Modifikasi Metode Setengah Reaksi untuk Menyetarakan Reaksi Redoks pada Pembelajaran Konsep Reaksi Redoks dan Elektrokimia di SMA

Oleh: Sukisman Purtadi[1]

ABSTRAK

Reaksi redoks, terutama dalam penyetaraan reaksi redoks dianggap sebagai salah satu konsep sulit karena sulit untuk dipahami dan melibatkan beberapa aturan yang harus dihafal siswa. Oleh karena itu penulisan ini dimaksudkan untuk membahas kemungkinan pemodifikasian metode penyetaraan reaksi redoks sehingga dapat dikuasai siswa dengan lebih mudah

Metode yang sudah ada dipandang mendatangkan asumsi pada siswa bahwa penyetaraan reaksi kimia merupakan hal yang sukar. Metode aljabar dianggap terlalu matematis. Semakin kompleks reaksi yang diberikan, semakin banyak persamaan yang dibentuk akan semakin sukar pula penyelesaiannya. Ketidaksederhanaan aturan untuk penyetaraan persamaan reaksi dengan metode setengah reaksi juga menjadi pemicu kesulitan bagi siswa. Bahkan pada keadaan tertentu, penyelesaian masalah lebih memilih untuk tidak mematuhi aturan yang diberikan

Modifikasi ini bertujuan untuk menyederhanakan aturan yang harus diingat siswa. Dengan semakin sederhana aturan, beban siswa akan berkurang. Setelah modifikasi siswa akan dengan cepat mengingat bahwa untuk semua suasana sisi reaksi yang kekurangan atom O ditambah dengan OH^- dan yang kekurangan atom H ditambahkan H^+.

Kata Kunci : Reaksi redoks, Penyetaraan reaksi, modifikasi, Redoks dan Elektrokimia

ABSTRACT

Redox reaction, especially on balancing reaction is assumed to a difficult concept because it is difficult to be understood and including some rules that must be rotten. For that case, this paper was meant to discuss about modifying reaction redox balancing method so that it can be acquired more easily.

Existing methods still lead student to assume that reaction balancing is a difficult process. Algebra method is too mathematical. The more complex the reaction is, the more difficult its solution is. The complexity of rules of half reaction method on balancing redox reaction brings difficult understanding on students also. Even, on a particular condition, balancing process prefer to breaking the rules.

The objective of this modification is to simplify the rule students have to rote. Simplifying the method will reduce student bourdon. By this modification method, students need just to remember that in every condition, OH^- and H^+ ion is used to balance O and H atom respectively.

Key Words : **redox reaction, reaction balancing method, redox and electrochemistry**

[1] Dosen Jurusan Pendidikan Kimia FMIPA UNY

A. Pendahuluan

Penelitian di beberapa negara menunjukkan bahwa sains, terutama kimia dan fisika menjadi salah satu mata pelajaran yang tidak popular di kalangan siswa (Eilks, 2005: 313). Salah satu penyebab dari keadaan ini adalah dalam sains (kimia) banyak dipelajari hal-hal yang abstrak, seperti atom, bilangan oksidasi, reaksi dan energi. Pembelajaran kimia yang dilakukan di kelas hendaknya mendekatkan konsep – konsep abstrak ini pada siswa sehingga mereka tidak mengalami kesulitan dalam menguasainya.

Kenyataan di lapangan menunjukkan pembelajaran yang dilakukan masih banyak menyisakan kesulitan dalam proses penguasaan konsep kimia. Salah satu konsep dalam kimia yang dianggap sulit adalah reaksi redoks, terutama dalam penyetaraan reaksi redoks. Konsep ini sulit untuk dipahami dan melibatkan beberapa aturan yang harus dihafal siswa.

Ada dua cara untuk menyetarakan reaksi redoks yang dikenalkan pada siswa, yang secara jelas dicantumkan sebagai kompetensi dasar dalam kurikulum 2004, yaitu cara bilangan oksidasi dan cara setengah reaksi (ion elektron). Kedua cara ini, sekali lagi, mengharuskan siswa menghafal beberapa aturan.

Selain kedua cara tersebut sebenarnya telah lama dikembangkan metode untuk menyetarakan reaksi kimia, yakni metode aljabar (Olson, 1997: 538). Metode ini dapat diterapkan pada reaksi redoks maupun reaksi secara umum. Sesuai dengan namanya, metode aljabar meliputi pengubahan koefisien dalam bentuk persamaan – persamaan yang kemudian diselesaikan dengan cara aljabar. Sebagian pengajar kimia menganggap metode ini terlalu matematis. Siswa yang menyukai matematika akan terbantu dengan metode ini akan tetapi siswa yang tidak menyukai matematika akan semakin menjauhi kimia.

Penyetaraan reaksi, terutama reaksi redoks adalah dasar penguasaan konsep lain seperti kimia larutan, elektrokimia dan teknologinya. Cara termudah untuk menyetarakan persamaan reaksi redoks akan memudahkan siswa menguasai konsep lainnya. Disamping itu, karena siswa menganggap bahwa konsep ini merupakan konsep yang paling sulit dalam kimia, penguasaannya akan menjadikan siswa mengasumsikan bahwa kimia itu mudah. Hasil akhirnya, minat

siswa dalam mempelajari kimia akan meningkat. Oleh karena itu penulisan ini dimaksudkan untuk membahas kemungkinan pemodifikasian cara penyetaraan reaksi redoks sehingga dapat dikuasai siswa dengan lebih mudah. Metode penyetaraan reaksi redoks yang dimodifikasi dalam tulisan ini adalah cara setengah reaksi.

B. Penyetaraan Reaksi Redoks

Reaksi redoks didefinisikan sebagai sebuah proses yang melibatkan perpindahan elektron dari satu reaktan ke reaktan lainnya (Silberberg, 2003: 147). Dalam kurikulum KBK 2004, konsep redoks dan elektrokimia diberikan pada kelas XII. Indikator kompetensi siswa untuk sub penyetaraan reaksi redoks adalah mampu menyetarakan persamaan reaksi redoks dengan cara bilangan oksidasi dan menyetarakan persamaan reaksi redoks dengan cara setengah reaksi (ion elektron).

Ada dua metode yang di bahas dalam makalah ini yaitu metode aljabar dan metode setengah reaksi. Kedua metode ini dipandang mendatangkan asumsi bahwa penyetaraan reaksi kimia merupakan hal yang sukar.

