion  $\text{H}_3\text{O}^+$  yang merupakan kation spesifik pelarut  $\text{H}_2\text{O}$ .

Namun, senyawa  $\text{CH}_3\text{COOH}$  yang notabeneanya adalah senyawa asam dalam pelarut air, senyawa tersebut ternyata bersifat basa bila dilarutkan dalam pelarut asam sulfat.



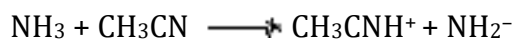
Ketika dilarutkan dalam asam sulfat, senyawa  $\text{CH}_3\text{COOH}$  tersebut menghasilkan ion  $\text{HSO}_4^-$  yang merupakan anion spesifik pelarut asam sulfat.

$\text{NH}_3$ ,  $\text{NaOH}$ , dan  $\text{KOH}$  merupakan senyawa-senyawa yang bersifat basa jika dilarutkan dalam air.



Ketika dilarutkan dalam air, senyawa-senyawa tersebut menghasilkan ion  $\text{OH}^-$  yang merupakan anion spesifik pelarut  $\text{H}_2\text{O}$ .

Namun, senyawa  $\text{NH}_3$  yang notabeneanya adalah senyawa basa dalam pelarut air, senyawa tersebut ternyata bersifat asam bila dilarutkan dalam pelarut asetonitril.



Ketika dilarutkan dalam asetonitril, senyawa  $\text{NH}_3$  tersebut menghasilkan ion  $\text{CH}_3\text{CNH}^+$  yang merupakan kation spesifik pelarut asetonitril.

Seperti halnya dalam pelarut berproton, dalam pelarut tidak berproton juga sifat asam dan basa suatu zat dapat diterangkan. Misalnya senyawa  $\text{SbF}_5$  dalam pelarut boron trifluorida bersifat asam.



Ketika dilarutkan dalam boron trifluorida, senyawa  $\text{SbF}_5$  tersebut menghasilkan ion  $\text{BF}_2^+$  yang merupakan kation spesifik pelarut boron trifluorida.

Senyawa  $\text{KF}$  dalam pelarut boron trifluorida bersifat basa.



Ketika dilarutkan dalam boron trifluorida, senyawa  $\text{KF}$  tersebut menghasilkan ion  $\text{BF}_4^-$  yang merupakan anion spesifik pelarut boron trifluorida.

## ***DISCUSS***

1. Menurut Anda, bagaimanakah definisi asam dalam sistem pelarut?
  
2. Menurut Anda, bagaimanakah definisi basa dalam sistem pelarut!
  
3. Cuka makan bersifat asam dalam air. Lain halnya dalam cairan hidrogen sianida, cuka makan justru bersifat basa. Jelaskan mengapa demikian!
  
4. Brom trifluorida merupakan agen fluorinasi yang sangat kuat untuk senyawa yang terlarut di dalamnya. Tuliskan persamaan reaksi yang terjadi jika senyawa berikut dilarutkan dalam brom trifluorida:
  - a. KF
  
  - b. SbF<sub>5</sub>
  
  - c. SnF<sub>4</sub>
  
  - d. AuF<sub>3</sub>

***REFLECT***

Presentasikan hasil pengerjaan kalian dengan santun untuk memperoleh tanggapan/konfirmasi dari teman kalian dan dosen!



## LEMBAR KEGIATAN MAHASISWA 8

### ASAM-BASA KERAS-LUNAK (HARD-SOFT ACID-BASE, HSAB)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَمِنْ كُلِّ شَيْءٍ خَلَقْنَا زَوْجَيْنِ لَعَلَّكُمْ تَذَكَّرُونَ

Artinya:

Dan segala sesuatu Kami ciptakan berpasang-pasangan agar kamu mengingat (kebesaran Allah). (QS Az Zariyat: 49)

