



MODUL 11
Neurosains
(SFS310)

Materi 11
COGNITIVE-MEMORY AND LEARNING SYSTEM

Disusun Oleh
1. Kesit Ivanali, S.Ft, M.Biomed

UNIVERSITAS ESA UNGGUL
2018

TOPIK / MATERI PEMBELAJARAN

A. Pendahuluan

Memori adalah kemampuan untuk menyimpan dan memanggil informasi. Memori berperan sangat penting bagi kehidupan manusia baik dalam masa pertumbuhan dan perkembangan maupun untuk keberlangsungan hidupnya, karena tanpa memori segala informasi yang diterima tidak dapat disimpan. Memori mempunyai beberapa tahap penyimpanan yang bersifat dinamis. Informasi pertama kali disimpan dalam memori jangka pendek tetapi akan hilang jika tidak dikonsolidasikan menjadi memori jangka panjang. Setiap saat kita selalu mendapatkan berbagai informasi dari lingkungan. Sebagian besar informasi yang didapat sekilas akan segera hilang atau tidak disimpan, namun dengan pengulangan atau latihan dapat menyebabkan proses konsolidasi ke dalam bentuk long-term potentiation (LTP) sehingga terjadi peningkatan transmisi sinaps eksitatorik, dan hal ini akan menyebabkan informasi yang dipelajari disimpan dan dipertahankan dalam bentuk memori. LTP terjadi di area hipokampus yang merupakan bagian dari sistem limbik yang berperan penting dalam memori dengan melibatkan berbagai stimulus yang berkaitan. Masukan utama hipokampus berasal dari korteks entorhinal (EC), yang kemudian disampaikan ke neuron di cornu ammonis¹ (CA1) melalui dua jalur eksitatorik (jalur perforan) yaitu jalur langsung (perforan layer III) dan tidak langsung (perforan layer II). Hipokampus juga berperan dalam konsolidasi memori jangka pendek menjadi memori jangka panjang dan dipercaya sebagai tempat penyimpanan memori jangka panjang sementara sebelum akhirnya dikirim ke bagian korteks lain untuk penyimpanan memori secara permanen.

B. Kompetensi Dasar

Untuk memahami definisi kognitif, memori dan sistem pembelajaran.

C. Kemampuan Akhir yang Diharapkan

Mahasiswa dapat menambah ilmu pengetahuan dan pemahaman pada fungsi otak dalam menggunakan kognisi dan memori jangka pendek serta memori jangka panjang.

D. Kegiatan Belajar I

Pembelajaran dan Memori

Belajar merupakan proses manusia dalam memperoleh pengetahuan atau menguasai pengetahuan melalui pengalaman, mengingat, mendapatkan informasi atau menemukan (Hilgrad & Bower dalam Baharuddin dan Wahyuni, 2007:13). Belajar juga merupakan proses berubahnya tingkah laku yang relatif permanen yang disebabkan oleh interaksi dengan lingkungannya. Proses belajar merupakan hal yang menarik untuk dibicarakan, sehingga sudah banyak ahli yang mengemukakan teori-teori dan pandangan-pandangan mereka mengenai proses belajar tersebut.

Salah satu aliran yang mempunyai pengaruh terhadap praktik belajar yang dilaksanakan di sekolah adalah aliran psikologi kognitif. Aliran ini telah memberikan kontribusi terhadap penggunaan unsur kognitif atau mental dalam proses belajar. Berbeda dengan pandangan aliran behavioristik yang memandang belajar sebagai kegiatan yang bersifat sebagai mekanistik antara stimulus dan respon, aliran kognitif memandang kegiatan belajar bukanlah sekedar stimulus atau respon yang bersifat mekanistik, tetapi lebih dari itu, kegiatan belajar juga melibatkan kegiatan mental yang ada di dalam diri individu yang sedang belajar.

Kendati pendekatan kognitif sering dipertentangkan dengan pendekatan behavioristik, namun pandangan-pandangan kaum behavioristik juga ada yang digunakan dalam pendekatan kognitif. Reinforcement, misalnya, yang menjadi prinsip belajar behavioristik, juga terdapat dalam pandangan kognitif tentang belajar. Namun bedanya, behavioristik memandang reinforcement sebagai elemen yang penting untuk menjaga atau menguatkan perilaku, sedangkan menurut pandangan kognitif reinforcement merupakan sebuah sumber feedback untuk melihat apakah kemungkinan yang terjadi jika sebuah perilaku diulang lagi.

Pembelajaran mengacu pada perubahan perilaku yang diperoleh dari pengalaman. Perubahan perilaku yang terjadi disebabkan karena adanya perubahan sistem saraf selama proses pembelajaran. Proses perubahan perilaku memungkinkan seseorang beradaptasi dan berespon terhadap perubahan lingkungan. Sementara memori merupakan proses yang terjadi ketika pengalaman yang diperoleh akan ditafsirkan, disimpan, dan nantinya akan dipanggil kembali. Seseorang belajar dan mengingat berbagai hal dan informasi tersebut akan diproses dan disimpan secara terus-menerus oleh sirkuit saraf yang kompleks.

Istilah "Cognitive" berasal dari kata cognition artinya adalah pengertian, mengerti. Pengertian yang luasnya cognition (kognisi) adalah perolehan, penataan, dan penggunaan pengetahuan (Neisser, 1976). Dalam perkembangan selanjutnya, kemudian istilah kognitif ini menjadi populer sebagai salah satu wilayah psikologi manusia / satu konsep umum yang mencakup semua bentuk pengenalan yang meliputi setiap perilaku mental yang berhubungan dengan masalah pemahaman, memperhatikan, memberikan, menyangka, pertimbangan, pengolahan informasi,

pemecahan masalah, kesengajaan, pertimbangan, membayangkan, memperkirakan, berpikir dan keyakinan.

Termasuk kejiwaan yang berpusat di otak ini juga berhubungan dengan konasi (kehendak) dan afeksi (perasaan) yang bertalian dengan rasa.

