

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

Dulunya, otak manusia dewasa dianggap sebagai sebuah struktur organ yang terbentuk selama masa perkembangan dan kemudian menjadi kaku saat dewasa. Perubahan pada otak yang diterima dahulu hanyalah sebatas pada proses belajar dan memori. Namun, faktanya otak ternyata mengalami perubahan yang berkelanjutan sepanjang masa hidup dan hal ini merupakan salah satu penemuan terpenting dalam ilmu neuroscience modern. Perubahan yang terjadi di otak ini dikenal dalam sebuah istilah umum sebagai neuroplastisitas, yang meliputi neurogenesis, plastisitas sinaps, dan sinaptogenesis.<sup>1</sup>

Berdasarkan sejarah, para ilmuwan percaya bahwa ketika seseorang mencapai usia dewasa, kemampuan kognitif mereka dapat berubah. Tetapi pada awal abad kedua puluh, teori tersebut diperebutkan oleh bukti yang menunjukkan kemampuan otak sebenarnya mudah dibentuk dan diubah. Menurut prinsip neuroplastisitas, otak terus berubah dalam menanggapi berbagai pengalaman. Perilaku baru, pembelajaran baru, dan bahkan perubahan lingkungan atau luka fisik mungkin menstimulasi otak untuk membentuk lintasan saraf baru atau reorganisasi yang sudah ada yang pada dasarnya mengubah proses jalannya informasi dalam otak.<sup>2</sup>

Setelah dua dekade pada penelitian otak, komunitas pendidikan mulai menyadari bahwa “pemahaman otak” dapat membantu jalur baru untuk meningkatkan penelitian, kebijakan, dan praktik. Ahli saraf menyatakan bahwa otak memiliki kekuatan dan dapat berkembang dengan baik untuk berubah sesuai lingkungan, suatu proses yang disebut plastisitas. Ini melibatkan pembentukan dan memperkuat koneksi saraf dan melemahnya atau eliminasi dari saraf lainnya. Tingkat modifikasi tergantung dari tipe pembelajaran yang terjadi, dengan pembelajaran jangka panjang yang mengarah ke modifikasi yang lebih mendalam. Itu juga bergantung pada periode pembelajaran, dengan bayi mengalami pertumbuhan yang luar biasa dari sinaps baru. Tetapi, pesan yang mendalam bahwa plastisitas adalah fitur inti dari otak sepanjang hidup. Ada “periode sensitif” optimal atau dimana jenis tertentu dari pembelajaran yang paling efektif, meskipun plastisitas adalah seumur hidup.<sup>2</sup>

1. Chostandy, Moheb. "50 ideas you really need to know: the human brain." United Kingdom: Quercus Publishing. 2013. p. 132-135.
2. Hunter, Zoë Rebecca. "Plasticity of the adult human brain and motor recovery after stroke." Germany: Cognitive Science, University of Osnabrück. 2004.
3. Rogers, Kara. "The Brain and The Nervous System". New York: Britannica Educational Publishing. 2011: 158-165.

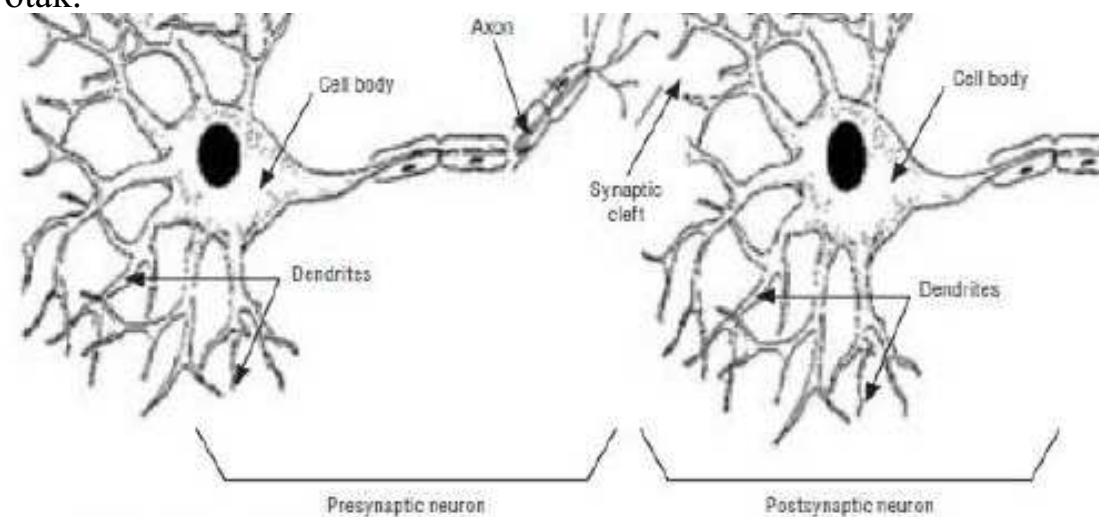
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. PRINSIP DASAR STRUKTUR BANGUNAN OTAK

Otak terdiri dari sejumlah besar neuron dan sel glial, yang keduanya merupakan unit operasi dasar otak. Selama periode awal perkembangan otak prenatal, yang terjadi antara 10 dan 26 minggu setelah pembuahan, otak diperkirakan tumbuh pada tingkat 250000 neuron per menit. Saat lahir, sebagian besar otak berisi sel-sel neuron dengan perkiraan sekitar 15-32 miliar.