وَلَا يَجْرِمَنَّكُمْ شَنَا نُ قَوْمٍ أَنْ صَدُّوكُمْ عَنِ الْمَسْجِدِ الْحَرَامِ أَنْ تَعْتَدُوا وَتَعَاوَنُوا عَلَى الْبِرِّ وَالتَّقْوَىٰ وَلَا تَعَاوَنُوا عَلَى الْإِثْمِ وَالْعُدْوَانِ وَاتَّقُوا اللَّهَ إِنَّ اللَّهَ شَدِيدُ الْعِقَابِ

Artinya

... Dan tolong-menolonglah kamu dalam (mengerjakan) kebajikan dan takwa, dan jangan tolong-menolong dalam berbuat dosa dan permusuhan. Bertakwalah kepada Allah, sungguh, Allah sangat berat siksaan-Nya. (QS Al Ma'idah: 2)



**ASK**

Bacalah wacana berikut dengan cermat!

Wacana

Saat duduk di bangku SMA/MA Anda telah belajar tentang teori asam-basa, salah satu di antaranya adalah teori asam-basa Lewis. Menurut Lewis, asam-basa terkait dengan kemampuan sebagai donor dan akseptor pasangan elektron bebas dalam membentuk senyawa. Akan tetapi, teori asam-basa Arrhenius tidak mampu menjelaskan terkait kestabilan suatu senyawa yang terbentuk. Sebagai upaya mengatasi kelemahan teori asam-basa Lewis, berkembanglah teori asam-basa Pearson yang selanjutnya dikenal sebagai teori asam-basa keras dan lunak.

Ajukanlah hal-hal yang tidak kalian mengerti terkait wacana di atas?

***INVESTIGATE & CREATE***

Pada tahun 1963 Pearson mencermati berbagai kereaktifan ion logam terhadap ligan dalam pembentukan senyawa kompleks yang didasari pada asam-basa Lewis.

Definisikanlah asam menurut Lewis!

Definisikanlah basa menurut Lewis!

Dalam senyawa kompleks ion logam berperan sebagai akseptor pasangan elektron, dan ligan berperan sebagai donor pasangan elektron. Menurut Pearson dalam

senyawa kompleks berdasarkan kereaktivannya terhadap ligan, ion logam diklasifikasikan ke dalam dua kelompok, yakni ion logam kelompok (a) dan (b).

Ion logam kelompok (a) terdiri dari: (1) ion logam alkali; (2) ion logam alkali tanah; dan (3) ion-ion logam transisi dengan densitas muatan besar (densitas muatan merupakan perbandingan antara muatan ion dengan ukuran ion yang bersangkutan). Ion logam kelompok (a) umumnya memiliki ukuran kecil dan memiliki daya polarisasi yang lebih besar. Daya polarisasi merupakan kemampuan suatu kation untuk mendistorsi suatu anion.

Sebaliknya, ion logam kelompok (b) terdiri dari ion-ion logam transisi dengan densitas muatan kecil. Ion logam kelompok (b) umumnya memiliki ukuran besar dan memiliki daya polarisasi yang lebih kecil.

Tabel 1. Pengelompokan ion logam

ion logam kelompok (a)	Ligan			ion logam kelompok (b)
paling kuat	R <sub>3</sub> N	R <sub>2</sub> O	F <sup>-</sup>	paling lemah
	R <sub>3</sub> P	R <sub>2</sub> S	Cl <sup>-</sup>	↓
	R <sub>3</sub> As	R <sub>2</sub> Se	Br <sup>-</sup>	
	paling lemah	R <sub>3</sub> Sb	R <sub>2</sub> Te	

Berdasarkan Tabel 1, diperoleh informasi bahwa ligan-ligan yang memiliki harga elektronegativitas tinggi (mengandung atau terikat pada -N, -O, dan -F) terikat sangat kuat dengan ion logam kelompok (a). Di lain pihak, ligan-ligan yang memiliki harga elektronegativitas rendah terikat sangat kuat dengan ion logam kelompok (b).

Apabila diperhatikan, ternyata ligan-ligan yang stabil membentuk senyawa kompleks dengan ion logam kelompok (a) umumnya memiliki ukuran kecil dan sukar dipolarisasi. Sebaliknya, ligan-ligan yang stabil membentuk senyawa kompleks dengan ion logam kelompok (b) umumnya memiliki ukuran besar dan mudah dipolarisasi.

