

# **ENERGI KISI OKSIDA PEROVSKIT**

## **Penerapan Pembelajaran Berbasis Riset**

**AKRAM LA KILO**



**ENERGI KISI OKSIDA PEROVSKIT**  
**Penerapan Pembelajaran Berbasis Riset**

© 2017, Akram La Kilo  
vi + 58 hlm; 14,5 x 21 cm  
ISBN: 978-602-61575-2-2

**Design Sampul**  
Zahir Publishing

**Tata Letak**  
Zahir Publishing

Diterbitkan oleh:



Kadisoka RT.05 RW.02, Purwomartani,  
Kalasan, Sleman, Yogyakarta 55571  
0857 2589 4940 E: [zahirpublishing@gmail.com](mailto:zahirpublishing@gmail.com)

**Hak cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.**

# KATA PENGANTAR

Tiada kata yang paling indah penulis ucapkan melainkan rasa syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan segala kenikmatan dan anugerahnya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ini dengan baik.

Energi kisi dapat ditentukan dengan eksperimen dan simulasi atomistik, masing-masing melalui eksperimen kalorimetri (termokimia) dan perhitungan menggunakan hukum Coulomb. Berdasarkan hasil eksperimen kalorimetri, energi kisi dapat ditentukan melalui siklus Born-Haber, sedangkan berdasarkan penurunan Hukum Coulomb dapat dihitung melalui pendekatan persamaan energi kisi yang berlaku untuk senyawa ionik, diantaranya yakni persamaan Born-Lande, Bron Mayer dan Kapustinskii.

Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penulisan karya ini, penulis menyadari karya ini masih banyak terdapat kekurangan dan kelemahan. Penulis sangat berterima kasih bila ada yang berkenan memberikan kritik dan saran yang bersifat konstruktif untuk perbaikan karya ini.

Penulis

# **ENERGI KISI OKSIDA PEROVSKIT**

## **Penerapan Pembelajaran Berbasis Riset**

# DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<b>BAB II PEROVSKIT .....</b>	<b>7</b>
A. Energi Kisi.....	8
B. Penentuan Energi Kisi Born-Haber.....	9
C. Penentuan Energi Kisi persamaan Yoder-Flora.....	11
<b>BAB III SIMULASI ATOMISTIK .....</b>	<b>13</b>
<b>BAB IV PEMBELAJARAN BERBASIS RISET (PBR) ...</b>	<b>16</b>
A. Bentuk Pembelajaran Berbasis Riset .....	17
B. Beberapa Model Pembelajaran Berbasis Riset .....	17
<b>BAB V AKTIVITAS BELAJAR.....</b>	<b>22</b>
<b>BAB VI HASIL BELAJAR .....</b>	<b>24</b>
<b>BAB VI PENENTUAN ENERGI KISI.....</b>	<b>29</b>
<b>BAB VII PENERAPAN MODEL PEMBELAJARAN</b>	
<b>BERBASIS RISET .....</b>	<b>35</b>
A. Pertemuan Pertama .....	35
B. Pertemuan Kedua.....	35
C. Ketuntasan Individual .....	37
D. Ketuntasan Klasikal .....	38

<b>BAB VIII PENENTUAN ENERGI KISI STANDAR</b>	
<b>MELALUI SIKLUS BORN-HABER .....</b>	<b>40</b>
A. Merumuskan masalah .....	44
B. Merumuskan Hipotesis .....	44
C. Melakukan telaah teks .....	45
D. Melakukan percobaan .....	45
E. Mengumpulkan data.....	47
F. Menguji hipotesis.....	48
G. Menyimpulkan .....	49
H. Menyusun laporan .....	49
I. Mempresentasikan.....	50
<b>BAB IX KEBERHASILAN SUATU PEMBELAJARAN</b>	
<b>DIUKUR DARI HASIL BELAJAR.....</b>	<b>51</b>
A. Ketuntasan Individual .....	51
B. Ketuntasan Klasikal .....	51
<b>BAB XI PENUTUP .....</b>	<b>54</b>
A. Kesimpulan .....	54
B. Saran .....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>56</b>

# BAB I

## PENDAHULUAN

Energi kisi dapat ditentukan dengan eksperimen dan simulasi atomistik, masing-masing melalui eksperimen kalorimetri (termokimia) dan perhitungan menggunakan hukum Coulomb. Berdasarkan hasil eksperimen kalorimetri, energi kisi dapat ditentukan melalui siklus Born-Haber, sedangkan berdasarkan penurunan Hukum Coulomb dapat dihitung melalui pendekatan persamaan energi kisi yang berlaku untuk senyawa ionik, diantaranya yakni persamaan Born-Lande, Bron Mayer dan Kapustinskii.

Persamaan energi kisi dari Yoder-Flora telah banyak dikembangkan untuk memprediksi kestabilan termodinamika dari oksida. Beberapa persamaan energi kisi menggunakan persamaan Yoder-Flora yang telah dilakukan antara lain oleh Suhendar dan Ismunandar (2006) yang meramalkan energi kisi piroklor, kemudian Tehubijuluw dan Ismunandar (2008) berhasil meramalkan energi kisi oksida perovskit golongan lantanoid dan aluminat. Secara simulasi, energi kisi dapat dilakukan secara atomistik dengan menggunakan potensial Buckingham, seperti penentuan energi kisi oleh La Kilo  $\alpha\text{-Bi}_2\text{VO}_{5,5}$  dan  $\beta\text{-Bi}_2\text{VO}_{5,5}$  (2013). Penelitian ini akan difokuskan pada penentuan energi kisi senyawa oksida perovskit secara simulasi komputasi dan

melalui perhitungan menggunakan persamaan Yodar-Flora yang melibatkan mahasiswa melalui pembelajaran berbasis riset.

Padatan yang akan ditentukan pada penelitian ini adalah oksida perovskit menunjukkan berbagai sifat fungsional, antara lain feroelektrik, piezoelektrik, dan piroelektrisitas. Akibat sifat tersebut, perovskit dapat digunakan sebagai perangkat mikroelektronik, seperti aplikasi daya penyimpanan, memori non-volatile, transduser, aktuator, dan deteksi inframerah. Berdasarkan fungsi dan aplikasi yang ditunjukkan oleh perovskit, maka penentuan energi kisi senyawa berstruktur perovskit menjadi penting. Keberhasilan sintesis perovskit dapat diketahui data termodinamikanya, seperti data energi kisi serta pembentukannya.

Oksida perovskit golongan alkali tanah titanat mempunyai banyak aplikasi seperti  $\text{SrTiO}_3$  sebagai aplikasi mikroelektronika karena kapasitas penyimpanan berdaya tinggi, sifat isolasi yang baik dan transparansi optik yang sangat baik di daerah tampak dan stabilitas kimia (Kolodiazhnyi dkk.,2005). Oleh karena itu, dalam riset ini yang akan diteliti adalah penentuan energi kisi oksida perovskit golongan alkali tanah titanat  $\text{MTiO}_3$  ( $\text{M} = \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Sr}, \text{dan Ba}$ ).

Pendidikan merupakan kegiatan mengoptimalkan perkembangan potensi, kecakapan, dan karakteristik pribadi peserta. Pendidikan pada dasarnya merupakan salah satu upaya untuk memberikan pengetahuan, mengembangkan kepribadian, dan keterampilan setiap peserta didik. Melalui pendidikan, setiap manusia berusaha mengembangkan dirinya untuk menghadapi tantangan setiap perubahan yang diakibatkan oleh kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Hal tersebut menuntut proses pembelajaran yang efektif dan efisien: interaktif, inspiratif, menyenangkan, menantang, dan memotivasi peserta didik untuk

berpartisipasi aktif, serta memberikan ruang yang cukup bagi prakarsa, kreativitas, dan kemandirian sesuai dengan bakat, minat, dan perkembangan fisik serta psikologis peserta didik.

Proses pembelajaran yang dilaksanakan dalam pendidikan diharapkan mampu mencetak lulusan yang memiliki karakter mulia, keterampilan yang relevan, dan pengetahuan yang terkait. Untuk itu proses pembelajaran yang terlaksana harus melibatkan keaktifan peserta didik secara maksimal baik dengan pendekatan *teacher centered learning* maupun *student centered learning*. Kuncinya adalah bagaimana proses pembelajaran lebih bersifat kontekstual, saintifik dan adanya kesesuaian antara kompetensi, materi, dan sistem penilaian yang dilaksanakan (kurikulum 2013).

Mahasiswa di perguruan tinggi telah melalui proses pendidikan formal yang panjang, pendidikan dari sekolah dasar sampai atas umumnya lebih monoton dan kecenderungannya guru sebagai pusat informasi (*teacher center*). Oleh karena di tingkat perguruan tinggi dosen dituntut lebih kreatif dan inovatif, mahasiswa dapat dianggap sebagai orang dewasa. Mereka bukanlah sebagai objek belajar tetapi subjek belajar, sehingga proses pembelajaran yang dilakukan pun haruslah kreatif, menyenangkan, dan memotivasi mahasiswa serta menghargai setiap pendapat mereka.

Hasil observasi yang dilakukan di Jurusan Kimia Fakultas MIPA UNG didapatkan pembelajaran masih berpusat pada dosen pembelajaran *Teacher Centered Learning* (TCL), dosen lebih banyak melakukan kegiatan belajar-mengajar dengan bentuk yang didominasi ceramah. Pada saat mengikuti pelajaran atau mendengarkan ceramah, mahasiswa sebatas memahami sambil membuat catatan, bagi yang merasa memerlukannya. Dengan demikian pendekatan *teacher center* proses pembelajaran lebih berpusat pada dosen hanya akan membuat dosen semakin cerdas

tetapi mahasiswa hanya memiliki pengalaman mendengar paparan saja. *Output* yang dihasilkan oleh pendekatan belajar seperti ini tidak lebih hanya menghasilkan mahasiswa yang kurang mampu mengapresiasi ilmu pengetahuan, takut berpendapat, tidak berani mencoba yang akhirnya cenderung menjadi pelajar yang pasif dan miskin kreativitas.

Dalam sistem pendidikan tinggi kedudukan mahasiswa bukan sebagai penerima ilmu pengetahuan saja, melainkan sebagai proses pengetahuan melalui aktivitas penalaran, penemuan, kreativitas serta gairah untuk meneliti. Salah satu hasil akhir yang diharapkan yang akan dicapai pada proses perkuliahan di perguruan tinggi adalah mahasiswa yang mandiri, termasuk mandiri dalam belajar. Mahasiswa diharapkan tidak hanya tergantung pada dosen, namun mahasiswa harus aktif dalam proses belajar. Oleh karena itu, metode pembelajaran yang diterapkan akan menentukan hasil belajar mahasiswa.

Riset (penelitian) sebagai proses penyelidikan atau pencarian yang saksama untuk memperoleh fakta baru dalam cabang ilmu pengetahuan merupakan konsep yang tepat untuk diterapkan dalam pembelajaran. Dengan penerapan pendekatan pembelajaran berbasis riset diharapkan karakter yang terbentuk dalam diri peserta didik adalah jiwa seorang saintis (ilmuwan). Sikap tersebut ditandai dengan sikap rasa ingin tahu yang tinggi, mampu menyelesaikan setiap permasalahan, dengan sikap berpikir secara sistematis, objektif, dan memiliki dasar pemikiran yang kuat. (Slameto, 2015) Proses pembelajaran dengan pendekatan pembelajaran berbasis riset adalah pembelajaran yang menuntut peserta didik untuk mampu menemukan, mengeksplorasi (mengembangkan pengetahuan) untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi, dan kemudian menguji kebenaran pengetahuan

tersebut. Adapun interaksi pembelajaran antara peserta didik dengan pendidik adalah interaksi yang bersifat aktif. Pendidik berperan sebagai fasilitator, dan mediator dalam rangka membawa peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan.

Pembelajaran Berbasis Riset (PBR) adalah sistem pengajaran yang bersifat otentik *problem solving* dengan sudut pandang formulasi permasalahan, penyelesaian masalah, dan mengkomunikasikan manfaat hasil penelitian. Hal tersebut diyakini mampu meningkatkan mutu pembelajaran. PBR merupakan metode pembelajaran kooperatif, *problem-solving*, *authentic learning*, *contextual (hands on & minds on)* dan *inkuiry discovery approach* secara konstruktivisme dengan harapan peserta didik dapat mengembangkan kemampuan berpikir kritis, menganalisis dan mengevaluasi suatu persoalan (Widayati, 2010).