Belajar dan proses memori yang tertanam dalam jaringan neuron yang saling berhubungan. Setiap neuron memiliki tiga bagian dibedakan: dendrit, badan sel, dan akson (lihat Gambar 2.1). Dendrit sangat bercabang proses yang menerima sinyal kimia dari sel-sel lain. Dendrit kemudian menyampaikan sinyal listrik ke sel tubuh. Sinyal-sinyal listrik kemudian berjalan sepanjang akson. Proses yang panjang ini dipercepat oleh selubung myelin yang meluas keluar dari sel tubuh. Cabang-cabang akson akan berujung ke terminal akson, di mana sinyal kimia dirilis untuk mengirimkan informasi ke dendrit dari sel-sel lain. Neuron yang mengirimkan informasi disebut neuron presinaptik dan neuron yang menerima informasi disebut neuron postsinaptik. Tingkat aktivitas relatif pada setiap koneksi sinaptik mengatur penguatan atau pelemahan dan, pada akhirnya, mengatur kecepatan transmisi neurotransmitter antar sel. Secara bersama-sama, fenomena ini dipahami bertanggung jawab untuk *encoding* struktural pembelajaran dan memori proses di otak.



Source: Christina Hinton for OECD.

Gambar 2.1 Sinapsis dari dua sel neuron

## **Fungsi Organisasi**

Otak terbagi menjadi bagian-bagian yang melaksanakan tugas pengolahan informasi yang berbeda—prinsip lokalisasi fungsional—yang berlaku di hampir setiap tingkat organisasi otak. Setiap bagian dari otak memiliki tugas yang berbeda dan terdiri dari banyak neuron yang saling terkait. Prinsipnya adalah bahwa neuron yang melayani fungsi yang sama atau mirip terhubung satu sama lain. Neuron ini terhubung satu dengan lainnya sehingga menghubungkan daerah otak tertentu secara langsung dan tidak langsung dengan berbagai daerah lain di sirkuit yang rumit. Daerah otak yang sangat spesifik, melayani sub-fungsi yang sangat spesifik. Sebagai contoh, beberapa kelompok di visulkorteks menyimpan kode untuk warna sementara kelompok yang berbeda lainnya menyimpan kode untuk gerak atau bentuk. Setiap kali kita "melihat" benda tertentu, otak kita menciptakan produk dari banyak daerah khusus yang masing-masing berkontribusi untuk memberikan persepsi yang kita alami. Ketika banyak daerah diperlukan untuk bekerja sama dalam menyediakan fungsi yang diberikan, daerah-daerah ini disebut sebagai jaringan kognitif.

## **Struktur Otak**

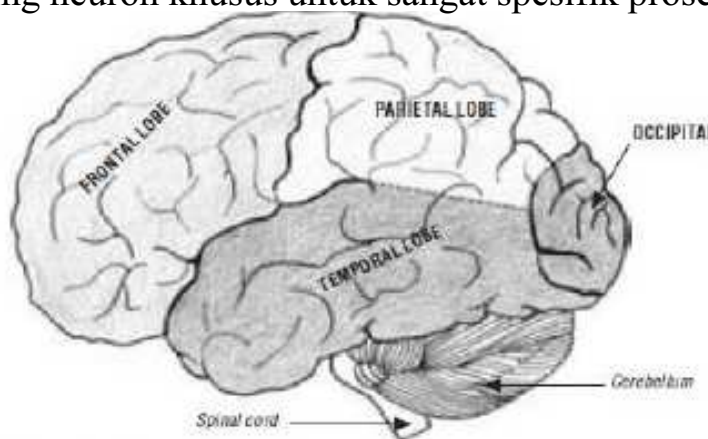
Tubuh manusia memiliki garis simetri yang berjalan dari atas kepala ke kaki (mata misalnya, kanan dan kiri, tangan, kaki, dan sebagainya). Otak juga dibagi menjadi dua bagian utama, belahan kiri dan kanan. Belahan kanan mengendalikan sebagian besar kegiatan di sebelah kiri sisi tubuh, dan sebaliknya.

Belahan kanan telah ditunjukkan untuk memainkan peran kunci dalam kemampuan spasial dan wajah. Sementara otak kiri terlibat dalam bahasa, matematika dan logika. Dua belahan berkomunikasi melalui sebuah jembatan yang mengandung hingga 250 juta serat saraf yang disebut corpus callosum. Oleh karena itu, meskipun ada beberapa kegiatan yang tampak dominan di satu belahan, kedua belahan otak berkontribusi pada aktivitas otak secara keseluruhan, masing-masing belahan sangat kompleks, dan ada subsistem yang menghubungkan dua belahan. Oleh karena itu, terlalu sederhana untuk menggambarkan setiap orang sebagai "Pelajar otak kiri" atau "pelajar otak kanan".