1. Metode Aljabar

Metode aljabar dikenalkan oleh Bottemly dan dikombinasikan dengan metode inspeksi oleh Deming pada tahun 1948 (Olson, 1997: 538). Metode ini berkembang tidak hanya untuk reaksi sederhana tapi juga untuk reaksi redoks dengan perubahan bilangan oksidasi lebih dari satu pada satu reaktan. Olson (1997: 538) mengadakan suatu analisis untuk mendapatkan kondisi yang terlibat dalam penyetaraan reaksi redoks dengan cara matematis ini. Ada tiga kondisi yang harus dipenuhi oleh suatu reaksi setara.

a. **kondisi 1**: kesetaraan atom (KA)

Kesetaraan atom atau materi pertama kali diperkenalkan oleh Bottemly pada tahun 1879 (Olson,1997: 538). Bentuk umum untuk setiap element yang terlibat dalam reaksi kimia adalah:

jumlah atom pada sisi reaktan = jumlah atom pada sisi produk.

Persamaan ini digunakan untuk unsur yang sama. Dengan demikian, jumlah persamaan yang dibentuk akan sama dengan jumlah macam unsur yang terlibat dalam reaksi.

b. **kondisi 2** : kesetaraan muatan (KM)

Kesetaraan muatan diperkenalkan oleh Bennett pada tahun 1954 (Olson, 1997: 538). Kesetaraan ini didasarkan pada pernyataan bahwa total muatan dalam reaksi kimia tidak berubah (terkonservasi). Bentuk umum dari persamaan ini adalah:

jumlah muatan pada sisi reaktan = jumlah muatan pada sisi produk

c. **kondisi 3** : kesetaraan oksidasi – reduksi (KOR)

Reaksi oksidasi – reduksi dapat dianggap sebagai reaksi yang melibatkan transfer elektron. Jumlah elektron yang ditransfer terkonservasi dan dapat didefinisikan dalam bentuk perubahan bilangan oksidasi. Nilai absolut dari berbagai bilangan oksidasi dari atom pada kedua sisi reaksi menunjuk pada perubahan bilangan oksidasi. Pernyataan umumnya dapat dinyatakan sebagai berikut.

jumlah oksidasi = jumlah reduksi.

Secara skematik persamaan ini dapat diturun menjadi beberapa persamaan berikut.

$(OKS)_R = (RED)_R$

$(OKS)_P = (RED)_P$

$(OKS)_R = (RED)_P$

$(OKS)_P = (RED)_R$

$(RED)_R = (RED)_P$

$(OKS)_R = (OKS)_P$

Metode aljabar melibatkan penulisan koefisien reaksi dalam variabel a, b, c, ... yang merupakan bilangan bulat dan penggabungan ketiga kondisi reaksi di atas untuk membentuk persamaan matematis. Misalnya reaksi berikut.

$$aNH_4^+ (aq) + bNO_3^- (aq) \longrightarrow cN_2O(g) + dH_2O(l) + eH^+ (aq)$$

Ada tiga unsur yang terlibat dalam reaksi tersebut. Berdasarkan KA, dapat dibentuk tiga persamaan berikut.

N : a + b = 2c

H : 4a = 2d + e

O : 3b = c + d

Persamaan yang dibentuk berdasarkan KM adalah

a(+1) + b (– 1) = e (+ 1)

Untuk KOR, dapat dilihat bahwa bilangan oksidasi N(a) berubah dari –3 menjadi +1 (N c) dan N (b) berubah dari +5 menjadi + 1. Persamaan yang dapat dibentuk adalah

a(4) = b(4)

Kelima persamaan tersebut diselesaikan dengan metode aljabar sehingga diperoleh a = 1, b = 1, c = 1, d = 2 dan e = 0. Reaksi setara yang dihasilkan adalah

NH_4^+ (aq) + NO_3^- (aq) $\longrightarrow$ N_2O(g) + $2H_2O$(l)

2. Metode setengah reaksi

Langkah-langkah untuk menyetarakan reaksi redoks dengan menggunakan metode setengah reaksi adalah sebagai berikut.

a. membagi reaksi menjadi setengah reaksi
b. menyetarakan jumlah atom dan muatan dalam setiap setengah reaksi
   1) jumlah atom disetarakan dengan urutan sebagai berikut: atom selain O dan H kemudian O dan terakhir H
   2) dalam suasana asam jumlah O di setarakan dengan menambahkan H_2O dan jumlah H dengan H^+ dalam suasana basa jumlah O di setarakan dengan menambahkan OH^- dan jumlah H dengan H_2O penambahan dilakukan pada hanya sisi yang kekurangan
   3) muatan disetarakan dengan menambahkan e^-
c. bila perlu, mengalikan setengah reaksi dengan bilangan bulat
d. menjumlahkan setengah reaksi
e. memastikan jumlah atom dan muatan sudah setara (Silberberg, 2003: 894 – 896)

Contoh penyetaraan reaksi dengan metode setengah reaksi, sebagai berikut.

$Cr_2O_7^{2-}$ (aq) + I^- (aq) $\longrightarrow$ Cr^{3+} (aq) + I_2(s) (suasana asam)

Sesuai dengan penjelasan di atas langkah-langkah untuk menyetarakan reaksi tersebut adalah sebagai berikut.

Langkah pertama,membagi reaksi ke dalam setengah reaksi yang masing – masing mengandung bentuk oksidasi dan reduksi dari satu spesies

$Cr_2O_7^{2-} \longrightarrow Cr^{3+}$

$I^- \longrightarrow I_2$

Langkah kedua, menyetarakan jumlah atom dan muatannya

Untuk setengah reaksi $Cr_2O_7^{2-}$ /Cr^{3+} dimulai dari menyamakan jumlah Cr dengan memberikan koefisien 2 di kanan

$Cr_2O_7^{2-} \longrightarrow 2\ Cr^{3+}$

Menyetarakan jumlah O dengan menambah H_2O pada bagian yang kekurangan O. Karena di sebelah kiri ada 7 O, sebelah kanan ditambah dengan 7 H_2O

$Cr_2O_7^{2-} \longrightarrow 2\ Cr^{3+} + 7\ H_2O$

Jumlah H di sebelah kiri disetarakan dengan menambahkan H^+. Ada 14 H di sebelah kanan maka di sebelah kiri ditambah 14 H^+.

