



# **Kimia Zat Padat**

**Samik  
Harun Nasrudin  
Pirim Setiarso**

**UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA**

# **Kimia Zat Padat**

**Penulis**  
**Samik**  
**Harun Nasrudin**  
**Pirim Setiarso**

**Penyunting**  
**Nama Penyunting 1**  
**Nama Penyunting 2**

**Universitas Negeri Surabaya**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis haturkan kepada Tuhan yang Maha Mengetahui (*Al `Aliim*) dan Maha Berkuasa (*Al Muqtadir*) yang atas berkat dan karuniaNya penulis diberi pengetahuan dan kemampuan untuk menyelesaikan buku Kimia Zat Padat ini.

Penulisan buku ajar ini menggunakan berbagai sumber referensi seperti kamus dan buku kimia (khususnya kimia zat padat, kimia fisik, dan kimia anorganik) serta artikel ilmiah. Buku ini disusun mengacu pada Rencana Pembelajaran Semester (RPS) mata kuliah Kimia Zat Padat di Jurusan kimia UNESA.

Penyusunan buku ini dimulai dari hal-hal yang bersifat filosofis tentang ilmu kimia zat padat (bab I), dilanjutkan dengan pembahasan yang lebih rinci pada bab-bab berikutnya, seperti pembahasan tentang struktur kristal (bab II), jenis kristal (bab III), teknik karakterisasi zat padat (bab IV), sifat padatan (bab V), cacat kristal (bab VI), sintesis dan pemanfaatan zat padat (bab VII).

Penulis berharap, dengan adanya buku ini mahasiswa dapat lebih mudah dalam memahami dan membahas teori kimia zat padat, aplikasi dan hasil karakterisasi zat padat sehingga capaian pembelajaran mata kuliah ini terpenuhi. Penulis juga berharap agar karya ini bermanfaat dalam membantu meningkatkan kualitas pendidikan di Indonesia khususnya jurusan kimia Unesa.

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Prof. Dr. Warsono, M.S., selaku Rektor Unesa dan Dr. Yuni Sri Rahayu, M.Si., selaku Wakil Rektor Bidang Akademik Unesa, yang telah memfasilitasi penyusunan buku ajar ini melalui Penelitian

Kebijakan Jurusan tahun 2017 dan workshop penulisan buku ajar mahasiswa sehingga buku ini dapat diwujudkan. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada Dr. Nuniek Herdyastuti, M.Si., yang telah meluangkan waktu untuk mereview naskah ini, sehingga banyak masukan yang diberikan demi kesempurnaan buku ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak demi lebih sempurnanya buku ajar ini.

Surabaya, November 2017

Penyusun

## **RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER (RPS)**

Fakultas : MIPA  
Program Studi : Kimia  
Nama Mata : Kimia Zat Padat / 2 SKS  
Kuliah/Bobot

Kode Mata Kuliah : 3074112073  
Prasyarat : Mahasiswa telah menempuh mata kuliah Metode Spektroskopi dan Kromatografi

Nama Dosen : Drs. Harun Nasrudin, M.S.  
Pengampu : Samik, S.Si, M.Si.

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah :

1. Mampu menerapkan pemikiran logis, kritis, sistematis dan inovatif dalam konteks pengembangan atau implementasi ilmu pengetahuan dan teknologi yang berkaitan dengan kimia zat padat.
2. Mampu menghasilkan simpulan yang tepat berdasarkan hasil identifikasi, analisis, dan sintesis bahan kimia yang telah dilakukan.
3. Menguasai konsep teoretis tentang struktur kristal, jenis kristal, teknik analisis padatan, sifat padatan, cacat kristal, sintesis, dan pemanfaatan material berwujud padatan.
4. Memiliki sikap bertanggung jawab dengan menerapkan metode preparatif dan karakteristik padatan anorganik, sifat dan struktur zat padat, serta larutan padatan.

- Deskripsi : Kajian tentang struktur kristal, jenis kristal, teknik analisis padatan, sifat padatan, cacat kristal, sintesis, dan pemanfaatan material berwujud padatan. Kajian ini dilakukan melalui ceramah, diskusi, revidi jurnal dan presentasi.
- Referensi : Askeland, D.R., & Fulay, P.P. (2009). *Essentials of Materials Science and Engineering*. Second Edition. Canada: Cengage Learning
- Bahl, A., Bahl, B.S., & Tuli, G.D. (2002). *Essential of Physical Chemistry*. New Delhi: S.Chand and Company Ltd.
- Levine, Ira. (2009). *Physical Chemistry*. Sixth Edition. New York: McGraw-Hill
- Ropp, R.C., & Warren. (2003). *Solid State Chemistry*. Amsterdam: Elsevier Science
- Rodgers, G.E. (2012). *Descriptive Inorganic, Coordination, and Solid-State Chemistry*. Third Edition. Canada: Brooks/Cole, Cengage Learning
- Smart, L.E., & Moore, E.A. (2005). *Solid State Chemistry An Introduction*. Third Edition. Boca Raton London: Taylor & Francis Group.
- West, A.R. (1984). *Solid State Chemistry and Its Applications*. New Delhi: John Wiley & Sons Ltd.

