

# Penerapan Graf pada Sistem Saraf Manusia

Andrian Cedric/13517065  
Program Studi Teknik Informatika  
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika  
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganessa 10, Bandung 40132, Indonesia  
andriancedric@gmail.com

**Abstraksi**—Sistem saraf manusia adalah salah satu sistem yang amat kompleks dalam anatomi tubuh manusia. Peran sistem saraf yang sangat penting untuk sistem pertahanan tubuh terluar, sistem koordinasi tubuh, dan sistem organ tubuh membuat cara kerja sistem saraf cukup menarik untuk dipelajari. Cara kerja sistem saraf dapat digambarkan dengan baik oleh graf—salah satu bidang dalam Informatika yang cukup terkenal dalam analisis pemodelan suatu sistem. Penghantaran impuls dari saraf sensorik menuju pusat sistem saraf dapat digambarkan dengan graf dengan setiap neuron digambarkan sebagai simpul dan akson serta dendrit yang dapat digambarkan sebagai sisi dari graf yang menghantarkan pesan.

**Kata Kunci**—Graf, sistem saraf, otak, sumsum tulang belakang, neuron, akson

## I. PENGANTAR

Sistem saraf manusia adalah sebuah jaringan kompleks dalam tubuh manusia yang menghantarkan impuls, baik dari bagian-bagian tubuh menuju otak dan sumsum tulang belakang maupun sebaliknya. Ibarat sebuah komputer jinjing, otak dan sumsum tulang belakang adalah pusat kendali dari sebuah komputer beserta pendukungnya, seperti prosesor, *random access memory (RAM)*, *hard disk drive (HDD)*, dan sebagainya, dengan saraf adalah jaringan-jaringan yang menghubungkan sistem saraf pusat dengan sistem saraf tepi, seperti papan tik, tetikus, layar, dan sebagainya.

Sistem saraf pada manusia bekerja dalam dua arah. Saat sensori manusia menerima rangsangan dari luar tubuh manusia, baik sentuhan, penglihatan, pendengaran, pengecap, maupun penghiduan, saraf-saraf tepi yang berada di pancaindra manusia akan menyalurkan rangsangan dalam bentuk impuls melalui jalur-jalur saraf tepi yang ada untuk dihantarkan kepada sistem saraf pusat, baik otak maupun sumsum tulang belakang.

Saat impuls sudah tiba di sistem saraf pusat, otak atau sumsum tulang belakang akan mengolah impuls tersebut guna memastikan respons apa yang harus diberikan kepada tubuh manusia terhadap rangsangan yang bersangkutan. Secara umum, rangsangan yang membutuhkan respons lebih cepat, seperti memegang panci yang panas atau menghindari sebuah kecelakaan, akan dihantarkan ke sumsum tulang belakang guna menghasilkan gerak refleks yang cepat, tepat, dan di bawah kesadaran manusia. Di sisi lain, rangsangan-rangsangan yang lebih umum, seperti mendengar telepon berbunyi, mengecap sebuah makanan, atau menerka sebuah alunan melodi, akan dihantarkan ke otak untuk diolah lebih menyeluruh meski memerlukan waktu yang lebih lama.

Setelah mengolah impuls yang diterima dari saraf sensori, sistem saraf pusat akan menghantarkan respons yang telah diolah menuju sistem saraf tepi, baik berupa gerakan kerangka tubuh, rasa sakit, maupun perubahan sistem organ dalam tubuh. Respons-respons yang diberikan akan berbeda tergantung impuls yang dihantarkan semula.

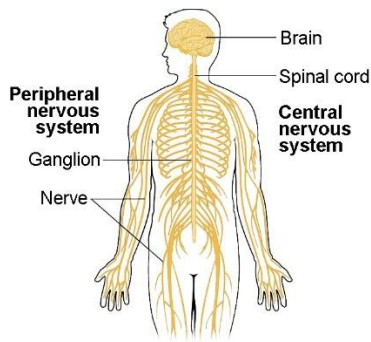
Andaikata, saat tangan kita menyentuh sebuah panci yang sedang memasak air, saraf sensori yang ada di ujung-ujung tangan kita akan menerima rangsangan dari kalor yang berpindah dari tepi panci menuju ujung tangan kita. Saraf sensori pada tangan akan menghantarkan impuls menuju sistem saraf pusat, dalam kasus ini menuju sumsum tulang belakang melalui jaringan sistem saraf tepi. Setelah itu, sumsum tulang belakang akan menerima impuls tersebut sebagai sebuah informasi darurat bahwasanya salah satu bagian tubuh kita sedang berada dalam kondisi yang genting. Selanjutnya, sumsum tulang belakang akan menghantarkan respons dan perintah dengan segera menuju tangan kita untuk menjauhkan tangan kita dari panci yang panas tersebut. Alhasil, tubuh akan secara tidak sadar akan melakukan gerak refleks, yaitu menjauhkan tangan kita dari panci tersebut dengan sedikit rasa sakit akibat panas pada panci tersebut. Oleh sebab itu, sistem saraf pada manusia dapat dikatakan sebagai sistem pertahanan pertama dan terluar bagi tubuh manusia terhadap bahaya-bahaya yang dapat mengancam keselamatan diri manusia yang bersangkutan.