$Cr_2O_7^{2-} + 14\ H^+ \longrightarrow 2\ Cr^{3+} + 7\ H_2O$

Jumlah muatan disetarakan dengan menambahkan e^-. Jumlah muatan di sebelah kiri adalah (- 2) + (+14) = +12 dan sebelah kanan adalah 2 (+3) = +6. ada kelebihan 6 muatan di sebelah kiri sehingga perlu ditambahkan 6 e^- pada bagian kiri.

$Cr_2O_7^{2-} + 14\ H^+ + 6\ e^- \longrightarrow 2\ Cr^{3+} + 7\ H_2O$

Karena menangkap e^- maka bagian ini disebut reduksi.

Untuk setengah reaksi I^- / I_2 dimulai dari menyamakan jumlah I dengan memberikan koefisien 2 pada sebelah kiri

$2\ I^- \longrightarrow I_2$

Jumlah atom di sebelah kiri dan kanan sudah setara, tidak diperlukan penambahan O dan H. Jumlah muatan di sebelah kiri adalah 2 (- 1) = - 2 dan di sebelah kanan 0, sehingga di sebelah kanan perlu ditambahkan 2 e^-

$2\ I^- \longrightarrow I_2 + 2\ e^-$

Karena melepaskan e^- maka bagian ini disebut oksidasi

Langkah ketiga, mengalikan setengah reaksi dengan bilangan bulat untuk menyamakan jumlah atom yang diperlukan reduksi dan oksidasi. Bagian reduksi menangkap 6 e^- dan oksidasi melepaskan 2 e^-, sehingga bagian oksidasi dikalikan 3

$$2\ I^- \longrightarrow I_2 + 2\ e^- \quad \times 3$$

$$6\ I^- \longrightarrow 3\ I_2 + 6\ e^-$$

Langkah keempat, menjumlahkan reaksi dan menghilangkan spesi yang muncul pada kedua sisi reaksi.

$$Cr_2O_7^{2-} + 14\ H^+ + \cancel{6\ e^-} \longrightarrow 2\ Cr^{3+} + 7\ H_2O$$

$$6\ I^- \longrightarrow 3\ I_2 + \cancel{6\ e^-}$$

$$Cr_2O_7^{2-} + 14\ H^+ + 6\ I^- \longrightarrow 2\ Cr^{3+} + 7\ H_2O + 3\ I_2$$

Langkah kelima, memastikan jumlah atom dan muatan sudah setara

(6I; 14H; 2Cr; 7O;6+ $\longrightarrow$ 6I; 14H; 2Cr; 7O;6+)

Reaksi redoks dalam suasana basa disetarakan dengan cara yang sama. Perbedaannya terletak pada cara menyetarakan jumlah atom O dan H. Pada suasana basa tidak digunakan pasangan H^+ dan H_2O, tetapi OH^- dan H_2O

C. Kesulitan Dalam Penyetaraan Reaksi Redoks

Sebagaimana telah dijelaskan di atas kesulitan yang ditemui pada metode aljabar akan muncul jika siswa sudah enggan dengan matematika. Siswa dihadapkan pada aturan tentang kesetaraan (tiga kondisi) kemudian masuk pada area aljabar untuk menyelesaikan persamaan yang dibentuk. Semakin kompleks reaksi yang diberikan, semakin banyak persamaan yang dibentuk akan semakin sukar pula penyelesaiannya. Sebagaian pengajar kimia malah menganggap bahwa metode ini lebih cenderung matematis daripada kimia.

Ketidaksederhanaan aturan untuk penyetaraan persamaan reaksi dengan metode setengah reaksi juga menjadi pemicu kesulitan bagi siswa. Bahkan pada keadaan tertentu, penyelesaian masalah lebih memilih untuk tidak mematuhi aturan yang diberikan.

Contoh yang paling mudah diperoleh adalah penyelesaian reaksi berikut ini (Silberberg, 2003: 897; Brady, 2003: 204).

$$MnO_4^- (aq) + C_2O_4^{2-} (aq) \longrightarrow MnO_2(s) + CO_3^{2-}(aq) \text{ (suasana basa)}$$

Langkah – langkah penyetaraannya sebagai berikut.

1. membagi menjadi setengah reaksi

$$MnO_4^- \longrightarrow MnO_2 \qquad C_2O_4^{2-} \longrightarrow CO_3^{2-}$$

2. menyetarakan
   a. atom selain O dan H. Pada setengah reaksi yang pertama, tidak diperlukan penyetaraan karena jumlah atom Mn di sebelah kiri dan kanan sama. Untuk setengah reaksi kedua, pada sisi sebelah kiri terdapat 2 C dan sebelah kanan ada 1 sehingga sisi kanan dikalikan 2 (dua)

$$MnO_4^- \longrightarrow MnO_2 \qquad C_2O_4^{2-} \longrightarrow 2CO_3^{2-}$$

   b. atom O dengan OH^-

Langkah yang lebih rinci dari Brady (1999: 204) adalah sebagai berikut.

1) untuk membuat setimbang sebuah atom oksigen, tambahkan OH^- pada sisi yang kekurangan oksigen dan pada sisi lainnya tambahkan molekul H_2O

$$MnO_4^- \longrightarrow MnO_2 + 2OH^- \qquad C_2O_4^{2-} + 2OH^- \longrightarrow 2CO_3^{2-}$$

2) untuk membuat setimbang atom H, tambahkan satu molekul H_2O pada sisi yang kekurangan H dan pada sisi lainnya ditambah dengan satu OH^-

kedua langkah ini bukan langkah yang sederhana, seperti dituliskan oleh Brady (1999: 204). Perhatikan bahwa siswa akan mengalami kebingungan dengan dua langkah di atas. Hal ini terjadi saat siswa harus menyeimbangkan atom H setelah atom O. Atom O akan muncul lagi sebagai akibat penambahan H_2O dan OH^- yang berarti siswa harus bekerja dua kali. Meskipun siswa dapat mencapai reaksi berikut, hal ini sangat sulit bagi sebagian besar siswa.

$$MnO_4^- + 2H_2O \longrightarrow MnO_2 + 4OH^- \qquad C_2O_4^{2-} + 4OH^- \longrightarrow 2CO_3^{2-} + 2H_2O$$

Reaksi ini diselesaikan dengan menganggap seolah-olah berlangsung dalam suasana asam untuk memudahkannya. Langkah penyetaraan dimulai dengan menyeimbangkan atom O dengan H_2O. Untuk setengah reaksi pertama, jumlah O disebelah kiri adalah 4 dan sebelah kanan 2 sehingga perlu ditambahkan dua buah H_2O pada sisi kanan. Untuk setengah reaksi kedua, pada sisi kiri terdapat 4 O dan

pada sisi kanan terdapat 6, sehingga perlu ditambahkan 2 H_2O pada sisi sebelah kiri.