## Kegiatan Pembelajaran

Pert ke-	Kemampuan Akhir*	Indikator	Bahan Kajian**	Pendekatan/ Model/ Metode/ Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar/ Media	Waktu (menit)	Pengalaman Belajar
1	1. Menguasai target capaian perkuliahan Kimia zat padat. 2. Mendefinisikan ilmu kimia zat padat secara komprehensif (mendalam dan meluas).	1. Menyebutkan capaian perkuliahan kimia zat padat 2. Mendefinisikan ilmu kimia zat padat yang memuat 3 pertanyaan keilmuan (ontologi, epistemologi, dan aksiologi).	Pengantar dan kontrak perkuliahan Kimia zat padat Tiga pertanyaan keilmuan.	Ceramah dan pengajuan pertanyaan	RPS, Buku pedoman, Buku referensi	2x50 menit	Respon mahasiswa terhadap materi ceramah dan pertanyaan dosen. Diskusi
2	Menjelaskan keadaan materi dan jenis padatan	1. Menjelaskan keadaan materi 2. Menggolongkan zat padat	keadaan materi dan jenis padatan	Ceramah dan pengajuan pertanyaan	PPT, Laptop, LCD, buku sumber	2x50 menit	Mendiskusikan keadaan materi dan jenis padatan
3	Menjelaskan struktur kristal (unit cell, sistem kristal, dan simetri)	1. Menjelaskan unit cell 2. Menjelaskan sistem kristal 3. Menjelaskan simetri dan penentuan unit cell	unit cell, sistem kristal, dan simetri	Ceramah, Diskusi	PPT, Laptop, LCD, buku sumber	2x50 menit	Mendiskusikan unit cell, sistem kristal, dan simetri

Pert ke-	Kemampuan Akhir*	Indikator	Bahan Kajian**	Pendekatan/ Model/ Metode/ Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar/ Media	Waktu (menit)	Pengalaman Belajar
4	Menjelaskan struktur kristal (lattice dan indeks miller)	1. Menjelaskan lattice 2. Menjelaskan indeks miller	lattice dan indeks miller	Ceramah, Diskusi	PPT, Laptop, LCD, buku sumber	2x50 menit	Mendiskusikan lattice dan indeks miller
5	Menjelaskan beberapa jenis kristal	1. Menjelaskan kristal ionik 2. Menjelaskan kristal kovalen 3. Menjelaskan kristal logam 4. Menjelaskan kristal molekular	jenis kristal: ionik, kovalen, logam dan molekular	Ceramah, Diskusi	PPT, Laptop, LCD, buku sumber	2x50 menit	Mendiskusikan jenis kristal: ionik, kovalen, logam dan molekular
6	Menjelaskan proses karakterisasi zat padat dengan teknik difraksi	Menjelaskan proses karakterisasi zat padat dengan teknik difraksi	Karakterisasi zat padat dengan teknik difraksi	Presentasi, Diskusi	PPT, Laptop, LCD, buku sumber	2x50 menit	Mendiskusikan karakterisasi zat padat dengan teknik difraksi
7	Menjelaskan proses karakterisasi zat padat dengan teknik termal analisis	Menjelaskan proses karakterisasi zat padat dengan teknik termal analisis	Karakterisasi zat padat dengan teknik termal analisis	Presentasi, Diskusi	PPT, Laptop, LCD, buku sumber	2x50 menit	Mendiskusikan karakterisasi zat padat dengan teknik termal analisis



Pert ke-	Kemampuan Akhir*	Indikator	Bahan Kajian**	Pendekatan/ Model/ Metode/ Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar/ Media	Waktu (menit)	Pengalaman Belajar
8	UTS					2x50 menit	
9	Menjelaskan sifat listrik zat padat	Menjelaskan sifat listrik zat padat	Sifat listrik zat padat	Presentasi, Diskusi	PPT, Laptop, LCD, buku sumber	2x50 menit	Mendiskusikan sifat listrik zat padat
10	Menjelaskan sifat magnetik zat padat	Menjelaskan sifat magnetik zat padat	Sifat magnetik zat padat	Presentasi, Diskusi	PPT, Laptop, LCD, buku sumber	2x50 menit	Mendiskusikan sifat magnetik zat padat
11	Menjelaskan cacat kristal dan senyawa non stoikiometri	Menjelaskan cacat kristal Menjelaskan senyawa non stoikiometri	cacat kristal dan senyawa non stoikiometri	Presentasi, Diskusi	PPT, Laptop, LCD, buku sumber	2x50 menit	Mendiskusikan defek dan senyawa non stoikiometri
12	Menjelaskan cara-cara preparatif zat padat	Menjelaskan cara preparatif zat padat berdasarkan proses fisika dan kimia	Cara-cara preparatif zat padat	Presentasi, Diskusi	PPT, Laptop, LCD, buku sumber	2x50 menit	Mendiskusikan cara-cara preparatif zat padat

Pert ke-	Kemampuan Akhir*	Indikator	Bahan Kajian**	Pendekatan/ Model/ Metode/ Strategi Pembelajaran	Sumber Belajar/ Media	Waktu (menit)	Pengalaman Belajar
13	Menjelaskan sintesis dan pemanfaatan logam dan paduan logam	Menjelaskan logam Menjelaskan paduan logam	sintesis dan pemanfaatan logam dan paduan logam	Reviu jurnal, Presentasi, Diskusi	PPT, Laptop, LCD, jurnal	2x50 menit	Mendiskusikan sintesis dan pemanfaatan logam dan paduan logam
14	Menjelaskan sintesis dan pemanfaatan zeolit, bentonit, dan lempung (kuarsa)	1. Menjelaskan zeolit 2. Menjelaskan bentonit 3. Menjelaskan kuarsa	sintesis dan pemanfaatan zeolit, bentonit, dan lempung (kuarsa)	Reviu jurnal, Presentasi, Diskusi	PPT, Laptop, LCD, jurnal	1x2x50 menit	Mendiskusikan sintesis dan pemanfaatan zeolit, bentonit, dan lempung (kuarsa)
15	Menjelaskan sintesis dan pemanfaatan zat padat organik	Menjelaskan zat padat organik	sintesis dan pemanfaatan zat padat organik	Reviu jurnal, Presentasi, Diskusi	PPT, Laptop, LCD, jurnal	1x2x50 menit	Mendiskusikan sintesis dan pemanfaatan zat padat organik
16	UAS					2x50 menit	

