

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Memori dan Cara Kerjanya

Memori (daya ingat) merupakan kemampuan individu untuk menyimpan informasi, informasi tersebut dapat dipanggil kembali untuk dapat dipergunakan beberapa waktu kemudian.^{6,7}

Memori merupakan unsur inti dari perkembangan kognitif, sebab segala bentuk belajar dari individu melibatkan memori. Memori pada suatu individu dimungkinkan untuk dapat menyimpan informasi yang ia terima sepanjang waktu, sehingga tanpa memori, individu mustahil dapat merefleksikan pribadinya sendiri, karena pemahaman diri sangat tergantung pada suatu kesadaran yang berkesinambungan dan terintegrasi antara semua bagian otak, hal itu hanya dapat terlaksana dengan adanya memori.^{8,6}

Proses ingat dan lupa (*remembering and forgetting*) saling berkesinambungan dengan proses belajar dan mengingat (*learning and memory*). Orang yang dapat mengingat dengan baik umumnya mempunyai kemampuan belajar yang baik pula.⁹

Memori merupakan bagian dari fungsi kognitif. Fungsi kognitif meliputi beberapa fungsi antara lain⁷:

1. Fungsi reseptif, yang melibatkan kemampuan untuk mendapatkan Informasi.
2. Fungsi memori dan belajar, di mana informasi yang didapat, disimpan dan dapat dipanggil kembali.

3. Fungsi berpikir, yaitu cara mengorganisasi dan mereorganisasi informasi.
4. Fungsi ekspresif, yaitu informasi yang diperoleh kemudian diinformasikan dan digunakan.

Dalam *behaviour neurology*, ilmu hubungan antara struktur otak dan perilaku manusia terdapat konsep lain yang mencakup lima domain kognitif yaitu:

1. *Attention* (perhatian)
2. *Language* (bahasa)
3. *Memory* (daya ingat)
4. *Visuospatial* (pengenalan ruang)
5. *Executive function* (fungsi eksekutif: fungsi perencanaan, pengorganisasian dan pelaksanaan)

Terdapat tiga perbedaan tentang memori, yang pertama mengenai tahapan memori: *encoding*, *storage* dan *memori*. Perbedaan kedua adalah tentang perbedaan penyimpanan memori dalam periode jangka pendek atau jangka panjang. Perbedaan yang ketiga adalah tentang perbedaan antara memori yang dipergunakan untuk menyimpan berbagai informasi (Contoh: satu sistem untuk fakta dan yang lain untuk *skills*). Ketiga hal tersebut akan dijabarkan dibawah ini.

Seseorang yang ingin mengingat informasi yang diterimanya harus melalui tiga tahap proses mengingat, yaitu :

1. Belajar (*learning*) sebagai tahap pertama proses mengingat berupa *encoding*, penyandian atau mencatat informasi.

2. Retensi (*retention*) sebagai tahap kedua proses mengingat untuk menyimpan informasi (*storage*) yang telah diperoleh.
3. Retrieval (*retrieval*) sebagai tahap ketiga proses mengingat untuk mencari kembali informasi yang telah disimpan (*decoding*). Hipokampus dan perihial *cortex* mempunyai peran penting dalam proses pengingatan informasi yang telah disimpan.¹⁰

Secara psikologis model penyimpanan memori berkaitan dengan rentang waktu memori yang dapat dipertahankan dan terbagi dalam 3 golongan ⁷ :

1. Memori sensori (*sensory memory*)
2. Memori jangka pendek (*short term memory*, STM)
3. Memori jangka panjang (*long term memory*, LTM)

Tiga tahapan memori yaitu pertama disaat merubah fisik input (contoh: gelombang suara atau gelombang cahaya) menjadi suatu jenis kode atau representasi yang bisa diterima oleh memori dan ditempatkan ke memori. Tahapan kedua adalah ketika informasi tersebut disimpan ke memori yaitu tahap penyimpanan. Tahap yang terakhir adalah ketika informasi tersebut dapat teringat kembali, tahap tersebut disebut dengan mendapatkan kembali (*retrieval*).

Pada penelitian terdapat penemuan bahwa ketika disaat merubah input fisik menjadi jenis kode, bagian otak yang paling aktif adalah hemisfer kiri, sedangkan tahap pengambilan kembali suatu informasi yang disimpan (*retrieval*), bagian otak yang paling aktif adalah hemisfer kanan¹¹ .