Ion-ion dengan densitas muatan yang besar oleh Pearson dikatakan bersifat keras. Sebaliknya, ion-ion dengan densitas muatan yang kecil oleh Pearson dikatakan bersifat lunak. Berdasarkan hal tersebut Pearson mengusulkan bahwa asam-basa Lewis dapat diklasifikasikan sebagai asam-basa keras dan lunak (*hard-soft acid-base*, HSAB).

Berdasarkan informasi dalam Tabel 1 dan penjelasannya, ramalkan bagaimana kecenderungan reaksi berbagai macam zat!

Berikut adalah klasifikasi asam-basa keras-lunak menurut Pearson.

#### **Klasifikasi Asam Lewis menurut Pearson**

##### **Ion-ion kelas (a) atau asam keras**

$H^+$ ,  $Li^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Be^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Sn^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Sc^{3+}$ ,  $Ga^{3+}$ ,  $In^{3+}$ ,  $La^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Co^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $As^{3+}$ ,  $Ir^{3+}$ ,  $Si^{4+}$ ,  $Ti^{4+}$ ,  $Zr^{4+}$ ,  $Th^{4+}$ ,  $Pu^{4+}$ ,  $VO^{2+}$ ,  $UO_2^{2+}$ ,  $(CH_3)_2Sn^{2+}$ ,  $BeMe_2$ ,  $BF_3$ ,  $BCl_3$ ,  $B(OR)_3$ ,  $Al(CH_3)_3$ ,  $Ga(CH_3)_3$ ,  $In(CH_3)_3$ ,  $RPO_2^+$ ,  $ROPO_2^+$ ,  $RSO_2^+$ ,  $ROSO_2^+$ ,  $SO_3$ ,  $I^{7+}$ ,  $I^{5+}$ ,  $Cl^{7+}$ ,  $R_3C^+$ ,  $RCO^+$ ,  $CO_2$ ,  $NC^+$ ,  $HX$  (molekul dengan ikatan hidrogen)

##### **Daerah antara (*borderline*)**

$Fe^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $B(CH_3)_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO^+$

##### **Ion-ion kelas (b) atau asam lunak**

$Cu^+$ ,  $Ag^+$ ,  $Au^+$ ,  $Tl^+$ ,  $Hg^+$ ,  $Cs^+$ ,  $Pd^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Pt^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $CH_3Hg^+$ ,  $Tl^{3+}$ ,  $Tl(CH_3)_3$ ,  $BH_3$ ,  $RS^+$ ,  $RSe^+$ ,  $RTe^+$ ,  $I^+$ ,  $Br^+$ ,  $HO^+$ ,  $RO^+$ ,  $I_2$ ,  $Br_2$ ,  $ICN$ , trinitrobenzena, kloranil, quinon, tetrasianoetilen,  $O$ ,  $Cl$ ,  $Br$ ,  $I$ ,  $R_3C(?)$ , atom-atom logam, logam meruah (*bulky*)

#### **Klasifikasi Basa Lewis menurut Pearson**

##### **Ion-ion kelas (a) atau basa keras**

$NH_3$ ,  $RNH_2$ ,  $N_2H_4$ ,  $H_2O$ ,  $OH^-$ ,  $O^{2-}$ ,  $ROH$ ,  $RO^-$ ,  $R_2O$ ,  $CH_3COO^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $ClO_4^-$ ,  $F^-$  ( $Cl^-$ )

##### **Daerah antara (*borderline*)**

$C_6H_5NH_2$ ,  $C_5H_5N$ ,  $N_3^-$ ,  $N_2$ ,  $NO_2^-$ ,  $SO_3^{2-}$ ,  $Br^-$

##### **Ion-ion kelas (b) atau basa lunak**

$H^-$ ,  $R^-$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_6H_6$ ,  $CN^-$ ,  $RNC$ ,  $CO$ ,  $SCN^-$ ,  $R_3P$ ,  $(RO)_3P$ ,  $R_3As$ ,  $R_2S$ ,  $RSH$ ,  $RS^-$ ,  $S_2O_3^{2-}$ ,  $I^-$