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER (RPS) .....	iv
DAFTAR ISI .....	x
BAB I. PENGENALAN ILMU KIMIA ZAT PADAT DAN MATERIAL .....	1
A. Pendahuluan .....	1
1. Deskripsi Singkat .....	1
2. Tujuan Pembelajaran .....	1
B. Materi .....	1
1. Ilmu kimia zat padat .....	1
2. Sejarah dan perkembangan ilmu kimia zat padat .....	4
3. Kadaan materi .....	5
4. Jenis Padatan .....	9
5. Latihan .....	11
6. Rangkuman .....	11
C. Evaluasi .....	11
D. Daftar Bacaan .....	12
BAB II. STRUKTUR KRISTAL .....	13
A. Pendahuluan .....	13
1. Deskripsi Singkat .....	13
2. Tujuan Pembelajaran .....	13
B. Materi .....	13
1. Ciri khas padatan kristal .....	13
2. Struktur kristal .....	18
3. Latihan .....	28
4. Rangkuman .....	29
C. Evaluasi .....	30
D. Daftar Bacaan .....	31
BAB III. JENIS KRISTAL .....	33
A. Pendahuluan .....	33
1. Deskripsi Singkat .....	33
2. Tujuan Pembelajaran .....	33
B. Materi .....	34
1. Gaya antar atom / molekul dan energi ikat .....	34
2. Jenis ikatan .....	38
3. Kristal Ionik .....	38
4. Kristal Kovalen .....	45

5. Kristal Logam .....	47
6. Kristal Molekular .....	51
7. Latihan .....	56
8. Rangkuman .....	57
C. Evaluasi .....	57
D. Daftar Bacaan .....	58
<b>BAB IV. TEKNIK KARAKTERISASI ZAT PADAT .....</b>	<b>59</b>
A. Pendahuluan .....	59
1. Deskripsi Singkat .....	59
2. Tujuan Pembelajaran .....	59
B. Materi .....	59
1. Teknik Difraksi .....	61
2. Teknik Mikroskopi .....	65
3. Teknik Spektroskopi .....	72
4. Analisa Thermal .....	84
5. Latihan .....	91
6. Rangkuman .....	92
C. Evaluasi .....	92
D. Daftar Bacaan .....	94
<b>BAB V. SIFAT PADATAN .....</b>	<b>97</b>
A. Pendahuluan .....	97
1. Deskripsi Singkat .....	97
2. Tujuan Pembelajaran .....	97
B. Materi .....	98
1. Sifat listrik .....	98
2. Sifat Magnetik .....	104
3. Sifat Optik .....	107
4. Latihan .....	109
5. Rangkuman .....	109
C. Evaluasi .....	109
D. Daftar Bacaan .....	110
<b>BAB VI. CACAT KRISTAL, SENYAWA NON STOIKIOMETRIK, DAN LARUTAN PADATAN .....</b>	<b>111</b>
A. Pendahuluan .....	111
1. Deskripsi Singkat .....	111
2. Tujuan Pembelajaran .....	111
B. Materi .....	111
1. Cacat Kristal .....	112
2. Senyawa Nonstoikiometrik .....	129

3. Larutan Padatan .....	134
4. Latihan .....	138
5. Rangkuman .....	139
C. Evaluasi .....	139
D. Daftar Bacaan .....	140
KUNCI JAWABAN .....	141
GLOSARIUM .....	151
INDEKS .....	152
BIODATA PENULIS .....	154



**BAB-  
I****PENGENALAN ILMU KIMIA ZAT  
PADAT DAN MATERIAL****A. PENDAHULUAN****1. Deskripsi Singkat**

Pada bab pertama buku ini, kami akan mengenalkan lebih dulu tentang ilmu kimia zat padat secara komprehensif yang meliputi ontologi, epistemologi, dan aksiologi. Pembahasan secara mendalam dan meluas tentang tiga pertanyaan filosofis keilmuaan tersebut sangat penting dibahas lebih dulu untuk memberikan gambaran secara umum dan benar tentang ilmu kimia zat padat sehingga akan mempermudah dalam mempelajari hal-hal lain yang berkaitan dengan ilmu tersebut. Pembahasan tersebut juga dilengkapi dengan sejarah perkembangan ilmu material, berbagai macam keadaan materi dan jenis padatan.

**2. Tujuan Pembelajaran**

Setelah mempelajari bab ini, diharapkan pembaca dapat memahami definisi ilmu kimia zat padat, mengetahui sejarah perkembangan ilmu material, berbagai macam fasa material dan jenis padatan.

**B. MATERI****1. Ilmu Kimia Zat Padat**

Kimia zat padat juga dikenal dengan istilah kimia material. Buku ini menggunakan istilah kimia zat padat karena istilah material masih terlalu umum, material bisa berwujud gas, cair dan padat. Sampai buku ini ditulis, penulis belum menemukan



satupun definisi yang komprehensif tentang ilmu kimia zat padat. Penulis sudah mencari di berbagai kamus dan buku kimia (khususnya kimia zat padat dan anorganik) serta artikel ilmiah. Umumnya definisi yang ada masih terbatas pada segi ontologi saja. Definisi ilmu kimia zat padat pada buku ini merupakan hasil kerangka berfikir penulis setelah mempelajari berbagai referensi dan pengalaman penulis sebagai peneliti dan dosen mata kuliah kimia zat padat. Definisi yang komprehensif tentang suatu ilmu harus meliputi ontologi, epistemologi, dan aksiologi.

