

## MISKONSEPSI ATAS KONSEP ASAM-BASA, KESETIMBANGAN KIMIA, DAN REDOKS DALAM BERBAGAI BUKU-AJAR KIMIA SMA/MA

### *THE MISCONCEPTIONS OF CONCEPTS OF ACID-BASE, EQUILIBRIUM, AND REDOX IN TEXTBOOKS OF CHEMISTRY FOR SMA/MA*

Sugiyarto, Heru Pratomo Al.  
Jurusan Pendidikan Kimia, FMIPA, UNY

E-mail : kristiansugiyarto@yahoo.com

#### **Abstrak**

Analisis isi buku-buku Kimia SMA/MA telah dilakukan untuk mengungkap miskonsepsi atas beberapa konsep, yakni asam-basa, kesetimbangan kimia, dan redoks. Sampel penelitian dengan teknik *purposive sampling* yang dilakukan terhadap berbagai buku yang beredar di pasaran di DIY diperoleh 9 macam buku. Metode analisis dilakukan berdasarkan kisi-kisi kebenaran konsep yang terdapat dalam tiga konsep, asam-basa, kesetimbangan kimia, dan redoks. Hasilnya menunjukkan adanya miskonsepsi yang berlaku secara umum pada semua sampel perihal pemahaman terhadap formula larutan basa amonia dalam air yang dipahami sebagai  $\text{NH}_4\text{OH}$  dengan tanpa adanya penjelasan lanjut terkait dengan formula  $\text{NH}_3(\text{aq})$ , rumusan pH dalam hubungannya dengan konstanta kesetimbangan asam lemah poliprotik, dan penyetaraan reaksi redoks dalam suasana basa dengan melibatkan ion penunjuk asam  $\text{H}^+$  yang kemudian dinetralkan dengan ion  $\text{OH}^-$ . Secara khusus ditemui adanya miskonsepsi asam-basa model Bronsted-Lowry pada reaksi amonia dengan asam klorida membentuk amonium klorida dalam pelarut benzena, dan ketergantungan nilai konstanta kesetimbangan pada koefisien persamaan reaksi kesetimbangan yang boleh dilipatgandakan secara sembarangan. Ditinjau dari isi buku-buku tersebut ada kecenderungan yang nampak bahwa para penulis buku dipengaruhi oleh referensi buku-teks Kimia Umum (*General Chemistry*) tanpa pendalaman buku-teks yang lebih *advanced*.

**Kata kunci :** *miskonsepsi, asam-basa, kesetimbangan, redoks*

#### **Abstract**

*Concepts of acid-base, equilibrium, and redox in textbooks of chemistry for High School were analysed to reveal particular misconceptions. The sample with purposive technique sampling for the textbooks distributed at the "market" and commonly recommended by chemistry teachers of Yogyakarta resulted in nine textbooks. The analysis of the concepts in the books were then carefully done based on the "true corresponding concepts" normally accepted by chemistry experts. The findings shows that some types of misconceptions were identified. In general, all sample indicate a misconception on understanding in aqueous solution of ammonia,  $\text{NH}_3(\text{aq})$ , as ammonium hydroxide,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , without further clarification. In formulating the pH value associated with stepwise equilibrium constants on weak polyprotic acids, no detailed explanation were stated, and thus resulted in a potential misconception by applying the overall equilibrium constant other than the only the highest constant value of  $K_{a1}$ . In balancing the coefficients of redox equation in basic condition, all sample copied the method for acid, involving  $\text{H}^+$  ion and  $\text{H}_2\text{O}$ , and then followed by the neutralization with  $\text{OH}^-$  ion. In particular, a misconception on Bronsted-Lowry acid-base model in the case of reaction of ammonia with hydrogen chloride to produce ammonium chloride in benzene solution was identified. A striking misconception on equilibrium constant value which changes due to the arbitrary multiplication of coefficients was found. It seems the authors are influenced strongly by some General Chemistry, and no advanced references are considered.*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Sugiyarto, Heru Pratomo, dan Togu Gultom menunjukkan dengan jelas terjadinya miskonsepsi pada guru-guru SMA di DIY yang terkait dengan adanya miskonsepsi atas Bilangan Kuantum dan Konfigurasi Elektronik pada Buku-Ajar Kimia SMA yang dipakai sebagai acuannya (Sugiyarto, *dkk*, 2010). Penelitian ini mengungkap bahwa adanya miskonsepsi dalam buku teks disebabkan oleh "pemahaman" penulis terhadap konsep yang bersangkutan terlalu "sederhana" atau "elementer", yang mungkin disebabkan oleh "terbatasnya" sumber referensi yang ia terima dan atau ia miliki. Lalu ia berusaha membuat "konklusi" atas pemahamannya sendiri yang kemudian berusaha menjabarkannya secara detil, namun akibatnya terjadi penyimpangan. Sebagai contoh yang paling mencolok adalah pemahaman perihal prinsip *aufbau*. Semua buku teks yang menjadi sampel penelitian tersebut menyajikan diagram *aufbau* sebagai urutan energi orbital bagi semua atom unsur, untuk menuliskan konfigurasi elektronik setiap atom unsur. Sekalipun menyebutkan adanya beberapa penyimpangan banyaknya elektron pada beberapa atom unsur terkait dalam orbital .....  $ns^{1-2}$   $(n-1)d^x$ , teks dengan tegas menyebutkan bahwa energi orbital  $ns$  selalu lebih rendah daripada energi  $(n-1)d^x$ , sebagaimana dinyatakan oleh prinsip *aufbau*. Oleh karena fakta (eksperimen) mengungkap bahwa energi ionisasi bagi  $(n-1)d^x > ns^{1-2}$ , sehingga elektron pertama (hingga kedua) yang dilepaskan selalu pada  $ns^{1-2}$  baru kemudian  $(n-1)d^x$ , maka dipahami lebih lanjut bahwa penulisan konfigurasi elektronik .....  $(n-1)d^x ns^{1-2}$  juga diijinkan. Akibatnya ada semacam dua pilihan penulisan konfigurasi elektronik, satunya berdasarkan *aufbau* yang dipahami sebagai urutan energi, satunya lagi berdasarkan *urutan kulit*.

Memang banyak sumber referensi "asing" baik yang bersifat *elementer-general*

maupun yang berisifat "*advanced*" hanya menuliskan salah satu atau sekaligus kedua penulisan konfigurasi elektronik tersebut tanpa ada "pembahasan" atau komentar sama sekali. Oleh sebab relatif sedikitnya referensi, penulis buku-teks Kimia SMA, lalu mencoba merangkum keduanya menurut pemahamannya sendiri. Tak seorang pun penulis mencoba mempertanyakan mengapa demikian, lalu mencari referensi lebih lanjut. Penulis buku-teks tidak menyadari bahwa *aufbau* yang dipahami adalah model Madelung yang didasarkan atas nilai  $(n + l)$ . Menurut Scerri (1989) urutan energi orbital *aufbau* tersebut tidak berdasarkan pada mekanika kuantum, dan energi orbital  $(n-1)d$  selalu lebih rendah daripada energi orbital  $ns$ ; Greenwood (1968) menyatakan bahwa prinsip *aufbau* hanya benar secara eksak hingga 18-20 atom pertama. Jadi jelas telah terjadi miskonsepsi pada diri semua penulis buku teks Kimia SMA tersebut.

