

Studi Proses Difusi melalui Membran dengan Pendekatan Kompartemen

Fransiska Retno Kuntari, Susatyo Pranoto, dan Adita Sutresno*

Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana
Jl. Diponegoro 52-60, Salatiga 50711

Intisari

Peristiwa difusi merupakan proses yang penting dalam kehidupan sehari-hari khususnya sistem dalam tubuh manusia. Dalam penelitian ini proses difusi dalam sistem tubuh manusia dipelajari dengan pendekatan kompartemen. Tujuan dari penelitian ini adalah meneliti pengaruh luas saluran, konsentrasi, dan koefisien difusi terhadap kecepatan difusi. Dua buah kompartemen berukuran masing-masing dibatasi oleh sebuah sekat berlubang yang merepresentasikan area dengan konsentrasi tinggi dan rendah, yang dihubungkan oleh suatu saluran. Dua buah sensor *Conductivity Probe* diletakkan pada masing-masing kompartemen dengan jarak yang sama terhadap sekat, dan dihubungkan dengan *interface Vernier* serta komputer yang terinstal *Logger Lite 1.9.4*. Data konduktivitas dikonversikan menjadi konsentrasi, kemudian dianalisis. Model kompartemen dapat digunakan untuk mempelajari peristiwa difusi dalam sistem tubuh manusia. Laju difusi berbanding lurus terhadap luas saluran, konsentrasi, dan koefisien difusi.

Abstract

Diffusion is an important process in daily life, especially in the system of the human body. In this study, the diffusion process in human body system was studied using the compartments approach. The purpose of this study is to examine the effect of channel area, concentration, and diffusion coefficient on the rate of diffusion. Two compartments each sized were separated by a perforated barrier that represents areas of high and low concentrations, which were connected by a channel. Two Conductivity Probe sensors were placed in each compartment with the same distance to the barrier and were connected with a Vernier interface and a computer that had *Logger Lite 1.9.4* installed. The conductivity data is converted into concentration, then analyzed. The compartment model can be used to study diffusion process in the human body system. Diffusion rate is directly proportional to channel area, concentration and diffusion coefficient.

Keywords: compartments model, diffusion, human body system.

*Corresponding author: adita.sutresno@uksw.edu

<http://dx.doi.org/10.12962/j24604682.v15i2.4617>
2460-4682 ©Departemen Fisika, FSains-ITS

I. PENDAHULUAN

Difusi adalah peristiwa perpindahan partikel dari lingkungan dengan konsentrasi tinggi menuju lingkungan dengan konsentrasi rendah [1, 2]. Proses difusi menjadi proses yang penting pada sistem tubuh manusia, seperti pada difusi oksigen dan karbondioksida dalam sistem pernafasan, difusi Ca pada sinaps dalam sistem saraf, difusi beberapa molekul yang terjadi pada ginjal untuk mempertahankan homeostatis darah dalam sistem urinari [1], dan difusi zat (obat) dalam berbagai sistem tubuh manusia [3].

Berdasarkan Hukum Fick I, laju difusi dalam arah x sebanding dengan gradien konsentrasi [4], sedangkan menurut Hukum Fick II, perubahan konsentrasi terhadap waktu dalam daerah tertentu adalah sebanding dengan perubahan dalam perbedaan konsentrasi pada titik itu [5]. Besar arus difusi

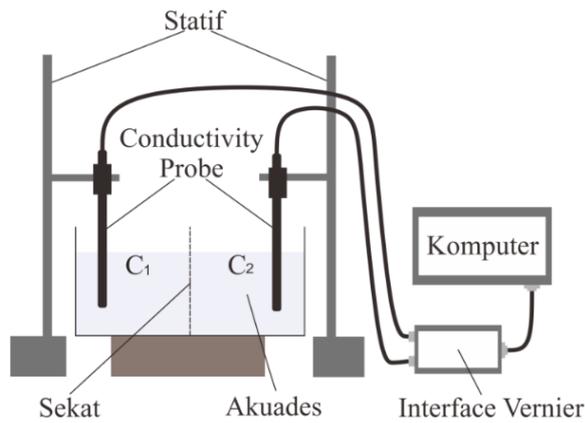
dinyatakan dalam Pers.(1) [6]:

$$I = 4DsC_oN \quad (1)$$

dengan I merupakan arus difusi (partikel/sekon), D merupakan koefisien difusi (m^2/s), s merupakan luas saluran difusi (m^2), C_o merupakan konsentrasi larutan (partikel/ m^3), dan N merupakan jumlah saluran [6].