***DISCUSS***

1. Deret senyawa halida litium (LiF, LiCl, LiBr, dan LiI) serta halida perak (AgF, AgCl, AgBr, dan AgI) memiliki sifat yang saling berlawanan. Sebagai contoh, LiF memiliki kelarutan dalam air yang paling rendah di antara halida litium yang lain, sebaliknya AgF memiliki kelarutan tertinggi dalam air di antara halida perak yang lain. Berikan penjelasan terkait perbedaan sifat tersebut menggunakan konsep HSAB!

***REFLECT***

Presentasikan hasil pengerjaan kalian dengan santun untuk memperoleh tanggapan/konfirmasi dari teman kalian dan dosen!



## LEMBAR KEGIATAN MAHASISWA 9

### REAKSI REDUKSI-OKSIDASI

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَمِنْ كُلِّ شَيْءٍ خَلَقْنَا زَوْجَيْنِ لَعَلَّكُمْ تَذَكَّرُونَ

Artinya:

Dan segala sesuatu Kami ciptakan berpasang-pasangan agar kamu mengingat (kebesaran Allah). (QS Az Zariyat: 49)

وَلَا يَجْرِمَنَّكُمْ شَنَا نُ قَوْمٍ أَنْ صَدُّوكُمْ عَنِ الْمَسْجِدِ الْحَرَامِ أَنْ تَعْتَدُوا وَتَعَاوَنُوا عَلَى الْبِرِّ  
وَالتَّقْوَىٰ وَلَا تَعَاوَنُوا عَلَى الْإِثْمِ وَالْعُدْوَانِ وَاتَّقُوا اللَّهَ إِنَّ اللَّهَ شَدِيدُ الْعِقَابِ

Artinya

... Dan tolong-menolonglah kamu dalam (mengerjakan) kebajikan dan takwa, dan jangan tolong-menolong dalam berbuat dosa dan permusuhan. Bertakwalah kepada Allah, sungguh, Allah sangat berat siksaan-Nya. (QS Al Ma'idah: 2)

**ASK**

Bacalah wacana berikut dengan cermat!

Wacana

Saat duduk di bangku SMA/MA Anda telah belajar tentang reaksi reduksi-oksidasi (redoks). Pada kelas X Anda telah belajar tentang perkembangan reaksi redoks. Pada kelas XII Anda telah belajar juga tentang potensial redoks dan elektrokimia. Pun demikian halnya saat Anda duduk di tahun pertama pada jenjang sarjana. Beberapa unsur dalam senyawa memiliki beberapa bilangan oksidasi. Kadang kala untuk menentukan potensial redoksnnya kita harus membandingkan beberapa data potensial reduksi standar (PRS). Untuk memudahkannya, beberapa kimiawan telah menyusun diagram potensial redoks. Bahkan dengan diagram potensial tersebut kita dapat meramalkan bagaimana kespontanan reaksi, memprediksi spesi mana yang mengalami reaksi disproporsionasi serta komproporsionasi.

Ajukanlah hal-hal yang tidak kalian mengerti terkait wacana di atas?

**INVESTIGATE & CREATE**

Berdasarkan sejarah perkembangan reaksi redoks,  
Definisikanlah reaksi reduksi dan oksidasi berdasarkan pengikatan dan pengelupasan oksigen!

Definisikanlah reaksi reduksi dan oksidasi berdasarkan penglepasan dan penangkapan elektron!

Definisikanlah reaksi reduksi dan oksidasi berdasarkan perubahan biloks!

### 1. Potensial Reaksi Redoks

Potensial reaksi merupakan gaya yang menggerakkan berlangsungnya suatu reaksi. Dalam reaksi redoks potensial reaksi dilokalisasi pada permukaan elektrode atau pada suatu titik di tempat kedua zat bersinggungan. Potensial reaksi berkaitan dengan energi bebas Gibbs, dimana energi bebas Gibbs menunjukkan ukuran kespontanan reaksi.