Korteks otak, 2-4 mm tebal lembaran berlapis multi sel pada permukaan yang meliputi 2000 sentimeter persegi. Korteks tersusun dari materi abu-abu dan *white matter*.

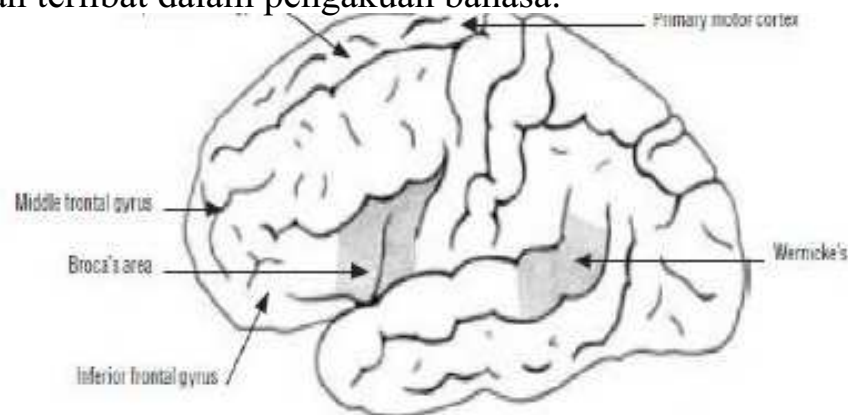
Dalam rangka untuk itu agar sesuai dengan ukuran tengkorak, korteks memiliki banyak lipatan (gyrus atau gyri) dan lembah (sulkus atau sulci). Sebagian besar neuron dari otak manusia terutama berperan untuk fungsi tingkat tinggi.

Setiap belahan dibagi lagi menjadi lobus (lihat Gambar 2.2). Sementara keterampilan yang kompleks tergantung pada tindakan terkoordinasi dari jaringan saraf di seluruh lobus, masing-masing lobus dapat terkait dengan fungsi tertentu. Lobus frontal terlibat dalam perencanaan dan tindakan; lobus temporal memainkan peran penting dalam audisi, memori, dan pengenalan obyek; lobus parietalis yang terlibat dalam sensasi dan pengolahan spasial; dan lobus oksipital sangat penting dalam visual. Setiap lobus dibagi lagi menjadi jaringan saling neuron khusus untuk sangat spesifik proses informasi.<sup>7</sup>



Gambar 2.2 Subdivisi dari Korteks Serebri

Lobus frontal termasuk korteks motor utama, gyrus frontal superior, gyrus frontal medial, dan gyrus frontal inferior (lihat Gambar 2.3). Korteks motor utama adalah terlibat dalam kontrol volunter gerakan bagian tubuh, gyrus frontal unggul dalam perencanaan dan pelaksanaan perilaku, dan gyrus frontal menengah di tingkat tinggi fungsi eksekutif dan proses pengambilan keputusan. Area Broca di gyrus frontal rendah dikaitkan dengan produksi ujaran, pengolahan bahasa dan pemahaman. Area Broca terhubung ke daerah lain disebut Wernicke, yang terletak di persimpangan temporal dan lobus parietalis di belahan otak kiri, dan terlibat dalam pengakuan bahasa.



Gambar 2.3 Lobus Frontal

Lobus frontal berhubungan dengan banyak tingkat tinggi fungsi kognitif termasuk perencanaan, penilaian, memori, pemecahan masalah, dan perilaku. Secara umum, frontal korteks memiliki fungsi eksekutif, mengendalikan dan perilaku koordinasi (termasuk sosial perilaku yang tidak diinginkan). Lobus parietalis dapat dibagi menjadi lobulus parietalis superior dan inferior lobulus parietal, yang dipisahkan oleh sulkus intraparietal. Precuneus, gyrus postsentralis, gyrus supramarginal dan angular gyrus adalah bagian dari lobus parietal. Area lobus parietal telah dikaitkan dengan belajar matematika. Lobus parietalis juga mengintegrasikan informasi sensorik dan pengolahan visuospatial.

Lobus temporal yang berhubungan dengan pendengaran pengolahan dan pendengaran, termasuk pidato yang terutama terjadi di lobus temporal kiri. Hal ini terkait dengan penamaan, pemahaman, dan fungsi bahasa lain. Gyrus fusiform kiri adalah bagian dari lobus temporal dan terkait dengan pengenalan kata, nomor pengakuan, pengenalan wajah dan pengolahan informasi warna.

Lobus oksipital terletak di bagian belakang otak di atas otak kecil. Di lobus ini terdapat korteks visual primer. Lobus oksipital dikaitkan dengan visual yang meliputi pengolahan, diskriminasi warna dan diskriminasi gerakan.