Menurut para ahli jiwa aliran kognitif, tingkah laku seseorang itu senantiasa didasarkan pada kognisi, yaitu tindakan mengenal atau memikirkan situasi dimana tingkah laku itu terjadi. Pembelajaran menurut Teori Belajar Kognitif adalah cara guru memberikan kesempatan kepada siswa untuk berfikir agar dapat mengenal dan memahami apa yang sedang dipelajari. Ini sesuai dengan pengertian belajar menurut aliran kognitif yang menekankan pada kemampuan mengenal pada individu yang belajar

Tidak seperti halnya belajar menurut perspektif behavioris dimana perilaku manusia tunduk pada peneguhan dan hukuman, pada perspektif kognitif ternyata ditemui tiap individu justru merencanakan respons perilakunya, menggunakan berbagai cara yang bisa membantu dia mengingat serta mengelola pengetahuan secara unik dan lebih berarti. Teori belajar yang berasal dari aliran psikologi kognitif ini menelaah bagaimana orang berpikir, mempelajari konsep dan menyelesaikan masalah. Hal yang menjadi pembahasan sehubungan dengan teori belajar ini adalah tentang jenis pengetahuan dan memori Teori belajar kognitif lebih mementingkan proses belajar daripada hasil belajarnya. Teori ini juga menekankan bahwa bagian-bagian dari suatu situasi saling berhubungan dengan seluruh konteks situasi tersebut. Membagi-bagi situasi/materi pelajaran menjadi komponen-komponen kecil dan mempelajarinya secara terpisah akan menghilangkan makna belajar. Teori ini juga berpandangan bahwa belajar merupakan suatu proses internal yang mencakup ingatan, retensi, pengolahan informasi, emosi, dan faktor-faktor lain. (Asri, 2005 : 34). Belajar adalah aktifitas yang melibatkan proses berpikir yang sangat kompleks. Proses belajar di sini antara lain mencakup pengaturan stimulus yang diterima (faktor eksternal) dan menyesuaikan dengan struktur kognitif yang sudah terbentuk di dalam pikiran seseorang (background knowledge) berdasarkan pengalaman-pengalaman sebelumnya (faktor internal). Teori kognitif lebih menekankan pada struktur internal pembelajar dan lebih memberi perhatian pada bagaimana seseorang menerima, menyimpan, dan mengingat kembali informasi dari perbendaharaan ingatan. Ada beberapa kelompok penganut teori kognitif, namun fokus dari penganut teori ini sama yaitu pada soal bekerjanya pikiran manusia (Mukminan, 1998:53).

Menurut pendekatan kognitif yang mutakhir, elemen terpenting dalam proses belajar adalah pengetahuan yang dimiliki oleh tiap individu kepada situasi belajar. Dengan kata lain apa yang telah kita diketahui akan sangat menentukan apa yang akan menjadi perhatian, dipersepsi, dipelajari, diingat ataupun dilupakan. Pengetahuan bukan hanya hasil dari proses belajar sebelumnya, tapi juga akan membimbing proses belajar berikutnya. Berbagai riset terapan tentang hal ini telah banyak dilakukan dan makin membuktikan bahwa pengetahuan dasar yang luas ternyata

lebih penting dibanding strategi belajar yang terbaik yang tersedia sekalipun. Terlebih bila pengetahuan dan wawasan yang luas ini disertai dengan strategi yang baik tentu akan membawa hasil lebih baik lagi tentunya.

Ciri-ciri aliran kognitif:

1. mementingkan apa yang ada dalam diri manusia
2. mementingkan keseluruhan daripada bagian-bagian
3. mementingkan peranan kognitif
4. mementingkan kondisi waktu sekarang
5. mementingkan pembentukan struktur kognitif
6. mengutamakan keseimbangan dalam diri manusia
7. mengutamakan insight (pengertian, pemahaman)

JENIS PENGETAHUAN MENURUT TEORI PEMBELAJARAN KOGNITIF

Perspektif kognitif membagi jenis pengetahuan menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Pengetahuan Deklaratif, yaitu pengetahuan yang bisa dideklarasikan biasanya dalam bentuk kata atau singkatnya pengetahuan konseptual.
2. Pengetahuan Prosedural, yaitu pengetahuan tentang tahapan yang harus dilakukan misalnya dalam hal pembagian satu bilangan ataupun cara kita mengemudikan sepeda, singkatnya “pengetahuan bagaimana”.
3. Pengetahuan Kondisional, adalah pengetahuan dalam hal “kapan dan mengapa” pengetahuan deklaratif dan prosedural digunakan.

Pengetahuan deklaratif rentangnya sangat beragam, bisa berupa pengetahuan tentang fakta (misalnya, bumi berputar mengelilingi matahari dalam kurun waktu tertentu), generalisasi (setiap benda yang di lempar ke angkasa akan jatuh ke bumi karena adanya gaya gravitasi), pengalaman pribadi (apa yang diajarkan oleh guru sains secara menyenangkan) atau aturan (untuk melakukan operasi penjumlahan dan pengurangan pada pecahan maka pembilang harus disamakan terlebih dahulu).

Menyatakan proses penjumlahan atau pengurangan pada bilangan pecahan menunjukkan pengetahuan deklaratif, namun bila siswa mampu mengerjakan perhitungan tersebut maka dia sudah memiliki pengetahuan prosedural. Guru dan siswa yang mampu menyelesaikan soal melalui rumus tertentu atau menterjemahkan teks bahasa Inggris adalah contoh kemampuan pengetahuan prosedural lainnya. Seperti halnya siswa yang mampu berenang dalam satu gaya tertentu, berarti dia sudah menguasai pengetahuan prosedural hal tersebut, dengan kata lain penguasaan pengetahuan ini juga dicirikan oleh praktek yang dilakukan.