Dalam reaksi redoks, hubungan potensial reaksi dengan energi bebas Gibbs dinyatakan dalam persamaan:

$$\Delta G^\circ = -nFE^\circ \quad \dots (1)$$

(dimana  $\Delta G^\circ$  adalah energi bebas Gibbs standar dengan satuan J; n adalah jumlah mol elektron yang terlibat dalam proses reaksi; F adalah tetapan Faraday dengan satuan J/mol.V ; dan  $E^\circ$  adalah potensial reaksi standar dengan satuan V)

Berdasarkan persamaan (1) potensial reaksi berbanding lurus dengan energi bebas Gibbs. Apabila harga potensial reaksi besar (positif), maka reaksi redoks dapat berlangsung atau bereaksi secara spontan.

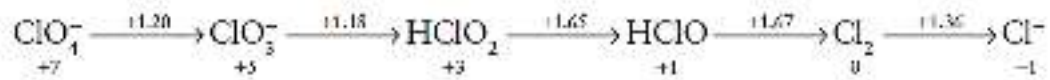
### 2. Diagram Lattimer

Lattimer menyusun harga-harga PRS untuk satu set zat yang saling berhubungan yang disajikan dalam bentuk diagram potensial reduksi seperti gambar 1.

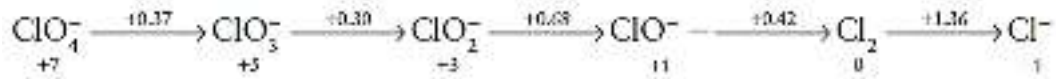
Berdasarkan gambar 1., zat dengan biloks tertinggi ditempatkan di paling kiri dan serangkaian zat dari atom yang sama disusun ke kanan sesuai dengan penurunan biloks, dan harga PRS ditulis di atas garis yang menghubungkan setiap keadaan. Biloks ditulis di bawah zat yang bersangkutan. Diagram potensial reduksi seperti yang dikenalkan oleh Lattimer selanjutnya dikenal dengan diagram Lattimer.



Suasana asam



Suasana basa



Gambar 1. Diagram potensial reduksi Cl

Berdasarkan diagram Lattimer pada Gambar 1,

Dalam keadaan bagaimanakah suatu spesi dikatakan spontan mengalami reaksi reduksi?

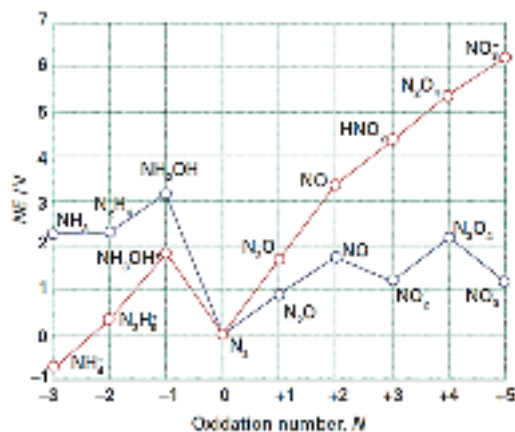
Dalam keadaan bagaimanakah suatu spesi dikatakan spontan mengalami reaksi oksidasi?

Dalam keadaan bagaimanakah suatu spesi dikatakan spontan mengalami reaksi disproporsionasi?

Dalam keadaan bagaimanakah suatu spesi dikatakan stabil?