Poonpan (2001) menyatakan bahwa peserta didik seharusnya dapat membangun pengetahuan baru dari prosedur penelitian. Pembelajaran berbasis riset (PBR) merupakan salah satu metode *Student-Centered Learning* (SCL) yang mengintegrasikan riset didalam proses pembelajaran. PBR bersifat multifaset yang mengacu kepada berbagai macam metode pembelajaran. PBR memberi peluang atau kesempatan kepada mahasiswa untuk mencari informasi, menyusun hipotesis, mengumpulkan data, menganalisis data, dan membuat kesimpulan atas data yang sudah tersusun; dalam aktivitas ini berlaku pembelajaran dengan pendekatan “*learning by doing*”.

Mahasiswa program S1 pendidikan kimia Fakultas MIPA UNG yang mengambil mata kuliah kimia Anorganik Fisik harus memahami materi padatan ionik dan logam: struktur dan energetika berdasarkan silabus yang ditetapkan. Konsep prasyarat untuk memahami materi tersebut salah satunya adalah penguasaan

mahasiswa tentang konsep "ikatan ion", dan "ikatan kovalen", sedangkan konsep yang ikut dibahas adalah energi kisi dan siklus Born- Haber". Konsep-konsep ini digunakan agar mahasiswa dapat memahami adanya konsep/prinsip "ikatan pada struktur padatan ionik" (Koestiari, 2014:C-201).

## BAB II

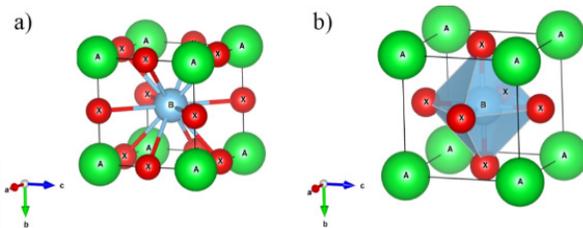
# PEROVSKIT

Istilah perovskit memiliki dua pengertian, pertama perovskit merupakan mineral partikular dengan rumus kimia  $\text{CaTiO}_3$  (disebut juga Kalsium titanium oksida). Mineral ini ditemukan di pegunungan Ural Rusia oleh Gustav Rose pada tahun 1839 dan kemudian dinamakan oleh mineralogist Rusia, L. A perovski (1792 – 1856). Kedua, umumnya mineral – mineral dengan struktur kristal yang sama sebagai  $\text{CaTiO}_3$  (disebut struktur perovskit) (Tejuca, 1993).

Jumlah muatan kation A dan B adalah +6, yang dapat tersusun dari kation yang bermuatan (1+5), (2+4) atau (3+3), hal tersebut agar terjadi keseimbangan muatan dengan muatan negatif 6 yang dibawa oleh tiga ion oksigen. Gambar kisi kristal perovskit kubus ideal ditunjukkan pada gambar 1, yang mana pada posisi A ditempati oleh kation yang berdiameter lebih besar meliputi  $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ , dan  $\text{Ca}^{2+}$ . Sedangkan pada posisi B ditempati oleh unsur-unsur golongan logam transisi yang memiliki ukuran lebih kecil meliputi  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ ,  $\text{Ru}^{3+}$  dll (Mundschau, 2008).

Senyawa  $\text{CaTiO}_3$ , senyawa ini didasari oleh kation divalent ( $\text{A}^{2+}$ ) dan tetravalen ( $\text{B}^{4+}$ ). Kation  $\text{B}^{4+}$  berada pada sudut yang terikat dengan enam anion  $\text{X}^{2-}$ , mengakibatkan BX 6 unit oktahedral membentuk kubik ideal dekat atom B yang terletak

pada  $(0,0,0)$ . (gambar 2.1b) dan atom X terletak di posisi spasial dalam satuan sel. Demikian juga, kation A terletak pada koordinasi 12 menghasilkan delapan titik oktahedral di sudut-sudut kubus. (gambar 2.1a) (Carlos, dkk., 2016).



**Gambar 2.1.** Representasi struktural dari perovskit kubik yang ideal (a) sel satuan kubik A dan (b) sel satuan kubik B.

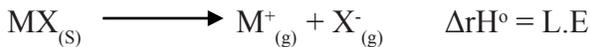
Senyawa yang termasuk dalam kubik struktur ideal (FCC) adalah  $\text{SrTiO}_3$  hal ini karena faktor toleransi, ortorombik, dan heksagonal unit sel kristal strontium titanat oksida ditunjukkan pada Gambar 2.1b. Dalam distribusi atom digunakan posisi Wyckoff, Perbedaan jari-jari ion menghasilkan distorsi struktural pada struktur perovskit, atom A berada di  $x, y, z$  koordinat  $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$  (Gambar 2.1b) sedangkan atom B ditentukan dalam penelitian yang dilakukan oleh Goldschmidt terletak pada  $0, 0, 0$  (Gambar 2.1b), dan atom X di 3d terletak di posisi spasial  $\frac{1}{2}, 0, 0; 0, \frac{1}{2}, 0$ , dan  $0, 0, \frac{1}{2}$  (Carlos, dkk., 2016).

## A. Energi Kisi

Senyawa ion dalam keadaan kristal tiga dimensi terdiri atas kation dan anion yang terikat oleh energi interaksi Columb. Jejaringan tiga dimensi dari poin yang mewakili susunan berulang dasar atom dalam kristal dikenal sebagai kisi atau kisi ruang. Jadi

ukuran kualitatif stabilitas senyawa ionik diberikan oleh entalpi pembentukan kisi.

Entalpi kisi padatan ionik didefinisikan sebagai energi yang dibutuhkan untuk sepenuhnya memisahkan satu mol senyawa ionik padat menjadi ion bentuk gas. Artinya, perubahan entalpi disosiasi MX ionik padat menjadi ion masing-masing di pemisahan infiniti diambil entalpi kisi.



entalpi kisi adalah nilai positif. Sebagai contoh, entalpi kisi NaCl adalah 788 kJ/mol. Ini berarti bahwa 788 kJ energi diperlukan untuk memisahkan 1 mol NaCl padat menjadi 1 mol  $\text{Na}^+_{(g)}$  dan 1 mol  $\text{Cl}^-_{(g)}$  ke jarak tak terbatas.

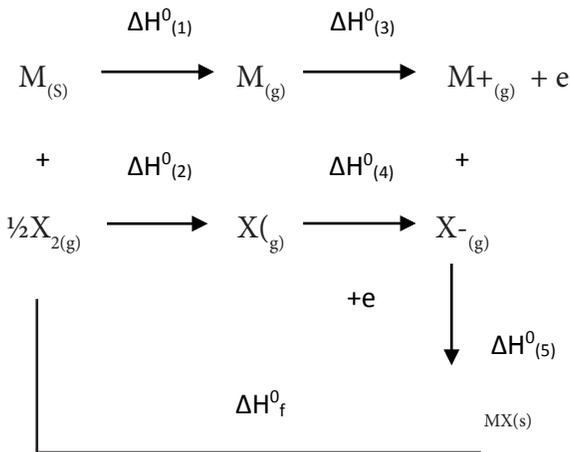
Dalam padatan ionik, jumlah elektron mendapatkan entalpi dan ionisasi entalpi mungkin positif namun karena energi tinggi dirilis dalam pembentukan kisi kristal, struktur kristal akan stabil (Balasubramanian, 2007).

## **B. Penentuan Energi Kisi Born-Haber**

Pada prinsipnya, energi kisi bisa diukur dengan menggabungkan kation gas dan anion membentuk padat ionik dan kemudian mengukur panas berevolusi. Sayangnya, jumlah terukur dari ion gas tidak pernah diperoleh di bawah kondisi di mana aliran panas dapat diukur. Sebaliknya, energi kisi ditentukan menggunakan perubahan entalpi eksperimen melalui proses kimia lainnya, hukum Hess, dan siklus termokimia disebut siklus Born-Haber. Dikembangkan oleh Max Born dan Fritz Haber pada tahun 1919, siklus Born-Haber menjelaskan proses di mana sebuah padatan ionik secara konseptual terbentuk dari unsur-unsur komponennya secara bertahap.

Hal yang tidak mungkin untuk menghitung langsung entalpi kisi dari gaya tarik dan tolakan antara ion oleh karena itu, faktor geometri kristal juga harus disertakan. Kristal padat adalah entitas dari tiga dimensi. Kisi entalpi secara tidak langsung ditentukan oleh penggunaan siklus Born - Haber. Prosedur ini didasarkan pada hukum Hess, yang menyatakan bahwa perubahan entalpi reaksi adalah sama pada volume konstan dan tekanan, apakah itu terjadi dalam satu langkah atau beberapa selama reaktan awal dan produk akhir tetap sama.

Misalnya mempertimbangkan pembentukan sederhana ionik padat seperti halida logam alkali MX, langkah-langkah dalam menghitung entalpi pembentukan sebagai berikut:



$\Delta H^0_1$  = perubahan entalpi sublimasi dari  $M_{(s)}$  menjadi  $M_{(g)}$

$\Delta H^0_2$  = perubahan entalpi disosiasi dari  $\frac{1}{2}X_{2(g)}$  menjadi  $X_{(g)}$

$\Delta H^0_3$  = energi ionisasi dari  $M_{(g)}$  menjadi  $M^+_{(g)}$

$\Delta H^0_4$  = affinitas elektron dari  $X_{(g)}$  menjadi  $X^-_{(g)}$

$\Delta H^0_5$  = entalpi kisi pembentukan dari padatan MX (1 mol)

$\Delta H^0_f$  = perubahan entalpi pembentukan MX padat dari elemen masing-masing seperti 1 mol M padat dan 0,5 mol  $X_2$  (g).

Menurut hukum Hess's

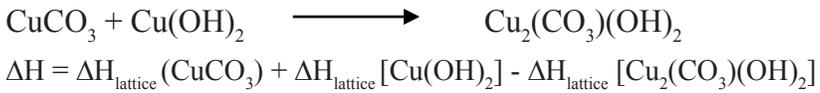
$$\Delta H^0_f = \Delta H^0_1 + \Delta H^0_2 + \Delta H^0_3 + \Delta H^0_4 + \Delta H^0_5^*$$

Beberapa fitur penting dari entalpi kisi adalah:

1. Semakin besar entalpi kisi semakin stabil ikatan ionik terbentuk.
2. Kisi entalpi yang besar untuk ion muatan yang lebih tinggi dan jari-jari yang lebih kecil.
3. Entalpi kisi mempengaruhi kelarutan senyawa ionik (Balasubramanian, 2007).

### C. Penentuan Energi Kisi persamaan Yoder-Flora

Dalam pembentukan garam ganda dari garam sederhana, kation dan anion yang sama terdapat persamaan pada kedua sisi, karena entalpi pembentukan ini diabaikan dalam perhitungan entalpi pembentukan garam ganda. Perubahan entalpi kisi dari dua garam (atau lebih) sederhana hampir sama dengan entalpi kisi garam ganda. Misalnya, untuk pembentukan perunggu,  $Cu_2(CO_3)(OH)_2$ , dari karbonat tembaga dan tembaga hidroksida



Karena entalpi kisi garam ganda kira-kira sama dengan jumlah dari entalpi kisi dari garam-garam sederhana; itu adalah,

$$\Delta H_{\text{lattice}}[\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2] \sim \Delta H_{\text{lattice}}(\text{CuCO}_3) + \Delta H_{\text{lattice}}[\text{Cu}(\text{OH})_2]$$

kemudian,  $\Delta H$  dalam pembentukan garam ganda dari garam sederhana penyusunnya adalah sekitar nol. Perbedaan RT antara entalpi kisi dan energi kisi juga diabaikan dalam pembentukan garam ganda dari konstituen garam sederhana serta hubungan juga dapat dinyatakan dalam hal energi kisi. Jika  $\Delta H \sim 0$  pada pembentukan garam ganda dari garam sederhana penyusunnya, berarti entalpi pembentukan garam ganda kira-kira sama dengan jumlah entalpi pembentukan garam sederhana (Yoder, C. H. and Flora, N. J., 2005).

Yoder dan Flora dalam jurnalnya mengusulkan bahwa energi kisi mineral-mineral ionik kompleks dapat dihitung dengan memperlakukannya sebagai gabungan energi kisi masing-masing jumlah mol garam-garam tunggal penyusunnya secara umum sebagai berikut:

$$U(\text{BHC})_{\text{garam rangkap}} = \sum U(\text{BHC})_{\text{garam sederhana}} \quad (2.1)$$

Suhendar, (2006) dan Tehubijuluw (2008) menentukan energi oksida piroklor dan oksida perovskit lantanoid ferat dan aluminant dengan menggunakan persamaan Yoder-Flora secara khusus sebagai berikut

$$U(YF)_{OP} = \sum U(\text{BHC})_{OA} + \sum U(\text{BHC})_{OB} \quad (2.2)$$

dimana (OP, OA, dan OB secara berturut-turut merupakan singkatan dari oksida perovskit, oksida logam A, dan oksida logam B)

## BAB III

# SIMULASI ATOMISTIK

Selama beberapa dekade terakhir telah terjadi peningkatan yang signifikan dalam penggunaan simulasi komputasi dalam komunitas ilmiah. Melalui kombinasi peningkatan dramatis dalam daya komputasi pengolahan (fenomena yang dijelaskan oleh Hukum Moore) dan melanjutkan pengembangan algoritma, pemodelan skala atomistik telah menjadi aset berharga, memberikan wawasan yang berguna ke dalam perilaku atom pada skala sering tidak dapat diakses penyelidikan eksperimental tradisional.