## II. STUDI LITERATUR

### A. Sistem Saraf

Sistem saraf adalah sebuah pusat perintah dan kendali pada setiap makhluk hidup di bumi ini. Akan tetapi, tidak semua makhluk hidup mempunyai jaringan atau sistem saraf yang terkhususkan. Pada knidaria (atau dikenal dengan hidra), seekor hewan sederhana yang memiliki sistem saraf, sel-sel saraf akan membentuk jaring-jaring saraf yang tersebar pada seluruh tubuh knidaria untuk mengatur kontraksi dan ekspansi rongga tubuh knidaria (gastrovaskular) [1].

Pada makhluk hidup yang lebih kompleks, misal pada hewan betulang belakang (vertebrata) dan juga manusia, akson (salah satu sel yang membentuk saraf) pada umumnya terberkas secara bersamaan membentuk saraf [1]. Saraf-saraf inilah yang akan menghantarkan informasi-informasi melalui jalur-jalur yang spesifik, misal untuk mengendalikan pergerakan tubuh.



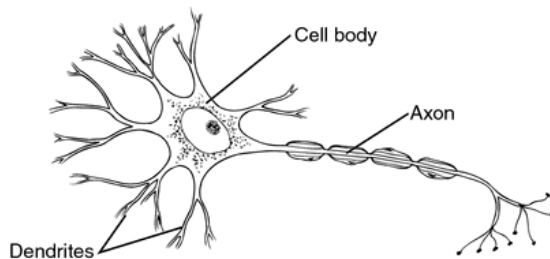
**Fig. 1.** Sistem saraf pusat dan tepi.

Setelah itu, saraf-saraf yang terbentuk ini akan membentuk dua buah sistem persarafan, yaitu sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi (Fig. 1). Sistem saraf pusat pada hewan vertebrata dan manusia terdiri dari otak dan sumsum tulang belakang. Kinerja dari sistem saraf pusat akan ditunjang kelenjar-kelenjar dan otot-otot yang disebut sebagai efektor. Kelenjar dan otot akan bekerja menurut impuls atau pesan yang diberikan oleh sistem saraf pusat, misal pada kelenjar ludah saat mengunyah makanan atau menggerakkan otot bisep saat mengangkat buku. Impuls-impuls yang diterima dari pancaendera kita menuju sistem saraf pusat disebut sebagai impuls sensori, sedangkan impuls-impuls yang diberikan dari sistem saraf pusat menuju efektor dan menghasilkan sebuah aksi, disebut impuls motorik. Rangkaian saraf yang menghantarkan impuls-impuls tersebut disebut sebagai sistem saraf tepi [2].

### Neuron, Pembentuk Saraf

Sistem saraf manusia yang amat kompleks terbentuk oleh sel-sel saraf bernama neuron. Ada tiga jenis neuron yang terdapat pada manusia, yaitu neuron motorik, neuron sensorik, dan neuron multipolar. Neuron motorik berfungsi untuk menghantarkan impuls dari sistem saraf pusat menuju kelenjar atau otot, neuron sensorik berfungsi untuk menghantarkan impuls dari pancaendera menuju sistem saraf pusat, dan neuron multipolar yang tidak berfungsi secara spesifik seperti neuron motorik atau sensorik, tetapi tetap menghubungkan sistem saraf tepi dengan sistem saraf pusat.

Neuron sendiri terdiri atas badan sel yang mengandung nukelus (inti sel) dan sitoplasma—semacam cairan yang ada di dalam sel (Fig. 2). Kemudian, neuron-neuron tersebut akan dihubungkan oleh cabang-cabang serat bernama dendrit. Pada umumnya, saraf dapat dilihat dalam bentuk serat berwarna putih dan cukup kaku, serta mengandung ratusan serat saraf mikroskopik. Selain itu, dalam satu serat saraf tampak terdiri dari sejumlah saraf motorik dan juga saraf sensorik. Serat-serat saraf yang terbentuk dari rangkaian neuron pun dapat memiliki panjang sekitar satu meter, misal saraf yang berada di ujung kaki manusia.