$MnO_4^- \longrightarrow MnO_2 + 2H_2O$ $\qquad$ $C_2O_4^{2-} + 2H_2O \longrightarrow 2CO_3^{2-}$

c. atom H dengan H^+.

Untuk setengah reaksi pertama jumlah H pada sebelah kanan menjadi 4 dan sebelah kiri 0. Untuk setengah reaksi kedua, 0 untuk sisi kanan dan 4 untuk sisi kiri. Keduanya disetarakan dengan menambahkan 4 H^+ pada sisi kiri setengah reaksi pertama dan sisi kanan pada setengah reaksi kedua

$MnO_4^- + 4\,H^+ \longrightarrow MnO_2 + 2H_2O$ $\qquad$ $C_2O_4^{2-} + 2H_2O \longrightarrow 2CO_3^{2-} + 4\,H^+$

d. muatan dengan e^-.

Pada setengah reaksi pertama, jumlah muatan sisi kiri adalah 3+ dan kanan 0, sehingga perlu ditambahkan 3 e^- pada sisi kiri. Pada reaksi kedua, jumlah muatan sisi kiri adalah 2^- dan sisi kanan adalah 0, sehingga perlu ditambahkan 2 e^- pada sisi kanan

$MnO_4^- + 4\,H^+ + 3\,e^- \longrightarrow MnO_2 + 2H_2O$ $\qquad$ $C_2O_4^{2-} + 2H_2O \longrightarrow 2CO_3^{2-} + 4\,H^+ + 2\,e^-$

3. mengalikan dengan bilangan bulat untuk menyetarakan e^-. Setengah reaksi pertama dikalikan dengan 2 dan yang kedua dengan 3

$2 \times (MnO_4^- + 4\,H^+ + 3\,e^- \longrightarrow MnO_2 + 2H_2O)$ $\qquad$ $3\times (C_2O_4^{2-} + 2H_2O \longrightarrow 2CO_3^{2-} + 4\,H^+ + 2\,e^-)$

$2\,MnO_4^- + 8\,H^+ + 6\,e^- \longrightarrow 2\,MnO_2 + 4H_2O$ $\qquad$ $3C_2O_4^{2-} + 6H_2O \longrightarrow 6CO_3^{2-} + 12\,H^+ + 6\,e^-$

4. menjumlahkan setengah reaksi dan menghilangkan spesies yang muncul di kedua sisi

$$2\,MnO_4^- + \cancel{8\,H^+} + \cancel{6\,e^-} \longrightarrow 2\,MnO_2 + \cancel{4H_2O}$$
$$3C_2O_4^{2-} + 2\,\cancel{6H_2O} \longrightarrow 6CO_3^{2-} + 4\,\cancel{12\,H^+} + \cancel{6\,e^-}$$
$$2\,MnO_4^- + 3C_2O_4^{2-} + 2\,H_2O \longrightarrow 2\,MnO_2 + 6CO_3^{2-} + 4\,H^+$$

5. menambahkan OH– untuk menetralkan H+ pada kedua sisi. Pada reaksi ini ada 2 H^+ yang harus dinetralkan

$$2\,MnO_4^- + 3C_2O_4^{2-} + 2\,H_2O + 4\,OH^- \longrightarrow 2\,MnO_2 + 6CO_3^{2-} + [4\,H^+ + 4\,OH^-]$$
$$2\,MnO_4^- + 3C_2O_4^{2-} + \cancel{2\,H_2O} + 4\,OH^- \longrightarrow 2\,MnO_2 + 6CO_3^{2-} + 2\,\cancel{4\,H_2O}$$

Hasil akhirnya adalah

$$2\,MnO_4^- + 3C_2O_4^{2-} + 4\,OH^- \longrightarrow 2\,MnO_2 + 6CO_3^{2-} + 2\,H_2O$$

6. memastikan bahwa jumlah atom dan muatan sudah setara

(2Mn; 24O; 6C; 4H; 12–) $\longrightarrow$ (2Mn; 24O; 6C; 4H; 12–)

D. Modifikasi Metode Setengah Reaksi

Sebagaimana telah dijelaskan di atas, untuk menyetarakan persamaan reaksi redoks dengan metode setengah reaksi, siswa perlu melihat apakah reaksi berlangsung dalam suasana asam atau basa. Aturan penyetaraan untuk kedua suasana tersebut berbeda. Aturan ini menyulitkan siswa terutama pada awal perkenalan mereka dengan reaksi redoks.

Langkah yang menganggap reaksi dalam suasana basa diselesaikan seolah – olah berlangsung dalam suasana asam diatas mengindikasikan bahwa dalam proses penyetaraan reaksi tidak harus berpatokan bahwa dalam basa tidak dapat dihasilkan H^+ dan dalam asam tidak dihasilkan OH^-. Pengandaian ini memberikan jalan bahwa proses penyataraan dapat lepas dari aturan tersebut dan tujuan utamanya lebih pada tercapainya reaksi setara. Sebagaimana dikemukakan oleh Fishtik & Berka (2005:557), stoikiometri kimia sendiri tidak memberikan satu cara pasti untuk memilih rangkaian sistem reaksi kimia (dalam hubungannya dengan setengah reaksi). Hal yang pasti dari reaksi kimia adalah adanya kekekalan massa. Oleh karena itu, perlu dilakukan modifikasi metode yang mengarahkan pada penyederhanaan aturan sehingga siswa lebih mudah mengingatnya.

Modifikasi dilakukan dengan syarat bahwa reaksi berlangsung dalam larutan dalam air. Hal yang perlu ditekankan pada siswa cukup sederhana, yaitu air (H_2O) dapat membentuk ion H^+ dan OH^- dan sebaliknya. Pada suasana apapun ion OH^- digunakan untuk menyeimbangkan jumlah atom O, dan ion H^+ untuk H. Suasana asam atau basa diperhatikan setelah reaksi total setara. Untuk suasana asam tambahkan H^+ dan basa ditambahkan OH^-. Bila H^+ dan OH^- bertemu dalam satu sisi, keduanya bergabung menjadi H_2O. Jumlah ion H+ atau OH^- yang ditambahkan sama dengan ion OH^- atau H^+ yang ada.