Secara ontologi, ilmu kimia zat padat adalah salah satu cabang dari ilmu kimia yang mengkaji struktur, jenis, teknik karakterisasi, sifat, reaksi, energi, sintesis, dan pemanfaatan material berwujud padat. Jenis padatan yang sering dibahas adalah padatan kristal. Buku ini dibuat khususnya sebagai bahan ajar mata kuliah kimia zat padat sehingga hanya difokuskan pada pembahasan yang berhubungan dengan rencana pembelajaran semester (RPS) mata kuliah kimia zat padat jurusan kimia UNESA.

Pembahasan dari bagian-bagian ilmu zat padat dibagi dalam berbagai bab untuk mempermudah pembaca dalam mendalami setiap pokok bahasan, seperti struktur kristal (bab II), jenis kristal (bab III), teknik karakterisasi zat padat (bab IV), sifat padatan (bab V), dan cacat kristal (bab VI). Sintesis dan pemanfaatan zat padat dipelajari melalui *review* jurnal.

Sebagaimana ilmu kimia lainnya, ilmu kimia zat padat secara epistemologi dikembangkan dengan metode ilmiah. Metode ilmiah adalah suatu prosedur yang sistematis yang berintikan proses logiko-hipotetiko-verifikatif. Proses tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

a. Perumusan masalah.

Masalah adalah kesenjangan antara harapan (*das Sollen*) dan fakta (*das Sein*). Contoh rumusan masalah: Bagaimana pengaruh penambahan  $K_3PO_4$  pada berbagai konsentrasi terhadap karakteristik pori NaZSM-5 mesopori? Masalah tersebut muncul dalam rangka membuat katalis yang sesuai harapan, yaitu katalis padatan dengan aktivitas yang tinggi dengan cara mengimpregnasikan katalis  $K_3PO_4$  pada NaZSM-5 mesopori. Rumusan masalah di atas adalah salah satu rumusan masalah penelitian untuk mengetahui karakterisasi pori katalis  $K_3PO_4$ /NaZSM-5 mesopori sebelum diaplikasikan untuk mengetahui aktivitas katalitiknya (Samik dkk., 2016).

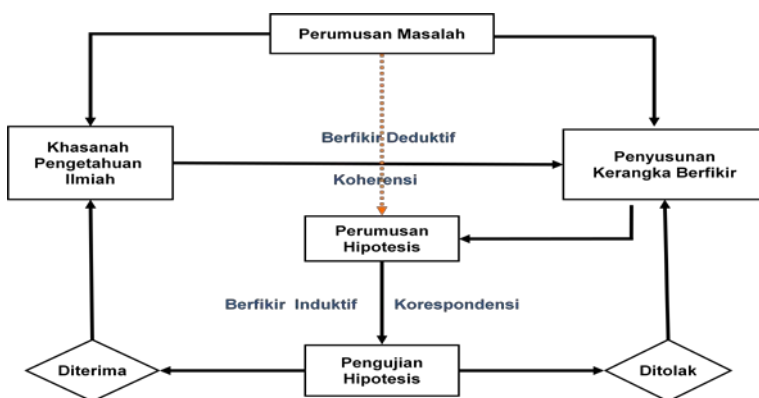




- b. **Penyusunan kerangka berfikir**  
Kerangka berfikir merupakan gabungan simpulan-simpulan hasil berfikir deduktif seseorang dari berbagai khasanah ilmu seperti buku, artikel ilmiah, seminar/konfrensi ilmiah, proses pembelajaran, diskusi dengan ahli atau yang lain. Kerangka berfikir ini disusun secara rasional menggunakan teori kebenaran koherensi berdasarkan premis-premis ilmiah yang telah teruji kebenarannya dengan memperhatikan faktor-faktor empiris yang relevan dengan permasalahan.
- c. **Perumusan hipotesis**  
Hipotesis adalah pernyataan yang kebenarannya masih lemah dikarenakan pernyataan tersebut belum teruji secara empiris. Pernyataan tersebut merupakan jawaban sementara atau dugaan jawaban pertanyaan yang diajukan yang materinya merupakan kesimpulan dari kerangka berfikir yang dikembangkan.
- d. **Pengujian hipotesis/eksperimen**  
Eksperimen merupakan percobaan yang dilakukan secara sistematis dan terencana dalam rangka mengumpulkan fakta-fakta yang relevan dengan hipotesis yang diajukan untuk memperlihatkan apakah terdapat fakta-fakta yang mendukung hipotesis tersebut atau tidak. Pengujian hipotesis menggunakan cara berfikir induktif yang berdasarkan teori kebenaran korespondensi yaitu suatu pernyataan benar jika pernyataan tersebut sesuai dengan faktanya (obyek yang dituju).
- e. **Penarikan kesimpulan**  
Penarikan kesimpulan merupakan penilaian apakah sebuah hipotesis yang diajukan itu ditolak atau diterima. Jika dalam proses pengujian terdapat fakta yang cukup yang mendukung hipotesis maka hipotesis itu diterima. Sebaliknya, jika dalam proses pengujian tidak terdapat fakta yang cukup yang mendukung hipotesis maka hipotesis itu ditolak. Hipotesis yang diterima menambah khasanah pengetahuan ilmiah karena telah memenuhi persyaratan keilmuan yakni mempunyai kerangka penjelasan yang konsisten dengan pengetahuan ilmiah sebelumnya serta telah teruji kebenarannya. Pengertian kebenaran di sini harus difafsirkan secara pragmatis artinya bahwa sampai saat ini belum terdapat fakta yang menyatakan sebaliknya. Jika terdapat fakta yang lebih kuat dan lebih valid dari fakta sebelumnya,



maka teori yang menjelaskan fakta sebelumnya bisa digantikan dengan teori baru yang menjelaskan fakta terbaru.