**Fig. 2.** Neuron beserta pembentuknya.

### Sinapsis, Penghantar Impuls Antarneuron

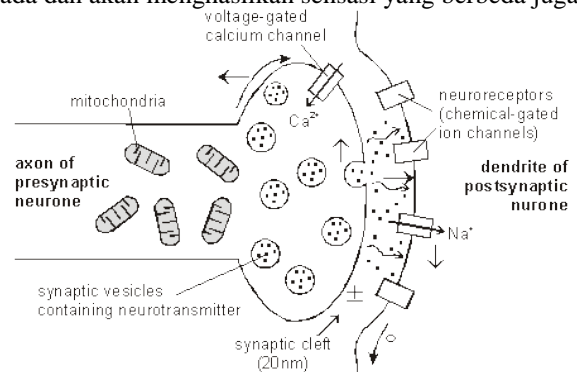
Impuls yang dibawa oleh saraf dihantarkan oleh ribuan bahkan jutaan neuron yang saling terhubung satu dengan lainnya. Meskipun serat saraf terselubung, saraf tetap dapat menghantarkan impuls dari saraf sensori menuju otak. Wilayah penghantaran impuls untuk menyeberangi antarneuron disebut sebagai sinapsis.

Saat impuls berada di wilayah sinapsis, cabang terujung dari sebuah neuron akan berhubungan sangat dekat dengan dendrit atau badan sel lainnya. Selanjutnya, sinapsis akan menghasilkan zat kimia dalam jumlah kecil bernama zat *neurotransmitter* untuk menyeberangkan impuls dari satu neuron ke neuron lainnya.

### Impuls Saraf

Senasi yang dirasakan oleh tubuh manusia, seperti panas, kasar, manis, sakit, dapat terjadi karena adanya impuls dari saraf sensori yang dihantarkan menuju otak untuk diolah dan diinterpretasi. Impuls yang dihantarkan melalui sistem saraf bukan dalam bentuk rasa panas, sakit, manisnya makanan, ataupun kasarnya tekstur, tetapi dalam bentuk sinyal-sinyal listrik. Setelah itu, impuls-impuls yang dihantarkan dalam sinyal-sinyal listrik akan diterima oleh otak untuk diolah dan diinterpretasi sesuai dengan memori dan informasi yang ada pada otak manusia.

Sensasi dan rasa yang manusia rasakan setiap hari adalah hasil interpretasi otak manusia terhadap impuls yang diterima dari saraf-saraf sensori manusia. Setiap manusia tentu memiliki interpretasi yang berbeda terhadap rangsangan-rangsangan yang ada dan akan menghasilkan sensasi yang berbeda juga.



**Fig. 3.** Sinapsis

### B. Graf

Graf adalah sebuah struktur diskrit yang mengandung simpul-simpul dan sisi-sisi yang menghubungkan antarsimpul tersebut [3]. Secara umum, graf digunakan untuk menggambarkan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut, dengan objek yang dinyatakan sebagai simpul dan hubungan antarobjek dinyatakan sebagai garis yang menghubungkan simpul-simpul tersebut [4].

Persoalan graf pertama kali muncul di sebuah kota bernama Königsberg (saat ini dikenal dengan kota Kaliningrad, Rusia) dengan masalah berupa jembatan-jembatan di kota tersebut. Permasalahan tersebut bermula saat ada tujuh jembatan yang menghubungkan empat daerah atau daratan di kota tersebut. Lalu, masalah utama dari jembatan ini adalah apakah ada kemungkinan bagi seseorang untuk melewati setiap jembatan Königsberg tepat sekali dan kembali ke tempat semula.



**Fig. 4.** Jembatan Könisberg (a) dengan representasi graf (b)

Para penduduk pun sepakat bahwa tidak mungkin bagi seseorang untuk melewati setiap jembatan tepat sekali dan kembali ke titik keberangkatan semula. Namun, belum ada yang dapat menjelaskan kenapa hal itu bisa terjadi. Alhasil, seorang matematikawan bernama L. Euler berhasil memodelkan masalah ini ke dalam bentuk graf yang kita kenal saat ini, dengan pulau atau daratan sebagai simpul dan jembatan-jembatan sebagai sisi dari graf (Fig. 3.).

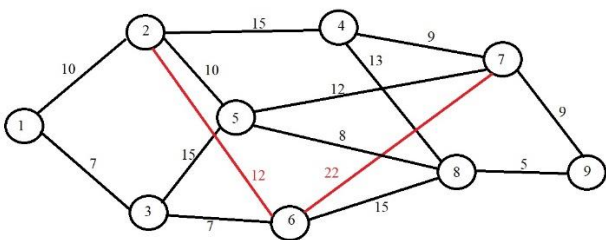
Secara umum, graf dapat diwakili dengan persamaan

$$G = (V, E)$$

dengan  $G$  adalah graf,  $V$  adalah himpunan takkosong dari simpul, dan  $E$  adalah sisi-sisi yang menghubungkan antarsimpul.