Langkah secara umum dari metode setengah reaksi yang dimodifikasi ini adalah sebagai berikut.

a. membagi reaksi menjadi setengah reaksi
b. menyetarakan jumlah atom dan muatan dalam setiap setengah reaksi

1) jumlah atom disetarakan dengan urutan sebagai berikut: atom selain O dan H kemudian O dan terakhir H
2) dalam suasana apapun, tambahkan OH^- untuk sisi yang kekurangan O dan H^+ untuk sisi yang kekurangan H
3) muatan disetarakan dengan menambahkan e^-

c. bila perlu, mengalikan setengah reaksi dengan bilangan bulat
d. menjumlahkan setengah reaksi, tambahkan H^+ atau OH^- (sesuai dengan suasana yang diminta) untuk menetralkan reaksi
e. memastikan jumlah atom dan muatan sudah setara

Secara sekilas, aturan ini sama dengan metode yang belum dimodifikasi akan tetapi pada proses penyetaraan jumlah atom dan muatan akan sangat berbeda. Selama proses penyetaraan ini, siswa tidak memperdulikan apakah suasana asam atau basa sehingga mereka tidak lagi harus menghafal H^+, OH^- atau H_2O kah yang harus ditambahkan. Siswa cukup mengingat bahwa untuk semua suasana sisi reaksi yang kekurangan atom O ditambah dengan OH^- dan yang kekurangan atom H ditambahkan H^+.

Untuk beberapa reaksi, siswa akan cukup diuntungkan. Misalnya untuk penyelesaian reaksi di atas, siswa tidak akan mengalami kesukaran untuk penyetaraan setengah reaksi. Sebagai contoh, metode setengah reaksi termodifikasi digunakan untuk menyetarakan reaksi redoks berikut.

$$MnO_4^- (aq) + As_4O_6 (s) \longrightarrow Mn^{2+}(s) + AsO_4^{3-}(aq) \text{ (suasana asam)}$$

Langkah – langkah penyetaraannya sebagai berikut.

1. membagi menjadi setengah reaksi

$$MnO_4^- \longrightarrow Mn^{2+} \qquad As_4O_6 \longrightarrow AsO_4^{3-}$$

2. menyetarakan
   a. atom selain O dan H,

   Pada setengah reaksi yang pertama, tidak diperlukan penyetaraan karena jumlah atom Mn di sebelah kiri dan kanan sama. Untuk setengah reaksi kedua, pada sisi sebelah kiri terdapat 4 As dan sebelah kanan ada 1 sehingga sisi kanan dikalikan 4 (empat).

$$MnO_4^- \longrightarrow Mn^{2+} \qquad As_4O_6 \longrightarrow 4AsO_4^{3-}$$

b. atom O dengan OH^-.

Untuk setengah reaksi pertama, jumlah O disebelah kiri adalah 4 sehingga perlu ditambahkan empat buah OH^- pada sisi kanan Untuk setengah reaksi kedua, pada sisi kiri terdapat 6 O dan pada sisi kanan terdapat 16, sehingga perlu ditambahkan 10 OH^- pada sisi sebelah kiri.

$MnO_4^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4\ OH^-$ $\qquad$ $As_4O_6 + 10\ OH^- \longrightarrow 4AsO_4^{3-}$

c. atom H dengan H^+.

Untuk setengah reaksi pertama jumlah H pada sebelah kanan menjadi 4 dan sebelah kiri 0. Untuk setengah reaksi kedua, 0 untuk sisi kanan dan 10 untuk sisi kiri. Keduanya disetarakan dengan menambahkan 4 H^+ pada sisi kiri setengah reaksi pertama dan 10 pada sisi kanan setengah reaksi kedua

$MnO_4^- + 4H^+ \longrightarrow Mn^{2+} + 4\ OH^-$ $\qquad$ $As_4O_6 + 10\ OH^- \longrightarrow 4AsO_4^{3-} + 10H^+$

d. muatan dengan e^-

Pada setengah reaksi pertama, jumlah muatan sisi kiri adalah 3 + dan kanan 2 –, sehingga perlu ditambahkan 5 e^- pada sisi kiri. Pada reaksi kedua,jumlah muatan sisi kiri adalah 10^- dan sisi kanan adalah 2–, sehingga perlu ditambahkan 8 e^- pada sisi kanan.

$MnO_4^- + 4H^+ + 5e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4\ OH^-$ $\qquad$ $As_4O_6 + 10\ OH^- \longrightarrow 4AsO_4^{3-} + 10H^+ + 8e^-$

3. mengalikan dengan bilangan bulat untuk menyetarakan e^-.

$8 \times (MnO_4^- + 4H^+ + 5e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4\ OH^-)$

$8MnO_4^- + 32H^+ + 40e^- \longrightarrow 8Mn^{2+} + 32\ OH^-$

$5 \times (As_4O_6 + 10\ OH^- \longrightarrow 4AsO_4^{3-} + 10H^+ + 8e^-)$

$5As_4O_6 + 50\ OH^- \longrightarrow 20AsO_4^{3-} + 50H^+ + 40e^-$

4. menjumlahkan setengah reaksi dan menghilangkan spesies yang muncul di kedua sisi

$8MnO_4^- + \cancel{32H^+} + \cancel{40e^-} \longrightarrow 8Mn^{2+} + \cancel{32\ OH^-}$

$5As_4O_6 + 18\cancel{50\ OH^-} \longrightarrow 20AsO_4^{3-} + 18\cancel{50H^+} + \cancel{40e^-}$

$8MnO_4^- + 5As_4O_6 + 18\ OH^- \longrightarrow 20AsO_4^{3-} + 18H^+ + 8Mn^{2+}$

5. menambahkan H^+ pada kedua sisi untuk menetralkan OH^- (suasana asam), jumlah H^+ yang ditambahkan sama dengan OH^- yang akan dinetralkan. Pada reaksi di atas ada 18 OH^- yang harus dinetralkan, jadi ada 18 H^+ yang perlu ditambahkan

$8MnO_4^- + 5As_4O_6 + 18\ OH^- + 18H^+ \longrightarrow 20AsO_4^{3-} + 18H^+ + 8Mn^{2+} + 18H^+$

Hasil akhirnya adalah

$$8MnO_4^- + 5As_4O_6 + 18\ H_2O \longrightarrow 20AsO_4^{3-} + 8Mn^{2+} + 36H^+$$

6. memastikan bahwa jumlah atom dan muatan sudah setara

(8Mn; 80O; 20As; 36H; 8–) $\longrightarrow$ (8Mn; 80O; 20As; 36H; 8–)

Cara ini juga dengan mudah digunakan untuk menyetarakan reaksi pada suasana basa. Misalnya untuk reaksi berikut.

$$MnO_4^-(aq) + C_2O_4^{2-}(aq) \longrightarrow MnO_2(s) + CO_3^{2-}(aq)\ \text{(suasana basa)}$$

Langkah – langkah penyetaraannya sebagai berikut.

