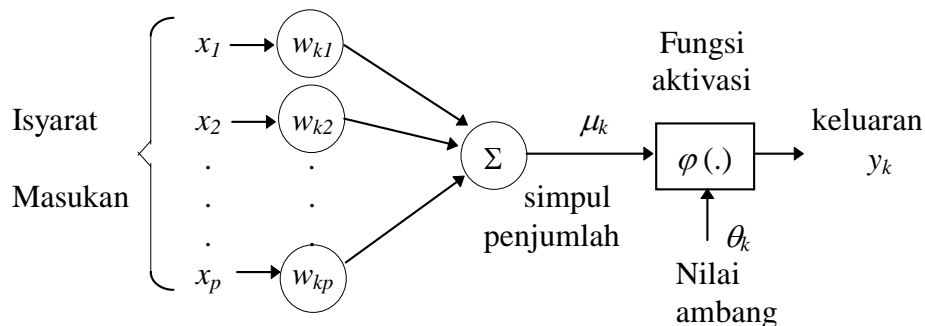


## Pengantar Jaringan syaraf

Jaringan syaraf tiruan atau lebih dikenal dengan sebutan jaringan syaraf adalah salah satu cara penyelesaian masalah dengan mengadopsi tata kerja otak manusia yang terdiri atas berjuta-juta sel syaraf. Otak merupakan suatu alat yang kompleks, tak-linear dan prosesnya paralel yang mengolah isyarat masukan menjadi suatu keluaran yang dapat dikenali untuk proses selanjutnya. Maka, jaringan syaraf secara umum adalah mesin yang dirancang sebagai model sebagaimana otak melakukan tugasnya yang dapat berupa perangkat-keras maupun perangkat-lunak.

Dalam merancang suatu jaringan syaraf selain memperhatikan struktur hubungan antara simpul masukan dengan simpul keluaran, perlu ditentukan juga cara atau metode pembelajarannya. Belajar bagi jaringan syaraf adalah cara memperbaharui bobot sinapsis disesuaikan dengan isyarat masukan dan keluran yang diharapkan. Secara umum suatu jaringan syaraf dibentuk atas sejumlah neurons sebagai unit pengolah informasi sebagai dasar operasi untuk menjalankan fungsi atau tugasnya. Model susunan neurons ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Model neurons  $k$  tak-linear

Secara matematis, untuk neurons  $k$  berlaku persamaan:

$$\mu_k = \sum_{j=1}^p w_{kj} x_j \quad (1)$$

dan 
$$y_k = \varphi(\mu_k - \theta_k) \quad (2)$$

dengan  $x_1, x_2, \dots, x_p$  adalah isyarat masukan;  $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{kp}$  adalah bobot sinapsis untuk neurons  $k$ ;  $\mu_k$  adalah keluaran kombinasi linear;  $\theta_k$  adalah nilai ambang;  $\varphi(\cdot)$  adalah fungsi aktivasinya; dan  $y_k$  adalah isyarat keluaran neurons  $k$ .

Dari model neurons untuk jaringan syaraf seperti terlihat pada Gambar 1 terdapat tiga bagian utama berikut.

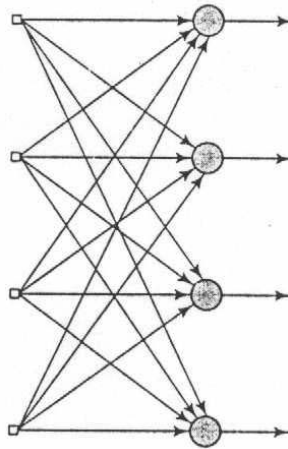
1. Sekumpulan sinapsis atau jalur penghubung, yang mempunyai bobot atau kekuatan. Indeks yang tertulis pada notasi bobot sinapsis menunjukkan posisi masukan dan keluaran yang dihubungkan.
2. Unit penjumlahan untuk menjumlahkan isyarat masukan.
3. Fungsi aktivasi untuk membatasi amplitude keluaran.

### **Arsitektur Jaringan syaraf**

Secara umum terdapat empat arsitektur jaringan syaraf berikut.