Berdasarkan sumber referensi dari buku *Matematika Diskrit, Ed. 3* karangan Rinaldi Munir, graf sendiri terdiri dari beberapa jenis:

1. Graf sederhana. Graf ini tidak mengandung sisi gelang (*loop*) maupun sisi ganda. Antara dua buah simpul akan memiliki tepat satu sisi saja.
2. Graf takseederhana. Graf ini merupakan kebalikan dari graf sederhana, yaitu graf-graf yang memiliki sisi gelang maupun sisi ganda. Graf yang mengandung sisi ganda disebut sebagai graf ganda, sedangkan graf yang mengandung sisi gelang (dan juga ganda) disebut sebagai graf semu (*pseudograph*).
3. Graf berarah. Graf ini mengandung sisi yang memiliki arah tuju ke suatu simpul tertentu. Sisi yang berarah akan diwakili dengan busur. Pada graf ini, tidak ada satupun sisi yang memiliki dua arah sekaligus. Secara umum, graf berarah hanya diperbolehkan memiliki sisi gelang, tidak dengan sisi ganda. Akan tetapi, dalam perluasan graf, busur ganda diperbolehkan dalam graf ganda berarah.
4. Graf berbobot (Fig. 4). Graf jenis ini menyematkan informasi tambahan berupa bobot atau nilai pada setiap sisinya. Bobot yang disematkan pada sebuah sisi dapat digunakan untuk keperluan-keperluan tertentu, misal panjang sisi.



**Fig. 5.** Graf berbobot

Selain jenis-jenis graf yang telah disebutkan di atas, ada juga beberapa termonologi dan lema yang terdapat dalam graf, seperti ketetanggaan—dua buah simpul yang terhubung langsung oleh sisi, bersisian—sisi yang menghubungkan dua buah simpul, simpul terpencil—simpul yang tidak dijangkau oleh sisi manapun, dan graf kosong—graf yang tidak memiliki sisi sama sekali. Selain termonologi-termonologi di atas, ada beberapa lema atau teori yang terdapat pada graf, seperti lema jabat tangan, teori Euler, dan teori Hamilton. Pada lema jabat tangan, dapat disimpulkan bahwa jumlah derajat semua simpul yang terdapat pada suatu graf adalah genap, yaitu sejumlah dua kali dari jumlah sisi pada graf yang bersangkutan. Dari lema ini, dapat disimpulkan bahwa pada sebuah graf, jumlah simpul yang berderajat ganjil (sisi yang terhubung dengan simpul tersebut berjumlah ganjil) pastilah berjumlah genap.

Beberapa teori, seperti lintasan dan sirkuit Euler serta Hamilton juga menjadi teori penting yang dapat dipakai dalam permasalahan jalur terpendek graf (akan dibahas di subbab selanjutnya). Lintasan Euler menekankan bahwasanya adanya lintasan yang melalui setiap sisi dalam graf tepat satu kali kendati tidak kembali ke simpul semula, sedangkan sirkuit Euler adalah sirkuit yang melalui setiap sisi pada graf tepat satu kali dan kembali ke simpul semula. Di sisi lain, lintasan Hamilton menekankan bahwa adanya lintasan yang melewati setiap simpul pada graf tepat satu kali meski tidak kembali ke simpul semula, sedangkan sirkuit Hamilton adalah sirkuit yang melalui setiap simpul pada graf tepat satu kali, kecuali simpul semula yang sekaligus sebagai simpul akhir yang dilalui dua kali.

### C. Permasalahan Jalur Terpendek dalam Graf

Graf sendiri dapat digunakan untuk pelbagai kebutuhan untuk memudahkan pekerjaan manusia. Secara umum, graf yang sering digunakan dalam penerapan jalur terpendek dalam graf adalah graf berbobot. Hal ini tentu menjadi pertimbangan dalam berbagi perusahaan untuk menekan pengeluaran guna menunjang efisiensi yang lebih baik. Salah satu penerapan permasalahan jalur terpendek dalam graf dapat kita jumpai pada aplikasi peta dalam jaringan (*online maps application*), seperti Google Maps®. Andaikata saat ini kita sedang berada di Kampus ITB Jatinangor dan hendak menuju ke Kampus ITB Ganesha untuk menghadiri sebuah kelas dengan segera. Saat kita menentukan tujuan kita pada aplikasi peta dalam jaringan, aplikasi akan memakai sebuah algoritme pencarian jalur terpendek yang cukup terkenal, yaitu Algoritme Dijkstra. Algoritme Dijkstra akan menjadikan Kampus ITB Jatinangor sebagai simpul semula dan Kampus ITB Ganesha sebagai simpul tujuan serta jalan-jalan yang dapat dilalui sebagai sisi. Selanjutnya, algoritme akan mencari jalur manakah yang memiliki jarak tempuh terpendek agar kita dapat sampai ke tujuan lebih awal.