1. membagi menjadi setengah reaksi

$$MnO_4^- \longrightarrow MnO_2 \qquad C_2O_4^{2-} \longrightarrow CO_3^{2-}$$

2. menyetarakan
   a. atom selain O dan H.

      Pada setengah reaksi yang pertama, tidak diperlukan penyetaraan karena jumlah atom Mn di sebelah kiri dan kanan sama. Untuk setengah reaksi kedua, pada sisi sebelah kiri terdapat 2 C dan sebelah kanan ada 1 sehingga sisi kanan dikalikan 2 (dua)

      $$MnO_4^- \longrightarrow MnO_2 \qquad C_2O_4^{2-} \longrightarrow 2CO_3^{2-}$$

   b. atom O dengan OH^-.

      Untuk setengah reaksi pertama, jumlah O disebelah kiri adalah 4 dan sebelah kanan 2 sehingga perlu ditambahkan dua buah OH^- pada sisi kanan. Untuk setengah reaksi kedua, pada sisi kiri terdapat 4O dan pada sisi kanan 6, sehingga perlu ditambahkan 2 OH^- pada sisi sebelah kiri

      $$MnO_4^- \longrightarrow MnO_2 + 2\ OH^- \qquad C_2O_4^{2-} + 2\ OH^- \longrightarrow 2CO_3^{2-}$$

   c. atom H dengan H^+.

      Untuk setengah reaksi pertama jumlah H pada sebelah kanan menjadi 2 dan sebelah kiri 0. Untuk setengah reaksi kedua, 0 untuk sisi kanan dan 2 untuk sisi kiri. Keduanya disetarakan dengan menambahkan 2 H^+ pada sisi kiri setengah reaksi pertama dan sisi kanan pada setengah reaksi kedua.

      $$MnO_4^- + 2\ H^+ \longrightarrow MnO_2 + 2\ OH^- \qquad C_2O_4^{2-} + 2\ OH^- \longrightarrow 2CO_3^{2-} + 2\ H^+$$

   d. muatan dengan e^-.

      Pada setengah reaksi pertama, jumlah muatan sisi kiri adalah 1+ dan kanan 2 –, sehingga perlu ditambahkan 3 e^- pada sisi kiri. Pada reaksi

kedua,jumlah muatan sisi kiri adalah 4^- dan sisi kanan adalah 2–, sehingga perlu ditambahkan 2 e^- pada sisi kanan

$MnO_4^- + 2\ H^+ + 3\ e^- \longrightarrow MnO_2 + 2OH^-$ $\quad$ $C_2O_4^{2-} + 2\ OH^- \longrightarrow 2CO_3^{2-} + 2\ H^+ + 2\ e^-$

3. mengalikan dengan bilangan bulat untuk menyetarakan e^-. Jumlah e^- kedua setengah reaksi tersebut disetarakan sebelum dijumlahkan. Setengah reaksi pertama dikalikan dengan 2 dan yang kedua dengan 3

$2\ x\ (MnO_4^- + 2H^+ + 3\ e^- \longrightarrow MnO_2 + 2OH^-)$

$2\ MnO_4^- + 4\ H^+ + 6\ e^- \longrightarrow 2\ MnO_2 + 4OH^-$

$3x\ (C_2O_4^{2-} + 2OH^- \longrightarrow 2CO_3^{2-} + 2\ H^+ + 2\ e^-)$

$3C_2O_4^{2-} + 6OH^- \longrightarrow 6CO_3^{2-} + 6\ H^+ + 6\ e^-$

4. menjumlahkan setengah reaksi dan menghilangkan spesies yang muncul di kedua sisi

$2\ MnO_4^- + \cancel{4\ H^+} + \cancel{6\ e^-} \longrightarrow 2\ MnO_2 + \cancel{4\ OH^-}$

$3C_2O_4^{2-} + {}^2\cancel{6OH^-} \longrightarrow 6CO_3^{2-} + {}^2\cancel{6\ H^+} + \cancel{6\ e^-}$

$2\ MnO_4^- + 3C_2O_4^{2-} + 2\ OH^- \longrightarrow 2\ MnO_2 + 6CO_3^{2-} + 2\ H^+$

5. menambahkan OH^- untuk menetralkan H^+ pada kedua sisi (suasana basa), jumlah OH^- yang ditambahkan sama dengan H^+ yang akan dinetralkan. Pada reaksi ini ada 2 H^+ yang harus dinetralkan.

$2\ MnO_4^- + 3C_2O_4^{2-} + 2\ OH^- + 2\ OH^- \longrightarrow 2\ MnO_2 + 6CO_3^{2-} + [2\ H^+ + 2\ OH^-]$

$2\ MnO_4^- + 3C_2O_4^{2-} + 4\ OH^- \longrightarrow 2\ MnO_2 + 6CO_3^{2-} + 2\ H_2O$

Hasil akhirnya adalah

$2\ MnO_4^- + 3C_2O_4^{2-} + 4\ OH^- \longrightarrow 2\ MnO_2 + 6CO_3^{2-} + 2\ H_2O$

6. memastikan bahwa jumlah atom dan muatan sudah setara

(2Mn; 24O; 6C; 4H; 12–) $\longrightarrow$ (2Mn; 24O; 6C; 4H; 12–)

Metode setengah reaksi termodifikasi ini juga dapat dengan mudah digunakan untuk menyetarakan reaksi redoks yang dikenal sebagai reaksi monster (Stout, 1995: 1125; Ludwig, 1996: 507; Nelson, 1997:1256; ten Hoor, 1997: 1367) berikut.