Kategori kedua dari simulasi atomistik adalah mereka yang menggunakan parameter potensial yang diperoleh secara empiris untuk menggambarkan interaksi antara ion. Karena mereka tidak menyelesaikan persamaan Schrödinger mereka tidak menghasilkan informasi tentang struktur elektronik. Meskipun keterbatasan jelas ini, pasangan klasik simulasi potensial dapat sangat berguna untuk memprediksi tren di atom proses struktur dan cacat serta memprediksi sifat makroskopik, seperti modulus bulk. Dibandingkan dengan simulasi kuantum mekanik, teknik potensial pasangan membutuhkan daya komputasi yang jauh lebih sedikit yang berarti mereka dapat diterapkan ke sistem yang lebih besar, dalam beberapa kasus jutaan atom. Keberhasilan

pelaksanaan teknik-teknik klasik tergantung pada pengembangan dan penerapan parameter potensial yang tepat. Sebuah deskripsi tentang bagaimana yang sesuai parameter potensial dapat diturunkan akan dibahas kemudian (Dove, 2007).

Hasil-hasil atomistik oksida-oksida padatan telah banyak dipublikasikan dan hasil simulasi tersebut memiliki kesesuaian dengan hasil eksperimen. Contoh, Simulasi atomistik oksida perovskite golongan lantanoid ferat dan aluminat perbedaan hasil simulasi atomistik dengan percobaan difaksi sinar x didapatkan mempunyai % selisih rata-rata 1,29 (Hellna 2008). simulasi atomistik oksida ceria ( $\text{CeO}_2$ ) yang didoping oksida trivalen menunjukkan penurunan kestabilan  $\text{CeO}_2$  yang didoping dengan Lu, Ce, Er, Gd, Eu, Nd dan La lebih besar dibandingkan dengan penurunan kestabilan  $\text{CeO}_2$  yang didoping dengan Sm, Y, dan Yb (kusrini 2015).

### **Potensial Buckingham**

Potensial Buckingham adalah lebih mudah dipenuhi dari perspektif teori karena tolakan antara kerapatan elektron yang tumpah tindih, sesuai prinsip anti pauli, akan menghasilkan bentuk eksponensial pada jarak yang dapat diterima. Sebaliknya, potensial Lennard-Jones dengan eksponen khas 9-12 yang besar, maka akan terjadi tolakan yang naik dengan cepat dengan menurunnya jarak pada dispersi tarikan (Gale, 1987). kontribusi energi harus mempresentasikan interaksi antara atom-atom ketika berikatan, atau ion-ion dalam kulit koordinasi. Untuk kasus ionik, potensial tolakan adalah selalu cukup, dengan kebanyakan pilihan apakah nilainya positif yang bervariasi secara inversi dengan jarak atau dalam bentuk eksponensial. Persamaan Lennard-Jones

dan potensial Buckingham bila digabungkan dengan interaksi dispersi ( $C_6$ ), maka hasilnya adalah:

$$U_{ij}^{Buckingham} = A \exp\left(-\frac{r_{ij}}{\rho}\right) - \frac{C_6}{r_{ij}^6} \quad (2.3)$$

Dimana :  $A$  = matriks tetapan gaya,  $U$  = energi kisi,  $C$  = interaksi dispersi,  $\rho$  = kerapatan elektron,  $r_{ij}$  = jarak antar ion.

## BAB IV

# PEMBELAJARAN BERBASIS RISET (PBR)

Pembelajaran berbasis riset (PBR) adalah metode pengajaran menggunakan riset dalam proses pembelajarannya. Pembelajaran berbasis riset didasari filosofi konstruktivisme yang mencakup empat aspek yaitu pembelajaran yang membangun pemahaman mahasiswa, pembelajaran dengan mengembangkan *prior knowledge*, pembelajaran yang merupakan proses interaksi sosial dan pembelajaran bermakna yang dicapai melalui pengalaman nyata. Riset merupakan sarana penting untuk meningkatkan mutu pembelajaran. Komponen riset terdiri dari latar belakang, prosedur, pelaksanaan, hasil riset dan pembahasan serta publikasi hasil riset (Widayati, 2010).

Pembelajaran berbasis riset (PBR) merupakan metode pembelajaran yang menggunakan *authentic learning* (harus ada contoh nyata), *problem-solving* (menjawab kasus dan kontekstual), *cooperative learning* (bersama), *contextual* (hands on & mins on), dan *quiry discovery approach* (menemukan sesuatu) yang didasarkan pada filosofi konstruktivisme (yaitu pengembangan diri siswa yang berkasinambungan dan berkelanjutan) (Widayati, 2010).

## **A. Bentuk Pembelajaran Berbasis Riset**

Pembelajaran berbasis riset (PBR) merupakan salah satu metode *student-centered learning* (SCL) yang mengintegrasikan riset di dalam proses pembelajaran. PBR bersifat multifaset yang mengacu kepada berbagai macam metode pembelajaran. PBR memberi peluang / kesempatan kepada mahasiswa untuk mencari informasi, menyusun hipotesis, mengumpulkan data, menganalisis data, dan membuat kesimpulan atas data yang sudah tersusun; dalam aktivitas ini berlaku pembelajaran dengan pendekatan “*learning by doing*”. Oleh karena itu, PBR membuka peluang bagi pengembangan metode pembelajaran, antara lain:

1. Pembaharuan pembelajaran (pengayaan kurikulum) dengan mengintegrasikan hasil riset,
2. Partisipasi aktif mahasiswa di dalam pelaksanaan riset,
3. Pembelajaran dengan menggunakan instrumen riset, dan
4. Pengembangan konteks riset secara inklusif (mahasiswa mempelajari prosedur dan hasil riset untuk memahami seluk-beluk sintesis).

## **B. Beberapa Model Pembelajaran Berbasis Riset**

Menurut Widayati (2010), menjelaskan bahwa beberapa model RBL dapat dikembangkan sesuai dengan karakteristik kajian ilmu serta kondisi fasilitas yang tersedia di satuan pendidikan yang bersangkutan. Strategi penerapan PBR sebaiknya benar-benar dipertimbangkan agar pelaksanaan PBR efektif dan tujuan PBR tercapai. Berikut beberapa strategi dalam memadukan pembelajaran dan riset yang secara empirik dikembangkan di Griffith University:

1. Memperkaya bahan ajar dengan hasil penelitian dosen

Pada proses pembelajaran ini hasil penelitian dosen digunakan untuk memperkaya bahan ajar. Dosen dapat memaparkan hasil penelitiannya sebagai contoh nyata dalam perkuliahan, yang diharapkan dapat berfungsi membantu peserta didik dalam memahami ide, konsep, dan teori penelitian (Widayati 2010:4).

2. Menggunakan temuan-temuan penelitian mutakhir dan melacak sejarah ditemukannya perkembangan mutakhir tersebut.

Pada proses pembelajaran ini, temuan-temuan penelitian mutakhir yang diperoleh dari pustaka didiskusikan untuk mendukung materi pokok bahasan yang sesuai. Dinamika perkembangan ilmu pengetahuan disampaikan di dalam perkuliahan sebagai rangkaian sejarah perkembangan pengetahuan tersebut. Dengan demikian peserta didik dapat memiliki pemahaman bahwa kebijakan dan praktik yang ada pada saat ini, dapat dilakukan dan dikembangkan saat ini, karena adanya kebijakan dan praktik yang telah dikembangkan sebelumnya. Hal ini semua merupakan suatu kesatuan dinamika perkembangan ilmu pengetahuan (Widayati 2010).

3. Memperkaya kegiatan pembelajaran dengan isu-isu penelitian kontemporer

Pada proses pembelajaran ini dapat dimulai dengan meminta peserta didik menyampaikan isu-isu penelitian yang ada pada saat ini, yang sesuai dengan pokok bahasan. Selanjutnya peserta didik diminta mendiskusikan penerapan isu penelitian tersebut untuk penyelesaian problem nyata (Widayati 2010).

4. Mengajarkan materi metodologi penelitian di dalam proses pembelajaran

Strategi ini dapat diterapkan dengan melakukan tahapan berikut: (1) meningkatkan pemahaman peserta didik tentang metodologi penelitian, (2) merancang materi ajar dengan menyertakan metodologi penelitian pada pokok bahasan tersebut, sehingga peserta didik dapat menerapkannya untuk menyelesaikan problem penelitian yang nyata, (3) merancang materi ajar dengan berbagai metodologi penelitian yang berkaitan dengan beberapa isu penelitian mutakhir, sehingga peserta didik dapat belajar melakukan evaluasi terhadap isu penelitian tersebut (Widayati 2010).

5. Memperkaya proses pembelajaran dengan kegiatan penelitian dalam skala kecil

Pada proses pembelajaran ini, kelompok peserta didik diberi tugas melakukan penelitian bersama. Dengan demikian peserta didik dapat meningkatkan keterampilan dan pengetahuan dari kegiatan tersebut. Dengan kegiatan ini budaya penelitian dapat lebih terbangun dibandingkan dengan bila penelitian tersebut diselenggarakan secara individual.

Agar kegiatan ini dapat berlangsung dengan baik, maka sebelum kegiatan tersebut dosen perlu melakukan paparan singkat tentang pemanfaatan keterampilan penelitian dan pengetahuan yang telah dipelajari pada semester pokok bahasan sebelumnya (Widayati 2010).

6. Memperkaya proses pembelajaran dengan melibatkan peserta didik dalam kegiatan penelitian institusi

Pada kegiatan ini PBR dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain: (1) peserta didik diberi tugas penelitian

yang merupakan bagian dari penelitian besar yang dilakukan oleh institusi, (2) mengorganisasikan peserta didik sebagai asisten penelitian bagi peserta didik pada jenjang yang lebih tinggi atau dosen, (3) melakukan kunjungan ke pusat-pusat penelitian (Widayati 2010).

7. Memperkaya proses pembelajaran dengan mendorong peserta didik agar merasa menjadi bagian dari budaya penelitian di fakultas/jurusan

Pada strategi ini diusahakan agar peserta didik merasa sebagai bagian dari budaya penelitian di bagian atau fakultas yang bersangkutan. Dalam rangka itu maka beberapa hal dapat dilakukan dengan memberikan informasi pada peserta didik tentang kegiatan penelitian dan keunggulan penelitian dosen di jurusan atau fakultas yang bersangkutan, mengadakan kuliah umum oleh pakar atau staf dari institusi lain, untuk menyampaikan capaian penelitiannya sebagai referensi langsung bagi peserta didik, dan mendorong peserta didik untuk berpartisipasi pada kegiatan seminar penelitian baik sebagai peserta, penyaji makalah, ataupun sebagai penyelenggara seminar tersebut (Widayati 2010).

8. Memperkaya proses pembelajaran dengan nilai-nilai yang harus dimiliki oleh peneliti

Nilai-nilai yang harus dimiliki oleh peneliti seharusnya perlu dipahami oleh peserta didik. Nilai-nilai tersebut antara lain: objektivitas, penghargaan akan temuan penelitian, respek pada pandangan lain, toleransi terhadap ketidakpastian, dan kemampuan analisis.

Model-model strategi implementasi PBR tersebut dapat dikembangkan lebih lanjut sesuai dengan disiplin ilmu dan

perkembangan budaya penelitian yang telah berkembang di institusi yang bersangkutan. Satu hal yang sebaiknya diingat ialah bahwa PBR tidak hanya bertujuan mengembangkan kemampuan peserta didik sebagai peneliti handal namun juga sebagai peneliti yang memiliki karakter serta nilai-nilai yang sifatnya universal (Widayati 2010).

## **BAB V**

# **AKTIVITAS BELAJAR**

Menurut sadirman mengatakan bahwa aktivitas belajar adalah suatu kegiatan yang dilakukan mahasiswa selama proses belajar mengajar berlangsung, dimana kegiatan tersebut meliputi, keaktifan siswa dalam mengikuti pelajaran, bertanya hal yang belum jelas, mencatat hal-hal penting, mendengarkan dosen saat menjelaskan materi pelajaran. Aktifitas belajar yaitu suatu proses atau tindakan belajar mengajar yang melibatkan interaksi antara dosen dan mahasiswa baik secara langsung maupun tidak langsung demi mencapai tujuan pembelajaran.