Cara kerja algoritme Dijkstra<sup>1</sup> adalah dengan mengecek semua jarak pada sisi yang terhubung antara simpul semula terhadap simpul tujuan sehingga dapat ditentukan jarak sisi terpendek yang menghubungkan simpul semula dengan simpul tujuan (data yang diperoleh juga bisa dipakai untuk simpul-simpul tujuan lainnya). Andaikan  $L_0(a) = 0$  untuk menamai simpul semula dan  $L_0(v) = \infty$  untuk menamai seluruh simpul lainnya. Jikalau tidak ditemukan satupun sisi yang menghubungkan sisi

<sup>1</sup> Dalam subbab ini, cara kerja algoritme Dijkstra hanya akan dibahas secara singkat dan ringkas. Untuk penjelasan lebih lengkap, pembaca dapat merujuk

pada referensi yang tersusun di Daftar Pustaka (baik Kenneth H. Rosen maupun Rinaldi Munir)

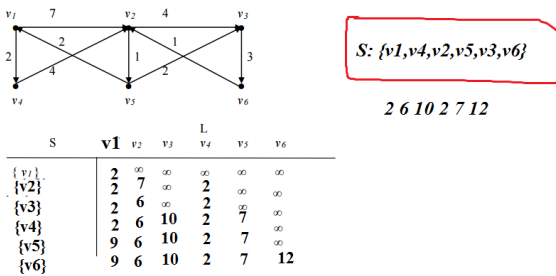
semula dengan sisi tujuan, dapat disimpulkan bahwa panjang dari simpul semula menuju sisi tujuan sebesar  $\infty$ .

Selanjutnya, algoritme akan membuat sebuah himpunan untuk menyimpan jarak-jarak sisi antara simpul semula dengan simpul tujuan. Algoritme akan menelusuri semua jalur yang mungkin untuk menghubungkan simpul semula dengan simpul tujuan sampai pada akhirnya memenuhi persamaan:

$$Lk(a, v) = \min\{L_{k-1}(a, v), L_{k-1}(a, u) + w(u, v)\}$$

dengan  $w(u, v)$  adalah jarak terpendek yang menghubungkan simpul  $u$  dengan  $v$ . Prosedur algoritme ini akan dilakukan secara pengulangan (iteratif) sampai ditemukannya jarak terpendek dari simpul semula menuju simpul tujuan.

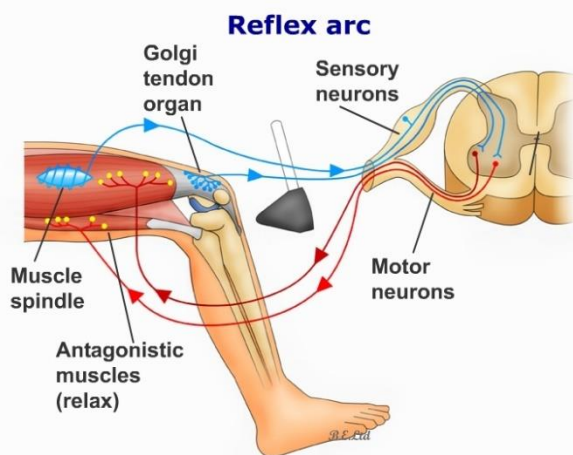
**Problem 10:** Given the graph below, use Dijkstra's algorithm to find the shortest path from the top-left corner vertex to the bottom-right corner vertex. Label the vertices accordingly. Give the length of the shortest path.



**Fig. 6.** Algoritme Dijkstra

### III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis berikut ini dilakukan untuk mengetahui seberapa cepat impuls dihantarkan dalam menerima rangsangan refleks, dalam hal ini berupa pukulan ringan di patela—tempurung lutut dan juga seberapa efektif tubuh menelusuri jalur saraf yang terdekat dan tercepat guna menghasilkan respons yang tercepat dan terbaik untuk perlindungan pertama bagi manusia.



www.clinicalexams.co.uk

**Fig. 7.** Mekanisme gerak refleks pada manusia

Percobaan ini dilakukan dengan duduk di atas sebuah bangku yang cukup tinggi sehingga bagian lutut ke bawah tidak menyentuh lantai (Fig. 7.). Selanjutnya, kaki harus berada dalam

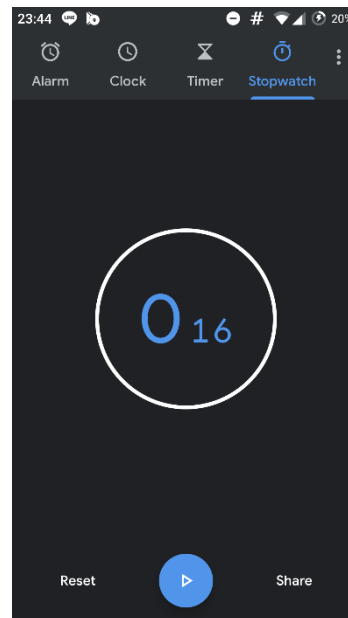
kondisi rileks—otot tibialis anterior (betis) dan otot rektus femoris serta bisep femoris (paha). Akan lebih baik jikalau mata responden atau peserta uji ditutup agar gerak refleks yang diberikan lebih sah.