Terdapat tiga tahapan memori yang beroperasi secara berbeda pada situasi tertentu. Proses memori mengalami perbedaan tergantung situasi yang dibutuhkan yaitu dalam penyimpanan material

1. Untuk kurang dari sedetik
2. Untuk beberapa detik
3. Untuk jangka waktu yang lama yaitu dari menit ke tahun.

Terdapat teori Atkinson-Shiffrin yaitu perbedaan yang mendasar terhadap koresponden memori terhadap interval waktu yaitu:

1. Informasi yang didapat akan disimpan dalam penyimpanan sensor, yang mempunyai karakteristik yang pertama adalah penyimpanan sensor yang mempunyai kapasitas besar dan transient, yang berarti disimpan ke dalam bentuk sensori visual dan juga ke sensori auditorik. Dan yang terakhir informasi disimpan di memori jangka pendek.
2. Memori jangka pendek mempunyai karakteristik sebagai berikut
 - 1) Bisa diidentifikasi sebagai kesadaran (*consciousness*); informasi pada memori jangka pendek adalah informasi yang disadari.
 - 2) Informasi pada memori jangka pendek cepat di akses, sehingga menjadi dasar dalam mengambil keputusan atau melakukan kegiatan yang cepat.
 - 3) Memori jangka pendek hilang dalam waktu 20 detik.
 - 4) Kehilangan informasi dapat dicegah jika ada pengulangan.¹²
 - 5) Informasi yang jika diulang akan menjadi memori jangka panjang.

2.1.1. Bagian Otak yang berfungsi untuk pembentukan memori

Area utama pada otak yang penting untuk terbentuknya memori adalah:

- 1) Temporal
- 2) Diencephalon
- 3) *Mamillary bodies*
- 4) Sistem limbik

Neurotransmitter utama yang penting untuk menyampaikan impuls memori adalah :

- 1) Asetilkolin: *Nucleus basalis of Meynert*
- 2) Glutamat: NMDA (*N-methyl-D-aspartate*) *receptor*

2.1.1.1. Korteks Serebri

Bagian dari Serebri yang berfungsi adalah lapisan neuron yang melapisi serebri. Tipe struktur histologi neuron pada permukaan serebri adalah: ¹³

- 1) Granuler (Stelatta)

Berfungsi untuk mentransmisikan sinyal untuk jarak pendek. Area sensorik pada Serebri banyak terdiri dari granuler.

- 2) Fusiform

Berfungsi sebagai *output*, atau hubungan dengan area serebri lain dikarenakan jaras yang panjang.

- 3) *Pyramidal*

Berfungsi mirip seperti fusiform, yaitu sebagai *output* yang berhubungan dengan area serebri lain.

Untuk mengolah suatu informasi menjadi suatu memori, serebri melakukan suatu integrasi antara area korteks. Daerah sensori primer meliputi sensasi spesifik seperti visual, auditorik, dan somatik. Untuk daerah sensori

sekunder berfungsi sebagai pengolah data atau sebagai interpretasi yang didapat dari sensori primer.

2.1.1.2. Area Asosiasi

Area asosiasi merupakan area yang menerima dan menganalisa sinyal secara berulang dari kumpulan area motorik, sensorik dan juga subkortex. Area asosiasi yang penting adalah :

1. Area asosiasi *parieto-occipitotemporal*

- 1) Analisis koordinasi spasial pada tubuh
- 2) Area komprehensi bahasa
- 3) Area untuk proses bahasa visual
- 4) Area untuk penamaan obyek

2. Area asosiasi prefrontal

Yaitu untuk mengolah informasi dan mengerjakan gerakan motorik kompleks. Area korteks prefrontal menerima informasi pre-analisis, terutama dari koordinasi spasial yang penting untuk gerakan efektif. Area ini juga penting sebagai tempat untuk mengelaborasi kumpulan pikiran yang baru masuk ke serebri yang nantinya akan menjadi memori jangka pendek.

3. Area asosiasi limbik

Yaitu area yang penting untuk tingkah laku, emosi dan motivasi.

2.1.2. Memori secara Fisiologi dan Biokimia

Secara fisiologi, memori disimpan di otak dengan mengubah sensitivitas dari transmisi antarsinaps neuron sehingga menghasilkan aktivitas neural. Transmisi yang terfasilitasi ini dinamakan *Memory traces*. Transmisi ini penting karena jika berhasil di-*establish*, *traces* ini bisa diaktifkan oleh otak yang memproduksi memori. Eksperimen pada binatang menunjukkan bahwa *memory traces* bisa berubah karena pengaktifan yang berulang.¹⁴