### 3. Diagram Frost

Berbeda dengan Lattimer yang memperkenalkan diagram potensial reduksi, Frost memperkenalkan diagram potensial oksidasi-energi bebas seperti gambar berikut:

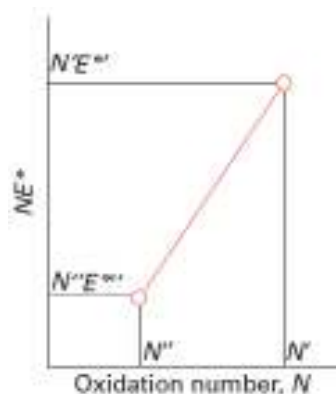


Garis merah  
suasana asam  
Garis biru  
suasana basa

Gambar 2. Diagram potensial oksidasi-energi bebas

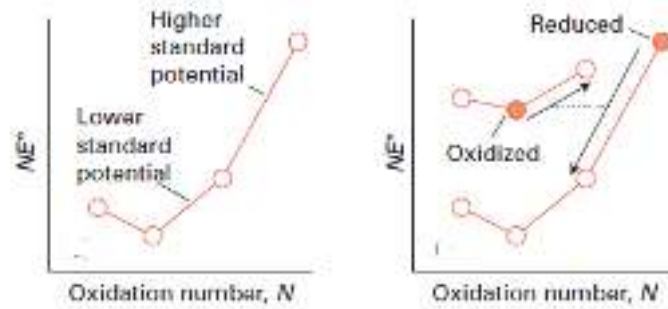
Dalam menginterpretasikan informasi kualitatif dalam diagram Frost sangat penting memperhatikan hal-hal berikut:

1. Kemiringan (gradien) garis yang menghubungkan dua titik dalam diagram Frost adalah sama dengan potensial standar dari pasangan yang dibentuk oleh dua zat.



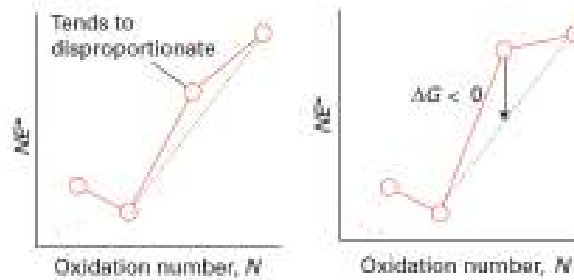
Gambar 3. Bentuk umum diagram Frost

2. Zat yang dapat mengalami reduksi dalam diagram Frost tergambar dengan kemiringan yang lebih positif (NE° lebih positif)
3. Zat yang dapat mengalami oksidasi dalam diagram Frost tergambar dengan kemiringan kurang positif (NE° lebih negatif)



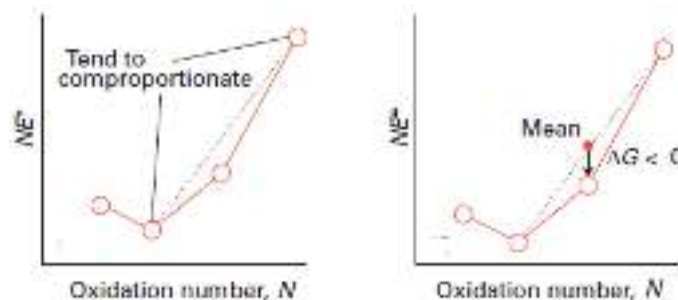
Gambar 4. Kecenderungan zat mengalami reaksi reduksi ataupun oksidasi

4. Suatu zat dalam diagram Frost dapat mengalami reaksi disproporsionasi atau autoreduksi jika terdapat titik yang terletak di atas garis yang menghubungkan dua spesi yang berdekatan (membentuk kurva cembung), atau dapat dikatakan jika potensial reduksi dari  $X(N)$  ke  $X(N-1)$  lebih besar dari potensial oksidasi dari  $X(N)$  ke  $X(N+1)$ .



Gambar 5. Kecenderungan zat mengalami reaksi disproporsionasi

5. Berlawanan dengan zat yang memiliki kecenderungan mengalami reaksi disproporsionasi, dua zat akan cenderung mengalami reaksi komproporsionasi menjadi zat peralihan yang terletak di bawah garis yang menghubungkan dua zat yang berdekatan (membentuk kurva cekung). Komproporsionasi adalah reaksi redoks yang hasil reduksi dan oksidasinya sama.