Setelah responden berada dalam kondisi rileks, barulah penguji mempersiapkan sebuah palu penguji refleks. Tentunya palu yang digunakan sudah dilapisi dengan karet dan tidak menyakiti responden (Fig. 8).



**Fig. 8.** Palu pengecek refleks

Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk diambil data waktu yang diperlukan oleh tubuh untuk meresponi pukulan tersebut dengan hentakan kaki. Saya mengandalkan penghitung waktu (*stopwatch*) pada ponsel saya untuk menghitung durasi yang diperlukan.



**Fig. 9.** Waktu uji refleks.

Akan tetapi, saya gagal untuk mendapatkan durasi yang akurat karena begitu cepatnya durasi yang diperlukan oleh tubuh untuk menerima rangsangan, menghantarkannya menuju otak, dan memerintah kaki untuk bergerak. Pada pengukur waktu yang saya pakai, waktu yang tercatat adalah 0.16 detik dan waktu tersebut masih jauh lebih lama daripada respons yang diberikan oleh kaki saya ketika saya mengetuknya dengan cukup keras. Saya mencoba untuk mengambil data sebanyak lima kali dan hasil yang didapatkan pun serupa. Saya dapat menduga bahwasanya respons dari tubuh saya terhadap rangsangan refleks memakan waktu yang jauh lebih cepat daripada 0.10 detik karena durasi yang diperlukan hampir sama dengan waktu yang saya perlukan untuk menekan tombol mulai pada aplikasi pengukur waktu yang bersangkutan.

Jikalau saraf-saraf dalam tubuh manusia dapat diibaratkan sebagai sebuah graf yang begitu kompleks dengan simpul utama adalah otak dan sumsum tulang belakang serta simpul-simpul lainnya adalah ujung-ujung dari saraf sensori manusia yang berada di pancaindera manusia, graf yang terbentuk dapat



disebut sebagai dengan graf dengan optimasi yang paling baik. Tubuh manusia dengan optimal akan mencari jalur terpendek dan tercepat (dalam kasus ini, neuron-neuron sebagai sisi dalam graf) untuk menghantarkan impuls-impuls yang ada. Bahkan, tubuh manusia dapat membedakan juga antara impuls yang harus diolah dengan segera—misal gerak refleks, atau impuls yang dapat diolah dengan lebih lama, misal menerka sebuah melodi lagu yang sepertinya pernah kita dengar. Sebagai contoh, gerak refleks yang dihasilkan dari pukulan palu terhadap tempurung lutut (patela) akan membuat impuls dari saraf sensori berjalan menelusuri neuron-neuron yang ada di femur manusia (paha), diterima oleh sumsum tulang belakang—karena dalam hal ini impuls dikategorikan dalam gerak refleks. Kemudian, impuls dalam bentuk sinyal-sinyal listrik akan diolah di dalam sumsum tulang belakang untuk dihantarkan kembali menuju saraf motorik manusia—dalam hal ini adalah otot-otot pada paha kita. Setelah itu, otot-otot pada paha akan meresponi impuls yang diberikan oleh sumsum tulang belakang dengan menghentakkan kaki ke depan (Fig. 7.).

Gerak refleks yang dapat diuji pun tidak harus mengenai hentakan kaki ini. Beberapa contoh yang dapat dipraktikkan dalam kehidupan sehari-hari adalah refleks tangan yang memegang panci panas atau telinga yang mendengarkan telepon rumah berdering. Gerak refleks pada dua kondisi di atas juga terjadi dalam waktu yang sangat amat singkat dan dapat menjadi penelitian dalam menguji gerak refleks kita.

### Saraf Terputus, Lumpuh?

Pengujian refleks ini lumrah dilakukan untuk memeriksa apakah ada saraf yang tidak bekerja dengan baik atau terputus—dikenal dengan istilah lumpuh, misalnya akibat kecelakaan atau malpraktik pada pascaoperasi [6]. Saraf yang terputus membuat penghantaran impuls dari saraf sensori menuju sistem saraf pusat dan sebaliknya menjadi terhambat. Lantas, apakah dengan demikian tidak ada kemungkinan bagi tubuh manusia untuk menghantarkan impuls menuju sistem saraf pusat?