Sedangkan pengetahuan kondisional adalah kemampuan untuk dapat mengaplikasikan kedua jenis pengetahuan di atas. Dalam menyelesaikan persoalan perhitungan kimia misalnya, siswa harus dapat mengidentifikasi terlebih dahulu persamaan apa yang perlu dipakai (pengetahuan deklaratif) sebelum melakukan proses perhitungan

(pengetahuan prosedural). Pengetahuan kondisional ini jadinya merupakan hal yang penting dimiliki siswa, karena menentukan penggunaan konsep dan prosedur yang tepat. Terkadang siswa mengetahui fakta dan dapat melakukan satu prosedur pemecahan masalah tertentu, namun sayangnya mengaplikasikannya pada waktu dan tempat yang kurang tepat.

Hal yang sangat penting jadinya untuk mengidentifikasi jenis pengetahuan ini bagi guru ketika mengajar. Mempelajari informasi tentang pokok bahasan tertentu tidak selalu menyebabkan siswa akan menggunakan informasi tersebut. Tidak juga latihan menyelesaikan banyak soal pada topik bahasan tertentu, akan membantu mereka memahami satu prinsip lebih mendalam. Mengetahui sesuatu topik, mengetahui prosedural penyelesaian masalah serta tahu kapan dan mengapa menggunakan pengetahuan tersebut adalah hasil belajar yang berbeda-beda, dan tentu saja ini perlu diajarkan dengan cara yang berbeda pula.

Bentuk Dasar Pembelajaran

Pembelajaran merupakan proses akuisisi pengalaman dan informasi baru. Secara umum, pembelajaran terbagi menjadi dua bentuk yaitu pembelajaran non-asosiatif (non-associative learning) yang melibatkan stimulus tunggal dan pembelajaran asosiatif (associative learning) yang melibatkan dua atau lebih stimulus serta menghubungkan stimulus-stimulus tersebut.

Pembelajaran non-asosiatif merupakan bentuk pembelajaran sederhana, yaitu habituasi dan sensitisasi. Habituasi merupakan proses belajar yang melibatkan stimulus yang tidak bermakna atau tidak berbahaya sehingga respon terhadap stimulus tersebut menjadi terabaikan walaupun stimulus tersebut diberikan berulang-ulang. Sebaliknya, sensitisasi merupakan proses belajar yang melibatkan stimulus yang bermakna sehingga respons terhadap stimulus tersebut menjadi lebih kuat. Berbeda halnya dengan sensitisasi yang menjadikan seseorang meningkatkan sikap waspada terhadap stimulus yang berbahaya, habituasi menjadikan seseorang mengabaikan suatu stimulus yang dianggap tidak penting.

Pembelajaran habituasi dan sensitisasi memungkinkan seseorang untuk mengenali dan membedakan stimulus serta memutuskan apakah akan merespon stimulus tersebut atau tidak.

Pembelajaran asosiatif merupakan bentuk pembelajaran yang lebih kompleks. Secara umum, pembelajaran asosiatif terbagi menjadi dua bentuk, yaitu classical conditioning dan instrumental conditioning. Akan tetapi, menurut Carlson, pembelajaran asosiatif terbagi menjadi empat bentuk yaitu, pembelajaran perseptual (perceptual learning), pembelajaran stimulus-respons (response-stimulus learning), pembelajaran motorik (motoric learning), dan pembelajaran rasional (rasional learning). Berdasarkan keempat bentuk pembelajaran tersebut, classical conditioning dan instrumental conditioning merupakan bagian dari bentuk pembelajaran stimulus-respons.

Pembelajaran perseptual merupakan kemampuan belajar untuk mengenali stimulus yang telah dialami sebelumnya. Pembelajaran ini berperan dalam identifikasi dan pengelompokan objek dan situasi yang telah dialami. Pembelajaran perseptual melibatkan sistem sensorik. Melalui pembelajaran perseptual, seseorang dapat mengenali suatu objek dari penampilan visual, suara, rasa, atau bahkan bau yang ditimbulkannya.

Classical conditioning merupakan bentuk pembelajaran yang menghubungkan stimulus bermakna yang menimbulkan suatu respons tertentu dengan stimulus yang tidak menimbulkan respons apapun. Bentuk pembelajaran ini dapat dipahami melalui percobaan klasik Pavlov. Dalam percobaan Pavlov, seekor anjing akan mengeluarkan air liur melalui (respons) ketika melihat daging (stimulus), namun anjing tersebut tidak mengeluarkan air liur (respons) ketika melihat daging (stimulus). Ketika daging dan bunyi bel diberikan secara bersamaan, anjing tersebut akan mengeluarkan air liur. Dengan pemberian kedua stimulus ini secara bersamaan dan berulang-ulang, anjing belajar menghubungkan antara bunyi bel dan daging. Pada akhirnya, anjing akan mengeluarkan air liur setiap kali mendengarkan bunyi bel walaupun anjing tersebut tidak diberi daging.

Instrumental conditioning, dikenal juga dengan operant conditioning, merupakan bentuk pembelajaran yang menghubungkan stimulus dan respons. Bentuk pembelajaran ini memungkinkan seseorang untuk menyesuaikan perilaku sesuai konsekuensi yang ditimbulkan oleh perilaku tersebut. Bentuk pembelajaran ini berkaitan dengan penghargaan (reward) dan hukuman (punishment). Ketika seseorang melakukan suatu perilaku tertentu yang membuatnya mendapatkan hadiah, maka perilaku tersebut akan terus-menerus dilakukan.^{1,16} Sebaliknya, ketika suatu perilaku tertentu menimbulkan respons berupa hukuman, maka kemungkinan besar perilaku tersebut akan jarang atau bahkan tidak dilakukan lagi. Melalui pembelajaran ini, seseorang akan belajar menghubungkan suatu respons, aktivitas motorik dengan stimulus yang bermakna, yang secara umum akan mendapatkan suatu hadiah.¹⁶

Pembelajaran motorik merupakan pembelajaran yang disebabkan karena adanya perubahan sistem motorik. Akan tetapi, pada kenyataannya, pembelajaran motorik tidak dapat terjadi tanpa adanya aktivitas sensorik dari lingkungan. Pembelajaran motorik berbeda dengan bentuk pembelajaran lainnya terutama pada bagaimana perilaku-perilaku baru yang telah dipelajari. Semakin banyak perilaku yang dipelajari, semakin banyak sirkuit saraf pada sistem motorik yang dimodifikasi.¹⁶

Pembelajaran relasional merupakan pembelajaran yang menghubungkan berbagai stimulus. Pembelajaran relasional terbagi menjadi dua bentuk yaitu pembelajaran spasial (spatial learning) dan pembelajaran episodik (episodic learning). Pembelajaran spasial memungkinkan seseorang belajar mengenali suatu objek dan lokasi relatif objek sehingga terbentuk persepsi tentang posisi keberadaan objek tersebut. Sementara pembelajaran episodik merupakan pembelajaran mengenai rangkaian kejadian yang telah dialami.

