

Implementasi Struktur Aljabar Besar Pada Reaksi Kimia: Reduksi – Oksidasi

Fakhry Asad Agusfrianto¹, Yudi Mahatma^{2*}

^{1,2} Program Studi Matematika, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, Indonesia

*Penulis Korespondensi. Email: yudi_mahatma@unj.ac.id

Abstrak

Struktur aljabar besar (*Algebraic Hyperstructures*) adalah perumuman dari konsep struktur aljabar. Salah satu konsep pada struktur aljabar besar adalah grup besar. Konsep grup besar dapat diperumum menjadi grupoid besar, semigrup besar dan grup H_v . Grup besar dan perumumannya memiliki aplikasi dalam bidang sains seperti kimia, biologi, dan fisika. Fokus pembahasan dalam paper ini adalah aplikasi grup besar dan perumumannya di bidang kimia. Dalam kimia dasar, kita mengenal reaksi kimia yang disebut reaksi reduksi dan oksidasi (redoks). Tujuan paper ini adalah menganalisis struktur aljabar besar yang terdapat dalam reaksi redoks.

Kata Kunci: Reaksi Kimia; Reaksi Redoks; Struktur Aljabar Besar

Abstract

Algebraic Hyperstructures is a generalization of the concept of algebraic structure. One of the concepts on algebraic hyperstructures is hypergroups. The concept of hypergroups can be generalized into hypergroupoids, hypersemigroups and H_v -groups. Hypergroups and their generalization have applications in science fields such as chemistry, biology, and physics. The focus of discussion in this paper is the application of hypergroups and their generalization in the field of chemistry. In basic chemistry, we know chemical reactions called reduction and oxidation (redox) reactions. The purpose of this paper is to analyze the algebraic hyperstructures contained in redox reactions.

Keywords: Chemical Reaction; Redox Reaction; Algebraic Hyperstructures

1. Pendahuluan

Konsep struktur aljabar besar awalnya dikenalkan oleh Marty tahun 1934 [1] sebagai perumuman dari struktur aljabar. Konsep-konsep pada struktur aljabar besar antara lain adalah grupoid besar, semigrup besar, grup besar, dan ring besar [1],[2]. Pembahasan dalam paper ini berfokus pada grup besar dan perumumannya. Grup besar dan perumumannya memiliki aplikasi dalam bidang sains yaitu pada bidang kimia dan biologi. Aplikasi pada bidang kimia antara lain adalah untuk menganalisis struktur besar yang terdapat pada reaksi redoks [3], reaksi disproporsionasi [4], reaksi kimia yang terjadi pada Astatin, Telurium, Bismut, Besi, Indium dan unsur halogen [5],[6],[7]. Hasil – hasil tersebut dapat digeneralisasi menjadi struktur aljabar besar yang terdapat dalam reaksi redoks dengan tiga dan empat bilangan oksidasi [8],[9]. Selanjutnya, aplikasi dalam biologi salah satunya adalah struktur aljabar besar dalam pewarisan sifat [10],[11]. Dari hasil tersebut, dikaitkan struktur aljabar besar yang terdapat pada pewarisan sifat dengan himpunan fuzzy dan himpunan fuzzy intuitionistik [12],[13],[14]. Pembahasan paper ini berfokus pada aplikasi struktur aljabar besar di bidang kimia.

Selanjutnya, diingatkan kembali konsep – konsep pada struktur aljabar besar. Misalkan H adalah himpunan tak kosong. Pemetaan $\odot: H \times H \rightarrow P^*(H)$ dengan $P^*(H)$ adalah koleksi dari

semua subhimpunan tak kosong dari H disebut operasi besar di H dan pasangan (H, \odot) disebut grupoid besar [1]. Jika P dan Q adalah subhimpunan tak kosong dari H dan $x \in H$, maka P dioperasikan dengan Q dinotasikan dengan:

$$P \odot Q = \bigcup_{p \in P, q \in Q} p \odot q, \quad (1)$$

$$x \odot P = \{x\} \odot P \text{ dan } P \odot x = P \odot \{x\}$$

Selanjutnya, untuk setiap $x, y, z \in H$, grupoid besar (H, \odot) dikatakan semigrup besar jika berlaku $x \odot (y \odot z) = (x \odot y) \odot z$ yang maknanya:

$$\bigcup_{u \in y \odot z} x \odot u = \bigcup_{v \in x \odot y} v \odot z \quad (2)$$