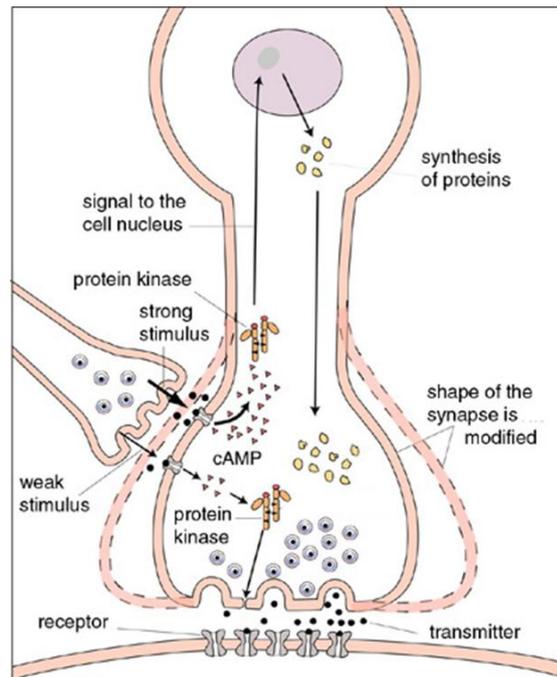
Memori terbagi menjadi positif dan negatif, walaupun banyak orang berpikir bahwa memori merupakan kumpulan dari informasi yang didapat sebelumnya, namun memori juga banyak dari negatif memori yaitu ketika otak menolak untuk menerima informasi. Penolakan informasi terjadi karena inhibisi dari jalan sinaps karena penerimaan informasi yang berlebihan. Memori positif ketika informasi yang didapatkan tersimpan di *memory traces*.

Sudah terdapat penelitian mekanisme molekular pada memori tetapi khususnya pada memori *Intermediate* yang bisa menjadi dasar cara kerja memori pada umumnya yaitu:¹³

1. Stimulasi pada terminal presinaps, yang pada saat bersamaan membuat terminal sensori terstimulasi sehingga membuat serotonin keluar.
2. Serotonin berkerja pada reseptor serotonin pada membran terminal, reseptor akan mengaktifasi enzim *adenyl cyclase* pada membran. Pada akhirnya *adenyl cyclase* membentuk *cAMP* yang juga ada pada terminal sinaps sensorik.

3. *cAMP* akan mengaktifkan protein kinase yang menyebabkan fosforilasi pada protein yang merupakan bagian dari *potassium channel* pada membran sinaps terminal sensori, hal ini menyebabkan hambatan pada K^+ .
4. Kekurangan konduksi pada potassium menyebabkan aksi potensial dengan durasi panjang di sinaps terminal sensori karena pengeluaran potassium penting untuk pemulihan aksi potensial.
5. Durasi aksi potensial yang lama menyebabkan aktivasi kanal kalsium yang lama, sehingga kalsium dapat masuk ke sinaps sensori terminal. Ion kalsium menyebabkan peningkatan pelepasan transmitter sehingga memfasilitasi peningkatan sensitivitas eksitatori pada terminal sensorik dan membentuk *memory trace* .

Memori secara biokimia seperti diatas, didapatkan pada penelitian pada siput laut *Aplysia*, yang menunjukkan pengaruh stimulus yang ringan dan kuat akan mempengaruhi pembentukan memori yang bertahan pada beberapa menit atau jam.¹⁵



Gambar 1. Perubahan biomolekuler pada siput laut, *Aplysia* yang menunjukkan pembentukan memori jangka panjang dan memori jangka pendek. Sumber: Paul Greengard¹⁶

2.1.3. Memori jangka pendek

Memori jangka pendek atau yang sekarang disebut dengan memori kerja (*working memory*) menurut Atkinson dan Shiffrin adalah informasi yang akan di transfer dari memori sensorik ke penyimpanan memori selanjutnya. Seperti yang sudah dijelaskan ,memori mempunyai tiga tahapan yaitu *encoding*, *storage* dan *retrieval*.⁷

1. *Encoding*

Untuk menulis informasi dalam kode lalu disimpan ke memori kerja, individu akan selektif dengan apa yang ingin diingat. Jika individu tersebut tidak memperhatikan informasi tersebut maka informasi tidak dapat diingat kembali bukan karena kegagalan fungsi memori tapi karena atensi individu tersebut.

1) *Phonological coding*

Ketika informasi di bentuk menjadi suatu kode, kode tersebut akan masuk dalam bentuk kode tertentu. Bentuk phonological sendiri berarti bentuk suara/nama informasi tersebut.

2) *Visual coding*

Ketika informasi dibentuk menjadi suatu kode, dan kode itu dalam bentuk gambar. Sering disebut dengan memori fotografis.

Konsep memori jangka pendek adalah satu sistem untuk menyimpan data dan menyimpan data tersebut dalam bentuk akustik (*phonological loop*). Informasi tersebut bisa hilang atau bisa tersimpan tergantung pengulangannya. Bentuk sistem yang lain yaitu *visual-spasial sketchpad* yaitu seperti ingatan fotografis yang mengingat bentuk dari informasi tersebut.