Jenis-jenis aktivitas belajar terdapat beberapa jenis kegiatan yang ditinjau dari berbagai kegiatan, sebagaimana menurut sardiman (2008), bahwa jenis-jenis aktivitas belajar adalah dikelompokkan ke dalam beberapa kegiatan, yaitu sebagai berikut:

- a. Aktivitas visual/Fisik: memperhatikan, mengamati eksperimen, dan demonstrasi.
- b. Aktivitas lisan (oral): mengajukan pertanyaan, memberi saran, mengemukakan pendapat, berwawancara, dan diskusi.
- c. Aktivitas menulis: mencatat materi, menulis laporan, memeriksa karangan, membuat rangkuman, dan mengerjakan tes.

- d. Aktivitas menggambar: menggambar, membuat grafik, diagram, peta dan pola.
- e. Aktivitas metrik: melakukan percobaan, memilih alat-alat, dan membuat alat-alat peraga.
- f. Aktivitas fisik mental: membuat keputusan, mengingat, memecahkan masalah, dan menemukan hubungan-hubungan.
- g. Aktivitas emosional: minat, membedakan, berani, semangat, dan tenang.

Berdasarkan pendapat sardiman di atas, maka pada penelitian ini aktivitas-aktivitas mahasiswa yang diamati dapat dikelompokkan pada beberapa kategori yaitu, untuk visual, aktivitas mahasiswa yang diamati yaitu aktivitas membaca; aktivitas menulis, yaitu aktivitas mencatat atau menulis materi; aktivitas lisan, yaitu aktivitas bertanya, aktivitas mempersentasikan hasil diskusi, dan aktivitas menyimpulkan; sedangkan aktivitas mental yaitu aktivitas menjawab pertanyaan dan aktivitas menyelesaikan masalah melalui LKM.

## BAB VI

# HASIL BELAJAR

Hasil belajar adalah kemampuan yang diperoleh anak setelah melalui kegiatan belajar. Dalam kegiatan belajar yang terprogram dan terkontrol yang disebut sebagai kegiatan pembelajaran atau kegiatan instruksional, tujuan belajar telah ditetapkan terlebih dahulu oleh guru. Anak yang berhasil dalam belajar ialah yang berhasil mencapai tujuan-tujuan pembelajaran atau tujuan instruksional. Menurut Benjamin S. Bloom ada tiga ranah (*domain*) hasil belajar, yaitu kognitif, afektif, dan psikomotor. Sedangkan menurut Romiszowski hasil belajar merupakan keluaran (*Outputs*), dari suatu sistem pemrosesan masukan (*Inputs*). Masukan dari sistem tersebut berupa bermacam-macam informasi sedangkan keluarannya adalah perbuatan atau kinerja (*Performance*). Perbuatan merupakan petunjuk bahwa proses belajar telah terjadi (Abdurrahman, 2003).

Menurut Catharina (dalam Setyowati, 2007) hasil belajar merupakan perubahan perilaku yang diperoleh pembelajar atau siswa setelah mengalami aktivitas belajar. Sedangkan Nashar (dalam Setyowati, 2007) hasil belajar juga merupakan kemampuan yang diperoleh siswa setelah melalui kegiatan belajar. Kemudian menurut Keller (dalam Setyowati, 2007) hasil belajar adalah terjadinya perubahan dari hasil masukan pribadi

berupa motivasi dan harapan untuk berhasil dan masukan dari lingkungan berupa rancangan dan pengelolaan motivasional tidak berpengaruh terhadap besarnya usaha yang dicurahkan oleh siswa untuk mencapai tujuan belajar. Seseorang dapat dikatakan telah belajar sesuatu apabila dalam dirinya telah terjadi suatu perubahan, akan tetapi tidak semua perubahan yang terjadi. Jadi hasil belajar merupakan pencapaian tujuan belajar dan hasil belajar sebagai produk dari proses belajar, maka didapat hasil belajar.

Menurut Sudjana (2009) bahwa hasil belajar kemampuan–kemampuan yang dimiliki siswa setelah ia menerima pengalaman belajarnya. Dalam pendidikan nasional rumusan tujuan pendidikan, baik tujuan kurikuler maupun tujuan instruksional, menggunakan klasifikasi hasil belajar. Benyamin Bloom yang secara garis besar membaginya menjadi tiga ranah, yakni ranah kognitif, ranah efektif dan ranah psikomotorik antara lain:

- a. Ranah kognitif, berkenaan dengan hasil belajar intelektual yang terdiri dari enam aspek, yaitu:
  1. Pengetahuan atau ingatan yang mengacu pada kemampuan mengenal materi yang sudah dipelajari dari yang sederhana sampai pada materi-materi yang sukar. Dalam hal ini adalah kemampuan mengingat keterangan yang benar, seperti peserta didik menjawab pertanyaan berdasarkan hapalan saja.
  2. Pemahaman yaitu mengacu pada kemampuan memahami makna materi, seperti peserta didik dituntut untuk menyatakan masalah dengan kata-katanya sendiri, kemudian memberi konsep atau prinsip.
  3. Aplikasi yaitu mengacu pada kemampuan menggunakan atau menerapkan materi yang sudah dipelajari pada situasi yang menyangkut penggunaan aturan dan prinsip,

seperti peserta didik dituntut untuk menerapkan prinsip dan konsep dalam situasi yang baru.

4. Analisis yaitu mengacu pada kemampuan menguraikan materi kedalam komponen-komponen atau faktor-faktor penyebabnya dan mampu memahami hubungan, seperti peserta didik diminta untuk menguraikan informasi kebeberapa bagian, memberikan asumsi membedakan fakta dan pendapat, serta menemukan sebab akibat.
  5. Sintesis seperti peserta didik dituntut untuk menghasilkan suatu cerita komposisi atau teorinya sendiri.
  6. Evaluasi yaitu dalam hal ini peserta didik mengevaluasi seperti bukti, sejarah, dan editorial
- b. Ranah efektif, berkenaan dengan sikap yang terdiri dari lima aspek yaitu penerimaan, jawaban atau reaksi, penilaian, organisasi, dan internalisasi. Sikap adalah kemampuan menerima atau menolak objek berdasarkan penilaian terhadap objek tersebut. Sikap berupa kemampuan menginternalisasi dan eksternalisasi nilai-nilai. Sikap merupakan kemampuan menjadikan nilai-nilai sebagai standar perilaku.
- c. Ranah Psikomotor, berkenaan dengan hasil belajar keterampilan dan kemampuan bertindak. Ada enam aspek yaitu gerak reflek, keterampilan gerakan dasar, kemampuan membedakan secara visual, keterampilan dibidang fisik, keterampilan kompleks dan keterampilan komunikasi.

Adapun faktor yang mempengaruhi hasil belajar, menurut Dalyono (dalam Setyowati, 2007) berhasil tidaknya seseorang dalam belajar disebabkan oleh dua faktor yaitu:

- a. Faktor Intern (yang berasal dari dalam diri orang yang belajar)
- Kesehatan: Kesehatan jasmani dan rohani sangat besar pengaruhnya terhadap kemampuan belajar. Bila seseorang yang tidak selalu sehat, sakit kepala, demam, pilek batuk dan sebagainya dapat mengakibatkan tidak bergairah untuk belajar. Demikian pula halnya jika kesehatan rohani (jiwa) kurang baik.

Intelegensi dan Bakat: Kedua aspek kejiwaan ini besar sekali pengaruhnya terhadap kemampuan belajar. Seseorang yang mempunyai intelegensi baik (IQ-nya tinggi) umumnya mudah belajar dan hasilnya pun cenderung baik. Bakat juga besar pengaruhnya dalam menentukan keberhasilan belajar. Jika seseorang mempunyai intelegensi yang tinggi dan bakatnya ada dalam bidang yang dipelajari, maka proses belajar akan lebih mudah dibandingkan orang yang hanya memiliki intelegensi tinggi saja atau bakat saja.

Minat dan Motivasi: Minat dapat timbul karena adanya daya tarik dari luar dan juga datang dari sanubari. Timbulnya minat belajar disebabkan beberapa hal, antara lain karena keinginan yang kuat untuk menaikkan martabat atau memperoleh pekerjaan yang baik serta ingin hidup senang atau bahagia. Begitu pula seseorang yang belajar dengan motivasi yang kuat, akan melaksanakan kegiatan belajarnya dengan sungguh-sungguh, penuh gairah dan semangat. Motivasi berbeda dengan minat. Motivasi adalah daya penggerak atau pendorong.

Cara belajar: Cara belajar seseorang juga mempengaruhi pencapaian hasil belajarnya. Belajar tanpa memperhatikan teknik dan faktor fisiologis, psikologis, dan ilmu kesehatan akan memperoleh hasil yang kurang.

- b. Faktor Eksternal (yang berasal dari luar diri orang belajar)
1. Keluarga: Faktor orang tua sangat besar pengaruhnya terhadap keberhasilan anak dalam belajar, misalnya tinggi rendahnya pendidikan, besar kecilnya penghasilan dan perhatian.
  2. Sekolah: Keadaan sekolah tempat belajar turut mempengaruhi tingkat keberhasilan anak. Kualitas guru, metode mengajarnya, kesesuaian kurikulum dengan kemampuan anak, keadaan fasilitas atau perlengkapan di sekolah dan sebagainya, semua ini mempengaruhi keberhasilan belajar.
  3. Masyarakat: Keadaan masyarakat juga menentukan hasil belajar. Bila sekitar tempat tinggal keadaan masyarakatnya terdiri dari orang-orang yang berpendidikan, terutama anak-anaknya, rata-rata bersekolah tinggi dan moralnya baik, hal ini akan mendorong anak giat belajar.
  4. Lingkungan sekitar: Keadaan lingkungan tempat tinggal, bangunan rumah, dan suasana sekitar juga sangat mempengaruhi hasil belajar.

## BAB VI

# PENENTUAN ENERGI KISI

Energi kisi merupakan data termodinamika yang sangat penting untuk memperkirakan kestabilan oksida yang akan disintesis. Beberapa rumusan untuk meramalkan energi kisi diantaranya persamaan energi kisi *Glasser (G)*, *Glasser-Jenkins (GJ)*, *Yoder-Flora (YF)*, dan simulasi atomistik. Dalam penelitian ini, energi kisi diprediksi dengan menggunakan persamaan Yoder-Flora,  $U(YF)$  dan simulasi atomistik,  $U(SA)$ . Sebelum kedua cara tersebut digunakan dalam penentuan energi kisi, terlebih dahulu ditentukan nilai energi kisi standar dari oksida perovskit dengan menggunakan daur Born-Haber. Hasil perhitungannya sebagai perbandingan dengan energi kisi yang diprediksi menggunakan persamaan Yoder-Flora dan simulasi atomistik. Tabulasi data perubahan entalpi pembentukan oksida perovskit ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1.** Tabulasi perhitungan energi kisi yang dihitung dengan siklus Born-Haber

Perovskit <sup>a</sup>	$\Delta H_{\text{atom}}^b$ kJ/mol	$\Delta H_{\text{ion}} \text{ dan } \Delta H_{\text{aff}}^c$ kJ/mol	$\Delta H_f^{0d}$ kJ/mol	$\Delta H_L^{0e}$ kJ/mol	$U(\text{BHC})^f$ kJ/mol
MgTiO <sub>3</sub>	869,78	13090,1	-1572,77	15532,65	15538,84
CaTiO <sub>3</sub>	901,45	12636,9	-1660,63	15198,98	15205,17
SrTiO <sub>3</sub>	886,18	12515,4	-1672,39	15073,97	15080,16
BaTiO <sub>3</sub>	901,25	12369,8	-1659,79	14930,84	14937,03

- Oksida perovskit yang dipilih adalah  $(\text{A}^{2+})(\text{B}^{4+})\text{O}_3$
- Entalpi pembentukan atom (Dean, 1979 dan Lide, 2003)
- Entalpi pembentukan ion  $(\text{A}^{2+})(\text{B}^{4+})$  dan afinitas ion  $\text{O}^{2-}$  (webelemen)
- Entalpi pembentukan oksida perovskit (Dean, 1979 dan Lide, 2003)
- Entalpi kisi oksida perovskit diperoleh melalui daur Born-Haber.
- Hasil konversi entalpi kisi menjadi energi kisi (Glasser dan Jenkins 2002)

