

Pertemuan 12

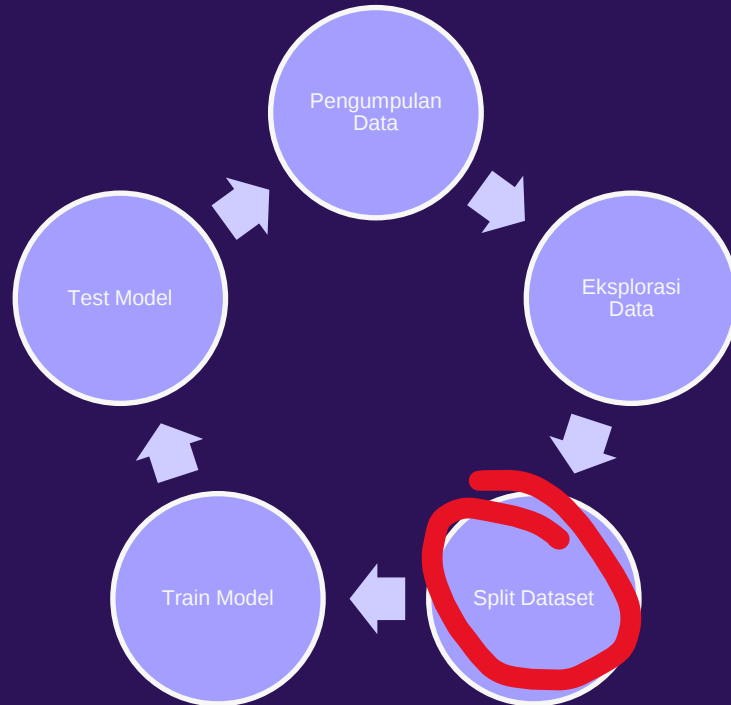
Machine Learning – Backpropagation

Data Science

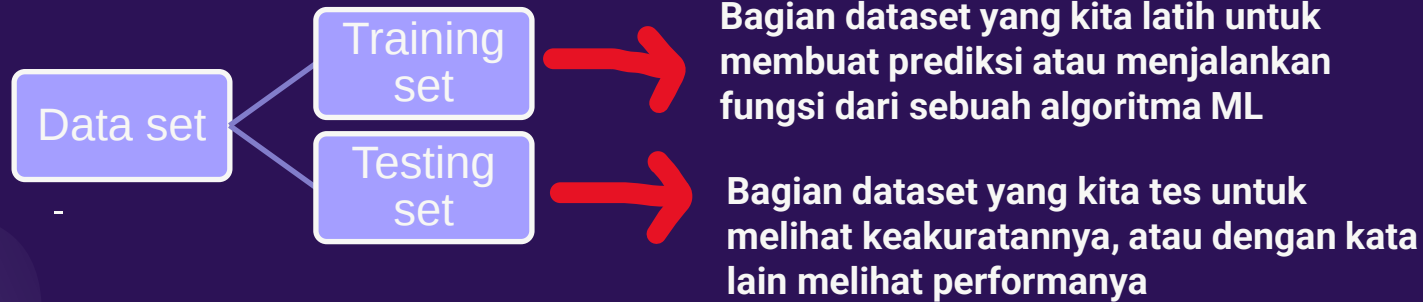
Pingky Dezar Zulkarnain, SE., M.Sc., Ph.D

Putri Cholidhazia, ST., Mkom

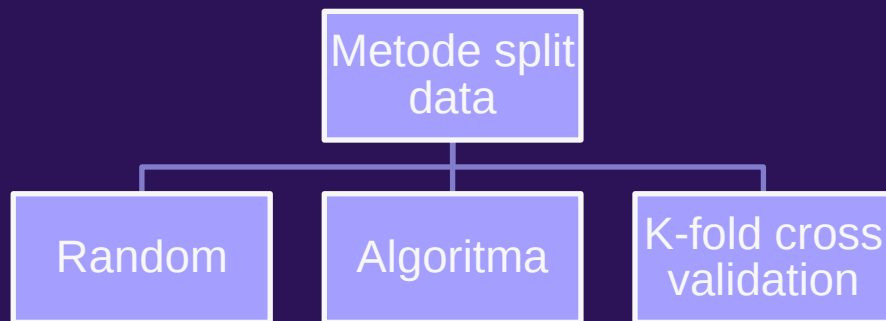
Cara Kerja Machine Learning



Split Data



Metode Split Data



Random

No	X1	X2	Y
1	1	1	1
2	1	0	0
3	0	1	0
4	0	0	0
5	1	1	1
6	1	0	0
7	0	1	0
8	0	0	0
9	1	1	1
10	1	0	0