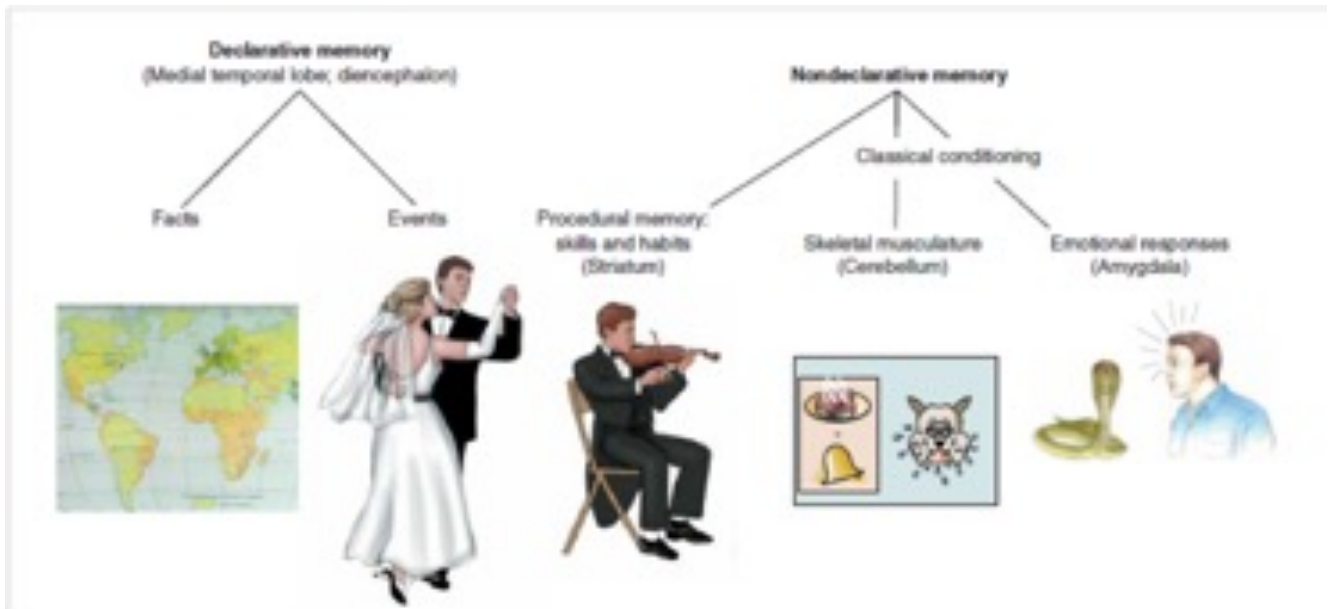
Bentuk Dasar Memori

Memori merupakan retensi atau mempertahankan informasi yang baru dipelajari. Memori merupakan kemampuan untuk menyimpan dan memanggil informasi. Memori tersimpan di otak dalam bentuk perubahan sensitivitas dasar transmisi sinaps antara neuron-neuron sebagai akibat aktivitas persarafan yang terjadi sebelumnya.¹ Jaras yang baru atau yang terfasilitasi disebut jejak-jejak memori (memory traces). Jaras-jaras ini penting karena bila menetap, akan diaktifkan secara selektif oleh pikiran untuk memproduksi memori yang ada. Percobaan pada hewan tingkat rendah telah memperlihatkan bahwa jejak memori dapat timbul pada semua tingkat sistem saraf.¹⁹ Bahkan refleks-refleks medula spinalis dapat mengubah setidaknya sedikit respons terhadap aktivasi medula spinalis yang berturut-turut, dan perubahan refleks-refleks tersebut merupakan bagian dari proses memori. Memori jangka panjang juga merupakan hasil dari perubahan transmisi sinaps di pusat-pusat otak bagian sub kortikal. Namun sebagian besar memori yang kita kaitkan dengan proses intelektual didasarkan pada jejak memori yang terdapat pada korteks serebri.^{1,16}

Secara umum, memori terbagi menjadi dua bentuk utama yaitu memori implisit (implicit memory) atau memori non-deklaratif (non-declarative memory) dan memori eksplisit (explicit memory) atau memori deklaratif (declarative memory). Memori eksplisit (deklaratif) merupakan memori yang berisi tentang fakta dan kejadian. Memori deklaratif terbagi menjadi dua bentuk lain, yaitu memori episodik (episodic memory) yang berisi tentang peristiwa, dan memori semantik (semantic memory) yang berisi tentang kata-kata, peraturan, dan bahasa. Memori episodik merupakan memori yang disimpan berdasarkan pengalaman pribadi, sedangkan memori semantik merupakan memori tentang fakta yang terjadi. Struktur otak yang terlibat dalam memori deklaratif adalah hipokampus. Pembentukan memori deklaratif melibatkan serangkaian proses yang terdiri dari mendapatkan informasi baru (encoding), menyimpan informasi (storage), konsolidasi (consolidation), dan mengulanginya kembali (retrieval).