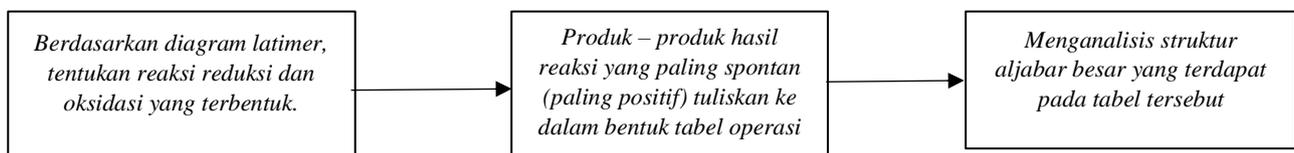
Selanjutnya, Grupoid besar (H, \odot) disebut grup quasi besar jika untuk setiap $a \in H$, $a \odot H = H \odot a = H$ yang mana kondisi ini disebut aksioma reproduksi. Selanjutnya, (H, \odot) dikatakan grup besar jika (H, \odot) adalah semigrup besar dan grup quasi besar. Di lain sisi, terdapat struktur besar yang dinamakan struktur H_v . Diketahui H himpunan tak kosong dan $\odot: H \times H \rightarrow P(H)$ adalah operasi besar. Sistem (H, \odot) dikatakan:

1. **Semigrup H_v** jika \odot asosiatif lemah atau untuk setiap $a, b, c \in H$, $[a \odot (b \odot c)] \cap [(a \odot b) \odot c] \neq \emptyset$.
2. **Grup H_v** jika (H, \odot) semigrup H_v dan untuk setiap $a \in H$, $a \odot H = H \odot a = H$.

Paper ini bertujuan untuk menganalisis struktur besar yang terdapat pada beberapa reaksi redoks yang dalam kasus ini adalah reaksi redoks dari Perak (Ag), Amonium (Am), dan Titanium (Ti). selanjutnya, dipaparkan juga cara menganalisis jenis struktur besar yang terdapat pada reaksi redoks tersebut.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah kajian literatur. Pertama, ditentukan reaksi reduksi dan oksidasi yang terbentuk berdasarkan diagram latimer yang diberikan, selanjutnya produk – produk reaksi tersebut dituliskan dalam bentuk tabel operasi. Terakhir, dianalisis struktur aljabar besar berdasarkan tabel operasi tersebut. Berikut adalah diagram tahan penelitian (*research – resistant diagram*) untuk memperjelas alur penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Tahan Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini, dipaparkan analisis struktur aljabar besar pada beberapa reaksi redoks. Reaksi reduksi – oksidasi atau yang disingkat redoks adalah reaksi kimia yang di dalamnya terjadi penurunan dan kenaikan bilangan oksidasi sekaligus [15]. Contoh reaksi redoks adalah sebagai berikut:

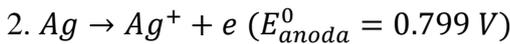
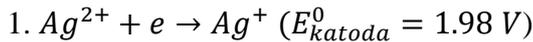


Pada reaksi di atas, bilangan oksidasi Fe berubah dari +2 menjadi +3 sehingga Fe mengalami reaksi oksidasi. Selanjutnya, bilangan oksidasi Cr berubah dari +6 menjadi +3 sehingga Cr mengalami reaksi reduksi.