$[Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3 + KMnO_4 + H_2SO_4 \longrightarrow K_2Cr_2O_7 + MnSO_4 + CO_2 + KNO_3 + K_2SO_4$

Metode aljabar (persamaan linear) dengan menekankan kesetaraan massa dianggap sebagai cara termudah untuk menyelesaikan persamaan ini (Nelson, 1997:1256; ten Hoor, 1997: 1367). Nelson (1997:1256) menunjukkan bahwa

dengan metode aljabar, reaksi ini dikerjakan dalam waktu 2 jam efektif. Jumlah setiap unsur harus sama pada kedua sisinya. Dimulai dengan meletakkan bilangan bulat a hingga i sebagai koefisien reaksinya.

$$\boldsymbol{a}[Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3+\boldsymbol{b}KMnO_4+\boldsymbol{c}H_2SO_4 \longrightarrow \boldsymbol{d}K_2Cr_2O_7+\boldsymbol{e}MnSO_4+\boldsymbol{f}CO_2+\boldsymbol{g}KNO_3+\boldsymbol{h}K_2SO_4+\boldsymbol{i}H_2O$$

Persamaan yang terbentuk adalah sebagi berikut.

Cr	:	7a	= 2d
N	:	66a	= g
C	:	96a + 2c	= 2i
O (selain dalam SO_4^{2-})	:	42a	= f
K	:	b	= 2d + g + 2h
Mn	:	b	= e
SO_4^{2-} (tidak terpecah)	:	c	= e + h

Langkah berikutnya adalah menyelesaikan persamaan tersebut dengan mengeliminasi setiap variable yang mungkin.

C = e + h
C = (2d +g +2h) + h
96a + 2 (2d +g +3h) = 2i
24a + 4b = 7d + 2f + 3g + [48a + (2d + g + 3h)
4b = 24a + 9d + 2f+4g+ 3h
4b = 24a + 31,5a + 84a+264a + 3h

b=e; b = 2d + g + 2h
96a + 2c = 2i
d = 3,5a
h = 0,5b – d – 0,5g
h = 0,5b – 3,5a – 33a

4b = 403,5a + 1,5b – 10,5a – 99a
2,5b = 294a (pada titik ini, karena d = 3,5a, koefisien didepan b harus genap)
10b = 1176a (karena a harus genap maka dipilih 10 untuk angka didepan b)

Dengan menggunakan a = 10 dan b = 1176 maka penyelesaian setara dari reaksi ini menjadi

$$10[Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3 + 1176KMnO_4 + 1399H_2SO_4 \longrightarrow 35K_2Cr_2O_7 + 1176MnSO_4 + 420CO_2 + 660KNO_3 + 223K_2SO_4 + 1879H_2O$$

Bila diperhatikan, cara yang digunakan Nelson di atas sangat rumit dan melibatkan banyak persamaan linear. Cara ini dapat dikatakan lebih bersifat matematis. Persamaan reaksi ini dapat diselesaikan dengan metode setengah reaksi yang dimodifikasi dengan lebih mudah.

Sebagai langkah awal, reaksi ini dapat dipecah menjadi setengah reaksi. Untuk memudahkannya reaksi dapat ditulis dalam bentuk ionnya yang paling mungkin. Untuk molekul besar $[Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3$ tidak dituliskan dalam

bentuk ionnya tetapi tetap sebagai molekul. Molekul ini terdiri dari Cr, N, H, C dan O maka spesi pada sisi produk yang mungkin dihasilkan darinya adalah $K_2Cr_2O_7$, CO_2 dan KNO_3. H2O diabaikan untuk sementara, karena akan terbentuk dari netralisasi OH^- dan H^+ selanjutnya MnO_4^- menjadi Mn^{2+}, dan H_2SO_4 digunakan sebagai penanda bahwa reaksi berlangsung pada suasana asam. Langkah – langkah penyetaraannya sebagai berikut.

1. membagi menjadi setengah reaksi

$$[Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3 \longrightarrow Cr_2O_7^{2-} + CO_2 + NO_3^-$$
$$MnO_4^- \longrightarrow Mn^{2+}$$

2. menyetarakan
   a. atom selain O dan H.

      Pada setengah reaksi yang pertama, ada tiga atom yang perlu diperhatikan, yaitu Cr, C dan N. Pada sisi sebelah kiri terdapat 7 Cr dan sebelah kanan ada 2 sehingga molekul besar dikalikan 2 (dua) dan $Cr_2O_7^{2-}$ dikalikan dengan 7 (tujuh). Langkah ini menjadikan jumlah C dan N pada sebelah kiri terkalikan dua dari molekul awalnya. Jumlah atom C pada sebelah kiri sekarang adalah 84 dan N = 132. Sisi kanan dikalikan dengan bilangan ini. Untuk setengah reaksi kedua tidak diperlukan penyetaraan karena jumlah atom Mn di sebelah kiri dan kanan sama.

$$2\ [Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3 \longrightarrow 7Cr_2O_7^{2-} + 84CO_2 + 132\ NO_3^-$$
$$MnO_4^- \longrightarrow Mn^{2+}$$

   b. atom O dengan OH^-.

      Untuk setengah reaksi pertama, pada sisi kiri terdapat 48 O dan pada sisi kanan terdapat 613, sehingga perlu ditambahkan 565 OH^- pada sisi sebelah kiri. Untuk setengah reaksi kedua, jumlah O disebelah kiri adalah 4 sehingga perlu ditambahkan empat buah OH^- pada sisi kanan.

$$2\ [Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3 + 565\ OH^- \longrightarrow 7Cr_2O_7^{2-} + 84CO_2 + 132\ NO_3^-$$
$$MnO_4^- \longrightarrow Mn^{2+} + OH^-$$

c. atom H dengan H^+.

Langkah b menyebabkan perubahan jumlah H, untuk setengah reaksi pertama jumlah H pada sebelah kiri menjadi 767 dan sebelah kanan 0. Untuk setengah reaksi kedua, 0 untuk sisi kiri dan 4 untuk sisi kanan. Keduanya disetarakan dengan menambahkan 767 H^+ pada sisi kanan setengah reaksi pertama dan 4 pada sisi kiri setengah reaksi kedua

$$2\ [Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3 + 565\ OH^- \longrightarrow 7Cr_2O_7^{2-} + 84CO_2 + 132\ NO_3^- + 767\ H^+$$

$$MnO_4^- + 4\ H^+ \longrightarrow Mn^{2+} + 4\ OH^-$$

d. muatan dengan e^-.