Membagi Data Latih &
Data Uji:
 $70 : 30 = 7 : 3$
 $80 : 20 = 8 : 2$
 $90 : 10 = 9 : 1$

Data Latih

No	X1	X2	Y
1	1	1	1
2	1	0	0
3	0	1	0
4	0	0	0
5	1	1	1
6	1	0	0
7	0	1	0

Data Uji

No	X1	X2	Y
8	0	0	0
9	1	1	1
10	1	0	0

K-Fold Cross Validation

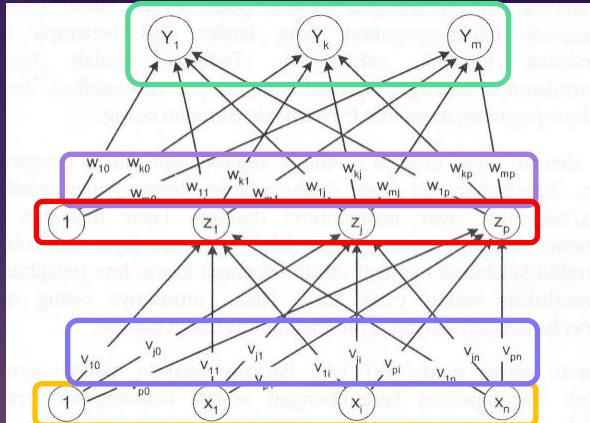
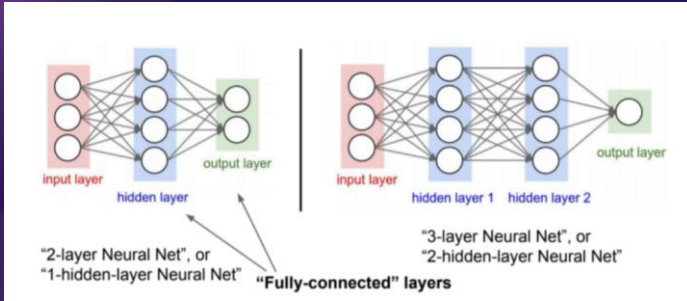


No	X1	X2	Y
1	1	1	1
2	1	0	0
3	0	1	0
4	0	0	0
5	1	1	1
6	1	0	0
7	0	1	0
8	0	0	0
9	1	1	1
10	1	0	0

Iterasi 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Iterasi 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Iterasi 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Iterasi 4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Backpropagation

Arsitektur Backpropagation



Output

Hidden Layer

Input

Lapisan terakhir dari neuron yang menghasilkan output system

lapisan antara input layer dan output layer, dimana artificial neuron yang memiliki sekumpulan input pembobot 'weight' dan prosedur untuk menghasilkan output neuron melalui Fungsi aktivasi.

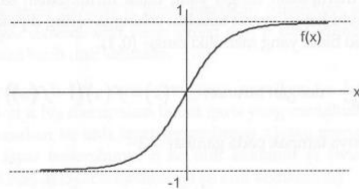
Lapisan yang membawa data masuk kedalam system untuk kemudian di proses pada layer selanjutnya.

Fungsi Aktivasi



Algoritma Backpropagation

layar keluaran. Pada layar keluaran, fungsi aktivasi yang dipakai adalah fungsi identitas : $f(x) = x$



Gambar 7.3

7.1.3 Pelatihan Standar Backpropagation

Pelatihan Backpropagation meliputi 3 fase. Fase pertama adalah fase maju. Pola masukan dihitung maju mulai dari layar masukan hingga layar keluaran menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Fase kedua adalah fase mundur. Selisih antara keluaran jaringan dengan target yang diinginkan merupakan kesalahan yang terjadi. Kesalahan tersebut dipropagasikan mundur, dimulai dari garis yang berhubungan langsung dengan unit-unit di layar keluaran. Fase ketiga adalah modifikasi bobot untuk menurunkan kesalahan yang terjadi.

• Fase I : Propagasi maju

Selama propagasi maju, sinyal masukan ($= x_i$) dipropagasikan ke layar tersembunyi menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Keluaran dari setiap unit layar tersembunyi ($= z_i$) tersebut selanjutnya dipropagasikan maju lagi ke layar tersembunyi di atasnya menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Demikian seterusnya hingga menghasilkan keluaran jaringan ($= y_k$).

Berikutnya, keluaran jaringan ($= y_k$) dibandingkan dengan target yang harus dicapai ($= t_k$). Selisih $t_k - y_k$ adalah kesalahan yang terjadi. Jika kesalahan ini lebih kecil dari batas toleransi yang ditentukan, maka iterasi dihentikan. Akan tetapi apabila kesalahan masih lebih besar dari batas toleransinya, maka bobot setiap garis dalam jaringan akan dimodifikasi untuk mengurangi kesalahan yang terjadi.