Oleh sebab itu tindak lanjut dalam bentuk penelitian yang lebih luas diperlukan guna memperoleh data yang lebih akurat untuk mengambil kesimpulan dan langkah-langkah "pelurusan" yang diperlukan untuk berbagai konsep yang lain. Konsep lain yang menjadi perhatian berikutnya adalah Asam-Basa, Keseimbangan Kimia, dan Redoks dalam berbagai Buku-Ajar Kimia SMA/ MA di Kota Yogyakarta.

### Miskonsepsi dan Pembelajaran

Banyak (maha)siswa pada berbagai tingkatan mengalami suatu pergulatan yang cukup berat dalam belajar IPA pada umumnya dan kimia pada khususnya. Berbagai usaha penelitian telah dilakukan oleh banyak pihak terkait baik secara perorangan maupun lembaga (seperti guru, dosen, pemerhati pendidikan, dan sebagainya) untuk menemukan alasan-alasan yang tepat. Salah satu jawaban yang paling mungkin yaitu bahwa banyak (maha)siswa tidak membangun pemahaman

"konsep-konsep dasar" IPA (kimia) secara "benar" mulai sejak awalnya mereka belajar (Gabel, *et al.*, 1987: 695), sehingga mereka tidak memahami sepenuhnya "konsep-konsep (lebih) lanjut" yang dibangun di atasnya.

Osborne dan Wittrock (1983: 489) melakukan penelitian pengetahuan konseptual siswa dalam kimia yang didasarkan pada model belajar di mana siswa membangun (mengkonstruksi) konsep yang dimilikinya. Menurut model-belajar kognitif, selama pembelajaran, pelajar membangun pemahamannya berdasarkan pada latarbelakang (*background*), sikap (*attitude*), kemampuan (*ability*), dan pengalaman (*experience*).

Dalam siklus belajar, pelajar secara selektif hadir pada aliran informasi yang dipresentasikan, dan *pre-konsepsi* yang dimilikinya menentukan perhatian pada informasi tersebut. Kemudian otak secara aktif menginterpretasi informasi pilihan dan menarik pengaruh berdasarkan informasi simpanannya. Pengertian baru yang diturunkan kemudian secara aktif dihubungkan dengan basis pengetahuan yang dimiliki sebelumnya. Osborne dan Wittrock (1983: 489) berpendapat bahwa menurut model kognitif, pelajar membangun pemahaman yang sensibel dan koheren atas berbagai peristiwa dan gejala di dunianya sendiri berdasarkan pandangannya sendiri. Oleh West, Fensham, dan Garrad (dalam Nakhleh, 1992: 191), pemahaman koheren menunjuk pada struktur kognitif. Kata-kata seperti "atom", dan "netralisasi" misalnya, sesungguhnya adalah lambang yang menunjuk pada struktur kognitif terelaborasi yang tersimpan dalam otak.

Berbagai struktur kognitif terelaborasi, olehnya terdiri atas berbagai konsep yang saling berhubungan. Setiap konsep dibangun oleh seperangkat pernyataan sederhana-deklaratif yang disebut "proposisi" yang mewakili bangun pengetahuan perihal konsep yang dimiliki pelajar. Sebagai contoh proposisi adalah pernyataan "sebuah atom mengandung se-

buah inti". Oleh karena itu, konsep dipertimbangkan sebagai seperangkat proposisi yang dipakai untuk mengartikan suatu topik tertentu misalnya "inti atom". Berbagai konsep kemudian dihubungkan dengan konsep lain yang telah dimiliki pelajar membentuk struktur kognitif terintegrasi tentang pengetahuan kimiawi.

Informasi yang digunakan pelajar untuk membangun konsep berasal dari dua sumber yaitu, pengetahuan publik seperti ditampilkan dalam buku-tekst dan pengajaran klasikal / kuliah, dan pengetahuan informal yang mendahuluinya seperti pengalaman sehari-hari, keluarga, produk perdagangan, dan istilah-istilah umum. Lebih lanjut Nakhleh menekankan bahwa model struktur kognitif sejalan dengan model konstruktivistik, dan peran miskonsepsi dalam belajar telah dibahas oleh Bodner (1986: 873) atas dasar paham konstruktivisme.

### **Miskonsepsi dalam Pembelajaran Kimia**

Materi pembelajaran atau perkuliahan umumnya disampaikan secara lisan-ceramah dan menunjuk pada beberapa buku sebagai daftar pustaka yang disarankan untuk dibaca oleh (maha)siswa. Fungsi guru (dosen) yang dominan yaitu mentransfer konsep-konsep (IPA-kimia) ke dalam diri (maha)siswa. Pelajar benar-benar membangun konsep-konsepnya sendiri. Bangun konsep (kimiawi) yang dimiliki pelajar sering berbeda dari bangun konsep yang dimiliki instruktornya dan yang telah dicoba dipresentasikan. Perbedaan konsep ini oleh para ahli peneliti pendidikan (Nakhleh, 1992: 191) dilukiskan secara variatif sebagai "prekonsepsi", "miskonsepsi", "kerangka-kerja alternatif", "pengetahuan anak", "sistem deskriptif pelajar" dan "sistem ekplanatori".

Nakhleh (1992 : 191) menyatakan bahwa "*misconception means any concept that differs from the commonly accepted scientific understanding of the term*" ; Novak & Gowin

(1986) menyatakan hal yang sejalan bahwa "*misconception is the term commonly used to describe an unaccepted (and not necessarily wrong) interpretation of a concept illustrated in the statement in which the concept is embedded.*" Tetapi, van den Berg (1991) menegaskan bahwa dalam bidang IPA, "miskonsepsi" umumnya identik dengan "kesalahan". Jadi, istilah miskonsepsi diartikan sebagai konsep apa saja yang berbeda dari pemahaman ilmiah/saintifik yang umumnya diterima untuk konsep yang bersangkutan. Sekali terintegrasi ke dalam struktur kognitif pelajar, miskonsepsi mempengaruhi proses belajar selanjutnya. Informasi baru yang masuk ke dalam struktur kognitif tidak terkoneksi secara tepat, sehingga terjadilah pemahaman yang lemah atau pemahaman-salah (*misunderstanding*) terhadap konsep yang bersangkutan. Namun demikian, Novak&Gowin (1986) berpendapat bahwa makna yang terungkap bukanlah suatu miskonsepsi pada (maha)siswa, melainkan pada makna fungsional. Hal ini didukung oleh kenyataan bahwa miskonsepsi dapat berlangsung dalam kurun waktu cukup lama, namun jika "konsep-konsep penghubung" diintegrasikan ke dalam kerangka konseptual seseorang, ternyata "miskonsepsi" menjadi hilang.