## **2.2. BAGAIMAN OTAK BELAJAR SEPANJANG WAKTU KEHIDUPAN**

Bagian otak, termasuk hippocampus yang memainkan peran penting dalam pembelajaran dan memori, baru ditemukan untuk menghasilkan neuron baru sepanjang hidup. Pembentukan neuron baru (neurogenesis), bekerja bersama-sama dengan kematian neuron otak untuk memodifikasi struktur selama kehidupan. Selain itu, neuron terus menyempurnakan koneksi mereka melalui pembentukan sinaps (synaptogenesis), eliminasi (pemangkasan), penguatan dan pelemahan. Neuron baru terbentuk dan koneksi baru terbentuk sepanjang hidup, dan sebagai otak memproses informasi dari lingkungan, sambungan aktif diperkuat dan paling aktif melemah. Seiring waktu, koneksi yang tidak aktif menjadi lemah dan lebih lemah dan, ketika semua koneksi neuron yang menjaditerus-menerus tidak aktif, sel itu sendiri bisa mati. Pada saat yang sama, koneksi aktif diperkuat. Melalui mekanisme ini, otak disesuaikan agar sesuai lingkungan. Sehingga menjadi lebih efisien, dengan mempertimbangkan pengalaman dalam rangka mengembangkan optimal arsitektur.

## **Plastisitas dan Periode Sensitif**

Otak memiliki kemampuan untuk tetap fleksibel, waspada, responsif dan berorientasi solusi adalah karena kemampuan otak untuk mengalami plastisitas seumur hidup.

Plastisitas dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis: *experience-expectant* dan *experience-dependent*. Plastisitas *experience-expectant* menjelaskan modifikasi struktural genetik cenderung otak di plastisitas awal kehidupan dan *experience-dependent* modifikasi struktural otak sebagai akibat dari paparan lingkungan yang kompleks selama kehidupan.<sup>11</sup>

### **Masa kanak-kanak (sekitar 3-10 tahun)**

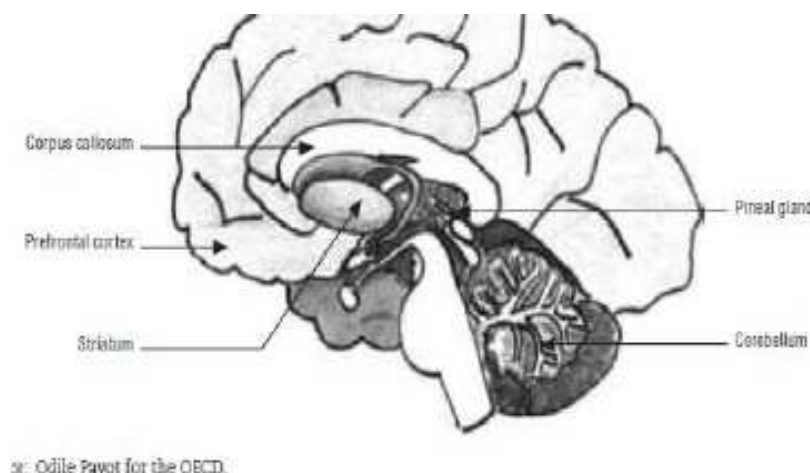
Studi menunjukkan bahwa bayi muda dalam beberapa bulan pertama kehidupan mereka mampu melakukan diskriminasi yang halus namun relevan untuk membedakan antara konsonan dan antara vokal yang terdengar serupa, untuk kedua bahasa asli dan asing. Bayi yang baru lahir dapat belajar membedakan suara yang pengucapannya susah dalam beberapa jam bahkan ketika mereka sedang tidur, bertentangan dengan pandangan bahwa tidur adalah keadaan menetap ketika kapasitas seperti perhatian dan belajar berkurang atau tidak ada.

Sebagai aspek yang paling penting dari belajar bahasa adalah untuk menjadi mampu berkomunikasi tidak selalu memerlukan perbedaan akurat berbicara, itu adalah pertanyaan terbuka apakah perlu untuk menginvestasikan waktu dalam pelatihan untuk membedakan pembicaraan asing, mengingat tingkat akurasi yang diperlukan dalam situasi yang berbeda.<sup>17</sup>

### **Masa Remaja (sekitar 10-20 tahun)**

Sebelum teknologi pencitraan otak menjadi tersedia, secara luas diyakini kalangan ilmuwan, termasuk psikolog, bahwa otak berhenti berkembang pada usia 12 tahun. Salah satu alasan untuk keyakinan ini adalah bahwa ukuran sebenarnya dari otak tumbuh sangat sedikit selama tahun masa kanak-kanak. Pada saat anak mencapai usia 6, otak sudah 90-95% dari yang ukuran dewasa. Meskipun ukurannya hanya bertambah sedikit, otak remaja dapat dipahami sebagai "work in progress".

