

KATALISIS HETEROGEN DENGAN MEKANISME LANGMUIR-HINSHELWOOD SEBAGAI MODEL REAKSI ELEKTROLISIS NaCl

Bayu Prianto

Peneliti Bidang Material Dirgantara, LAPAN

RINGKASAN

Reaksi heterogen adalah reaksi yang berlangsung dalam suatu sistem yang heterogen, yaitu di dalamnya terdapat dua fasa atau lebih. Reaksi elektrolisis adalah reaksi larutan elektrolit yang bergantung pada arus listrik melalui media penghantar berupa logam elektroda sebagai energi pengaktifannya. Karena reaksi elektrolisis ini melibatkan 2 jenis fasa (yaitu fasa cair dan fasa padat, dengan fasa padat berarus listrik sebagai katalis), maka reaksi elektrolisis ini dapat digolongkan reaksi terkatalisis heterogen. Elektrolisis NaCl melibatkan dua pereaksi yang sejenis, dan kedua pereaksi tersebut harus teraktifkan pada permukaan elektroda, sehingga mekanisme elektrolisis NaCl ini lebih sesuai dimodelkan dengan mekanisme *Langmuir-Hinshelwood*. Laju reaksi elektrolisis NaCl tersebut dipengaruhi oleh faktor proses adsorpsi pereaksi ke permukaan, dan faktor posisi pereaksi yang teradsorpsi pada permukaan.

1 PENDAHULUAN

Elektrolisis adalah reaksi kimia yang terjadi dari suatu elektrolit akibat adanya aliran elektron yang kontinu pada permukaan elektroda (Haryoko, B. 2006). Aliran elektron yang kontinu ini, biasa disebut sebagai arus listrik DC. Elektroda adalah konduktor (berupa logam) yang kontak langsung dengan elektrolit. Elektroda dibagi menjadi 2 macam, yaitu katoda dan anoda. Katoda adalah tempat terjadinya reaksi reduksi, sedangkan anoda adalah tempat terjadinya reaksi oksidasi. Pemahaman mengenai dasar-dasar fisika listrik dan dasar-dasar kimia merupakan langkah penting dalam mempelajari reaksi pada sistem elektrolisis.

Model didefinisikan sebagai gambaran sederhana atau gambaran ideal dari suatu sistem atau proses (Leach, Andrew R., 2001; Prianto, B. 2007). Model dapat berupa persamaan matematika, atau rancangan yang dapat digunakan untuk memfasilitasi perhitungan dan prediksi. Mengetahui model sistem elektrolisis menjadi penting dalam membantu membuat perumusan mekanisme elektrolisis (Prianto, B. 2007).

2 PENGERTIAN KATALISIS HETEROGEN

Reaksi heterogen adalah reaksi yang berlangsung dalam suatu sistem yang heterogen, yaitu sistem yang di dalamnya terdapat dua atau lebih fasa. Banyak reaksi-reaksi kimia fasa cair maupun gas yang hanya dapat berlangsung pada permukaan padatan. Karena sifat reaksinya hanya bergantung pada fasa padat, maka reaksi tersebut dikatakan berkatalisis dengan fasa padat sebagai katalisnya.

Ada lima tahapan dalam reaksi heterogen (Rahayu, Susanto Imam, 1995) :

- Difusi molekul-molekul pereaksi menuju permukaan,
- Adsorpsi molekul-molekul pereaksi pada permukaan,
- Reaksi berlangsung di permukaan,
- Desorpsi hasil reaksi dari permukaan,
- Difusi hasil-hasil reaksi meninggalkan permukaan menuju sistem keseluruhan.

3 SISTEM ELEKTROLISIS NaCl

Reaksi elektrolisis adalah reaksi larutan elektrolit yang bergantung pada arus listrik sebagai energi pengaktifannya. Namun, arus listrik tidak dapat diberikan pada larutan

elektrolit tanpa adanya suatu media penghantar. Media penghantar yang digunakan adalah berupa padatan logam yang biasa disebut sebagai elektroda. Karena reaksi elektrolisis ini melibatkan 2 jenis fasa (yaitu fasa cair dan fasa padat, dengan fasa padat berarus listrik sebagai katalis), maka reaksi elektrolisis ini dapat digolongkan reaksi terkatalisis heterogen. Reaksi sederhana yang terjadi pada proses elektrolisis NaCl adalah :



Seperti telah diketahui secara teori bahwa reaksi katalisis heterogen dibagi menjadi lima tahapan. Dengan demikian jika kita menganggap bahwa elektrolisis NaCl ini mengikuti model reaksi katalisis heterogen, maka berarti elektrolisis NaCl ini juga terbagi menjadi lima tahapan dan masing-masing tahapan harus dapat dijelaskan secara ilmiah. Untuk lebih jelas mengenai lima tahapan tersebut dalam proses elektrolisis dapat dilihat pada uraian berikut :