Berbagai usaha telah dilakukan oleh guru (dosen) agar "transfer ilmu" berlangsung dengan "benar" dan lancar, misalnya dengan model-model yang dapat divisualisasikan, demonstrasi dan atau kegiatan laboratorium, dan sebagainya. Namun demikian kenyataan menunjukkan bahwa (maha)siswa tidak hanya mendapat kesulitan dalam belajar kimia melainkan terjadi miskonsepsi. Terjadinya miskonsepsi dalam kimia baik bagi siswa SMU maupun hingga tingkat universitas pada berbagai macam konsep dalam bidang Kimia Dasar, Kimia Anorganik, Kimia Fisik, maupun Ikatan Kimia telah banyak dilaporkan oleh para ahli pendidikan kimia (sebagaimana dinyatakan dalam daftar pustaka ini).

Kesulitan pemahaman konsep-konsep (IPA) kimia tertentu hingga mengakibatkan terjadinya miskonsepsi, barangkali bergantung pada karakteristik konsep-konsep itu sendiri disamping kultur (maha)siswa. Berdasarkan teori konstruktivistik, ilmu pengetahuan dibangun dalam pikiran (maha)siswa (Bodner: 1986); pembentukan konsep dalam pikiran ini dipengaruhi oleh preconsep yang ada sebelumnya. Dengan demikian "kekeliruan" pembentukan konsep yang ditransfer dapat saja menghasilkan konsep yang berbeda (bahkan "salah") dari kebenaran konsep yang diharapkan; jadi miskonsepsi adalah hal yang sangat mungkin. Tentu saja miskonsepsi diayakini ada hubungannya dengan rendahnya prestasi hasil belajar khususnya jika alat evaluasi belajar benar-benar menuntut kebenaran konsep.

Tidak ada satu pun materi pembelajaran khususnya sains yang sampai kepada kita tanpa masalah baik dalam pembelajaran maupun pemahaman sains itu sendiri. Dalam pembelajaran Kimia, miskonsepsi tertentu selalu muncul tidak hanya bagi (maha)siswa melainkan juga para guru, bahkan saya yakin juga para kimiawan termasuk dosen. Berbagai tipe miskonsepsi telah dilaporkan misalnya oleh Griffiths dan Preston (1992). Mengapa? Penyebab umum adalah karena penyederhanaan konsep pokok bahasan. Model matematika abstrak terlibat secara khusus, dan ini menambah munculnya gambaran model yang tidak tepat, yang pada gilirannya mengakibatkan miskonsepsi lanjut yang rumit.

### **Miskonsepsi dalam Buku-Teks dan pada Guru Kimia**

Siswa memperoleh pengetahuan berbagai konsep Kimia (Anorganik) baik melalui Dosen/ Guru maupun buku teks dan pihak lain; sementara itu para guru memperoleh pengetahuan konsep dari "mantan" dosennya dan berbagai buku teks acuan. Penyederhanaan materi Kimia adalah hal yang wajar dalam

teks maupun pembelajaran. Tuntutan sebagai guru untuk mengembangkan materi pembelajaran secara mandiri dimungkinkan terjadinya "penyimpangan" sebagai akibat "penyederhanaan" materi yang pernah diterima sebelumnya. Informasi yang diterima dibangun sebagai kumpulan bangunan berbagai konsep lainnya dalam pikirannya. "Benar" tidaknya konstruksi bangunan konsep dapat diketahui melalui pengungkapan kembali pemahaman konsep itu yang dapat diidentifikasi melalui alat uji yang sesuai. Dengan demikian, terjadinya miskonsepsi atas konsep-konsep kimia dapat dimunculkan melalui berbagai alat uji yang menuntut pengungkapan konsep yang bersangkutan.

Cara yang paling umum untuk mengidentifikasi adanya kemungkinan miskonsepsi atau setidaknya "berpotensi" terjadinya miskonsepsi adalah mencermati secara total isi materi yang bersangkutan kemudian membandingkan atau mengidentifikasi berbagai aspek yang seyogyanya dimunculkan secara benar menurut acuan yang diterima oleh para ahli kimia. Akan tetapi buku teks-acuan sering nampak normatif, dan baru menjadi mudah ketika identifikasi dilakukan melalui pemeriksaan soal-soal latihan untuk konsep yang bersangkutan, sebab soal-soal latihan sering mampu "mengelaborasi" lebih jauh ide penulis, sehingga terbuka kemungkinan pemahaman penulis yang lebih komprehensif atau sebaliknya miskonsepsi.

### **Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Tujuan utama dalam penelitian ini adalah untuk (a) mengkaji jenis buku Kimia (penulis dan penerbitnya) yang telah menyajikan miskonsepsi atas konsep Asam-Basa, Keseimbangan Kimia, dan Redoks, (b) merekomendasikan bentuk "pelurusan" konsep terhadap bagian yang terjadi miskonsepsi.

Manfaat penelitian ini adalah disusunnya rekomendasi "pelurusan" terhadap temuan miskonsepsi yang ditujukan kepada para

penerbit (dan penulis) maupun para guru pengguna. Pelurusan atas miskonsepsi tersebut dapat dilakukan tidak hanya pada tingkat mahasiswa baru produk pembelajaran di tingkat (SMA) sebelumnya maupun pada setiap kesempatan pertemuan dengan para guru SMA.

Tuntutan sebagai guru untuk mengembangkan materi pembelajaran secara mandiri dimungkinkan terjadinya "penyimpangan" sebagai akibat "penyederhanaan" materi yang pernah diterima sebelumnya. Informasi yang diterima dibangun sebagai kumpulan bangunan berbagai konsep lainnya dalam pikirannya. Benar tidaknya konstruksi bangunan konsep dapat diketahui melalui pengungkapan kembali pemahaman konsep itu yang dapat diidentifikasi melalui alat uji yang sesuai. Dengan demikian, terjadinya miskonsepsi atas konsep-konsep kimia dapat dideteksi melalui berbagai alat uji yang menuntut pengungkapan konsep yang bersangkutan.

## **METODE PENELITIAN**

### **Populasi, Sampel, dan Teknik Sampling**

Dalam penelitian ini populasi sekaligus sebagai sampel; oleh karena itu, teknik sampling bersifat *population sampling*, yakni buku Kimia SMA Kelas 10, 11, dan 12 dari berbagai Penerbit yang dipakai sebagai acuan oleh 10 SMA Negeri dan 5 SMA Swasta di Kota Yogyakarta berdasarkan prioritas penggunaannya dari sekitar 30 Guru SMA/MA. Sekolah yang dipilih yakni SMA Negeri 1-10, dan SMA Swasta BOPKRI 1, 2, de Brito, Stella Duce, MUH 1, 2. Masing-masing sekolah diambil 2 guru kimia untuk memberikan respon atas jenis buku yang dipakai sebagai acuan pembelajaran dan atas materi terkait dalam buku acuannya.

### **Instrumen Penelitian**

Instrumen kebenaran konsep untuk konsep Asam-Basa, Keseimbangan Kimia, dan Redoks disusun oleh peneliti dalam bentuk

kisi-kisi "kebenaran konsep" atas konsep tersebut lalu dibandingkan dengan yang termuat dalam buku acuan yang bersangkutan.