Gambar 1.1 Diagram metode ilmiah

Keseluruhan langkah metode ilmiah harus ditempuh agar suatu pengetahuan dapat disebut ilmiah. Langkah-langkah ini secara konseptual tersusun dalam urutan yang teratur, dimana langkah yang satu merupakan landasan bagi langkah berikutnya. Diagram metode ilmiah dapat dilihat pada gambar 1.1.

Setiap ilmuwan yang meneliti di bidang padatan menggunakan metode ilmiah dalam rangka mensintesis dan memanfaatkan padatan untuk kemaslahatan manusia. Secara lebih rinci aksiologi ilmu kimia zat padat akan dijelaskan pada bab V ketika membahas sifat padatan.

## 2. Sejarah dan perkembangan ilmu kimia zat padat

Sejak adanya manusia, manusia telah menggunakan berbagai material untuk memenuhi berbagai kebutuhan mereka. Mereka telah menggunakan bahan yang didapatkan secara langsung di alam seperti batu, kayu, lempung, kulit binatang, dan lain-lain. Faktanya, penamaan zaman peradaban awal dinamakan berdasarkan perkembangan material yang digunakan (seperti zaman batu, zaman tembaga, zaman perunggu, dan zaman besi). Pada zaman batu, batu sudah digunakan sebagai alat penunjang kehidupan manusia untuk mengolah makanan. Bahkan pada zaman modern, masih ada yang menggunakan batu secara langsung untuk mengolah makanan, misalkan cobek.



Pengetahuan tentang pemanfaatan batu seperti untuk cobek tidak bisa disebut sebagai bagian ilmu kimia zat padat karena pengetahuan tersebut tidak melalui metode ilmiah. Ilmu kimia zat padat baru dimulai sejak dimulainya penggunaan metode ilmiah dalam mengembangkan ilmu. Perkembangan ilmu dan teknologi memberikan kemampuan untuk memproduksi dan memanipulasi padatan sehingga dihasilkan berbagai padatan yang dibutuhkan seperti dalam bidang energi, transportasi, makanan, rumah, baju, alat elektronik, perlengkapan militer dan lain-lain.

Padatan yang dihasilkan digolongkan dalam dua golongan, padatan kristalin dan amorf. Studi padatan kristalin mempunyai sejarah yang jauh lebih lama karena bahan kristal lebih mudah dipelajari daripada bahan amorf. Perkembangan paling cepat dalam studi bahan kristalin adalah saat ditemukannya analisis kristalografi dengan difraksi sinar-X (XRD) pada awal abad 20 oleh William Henry Bragg. W.H. Bragg (sang ayah) dan W.L. Bragg (sang anak) mendapatkan hadiah Nobel fisika bersama di tahun 1915 karena sumbangannya pada pengembangan metoda analisis kristalografi sinar-X. Awalnya teknik ini hanya dapat digunakan untuk struktur yang sangat sederhana seperti NaCl dan intan seperti yang dilakukan oleh William Laurence Bragg. Namun dalam 80 tahun terakhir analisis kristalografi telah berkembang dengan cepat sehingga protein dengan Mr yang sangat besar kini dapat dipelajari dengan teknik XRD.

Selain dengan teknik difraksi, analisis padatan dapat dilakukan dengan teknik mikroskopi, spektroskopi, dan termal analisis yang akan dijelaskan pada bab IV. Berbagai analisis tersebut dapat digunakan untuk mengetahui sifat padatan yang disintesis. Berbagai temuan penting padatan hasil sintesis seperti katalis berbahan dasar zeolit dan platina (ditemukan tahun 1950an) untuk mempercepat produksi minyak, silikon dengan kemurnian tinggi (1960an) sebagai komponen inti pada peralatan mikroelektronik, superkonduktor oksida keramik temperatur tinggi (1986), dan masih banyak temuan penting lainnya yang tidak mungkin disebutkan semuanya dalam buku ini.

### **3. Keadaan Materi**

Materi adalah sesuatu yang mempunyai massa dan menempati ruang. Materi berdasarkan keadaannya dapat



dikelompokkan menjadi gas, cairan, padatan, dan plasma. Plasma adalah gas yang terionisasi, yang terjadi pada suhu tinggi. Terbentuk dari elektron bebas dan ion-ion. Contoh plasma adalah bintang, yang merupakan bola besar gas dengan suhu tinggi. Materi jenis plasma merupakan materi yang terdiri dari ion-ion bermuatan dan bergerak bebas dalam mencapai kestabilan bentuk materinya. Materi ini dapat ditemukan pada emisi gas bintang di langit yang menampakkan cahaya terang.

Gas dan cairan dapat mengalir dan berbentuk sesuai wadahnya, sedangkan padatan memiliki volume dan bentuk yang tertentu. Hal ini dikarenakan padatan bersifat kaku dan tidak memiliki kemampuan untuk mengalir. Pada gas dan cairan, atom, ion, dan molekul bergerak terus-menerus. Mereka bergerak secara acak baik secara translasi (berpindah), rotasi (berputar) maupun vibrasi (bergetar). Ini menunjukkan kemampuan gas dan cairan untuk mengalir. Partikel-partikel pada gas mempunyai jarak lebih renggang dan bergerak lebih bebas dibandingkan dengan cairan.