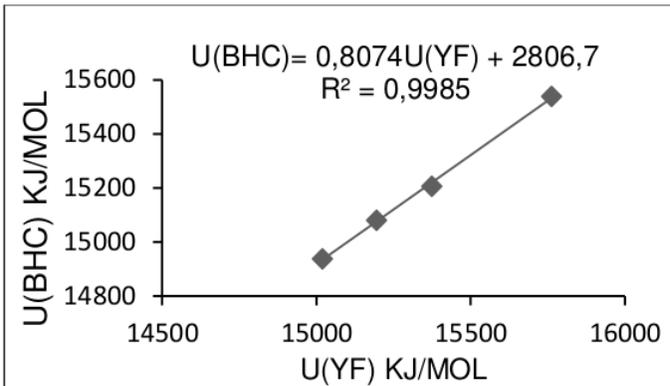
Selanjutnya, penentuan energi kisi menggunakan persamaan Yoder-Flora  $U(YF)$ . Yoder-Flora mengusulkan bahwa energi kisi mineral-mineral ionik kompleks dapat dihitung dengan menjadikannya sebagai gabungan energi kisi masing-masing jumlah mol garam-garam tunggal penyusunnya (Yoder dan Flora, 2005). Perbandingan energi kisi oksida perovskit  $U(\text{BHC})$  dan energi kisi hasil perhitungan menggunakan persamaan Yoder-Flora dengan  $U(YF) = \sum U_{\text{oksid A}} + \sum U_{\text{oksid B}}$  ditunjukkan pada Tabel 4.2

**Tabel 4.2** Perbandingan energi kisi oksida perovskit  $U(BHC)$  Terhadap  $U(YF)$

Formula	$U(BHC)$ (kJ/mol)	$U(YF)$ (kJ/mol)	Selisih (%)
MgTiO <sub>3</sub>	15538,84	15761,84	1,43
CaTiO <sub>3</sub>	15205,17	15373,78	1,10
SrTiO <sub>3</sub>	15080,4	15193,92	0,75
BaTiO <sub>3</sub>	14937,03	15019,45	0,55
Rata-rata			0,95

Persen selisih yang didapatkan mendekati hasil percobaan dengan rata-rata 0,95% yang menunjukkan bahwa persamaan Yoder-Flora sangat baik dalam meramalkan energi kisi oksida perovskit.

*Plotting* antara energi kisi oksida perovskit melalui daur Born-Haber dan persamaan sederhana menggunakan persamaan Yoder-Flora ditunjukkan pada Gambar 4.1. Hasil plottingnya diperoleh  $R^2 = 0,9985$  dengan persamaan linier [ $U(BHC) = 0,8074U(YF) + 2806,7$  + 2806,7 ]



**Gambar 4.1**  $U(BHC)$  vs  $U(YF)$

Penentuan energi kisi melalui simulasi atomistik,  $U(SA)$  melalui kontribusi interaksi *long-range* dan potensial Buckingham (interaksi tolak menolak ionik dan interaksi dispersi). Hasil perhitungan energi kisi oksida perovskit dari struktur yang teroptimasi serta perhitungan parameter sel dengan menggunakan simulasi GULP terdapat pada Tabel 4.3

**Tabel 4.3.** Parameter sel satuan hasil eksperimen dan hasil perhitungan oksida perovskit

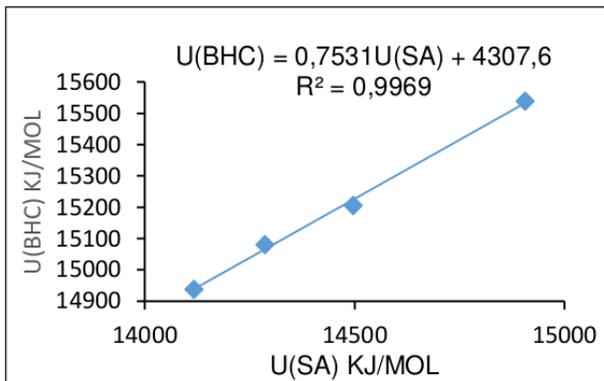
Formula	Parameter	Percobaan	Perhitungan	Selisih (%)
MgTiO <sub>3</sub>	$a$ (Å)	5,054000	5,109267	1,09
	$b$ (Å)	5,054000	5,109267	1,09
	$c$ (Å)	13,898000	13,788144	-0,79
	Energi kisi		14905,99	
CaTiO <sub>3</sub>	$a$ (Å)	3,795000	3,864250	1,82
	$b$ (Å)	3,795000	3,864250	1,82
	$c$ (Å)	3,795000	3,864250	1,82
	Energi kisi		14496,08	
SrTiO <sub>3</sub>	$a$ (Å)	3,905000	3,957989	1,36
	$b$ (Å)	3,905000	3,957989	1,36
	$c$ (Å)	3,905000	3,957989	1,36
	Energi kisi		14285,99	
BaTiO <sub>3</sub>	$a$ (Å)	3,99880	4,056537	1,44
	$b$ (Å)	3,99880	4,056537	1,44
	$c$ (Å)	4,02220	4,056653	0,86
	Energi kisi		14116,85	

Perbandingan tersebut menunjukkan hasil simulasi berkesesuaian baik dengan hasil eksperimen. Perbandingan antara energi kisi hasil simulasi atomistik dengan energi kisi daur Born-Haber ditunjukkan pada Tabel 4.4

**Tabel. 4.4** Perbandingan energi kisi oksida perovskit  $U(BHC)$  dan  $U(SA)$

Formula	$U(BHC)$ (kJ/mol)	$U(SA)$ (kJ/mol)	Selisih (%)
$MgTiO_3$	15538,84	14905,99	4
$CaTiO_3$	15205,17	14496,08	4,6
$SrTiO_3$	15080,4	14285,99	5,2
$BaTiO_3$	14937,03	14116,85	5,4
Rata-rata			4,8

*Plotting* antara energi kisi oksida perovskit melalui daur Born-Haber dan simulasi atomistik menggunakan GULP ditunjukkan pada Gambar 4.2. Hasil plottingnya diperoleh  $R^2 = 0,9969$  dengan persamaan linier [ $U(BHC) = 0,7531 U(SA) + 4307,6$ ]



**Gambar 4.2**  $U(BHC)$  vs  $U(SA)$  .

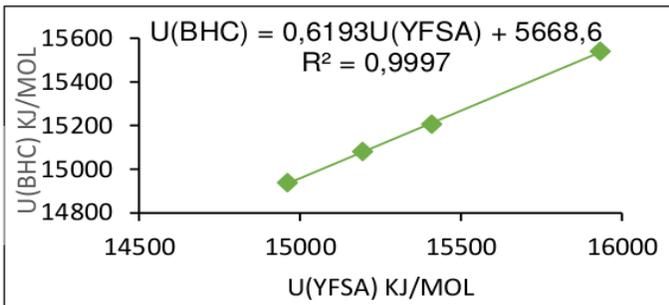
Berdasarkan hasil penentuan energi kisi oksida perovskit di atas, masing-masing metode penentuan energi kisi mempunyai kekurangan, sehingga untuk mengatasinya, kedua metode di atas dikombinasikan menghasilkan persamaan baru energi kisi Yoder-Flora-Simulasi atomistik,  $U(YFSA)$ .

Hasil perhitungan energi dengan menggunakan persamaan baru hasil kombinasi persamaan Yoder-Flora dan simulasi atomistik ditunjukkan pada Tabel 4.5. Rata-rata persentase selisih yang didapatkan 1,15 %.

**Tabel 4.5.** Perbandingan energi kisi oksida perovskit  $U(YFSA)$  dan  $U(BHC)$

Formula	$U(BHC)$ (kJ/mol)	$U(YFSA)$ (kJ/mol)	Selisih (%)
$MgTiO_3$	15538,84	15931,95	2,5
$CaTiO_3$	15205,17	15408,70	1,3
$SrTiO_3$	15080,4	15194,43	0,7
$BaTiO_3$	14937,03	14960,41	0,1
Rata-rata			1,15

Persamaan energi kisi  $U(YKSA)$  sangat berkesesuaian dengan energi kisi daur Born-Haber dapat dilihat pada Gambar 4.3. Hasil *plotting* diperoleh  $R^2 = 0,9997$  artinya persamaan ini sangat baik dan memuaskan dalam menghitung energi kisi oksida perovskit.



**Gambar 4.3**  $U(BHC)$  vs  $U(YFSA)$

# **BAB VII**

## **PENERAPAN MODEL PEMBELAJARAN BERBASIS RISET**

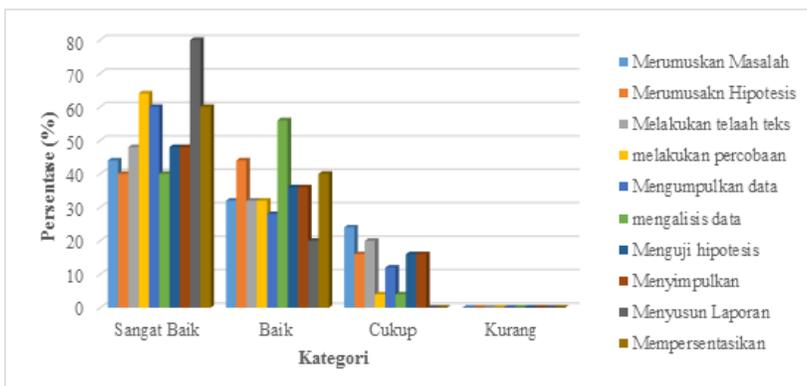
### **A. Pertemuan Pertama**

Proses pengamatan aktivitas mahasiswa dilakukan oleh 5 orang pengamat (mahasiswa), dimana setiap pengamat mengamati 1 kelompok yang terdiri dari 5 mahasiswa. Pengamatan dan penilaian dilakukan terhadap 8 aspek yaitu, merumuskan masalah, merumuskan hipotesis, melakukan telaah teks, melakukan percobaan, mengumpulkan data, menganalisis data, menguji hipotesis, dan menyimpulkan.

### **B. Pertemuan Kedua**

Proses pengamatan aktivitas mahasiswa dilakukan oleh 5 orang pengamat (mahasiswa), dimana setiap pengamat mengamati 1 kelompok yang terdiri dari 5 mahasiswa. Pengamatan dan penilaian dilakukan terhadap 2 aspek yaitu, menyusun laporan dan mempresentasikan.

Berdasarkan hasil pengamatan aktivitas mahasiswa, capaian persentasenya ditunjukkan pada Gambar 4.4



**Gambar 4.4** Persentase Hasil Pengamatan Aktivitas Mahasiswa

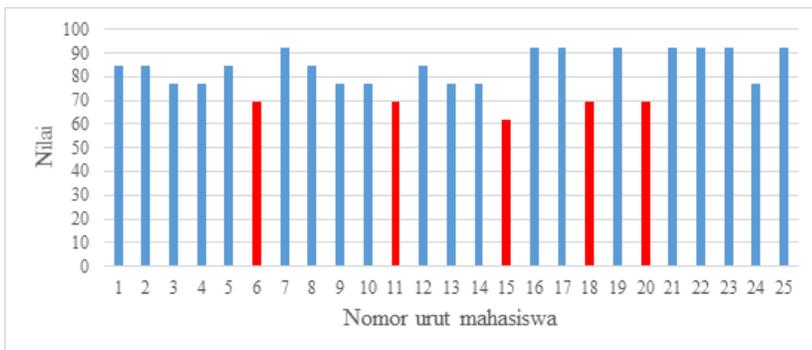
Hasil pengamatan aktivitas mahasiswa (1) Merumuskan masalah diperoleh kategori sangat baik 44 %, baik 32%, cukup 24%, dan kurang 0%. (2) Merumuskan hipotesis diperoleh kategori sangat baik 40%, baik 44%, cukup 16%, dan kurang 0%. (3) Melakukan telaah teks diperoleh kategori sangat baik 48%, baik 32%, cukup 20%, dan kurang 0%.(4) Melakukan percobaan diperoleh kategori sangat baik 64%, baik 32%, cukup 4%, dan kurang 0%.(5) Mengumpulkan data diperoleh kategori sangat baik 60%, baik 28%, cukup 12%, dan kurang 0%.(6) Menganalisis data diperoleh kategori sangat baik 40%, baik 56%, cukup 4%, dan kurang 0%. (7) Menguji hipotesis diperoleh kategori sangat baik 48%, baik 36%, cukup 16%, dan kurang 0%.(8) Menyimpulkan diperoleh kategori sangat baik 48%, baik 36%, cukup 16%, dan kurang 0%.(9) Menyusun laporan diperoleh kategori sangat baik 80%, baik 20%, cukup 0%, dan kurang 0%.(10) Mempersentasikan diperoleh kategori sangat baik 60%, baik 40%, cukup 0%, dan kurang 0%.