### Metode Pengumpulan dan Analisis Data

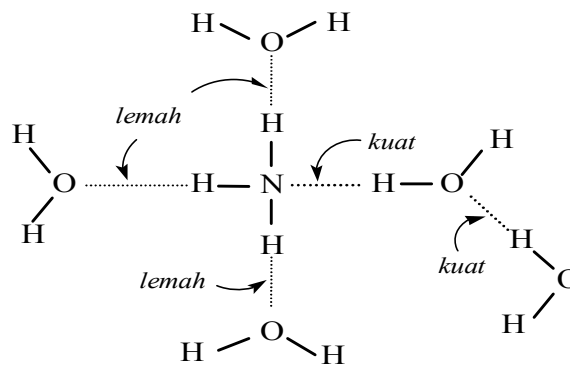
Penelitian ini adalah *content analysis*—analisis buku, bersifat deskriptif yang berusaha memperoleh gambaran pemahaman konsep-konsep Asam-Basa, Kesetimbangan Kimia, dan Redoks dari masing-masing sampel Buku-Teks acuan Kimia SMA berdasarkan standar kebenaran konsep menurut ahlinya. Data dikelompokkan menurut kesalahan-konsep sejenis kemudian dihitung persentase terjadinya miskonsepsi. Konsep-konsep yang mengalami miskonsepsi selanjutnya dibahas, baik mengenai dugaan penyebabnya maupun pelurusan yang dapat dilakukan.

### Desain Penelitian

Penelitian ini bersifat deskriptif nonstatistik, dikenakan pada berbagai buku-ajar Kimia SMA dari berbagai penerbit (seperti Erlangga, Yudistira, Intan Pariwara, Grasindo) yang biasa dipakai sebagai buku-acuan para guru kimia SMA.

### Metode Pengumpulan dan Teknik Analisis Data

Penelitian ini bersifat deskriptif yang berusaha memperoleh gambaran pemahaman konsep-konsep materi Asam-Basa, Kesetimbangan Kimia, dan Redoks, dalam masing-masing sampel Buku-Teks Kimia SMA/MA berdasarkan standar kebenaran konsep. Data dikelompokkan menurut jenis/bagian kesalahan konsep. Selanjutnya data dianalisis mengapa atau dugaan apa penyebab terjadinya miskonsepsi.



Gambar 1. Struktur amonia terhidrat

Data dianalisis secara diskriptif berdasarkan asumsi bahwa responden (guru) sudah seharusnya memahami konsep secara benar sebab mereka sudah pernah mengalami pembelajaran yang memadai dan tersedia pula berbagai macam referensi yang dapat dipertanggungjawabkan kualitasnya.

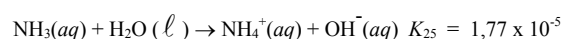
## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Asam-Basa

Beberapa aspek ditemui *secara miskonsepsi* sebagaimana diuraikan berikut ini:

**Larutan amonia (NH<sub>3</sub>) dalam air, dituliskan secara miskonsepsi sebagai NH<sub>4</sub>OH.**

Amonia, pada temperatur kamar, berupa gas yang berbau khas tidak enak, dengan air dalam segala perbandingan. Pada temperatur kamar, lebih dari 50 gram amonia dapat larut dalam 100 gram air menghasilkan larutan dengan rapatatan 0,880 g mL<sup>-1</sup>, yang dikenal sebagai amonia 880. Larutan ini sangat tepat disebut larutan amonia (*aqueous ammonia*), tetapi sering secara menyesatkan disebut amonium hidroksida. Amonia perdagangan dalam air biasanya berisi sekitar 28% berat (~ 14,8 M). Selain dapat berperan sebagai basa Lewis seperti dalam senyawa kompleks, amonia juga bersifat sebagai basa Brønsted-Lowry, yaitu dapat mengikat proton dari air sehingga menghasilkan larutan alkali atau basa menurut persamaan reaksi:



Walaupun larutan amonia dalam air sering diberi label amonium hidroksida, senyawa  $\text{NH}_4\text{OH}$  sesungguhnya *belum* pernah diisolasi atau dideteksi di dalam larutan. Bukti bahwa pemberian label  $\text{NH}_4\text{OH}$  ini tidak tepat, dijelaskan dalam uraian berikut ini:

(1) Bila diketahui pH larutan amonia dalam air misalnya berharga 10, maka dapat dikatakan tentulah terdapat ion  $\text{OH}^-$  dalam larutan yang bersangkutan. Ini berarti bahwa 1,00 M larutan amonia dalam air akan menghasilkan  $10^{-4}$  mol ion  $\text{OH}^-$  ( $\text{pOH} = 4$ ), atau setiap  $10^4$  (sepuluh ribu) molekul  $\text{NH}_3$  dalam larutan air, hanya ada satu molekul  $\text{NH}_3$  saja yang mampu mengikat satu proton dari air untuk menghasilkan satu ion  $\text{NH}_4^+$  dan satu ion  $\text{OH}^-$ ; sungguh merupakan suatu perbandingan jumlah yang terlalu kecil untuk menyatakan bahwa larutan ini adalah  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

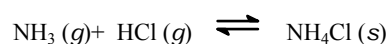
(2) Baik  $\text{NH}_3$  dalam fase gas maupun dalam larutan air, keduanya menghasilkan *bau* yang sama, dan gas  $\text{NH}_3$  sangat mudah lepas menguap dari larutannya. Jadi, larutan amonia dalam air tetap berbau karakteristik sebagai  $\text{NH}_3$ , dan tidak berbau sebagai ion  $\text{NH}_4^+$  (misalnya,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  tidak berbau).

(3) Bila  $\text{NH}_4^+\text{OH}^-$  benar-benar ada, tentunya diharapkan dapat dikristalkan pada pendinginan. Kenyataannya, dua macam hidrat yaitu  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  dan  $(\text{NH}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  dapat dihasilkan pada temperatur  $-100^\circ\text{C}$ . Struktur kristalnya telah dapat ditentukan yaitu bahwa tiap molekul  $\text{NH}_3$  terlibat oleh empat ikatan hidrogen yang terdiri atas tiga dengan atom-atom H yang dekat dengan atom N (jarak ikatan kovalen  $1,0 \text{ \AA}$ ) dan satunya dengan atom H yang relatif jauh dari atom N tetapi relatif dekat terikat menjadi molekul air.

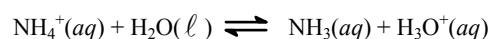
Demikian juga molekul air ini terlibat dalam ikatan hidrogen dengan dua atom H relatif dekat pada atom O dan satu atom H yang lain relatif jauh. Tidak ada gugus atau spesies  $\text{NH}_4^+$  maupun  $\text{OH}^-$  dan sangat nyata tidak ada

molekul-molekul  $\text{NH}_4\text{OH}$  dengan ikatan kovalen dalam struktur kristalnya. Bahkan bila molekul  $\text{NH}_3$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (dalam larutan  $\text{NH}_3$  dalam air) *ditekan* mendekat dengan cara kristalisasi, ternyata tidak ada transfer proton dari molekul air ke molekul amonia menjadi  $\text{NH}_4^+$ . Namun demikian, jelas terdapat gaya tarik intermolekular yang kuat dalam bentuk ikatan hidrogen yang membuat gas  $\text{NH}_3$  mudah larut dalam air. Model ikatan ini seperti dilukiskan pada Gambar 1., setiap molekul  $\text{NH}_3$  dikelilingi oleh satu ikatan kuat  $\text{N} \cdots \text{H}-\text{O}-\text{H}$  dan tiga ikatan lemah  $\text{H}_2\text{O} \cdots \text{H}-\text{N}$ .