Selanjutnya, reaksi redoks dapat dituliskan dalam setengah reaksi. Reaksi redoks yang dituliskan dalam setengah reaksi memiliki potensial sel yang mana potensial sel dirumuskan sebagai $E_{sel}^0 = E_{katoda} - E_{anoda}$. Jika $E_{sel}^0 \geq 0$, maka reaksi redoks tersebut disebut reaksi spontan atau reaksi tersebut dapat berlangsung. Katoda adalah tempat reaksi kimia yang mengalami reduksi dan anoda adalah tempat reaksi kimia yang mengalami oksidasi [10]. Sebagai contoh, reaksi redoks Ag^{2+} dan Ag :



dapat kita tuliskan menjadi dua buah setengah reaksi sebagai berikut:



Dari sini, dapat dilihat bahwa reaksi (4) adalah reaksi spontan karena $E_{katoda}^0 - E_{anoda}^0 = 1.181 V \geq 0$.

Perak (Ag) adalah logam transisi yang memiliki peranan dalam katalis, konduktor dan disinfektan. Ag memiliki tiga buah bilangan oksidasi yaitu 0, +1, dan +2 yang secara berturut-turut dituliskan sebagai Ag , Ag^+ dan Ag^{2+} . Diagram latimer dari Ag adalah sebagai berikut:

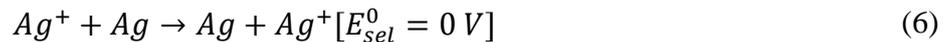


Produk yang mungkin dari reaksi redoks Ag yang spontan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Reaksi Redoks Ag

\oplus	Ag^{2+}	Ag^+	Ag
Ag^{2+}	Ag^{2+}	Ag^+, Ag^{2+}	Ag^+
Ag^+	Ag^+, Ag^{2+}	Ag^+	Ag, Ag^+
Ag	Ag^+	Ag, Ag^+	Ag

Untuk memperjelas makna Tabel 1, sebagai contoh kita ambil reaksi $Ag^+ \oplus Ag$. Reaksi spontan yang terjadi berdasarkan informasi E^0 pada katoda dan anoda adalah:



Jika kita ambil $Ag^+ + Ag \rightarrow Ag^{2+} + Ag^+$, reaksi ini tidaklah spontan. Jika melihat diagram latimer dari Ag , kita peroleh $E_{sel}^0 = -1.98 + 0.799 = -1.181 V \leq 0$. Selanjutnya, kita akan menganalisis struktur aljabar besar yang terdapat pada Tabel 1. Tabel 1 secara umum dapat dituliskan kembali seperti pada Tabel 2:

Tabel 2. Penulisan Umum Tabel 1

\oplus	x	y	z
x	x	x, y	y
y	x, y	y	y, z
z	y	y, z	z

Selanjutnya, berdasarkan Tabel di [3] halaman 59, dapat dilihat bahwa \oplus bersifat asosiatif lemah dan berlaku $x \oplus H = H \oplus x = H$, $y \oplus H = H \oplus y$ dan $z \oplus H = H \oplus z = H$ dengan $H =$

$\{x, y, z\}$. Dengan demikian, struktur $(\{x, y, z\}, \oplus)$ merupakan grup H_v dan komutatif. Selanjutnya, tinjau struktur $(A = \{x, y\}, \oplus)$ dan $(B = \{y, z\}, \oplus)$. Jelas keduanya bersifat asosiatif terhadap operasi \oplus . Selanjutnya, kita peroleh hasil berikut:

Tabel 3. $(\{x, y\}, \oplus)$

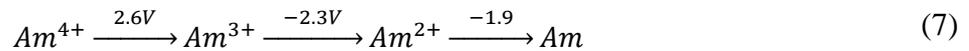
\oplus	x, y
x	x, y
y	x, y

Tabel 4. $(\{y, z\}, \oplus)$

\oplus	y, z
y	y, z
z	y, z

Ini menunjukkan bahwa $x \oplus A = A \oplus x = A$, $y \oplus A = A \oplus y = A$ dan $x \oplus B = B \oplus x = B$, $y \oplus B = B \oplus y = B$. Dengan demikian, (A, \oplus) dan (B, \oplus) merupakan grup besar komutatif.