Pada padatan, atom, ion, dan molekul bergabung menjadi satu dengan ikatan ionik yang relatif kuat, ikatan kovalen, atau dengan ikatan antarmolekul van der Waals'. Mereka tidak berpindah meskipun mereka bergetar sampai batas tertentu dalam menempati posisinya. Hal ini menjelaskan mengapa padatan bersifat kaku dan memiliki bentuk yang tertentu. Adapun perbedaan gas, cair dan padat dapat dilihat pada tabel 1.1

Tabel 1.1 Perbedaan Sifat Zat Gas, Cair dan Padat

Gas ( <i>gas</i> , g)	Cair ( <i>liquid</i> , l)	Padat ( <i>solid</i> , s)
Tidak memiliki volume dan bentuk tertentu	Memiliki volume tertentu, tetapi bentuknya bergantung pada wadah yang digunakan.	Memiliki volume dan bentuk yang tertentu
Jarak antar partikel gas sangat renggang	Jarak antar partikel zat cair lebih renggang dari padatan, tapi lebih rapat dari gas	Jarak antar partikel zat padat sangat rapat
Partikel-partikel gas dapat bergerak bebas	Partikel-partikel zat cair dapat bergerak bebas namun terbatas	Partikel-partikel zat padat tidak dapat bergerak bebas



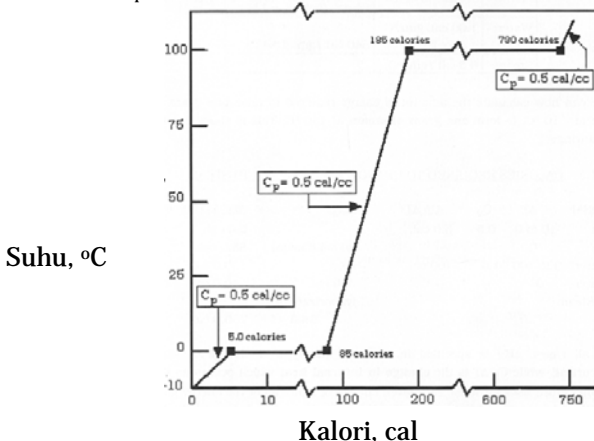
Jika ada pertanyaan, apa keadaan air ( $H_2O$ )? maka kemungkinan banyak yang menjawab cair. Sebenarnya jawaban tersebut benar jika pertanyaanya apa keadaan air pada suhu kamar. Jawaban yang benar atas pertanyaan apa keadaan air adalah bisa gas, cair maupun padat tergantung pada suhu air tersebut. Air bisa berubah keadaannya dari gas menjadi cair lalu padat atau kebalikannya tergantung pada suhu air tersebut. Perubahan dapat balik diantara tiga keadaan materi disebut perubahan keadaan (*changes of state*) atau perubahan fase.

Ada dua faktor yang mempengaruhi perubahan fase yaitu kapasitas panas (*heat capacity*, dilambangkan  $C_p$  atau  $C_v$ ) dan perubahan panas (*heat of transformation*, dilambangkan  $H$ ).  $C_p$  adalah kapasitas panas pada temperatur konstan, sedangkan  $C_v$  adalah kapasitas panas pada volume konstan. Ada dua jenis panas (*heat*) yang terlibat dalam perubahan fisika dari suatu material, yang satu terlibat dalam perubahan temperatur dalam suatu material, dan yang lain ketika perubahan keadaan. Hubungan antara  $H$  dan  $C_p$  adalah sebagai berikut:

$$\{ H = C_p \cdot T \}_{s,l,g} \quad \text{atau} \quad \Delta H_{s,l,g} = C_{p(s,l,g)} \Delta T_{s,l,g} \quad \dots (1.1)$$

Temperatur dalam (*internal*) suatu material tidak berubah ketika terjadi perubahan keadaan. Hal ini terjadi karena energi dalam tidak berubah pada titik tersebut. Oleh karena itu perubahan keadaan dari padat ke cair mengikuti rumus berikut:

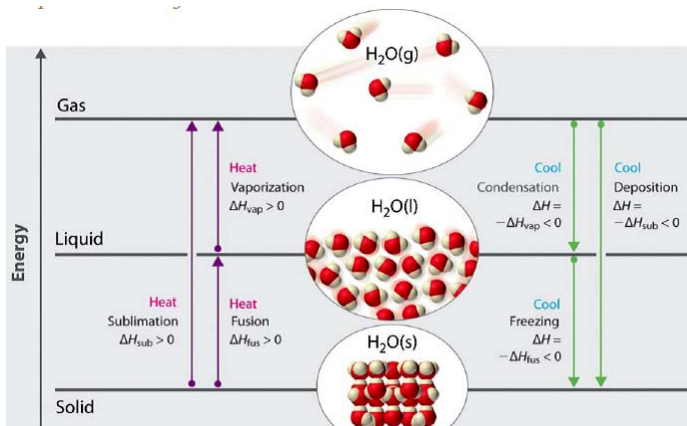
$$\{ H_s - H_l \} = C_p \cdot (T_s - T_l) \quad \text{atau} \quad \Delta H = C_p \Delta T \quad \dots (1.2)$$



**Gambar 1.2 Penambahan kalori pada sistem yang mengandung 1 cc air (Ropp & Warren, 2003)**



Pengaruh penambahan kalori (panas) pada sistem yang mengandung 1 cc air dapat dilihat pada gambar 1.2. Perubahan keadaan air dan proses perubahan saat terjadi perubahan temperatur dapat dilihat pada gambar 1.3



Gambar 1.3 Perubahan keadaan air dan proses perubahan saat terjadi perubahan temperatur (Averill & Eldredge, 2011)

Tabel 1.2. Titik leleh dan didih serta Entalpi peleburan dan penguapan dari berbagai zat.