#### **1. Jaringan umpan-maju lapis tunggal** (*single-layer feedforward network*)

Jaringan ini mempunyai suatu lapis masukan yang diproyeksikan langsung ke suatu lapis keluaran, dan tidak sebaliknya. Umpan-maju dimaksudkan bahwa jaringan ini hanya mempunyai satu arah perhitungan, yaitu dari simpul masukan menuju simpul keluaran. Bentuk arsitektur jaringan umpan-maju lapis tunggal dapat dilihat pada Gambar 2.

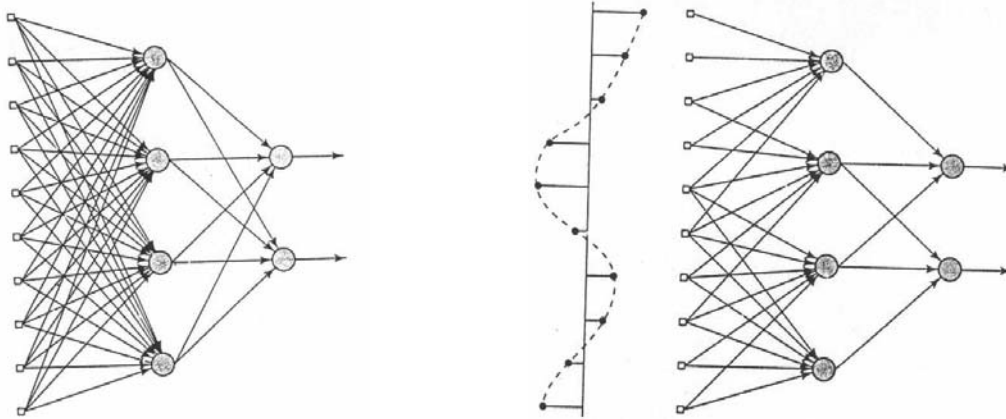


Gambar 2. Jaringan umpan-maju lapis tunggal

## 2. Jaringan umpan-maju lapisjamak (*multilayer feedforward network*)

Jaringan ini mempunyai satu atau lebih lapis tersembunyi, yang berfungsi sebagai penyela antara masukan eksternal dengan keluaran neurons. Lapis tersembunyi ini biasanya digunakan untuk penghitungan statistika aras-tinggi. Lapisjamak menunjukkan adanya lebih dari satu kali perhitungan atas isyarat masukan untuk mendapatkan isyarat keluaran. Dengan kata lain, keluaran lapis sebelumnya menjadi masukan bagi lapis berikutnya, demikian seterusnya.

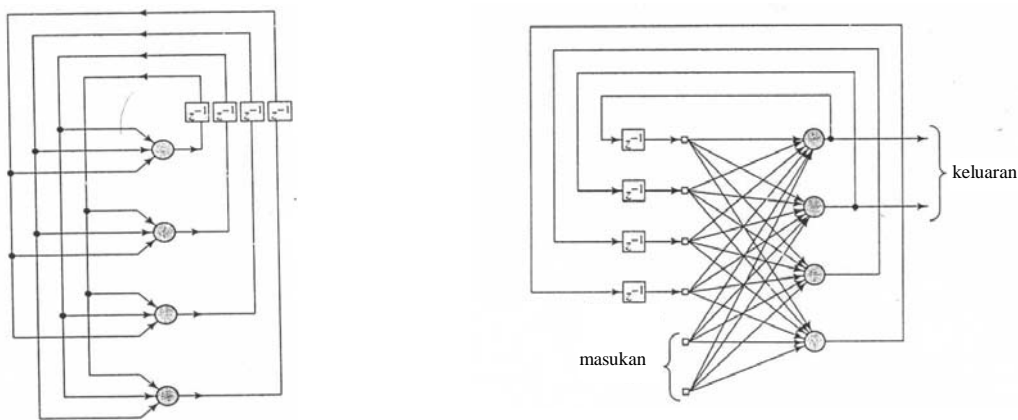
Jaringan umpan-maju lapisjamak ada yang mempunyai bentuk terhubung penuh atau seluruhnya, yaitu bahwa setiap simpul dari suatu lapisan terhubung dengan semua simpul pada lapisan berikutnya, seperti diperlihatkan pada Gambar 3 (a) dan ada juga yang berbentuk terhubung sebagian (*partial*) dari satu lapisan ke lapisan berikutnya, seperti diperlihatkan pada Gambar 3 (b).