Keberhasilan suatu pembelajaran diukur dari hasil belajar. Dalam penelitian ini untuk mengukur hasil belajar dilakukan evaluasi berupa tes soal esay sebagaimana terdapat pada laampiran. Soal yang diberikan terdiri 5 butir soal dengan skor maksimum 65.

Berdasarkan teknik analisis data pada bab III, ketuntasan belajar terdiri dari ketuntasan individual dan ketuntasan klasikal. Ketuntasan individual yaitu ketuntasan siswa yang diperoleh secara individu, sedangkan ketuntasan klasikal yaitu peresentse siswa yang tuntas untuk seluruh mahasiswa.

### C. Ketuntasan Individual

Ketuntasan individual yaitu ketuntasan siswa yang diperoleh secara individu diperoleh dengan cara membagi antara skor yang diperoleh mahasiswa dengan skor total. Adapun hasil belajar mahasiswa dalam bentuk ketuntasan individu dapat dilihat pada Gambar 4.5



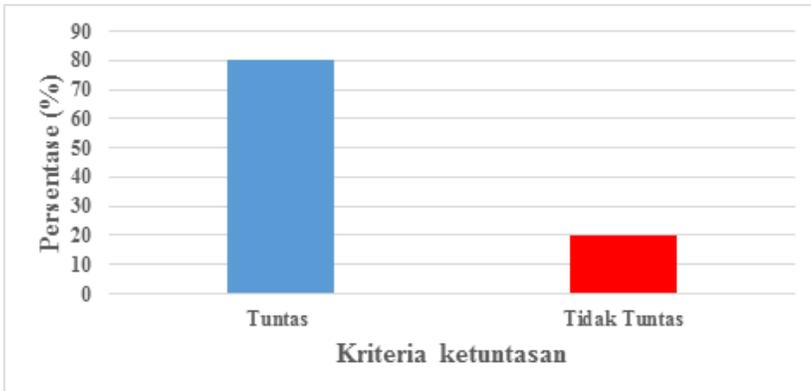
**Gambar 4.5** Hasil belajar mahasiswa secara individual

Berdasarkan Gambar 4.5 di atas, mahasiswa yang memperoleh nilai tuntas sebanyak 20 mahasiswa dengan nilai 76,92 – 92,30 sedangkan nilai yang tidak tuntas terdapat 5 mahasiswa dengan

nilai 61,5 – 69,2 dalam penentuan energi kisi perovskit melalui pembelajaran berbasis riset.

#### D. Ketuntasan Klasikal

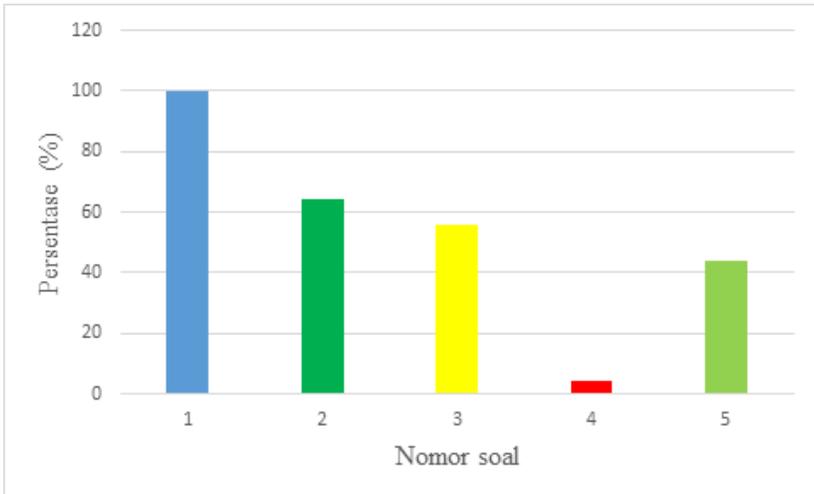
Ketuntasan klasikal dapat dilihat dengan jumlah mahasiswa yang tuntas dibagi dengan jumlah keseluruhan mahasiswa. Ketuntasan klasikal mahasiswa ditunjukkan pada Gambar 4.6



**Gambar 4.6** Hasil belajar mahasiswa secara klasikal

Berdasarkan Gambar 4.6 di atas, mahasiswa kelas kimia A melalui pembelajaran berbasis riset dapat dikatakan sangat baik. Ketuntasan klasikal hingga mencapai 80% dan 20 % tidak tuntas.

Berdasarkan 5 butir soal esay yang diberikan, berikut Gambar 4.7 menyajikan persentase capaian masing-masing soal terhadap 25 mahasiswa.



**Gambar 4.7.** Persentase mahasiswa yang menjawab benar mencapai skor maksimal pada masing-masing soal

Berdasarkan Gambar 4.7 dari 25 mahasiswa yang menjawab dengan benar mencapai skor maksimal pada soal nomor 1 sebanyak 25 mahasiswa (100%), soal nomor 2 sebanyak 16 mahasiswa (64%), soal nomor 3 sebanyak 14 mahasiswa (56%), soal nomor 4 sebanyak 1 mahasiswa (4%), dan nomor 5 sebanyak 11 mahasiswa (44%). Sedangkan mahasiswa lainnya yang hanya mendapat skor sesuai capaian dalam mengisi jawaban dari soal yang diberikan.

## BAB VIII

# PENENTUAN ENERGI KISI STANDAR MELALUI SIKLUS BORN-HABER

Dalam penentuan energi kisi standar melalui siklus Born-Haber menurut Glasser dan Jenkins (2002) masih dianggap sebagai entalpi kisi  $\Delta H_L^0$  maka harus dikonversi menggunakan persamaan 3.2 energi potensial kisi. Glasser dan Jenkins (2002) mengemukakan bahwa energi kisi dipengaruhi oleh jenis ionnya sehingga dalam persamaan 3.2 terdapat variabel  $n$  yang bernilai 3 jika ionnya monoatomik, 5 jika ionnya linear, dan 6 jika ionnya poliatomik. Dengan menggunakan persamaan 3.2, diperoleh energi kisi berdasarkan daur Born-Haber  $U(BHC)$  oksida perovskit hasilnya seperti tertera pada Tabel 4.1.

Persentase selisih yang sangat besar dalam penentuan energi kisi oksida perovskit terjadi pada perhitungan energi kisi melalui simulasi atomistik menggunakan GULP. Penyebabnya pada dasar pengambilan data potensial Buckingham. Dalam perhitungan energi kisi melalui simulasi atomistik menggunakan GULP, ion-ion mengalami relaksasi sehingga konfigurasi energi terendah tercapai sesuai dengan potensial yang digunakan (jika tidak ada perubahan posisi ion, maka pergerakan ion telah berada pada posisi kesetimbangan). Perhatian besar yang dibutuhkan dalam simulasi ini adalah memastikan bahwa perbedaan hasil simulasi dengan

data eksperimen harus tetap dijaga agar tetap minimum selama proses fitting. Hal ini dilakukan untuk memastikan kesesuaian baik antara kisi hasil simulasi dan kenyataan (Sadapu, 2015). Data potensial Buckingham yang digunakan akan mempengaruhi perbedaan parameter sel. Potensial Buckingham antara ion dalam senyawa oksida perovskit ditunjukkan pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6.** Komponen potensial Buckingham untuk senyawa oksida perovskit

<i>a. Short-Range</i>	<i>A (eV)</i>	<i>r (Å)</i>	<i>C(eV Å<sup>-6</sup>)</i>
O <sup>2-</sup> ...O <sup>2-</sup>	22764,3	0,1490	0,0
Ti <sup>4+</sup> ...O <sup>2-</sup>	754,2	0,3879	0,0
Mg <sup>2+</sup> ...O <sup>2-</sup>	2457,243	0,2610	0,0
Ca <sup>2+</sup> ...O <sup>2-</sup>	2272,741	0,2986	0,0
Sr <sup>2+</sup> ...O <sup>2-</sup>	1956,702	0,3252	0,0
Ba <sup>2+</sup> ...O <sup>2-</sup>	4818,416	0,3067	0,0

<i>b. Shell model</i>		
<i>Species</i>	<i>k(eV Å<sup>-2</sup>)</i>	<i>Shell (e)</i>
O <sup>2-</sup>	39,56	-3,510
Ti <sup>4+</sup>	37,30	2,890
Mg <sup>2+</sup>	350,00	0,420
Ca <sup>2+</sup>	34,00	1,281
Sr <sup>2+</sup>	21,53	1,831
Ba <sup>2+</sup>	14,74	1,831

Perbandingan parameter hasil eksperimen dan perhitungan tidak lebih dari 2% seperti yang tertera pada Tabel 4.3. Perbandingan tersebut menunjukkan hasil simulasi berkesesuaian baik dengan hasil eksperimen. Selisih yang didapat pada penelitian

ini hampir sama dengan selisih hasil perhitungan parameter sel yang dilaporkan oleh Islam.dkk pada oksida perovskit  $\text{LaAlO}_3$ ,  $\text{LaCoO}_3$ , dan  $\text{CaMnO}_3$  dengan program simulasi yang sama (Islam, 1996). Dengan demikian semakin kecil perbedaan parameter sel hasil eksperimen dan hasil perhitungan maka hasil perhitungan energi kisi semakin mendekati energi kisi daur Born-Haber.

Persentase selisih  $U(BHC)$  dengan  $U(YF)$  yang diperoleh 0,1 – 1,4% dengan rata-rata 0,95 %. Hasil yang diperoleh tersebut membuktikan persamaan Yoder-Flora sangat akurat dengan rata-rata kurang dari 1%. Penggunaan persamaan Yoder-Flora dapat dikatakan sangat memuaskan. Khususnya untuk senyawa-senyawa oksida ionik kompleks, persamaan Yoder-Flora terbukti keakuratannya seperti pada kasus perovskit maupun pada hasil observasi mereka pada sejumlah mineral yang menghasilkan rata-rata selisih kurang dari 0,75% (Yoder, 2005). Penyebab keakuratannya karena pada pembentukan oksida perovskit dari oksida-oksida pembentukannya hanya menghasilkan perubahan entalpi yang sangat kecil, sehingga perhitungan energi kisi suatu oksida ionik kompleks akan sangat kecil persentasenya terhadap energi kisi daur Born-Haber.

Persamaan Yoder-Flora memang sangat memuaskan namun nilai energi kisi daur Born-Haber dari sebagian oksida-oksida pembentukannya tidak diketahui, mengingat persamaan Yoder-Flora menggunakan energi kisi oksida-oksida pembentukan perovskit. Kemudian perbedaan parameter sel eksperimen dan hasil perhitungan bagi oksida ionik kompleks masih dalam rentang yang sedikit besar.

Masalah tersebut membawa kepada ide untuk mengkombinasikan persamaan Yoder-Flora dan simulasi atomistik. Dengan asumsi bahwa perbedaan parameter sel hasil

eksperimen dan perhitungan senyawa oksida pembentuknya lebih kecil maka persamaan Yoder-Flora (*YF*) dapat dikombinasikan dengan simulasi atomistik (*SA*) pada oksida perovskit yang menghasilkan persamaan kombinasi Yoder-Flora-simulasi atomistik (*YFSA*).

$$U(YFSA) = \sum U(SA)_{\text{oksida A}} + \sum U(SA)_{\text{oksida B}}$$

dengan  $(SA)_{\text{oksida A}}$  dan  $(SA)_{\text{oksida B}}$  berturut-turut adalah simulasi atomistik oksida A (MgO, CaO, SrO, BaO) dan simulasi atomistik oksida B (TiO<sub>2</sub>).

Penggabungan persamaan Yoder-Flora dengan persamaan lainnya pernah dilakukan Suhendar (2008). Dalam tulisannya Suhendar menggabungkan persamaan energi kisi Yoder-Flora dengan persamaan Kapustinski pada oksida piroklor. Persamaan tersebut menghasilkan persentase selisih kurang dari 3% terhadap energi kisi daur Born-Haber sehingga dapat dikatakan persamaan tersebut cukup memuaskan dalam meramalkan energi kisi oksida piroklor.

Dengan berhasil dirumuskannya persamaan kombinasi ini diharapkan dapat mengatasi kekurangan dari kedua metode tersebut dan energi kisi senyawa oksida perovskit hipotetis dapat diperkirakan melalui persamaan ini.

Penerapan model Pembelajaran berbasis riset dikemas dalam praktikum, karena praktikum merupakan salah satu langkah dalam melakukan riset. Praktikum dimulai dengan memberikan LKM kepada mahasiswa yang terdapat pada lampiran. Kemudian mahasiswa melakukan langkah-langkah dalam melakukan riset.