Pencitraan otak telah mengungkapkan bahwa kedua volume otak dan mielinisasi terus tumbuh seluruh remaja sampai periode dewasa muda. Ada beberapa bagian dari otak yang mengalami perubahan selama masa remaja (lihat Gambar 2.4). Pertama, striatum ventral, yang mengatur perilaku, menghadapi perubahan tertentu. Perbedaan-perbedaan ini mungkin mengarahkan otak remaja terlibat dalam penghargaan yang tinggi dan resiko perilaku. Kedua, corpus callosum berkembang sebelum dan selama masa pubertas. Ketiga, kelenjar pineal, yang menghasilkan hormon melatonin yang mengatur tubuh untuk tidur, dipahami isyarat hormon untuk mengeluarkan melatonin banyak di kemudian hari 24 jam selama masa remaja dibandingkan pada anak-anak atau orang dewasa. Keempat, cerebellum, yang mengatur postur, gerakan, dan keseimbangan, terus tumbuh menjadi akhir masa remaja. Otak kecil juga mempengaruhi bagian lain dari otak yang bertanggung jawab untuk tindakan motorik dan terlibat dalam fungsi kognitif termasuk bahasa. Akhirnya, korteks prefrontal, yang bertanggung jawab untuk fungsi eksekutif penting termasuk tingkat tinggi kognisi. Penelitian menunjukkan bahwa cara di mana korteks prefrontal dikembangkan selama masa remaja berpengaruh terhadap regulasi emosional.



Gambar 2.4 Otak pada Masa Remaja

Masa remaja adalah masa perubahan mental yang mendalam, yang mempengaruhi emosional. Pengaturan kesadaran sosial, karakter, dan kecenderungan terhadap pengembangan penyakit kejiwaan. Ini adalah periode ketika individu sangat terbuka untuk belajar dan sosial perkembangan, dan juga saat perilaku anti-sosial dapat terjadi. Remaja adalah periode penting dalam hal perkembangan emosional sebagian karena lonjakan hormon dalam otak. Hormon seks memainkan peranan penting dalam emosi

remaja intens dan penemuan baru-baru ini menunjukkan sistem limbik berperan aktif di pusat emosional otak.

### **Usia Dewasa hingga Tua**

Bertentangan dengan pernyataan sekali-populer bahwa otak kehilangan 100000 neuron setiap hari (atau lebih jika disertai dengan merokok dan minum), teknologi baru telah menunjukkan bahwa tidak ada ketergantungan usia jika salah menghitung jumlah total neuron di setiap daerah dari korteks serebral. Pengaruh usia hanya berlaku untuk jumlah "besar" neuron di korteks serebral.

Penurunan fungsi otak berhubungan dengan usia akibat masalah mekanisme kognitive berpengaruh dibandingkan penyebab tunggal. Penelitian membedakan penurunan fungsi kognisi dengan usia menunjukkan penurunan kecepatan proses kognisi dimulai pada usia dekade ke 4 dan berlaku khususnya pada proses kognisi dimana bergantung pada area dan sirkuit dari korteks prefrontal yang disebut "fungsi eksekusi" memburuk dengan bertambahnya usia, yang bermanifestasi penurunan dalam menerima informasi, semakin pikun, kehilangan perhatian dan konsentrasi.

Apakah pembelajaran pada usia dewasa sama dengan usia muda? Ada beberapa bukti yang menunjukkan bahwa orang dewasa menunjukkan spesifitas atau perbedaan rekrutmen otak lebih kecil yang menunjukkan susunan fungsi kognisi. Studi Jepang terbaru membandingkan kecakapan berbahasa antara usia muda dan usia dewasa orang Jepang. Subjek penelitian diminta berbicara sebanyak kata semantik yang diberikan dan kategori fonologi yang mereka bisa selama 30 detik. Jumlah kata subyek yang lebih tua bisa mengambil kira-kira 75% dari jumlah diambil oleh kaula muda, menunjukkan lebih rendah kata-kefasihan mereka. Mereka juga memiliki kesulitan yang lebih besar mengambil nama-nama terkenal, dengan kinerja rata-rata mereka sekitar 55% dengan yang kaula muda. Sebuah Positron Emission Tomography (PET) studi aktivasi dilakukan selama tugas kefasihan kata. Di antara kaula muda, di sebelah kiri lobus temporal anterior dan lobus frontal yang diaktifkan selama pengambilan nama yang tepat. Selama pengambilan nama benda hidup dan mati, dan kelancaran suku kata, kiri lobus temporal rendah-posterior dan kiri lobus frontal inferior (daerah Broca, lihat Gambar 2.3) yang diaktifkan. Sebaliknya, daerah aktif di antara mata pelajaran tua yang ditemukan

umumnya lebih kecil atau kadang-kadang tidak aktif, meskipun daerah-daerah tertentu yang tidak aktif di antara kaula muda aktif pada kalangan orang tua.

#### **2.4. NEUROPLASTISITAS**

Neuroplastisitas adalah kapasitas dari neuron dan jaringan neural di otak untuk merubah hubungan dan perilakunya dalam respon terhadap informasi baru, stimulus sensori, perkembangan, kerusakan, atau disfungsi. Walaupun jaringan neural juga menampilkan modularitas dan fungsi yang spesifik, jaringan neural juga mempertahankan kapasitas untuk menyimpang dari fungsi biasa mereka dan mereorganisasinya kembali sendiri. Pada faktanya, selama beberapa tahun, terdapat sebuah pandangan dalam ilmu neurosains yang mengatakan bahwa fungsi tertentu otak telah diatur secara spesifik dalam berbagai lokasi otak dimana setiap hal yang mengakibatkan perubahan maupun regenerasi pada otak merupakan sebuah pengecualian untuk aturan ini. Namun, sejak tahun 1970 hingga 80-an, neuroplastisitas telah mencapai penerimaannya yang luas dalam dunia sains sebagai sebuah property dari otak yang kompleks, beraneka ragam, dan fundamental.