Oleh karena bersifat basa, amonia bereaksi dengan asam menghasilkan garam amonium, dan dengan gas  $\text{HCl}$  menghasilkan asap putih amonium klorida menurut persamaan reaksi:



Demikian juga hampir semua garam amonium larut dalam air dan larutannya bersifat asam karena *hidrolisis* amonium yang bertindak sebagai asam lemah Brønsted-Lowry menurut persamaan reaksi:



Oleh karena itu, kemampuan mengikat proton antara molekul  $\text{NH}_3$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dapat pula dirasionalisasi melalui peristiwa melarutnya garam amonium, misalnya  $\text{NH}_4^+\text{Cl}^-$ , tersebut di dalam air. Kenyataan bahwa larutan menjadi bersifat asam menyarankan bahwa molekul  $\text{H}_2\text{O}$  justru mampu memaksa ion  $\text{NH}_4^+$  melepas  $\text{H}^+$  untuk diikat menjadi ion  $\text{H}_3\text{O}^+$  yang memberikan sifat asam.

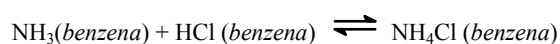
### Miskonsepsi nilai pH dengan konstanta, $K$ , untuk asam poliprotik

Nilai konstanta total untuk asam poliprotik dinyatakan sebagai **perkalian** dari konstanta "parsialnya", yakni dengan rumusan  $K_{tot} = K_{a1} \times K_{a2} \times \dots$ . Padahal untuk asam (lemah) monoprotik dipahami bahwa  $\text{pH} =$

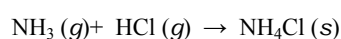
$(K_a \times M)^{1/2}$ ; meskipun penulis sadar bahwa jika nilai  $K_{a1} \gg K_{a2} > \dots$ , maka nilai pH hanya ditentukan oleh  $K_{a1}$ , namun penulis tidak menjelaskan bahwa pengabaian ini terkait dengan banyaknya ion  $H^+$  yang hanya bergantung pada  $K_{a1}$ . Jadi hal ini berpotensi terjadinya miskonsepsi ketika terjadi anggapan analog bahwa  $pH = (K_{tot} \times M)^{1/2}$ .

### Miskonsepsi atas wujud asam-basa

Dalam menguraikan pemahaman reaksi asam-basa model Bronsted-Lowry antara asam klorida dengan amonia membentuk amonium klorida, penulis menduga telah terjadi semacam "serah-terima"  $H^+$  ketika keduanya masing-masing dengan menggunakan pelarut *benzena* dapat bereaksi sebagaimana dalam persamaan reaksinya:

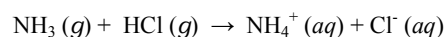


Penulis tidak memahami bahwa HCl dapat diperoleh dalam keadaan murni yang berupa gas, sebagaimana juga  $NH_3$ , dan ketika keduanya bergabung membentuk "asap" (solid) putih menurut persamaan reaksi:



Hal ini sangat mudah didemonstrasikan dengan mengenakan batang pengaduk kaca yang dibasahi dengan HCl pekat pada uap  $NH_3$  (yang dapat diperoleh dari reaksi antara KOH agak pekat dengan garam  $NH_4Cl$ ). Munculnya asap-putih pada seputar batang pengaduk membuktikan terbentuknya garam  $NH_4Cl$ .

Jadi dalam reaksi asam-basa tersebut sama sekali tidak ada serah-terima  $H^+$ , sebab memang ketiganya adalah senyawa polar, jadi tidak mungkin terion dalam pelarut non polar, *benzena*; justru contoh reaksi tersebut hanya dapat dijelaskan menurut model Lewis. Serah-terima ion  $H^+$ , artinya model asam-basa Bronsted-Lowry, hanya akan terjadi ketika reaksi berlangsung dengan pelarut polar, misalnya air, sehingga terjadi reaksi ion:



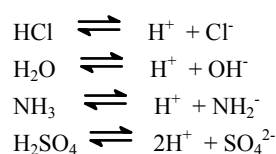
Perlu ditegaskan pula bahwa keberadaan ketiga zat,  $NH_3(g)$ ,  $HCl(g)$  dan  $NH_4Cl(s)$ , dalam pelarut non polar *benzena* sangat menyedihkan.

### Miskonsepsi definisi asam-basa model Lewis

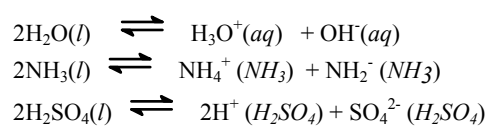
Pernyataan bahwa "Lewis memberikan pengertian asam-basa berdasarkan serah (terima pasangan elektron .....)", benar-benar miskonsepsi. Tidak pernah ada proses "serah terima" (kecuali pembentukan ikatan ionik), melainkan pembentukan pasangan elektron "pautan" namun hanya berasal dari satu pihak.

### Miskonsepsi atas ionisasi senyawa kovalen

Dalam menguraikan sifat asam sebagai proton donor terjadi benar-benar miskonsepsi dengan mengekspresikan kedalam bentuk persamaan ionisasi berikut:



Persamaan reaksi kesetimbangan tersebut tidak pernah ada. HCl adalah senyawa kovalen. Ia tidak akan pernah dituliskan dalam persamaan kesetimbangan ionisasi  $H^+$  dan  $Cl^-$ , kecuali dalam pelarut air misalnya; andaikata berada dalam larutan air, ionisasinya dapat dianggap sempurna menjadi  $H^+(aq) + Cl^-(aq)$ , sebab ia tergolong asam (elektrolit) kuat. Jika ingin menyatakan dalam bentuk persamaan kesetimbangan seharusnya ditegaskan perannya sebagai pelarut:

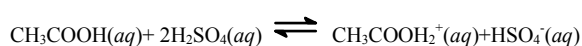


Penulis tidak memahami bahwa konsep asam-basa menurut Bronsted-Lowry berkaitan dengan sistem pelarut; jadi ketika menggunakan pelarut bukan air, asam tetap sebagai



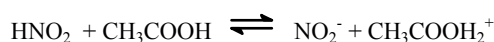
penghasil  $H^+$  oleh sebab interaksinya dengan pelarut. Dengan demikian pelarut sendiri akan mengalami “swa-ionisasi” seperti halnya air, dan ion  $H^+$  diekspresikan tersolvasi dalam pelarutnya yang ditulis *italic* dalam tanda kurung.

Miskonsepsi berlanjut ketika asam kuat (asam sulfat) dicampur dengan asam lemah (asam asetat) tetapi diekspresikan dalam pelarut air. Asam sulfat dipahami berperan sebagai asam sedangkan asam asetat sebagai basa menurut persamaan reaksi:



Tentu saja reaksi tersebut tidak mungkin terjadi dalam air, sebab air lebih bersifat basa dibandingkan asam asetat; jadi keduanya tetap asam, sehingga persamaan reaksi tersebut menyesatkan.