## A. Merumuskan masalah

Merumuskan masalah merupakan proses yang penting dalam suatu riset atau penelitian yang didasarkan pada fenomena atau kasus yang terjadi dalam kehidupan. Berdasarkan LKM yang diberikan, mahasiswa dapat merumuskan masalah yang mengandung unsur data yang mendukung pemecahan masalah penelitian, menjadi dasar perumusan hipotesis, dan bentuk rumusan masalah berupa pertanyaan sesuai kasus yang terdapat pada LKM. Pengamatan aktivitas mahasiswa diperoleh kategori sangat baik 44 %, baik 32%, cukup 24% dan Kurang 0%. Berikut hasil rumusan masalah yang dikemukakan dari salah satu mahasiswa yang mendapat kategori sangat baik:

*“Bagaimana mengetahui kestabilan suatu unsur?”*

*“Bagaimana meramalkan senyawa oksida energi kisi perovskit?”*

## B. Merumuskan Hipotesis

Hipotesis merupakan jawaban sementara terhadap rumusan masalah penelitian. Hipotesis harus disusun berdasarkan teori, fakta dan menerangkan fakta. Mahasiswa dapat merumuskan hipotesis dalam bentuk kalimat pernyataan deklaratif, sesuai dengan teori, fakta dan dapat menerangkan fakta, dan hipotesis harus sederhana (spesifik) dan jelas. Pengamatan aktivitas mahasiswa merumuskan hipotesis diperoleh kategori sangat baik 40%, baik 44%, cukup 16%, dan kurang 0%. Berikut hasil rumusan hipotesis dari salah satu mahasiswa yang mendapat kategori sangat baik:

*“Kestabilan dapat diketahui melalui energi kisi.”*

*“Energi kisi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Yoder-Flora dan Simulasi Atomistik.”*

### C. Melakukan telaah teks

Telaah teks merupakan proses pencarian informasi terkait dengan penelitian yang dilakukan. Teks dapat berupa buku dan jurnal hasil penelitian. Mahasiswa dapat melakukan telaah teks yang berhubungan masalah dan hipotesis yang telah dirumuskan serta dapat memahami dan mendeskripsikan hasil kegiatan telaah teks mereka. Pengamatan aktivitas mahasiswa melakukan telaah teks diperoleh kategori sangat baik 48%, baik 32%, cukup 20%, dan kurang 0%. Berikut hasil deskripsi telaah teks dari salah satu mahasiswa yang mendapat kategori sangat baik:

*“Energi kisi dapat ditentukan menggunakan siklus Born-Haber, dengan persamaan :  $U(\text{BHC}) = \sum \Delta H_{\text{atom}} + \sum \Delta H_{\text{ion}} + \sum \Delta H_{\text{aff}} - \Delta H_{\text{f}}^{\text{ABO}_3}$   
Namun harus diubah atau dikonversi dalam persamaan energi potensial sebagai hasil eksperimen menurut Glessler-Jenkins, dengan persamaan :*

$$U_{\text{pot}}(\text{M}_p\text{X}_q) = (\Delta H_L^\circ) - [p(-2)] + [q(-2)]RT$$

*Sementara itu persamaan teoritis yang dikemukakan oleh Yoder-Flora, yaitu:  $(YF)_{\text{OP}} = \sum U(\text{BHC})_{\text{OA}} + \sum U(\text{BHC})_{\text{OB}}$*

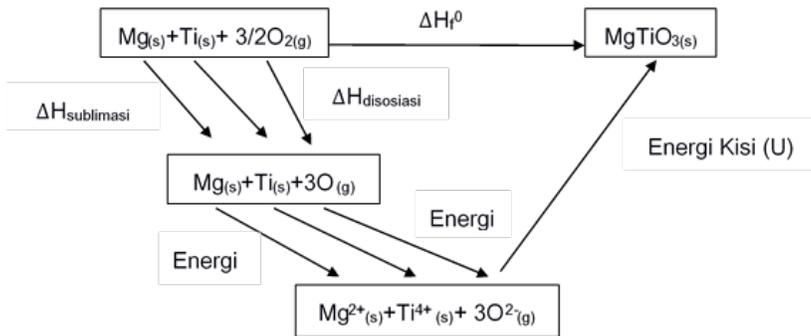
*Selain itu pula, penentuan energi kisi teoritis ini pula dapat ditentukan melalui*

*simulasi atomistik melalui komputer dengan software GULP (General Utility Lattice Program).”*

### D. Melakukan percobaan

Melakukan percobaan merupakan proses pengambilan data dengan menggunakan metode tertentu. Penelitian ini bertujuan agar mahasiswa dapat mencari rumusan yang tepat dalam meramalkan energi kisi perovskit sehingga metode yang dilakukan adalah metode perhitungan menggunakan persamaan Yoder-Flora dan metode simulasi atomistik. Mahasiswa dapat memahami dan

melakukan kedua metode di atas dengan benar. Pengamatan aktivitas mahasiswa melakukan percobaan diperoleh kategori sangat baik 64%, baik 32%, cukup 4% dan kurang 0%. Berikut hasil pengamatan melakukan percobaan yang mendapat kategori sangat baik:



**Gambar 4.8.** Siklus Born-Haber  $MgTiO_3$  yang dibuat oleh mahasiswa

```

opti comp prop comp c6
title
Sriyanti Zainal MgTiO3
end
cell
5.05400 5.05400 13.89800 90.0000 90.0000 120.0000
frac
Ti core 0.00000 0.00000 0.14496 1.110
Ti shel 0.00000 0.00000 0.14496 2.890
O core 0.31590 0.02180 0.24641 0.5130
O shel 0.31590 0.02180 0.24641 -2.5130
Mg core 0.00000 0.00000 0.35563 1.580
Mg shel 0.00000 0.00000 0.35563 0.420
space
148
buckingham
Mg shel 0 shel 2457.243 0.2610 0.00 0.0 12
Ti shel 0 shel 754.2 0.3879 0.00 0.0 12
O shel 0 shel 22764.3 0.1490 0.00 0.0 12
spring
Mg 349.95
O 86.4
Ti 37.30

```

**Gambar 4.9.** Data input yang dibuat oleh mahasiswa

### E. Mengumpulkan data

Mengumpulkan data adalah proses mengklasifikasikan data yang telah diperoleh melalui percobaan. Dalam mengumpulkan data mahasiswa diharapkan dapat mengumpulkan berdasarkan hasil percobaan dengan benar dan dapat dipertanggung jawabkan. Pengamatan aktivitas mahasiswa mengumpulkan data diperoleh kategori sangat baik 60%, baik 28%, cukup 12% dan kurang 0%. Berikut hasil mengumpulkan data dari salah satu mahasiswa yang mendapat kategori sangat baik:

**Tabel 4.7.** Hasil perhitungan mahasiswa

Formula	U(BHC) kJ/mol	U(YF) kJ/mol	Selisih U(BHC) vs U(YF)	U(SA) kJ/mol	Selisih U(BHC) vs U(SA)
MgTiO <sub>3</sub>	15538,84	15761,84	1,43%	14905.9	4%
CaTiO <sub>3</sub>	15205,17	15373,78	1,10%	14496.08	4,6%
SrTiO <sub>3</sub>	15080,16	15193,92	0,75%	14285.99	5,2%
BaTiO <sub>3</sub>	14937.03	15019,45	0,55%	14116.85	5,4%

### Menganalisis data

Menganalisis data merupakan proses identifikasi serta pembahasan data yang telah dikumpulkan. Mahasiswa dapat menganalisis data secara sistematis, mengidentifikasi secara induktif, dan mengelompokkan faktor-faktor yang diakibatkan oleh data yang diperoleh. Pengamatan aktivitas mahasiswa menganalisis data diperoleh kategori sangat baik 40%, baik 56%, cukup 4%, dan kurang 0%. Berikut hasil menganalisis data dari salah satu mahasiswa yang mendapat kategori sangat baik:

*“Berdasarkan tabel persentase  $U(BHC)$  dengan  $U(YF)$  berkisar antara 0,5% sampai 1,4%. Hal ini menunjukkan perbedaan yang cukup kecil dan memang berdasarkan literatur juga dikatakan bahwa perbedaan antara keduanya adalah sekitar 0,5%”.*

*“Tabel persentase  $U(BHC)$  dengan  $U(SA)$  berkisar antara 4,0% sampai 5,4%. Hal ini disebabkan karena antara  $U(BHC)$  dan  $U(SA)$  memiliki selisih yang sedikit lebih besar. Penyebabnya pada dasar pengambilan data potensial Buckingham. Dalam perhitungan energi kisi melalui simulasi atomistik menggunakan GULP, ion-ion mengalami relaksasi sehingga konfigurasi energi terendah tercapai sesuai dengan potensial yang digunakan (jika tidak ada perubahan posisi ion, maka pergerakan ion telah berada pada posisi kesetimbangan).”*

## **F. Menguji hipotesis**

Menguji hipotesis merupakan proses pembuktian hipotesis yang telah dirumuskan sebelumnya berdasarkan hasil analisis data. Mahasiswa dapat mengidentifikasi serta membuktikan hipotesis yang telah dirumuskan sebelumnya berdasarkan analisis data dan melakukan percobaan berulang-ulang untuk membuktikan kembali. Pengamatan aktivitas mahasiswa menguji hipotesis diperoleh kategori sangat baik 48%, baik 36%, cukup 16%, dan kurang 0%. Berikut hasil menguji hipotesis dari salah satu mahasiswa yang mendapat kategori sangat baik:

*“Berdasarkan percobaan dapat dibuktikan bahwa persamaan Yoder-Flora dan Simulasi Atomistik dapat digunakan untuk menentukan energi kisi teoritis”*

## G. Menyimpulkan

Menyimpulkan merupakan proses sintesis dari semua kegiatan yang dilakukan serta hasil dan analisis data yang diperoleh. Mahasiswa diharapkan dapat menyimpulkan hasil yang diperoleh berdasarkan hubungan antara hasil eksperimen dengan hipotesis, dapat mensintesis semua jawaban dalam satu kesimpulan yang merangkum permasalahan penelitian secara keseluruhan, dan dapat menarik kesimpulan berdasarkan data, fakta atau asumsi yang benar. Pengamatan aktivitas mahasiswa menyimpulkan diperoleh kategori sangat baik 48%, baik 36%, cukup 16%, dan kurang 0%. Berikut hasil kesimpulan dari salah satu mahasiswa yang mendapat kategori sangat baik:

*“Energi kisi eksperimen ( $U(BHC)$ ) dengan energi kisi teoritis Yoder-Flora ( $U(YF)$ ) yaitu 0,55-1,4% dengan rata-rata 0,95%. Selain itu selisih antara energi kisi eksperimen ( $U(BHC)$ ) dengan energi kisi teoritis Simulasi Atomistik ( $U(SA)$ ) dengan dengan hasil selisih sedikit lebih besar yaitu 4-5,4% dengan rata-rata 4,8%.  $U(BHC)$  merupakan energi kisi yang ditentukan melalui perhitungan eksperimen. Sehingga persamaan perhitungan energi kisi teoritis yang hasilnya memiliki selisih terkecil dengan energi kisi eksperimen merupakan persamaan terbaik karena mendekati hasil eksperimen. Jadi persamaan yang mendekati hasil perhitungan eksperimen atau yang lebih baik digunakan ialah persamaan Yoder-Flora.”*

## H. Menyusun laporan

Menyusun laporan merupakan proses publikasi serta pelaporan semua hasil kegiatan penelitian dalam bentuk tulisan secara sistematis. Mahasiswa dapat menyusun laporan secara sistematis, melaporkan berdasarkan hasil penelitian dan dapat menggunakan bahasa Indonesia yang baik dan benar serta logis

sesuai dengan fakta-fakta yang diperoleh. Pengamatan aktivitas mahasiswa menyusun laporan diperoleh kategori sangat baik 80%, baik 20%, cukup 0%, dan kurang 0%. Hasil laporan dari salah satu mahasiswa dapat dilihat pada lampiran 12.

## **I. Mempresentasikan**

Mempresentasikan merupakan proses pertanggungjawaban hasil publikasi kepada forum ilmiah. Mahasiswa diharapkan dapat mempresentasikan dengan cara membuat garis-garis besar hasil penelitian, memancing banyak pertanyaan, dan memberikan jawaban dengan benar dan tepat sesuai dengan hasil penelitian. Pengamatan aktivitas mahasiswa mempresentasikan diperoleh kategori sangat baik 60%, baik 40%, cukup 0%, dan kurang 0%.