(a) (b)  
 Gambar 3 (a) Jaringan umpan-maju lapisjamak terhubung penuh  
 (b) Jaringan umpan-maju lapisjamak terhubung sebagian

### 3. Jaringan berulang (*recurrent network*)

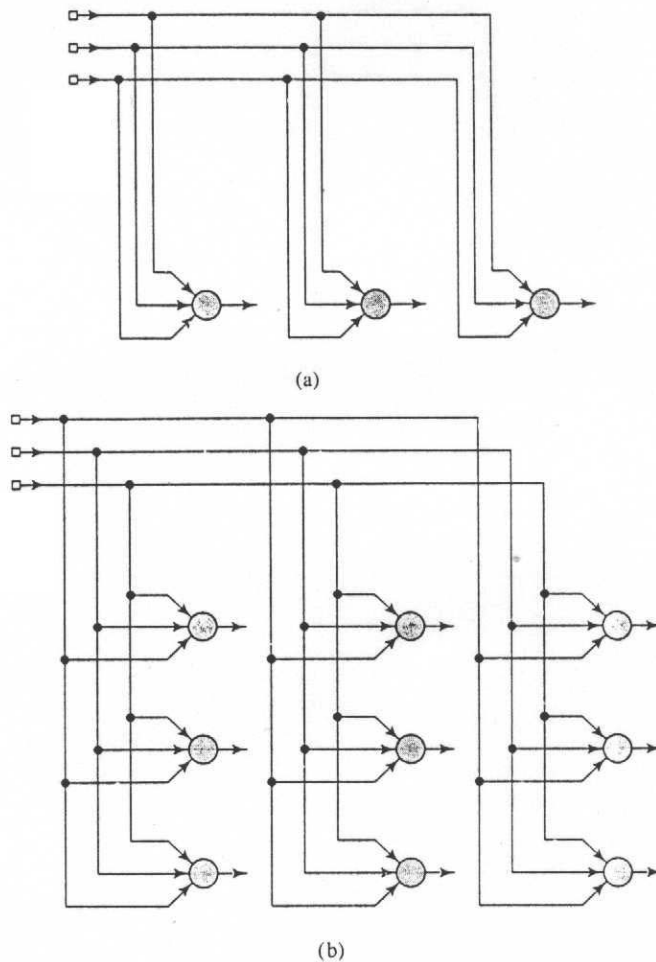
Berbeda dengan jaringan umpan-maju yang hanya mempunyai satu arah perhitungan, maka jaringan berulang mempunyai paling sedikit satu kalang umpan-balik. Adanya kalang umpan-balik dimaksudkan untuk meningkatkan kemampuan belajar dari jaringan yang akhirnya akan meningkatkan kinerjanya.



(a) (b)  
 Gambar 4 (a) Jaringan berulang tanpa neurons tersembunyi  
 (b) Jaringan berulang dengan neurons tersembunyi

4. **Jaringan berlarik** (*lattice network*)

Suatu jaringan berlarik terdiri atas beberapa deret neurons yang terhubung pada suatu himpunan masukan. Ukuran jaringan berlarik menunjukkan jumlah neurons yang tersusun dalam deret yang bersangkutan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 bahwa setiap simpul masukan dihubungkan dengan semua neurons dalam jaringan, dan juga bahwa jaringan berlarik adalah jaringan umpan-maju dengan keluaran yang disusun dalam baris dan kolom.

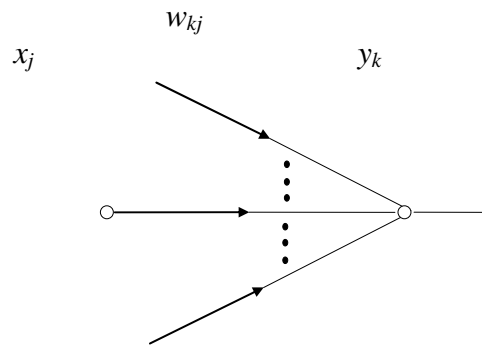


Gambar 5 (a) Jaringan berlarik 1-dimensi dengan 3 neurons  
(b) Jaringan berlarik 2-dimensi dengan 3x3 neurons