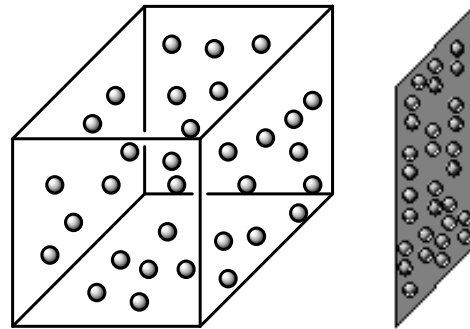
3.1 Difusi Pereaksi ke Permukaan

Pada umumnya proses difusi suatu fasa cair ke permukaan zat padat berlangsung relatif lambat. Namun, berbeda dengan proses elektrolisis NaCl ini, karena menggunakan fasa padat yang berarus listrik menyebabkan proses difusi ini berlangsung sangat cepat. Karena adanya arus listrik dapat menarik ion Cl^{-} ke permukaan anoda (elektroda bermuatan positif). Proses difusi ini berlangsung cepat, sehingga proses ini bukan merupakan tahap penentu laju.

3.2 Adsorpsi Pereaksi di Permukaan

Secara empiris reaksi yang terjadi dapat ditulis seperti persamaan 3-1. Namun, secara kinetika tidak semudah itu reaksi dapat terjadi. Harus diperhatikan pula faktor-faktor agar reaksi tersebut dapat berlangsung, seperti faktor adsorpsi pereaksi di permukaan elektroda (Haryoko, B., 2006; Rahayu, Susanto Imam, 1995). Sistem mengalami perubahan dari larutan

homogen menjadi sistem permukaan elektroda (terjadi kesetimbangan antara sistem larutan homogen dengan sistem permukaan elektroda), sehingga konsentrasi pereaksi yang bereaksi harus mengalami konversi (konsentrasi yang semula mempunyai dimensi mol/volume, kini dimensinya menjadi mol/cm²). Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3-1 :



Gambar 3-1: (kiri) molekul menempati ruang dalam larutan, (kanan) molekul pada permukaan elektroda

Ilustrasi tersebut dapat kita buat ke dalam bentuk persamaan reaksi kesetimbangan kimia sebagai berikut :



Keterangan:

A adalah Cl^{-} yang akan teradsorpsi di permukaan anoda.

S adalah permukaan elektroda.

AS adalah Cl^{-} yang teradsorpsi di permukaan anoda.

Dengan rumus tetapan kesetimbangan sebagai berikut :

$$K_A = \frac{[AS]}{[A][S]} \quad (3-3)$$

Keterangan:

$[A]$ adalah konsentrasi Cl^{-} dalam larutan.

$[AS]$ adalah konsentrasi Cl^{-} di permukaan anoda yang nilainya sebanding dengan luas permukaan anoda yang tertutupi oleh Cl^{-} .

$[S]$ adalah luas permukaan anoda yang tidak tertutupi Cl^{-} .

Jika S_0 adalah luas seluruh permukaan, maka $[S] = S_0 - [AS]$, sehingga didapat hubungan :

$$[AS] = K_A [A] (S_0 - [AS]) \quad (3-4)$$

Atau

$$[AS] = \frac{K_A S_0 [A]}{1 + K_A [A]} \quad (3-5)$$

3.3 Reaksi pada Permukaan

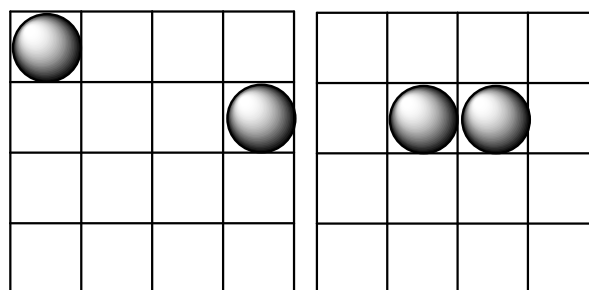
Berdasarkan persamaan reaksi (3-1), terlihat bahwa proses elektrolisis ini bergantung pada dua pereaksi sejenis (dua Cl⁻). Karena elektrolisis NaCl ini melibatkan dua pereaksi, maka dapat dikatakan bahwa elektrolisis NaCl merupakan reaksi bimolekular. Terdapat dua macam mekanisme reaksi bimolekular (Rahayu, Susanto Imam. 1995), yaitu:

- Kedua pereaksi teradsorpsi di permukaan, setelah itu baru terjadi reaksi menghasilkan produk, mekanisme ini disebut mekanisme *Langmuir-Hinshelwood*,
- Salah satu pereaksi teradsorpsi di permukaan, pereaksi lain membentur pereaksi di permukaan tersebut, sehingga terjadi reaksi yang menghasilkan produk. Mekanisme ini disebut mekanisme *Langmuir-Rideal*.