Berdasarkan hasil pengamatan aktivitas mahasiswa yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 menunjukkan persentase aktivitas mahasiswa dalam proses pembelajaran berbasis riset pada kategori sangat baik dan baik. Hal ini disebabkan karena faktor Pengalaman belajar. Mahasiswa semester VI sudah melalui banyak pengalaman belajar. Mulai dari pembelajaran di dalam kelas hingga pada proses praktikum sehingga dalam pembelajaran riset mahasiswa mampu melaksanakannya dengan baik. Pembelajaran di dalam kelas mahasiswa selalu dilatih dalam memecahkan masalah sehingga mahasiswa sangat terlatih dalam memecahkan masalah, kemudian dalam hal praktikum, mahasiswa selalu dilatih memahami suatu kegiatan praktikum, mengalisis data yang didapatkan serta membuat laporan kemudian dipresentasikan berdasarkan hasil praktikum yang mereka dapatkan.

# **BAB IX**

## **KEBERHASILAN SUATU PEMBELAJARAN DIUKUR DARI HASIL BELAJAR**

Keberhasilan suatu pembelajaran diukur dari hasil belajar. Dalam penelitian ini untuk mengukur hasil belajar dilakukan evaluasi berupa tes soal esay sebagaimana terdapat pada lampiran. Soal yang diberikan terdiri 5 butir soal dengan skor maksimum 65.

### **A. Ketuntasan Individual**

Ketuntasan individual yaitu ketuntasan siswa yang diperoleh secara individu diperoleh dengan cara membagi antara skor yang diperoleh mahasiswa dengan skor total. Berdasarkan Gambar 4.5, mahasiswa yang memperoleh nilai tuntas sebanyak 20 mahasiswa sedangkan nilai yang tidak tuntas terdapat 5 mahasiswa. Mahasiswa yang hasil belajarnya tidak tuntas disebabkan karena saat proses penelitian mahasiswa tidak melakukannya dengan baik sehingga berdampak pada hasil belajarnya.

### **B. Ketuntasan Klasikal**

Ketuntasan klasikal dapat dilihat dengan jumlah mahasiswa yang tuntas dibagi dengan jumlah keseluruhan mahasiswa. Berdasarkan Gambar 4.6, mahasiswa kelas kimia A

melalui pembelajaran berbasis riset dapat dikatakan sangat baik. Ketuntasan klasikal hingga mencapai 80% dan 20 % tidak tuntas.

Berdasarkan soal yang diberikan, dari 25 mahasiswa yang menjawab dengan benar mencapai skor maksimal pada soal nomor 1 sebanyak 25 mahasiswa (100%). Soal nomor 1 menuntut mahasiswa dapat mendefinisikan energi kisi serta menunjukkan reaksi yang disertai energi kisi melalui gambar subatomik dari proses pembentukan kristal LiF. Soal ini cukup mudah sehingga semua mahasiswa dapat menjawab dengan benar.

Soal nomor 2 menuntut mahasiswa menghitung energi kisi NaCl melalui daur Born-Haber. Langkah pertama mahasiswa harus dapat membuat daur Born-Haber serta menjelaskan setiap perubahan dan energi yang menyertainya, kemudian mahasiswa mencari data entalpi dan menghitung energi kisi. Berdasarkan hal tersebut diperoleh, sebanyak 16 mahasiswa (64%) menjawab benar sesuai dengan skor maksimal sedangkan sebanyak 9 mahasiswa (36%) tidak mencapai skor maksimal. Hal tersebut disebabkan karenamahasiswa hanya benar dalam membuat daur Born-Haber tanpa dapat menjelaskannya dan sebagian mahasiswa lainnya masih keliru dalam hal perhitungan energi kisi.

Soal nomor 3menuntut mahasiswa dapat menghitung energi kisi oksida perovskit  $\text{LaAlO}_3$  menggunakan persamaan Yoder-Flora. Dalam mendapatkan energi kisi melalui persamaan Yoder-Flora, mahasiswa harus membuat daur Born-Haber dari oksida pembentukan  $\text{LaAlO}_3$  kemudian menghitung energi kisi dari masing-masing oksida. Berdasarkan hal tersebut,sebanyak 14 mahasiswa (56%) dapat menjawab benar sesuai dengan skor maksimal sedangkan 11 mahasiswa (44%) tidak mencapai skor maksimal. Hal ini disebabkan karena mahasiswa keliru dalam membuat daur Born-haber dari oksida  $\text{LaAlO}_3$ . Kekeliruan

mahasiswa disebabkan karena dalam pelaksanaan pembelajaran berbasis riset mahasiswa hanya sering membuat daur Born-Haber dengan logam divalen dan tetravalen, sedangkan dalam soal nomor 3  $\text{LaAlO}_3$  memiliki logam trivalen.

Soal nomor 4 menuntut mahasiswa untuk menghitung energi kisi melalui simulasi atomistik dengan memasukan data input berupa data *Parameter cell, fractionasi, speace, Buckingham*, dan spring kemudian melakukan simulasi atomistik menggunakan GULP sesuai dengan langkah-langkah simulasi. Berdasarkan hal tersebut, sebanyak 1 mahasiswa (4%) dapat menjawab benar sesuai dengan skor maksimal sedangkan 24 mahasiswa (96%) tidak mencapai skor maksimal. Hal ini disebabkan karena mahasiswa hanya tau membuat data input tanpa memperhatikan data yang dimasukkan sehingga saat melakukan simulasi, GULP tidak merespon (*error*).

Soal nomor 5 menuntut mahasiswa menyimpulkan energi kisi yang didapatkan pada soal nomor 3 dan nomor 4. Berdasarkan hal tersebut, sebanyak 11 mahasiswa (44%) dapat menjawab benar sesuai dengan skor maksimal, sedangkan 14 mahasiswa (56%) tidak mencapai skor maksimal. Hal ini disebabkan karena mahasiswa menyimpulkan tidak sesuai dengan harapan soal dan juga data energi kisi nomor 4 tidak diperoleh

# BAB XI

## PENUTUP

### A. Kesimpulan

Energi kisi oksida perovskit  $MTiO_3$  ( $M = Mg, Ca, Sr, \text{ dan } Ba$ ) menggunakan persamaan Yoder-Flora diperoleh secara berturut-turut 15761,84 kJ/mol, 15373,78 kJ/mol, 15193,92 kJ/mol, dan 15019,45 kJ/mol serta melalui simulasi atomistik diperoleh secara berturut-turut 14905,99 kJ/mol, 14496,08 kJ/mol, 14285,99 kJ/mol, dan 14116,85 kJ/mol. Untuk menutupi kekurangan kedua metode tersebut maka dihasilkan persamaan kombinasi dengan energi kisi oksida perovskit secara berturut-turut 15931,95 kJ/mol, 15408,70 kJ/mol, 15194,43 kJ/mol, dan 14960,41 kJ/mol. Berdasarkan hasil pengamatan dari 10 aktivitas mahasiswa diperoleh rata-rata kategori sangat baik 53,2%, baik 35,6%, cukup 11,2%, dan kurang 0%. Pemahaman mahasiswa berdasarkan hasil belajar mahasiswa terhadap penentuan energi kisi oksida perovskit menggunakan persamaan Yoder-Flora sebesar 56% dan simulasi atomistik 4% melalui pembelajaran berbasis riset.

### B. Saran

Perhitungan energi kisi dengan metode perhitungan menggunakan persamaan Yoder-Flora dan simulasi atomistik untuk oksida perovskit masih sedikit diharapkan penelitian

selanjutnya dapat menggunakan lebih banyak oksida dan pembelajaran berbasis riset tidak hanya sebatas pada materi energi kisi tetapi dapat diterapkan pada semua materi.

# DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, Mulyono. 2003. *Pendidikan Bagi Anak Berkesulitan Belajar*. Jakarta: Rineka Cipta
- Arifin, P. 2010. *Research Based Learning*. Simposium Univesitas Negeri Sebelas Maret.
- Balasubramanian, V. 2007. *Chemistry*. Tamilnadu Textbook Corporation College Road, Chennai - 600 006
- Blume, S. 2015. Die Lernfabrik – Research-based Learning for Sustainable Production Engineering. *Procedia CIRP* 32, 126 – 131.
- Carlos, Juan. 2016 *Synthesis of Perovskite Oxides by Hydrothermal Processing – From Thermodynamic Modelling to Practical Processing Approaches*.
- Chrysti, S, Kartika. 2012. Implementasi Pembelajaran Berbasis Riset Kajian: Fermentasi Limbah Cucian Beras (Ieri) untuk Pembuatan Nata pada Mata Kuliah Konsep Dasar IPA Mahasiswa S1 PGSD FKIP UNS. Seminar Nasional VIII Pendidikan Biologi.
- Dean, J.A, 1979, *Lange's Handbook of Chemistry, 11<sup>th</sup> ed.*, McGraw-Hill: New York; pp 9:4-9:128.
- Dove, T Martin. 2007. *An Introduction to atomistic simulation methods*. *Seminarios de la SEM*, Vol. 4, 7-37.
- Gale Julian D. 1987. *General utility lattice program*. Nanochemistry Research Insitute, Departement of Applied Chemistry, Curtin University of Technology. Australia.

- Islam, M.S., Cherry, M., and Winch, L. J., 1996, *Defect Chemistry of LaBO<sub>3</sub> (Al, Mn or Co) Perovskite-type Oxides: Relevance to Catalytic and Transport Behaviour*, *Journal of Chemical Society Faraday Transactions*, 92, 479.
- Jenkins, H. D. B. and L. Glasser, 2002, *Ionic Hydrates, M<sub>p</sub>X<sub>q</sub>-nH<sub>2</sub>O: Lattice Energy and Standar Enthalpy of Formation Estimation*, *Inorg. Chem*, 41:17, 4378-4388.
- Kilo, A, L. 2013. *Studi kestabilan  $\alpha$ -Bi<sub>2</sub>VO<sub>5,5</sub> dan  $\beta$ -Bi<sub>2</sub>VO<sub>5,5</sub> melalui simulasi atomistik*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Matematika II.
- Koestiari. 2014. *Pengembangan Peta Konsep Pada Mata Kuliah Kimia Padatan*. Prosiding Seminar Nasional Kimia.
- Kusrini, 2015. *Simulasi atomistik oksida ceria (CeO<sub>2</sub>) yang didoping oksida trivalen*. Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo
- Lide, David R. 2003, *CRC Handbook, 84<sup>th</sup> ed.*, CRC Press: Boca Raton, Florida, pp 5:5-5:60, 5:85-5:86.
- Mundscaw, M.V.,Cristtopher G.B., David A.G.Jr.,(2008), *Diesel Fuel Reforming Using Catalytic Membran Reaktor*, *Catalysis Today*, 136 (2008) 190 – 205
- Poonpan, S. 2001. *Indicators of Research-Based Learning Instructional Proses : A Case Study of Best Practice in a Primary School*. Disertasi. Faculty of Education, Chulalongkom University Phaya Thai. Bangkok. Thailand.
- Purwanto, Ngalim. 2009. *Evaluasi Hasil Belajar*. Yogyakarta. Pustaka Pelajar
- Sadapu, S. 2015. *Pengaruh Substitusi Bi secara Parsial oleh Dopan (A = Ba, Ca, Sr dan Pb) dalam Lapisan [Bi<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]<sup>2+</sup> pada*

*Oksida Aurivillius  $ABi_4Ti_4O_{15}$* . Universitas Negeri Gorontalo.  
Gorontalo

- Sardiman, A.M. 2008. *Interaksi dan Motivasi Belajar Mengajar*. Jakarta: Raja Grafindo Persada
- Slameto. 2015. *Pembelajaran Berbasis Riset Mewujudkan Pembelajaran yang Inspiratif*. Universitas Kristen Satya Wacana. Salatiga.
- Sudjana, Nana. 2009. *Penilaian Hasil Proses Belajar Mengajar*. Bandung: PT Remaja Rosdakaya.
- Suhendar, D. dan Ismunandar., 2006, Penentuan Energi Kisi Oksida-oksida Piroklor, JMS FMIPA. ITB. Vol 11, No 1, hal 18 – 24.
- Tehubijuluw, H. and Ismunandar, 2008, *Lattice Energi Determination and Molecular Simulation of Perovskite Oxides*, Indo. J. Chem, 8(3), 385-391.
- Tejuca, Luis G., (1993), *Properties and applications of perovskite-type oxides*, Dekker, New York, 382. ISBN 0-8247-8786-2.
- Widyawati, Tri Diah dkk. 2010. *Pedoman Umum Pembelajaran Berbasis Riset (PUPBR)*. Kerjasama antara Pusat Pengembangan Pendidikan, Kantor Jaminan Mutu, dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat UGM. Universitas Gadjah Mada.
- Yoder, C. H. and N. J. Flora, 2005, *Geochemical applications of the simple salt approximation to the lattice energies of complex materials*, Am. Miner. , 90 , 488-496.