Gambar 6. Kecenderungan zat mengalami reaksi komproporsionasi



***REFLECT***

Presentasikan hasil pengerjaan kalian dengan santun untuk memperoleh tanggapan/konfirmasi dari teman kalian dan dosen!

## DAFTAR PUSTAKA

1. Fauzi S., M.M. & Fadiawati, N., (2018), Buku Ajar Prinsip-prinsip Kimia Anorganik. Pengantar Kimia Unsur Non Logam, Yogyakarta: Graha Ilmu.
2. King, R.B. 2005. Encyclopedia of Inorganic Chemistry 2nd Edition. New York. Wiley Library.
3. Effendy. 2010. Logam, Aloi, Semikonduktor, dan Superkonduktor. Malang. Banyumedia Publishing.
4. Effendy. 2008. Ikatan Ionik dan Cacat-cacat pada Kristal Ionik. Malang. Banyumedia Publishing.
5. West, A. R. 1984. Solid State Chemistry and Its Applications, New York. John Wiley & Sons.
6. Huheey, J. E., Keiter, E.A., & Keiter, R.L. 1993. Inorganic Chemistry. Principle of Structure and Reactivity 4th Edition. New York. Harper Collins, Inc.
7. Housecroft, C.E. & Sharpe, A. G. 2012. Inorganic Chemistry Third Edition. London. Prentice-Hall.
8. Miessler, G.L. & Tarr, D.A. 1991. Inorganic Chemistry. London. Prentice-Hall.





LKM ini ditulis dengan maksud untuk membimbing mahasiswa dalam mempelajari mata kuliah Senyawa Anorganik. Hal ini dilakukan mengingat kegiatan tatap muka selama pandemi Covid-19 dilakukan secara daring dan buku-buku relevan yang beredar terkait mata kuliah tersebut tidak membahas secara rinci dan komprehensif.

LKM ini disusun secara konstruktif dan komprehensif dengan menyajikan materi meliputi: (1) Model kemas geometri padatan logam; (2) Efisiensi kemasan; (3) Aloi; (4) Model kemas geometri padatan ionik; (5) Jari-jari ionik dan perhitungan rasio jarak; (6) Cacat-cacat pada kristal; (7) Asam-basa dalam sistem pelarut; (8) Asam-basa keras dan lunak; dan (9) Reaksi reduksi dan oksidasi. Dengan mengerjakan LKM ini secara terstruktur diharapkan mahasiswa akan memiliki suatu pengetahuan yang komprehensif terkait senyawa anorganik.



**M. Mahfudz Fauzi S., S.Pd., M.Sc.** lahir di Ngesti Karya (Lampung Timur), 2 Juli 1990. Pendidikan formal diawali di SDN 08 Metro Timur (2002), SMPN 4 Metro (2005), SMAN 1 Metro (2008), S1 Pendidikan Kimia Universitas Lampung (2012), dan S2 Ilmu Kimia UGM bidang Kimia Anorganik (2014). Penulis pernah mengabdikan diri sebagai dosen di Program Studi Pendidikan Kimia Universitas Lampung (2014 – 2020). Sejak Januari 2021 penulis diangkat menjadi CPNS Dosen Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Raden Fatah Palembang.

Buku yang pernah ditulis antara lain: (1) Senyawa Kompleks; Perspektif tentang Kimia Koordinasi (2015, Innosains); (2) 4. Merancang Pembelajaran Kimia di Sekolah; Berbasis Hasil Riset Pengembangan (2016, Media Akademi); (3) Perancangan Pembelajaran Kimia (2018, Graha Ilmu); (4) Prinsip-prinsip Kimia Anorganik; Pengantar Kimia Unsur Non Logam (2018, Graha Ilmu); (5) Senyawa Kompleks; Konsep-konsep Fundamental dalam Kimia Koordinasi (2019, Graha Ilmu); (6) Biogeokimia (2020, Graha Ilmu); dan (7) Perspektif Baru Padatan Anorganik: Integrasi Sains dan Agama (2021, Noerfikri Ofset)