• Fase II : Propagasi mundur

Berdasarkan kesalahan $t_k - y_k$, dihitung faktor δ_k ($k = 1, 2, \dots, m$) yang dipakai untuk mendistribusikan kesalahan di unit y_k ke semua unit tersembunyi yang terhubung langsung dengan y_k . δ_k juga dipakai untuk mengubah bobot garis yang berhubungan langsung dengan unit keluaran.

Dengan cara yang sama, dihitung faktor δ_i di setiap unit di layar tersembunyi sebagai dasar perubahan bobot semua garis yang berasal dari unit tersembunyi di layar di bawahnya. Demikian seterusnya hingga semua faktor δ di unit tersembunyi yang berhubungan langsung dengan unit masukan dihitung.

• Fase III : Perubahan bobot

Setelah semua faktor δ dihitung, bobot semua garis dimodifikasi bersamaan. Perubahan bobot suatu garis didasarkan atas faktor δ neuron di layar atasnya. Sebagai contoh, perubahan bobot garis yang menuju ke layar keluaran didasarkan atas δ_k yang ada di unit keluaran.

Ketiga fase tersebut diulang-ulang terus hingga kondisi penghentian dipenuhi. Umumnya kondisi penghentian yang sering dipakai adalah jumlah iterasi atau kesalahan. Iterasi akan dihentikan jika jumlah iterasi yang dilakukan sudah melebihi jumlah maksimum iterasi yang ditetapkan, atau jika kesalahan yang terjadi sudah lebih kecil dari batas toleransi yang diijinkan.

Algoritma Backpropagation

Algoritma pelatihan untuk jaringan dengan satu layer tersembunyi (dengan fungsi aktivasi sigmoid biner) adalah sebagai berikut :

Langkah 0 : Inisialisasi semua bobot dengan bilangan acak kecil

Langkah 1 : Jika kondisi penghentian belum terpenuhi, lakukan langkah 2 – 9

Langkah 2 : Untuk setiap pasang data pelatihan, lakukan langkah 3 – 8
Fase I : Propagasi maju

Langkah 3 : Tiap unit masukan menerima sinyal dan meneruskannya ke unit tersembunyi di atasnya

Langkah 4 : Hitung semua keluaran di unit tersembunyi z_j ($j = 1, 2, \dots, p$)

$$z_{netj} = v_{jo} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ji}$$

$$z_j = f(z_{netj}) = \frac{1}{1 + e^{-z_{netj}}}$$

Langkah 5 : Hitung semua keluaran jaringan di unit y_k ($k = 1, 2, \dots, m$)

$$y_{netk} = w_{ko} + \sum_{j=1}^p z_j w_{kj}$$

$$y_k = f(y_{netk}) = \frac{1}{1 + e^{-y_{netk}}}$$

Fase II : Propagasi mundur

Langkah 6 : Hitung faktor δ unit keluaran berdasarkan kesalahan di setiap unit keluaran y_k ($k = 1, 2, \dots, m$)

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_{netk}) = (t_k - y_k)$$

δ_k merupakan unit kesalahan yang akan dipakai dalam perubahan bobot layer di bawahnya (langkah 7)

Hitung suku perubahan bobot w_{kj} (yang akan dipakai nanti untuk merubah bobot w_{kj}) dengan laju percepatan α

$$\Delta w_{kj} = \alpha \delta_k z_j \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, m \quad ; \quad j = 0, 1, \dots, p$$

Langkah 7 : Hitung faktor δ unit tersembunyi berdasarkan kesalahan di setiap unit tersembunyi z_j ($j = 1, 2, \dots, p$)

$$\delta_{netj} = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{kj}$$

Faktor δ unit tersembunyi :

$$\delta_j = \delta_{netj} f'(z_{netj}) = \delta_{netj} z_j (1 - z_j)$$

Hitung suku perubahan bobot v_{ji} (yang akan dipakai nanti untuk merubah bobot v_{ji})

$$\Delta v_{ji} = \alpha \delta_j x_i \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, p \quad ; \quad i = 0, 1, \dots, n$$

Fase III : Perubahan Bobot

Langkah 8 : Hitung semua perubahan bobot

Perubahan bobot garis yang menuju ke unit keluaran :

$$w_{kj}(\text{baru}) = w_{kj}(\text{lama}) + \Delta w_{kj} \quad (k = 1, 2, \dots, m \quad ; \quad j = 0, 1, \dots, p)$$

Perubahan bobot garis yang menuju ke unit tersembunyi :

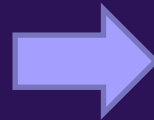
$$v_{ji}(\text{baru}) = v_{ji}(\text{lama}) + \Delta v_{ji} \quad (j = 1, 2, \dots, p \quad ; \quad i = 0, 1, \dots, n)$$

Setelah pelatihan selesai dilakukan, jaringan dapat dipakai untuk pengenalan pola. Dalam hal ini, hanya propagasi maju (langkah 4 dan 5) saja yang dipakai untuk menentukan keluaran jaringan.