2. *Storage*

Hal yang khas pada memori jangka pendek adalah kapasitasnya yang terbatas. Untuk bentuk akustik, kapasitas terbatas hingga 7 ± 2 *item*. Beberapa orang bisa menyimpan hingga 5 sampai 9 *item*, tetapi memang janggal untuk menyebutkan angka pasti untuk kapasitas memori jangka pendek namun hal itu dipengaruhi oleh memori jangka panjang. Memori sendiri mempunyai kapasitas terbanyak yang disebut sebagai *Memory span*.

Memori jangka pendek merupakan penyimpanan sementara peristiwa atau item yang diterima dalam waktu sekejap, yakni kurang dari beberapa menit, biasanya malah lebih pendek (beberapa detik). Memori jangka pendek tidak permanen, penyimpanannya akan terhapus dalam waktu pendek, kecuali kalau diupayakan secara khusus, seperti diulang terus menerus.⁷

3. *Retrieval*

Penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak item yang disimpan, semakin lama data yang disimpan untuk diingat kembali. Memori jangka pendek dicirikan oleh ingatan mengenai 5 sampai 10 item (7 ± 2 item) selama beberapa detik sampai beberapa menit. Dalam kepustakaan lain disebutkan bahwa memori jangka pendek menyimpan informasi selama 15 hingga 30 detik, dengan asumsi tidak ada latihan atau pengulangan. Memori jangka pendek menyimpan informasi selama 15 hingga 30 detik, dengan asumsi tidak ada latihan atau pengulangan. Memori jangka pendek selain memiliki dua fungsi penting yaitu menyimpan material yang diperlukan untuk periode waktu yang pendek dan berperan sebagai ruang kerja untuk perhitungan mental, kemungkinan fungsi lain adalah bahwa memori jangka pendek merupakan stasiun perhentian ke memori jangka panjang. Artinya, informasi mungkin berada di memori jangka pendek sementara ia sedang disandikan menjadi memori jangka panjang. Salah satu teori yang membahas transfer dari memori jangka pendek menjadi memori jangka panjang dinamakan dual memory model. Model ini berpendapat bahwa jika informasi memasuki memori jangka pendek, ia dapat dipertahankan dengan pengulangan atau hilang karena penggeseran atau peluruhan.¹⁷

2.2. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Memori Jangka Pendek

2.2.1. Umur

Umur merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitas memori. Hal ini dibuktikan bahwa hasil penelitian antara umur 20-70 menunjukkan

penurunan angka pada kapasitas memori. Plastisitas otak juga berpengaruh seiring dengan bertambahnya umur.^{18,19}

2.2.2. Genetik

Varian genetik berpengaruh dalam kemampuan intelektual dan juga mempengaruhi kognitif manusia salah satunya adalah memori. Tabel 1 menunjukkan beberapa penyakit genetik yang mempengaruhi kognitif sehingga menyebabkan suatu gangguan. Terdapat penelitian pada National institutes of Health (NIH) bahwa pasien dengan gen “met” BDNF mempunyai nilai yang lebih buruk pada tes memori episodik. “met” BDNF merupakan sekuens asam amino metionin pada lokasi di mana umumnya merupakan lokasi valine pada manusia. Hal ini menunjukkan bahwa gen sangat berpengaruh terutama pada bidang biomolekuler.

Tabel 2. Penyakit genetik yang mempengaruhi kognitif. Sumber: Puji Leksono Putranto⁶

Kategori	Penyakit	Abnormalitas	Lokasi	Produk gen	Fungsi
Demensia	Huntington	Gen tunggal	4p	Huntington	Tidak diketahui
	Alzheimer	Gen tunggal	21q	Protein prekursor amiloid	Komponen amiloid
	Alzheimer	Gen tunggal	14q	Presenilin 1	<i>App trafficking</i>
	Alzheimer	Gen tunggal	1q	Presenilin 2	<i>App trafficking</i>
	Pick	Mutasi gen tunggal	17q	Tau	Protein mikrotubulus
MR non spesifik	XLMR	Gen tunggal	Xq	GD II	Sinyal Rho GTPase
	XLMR	Gen tunggal	Xq	PAK 3	Sinyal Rho GTPase
	XLMR	Gen tunggal	Xq	Oligophrenin	Sinyal Rho GTPase

Kategori	Penyakit	Abnormalitas	Lokasi	Produk gen	Fungsi
	XLMR	Gen tunggal	Xq	FMR 2	Tidak diketahui
MR sindromik (mutasi dalam gen tunggal)	Fragile X	Mutasi gen tunggal	Xq	FMR 1	Tidak diketahui
MR sindromik (anesomi segmental)	Rubenstein- Taybi	Mutasi gen tunggal	16p	CBP	Koaktivator transkripsi