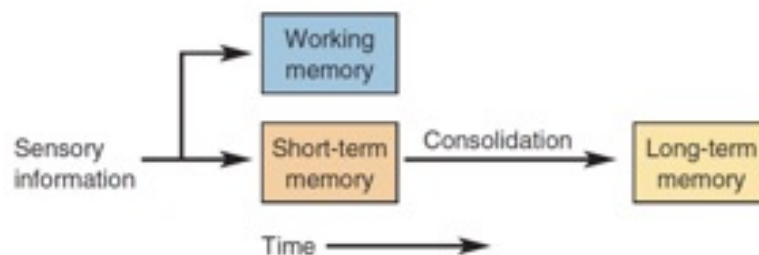
Memori implisit (non-deklaratif) dianggap sebagai memori refleksif karena memori ini hasil dari pengalaman langsung yang menimbulkan perilaku refleks. Bentuk memori implisit diantaranya memori prosedural (procedural memory), priming, asosiatif sederhana seperti classical conditioning, dan non-asosiatif seperti habituasi. Memori prosedural berisi tentang kebiasaan, kemampuan, serta perilaku.

Perbedaan mendasar antara memori eksplisit dan implisit terletak pada waktu penyimpanannya. Memori eksplisit lebih mudah dibentuk dan disimpan namun lebih mudah dilupakan. Sebaliknya, pembentukan dan penyimpanan memori implisit membutuhkan pengulangan atau repetisi dalam periode waktu yang lebih lama sehingga lebih sulit untuk dilupakan. Selain itu, berbeda dengan memori eksplisit, retensi memori implisit tidak melibatkan pengolahan di hipokampus.



Gambar 1. Bentuk- bentuk memori

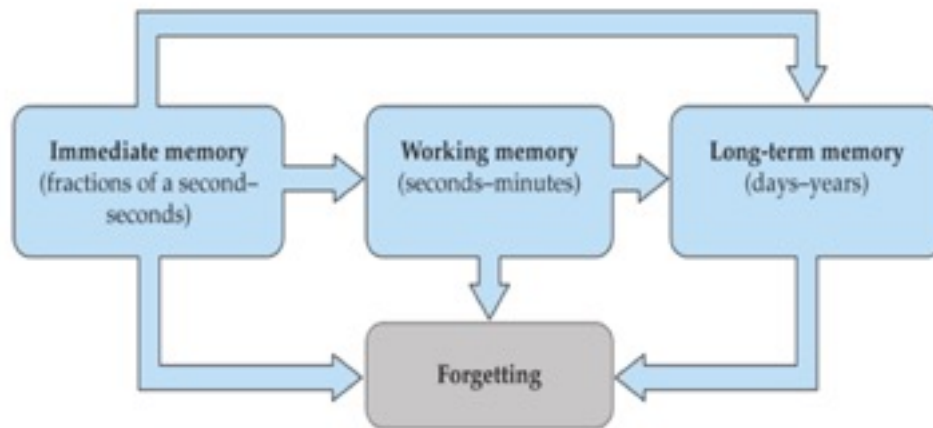
Berdasarkan waktu penyimpanannya, memori terbagi menjadi dua bentuk yaitu memori jangka pendek (short-term memory) dan memori jangka panjang (long-term memory). Memori jangka pendek memiliki kapasitas penyimpanan yang terbatas dan hanya berlangsung beberapa detik sampai menit. Sebaliknya, memori jangka panjang dapat menyimpan informasi lebih banyak dan bertahan selama bertahun-tahun bahkan seumur hidup. Untuk dapat mengubah memori jangka pendek menjadi memori jangka panjang, dan dapat kembali di panggil beberapa minggu atau beberapa tahun kemudian, maka memori tersebut harus mengalami konsolidasi (Gambar 2). Artinya, jika memori jangka pendek diaktifkan berulang-ulang akan terjadi perubahan kimia, fisik, dan anatomis pada sinaps-sinaps yang bertanggung jawab untuk memori tipe jangka panjang.



Gambar 2. Proses Memori Jangka Pendek ke Jangka Panjang

Bentuk memori jangka pendek yang paling umum adalah memori kerja (working memory). Memori kerja merupakan memori yang bersifat sementara, kapasitasnya dan durasinya terbatas serta membutuhkan repetisi atau pengulangan (konsolidasi) untuk dapat menjadi memori jangka

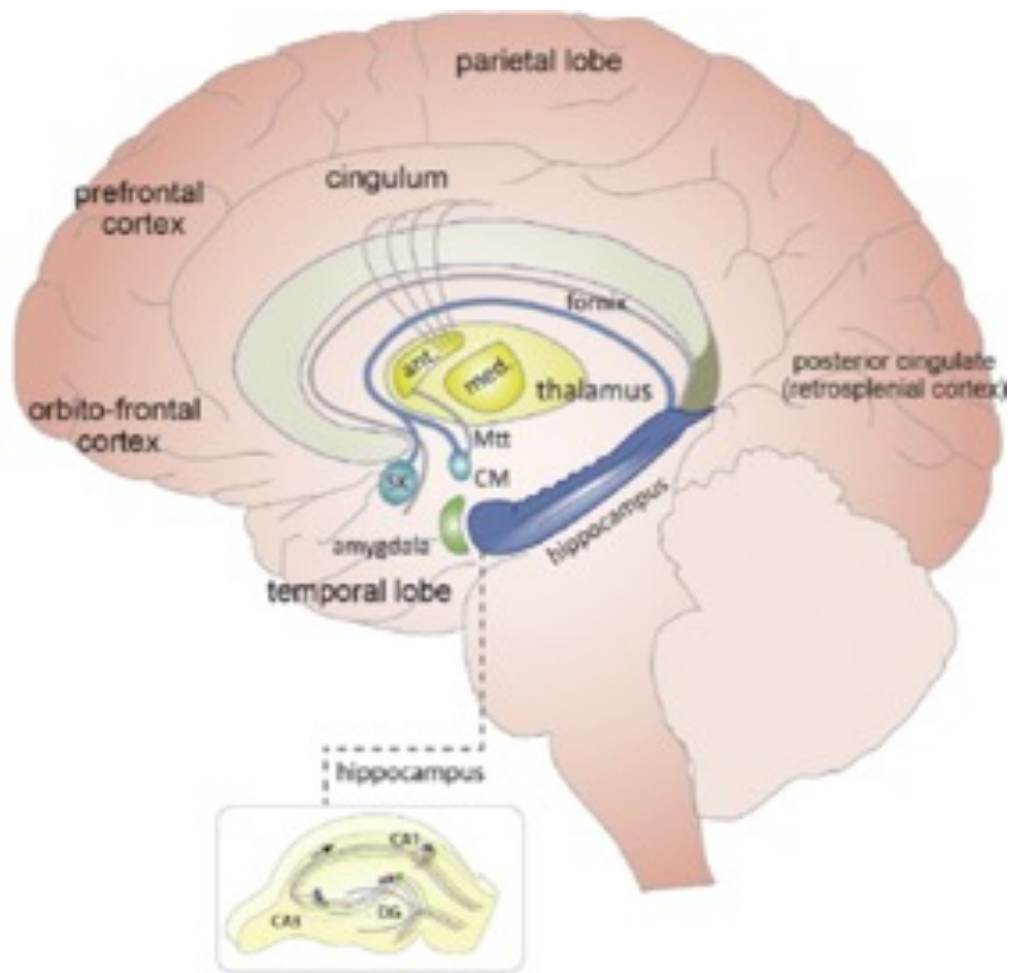
panjang. Dan jika tidak dilakukan pengulangan, maka informasi akan dilupakan (Gambar 3). Melalui memori kerja, informasi yang baru akan dihubungkan dengan informasi pada masa lampau, kemudian informasi tersebut akan dimanipulasi untuk merencanakan dan memutuskan suatu tindakan.