Sebuah sistem fisiologi dapat diuraikan menjadi lebih sederhana dalam beberapa interaksi subsistem yang disebut dengan kompartemen. Perlu diketahui bahwa kompartemen dipahami sebagai material yang homogen, bukan sebagai suatu volum secara fisik, dan dapat pula terjadi pertukaran material antar kompartemen [7]. Pendekatan kompartemen ini digunakan untuk mempelajari peristiwa difusi dalam sistem tubuh manusia.

Penelitian ini menganalisis besaran-besaran pengaruh luas membran/saluran, gradien konsentrasi, dan koefisien difusi terhadap kecepatan difusi pada sistem tubuh manu-



Gambar 1: Model eksperimen.

sia yang melibatkan membran semipermeabel dengan pendekatan kompartemen. Selain itu dapat diperoleh pula hubungan jumlah saluran terhadap $t_{0,25}$.

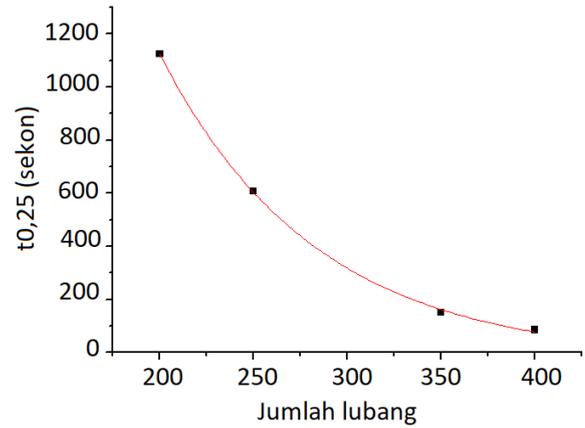
II. METODOLOGI

Model eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa dua buah kompartemen, dengan kompartemen C₁ merepresentasikan area yang berkonsentrasi tinggi dan kompartemen C₂ merepresentasikan area yang berkonsentrasi rendah. Masing-masing kompartemen memiliki ukuran 5 cm × 5 cm × 5 cm. Di antara dua kompartemen terdapat sekat dengan jumlah lubang bervariasi dan berdiameter homogen 1 mm yang dapat dilewati oleh larutan yang kemudian disebut sebagai membran. Model eksperimen dibuat seperti Gambar 1.

Larutan akuades 100 ml diberikan untuk setiap kompartemen, kemudian larutan yang diteliti dituangkan pada kompartemen C₁. Perekaman data konsentrasi kompartemen C₁ dan C₂ menggunakan *conductivity probe* masing-masing diletakkan dengan jarak 4 cm dari sekat, kemudian dihubungkan dengan *interface Vernier Lab Quest Mini* dan komputer yang telah diinstal *Logger Lite 1.9.4*. Data konduktivitas yang diperoleh kemudian dikonversikan menjadi data konsentrasi yang diperoleh dari data *look up table* pada manual alat, kemudian dianalisis sehingga didapatkan distribusi partikel atau molekul untuk setiap parameter yang diteliti.

Untuk mendapatkan hasil pengaruh luas saluran terhadap kecepatan difusi dilakukan variasi jumlah lubang yaitu 200, 250, dan 400. Larutan yang digunakan adalah NaCl sebagai larutan utama dalam penelitian ini. NaCl adalah larutan yang banyak terdapat di dalam tubuh [1].

Untuk mendapatkan hasil pengaruh konsentrasi terhadap kecepatan difusi diberikan NaCl dengan variasi konsentrasi 1000mg/L, 2000mg/L, dan 4000 mg/L pada kompartemen C₁. Variasi konsentrasi tersebut diberikan dengan alasan agar mempermudah melihat pola dalam peristiwa difusi yang terjadi. Selain itu, dilakukan perbandingan terhadap larutan potassium (KOH). Potasium juga terlibat dalam peristiwa di-

Gambar 2: Hubungan jumlah lubang membran terhadap $t_{0,25}$ larutan NaCl konsentrasi 2000 mg/L.

fusi pada sistem tubuh manusia [1].

Untuk mendapatkan hasil pengaruh koefisien difusi terhadap kecepatan difusi digunakan molekul NaCl, kemudian dibandingkan dengan KOH dan CaO. Kalsium terlibat dalam peristiwa difusi pada sistem tubuh manusia [8]. NaCl, KOH, dan CaO memiliki koefisien difusi berturut-turut $1,6 \times 10^{-5}$ cm/s²; $2,67 \times 10^{-6}$ cm/s²; dan $2,13 \times 10^{-8}$ cm/s² [9–11].