Miskonsepsi yang sama ditunjukkan oleh contoh reaksi antara asam nitrit dengan asam asetat:



Tanpa penyebutan kondisinya, persamaan reaksi tersebut menyesatkan. Jika keduanya dalam keadaan murni (uap) maupun cairan dapat dipastikan tidak mungkin menghasilkan ion-ion.

### Berbagai miskonsepsi dalam bentuk soal

Miskonsepsi terindikasi dalam bentuk soal. Sebagai contoh dalam soal dituliskan  $P(OH)_3$ ; penulis di bagian lain sebelumnya menuliskan bahwa asam fosfit sebagaimana umumnya  $H_3PO_3$ , mengalami 2 tahap ionisasi pelepasan ion  $H^+$ , yang mengindikasikan asam diprotik. Dengan demikian penulisan  $P(OH)_3$ , menyesatkan (kecuali rumus empirik), sebab rumus kimia ini mengindikasikan adanya 3 OH, padahal sesungguhnya asam fosfit mengadopsi geometri tetrahedron, sehingga lebih informatif dituliskan  $(HO)_2P(O)H$ .

## KESETIMBANGAN KIMIA

### Miskonsepsi keadaan setimbang secara kinetik

Tidak ada satu bukupun yang menjelaskan bahwa reaksi reversibel akan mencapai keadaan setimbang apabila secara kinetika reaksinya mengikuti mekanisme sederhana, padahal semua buku menurunkan nilai tetapan kesetimbangan dengan pendekatan kinetika, yaitu laju pembentukan produk sama dengan laju peruraian kembali dari produk.

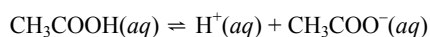
### Miskonsepsi satuan ketetapan kesetimbangan

Hampir semua buku menuliskan bahwa ketetapan kesetimbangan memiliki satuan yang berbeda-beda bergantung pada koefisien reaksinya bahkan dijumpai juga dalam buku *General Chemistry* (Brady, 1990) yang sangat dikenal oleh banyak penulis Buku Kimia SMA. Pendapat ini jelas keliru. Munculnya satuan pada harga tetapan kesetimbangan karena penulis tidak menurunkan satuan itu dari awal pada persamaan laju reaksi.

Sesungguhnya yang memiliki satuan itu justru tetapan laju reaksi, karena tetapan laju reaksi satuannya sangat tergantung ordenya. Satuan untuk laju reaksi adalah sama, yaitu molar per satuan waktu. Pada saat terjadi kesetimbangan, laju reaksi ke kanan sama dengan ke kiri, dengan demikian maka satuan itu sudah dieliminasi pada saat merumuskan laju ke kanan sama dengan laju kiri, jadi yang tersisa tanpa satuan. Penjelasan ini diberikan dalam buku-buku *Physical Chemistry* (Atkins and Julio de Paula: 2006) dan *General Chemistry* (Burdge: 2011), yang sangat mungkin lolos dari referensi para penulis Buku Kimia SMA. Hal ini akan lebih jelas apabila penurunan rumus tetapan kesetimbangan melalui sudut pandang termodinamika, tetapi sayangnya di SMA pendekatan termodinamika tidak diajarkan.

Tetapan kesetimbangan sama sekali tidak bergantung koefisien reaksinya. Reaksi

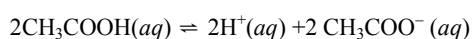
kesetimbangan dituliskan sebagai reaksi paling sederhana dengan koefisien bilangan bulat, sesuai dengan hukum Gay Lussac yang menyatakan bahwa perbandingan gas-gas yang terlibat dalam reaksi merupakan bilangan yang bulat dan sederhana, jadi mestinya dihindari penggunaan bilangan pecahan atau koefisien yang masih bisa disederhanakan. Hukum Gay Lussac ini diperluas oleh Avogadro untuk reaksi yang tidak hanya melibatkan gas. Dengan demikian tetapan kesetimbangan semestinya juga hanya satu harga, dan tidak ada tetapan kesetimbangan lain bila koefisien digandakan atau dibagi. Penjelasan ini diberikan dalam buku-buku *Physical Chemistry* (Atkins and Julio de Paula: 2006) dan *General Chemistry* (Burdge: 2011) seperti berikut ini. Misalnya:



maka:

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 1,8 \times 10^{-5}$$

Andaikata koefisiennya diduakalikan menjadi:



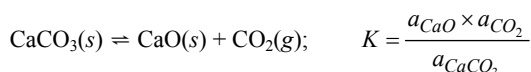
Apakah harga  $K$  berubah menjadi,

$$K = \frac{[\text{H}^+]^2[\text{CH}_3\text{COO}^-]^2}{[\text{CH}_3\text{COOH}]^2} \neq 1,8 \times 10^{-5}?$$

Tentu tidak demikian.

### Miskonsepsi kesetimbangan heterogen

Pada kesetimbangan heterogen, penjelasan mengenai fase yang menentukan harga tetapan kesetimbangan tidak jelas, mengapa? Mestinya harus sudah dimulai dengan konsep aktivitas, yaitu aktivitas padatan atau cairan murni berharga satu. Contoh:

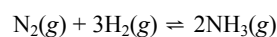


Aktivitas,  $a_{\text{CaCO}_3}$  dan  $a_{\text{CaO}} = 1$ , sehingga  $K = a_{\text{CO}_2}$ . Oleh karena pada tekanan rendah,  $a_{\text{CO}_2} = [\text{CO}_2]$  maka  $K_c = [\text{CO}_2]$ .

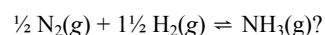
### Miskonsepsi koefisien reaksi kesetimbangan

Jika koefisien reaksi kesetimbangan diubah, pangkat konsentrasi juga akan berubah, sehingga dimaknai harga tetapan kesetimbangan juga akan berubah. Pemahaman ini jelas “menyesatkan” sebagaimana dinyatakan dalam contoh soal hitungan berikut:

Pada suhu tertentu, diketahui  $K_c$  reaksi:



adalah 16. Berapakah  $K_c$  untuk reaksi:

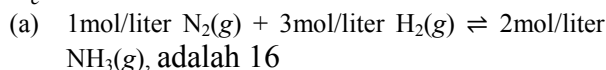


**Jawab:**  $K_c = 4$ .

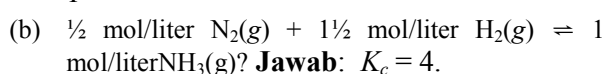
Konsep ini jelas “menyesatkan” dalam banyak hal; (1) penulisan persamaan reaksi apapun termasuk kesetimbangan mengikuti kaidah tertentu dalam hal koefisien yakni bilangan bulat paling sederhana; (2) harga  $K$  tetap selama kondisi suhu-tekanan (volume gas) tetap, sehingga konsekuensinya adalah (3) tidak boleh sembarangan memberikan contoh nilai  $K$ , apalagi perbedaan yang sangat dramatik,  $\frac{1}{4}$ .