XLMR= X-linked mental retardation

2.2.3. Nutrisi

Nutrisi merupakan sumber energi dasar tubuh yang perlu dicukupi agar dapat melakukan aktivitas secara optimum. Diperkirakan 10% dari total seng berada di otak dan berada pada neuron di hipokampus yaitu menempati lumen vesikel sinaps berisi glutamat, sehingga telah diteliti bahwa defisiensi seng akan menyebabkan gangguan penghantaran impuls sehingga terjadi gangguan memori. Anemia merupakan contoh defisiensi besi yang dapat menyebabkan menurunnya kemampuan belajar dan meningkatkan risiko infeksi.^{20,21}

Penelitian juga menunjukkan bahwa Hb mempengaruhi performa tes kognitif pada anak.²²

2.2.4. Hormon

Hormon dapat mempengaruhi kognitif terutama memori, menurut penelitian, hormon seperti estrogen pada wanita menopause dapat mempengaruhi kognisi. Hormon kortikosteroid seperti hormon adrenal juga mempengaruhi

plastisitas hipokampus yang akan mempengaruhi memori, hormon tiroid, T3 dan T4 mempengaruhi tingkah laku, intelegensi dan perkembangan neuron. Kekurangan asupan iodine saat kehamilan dan perkembangan janin dapat menyebabkan retardasi mental dan kretinisme dan dapat mempengaruhi perkembangan kognitif hingga dewasa. Penelitian juga menunjukkan bahwa *Sodium-potassium adenosine 5'-triphosphatase* (Na^+, K^+ -ATPase) mungkin mempunyai peran pada pembentukan memori.^{23,24,25,26}

2.2.5. Stimulasi

Stimulasi akan mempengaruhi fungsi kognitif atau meningkatkan potensi yang ada pada manusia, sehingga pada masa perkembangan diperlukan rangsangan/stimulasi yang berguna yang juga penting untuk perkembangan memori. Dengan stimulasi maka akan terbentuk koneksi yang membuar korteks lebih tebal serta peningkatan volum sel. Pada penelitian tikus juga menunjukkan bahwa stimulasi yang diberikan pada umur berapapun dapat secara bermakna memperbaiki fungsi memori pada saat tua nanti pun.^{27,28}

2.2.6. Infeksi

Infeksi dapat mempengaruhi memori akibat dari kehilangan nutrisi, imunitas tubuh yang menurun sehingga mengganggu performa kognitif sehingga tubuh akan menjadi lemah dan apatis akan penerimaan stimulasi. Sama seperti nutrisi, Hb dan defisiensi besi pun dapat diakibatkan karena infeksi.²⁰

2.2.7. Brain Injury

Trauma pada kepala , penyakit cerebrovaskuler, infeksi sistem saraf pusat, gangguan metabolik, alkohol, dan intoksikasi logam dapat menyebabkan kerusakan otak terutama kognitif.

2.2.8. Stress

Stress mempengaruhi memori jangka pendek pada remaja. Namun penelitian menunjukkan bahwa pada lanjut usia, stress tidak begitu signifikan dalam mempengaruhi memori. Situasi stress merupakan situasi yang dirasakan sebagai sesuatu yang mengancam kesehatan fisik atau psikologinya, sehingga situasi stress dapat mengakibatkan gangguan kognitif, sulit berkonsentrasi dan mengorganisasi pikiran secara logis. Pada penelitian bintang ditemukan bahwa stress berulang dapat menyebabkan atrofi dendrit, menekan neurogenesis hippocampus dan mengganggu *spatial learning* dan memori.^{29,30,31}

2.2.9. Epilepsi

Epilepsi merupakan salah satu penyakit yang dapat mengganggu memori. Hal ini akibat beberapa faktor yaitu tumor, aktivitas elektrik otak yang tidak semestinya dan bangkitan kejang sehingga dapat mempengaruhi atensi serta kecepatan otak dalam menerima informasi.

2.2.10. Pengolahan Informasi

1) Jenis informasi

Otak akan memilih memori positif atau memori negatif. Memori yang positif akan tersimpan dan selanjutnya diolah menjadi memori *intermediate*, sedangkan memori negatif ketika otak menolak untuk menerima informasi

tersebut. Tiga faktor yang memberi label bahwa memori tersebut positif dan negatif adalah:

1) Informasi untuk keselamatan hidup

Informasi yang penting untuk keselamatan hidup dan akan segera disimpan di memori jangka panjang sehingga daya ingat akan sangat tinggi.

2) Informasi yang membangkitkan emosi

Informasi yang mempunyai muatan emosi semakin kuat maka kemungkinan terekam di memori akan semakin tinggi.