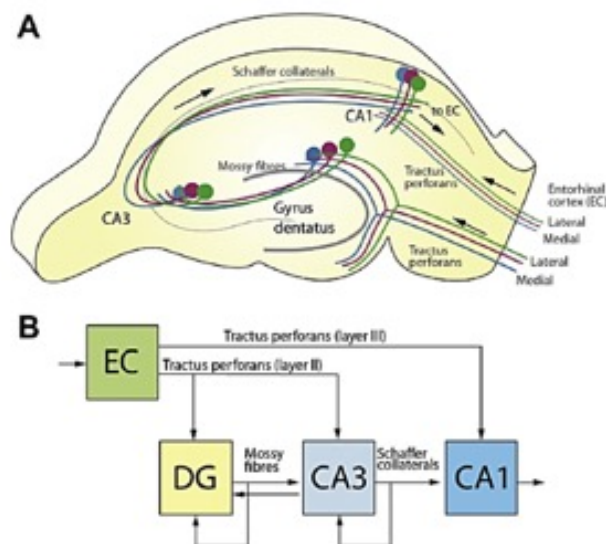
Gambar 3. Proses Menuju Memori Jangka Panjang

Anatomi Hipokampus

Hipokampus merupakan area terspesialisasi dari korteks limbik yang berada di lobus temporal. Hipokampus membentuk lipatan di sisi pertama, dan melengkung di sisi yang lain, sehingga terbentuk suatu bentuk tiga dimensi. Hipokampus terdiri dari area Cornu Ammonis (CA) 1-4, girus dentatus (dentate gyrus, DG), dan subiculum. Masukan utama hipokampus berasal dari korteks entohirnal (entohirnal cortex, EC). Informasi dari korteks entohirnal akan disampaikan ke neuron CA1 melalui dua jalur eksitatorik yaitu jalur langsung dan jalur tidak langsung. Kedua jalur ini dikenal sebagai jalur perforan (perforant path). Neuron yang terlibat dalam jalur langsung berada di lapisan III korteks entohirnal. Akson neuron ini akan bersinaps di bagian dendrit apikal distal neuron CA1. Neuron yang terlibat dalam jalur tidak langsung, neuron pada lapisan II korteks entohirnal akan menyampaikan informasi melalui jalur trisinaptik.

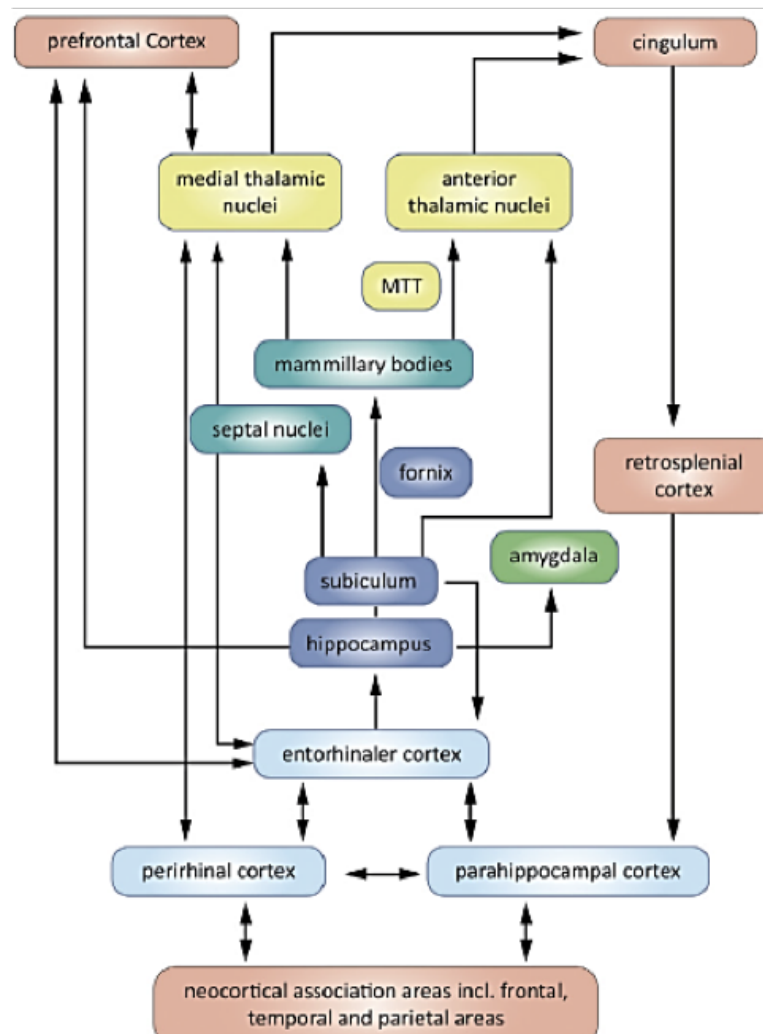


Gambar 4. Anatomi hipokampus dan bagian-bagian otak yang terlibat dalam pembelajaran dan memori. Ant: anterior thalamic nuclei; CA: cornu ammonis; DG: dentate gyrus; EC: entorhinal cortex; MB: mamillary bodies; Med: medial thalamic nuclei; MTT: mamilothalamic tract; SN: septal nuclei.