III. HASIL DAN DISKUSI

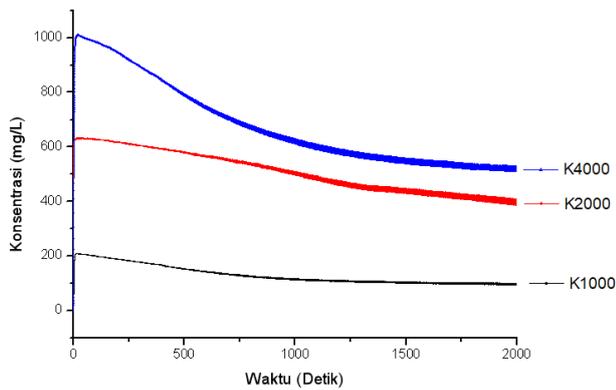
Pengaruh luas saluran terhadap kecepatan difusi

Gambar 2 menunjukkan distribusi NaCl konsentrasi untuk variasi jumlah lubang saluran 200, 250, dan 400. $t_{0,25}$ adalah waktu yang dibutuhkan suatu larutan berkurang sebesar seperempat dari jumlah konsentrasi yang telah terdifusi ke tempat lain dapat digunakan untuk memprediksi penurunan konsentrasi larutan [12]. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa jumlah lubang berbanding lurus dengan luas saluran, sehingga semakin besar luas saluran, maka semakin cepat larutan mencapai jumlah seperempatnya, kemudian dari hasil *curve fitting* pada grafik Gambar 2, diperoleh bahwa terdapat hubungan eksponensial negatif antara jumlah lubang dan $t_{0,25}$.

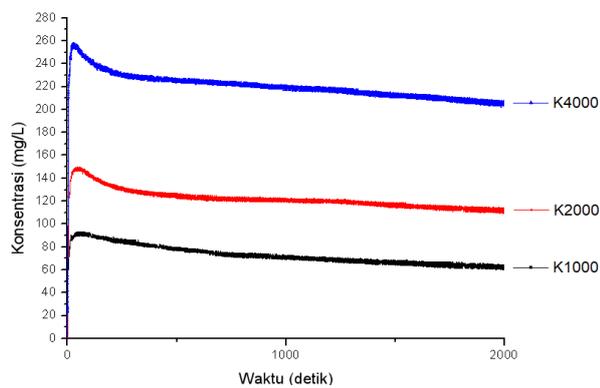
Jumlah lubang dikalikan luasan setiap lubang menunjukkan luas saluran. Semakin besar luas saluran, maka semakin besar arus difusi. Dalam penelitian ini semakin besar jumlah lubang maka semakin cepat penurunan konsentrasi yang terjadi, dengan persamaan $t_{0,25} = 12969,326 e^{-N/82,57868} - 25,39556$ sekon (*standard error* dapat dilihat pada Gambar 2.). Semakin besar jumlah lubang, semakin besar pula arus difusi. Hal ini sesuai dengan dengan Hukum Fick 1 [6].

Pengaruh konsentrasi terhadap kecepatan difusi

Untuk pengaruh konsentrasi terhadap proses difusi, digunakan larutan NaCl dengan variasi konsentrasi. Hasilnya seperti pada Gambar 3.



Gambar 3: Hubungan Konsentrasi terhadap Waktu untuk Lubang Membran 200 dengan Variasi Konsentrasi Awal Larutan NaCl (Kompartemen C_1).

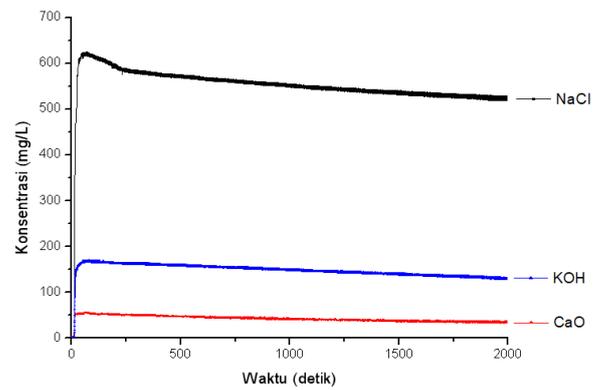


Gambar 4: Hubungan Konsentrasi terhadap waktu untuk lubang membran 200 dengan variasi konsentrasi awal larutan KOH (kompartemen C_1).