Zat	Titik leleh (°C)	$\Delta H_{\text{fus}}$ (kJ/mol)	Titik didih (°C)	$\Delta H_{\text{vap}}$ (kJ/mol)
N <sub>2</sub>	-210.0	0.71	-195.8	5.6
HCl	-114.2	2.00	-85.1	16.2
Br <sub>2</sub>	-7.2	10.6	58.8	30.0
CCl <sub>4</sub>	-22.6	2.56	76.8	29.8
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	-114.1	4.93	78.3	38.6
H <sub>2</sub> O	0	6.01	100	40.7
Na	97.8	2.6	883	97.4
NaF	996	33.4	1704	176.1

(Averill & Eldredge, 2011)

Selain air, masih banyak contoh zat lainnya. Keadaan materi berikut pada suhu kamar berbentuk gas seperti oksigen, hidrogen, helium, dan karbondioksida. Minyak goreng, etanol, dan bensin merupakan contoh wujud cair. Contoh zat padat seperti beberapa jenis logam (kecuali Hg), seperti besi, emas, dan seng. Semua zat, kecuali helium, jika didinginkan sampai temperatur



tertentu akan membentuk fase padat. Tabel 1.2 menunjukkan titik leleh dan titik beku serta Entalpi peleburan dan penguapan dari berbagai zat.

#### 4. Jenis Padatan

Berdasarkan sifat keteraturan partikel penyusun material padatan, zat padat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu:

##### a. Padatan Amorf (Padatan nonkristal)

Padatan amorf memiliki atom, molekul, atau ion yang tersusun secara acak (tidak teratur) dan tidak memiliki kisi kristal. Contohnya adalah karet, plastik, dan kaca. Pada struktur tidak teratur mereka, padatan amorf berwujud menyerupai cairan. Padatan amorf dapat dianggap sebagai cairan yang membeku terlambat dengan viskositas sangat besar. Kaca dapat dianggap sebagai cairan yang sangat kental. Sifat cairan murni dari kaca kadang terlihat pada kaca jendela yang sangat tua yang menjadi sedikit lebih tebal pada bagian bawahnya karena adanya aliran ke bawah secara bertahap.

Padatan amorf bersifat isotropik karena menunjukkan nilai yang sama pada semua sifat dilihat dari arah manapun. Indeks bias, konduktivitas termal dan elektrik, koefisien suhu pemuaian pada padatan amorf tidak bergantung terhadap arah sepanjang proses pengukuran. Hal ini terjadi karena partikelnya tersusun secara acak sehingga semua arah setara dan sifat tidak bergantung pada arah.

##### b. Padatan Kristal (Padatan Sejati)

Padatan kristal tersusun dari kristal-kristal kecil, di mana setiap kristal memiliki bentuk geometris yang khas. Partikel penyusun (atom, molekul, atau ion) dalam sebuah kristal disusun secara berulang dan teratur, mengulangi pola tiga dimensi yang disebut dengan kisi kristal. Untuk dapat disebut kristal, keteraturan susunan tersebut harus menjangkau jarak yang cukup panjang (*long-range order*) yaitu lebih dari 100 nm. Gula, garam, bahan keramik dan polimer tertentu serta berbagai jenis logam seperti aluminium, besi, cadmium seng emas, tembaga dan lain-lain termasuk padatan kristal.

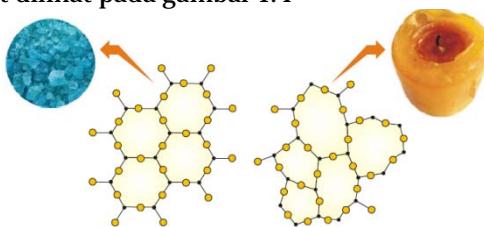
Padatan kristal bersifat anisotropik sehingga besarnya sifat fisik bervariasi sesuai dengan arah. Sebagai contoh, pada kristal perak iodida, koefisien suhu pemuaian bernilai positif dalam satu



arah dan negatif di arah yang lainnya. Sama halnya dengan kecepatan cahaya pada kristal dapat bervariasi sesuai dengan arahnya saat diukur. Dengan demikian, sinar cahaya yang melewati prisma Nicol terpecah menjadi dua komponen, masing-masing memiliki kecepatan yang berbeda (pembiasan ganda).

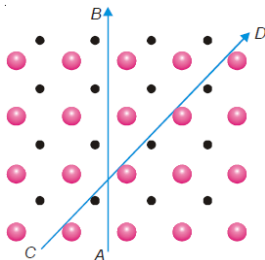
Sifat anisotropik pada kristal terjadi karena partikelnya tersusun secara rapi. Penyusunan partikel mungkin berbeda dalam arah yang berbeda. Hal ini ditunjukkan pada gambar 1.5 dimana susunan dua dimensi sederhana dari dua jenis partikel yang berbeda telah terbukti. Ketika ada sifat yang diukur sepanjang AB dan CD, nilai CD akan berbeda dengan nilai AB. Hal ini dikarenakan hanya ada satu jenis partikel di sepanjang AB sementara terdapat dua jenis partikel pada posisi alternatif sepanjang CD. Hal ini menjelaskan mengapa zat kristal bersifat anisotropik.

Penampakan dua dimensi dari padatan kristal dan padatan amorf dapat dilihat pada gambar 1.4



**Padatan kristal      Padatan amorf**

Gambar 1.4 Penampakan dua dimensi dari padatan kristal dan padatan amorf. Setiap zat memiliki rumus  $A_2O_3$ . A ditunjukkan oleh bulatan hitam dan O ditunjukkan oleh bulatan kuning (Bahl, 2002).



Gambar 1.5 Anisotropi pada kristal dikarenakan susunan partikel yang berbeda dalam arah yang berbeda (Bahl, 2002).