Gambar 5. Bagan konektivitas struktur penting dalam memori dari berbagai sistem: diencephalic nuclei dan area asosiasi neokorteks yang mendorong aliran informasi secara timbal balik.

Akson-akson neuron dalam lapisan II korteks entohirnal mengirimkan informasi ke hipokampus melalui jalur perforan. Akson-akson tersebut akan bersinaps di sel granul pada DG. Akson-akson dari sel granul akan bersinaps ke sel-sel piramidal pada CA3 melalui jalur mossy fibers. Sel-sel piramidal CA3 akan membentuk cabang-cabang akson. Satu cabang akan keluar meninggalkan hipokampus melalui fornix. Cabang yang lain akan bersinaps ke sel-sel piramidal di CA1 melalui jalur schaffer collateral. Karena adanya tiga jalur koneksi inilah, hubungan antara CA1, CA3, dan DG dikenal dengan sirkuit trisinaptik (trisynaptic circuit). Keluaran utama hipokampus adalah melalui neuron piramidal di area CA1 yang memproyeksikan kembali ke korteks entohirnal dan ke subiculum. Subiculum merupakan struktur lain pada lobus medial temporal.



Gambar 6. Sirkuit Sinaptik Hipokampus. A. Anatomi hipokampus dan sirkuit trisinaptik. B. Diagram alur masuknya informasi ke hipokampus. CA1-3; DG: dentate gyrus; EC: entohirnal cortex.

Peran Hipokampus dalam Pembentukan Memori

Daerah otak yang diperkirakan berperan dalam memori adalah lobus temporalis, korteks prefrontalis, daerah lain di korteks serebrum, sistem limbik, dan serebelum. Lobus temporalis dan sistem limbik berperan penting dalam memindahkan memori baru ke dalam bentuk simpanan jangka panjang. Hipokampus merupakan bagian medial yang memanjang di lobus temporalis dan merupakan bagian dari sistem limbik yang berperan penting dalam memori jangka pendek yang melibatkan integrasi berbagai rangsangan yang berhubungan dan juga penting untuk mengubah simpanan informasi menjadi memori jangka panjang melalui proses konsolidasi. Hipokampus sudah dianggap sebagai bagian utama dari hubungan atau sirkuit otak yang berperan dalam mendukung pengkodean, konsolidasi dan pengulangan memori. Hipokampus telah banyak digunakan untuk mempelajari memori pada manusia, seperti memori episodik dan memori sematik, deteksi kebaruan, konsolidasi memori, diskriminasi pola, navigasi spasial dan representatif spasial dan temporal. Berdasarkan fungsi kognisi, hipokampus terlibat dalam regulasi emosi, rasa takut, kecemasan, dan stress.²⁰ Hipokampus digunakan untuk mempelajari fungsi neuroplastisitas seperti potensiasi jangka panjang (long-term potentiation) dan depresi jangka panjang (long term depression, LTD), yang menjadi fundamental pembelajaran dan memori.

Long-Term Potentiation (LTP)

Dalam ilmu yang mempelajari saraf, LTP atau potensiasi jangka panjang adalah penguatan sinapsis secara terus menerus berdasarkan pola aktivitas yang dilakukan. Pola aktivitas sinaptik menghasilkan peningkatan sinyal transmisi yang bertahan lama antara dua neuron. LTP adalah mekanisme yang terjadi di hipokampus dan neokorteks. LTP merupakan mekanisme utama yang memfasilitasi proses pembelajaran dan yang mendasari pembentukan memori.