Americium (Am) adalah unsur yang terletak pada golongan aktinida. Americium memiliki empat bilangan oksidasi, yaitu 0, +2, +3 dan +4. Diketahui diagram latimer dari Americium adalah sebagai berikut:



Potensial dari reaksi $Am^{4+} \rightarrow Am^{2+}$, $Am^{4+} \rightarrow Am$ dan $Am^{3+} \rightarrow Am$ berturut – turut adalah sebagai berikut:

$$E^0(Am^{4+}/Am^{2+}) = \frac{1(2.6)+1(-2.3)}{2} = 0.15V \quad (8)$$

$$E^0(Am^{4+}/Am) = \frac{1(2.6)+1(-2.3)+2(-1.9)}{4} = -1.45V \quad (9)$$

$$E^0(Am^{3+}/Am) = \frac{1(-2.3)+2(-1.9)}{3} = -2.033V \quad (10)$$

Selanjutnya, berdasarkan data potensial yang dimiliki, diperoleh produk yang mungkin antara unsur Am yang memiliki bilangan oksidasi berbeda yang hasil reaksinya ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Reaksi Redoks Am

\odot	Am	Am^{2+}	Am^{3+}	Am^{4+}
Am	Am	Am, Am^{2+}	Am, Am^{3+}	Am, Am^{4+}
Am^{2+}	Am, Am^{2+}	Am^{2+}	Am^{2+}, Am^{3+}	Am^{3+}
Am^{3+}	Am, Am^{3+}	Am^{2+}, Am^{3+}	Am^{3+}	Am^{3+}, Am^{4+}
Am^{4+}	Am, Am^{4+}	Am^{3+}	Am^{3+}, Am^{4+}	Am^{4+}

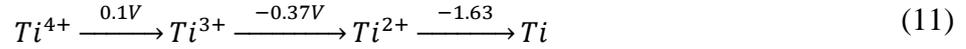
Sekarang, akan ditentukan struktur besar yang terdapat pada reaksi redoks Am . Pertama, nyatakan Tabel 5 ke dalam bentuk Tabel 6.

Tabel 6. Penulisan Umum Tabel 5

\odot	w	x	y	z
w	w	w, x	w, y	w, z
x	w, x	x	x, y	y
y	w, y	x, y	y	y, z
z	w, z	y	y, z	z

Dapat ditunjukkan bahwa \odot asosiatif lemah. Sebagai contoh, $(w \odot x) \odot y = \{w, x\} \odot y = \{w, x, y\}$ dan $w \odot (x \odot y) = w \odot \{x, y\} = \{w, x, y\}$. Dari sini diperoleh $\{w, x, y\} \cap \{w, x, y\} = \{w, x, y\} \neq \emptyset$. Dengan demikian, Tabel 4 membentuk struktur semigrup- H_v komutatif.

Titanium (Ti) merupakan unsur kimia yang memiliki nomor atom 22, terletak di grup 4 dan memiliki periode 4. Titanium merupakan logam transisi kuat berwarna perak keabu-abuan dan tahan terhadap korosi. Titanium memiliki empat bilangan oksidasi, yaitu +4, +3, +2 dan 0. Diagram latimer dari titanium adalah sebagai berikut:



Diketahui juga E^0 dari reaksi berikut:

$$E^0(Ti^{4+}/Ti^{2+}) = -0.135V \quad (12)$$

$$E^0(Ti^{4+}/Ti) = -0.86V \quad (13)$$

$$E^0(Ti^{3+}/Ti) = -1.21V \quad (14)$$

Dengan demikian, produk reaksi redoks yang mungkin terjadi disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Reaksi Redoks Titanium