Proses elektrolisis NaCl ini lebih sesuai dengan model mekanisme *Langmuir-Hinshelwood*. Karena proses elektrolisis melibatkan arus listrik yang berperan untuk mengubah molekul normal menjadi molekul teraktifkan. Untuk terjadinya reaksi seperti pada persamaan (3-1), maka kedua pereaksi harus teraktifkan (tidak bisa jika hanya salah satu pereaksi yang teraktifkan). Agar pereaksi teraktifkan keduanya, maka kedua pereaksi tersebut harus teradsorpsi di permukaan (sama seperti mekanisme *Langmuir-Hinshelwood*).

Seperti halnya reaksi dalam larutan dipengaruhi oleh orientasi tumbukan. Begitu juga dengan reaksi di permukaan elektroda, dipengaruhi oleh posisi kedua pereaksi yang teradsorpsi. Posisi dari kedua pereaksi yang teradsorpsi haruslah saling berdekatan (berdampingan) agar reaksi dapat terjadi. Untuk

lebih jelasnya dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 3-2 berikut :



Gambar 3-2: Orientasi molekul pada permukaan elektroda yang tidak menghasilkan reaksi (kiri), orientasi molekul pada permukaan elektroda yang menghasilkan reaksi (kanan)

Mekanisme reaksi elektrolisis NaCl ini, dapat ditulis sebagai :



Dengan P adalah produk, dalam proses elektrolisis NaCl ini adalah Cl₂, sehingga persamaan laju reaksinya menjadi :

$$r = k_1 [AS]^2 \quad (3-7)$$

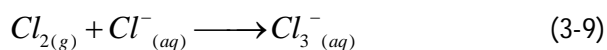
$$r = k_1 \frac{K_A^2 [A]^2}{(1 + K_A [A])^2} \quad (3-8)$$

3.4 Desorpsi Produk dari Permukaan

Produk yang dihasilkan dari reaksi yang terjadi di permukaan adalah berupa gas klorin (Cl₂). Gas ini tidak tertarik kuat oleh arus listrik di permukaan elektroda, sehingga proses desorpsi gas ini relatif lebih cepat. Dengan demikian proses desorpsi produk ini juga bukan merupakan tahap penentu laju reaksi.

3.5 Difusi Produk ke Larutan

Karena produk yang dihasilkan berupa gas, proses difusi gas Cl₂ yang dihasilkan ke larutan elektrolit akan bergantung pada kelarutan dari gas Cl₂ tersebut dalam larutan elektrolit NaCl. Kelarutan gas Cl₂ adalah sebesar 0,7% V/V, sehingga jika gas Cl₂ yang dihasilkan lebih besar dari 0,7% volume larutan, maka akan ada gas Cl₂ yang terlepas ke udara bebas. Dengan persamaan reaksi proses difusinya sebagai berikut :



4 KESIMPULAN

Proses elektrolisis NaCl sangat cocok dimodelkan dengan reaksi katalisis heterogen, dengan mekanisme reaksinya mengikuti model *Langmuir-Hinshelwood*. Dengan persamaan laju reaksi :

$$r = k_1 \frac{K_A^2 [A]^2}{(1 + K_A [A])^2} \quad (4-1)$$

Laju reaksi elektrolisis NaCl tersebut dipengaruhi oleh faktor proses adsorpsi pereaksi ke permukaan, dan faktor posisi pereaksi yang teradsorpsi pada permukaan.

DAFTAR RUJUKAN

- Haryoko, B., 2006. *Penelitian Pembuatan Amonium Perklorat dari Natrium Klorida*: Laporan Penelitian. Pusat Teknologi Dirgantara Terapan, LAPAN, Rumpin-Bogor: 11 – 15.
- Leach, Andrew R., 2001. *Molecular Modelling : Principles and Applications*. 2nd edition. Pearson Education Limited.
- Prianto, B., 2007. *Kajian Awal Mekanisme Reaksi Elektrolisis NaCl Menjadi NaClO₄ Untuk Menentukan Tahapan Reaksi Yang Efektif Dari Proses Elektrolisis NaCl*. Jurnal Teknologi Dirgantara Vol. 5, No.2 : 95 – 102.
- Prianto, B., 2007. *Pemodelan Kimia Komputasi*. Berita Dirgantara Vol. 8, No.1 : 6 – 9.
- Rahayu, Susanto Imam, 1995. *Kinetika Kimia*. Penerbit ITB, Bandung: 19 - 28.