

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Model Hindmarsh-Rose dalam sistem biologi merupakan model ilmiah dan salah satu bidang yang menjadi awal berkembangnya biofisika. Studi tentang fisiologi membran yang pada beberapa dekade lalu telah dipahami bahwa terjadi proses dasar sistem komunikasi unik elektrokimia yang berperan penting dalam system syaraf kita (Edelstein, 1988). Yang menarik dari aliran muatan listrik adalah sistem saraf kita yang luar biasa dan rumit, yang menyediakan fasilitas agar kita menyadari adanya dunia ini, untuk komunikasi di dalam tubuh, dan untuk mengendalikan otot-otot tubuh. Walaupun fungsi rinci sistem saraf belum sepenuhnya dipahami dengan baik, kita memiliki pemahaman yang baik mengenai bagaimana pesan-pesan ditransmisikan di dalam sistem saraf, pesan-pesan tersebut merupakan sinyal-sinyal listrik yang lewat sepanjang elemen dasar sistem saraf, *neuron* (Giancoly, 1999: 83-85). Otak dan setiap subsistem lain pada sistem syaraf terdiri dari sel yang disebut *neuron*. Dalam *neuron* terdapat *axon* berupa struktur panjang menyerupai tabung (Edelstein, 1988) dan diketahui bahwa di dalam *axon* terjadi propagasi sinyal syaraf yang berasal dari listrik yang timbul secara alami. Setelah terjadi ionisasi dibagian yang disebut *axon hillock*, propagasi sinyal syaraf turun melalui *axon* ke terminal berikutnya dengan konveksi bebas (*synapses*) yang dekat dengan *neuron*. Sinyal propagasi tersebut disebut sebagai "potensial aksi". Sebuah *neuron* memiliki bagian yang disebut *dendrit* yang menerima sinyal yang diterimanya dan membawanya menuju *soma* (badan sel). Secara detail peristiwa

elektrokimia yang terjadi pada *neuron* sangatlah kompleks. Diketahui bahwa sinyal *neuronal* berjalan sepanjang membran sel dari *axon* dalam bentuk beda potensial lokal sepanjang membran. Dalam keadaan istirahat, *sitoplasma* (cairan sel) dalam *axon* memiliki komposisi ionik yang membuat bagian dalam sel berpotensi negatif (beda potensial -70 mV) karena dipengaruhi oleh bagian luar sel. Perbedaan potensial menyebabkan metabolisme dalam sel dengan pompa aktif yang terletak pada membrannya. Secara kontinyu terjadi transport ion ( $\text{Na}^+$ ) keluar sel dan membawa ion potassium ( $\text{K}^+$ ) ke arah sebaliknya, sehingga gradien konsentrasi dapat dipertahankan. Perbedaan potensial dan konsentrasi di sepanjang membran menghasilkan potensial total yang dipertahankan sepanjang membran sel tersebut hidup (Giancoly, 1988: 84-85).

Deskripsi lengkap tentang propagasi sinyal syaraf telah dilakukan pada tahun 1952 oleh Hogkin, Huxley dan Katz dengan melakukan eksperimen pada sebuah *axon* berukuran besar dari seekor *squid* (gurita). Setelah melakukan eksperimen, mereka membuat sebuah model membran yang analogi dengan sirkuit listrik yang memiliki kandungan fisis, seperti konduktivitas ionik yang digambarkan dengan sebuah elemen sirkuit berupa resistor. Model Hodgkin-Huxley terdiri dari empat persamaan diferensial nonlinier terkopel dan membuat hipotesis dengan mengusulkan adanya tiga variabel  $m$ ,  $h$ , dan  $n$  yang mempengaruhi konduktivitas ion  $\text{K}^+$  dan ion  $\text{Na}^+$  pada saat melewati membran. Keempat persamaan ODEs (*Ordinary Differential equation*) ini sulit untuk dipecahkan secara eksak, karena derajat nonliniernya yang tinggi. Tetapi dengan memanfaatkan sifat dinamika dari keempat variabel tersebut makna fisis dari eksperimen Hodgkin-Huxley dapat diteliti. Untuk membuat analisis