3) Informasi yang masuk akal dan mempunyai arti

Informasi yang mempunyai relevansi dengan pengalaman personal atau pengalaman sebelumnya.³²

2) Penggunaan teknik memori

Teknik memori merupakan teknik memasukan informasi ke dalam otak yang sesuai cara kerja otak. Hal yang disukai otak adalah: ekstrim berlebihan, penuh warna, multi sensori, humor, melibatkan emosi, irama/musik, tindakan aktif, gambar tiga dimensi, menggunakan asosiasi, imajinasi, simbol, nomor/urutan dan seksual.

3) Perhatian, Fokus dan Konsentrasi

Banyak penelitian dan buku mengungkapkan bahwa atensi, fokus dan konsentrasi merupakan hal yang tidak dapat terpisahkan dari memori. Agar suatu informasi dapat diterima oleh manusia maka manusia tersebut harus sadar/ atensi terhadap informasi yang akan diterimanya. Untuk memeriksa kapasitas perhatian

maka digunakan *picture completion test* yang termasuk dalam WISC-R dan *picture search test* untuk mengukur kapasitas perhatian yang terfokus.¹⁰

2.2.11. Jenis Kelamin

Jenis kelamin merupakan faktor yang berpengaruh akibat dari perbedaan hormon pada jenis kelamin. Hal ini juga dipengaruhi oleh tingkah laku dan penelitian terkini menemukan bahwa *calcium/calmodulin kinase* mempunyai fungsi spesifik pada tikus jantan dalam fungsinya sebagai pembentukan memori pada *hipokampus*.³³

2.3. Pengaruh Olahraga Aerob terhadap Otak

Aktivitas fisik aerob merupakan aktivitas fisik yang mempunyai 4 dasar komponen:

1. Tipe Aktivitas Fisik

Contoh jenis aktivitas fisik aerob adalah:

- 1) *Jogging*
- 2) Lari
- 3) Bersepeda
- 4) Berenang
- 5) Senam aerob
- 6) Mendayung

2. Durasi dari aktivitas fisik

Durasi pada aktivitas fisik aerob adalah durasi yang pendek, durasi yang lama dengan intensitas tinggi atau intensitas rendah tetapi frekuensi dan intensitas latihan tercapai. Minimal durasi latihan yang harus dicapai

adalah 20-30 menit persesi. Rata-rata aktivitas aerob adalah hingga 60 menit.³⁴

3. Frekuensi aktivitas fisik

Frekuensi latihan yang ideal adalah satu minggu dengan tiga kali latihan. Dan latihan dapat menunjukkan suatu efek jika sudah rutin melakukan latihan minimal 2 bulan.³⁴

4. Intensitas dari aktivitas fisik

Intensitas aktivitas fisik aerob yaitu di antara 65-85% dari denyut jantung maksimal. Denyut jantung maksimal didapatkan dari rumus :

$$220 - \text{Usia.}^{35}$$

Aktivitas fisik aerob merupakan stimulus yang kuat untuk meningkatkan perubahan struktur pada otak yaitu pada korteks, sinaps dan densitas otak, kompleksitas dendrit, jumlah dan ukuran glia, vaskuler dan neurogenesis. Banyak penelitian menyatakan bahwa latihan aerob mempengaruhi struktur otak.^{14,1,28,36}

Berikut struktur otak yang mengalami perubahan akibat stimulus:

aktivitas aerob diawali dengan metabolisme anaerob lalu dengan durasi serebelum dan korteks motorik. Pada percobaan dengan tikus, terdapat peningkatan sinaps sel purkinje dan vaskularisasi setelah 30 hari tikus melakukan aktivitas aerob.¹³

1) Hipokampus

Penelitian menunjukkan bahwa aktivitas fisik aerob mempunyai peranan penting dalam peningkatan volum hipokampus dan hipokampus sendiri penting pada pengolahan informasi untuk memori.³⁶

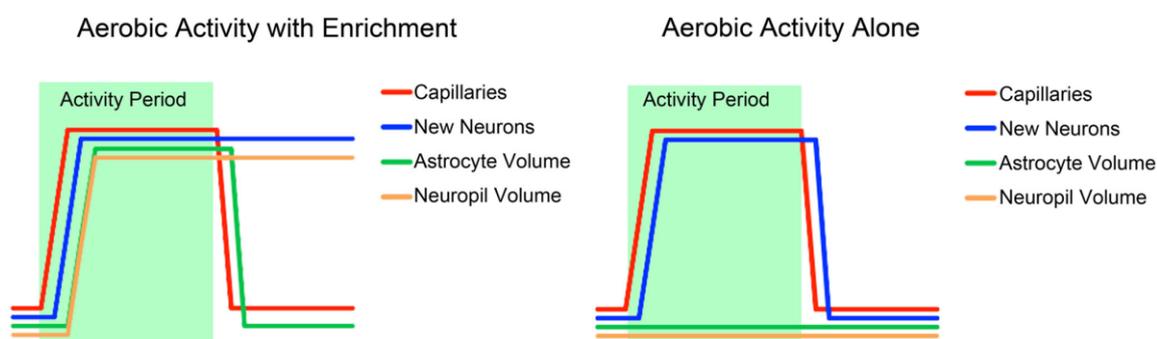
2) *Gray Matter*

Perubahan struktur pada *gray matter* mengalami perubahan namun tidak spesifik pada sel tertentu. Perubahan tersebut pada kisaran 1-8%, namun susah untuk diketahui bagian sel manakah dari *gray matter* yang mengalami peningkatan volume.³⁷