Sangat mungkin yang dimaksudkan oleh pembuat soal adalah volume sistem diperbesar (dua kali lipat) yang lalu dimaknai konsentrasi reaktan (dan juga produk) mengecil menjadi setengah dari semula; kemudian hal ini dipahami menjadi:

$K_c$  reaksi:



Berapakah  $K_c$  untuk reaksi:



Kondisi (b) tidak mungkin terjadi jika ini berasal dari kondisi (a), sebab peningkatan volume 2 kali lipat tidak hanya mengecilkan kon-

sentralisasi zat melainkan akan mengakibatkan reaksi bergeser ke reaktan, sehingga perbandingan konsentrasi reaktan/produk pada (a) dan (b) tidak sama.

## REDOKS

### Istilah bilangan/tingkat oksidasi

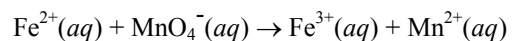
Bilangan/tingkat oksidasi suatu spesies adalah bilangan yang menyatakan “kelebihan” elektron (jadi bertanda negatif) atau “kekurangan” elektron (jadi bertanda positif) relatif terhadap keadaan netralnya. Tanda negatif-positif hanya terjadi ketika memang ada serah-terima elektron, yang berarti hanya berlaku pada ionik murni. Faktanya ia juga untuk menyatakan dari yang kovalen parsial, dan polar.

Tidak ada satu bukupun yang menjelaskan bahwa istilah bilangan/tingkat oksidasi didasarkan pada “anggapan” terjadinya transfer elektron antar atom-unsur dengan beda elektronegativitas sekalipun dalam senyawa kovalen. Sebagai contoh, senyawa HCl memang kovalen polar, namun sama sekali tidak ada transfer atau serah-terima elektron, anehnya atom H dinyatakan dengan tingkat oksidasi +1 dan Cl dengan bilangan oksidasi -1. Lebih mencolok lagi misalnya atom Mn dalam  $\text{KMnO}_4$ ; ia memiliki bilangan oksidasi +7, suatu hal yang tidak mungkin terjadi adanya pelepasan 7 elektron oleh Mn kepada keempat atom O.

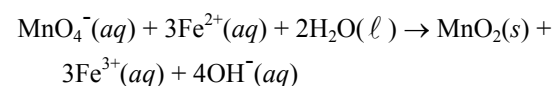
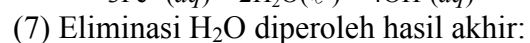
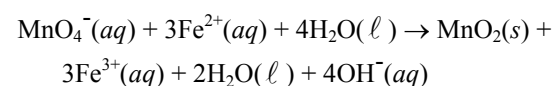
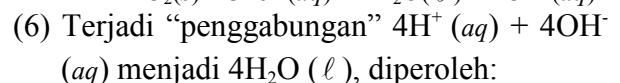
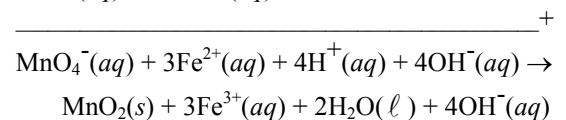
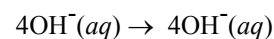
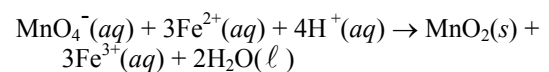
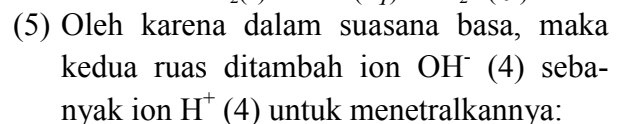
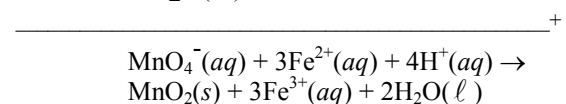
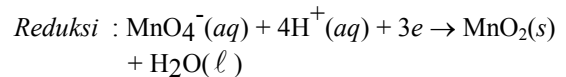
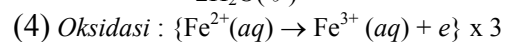
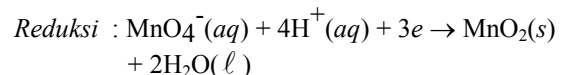
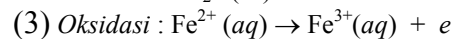
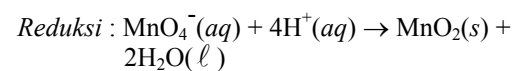
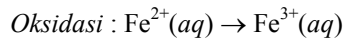
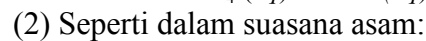
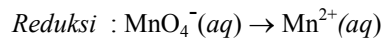
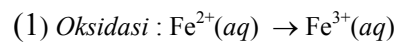
Konsep bilangan oksidasi sesungguhnya kebalikan sama sekali dengan konsep muatan formal yang menganggap pasangan elektron (patungan) ikatan selalu terbagi sama (seperti kovalen murni) sekalipun perbedaan elektronegativitas sangat besar. Jadi kedua konsep menjadi berimpit untuk molekul-molekul yang tersusun oleh mono atomik, seperti  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ , dan seterusnya, masing-masing memiliki bilangan oksidasi dan muatan formal yang sama yakni nol.

### Miskonsepsi pada penyetaraan reaksi redoks dalam suasana basa

Dalam menyetarakan persamaan redoks dalam suasana basa, ini selalu ditempuh dengan cara seperti dalam suasana asam, baru kemudian hadirnya ion  $\text{H}^+$  dihilangkan dengan cara penambahan ion  $\text{OH}^-$  yang diikuti “penggabungan” keduanya menjadi air. Contoh berikut melukiskan tahapan penyetaraan ini dalam suasana basa.



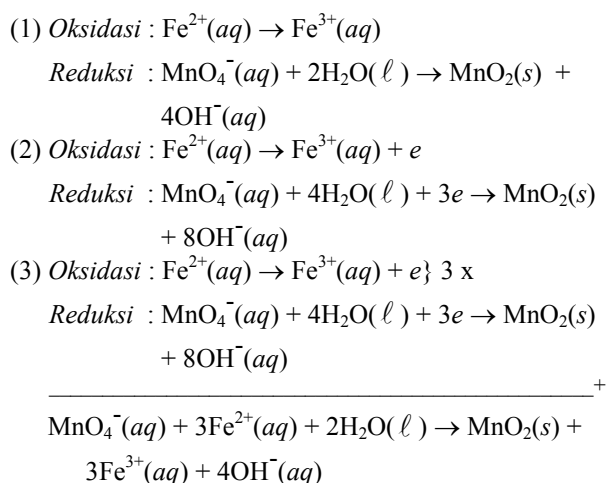
Urutan tahapan:



Tahap (2) dengan konsekuensinya hingga tahap (4) jelas mencerminkan terjadinya

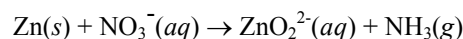
miskonsepsi, sebab dalam suasana basa tidak mungkin justru melibatkan ion  $H^+$  meskipun selanjutnya akan dihilangkan pada tahap (5). Demikian juga tahap (6) tidak dibenarkan secara matematis, sebab reaksi “penggabungan” mestinya diekspresikan dengan produk  $H_2O$ , dan ini tidak akan memperoleh hasil akhir (7). Andaikata cara-asam ini akan ditempuh, secara matematis hasil akhir mestinya langsung dapat diperoleh dengan cara mengubah tahap (5) menjadi bukan penambahan ion  $4OH^-(aq)$ , melainkan reaksi “penguraian”  $4H_2O(l) \rightarrow 4H^+(aq) + 4OH^-(aq)$ , yang tentu saja menjadi “ganjil”.