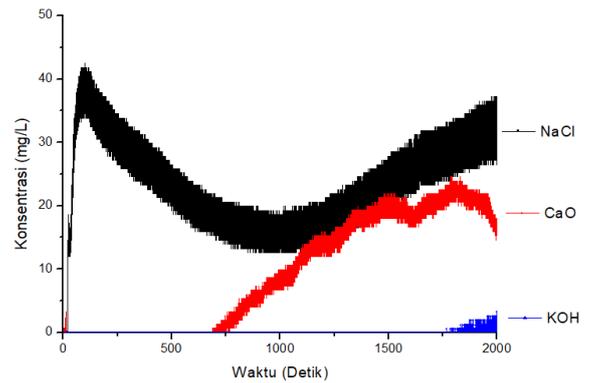
Pada ketiga garis dalam Gambar 3 menunjukkan jumlah konsentrasi tertinggi yang berbeda, yaitu 1010 mg/L pada puncak garis biru, 633 mg/L pada puncak garis merah, dan 210 mg/L pada puncak garis hitam. Hal ini dikarenakan ketika konsentrasi pada kompartemen C_1 mengalami penambahan, secara bersamaan terjadi perpindahan konsentrasi ke kompartemen C_2 karena adanya peristiwa difusi [1, 2]. Diperoleh data kecepatan difusi untuk konsentrasi awal 1000, 2000, dan 4000 mg/L berturut-turut adalah 0,0575; 0,1135; dan 0,2410 mg/L. Hal ini menunjukkan kongruensi antara hasil simulasi dengan teori bahwa semakin besar perbedaan konsentrasi, maka semakin besar laju difusi [6, 13].

Dari data tersebut diperoleh bahwa untuk konsentrasi sebesar 2 kali dari semula, besar laju difusinya adalah 2,12 kali laju difusi dari konsentrasi tersebut. Secara umum, diperoleh hubungan yang sebanding antara I dan C_o , yang sesuai dengan Pers.(1). Apabila dibandingkan dengan KOH, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.

Pada ketiga garis dalam Gambar 4 menunjukkan jumlah konsentrasi tertinggi yang berbeda, yaitu 258 mg/L pada puncak garis biru, 149 mg/L pada puncak garis merah, dan 88 mg/L pada puncak garis hitam. Konsentrasi pada kompartemen



(a) Kompartemen C_1



(b) Kompartemen C_2

Gambar 5: Hubungan konsentrasi terhadap waktu untuk peristiwa difusi larutan NaCl (garis hitam), KOH (garis biru), dan CaO (garis merah) untuk konsentrasi 2000 dan lubang membran 300.

men C_1 mengalami penambahan, sehingga secara bersamaan terjadi perpindahan konsentrasi ke kompartemen C_2 karena adanya peristiwa difusi. Diperoleh data kecepatan difusi untuk konsentrasi awal 1000, 2000, dan 4000 mg/L berturut-turut adalah 0,0138; 0,0190; dan 0,0265 (mg/L)/s.

Dapat disimpulkan bahwa untuk konsentrasi sebesar 2 kali dari semula, besar laju difusinya adalah 1,38 kali laju difusi dari konsentrasi tersebut. Secara umum, diperoleh hubungan yang sebanding antara I dan C_o , yang sesuai dengan Pers.(1). Laju difusi NaCl lebih besar dibanding dengan KOH.

Pengaruh koefisien difusi terhadap kecepatan difusi

Gambar 4 adalah grafik hubungan konsentrasi dan waktu untuk peristiwa difusi larutan NaCl, KOH, dan CaO untuk konsentrasi 2000 mg/L dan jumlah lubang 300.

Laju difusi NaCl, KOH, dan CaO berturut-turut adalah 0,053; 0,021; dan 0,011 (mg/L)/s, dan dari data tersebut diperoleh bahwa urutan besar laju difusi dari tinggi ke rendah adalah NaCl, KOH, dan CaO. Urutan nilai koefisien difusi dari besar ke kecil adalah NaCl, KOH, dan CaO [10–12]. Hasil tersebut menunjukkan bahwa koefisien difusi sebanding dengan laju difusi. Hal ini sesuai dengan Hukum Fick I [5, 10].

TABEL I: Selisih konsentrasi (kompartemen C_1 dan C_2 untuk larutan CaO, NaCl, dan KOH.

Kompartemen	Δk NaCl	Δk KOH	Δk CaO
C_1	140	67	30
C_2	131	75	7

Apabila perubahan konsentrasi pada kompartemen C_1 dibandingkan dengan kompartemen C_2 , maka diperoleh data seperti yang ditunjukkan Tabel I.