Perubahan yang cepat atau reorganisasi dari sel-sel otak atau jaringan neural dapat terjadi dalam berbagai bentuk dan dalam kondisi-kondisi yang berbeda. Plastisitas perkembangan terjadi saat neuron dalam otak muda secara cepat menumbuhkan cabang-cabangnya dan membentuk sinaps. Kemudian, bersamaan dengan diprosesnya informasi sensori dalam otak, beberapa sinaps ini kemudian diperkuat dan yang lainnya diperlemah. Pada akhirnya, beberapa sinaps yang tidak terpakai kemudian dieliminasi, yang dikenal sebagai *synaptic pruning*, yang meninggalkan sebuah jaringan koneksi neural yang efisien. Bentuk lain dari neuroplastisitas beroperasi dengan mekanisme yang hampir sama tetapi dalam kondisi yang berbeda dan terkadang hanya dalam kondisi yang terbatas. Kondisi-kondisi ini mencakup perubahan pada tubuh yang meliputi hilangnya anggota tubuh atau organ sensorik lainnya, yang akan mengganggu keseimbangan dari aktivitas sensorik yang diterima di otak. Sebagai tambahan, neuroplastisitas dimainkan oleh otak selama penguatan informasi sensori melalui pengalaman, seperti belajar dan memori, dan saat mengompensasi kerusakan fisik pada otak (misalnya stroke).

#### **2.5. TIPE-TIPE NEUROPLASTISITAS CORTICAL**

Perkembangan plastisitas sebagian besar terjadi saat tahun-tahun pertama kehidupan ketika neuron tumbuh dengan sangat cepat dan mengeluarkan banyak cabang yang membentuk banyak hubungan. Faktanya, saat lahir, tiap neuron pada cortex cerebral memiliki sekitar 2.500 sinaps. Saat usia bayi sekitar 2 hingga 3 tahun, jumlah sinaps yang terjadi diperkirakan sekitar 15.000 per neuron. Jumlah ini sekitar dua kali dari rata-rata otak dewasa. Hubungan yang tidak diperkuat oleh stimulasi sensori akan dilemahkan, dan koneksi yang diperkuat akan menjadi lebih kuat. Pada akhirnya, jalur yang efisien dari koneksi neural akan terbentuk. Selama kehidupan seorang manusia atau mamalia lainnya, koneksi neural ini akan diatur sedemikian rupa melalui interaksi organismenya dengan sekelilingnya. Selama awal masa kanak-kanak, yang terkenal sebagai periode kritis dalam masa perkembangan, sistem saraf harus menerima input sensori tertentu supaya dapat berkembang secara baik. Ketika periode kritis tersebut berakhir, akan ada penurunan jumlah dari koneksi yang dipertahankan, dan mereka yang dipertahankan adalah yang telah diperkuat oleh pengalaman sensori yang layak. Proses *pruning back* yang besar ini seringkali terjadi saat memasuki usia remaja.

Jordan Grafman telah mengidentifikasi 4 tipe neuroplastisitas, yang dikenal sebagai *homologous area adaptation*, *compensatory masquerade*, *cross-modal reassignment*, dan *map expansion*.

### **Homologous Area Adaptation**

Homologous Area Adaptation terjadi selama awal periode kritis perkembangan. Jika sebuah bagian otak mengalami kerusakan pada awal kehidupan, otak memiliki kemampuan untuk menggantinya dengan area otak yang tidak termasuk dalam bagian yang rusak tersebut dalam proses perkembangannya. Fungsi yang seringkali dijadikan pengganti adalah bagian yang memiliki kemiripan atau homolog, area dari hemisfer otak yang berlawanan. Sisi buruk dari bentuk neuroplastisitas ini adalah pada akhirnya, fungsi otak yang harusnya disimpan secara normal di bagian otak tertentu harus dicarikan ruang baru untuk menyimpan fungsi baru tertentu. Sebagai contoh dari hal ini adalah ketika lobus parietal kanan mengalami kerusakan pada awal kehidupan pertama dan lobus parietal kiri mengambil alih fungsi visuospasial sebagai ganti gangguan fungsi arimatika. Waktu juga merupakan sebuah faktor pada proses ini, sebagaimana yang kita ketahui

bahwa anak belajar untuk memahami ruang visospasial terlebih dahulu sebelum dia mempelajari arimatika.

### **Compensatory masquerade**

Tipe kedua dari neuroplastisitas dapat dijelaskan secara sederhana sebagai otak yang mendapatkan strategi alternative untuk menjalankan sebuah tugas ketika strategi umumnya tidak dapat diikuti karena terdapat gangguan. Sebagai contoh adalah ketika seseorang mencoba untuk pergi dari satu lokasi ke lokasi lain. Kebanyakan orang, akan mencoba untuk mengetahui arah dan jarak yang akan mereka lalui melalui navigasi. Namun, seseorang yang menderita dari beberapa bentuk trauma otak dan gangguan sensorik spasial akan mencoba untuk strategi lain dari navigasi spasial, seperti misalnya mengingat *landmark*-nya. Perubahan yang hanya terjadi pada otak adalah reorganisasi dari jaringan neuronal yang sudah ada.