yang lebih umum, pada tahun 1961 Fitzhugh dan Nagumo membuat sebuah model penyederhanaan dari model Hodgkin-Huxley menjadi dua persamaan diferensial nonlinier terkopel. Model yang diusulkan ini mampu menerangkan proses dasar eksitasi dan osilasi pada *neuron* secara kualitatif (Edelstein, 1988). Untuk proses bursting pada beberapa sel syaraf hewan dan proses kimiawi pada sel beta pancreas yakni terpecahnya potensial aksi menjadi bagian osilasi yang lebih kecil dapat dianalisis dengan menggunakan model Hindmarsh-Rose. Dalam penelitian ini, akan dikaji lebih dalam mengenai fenomena bursting menggunakan model Hindmarsh-Rose. Sedangkan untuk menggambarkan tentang proses propagasi sinyal potensial aksi dari satu *neuron* ke *neuron* lainnya membentuk *neuronal network* (jaringan syaraf) dapat dimodelkan dengan teori sinkronisasi chaotik (Catherine, 2001: 101-111), proses sinkronisasi jaringan syaraf dapat dipelajari dengan pendekatan *chaos controlling* (Mishra, 2006: 50-67) dan sistem terkopel (Belykh *et al*, 2008: 101).

Permasalahan yang menarik dalam penelitian pemodelan *neuron* adalah adanya arus eksternal sebagai trigger yang menghasilkan potensial aksi (impuls syaraf) sebagai informasi dari satu neuron menuju neuron lainnya dalam *neuronal network*. Arus eksternal ini dapat berupa arus konstan, arus periodik maupun berupa medan listrik (Mishra, *et al* 2006: 50-67).

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimanakah model matematika yang dapat menjelaskan fenomena terjadinya potensial aksi neuron?
2. Apakah fenomena tersebut merupakan sistem yang bersifat deterministik ataukah non deterministik?
3. Bagaimanakah memodelkan sistem tersebut dan apakah simulasinya memberikan hasil yang sesuai kenyataan?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Dapat melakukan simulasi model dan fenomena potensial aksi membran dengan persamaan *nonlinier Hodgkin-Huxley*;
2. Dapat mengetahui fenomena yang bersifat deterministik dan non-deterministik;
3. Dapat melakukan simulasi dan pemodelan bursting neuron berdasarkan persamaan *Hindmarsh-Rose*.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini menjadi dasar acuan teori biofisika tentang mekanisme kerja sel saraf yang berawal dari transport membran menjadi sinyal potensial aksi yang dapat ditransfer dari satu sel ke sel yang lainnya. Selain itu, mekanisme inipun memiliki kesamaan dengan sistem sel lainnya sehingga dapat digunakan sebagai dasar mempelajari mekanisme yang terjadi pada berbagai sel makhluk hidup yang bermanfaat bagi dunia medis, fisiologi maupun bioteknologi.

Selain terkait bidang neurologi prinsip kerja pemodelan dan simulasi jaringan syaraf yang berdasar pada teori sistem dinamika, ini dapat diaplikasikan juga untuk bidang lainnya seperti sinkronisasi sinar laser di bidang sains dan teknik, propagasi

gelombang seismik pada seismologi, pemodelan sistem jaringan otot jantung dalam bidang medis, dan sinkronisasi pada sirkuit pada bidang elektronika dan instrumentasi.

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Penulisan skripsi ini meliputi: 5 Bab, yang secara ringkas dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bab 1 PENDAHULUAN, pada bab pendahuluan diuraikan tentang latar belakang penulisan skripsi, rumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai, manfaat penelitian dan sistematika penulisan skripsi.
2. Bab II TINJAUAN PUSTAKA, menguraikan secara ringkas tentang konsep-konsep dasar yang diperlukan untuk mengkaji bab-bab selanjutnya.
3. Bab III METODOLOGI PENELITIAN, pada bab ini diuraikan tentang tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan.
4. Bab IV ANALISA DAN PEMBAHASAN, pada bab ini diuraikan tentang definisi bursting neuron, model matematika dengan menggunakan persamaan Hindmarsh-Rose.
5. Bab V KESIMPULAN DAN SARAN, pada bab ini menguraikan tentang kesimpulan yang dapat ditarik dari pembahasan pada bab-bab sebelumnya dan menyampaikan saran-saran demi kemajuan penelitian lebih lanjut.