\odot^*	Ti	Ti^{2+}	Ti^{3+}	Ti^{4+}
Ti	Ti	Ti, Ti^{2+}	Ti^{2+}	Ti^{2+}, Ti^{3+}
Ti^{2+}	Ti, Ti^{2+}	Ti^{2+}	Ti^{2+}, Ti^{3+}	Ti^{3+}
Ti^{3+}	Ti^{2+}	Ti^{2+}, Ti^{3+}	Ti^{3+}	Ti^{3+}, Ti^{4+}
Ti^{4+}	Ti^{2+}, Ti^{3+}	Ti^{3+}	Ti^{3+}, Ti^{4+}	Ti^{4+}

Sekarang, akan ditentukan struktur besar yang terdapat pada reaksi redoks titanium. Pertama, nyatakan Tabel 5 ke dalam bentuk yang lebih umum di Tabel 8.

Tabel 8. Bentuk Umum Tabel 7

\odot^*	j	k	l	m
j	j	j, k	k	k, l
k	j, k	k	k, l	l
l	k	k, l	l	l, m
m	k, l	l	l, m	m

Dapat ditunjukkan bahwa \odot^* adalah asosiatif lemah. Sebagai contoh,

$$(j \odot^* k) \odot^* l = \{j, k\} \odot^* l = \{k, l\} \quad (15)$$

$$j \odot^* (k \odot^* l) = j \odot^* \{k, l\} = \{j, k\} \quad (16)$$

dan $\{k, l\} \cap \{j, k\} = \{k\} \neq \emptyset$. Dengan demikian, $(X = \{j, k, l, m\}, \odot^*)$ membentuk struktur semigrup H_v dan komutatif.

Berdasarkan analisis diatas, dapat dituliskan teorema sebagai berikut.

Teorema 1. Misalkan $x = Ag^{2+}$, $y = Ag^+$, dan $z = Ag$ dan misalkan $G = \{x, y, z\}$. Maka, (G, \oplus) adalah semigrup- H_v komutatif.

Bukti. Berdasarkan Tabel 2, jelas bahwa (G, \oplus) komutatif. Selanjutnya, untuk menunjukkan secara umum bahwa G adalah semigrup- H_v , maka harus ditunjukkan bahwa (G, \oplus) asosiatif lemah, yakni

untuk setiap $a, b, c \in G$, berlaku $[a \oplus (b \oplus c)] \cap [(a \oplus b) \oplus c] \neq \emptyset$ adalah dengan membagi kasus sebagai berikut.

Kasus 1 : Untuk $a = x$, maka $[x \oplus (x \oplus x)] \cap [(x \oplus x) \oplus x] \neq \emptyset$ untuk $b = c = x$ dan $y \in [x \oplus (b \oplus c)] \cap [(x \oplus b) \oplus c] \neq \emptyset$ untuk lainnya.

Kasus 2 : Untuk $a = y$, maka jelas bahwa $y \in [y \oplus (b \oplus c)] \cap [(y \oplus b) \oplus c]$

Kasus 3 : Untuk $a = z$, maka $z \in [z \oplus (z \oplus z)] \cap [(z \oplus z) \oplus z] \neq \emptyset$ untuk $b = c = z$ dan $y \in [z \oplus (b \oplus c)] \cap [(z \oplus b) \oplus c]$.

Dengan demikian, terbukti bahwa (G, \oplus) adalah semigrup. ■

Teorema 2. Misalkan $w = Am, x = Am^{2+}, y = Am^{3+}$, dan $z = Am^{4+}$ dan misalkan $H = \{w, x, y, z\}$. Maka, (H, \odot) adalah semigrup- H_v komutatif.

Bukti. Dengan cara yang sama seperti Teorema 1. ■

Teorema 3 Misalkan $j = Ti, k = Ti^{2+}, l = Ti^{3+}$, dan $m = Ti^{4+}$ dan misalkan $K = \{j, k, l, m\}$. Maka, (K, \odot^*) adalah semigrup- H_v komutatif.