### **Cross-modal Reassignment**

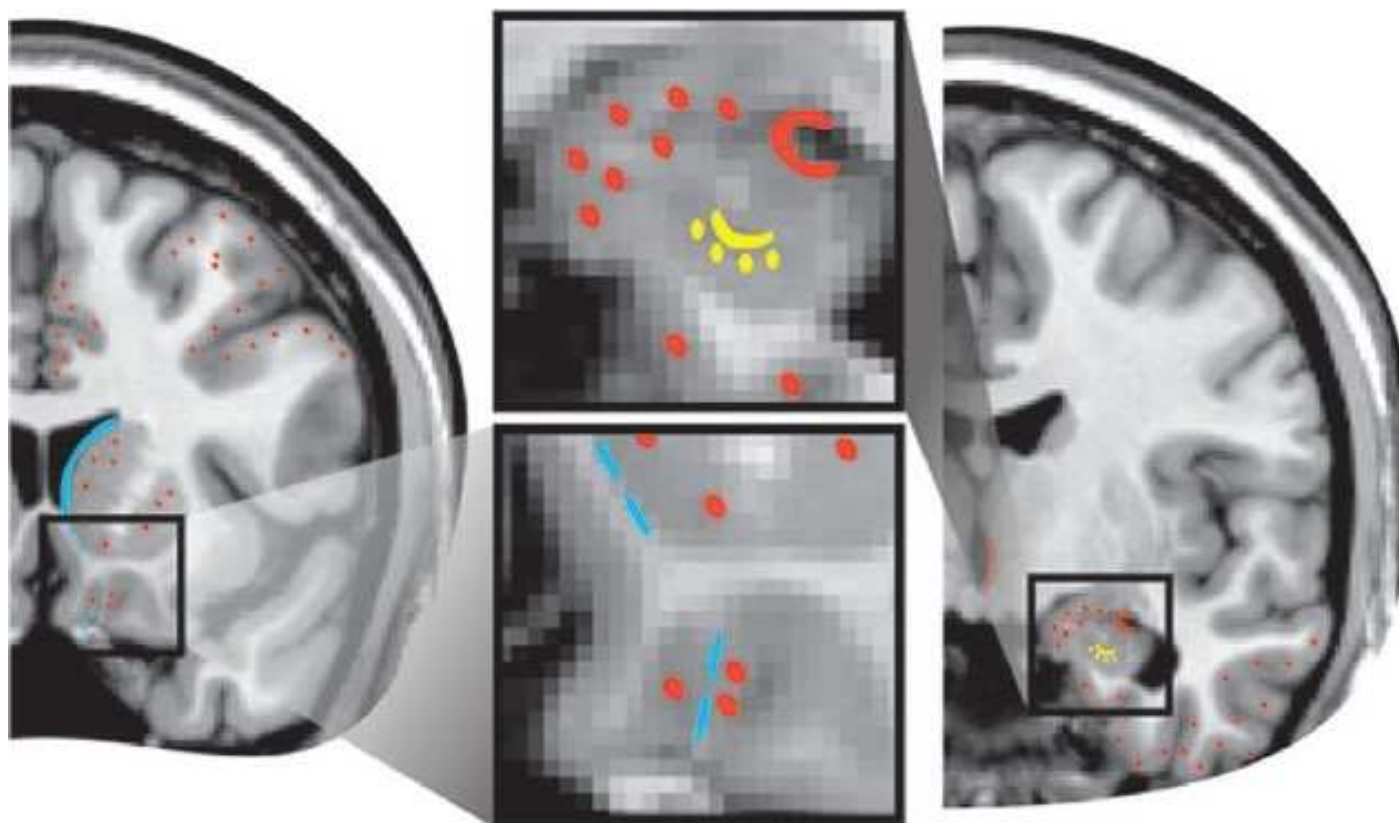
Bentuk ketiga dari neuroplastisitas, memerlukan pengenalan dari input baru ke area otak sebagai turunan dari input utamanya. Sebagai contoh adalah kemampuan seorang dewasa yang telah buta sejak lahir untuk menjadikan sentuhan, ataupun input somatosensori langsung ke korteks visual pada lobus oksipital di otak, pada area spesifik yang dikenal sebagai area V1. Namun, orang-orang yang dapat melihat tidak memperlihatkan aktivitas V1 sama sekali ketika diperkenalkan dengan pengalaman sentuhan yang sama. Kejadian ini terjadi karena neuron berkomunikasi satu dengan yang lain dalam sebuah kerangka yang sama “bahasa” dari impuls elektrokimia tanpa memperhatikan modalitas sensori. Selebihnya, seluruh korteks sensori dari otak—visual, auditori, olfaktori (membau), gustatory (rasa), dan somatosensori—memiliki 6 lapis struktur proses yang mirip. Oleh karenanya, korteks visual pada orang buta masih dapat menampilkan fungsi kognitif dari membentuk representasi dari dunia fisik walaupun dengan bermodalkan input dari sistem sensori lainnya—yaitu sentuhan.