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat perbedaan selisih konsentrasi di kompartemen C_1 dan C_2 untuk setiap larutan. Hasil yang serupa juga diperoleh pada penelitian lain, dimana waktu yang lebih besar untuk molekul di kompartemen M mencapai titik puncak, dibanding molekul di kompartemen L mencapai titik 0. Dalam hal ini kompartemen L adalah kompartemen C_1 , sedangkan kompartemen M adalah kompartemen C_2 [13]. Penurunan di C_1 tidak otomatis sama dengan kenaikan di C_2 pada posisi sensor yang dipasang karena masih memungkinkan proses molekul masih berjalan menuju sensor.

IV. SIMPULAN

Hubungan jumlah lubang terhadap $t_{0,25}$ adalah eksponensial negatif. Untuk larutan NaCl dengan konsentrasi 2000 mg/L diperoleh persamaan $t_{0,25} = 12969,326 e^{-N/82,57868} - 25,39556$ sekon. Semakin besar jumlah lubang maka semakin besar laju difusi. Untuk konsentrasi sebesar 2 kali dari semula, besar laju difusi larutan NaCl adalah 2,12 kali laju difusi dari konsentrasi tersebut, sedangkan untuk larutan KOH sebesar 1,38 kali laju difusi dari konsentrasi tersebut. Laju difusi larutan yang berbeda dipengaruhi oleh koefisien difusi setiap larutan tersebut. Koefisien difusi NaCl > KOH > CaO sehingga laju difusi NaCl > KOH > CaO.

-
- [1] D.C. Rizzo, "Fundamentals of Anatomy Physiology" (Delmar, 2010).
- [2] S. Trihandaru, A. Widyayanti, S. Rachmawati, and B.S. Toenlio, "Pemodelan dan Pengukuran Difusi Larutan Gula dengan Lintasan Cahaya Laser", *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY*, 2012.
- [3] L. Miranti, "Pengaruh Konsentrasi Minyak Atsiri Kencur (*Kaempferia galangal* L.) dengan basis Salep Larut Air terhadap Sifat Fisik Salep dan Daya Hambat Bakteri *Staphylococcus aureus* Secara In Vitro", Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 2009
- [4] B. Haryanto, "Pengaruh Pemilihan Kondisi Batas, Langkah Ruang, Langkah Waktu dan Koefisien Difusi pada Model Difusi", *Jurnal APLIKA*, vol. 8, hlm. 1-7, 2008.
- [5] Wati, P.B. Sastrowardoyo, "Difusi Cobalt dalam Na-Bentonit dan Ca-Bentonit", *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, vol. 10, hlm. 53-61, 2007.
- [6] H.C. Berg, "Randoms Walks in Biology: New and Expanded Edition", Princeton University Press., 1992.
- [7] Introduction to Compartment Models, <http://www.pmod.com/files/download/v31/doc/pkin/4614.htm>
- [8] M.J. Favus, D.A. Bushinsky, and J. Lemann, "Regulation of Calcium, Magnesium, and Phosphate Metabolism", *American Society for Bone and Mineral Research*, pp. 76-117, 2006.
- [9] E.A. Guggenheim, "The Coefficient Diffusion of Sodium Chloride", *Transactions of The Faraday Society*, vol. 50, pp. 1048-1051, 1954.
- [10] M.S. Bello, R. Rezzonico, and P.G. Righetti, "Use of Taylor-Aris Dispersion for Measurement of a Solute Diffusion Coefficient in Thin Capillaries", *Science*, vol. 266, pp. 773-776, 1994.
- [11] R.H. Bogwardt, K.R. Bruce, and J. Blake, "An Investigation of Product-Layer Diffusivity for CaO Sulfation", *American Chemical Society*, vol. 26, pp. 1993-1998, 1987.
- [12] E. Gepts, "Pharmacokinetic Concepts for TCI Anaesthesia", *Anaesthesia*, vol. 53, pp. 4-12, 1998.
- [13] Adita Sutresno, "Difusi Kalsium dengan Media Kontras Gadolinium pada Sistem Sinapsis Menggunakan Simulasi Monte Carlo", Disertasi, 2019.
- [14] A. Sutresno, F. Haryanto, S. Viridi, and I. Arif, "Investigation Monte Carlo Simulation for 3 Compartment Model as Biology System in Urinary", *American Scientific Publishers*, vol. 7, pp. 888-891, 2015.