3) Vaskularisasi

Terdapat angiogenesis sebagai respon tubuh dari latihan yang rutin dan juga peningkatan jumlah kapiler dan densitas kapiler. Reaksi biokimia dari BDNF dan VEGF merupakan komponen yang penting pada hubungan dengan neuron lain dan angiogenesis.

22,1,38



Gambar 2. Pengaruh waktu dan komponen-komponen yang berbeda berkaitan dengan lingkungan terhadap struktur otak. Sumber: Black J.²⁷

Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) merupakan faktor neurotrofik yang ditemukan di otak dan di perifer seperti retina, motor neuron, ginjal, prostat dan lain-lain yang mempunyai aktivitas pada neuron-neuron pada sistem saraf pusat dan perifer untuk membantu *survival* neuron dan meningkatkan pertumbuhan dan

diferensiasi neuron dan sinaps baru. BDNF merupakan neutropeptin yang membantu stimulasi dan mengontrol neurogenesis paling aktif pada hipokampus.³⁹

Lari akan menstimulasi peningkatan reseptor BDNF, sinapsin I, *growth-associated protein 43* (GAP-43) serta *cyclic AMP response element-binding protein* (CREB). Sinapsin I merupakan fosfoprotein spesifik terminal saraf dan berperan dalam pengeluaran neurotransmitter, pemanjangan akson dan pemeliharaan kontak sinaptik. BDNF sendiri akan mempengaruhi pembentukan fosforilasi sinapsin I. GAP-43 punya peran penting dalam pertumbuhan akson. CREB merupakan regulator penting yang diinduksi oleh BDNF dengan cara difosforilasi oleh BDNF pada regulasi transkripsi.³⁹

Studi pada tikus ditemukan bahwa regulasi yang paling terlihat meningkat akibat aktivitas fisik adalah fosfoprotein terminal saraf (synapsin I, synaptotagmin and syntaxin); *signal transduction pathways* (Ca^{2+} /calmodulin-dependent protein kinase II, CaM-KII; mitogen-activated/extracellular signal-regulated protein kinase, MAP-K/ERK I dan II; *protein kinase C*, PKC-delta) atau pengatur regulasi transkripsi (*cyclic AMP response element binding protein*, CREB). BDNF merupakan faktor yang konsisten meningkat selama olahraga sehingga mempengaruhi seluruh regulasi yang dipengaruhi oleh BDNF tersebut.³⁹

2.3.1. Metabolisme Aerob

Metabolisme aerob yaitu penggunaan oksigen untuk mendapatkan energi untuk performa pada aktivitas ketahanan (*endurance activity*). Metabolisme aerob sendiri adalah penggunaan oksigen untuk metabolisme makanan. Produk dari metabolisme aerob sendiri adalah energi, CO₂, dan H₂O. Energi digunakan untuk

mendukung fungsi kerja tubuh, CO₂ ditransportasikan oleh pembuluh darah, masuk ke paru. Karena produk metabolisme aerob bisa langsung digunakan atau dibuang maka metabolisme aerob digunakan saat istirahat atau aktivitas fisik dengan durasi yang panjang dengan intensitas rendah. ATP merupakan salah satu bentuk energi yang penting yang dihasilkan oleh metabolisme aerob maupun anaerob.^{40,41}

Produksi ATP pada metabolisme aerob penting untuk aktivitas ketahanan karena kemampuannya untuk memproduksi jumlah ATP yang banyak tanpa membuat produk yang membuat otot lemah (contoh: asam laktat). Produksi ATP pada aerob mempunyai 2 sistem utama yaitu Siklus krebs dan ETC.⁴⁰

Dari hasil ATP diatas, Otak akan menggunakan 25% dari total glukosa pada tubuh sebagai sumber energi dan otak tidak dapat menyimpan energi dan hanya didapatkan pada sirkulasi. Metabolisme protein, karbohidrat, lemak diubah menjadi energi atau glukosa yang nantinya akan digunakan oleh otak untuk melakukan fungsinya.