Pada setengah reaksi pertama, jumlah muatan sisi kiri adalah 565^- dan sisi kanan adalah 611+, sehingga perlu ditambahkan 1176 e^- pada sisi kanan. Pada reaksi kedua, jumlah muatan sisi kiri adalah 3 + dan kanan 2 –, sehingga perlu ditambahkan 5 e^- pada sisi kiri.

$$2\ [Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3 + 565\ OH^- \longrightarrow 7Cr_2O_7^{2-} + 84CO_2 + 132\ NO_3^- + 767\ H^+ + 1176\ e^-$$

$$MnO_4^- + 4\ H^+ + 5\ e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4\ OH^-$$

3. mengalikan dengan bilangan bulat untuk menyetarakan e^-. Jumlah e^- kedua setengah reaksi tersebut disetarakan sebelum dijumlahkan. Setengah reaksi pertama dikalikan dengan 5 dan yang kedua dengan 1176

$$5x(2\ [Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3 + 565\ OH^- \longrightarrow 7Cr_2O_7^{2-} + 84CO_2 + 132\ NO_3^- + 767\ H^+ + 1176\ e^-)$$

$$1176\ x\ (MnO_4^- + 4\ H^+ + 5\ e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4\ OH^-)$$

Reaksinya menjadi

$$10[Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3 + 2825\ OH^- \longrightarrow 35Cr_2O_7^{2-} + 420CO_2 + 660NO_3^- + 3785H^+ + 6880e^-$$

$$1176\ MnO_4^- + 4704\ H^+ + 6880\ e^- \longrightarrow 1176Mn^{2+} + 4704\ OH^-$$

4. menjumlahkan setengah reaksi dan menghilangkan spesies yang muncul di kedua sisi

$$10[Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3 + \cancel{2825\ OH^-} \longrightarrow 35Cr_2O_7^{2-} + 420CO_2 + 660NO_3^- + \cancel{3785H^+} + \cancel{6880e^-}$$

$$1176\ MnO_4^- + 919\ \cancel{4704}\ H^+ + \cancel{6880\ e^-} \longrightarrow 1176Mn^{2+} + 1879\ \cancel{4704}\ OH^-$$

$$10[Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3 + 1176MnO_4^- + 919H^+ \longrightarrow 35Cr_2O_7^{2-} + 420CO_2 + 660NO_3^- + 1176Mn^{2+} + 1879OH^-$$

5. menambahkan H^+ pada kedua sisi untuk menetralkan OH^- (suasana asam), jumlah H^+ yang ditambahkan sama dengan OH^- yang akan dinetralkan. Pada reaksi di atas ada 1879 OH^- yang harus dinetralkan, jadi ada 1879 H^+ yang perlu ditambahkan

$$10[Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3 + 1176\ MnO_4^- + 919H^+ + 1879H^+ \longrightarrow 35Cr_2O_7^{2-} + 420CO_2 + 660NO_3^- + 1176Mn^{2+} + 1879OH^- + 1879H^+$$

Hasil akhirnya adalah

$$10[Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3 + 1176\ MnO_4^- + 2798H^+ \longrightarrow 35Cr_2O_7^{2-} + 420CO_2 + 660NO_3^- + 1176Mn^{2+} + 1879H_2O$$

6. memastikan bahwa jumlah atom dan muatan sudah setara

(70Cr;420C;660N;244O;3758H;1622–) ⟶ (70Cr;420C;660N;244O;3758H;1622–)

Bila dituliskan dalam bentuk lengkap, reaksi ini menjadi

$$10[Cr(N_2H_4CO)_6]_4[Cr(CN)_6]_3 + 1176KMnO_4 + 1399H_2SO_4 \longrightarrow 35K_2Cr_2O_7 + 1176MnSO_4 + 420CO_2 + 660KNO_3 + 223K_2SO_4 + 1879H_2O$$

E. Penutup

Modifikasi ini bertujuan untuk menyederhanakan aturan yang harus diingat siswa. Dengan semakin sederhana aturan, beban siswa akan berkurang. Asumsi mereka tentang sulitnya menyetarakan reaksi redoks karena banyaknya aturan akan menjadi berkurang. Setelah modifikasi siswa akan dengan cepat mengingat bahwa untuk semua suasana sisi reaksi yang kekurangan atom O ditambah dengan OH^- dan yang kekurangan atom H ditambahkan H^+. Modifikasi ini juga sangat mungkin untuk dikembangkan pada jenis reaksi lain. Motivasi belajar mereka akan timbul karena penyetaraan reaksi menjadi sangat mudah. Pada akhirnya kemampuan mereka menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan reaksi redoks akan meningkat.

Daftar Pustaka

Brady, J.E. ***Kimia universitas: Azas dan struktur.*** Ed. Kelima. Terjemahan Sukmariah Maun, Kamianti Anas dan Tilda S. Sally. Binarupa Aksara: Jakarta

Departemen Pendidikan Nasional (Depdiknas). 2003. ***Standar kompetensi matapelajaran kimia SMA dan MA.*** Pusat Kurikulum, Balitbang Depdiknas: Jakarta

Eilks, I. 2005. ***Experiences and reflections about teaching atomic structure in jigsaw classroom in lower secondary school chemistry lessons.*** Journal of Chemical Education (JCE) 82 (2): 313 – 319

Fishtik, I & L.H. Berka. 2005. ***Procedure for decomposing a redox reaction into half-reactions*** Journal of Chemical Education (JCE) 82 (4) :552 – 557

Ludwig, O.G. 1996. ***On balancing "Redox Challenges".*** Journal of Chemical Education (JCE) 73 (6): 507

Nelson, R.S. 1997. ***Redox challanges***. (*Letters*) Journal of Chemical Education (JCE) 74 (11) : 1256

Olson, J.A. 1997. ***An analysis of the algebraic method for balancing chemical reaction.*** Journal of Chemical Education (JCE) 74 (5): 538 – 542

Silberberg, M.S. 2003. ***Chemistry: The molecular nature of matter and change.*** 3rd Ed. Boston: Mac GrawHill Pub.

Stout. R. 1995. ***Redox balancing challenges***. Journal of Chemical Education (JCE) 72 (11): 1126

ten Hoor, M.J. 1997. ***Redox balancing without puzzling.*** Journal of Chemical Education (JCE) 74 (11): 1367 – 1368