Fig. 10. Kelumpuhan

Menurut beberapa sumber referensi, manusia memiliki mekanisme yang cukup baik untuk mencari jalur lain dalam sistem saraf manusia. Sebagai contoh, jikalau seorang manusia memiliki masalah pada saraf-saraf yang ada di kaki, misal terputus, tidak sekonyong-konyong impuls yang diberikan dari saraf sensori tidak akan terhantarkan menuju sistem saraf pusat, baik otak maupun sumsum tulang belakang. Tubuh manusia akan mencari alternatif jalur lain guna menghantarkan impuls-

impuls. Di sinilah, data-data yang terkumpul melalui algoritme Dijkstra dapat digunakan untuk mencari jalur alternatif yang pendek dan singkat juga sehingga penghantaran informasi dapat juga sampai.

Kendati demikian, saraf utama yang pada umumnya dipakai untuk penghantaran impuls tidak dapat diganti dengan seutuhnya oleh saraf-saraf yang lain. Selain menempuh jarak yang lebih panjang dan memerlukan durasi yang lebih lama untuk menyampaikan informasi, tanggapan yang diberikan oleh otak maupun sumsum tulang belakang pun akan terhambat, lebih lambat, dan tidak sebaik akan jalur saraf yang semula. Sebagai contoh, gerak refleks pada kaki manusia akibat rangsangan berupa pukulan pada tempurung lutut manusia bisa memerlukan waktu yang lebih lama untuk kaki terhentak atau hentakan pada kaki tidak seekstrem pada manusia normal jikalau ada saraf-saraf yang bermasalah. Selain itu, kondisi ini tidak berlaku bagi orang-orang yang memiliki masalah yang serius pada saraf, misal orang yang mengalami patah tulang belakang—lokasi yang sangat rentan karena di dalam tulang belakang manusia terdapat jalur saraf pusat dari batang otak menuju sumsum tulang belakang. Jalur saraf pusat pada tulang belakang manusia diibaratkan sebagai satu sisi utama yang menghubungkan banyak simpul menuju simpul utama, yaitu otak. Jikalau sisi utama ini terputus, dapat dipastikan bahwa otak manusia akan menjadi simpul terpencil yang tidak mungkin dijangkau oleh simpul-simpul mana pun dalam tubuh manusia. Oleh sebab itu, kerusakan yang terjadi pada tulang belakang dapat mengakibatkan kelumpuhan total dan permanen karena informasi, baik dari saraf sensori maupun dari otak manusia tidak akan pernah tersampaikan akibat tidak adanya jalur yang tersedia.

Dengan demikian, saat manusia memiliki masalah pada sistem saraf yang ada, misal terputus atau efek samping komplikasi penyakit, seperti polio atau kusta, tubuh manusia tetap akan berusaha untuk mencari jalur-jalur alternatif lainnya agar informasi dapat disalurkan menuju sistem saraf pusat dan sebaliknya, menuju sistem saraf tepi. Penganalisisan dalam masalah-masalah persarafan pun juga dapat dilakukan dengan menggunakan teori-teori dalam graf dan juga algoritme Dijkstra untuk mempelajari cara kerja dari saraf atau sekadar mendiagnosis permasalahan yang terjadi pada sistem saraf orang-orang tertentu.

## IV. KESIMPULAN

Tubuh manusia adalah salah satu sarana pembelajaran yang paling lengkap dan sempurna karena Sang Pencipta menciptakan manusia baik adanya dan sempurna. Banyak sekali ilmu-ilmu pengetahuan dalam dunia ini berkembang akibat menelaah dan mempelajari bagaimana makhluk hidup bekerja dan hidup, salah satunya pada manusia. Sistem persarafan yang begitu kompleks, tetapi indah ini juga dapat menjadi sarana pembelajaran dan penerapan bagi salah satu cabang pembelajaran dalam Informatika, yaitu graf.

Saya sebagai seorang mahasiswa biasa pada kampus ini pun dapat belajar bahwa ilmu pengetahuan dapat diperoleh dari banyak tempat dan dapat diterapkan dalam perkembangan ilmu pengetahuan di dunia agar kehidupan manusia dapat lebih baik dan lebih efisien. Sebagai contoh, permasalahan yang

diselesaikan oleh algoritme Dijkstra tentu sudah dipakai oleh tubuh manusia sejak dahulu kala. Akan tetapi, penemuan akan algoritme Dijkstra bisa menjadi satu batu pijakan dalam perkembangan pengetahuan ke depannya, misal menekan biaya pengeluaran suatu perusahaan ekspedisi dengan menentukan jarak terdekat dan tercepat yang dapat ditempuh untuk menghantarkan suatu barang. Efisiensi yang tinggi tentu akan membuat biaya pengantaran yang dikeluarkan oleh perusahaan tersebut dapat ditekan sedemikian rupa. Hal ini tentu dapat dilihat dari penghantaran impuls pada sistem saraf manusia yang sangat efisien dan efektif sehingga kita dapat menikmati hidup yang telah diberikan oleh Sang Pencipta kita dengan aman dan tenang. Tubuh kita juga dapat terlindung dari ancaman-ancaman yang dapat membahayakan diri kita, seperti panas, benda tajam, dan sebagainya.