## Proses Pembelajaran

Selain arsitektur jaringan yang disesuaikan dengan algoritma yang akan dipakai, satu hal lain yang harus diperhatikan adalah cara memberikan pelajaran pada jaringan dari lingkungannya untuk meningkatkan kinerja. Proses pembelajaran ini ditandai dengan proses perubahan bobot sinapsis sesuai dengan pemberian masukan pada jaringan. Dengan kata lain, belajar adalah suatu proses ketika parameter bebas jaringan syaraf beradaptasi melalui proses berkelanjutan atas rangsangan oleh lingkungan dimana jaringan tersebut digunakan.

Pada Gambar ditunjukkan adanya pasangan simpul isyarat  $x_j$  dan  $y_k$  yang dihubungkan oleh bobot sinapsis  $w_{kj}$ . Dalam hubungan ini, isyarat  $x_j$  disebut aktivitas presinapsis dan isyarat  $y_k$  disebut aktivitas postsinapsis.



Gambar 6. Grafik aliran-isyarat suatu neurons

Jika  $w_{kj}(n)$  menyatakan nilai bobot sinapsis  $w_{kj}$  pada saat ke- $n$ , maka untuk waktu berikutnya berlaku persamaan:

$$w_{kj}(n+1) = w_{kj}(n) + \Delta w_{kj}(n) \quad (3)$$

dengan  $\Delta w_{kj}(n)$  menyatakan perubahan nilai bobot sinapsis.

Postulat pembelajaran Hebb adalah aturan pembelajaran yang tertua dan terkenal yang diturunkan berdasarkan pengamatannya sebagai ahli psikologi syaraf terhadap tata kerja jaringan syaraf. Aturan pembelajaran Hebb ini dapat diartikan sebagai berikut.

- a) Jika dua neurons pada sisi masing-masing sinapsisnya diaktivasi secara simultan, maka bobot sinapsisnya bertambah secara selektif.
- b) Jika dua neurons pada sisi masing-masing sinapsisnya diaktivasi secara tak-simultan, maka bobot sinapsisnya melemah atau bahkan dihilangkan secara selektif.

Sinapsis yang memenuhi kriteria pembelajaran diatas disebut juga dengan sinapsis Hebb yang mempunyai sifat-sifat sebagai berikut.

- a) Mekanismenya bergantung-waktu, hal ini sesuai dengan kenyataan bahwa modifikasi dalam pembelajaran Hebb bergantung pada waktu nyata terjadinya aktivasi presinapsis dan postsinapsis.
- b) Mekanismenya lokal, hal ini memungkinkan informasi yang berguna secara lokal digunakan oleh sinapsis Hebb untuk menghasilkan modifikasi sinapsis secara lokal yang merupakan fungsi dari masukan. Sifat ini dapat dikembangkan untuk membentuk pembelajaran yang tak-terbimbing.
- c) Mekanismenya interaktif, yaitu bahwa pembelajaran Hebb bergantung pada interaksi sebenarnya antara presinapsis dan postsinapsis, dalam arti bahwa prediksi tidak dapat diamati hanya dari salah satu sisi aktivitasnya.
- d) Mekanismenya korelasional, yang secara statistika berarti bahwa perubahan bobot sinapsis yang efektif adalah pengaruh dari kejadian-bersama (*co-occurrence*) antara sisi presinapsis dan postsinapsis.

Secara matematis model pembelajaran Hebb didefinisikan sebagai:

$$\Delta w_{kj}(n) = F(y_k(n), x_j(n)) \quad (4)$$

dengan  $F(\cdot, \cdot)$  adalah operator fungsi yang memetakan aktivasi presinapsis  $x_j(n)$  ke domain  $y_k(n)$ . Sebagai contoh kasus dapat didefinisikan aturan perubahan bobot sinapsis pembelajaran Hebb, yaitu:

$$\Delta w_{kj}(n) = \eta y_k(n) x_j(n) \quad (5)$$

dengan  $\eta$  adalah konstanta positif yang menentukan laju pembelajaran.