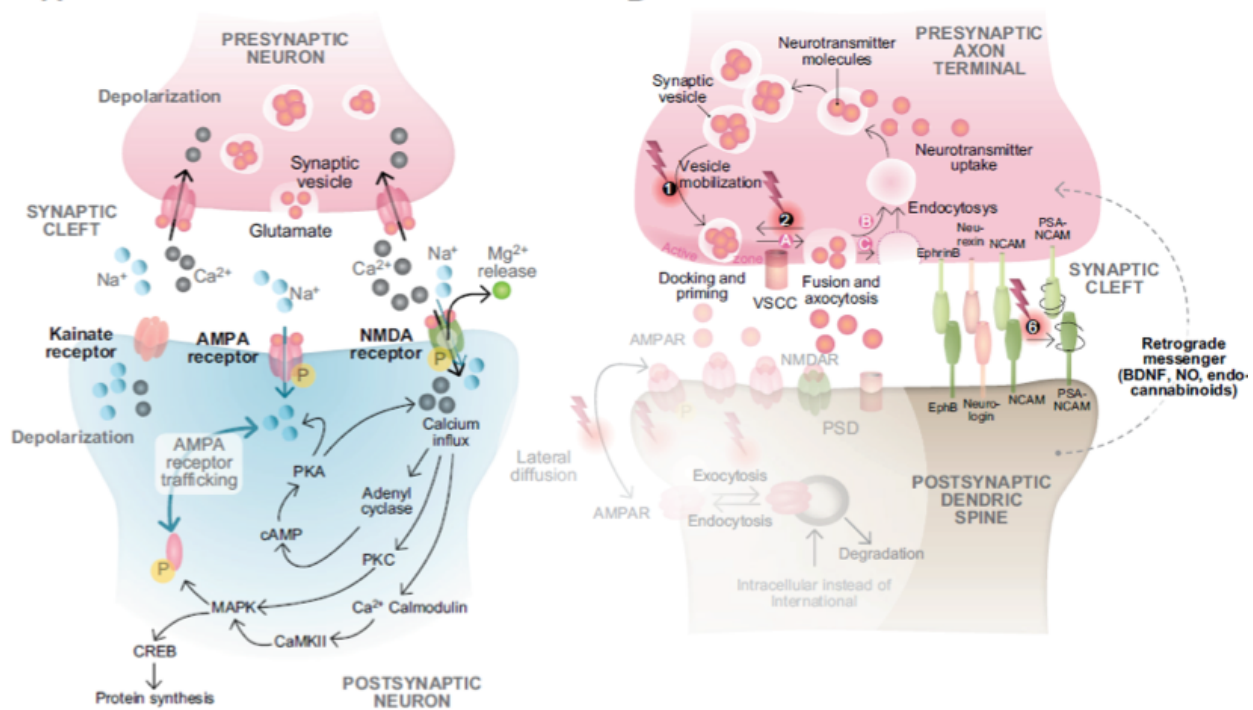
Mekanisme LTP di Hipokampus

Sirkuit yang dibentuk oleh ratusan juta neuron di sistem saraf pusat mendasari berbagai fungsi otak seperti pembelajaran dan memori. Sinaps merupakan area komunikasi saraf pada sirkuit tersebut. Selama proses transmisi sinaps pada sinaps kimia, neurotransmitter dilepaskan dari terminal presinaps kemudian akan mengaktifkan reseptor yang ada di postsinaps. Dalam model yang lebih sederhana, sinaps eksitatorik akan mendepolarisasi membran postsinaps, menyebabkan neuron postsinaps mengalami firing akibat potensial membran meningkat melebihi ambang rangsang. Sebaliknya, sinaps inhibitorik akan menghiperpolarisasi membran postsinaps, menyebabkan neuron postsinaps berhenti mencetuskan impuls. Konektivitas saraf melalui transmisi sinaps yang dinamis ini akan mempertahankan sirkuit saraf.

Stimulasi elektrik di hipokampus dapat mengakibatkan perubahan sinaptik jangka panjang yang berperan dalam pembelajaran. Stimulasi elektrik yang kuat pada akson di EC ke DG menyebabkan peningkatan potensial postsinaps eksitatorik jangka panjang di neuron postsinaps. Peristiwa ini dikenal dengan potensiasi jangka panjang (long-term potentiation, LTP). Dengan kata lain, LTP merupakan peningkatan eksitabilitas jangka panjang pada neuron terhadap masukan tertentu yang disebabkan aktivitas berfrekuensi tinggi dari masukan tersebut. LTP dapat didefinisikan sebagai peningkatan kekuatan sinaps yang terjadi minimal selama satu jam.

LTP terdiri dari dua fase, yaitu LTP fase awal (early LTP, E-LTP) dan LTP fase akhir (late LTP, L-LTP). E-LTP terjadi akibat adanya satu potensial aksi yang menyebabkan LTP selama satu sampai tiga jam. LTP ini tidak membutuhkan sintesis protein baru, aktivasi cyclic adenosine monophosphate (cAMP) atau protein kinase A (PKA). Akan tetapi, apabila terdapat empat atau lebih stimulasi sinaps dapat menginduksi L-LTP selama 24 jam. L-LTP membutuhkan aktivasi cAMP dan PKA, merekrut jalur cAMP response element binding protein transcription factor (CREB) yang menginisiasi sintesis mRNA dan pembentukan protein baru.

Beberapa proses terlibat dalam penguatan sinaps dan pembentukan LTP. Sinyal dari presinaps akan dihantarkan ke postsinaps sebagai respons terhadap adanya potensial aksi pada terminal presinaps. Potensial aksi ini menyebabkan ion kalsium masuk melalui L-type voltage-sensitive calcium channels (L-VSCC) yang mengakibatkan pelepasan glutamat pada zona aktif (active zone, AZ). Glutamat berikatan dengan dua jenis reseptor di membran postsinaps, yaitu α -amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazolepropionic acid receptor (AMPA) dan N-methyl-D-aspartate receptor (NMDAR) sehingga kedua reseptor tersebut menjadi aktif. Peningkatan neurotransmitter pada AMPAR menimbulkan respons cepat terbukanya kanal ion Na^+ dan K^+ sehingga mengakibatkan depolarisasi membran. Hal ini mengakibatkan ion Mg^{2+} keluar dari kanal NMDAR sehingga ion Ca^{2+} masuk ke dalam sel secara bersamaan. Rangkaian kejadian ini menyebabkan aktivasi enzim-enzim yang bergantung pada ion Ca^{2+} seperti adenyl cyclase (AC) yang mengaktifkan PKA melalui aktivasi cAMP, serta calcium/calmodulin-dependent kinase II (CaMKII) dan protein kinase C (PKC) yang mengaktifkan mitogen-activated protein kinase (MAPK). Aktivasi kaskade CaMKII dan PKC memfasilitasi peningkatan AMPAR melalui proses fosforilasi subunit-subunit AMPAR yang spesifik. Selain itu, aktivasi CaMKII dan PKC memicu transkripsi di nukleus melalui jalur fosforilasi CREB yang selanjutnya akan mengaktifkan gen-gen yang terlibat dalam pertumbuhan sirkuit sinaps yang baru dan berperan dalam proses pembelajaran dan memori.



Gambar 7. Jalur sinyal yang memediasi plastisitas sinaps

Sinyal retrograde dari presinaps dan postsinaps juga terlibat dalam proses LTP. Protein-protein sinyal seperti brain-derived neurotrophic factor (BDNF), nitrit oxide (NO), dan endocannabinoids akan dilepaskan ke membran presinaps menyebabkan pelepasan neurotransmitter dengan memodulasi masuknya ion Ca²⁺ ke membran presinaps. Peningkatan konsentrasi ion K⁺ yang disertai dengan mobilisasi vesikel dalam jumlah yang besar menyebabkan peningkatan docking dan priming vesikel sinaps yang menyebabkan peningkatan fusi vesikel dan pelepasan neurotransmitter. Vesikel-vesikel tersebut akan mengalami daur ulang melalui proses endositosis dan neurotransmitter akan dibawa kembali oleh transporter spesifik.