Oleh karena reaksi berlangsung dalam suasana basa, mestinya yang berperan dominan adalah ion  $OH^-$  dan  $H_2O$ . Hal ini dapat langsung diterapkan mulai pada tahap (2) dengan penambahan  $H_2O$  pada ruas yang kelebihan atom O dan atau atom H yang diimbangi dengan penambahan ion  $OH^-$  pada ruas lawannya, dan seterusnya menyetarakan muatan listrik, seperti berikut.

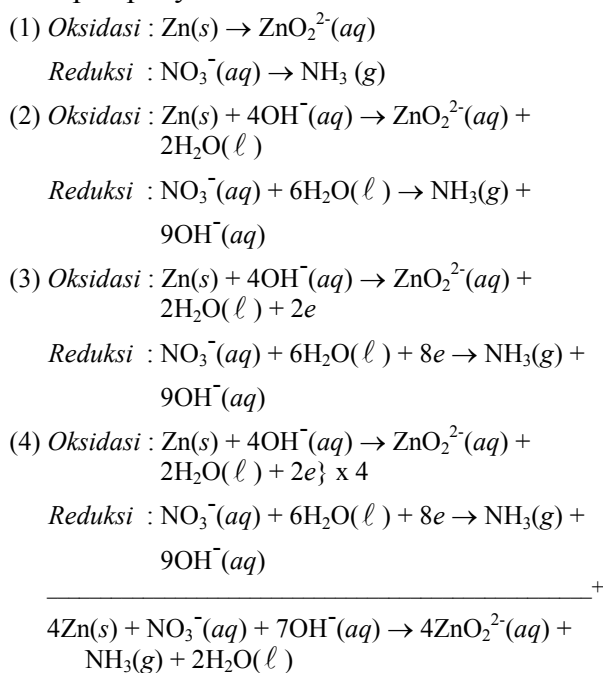


Dengan demikian tahapan berlangsung jauh lebih simpel dan tidak menimbulkan miskonsepsi. Tahapan demikian ini sebenarnya sudah diusulkan oleh Sugiyarto (1982: 2-8) dalam Majalah IPA, PPPG Bandung ketika menanggapi tahapan lewat suasana asam yang ditulis oleh Djoko Pitoyo Guru SMA N 3 Yogyakarta dalam majalah yang sama.

Contoh redoks ion nitrat dengan logam zink menjadi ion zinkat dan amonia dalam suasana basa berikut ini melibatkan  $H_2O$  pada ruas yang secara bersamaan kelebihan atom O dan kekurangan atom H (Ahmad H. Sidiq, Sugiyarto & Budimarwanti, 2006: 66-67).



Tahapan penyelesaian.



## SIMPULAN DAN SARAN

Secara ringkas dapat disimpulkan bahwa telah terjadi miskonsepsi dalam berbagai buku teks, baik dalam konsep asam-basa, redoks, dan kesetimbangan kimia. Cukup mencengangkan, terjadinya miskonsepsi untuk konsep asam-basa yang sangat mendasar, bahkan termasuk dalam mengekspresikan “definisi” asam menurut Lewis. Bahkan larutan  $NH_3$  dipahami sebagai  $NH_4OH$ . Miskonsepsi pada pokok bahasan Kesetimbangan berkaitan dengan munculnya satuan yang berbeda-beda untuk harga ketetapan kesetimbangan dan sangat mencengangkan bahwa harga ketetapan kesetimbangan berkaitan dengan “kelipatan” koefisien persamaan reaksinya. Sementara itu secara umum untuk konsep Redoks telah terjadi miskonsepsi pada penyediaan reaksi redoks dalam suasana basa na-

mun melibatkan ion  $H^+$  sebagai penunjuk asam.

Berdasarkan paparan simpulan tersebut mudah diduga bahwa para penulis buku-ajar Kimia SMA hanya mengandalkan acuan teks setingkat "General Chemistry". Sementara itu para guru Kimia SMA sebagai penggunanya hanya mengandalkan buku-buku ajar ini. Dengan demikian baik penulis buku-ajar Kimia SMA/MA maupun para guru penggunanya jelas tidak memiliki kemandirian yang secara "berani" mengkonfrontasikan dengan referensi-referensi khusus atau dengan materi-materi kuliah yang terkait yang barangkali pernah diterimanya. Oleh karena itu saran-rekomendasi "pelurusan" konsep terkait melalui berbagai "media" perlu ditingkatkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad H. Sidiq, K. H. Sugiyarto, dan C. Budimarwanti. 2006. *Replicativ: Redox Application and Motivation*, 66-67.
- Atkins, P. and Julio de Paula. 2006. *Physical Chemistry 8<sup>th</sup> ed.* Oxford: Oxford University Press.
- Bodner, G.M. (1986) "Contructivism : A Theory of Knowledge", *Journal of Chemical Education*, **63**, 873-878.
- Brady, J. E. 1990. *General Chemistry 5<sup>th</sup> Ed.* New York : John Wiley & Sons.
- Burdge, Julia. 2011. *Chemistry 2<sup>nd</sup> ed.* New York: MacGraw Hill
- Gabel, D.L., and Samuel, K.V. (1987) "Understanding the Particulate Nature of Matter". *Journal of Chemical Education*, **64**, 695-697.
- Greenwood, N.N., 1968. *Principles of Atomic Orbitals (Revised Edition)*. London, The Royal Institute of Chemistry.
- Griffiths, A. K. and Preston, K. R. (1992). "Grade-12 Students' Misconceptions Relating to Fundamental Characteristics of Atoms and Molecules", *Journal of Research in Science Teaching*, **29**, 611-628.
- Nakhleh, M.B., (1992) "Why Some Students Don't Learn Chemistry : Chemical Misconceptions". *Journal of Chemical Education*, **69**, 191-196.
- Novak, J. D., and Gowin, D. B., (1986), *Learning How to Learn*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Osborne, R.J., and Wittrock, M.C., *Sci. Educ.*, 1983, **67**, 489-508
- Scerri, E.R. (1989) "Transition Metal Configurations and Limitations of the Orbital Approximation". *Journal of Chemical Education*, **66**, 481-483.
- Sugiyarto, K. H., (1982) "Mempelajari cara penyetaraan reaksi redoks", *Majalah Pendidikan IPA, Bandung*, No. 57/V, hal. 2-8.
- Sugiyarto, K. H., Heru Pratomo, A.L., dan Togu Gultom, 2010. *Miskonsepsi Pokok Bahasan Bilangan Kuantum dan Konfigurasi Elektronik pada Berbagai Buku-Ajar Kimia SMA dan Para Guru Penggunanya (Laporan Penelitian)*