### **Map expansion**

Map expansion, tipe keempat dari neuroplastisitas, memerlukan fleksibilitas dari region lokal otak yang didekasikan untuk melaksanakan satu tipe fungsi atau menyimpan bentuk informasi tertentu. Susunan dari region lokal ini pada korteks serebral dikenal sebagai sebuah peta. Ketika satu fungsi ditampilkan cukup sering melalui kebiasaan ataupun stimulus yang diulang, region dari peta kortikal ini akan didekasikan untuk pertumbuhan dan penyusutan fungsi ini sebagai suatu latihan individual dari fungsi ini. Fenomena ini biasanya mengambil alih dalam proses belajar dan berlatih kemampuan tertentu, seperti memainkan instrument music.

## **2.6. PROSES NEUROPLASTIK**

Berbagai proses dan mekanisme yang meliputi pembentukan neuron baru dan sel glia (neurogenesis), pembentukan hubungan baru maupun modifikasi hubungan lama (sebagai contoh pembentukan dan eliminasi sinaps, remodeling dendritik, axonal sprouting, dan pruning) dikenal sebagai proses neuroplastik. Proses neurogenesis pada usia dewasa diketahui terjadi pada dua tempat. Neuron yang lahir pada zona subventrikular (SVZ) di dekat caudate bergabung ke dalam bulbus olfaktori, sementara neuron yang lahir pada zona subgranular pada girus dentate bergabung ke hipokampus (Gambar 2.5). Walaupun masih merupakan sebuah kontroversi, terdapat bukti adanya generasi dari neuron baru pada region ventricular lainnya yang bergabung ke area kortikal dan subkortikal. Faktor-faktor pertumbuhan (sebagai contoh *brain-derived neurotrophic factor* [BDNF], *vascular endothelial growth factor* [VEGF], *insulin-like growth factor* [IGF]) memainkan peranan yang penting dalam meregulasi proses neurogenik dengan cara meningkatkan jumlah sel yang lahir dan memicu maturasi dan kelangsungan hidupnya. Sel glia dipercaya memiliki peran penting dalam proses ini, secara langsung maupun tidak langsung, dalam mendukung dan meregulasi perkembangan neuron baru.



**Gambar 2.5.** Proses neurogenesis yang terjadi di usia dewasa pada manusia. Neuron yang lahir pada zona subventrikular di dekat caudate (area biru padat) bermigrasi secara ventral, dan kemudian rostral (garis putus-putus biru), untuk bergabung ke bulbus olfaktorius. Neuron yang lahir pada zona subgranular dari girus dentate (area kuning padat) bergabung ke girus dentate (titik kuning). Walaupun masih kontroversi, terdapat bukti adanya pembentukan neuron baru pada region ventricular lain (area jingga padat) dan bergabungnya neuron baru pada bagian kortikal dan subkortikal lainnya (titik jingga).

Berbagai faktor yang memodulasi neuroplastisitas telah ditemukan pada studi penelitian di hewan, meliputi faktor internal dan eksternal. Faktor-faktor yang berhubungan dengan peningkatan neurogenesis meliputi kesuburan alam, latihan, proses belajar, *electroconvulsive shock*, dan administrasi kronik dari antidepresan dan medikasi psikotropik lainnya. Neurogenesis reaktif (meningkat setelah jejas) juga telah dilaporkan. Stress kronik, depresi, dan penyakit telah dihubungkan dengan *suppressed neurogenesis*.

### **BAB III**

### **KESIMPULAN**

Hingga beberapa waktu lalu, otak manusia dewasa dianggap sebagai suatu struktur yang kaku dan stabil hingga ditemukannya neurogenesis pada otak beberapa waktu yang lalu. Namun, faktanya otak ternyata mengalami perubahan yang berkelanjutan sepanjang masa hidup dan hal ini merupakan salah satu penemuan terpenting dalam ilmu neurosains modern. Perubahan yang terjadi di otak ini dikenal dalam sebuah istilah umum sebagai neuroplastisitas.

Otak pada dasarnya tersusun atas sel neuron dan sel glia. Otak sendiri memiliki 2 hemisfer yang dihubungkan oleh corpus callosum di mana masing-masing hemisfer terbagi menjadi beberapa lobus dengan bagian-bagian lokalisasi fungsional. Otak memiliki kemampuan untuk tetap fleksibel, waspada, responsif dan berorientasi solusi adalah karena kemampuannya untuk mengalami plastisitas seumur hidup. Namun, periode perkembangan otak dan kemampuan plastisitasnya juga memiliki periode sensitif masing-masing. Dengan ditemukannya konsep neuroplastisitas, maka diharapkan akan terbuka petunjuk dan penemuan baru mengenai pemahaman beberapa penyakit, terutama mengenai sistem saraf pusat.