Persamaan (5) adalah bentuk paling sederhana untuk aturan pembelajaran Hebb, yaitu bahwa perubahan bobot sinapsis sebagai ekspresi hasil kali isyarat datang (aktivasi presinapsis,  $x_j(n)$ ) dengan isyarat keluar (aktivasi postsinapsis,  $y_k(n)$ ). Namun persamaan ini akan memberikan pertumbuhan bobot yang eksponensial, sehingga diperlukan suatu mekanisme pembatasan pertumbuhan bobot dengan memberikan faktor pelupa tak-linear pada persamaan (5), yaitu:

$$\Delta w_{kj}(n) = \eta y_k(n) x_j(n) - \alpha y_k(n) w_{kj}(n) \quad (6)$$

dengan  $\alpha$  adalah konstanta positif baru dan  $w_{kj}(n)$  adalah bobot sinapsis pada waktu  $n$ .

Ekivalensinya, dapat dinotasikan sebagai:

$$\Delta w_{kj}(n) = \alpha y_k(n) [c x_j(n) - w_{kj}(n)] \quad (7)$$

dengan  $c = \eta / \alpha$ .

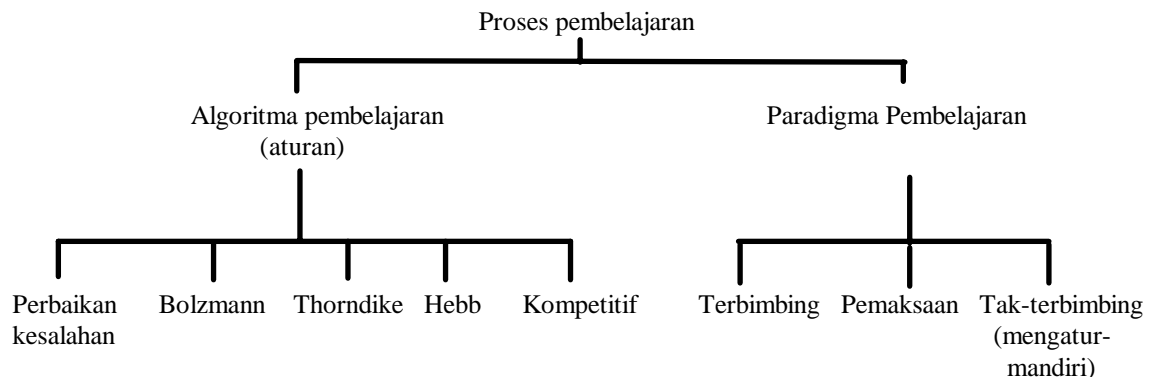
Persamaan (7) dikenal sebagai aturan aktivitas umum (*generalized activity product rule*) yang mempunyai implikasi bahwa untuk masukan dengan kondisi  $x_j(n) < w_{kj}(n) / c$ , maka bobot sinapsis modifikasi  $w_{kj}(n+1)$  pada waktu  $(n+1)$  akan secara nyata berkurang berbanding lurus terhadap aktivitas postsinapsis  $y_k(n)$ .

Selain ditandai dengan adanya perubahan nilai bobot sinapsis, proses pembelajaran juga ditentukan dengan memilih suatu nilai laju pembelajaran  $\eta$  yang menjamin konvergensi proses. Untuk itu diperlukan nilai  $\eta$  yang berubah terhadap waktu, sehingga memenuhi persamaan:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \eta(n) = 0 \quad \text{dan} \quad \sum_{n=0}^{\infty} \eta(n) = \infty$$

Namun biasanya dalam praktek dipilih nilai  $\eta$  berupa nilai konstan kecil dan konvergensi proses diukur dengan menghitung kesalahan rerata-kwadrat pada bobot sinapsis dalam orde  $\eta$ .

Secara umum taksonomi proses pembelajaran dapat dilihat pada Gambar 7. Proses pembelajaran dikelompokkan menjadi dua bagian utama, yaitu yang termasuk dalam aturan atau algoritma pembelajaran dan yang dimaksud dengan paradigma pembelajaran. Algoritma pembelajaran menentukan aturan bagaimana perubahan bobot sinapsis diperoleh, sedangkan paradigma pembelajaran menentukan model pembelajaran untuk lingkungan tempat jaringan syaraf akan dioperasikan.



Gambar 7 Taksonomi proses pembelajaran