Padatan kristal dan amorf dapat dibedakan dengan bermacam-macam cara, misalnya dari titik leburnya. Padatan kristal mempunyai titik lebur yang pasti, sedangkan padatan amorf titik leburnya terdapat dalam suatu interval temperatur.

## **5. Latihan**

**Petunjuk:** Jawablah soal-soal berikut dengan benar!

1. Tuliskan masing-masing 3 contoh padatan amorf dan padatan kristal disertai alasan mengapa termasuk padatan amorf dan padatan kristal!
2. Apa perbedaan keadaan gas, cairan, dan padatan?
3. Mengapa padatan bersifat kaku dan memiliki bentuk yang tertentu?

## **6. Rangkuman**

Definisi Ilmu kimia zat padat yang komprehensif harus meliputi aspek ontologi, epistemologi, dan aksiologi. Sejarah perkembangan Ilmu kimia zat padat baru dimulai sejak dimulainya penggunaan metode ilmiah dalam mengembangkan ilmu. Materi berdasarkan keadaannya dapat dikelompokkan menjadi gas, cairan, dan padatan. Berdasarkan sifat keteraturan partikel penyusun material padatan, zat padat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu padatan amorf dan padatan kristal.

## **C. EVALUASI**

**Petunjuk:** Jawablah soal-soal berikut dengan benar!

1. Tuliskan definisi ilmu kimia zat padat secara komprehensif!
2. Tuliskan mekanisme epistemologi dalam pengembangan ilmu kimia zat padat!
3. Apa syarat suatu pengetahuan disebut ilmu kimia zat padat?
4. Apa perbedaan padatan amorf dan padatan kristal?
5. Apa keadaan kaca pada suhu kamar (gas, cairan, atau padatan)! Jelaskan!
6. Mengapa titik leleh dari padatan kristal memiliki titik leleh yang tajam dimana akan mencair pada suhu tertentu dengan meningkatnya temperatur?

**D. DAFTAR BACAAN**

- Askeland, D.R., & Fulay, P.P. (2009). *Essentials of Materials Science and Engineering*. Second Edition. Canada: Cengage Learning
- Averill, B., & Eldredge, P. (2011). *General Chemistry: Principles, Patterns, and Applications*. Flatworld Knowledge
- Bahl, A., Bahl, B.S., & Tuli, G.D. (2002). *Essential of Physical Chemistry*. New Delhi: S.Chand and Company Ltd.
- Callister, William D. (1940). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 7th Edition. USA: John Wiley & Sons Inc.
- Ropp, R.C., & Warren. (2003). *Solid State Chemistry*. Amsterdam: Elsevier Science
- Rodgers, G.E. (2012). *Descriptive Inorganic, Coordination, and Solid-State Chemistry, Third Edition*. Canada: Brooks/Cole, Cengage Learning
- Samik, Ediati, R. & Prasetyoko, D. (2016). *Characterization of Mesoporous NaZSM-5 and K3PO4/NaZSM-5 from Adsorption and Desorption Isotherms*. The 1<sup>st</sup> International Joint Conference on Science and Technology (IJCST). Bali Indonesia.
- Saito, T. (2004). *Inorganic chemistry*. Tokyo: Iwanami Publishing Company
- Smart, L.E., & Moore, E.A. (2005). *Solid State Chemistry An Introduction*. Third Edition. Boca Raton London: Taylor & Francis Group.
- Sukardjo. (1989). *Kimia Fisika*. Jakarta: Bina Aksara
- Takeuchi, Y. (2006). *Pengantar Kimia* (diterjemahkan oleh Ismunandar). Tokyo: Iwanami Publishing Company
- West, A.R. (1984). *Solid State Chemistry and Its Applications*. New Delhi: John Wiley & Sons Ltd.



## **BIODATA PENULIS**



Penulis 1: Samik, S.Si, M.Si., merupakan alumni S1 Kimia Unesa dan S2 Kimia ITS dengan bidang keahlian kimia fisika dan kimia katalis. Saat ini berprofesi sebagai Dosen Kimia Unesa yang mengampu mata kuliah kimia dasar, kimia zat padat, kimia elektro, kimia kuantum, IAD dan filsafat IPA. 4 Buku yang telah disusunnya: Panduan Karya Tulis, Panduan Praktikum KF III, Bunga Rampai Pemikiran Intelektual Muslim, Kimia Zat Padat. CP: [samik@unesa.ac.id](mailto:samik@unesa.ac.id)



Penulis 2: Drs. Harun Nasrudin, M.S. adalah dosen Kimia Unesa dengan bidang keahlian Pendidikan Kimia Fisika. Matakuliah yang diampu adalah: kimia umum, termodinamika kimia, kimia Permukaan dan koloid, asesmen, metodologi penelitian, kimia padatan, telaah kurikulum, filsafat IPA, dan Pengembangan instrumen tes. Hingga saat ini telah menulis beberapa buku diktat kuliah seperti Asesmen, Kimia Umum, dan buku Diktat Perkuliahan Ilmu Alamiah Dasar. CP: [harunnasrudin@unesa.ac.id](mailto:harunnasrudin@unesa.ac.id)



Penulis 3: Dr. Pirim Setiarso, M.Si adalah dosen Kimia Unesa dengan bidang keahlian Kimia Analitik. Lusan S1 dan S2 UGM, S3 ITB. Saat ini menjabat sebagai ketua Lab terpadu IPA dan Kasublab Kimia Instrumen Unesa. Matakuliah yang diampu adalah: kimia umum, Kimia Dasar, Kimia Analitik II, III, dan IV. Hingga saat ini telah menulis beberapa buku Matematika Kimia, Kimia Analitik. CP: [pirimsetiarso@unesa.ac.id](mailto:pirimsetiarso@unesa.ac.id)