Dengan demikian, dapat saya simpulkan bahwa graf yang saya pelajari dalam IF2120 Matematika Diskrit dapat diterapkan dalam penganalisisan sistem saraf manusia dan mengetahui bagaimana sistem saraf bekerja dalam menanggapi berbagai rangsangan dan respons yang diberikan ketika ada rangsangan yang diterima oleh salah satu saraf sensoris kita.

## V. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terima kasih banyak kepada Tuhan karena atas anugerah-Nya, saya bisa diberi kesempatan untuk mengenyam pendidikan di Institut Teknologi Bandung dan juga diberi kesehatan yang baik sehingga makalah ini dapat dibuat hingga selesai. Tak lupa, saya juga berterima kasih kepada seluruh dosen Matematika Diskrit yang saya hormati, yaitu Dr. Ir. Rinaldi Munir, MT., Dra. Harlili M.Sc., dan Drs. Judhi Santoso, M.Sc., atas segala kesempatan, ilmu, dan waktu yang telah diberikan agar saya dapat mempelajari Matematika Diskrit dengan baik. Saya juga berterima kasih kepada kedua orangtua saya yang terus mendukung dan mendoakan saya agar perkuliahan yang sedang saya jalani dapat berjalan dengan baik. Terakhir, saya juga berterima kasih kepada teman-teman yang tak bisa saya sebutkan satu per satu, tetapi mereka selalu mendukung saya dalam segala kesempatan dan aktivitas sehingga makalah ini dapat selesai dibuat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Campbell, Neil A. dan Reece, Jane B., *Biologi Jilid 3, Ed. 8*. Jakarta: Erlangga, 2010, bab 49.
- [2] Mackean, D. G. *IGCSE Biology*. London: Hodder Murray, 2006, hlm. 163-169.
- [3] Rosen, Kenneth H., *Discrete Mathematics and Its Applications, 7<sup>th</sup> Ed.* New York, NY: McGraw-Hill, 2007, bab 10.
- [4] Munir, Rinaldi. *Matematika Diskrit, Ed. 3*. Bandung: Informatika, 2010, bab 8.
- [5] "Chapter 9 Graphs: Definition, Applications, Representation". [www.cs.cmu.edu](http://www.cs.cmu.edu). Diunduh berupa PDF pada 06 Desember 2018.
- [6] *Kelumpuhan*. <https://www.alodokter.com/kelumpuhan.html>. Diakses pada 09 Desember 2018

## PUSTAKA FIGUR

- Fig. 1.** <https://courses.lumenlearning.com/wm-biology2/chapter/the-central-and-peripheral-nervous-systems/>. Diakses pada 07 Desember 2018.
- Fig. 2.** <https://medical-dictionary.thefreedictionary.com/dendrite>. Diakses pada 07 Desember 2018.
- Fig. 3.** <http://www.biologymad.com/nervoussystem/synapses.htm>. Diakses pada 08 Desember 2018.

- Fig. 4.** [https://www.researchgate.net/publication/51784417\\_How\\_to\\_apply\\_de\\_Bruijn\\_graphs\\_to\\_genome\\_assembly/figures?lo=1&utm\\_source=google&utm\\_medium=organic](https://www.researchgate.net/publication/51784417_How_to_apply_de_Bruijn_graphs_to_genome_assembly/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic). Diakses pada 07 Desember 2018.
- Fig. 5.** <https://cs.stackexchange.com/questions/80788/dfs-on-weighted-graphs>. Diakses pada 08 Desember 2018.
- Fig. 6.** <https://math.stackexchange.com/questions/1247129/given-the-graph-below-use-dijkstra-s-algorithm-to-find-the-shortest-path-more>. Diakses pada 08 Desember 2018.
- Fig. 7.** <http://www.clinicalexams.co.uk/reflex-arc/>. Diakses pada 08 Desember 2018.
- Fig. 8.** <https://unikits.com.au/products/buck-neuro-reflex-hammer/>. Diakses pada 08 Desember 2018.
- Fig. 9.** Dokumentasi pribadi.
- Fig. 10.** <https://www.alodokter.com/kelumpuhan.html>. Diakses pada 09 Desember 2018

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 09 Desember 2017



Andrian Cedric/13517065