Bukti. Dengan cara yang sama seperti Teorema 1. ■

4. Kesimpulan

Berdasarkan pemaparan di atas, telah dianalisis struktur aljabar besar yang terdapat pada beberapa reaksi redoks. Struktur aljabar besar yang telah dianalisis dalam paper ini adalah struktur aljabar besar dari Perak (Ag), Amonium (Am), dan Titanium (Ti). Selanjutnya, hasil – hasil analisis ini dapat dituliskan menjadi teorema-teorema yang lebih umum.

Referensi

- [1] B. Davvaz and V. Leoreanu-Fotea, *Hypergroup Theory*. World Scientific, 2022. doi: 10.1142/12645.
- [2] B. Davvaz and V. Leoreanu-Fotea, *Hyperring Theory and Applications*. International Academic Press, 2007.
- [3] B. Davvaz, A. Dehghan Nezhad, and M. M. Ardakani, “Chemical Hyperalgebra: Redox Reaction,” *MATCH Commun. Math. Comput. Chem.*, vol. 71, pp. 55–63, 2014.
- [4] B. Davvaz, A. Dehghan Nezhad, and A. Benvidi, “Chemical Hyperalgebra: Dismutation Reactions,” *MATCH Commun. Math. Comput. Chem.*, vol. 67, no. 1, pp. 55–63, 2012.
- [5] B. Davvaz and A. Dehghan-Nezhad, “Chemical Examples in Hypergroups,” *Ratio Mat.*, vol. 14, no. 1, pp. 71–74, 2010, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1008.2438>
- [6] K. M. Chun, “Chemical Hyperstructures of Chemical Reactions for Iron and Indium,” *J. Chungcheong Math. Soc.*, vol. 27, no. 2, pp. 319–325, 2014.
- [7] M. Al Tahan and B. Davvaz, “Chemical hyperstructures for Astatine , Tellurium and for Bismuth,” *Bull. Comput. Appl. Math.*, vol. 7, pp. 9–25, 2019.
- [8] S. C. Chung *et al.*, “Chemical hyperalgebras for three consecutive oxidation states of elements,” *MATCH Commun. Math. Comput. Chem.*, vol. 72, no. 2, pp. 389–402, 2014.
- [9] M. Al-Tahan and B. Davvaz, “Chemical Hyperstructures for Elements with Four Oxidation States,” *Iran. J. Math. Chem.*, vol. 13, no. 2, pp. 85–97, 2022, doi: 10.22052/IJMC.2022.246174.1615.
- [10] B. Davvaz, A. Dehghan Nezhad, and M. M. Heidari, “Inheritance Examples of Algebraic Hyperstructures,” *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 224, pp. 180–187, 2013, doi: 10.1016/j.ins.2012.10.023.

- [11] M. Al Tahan and B. Davvaz, “Algebraic hyperstructures associated to biological inheritance,” *Math. Biosci.*, vol. 285, pp. 112–118, 2017, doi: 10.1016/j.mbs.2017.01.002.
- [12] M. Al-Tahan and B. Davvaz, “Fuzzy Subsets Of The Phenotypes Of F_2 -Offspring,” *Facta Univ.*, vol. 34, no. 4, pp. 709–727, 2019.
- [13] M. Al Tahan and B. Davvaz, “A New Relationship Between Intuitionistic Fuzzy Sets and Genetics,” *J. Classif.*, vol. 36, no. 3, pp. 494–512, 2019, doi: 10.1007/s00357-018-9276-8.
- [14] E. H. Sadrabadi and B. Davvaz, “A new relationship between population genetics and fuzzy sets,” *Comput. Appl. Math.*, vol. 41, no. 6, pp. 1–13, 2022, doi: 10.1007/s40314-022-01979-z.
- [15] R. Chang, *Chemistry*. McGraw-Hill Companies, 2010.