2.3.2. Adaptasi Tubuh pada Olahraga Aerob

Adaptasi tubuh akibat olahraga aerob rutin dapat mempengaruhi aktivitas enzim dan juga availabilitas dari suatu substrat. Kenaikan aktivitas enzim pada siklus krebs dan ETC dapat meningkatkan produksi ATP yang disebabkan pada peningkatan ukuran atau jumlah mitokondria menyebabkan peningkatan enzim aerob.

Aktifitas fisik aerob yang meningkatkan jumlah dan volum mitokondria menyebabkan peningkatan konsentrasi enzim. Sehingga untuk meningkatkan suplai O₂ dan glukosa darah untuk metabolisme aerob dan pengeluaran CO₂, pasokan darah sangat diperlukan. Akibat dari olahraga yang rutin, terjadi peningkatan *Cardiac output*, atau jumlah darah yang dipompa oleh jantung permenit meningkat. Suplai darah juga akan meningkat karena peningkatan kapiler darah pada otot, sehingga otot yang mengandung myoglobin kapasitas oksigennya meningkat.

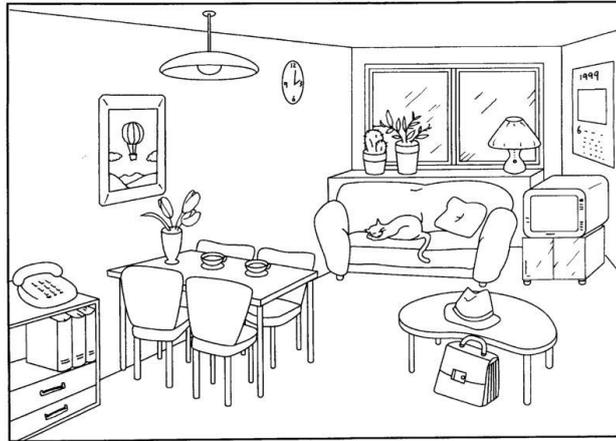
Cerebral blood flow (CBF) juga merupakan bagian vital dalam kehidupan manusia. Hal yang mempengaruhi peningkatan CBF adalah peningkatan metabolisme yang dipengaruhi oleh kandungan CO₂ yang mempengaruhi diameter pembuluh darah karena perubahan pH. Mekanoreseptor pada otot juga menginisiasi peningkatan CBF tergantung onset dari latihan yang biasanya pada saat hiperventilasi, pembuluh darah akan vasokonstriksi. Peran tekanan pembuluh arteri penting pada peningkatan CBF, namun pada akut hipotensi saat melakukan olahraga dengan intensitas tinggi, autoregulasi pada otak dapat tidak berfungsi sehingga memungkinkan untuk *cardiac output* berperan sama pentingnya terhadap CBF. Pada kesimpulannya, CBF dipengaruhi oleh sistem multifaktor yang beroperasi agar jaringan otak tidak mengalami kerusakan saat melakukan aktivitas fisik.⁴²

Penelitian juga dilakukan pada tikus yang dipaparkan oleh olahraga lari selama 3-7 hari, dan pada spinal lumbalis dan otot soleus di lihat apakah ada perubahan BDNF, yang memberikan sinyal pada trkB (reseptor transduksi).

Ditemukan bahwa olahraga meningkatkan ekspresi BDNF dan reseptornya, *synapsin I* (mRNA dan protein fosforilasi, *growth-associated protein* (GAP-43) mRNA), dan *cyclic AMP response element-binding* (CREB) mRNA yang terletak pada spinal lumbalis. *Synapsin I*, merupakan mediator agar BDNF dapat mengeluarkan neurotransmitter. Kadar CREB mRNA akan meningkat sama dengan kadar BDNF mRNA. Hasil dari penelitian ini adalah aktivitas neuromuskular penting untuk menjaga kadar normal BDNF dan neuroplastisitas.^{43,44}

2.4. SPMT (*Scenery Picture Memory Test*)

Pada pemeriksaan memori jangka pendek, SPMT merupakan salah satu bentuk tes kognitif yang digunakan untuk deteksi dini pasien Alzheimer. SPMT merupakan tes yang melihat kapasitas memori visual seperti memori jangka pendek. Cara melakukan penelitian ini adalah dengan memberikan gambar ruangan yang terdiri dari 23 obyek yang sering digunakan dan memberikan instruksi untuk mengingat obyeknya selama 1 menit. Setelah 1 menit, dilakukan tes forward digit span untuk mengecoh individu hingga 7 digit dan setelah melakukan tes *forward digit span*, individu diminta untuk menyebutkan obyek yang tadi dilihat. Penguji akan mencatat berapa obyek yang disebutkan dengan benar. Pada penelitian sebelumnya diambil angka normal untuk memori yang baik adalah dapat menyebutkan minimal 12 obyek agar dapat dikategorikan memori yang baik.⁴⁵



Gambar 3. Contoh gambar yang digunakan pada SPMT. Sumber: Takechi⁴⁵