Studi Kasus

Data Set

No	x1	x2	Y
1	1	1	0
2	1	0	1
3	0	1	1
4	0	0	0
5	1	1	0
6	1	0	1



Data Latih

No	x1	x2	Y
1	1	1	0
2	1	0	1
3	0	1	1
4	0	0	0

Data Uji

No	x1	x2	Y
5	1	1	0
6	1	0	1

Studi Kasus

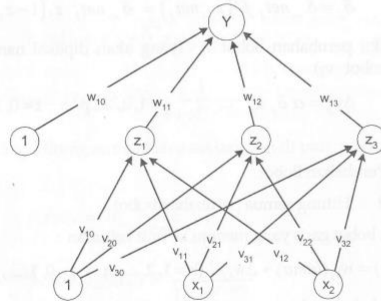
Apabila fungsi aktivasi yang dipakai bukan sigmoid biner, maka langkah 4 dan 5 harus disesuaikan. Demikian juga turunannya pada langkah 6 dan 7

Contoh 7.1

Gunakan Backpropagation dengan sebuah layar tersembunyi (dengan 3 unit) untuk mengenali fungsi logika XOR dengan 2 masukan x_1 dan x_2 . Buatlah iterasi untuk menghitung bobot jaringan untuk pola pertama ($x_1 = 1, x_2 = 1$ dan $t = 0$). Gunakan laju pemahaman $\alpha = 0.2$

Penyelesaian

Arsitektur Backpropagation dengan 1 layar tersembunyi yang terdiri dari 3 unit untuk mengenali fungsi XOR tampak pada gambar 7.4



Gambar 7.4

Mula-mula bobot diberi nilai acak yang kecil (range $[-1, 1]$). Misal didapat bobot seperti tabel 7.1 (bobot dari layar masukan ke layar tersembunyi = v_{ji}) dan 7.2 (bobot dari layar masukan ke layar tersembunyi = w_{ki})

Tabel 7.1

	z_1	z_2	z_3
x_1	0.2	0.3	-0.1
x_2	0.3	0.1	-0.1
1	-0.3	0.3	0.3

Tabel 7.2

	y
z_1	0.5
z_2	-0.3
z_3	-0.4
1	-0.1

Langkah 4: Hitung keluaran unit tersembunyi (z_i)

$$z_net_i = v_{jo} + \sum_{j=1}^2 x_j v_{ji}$$

$$z_net_1 = -0.3 + 1(0.2) + 1(0.3) = 0.2$$

$$z_net_2 = 0.3 + 1(0.3) + 1(0.1) = 0.7$$

$$z_net_3 = 0.3 + 1(-0.1) + 1(-0.1) = 0.1$$

$$z_i = f(z_net_i) = \frac{1}{1 + e^{-z_net_i}}$$

$$z_1 = \frac{1}{1 + e^{-0.2}} = 0.55 ; z_2 = \frac{1}{1 + e^{-0.7}} = 0.67 ; z_3 = \frac{1}{1 + e^{-0.1}} = 0.52$$

Studi Kasus

Langkah 5 : Hitung keluaran unit y_k

$$y_{\text{net } k} = w_{ko} + \sum_{j=1}^3 z_j w_{kj} =$$

Karena jaringan hanya memiliki sebuah unit keluaran y maka $y_{\text{net } k}$
 $= y_{\text{net}} = w_{10} + \sum_{j=1}^3 z_j w_{1j} = -0.1 + 0.55 (0.5) + 0.67 (-0.3) + 0.52 (-0.4) =$
 -0.24

$$y = f(y_{\text{net}}) = \frac{1}{1 + e^{-y_{\text{net}}}} = \frac{1}{1 + e^{0.24}} = 0.44$$

Langkah 6 : Hitung faktor δ di unit keluaran y_k

$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_{\text{net } k}) = (t_k - y_k) y_k (1 - y_k)$. Karena jaringan
 hanya memiliki sebuah keluaran maka $\delta_k = \delta = (t - y) y (1 - y) =$
 $(0 - 0.44) (0.44) (1 - 0.44) = -0.11$

Suku perubahan bobot w_{kj} (dengan $\alpha = 0.2$) :

$$\Delta w_{kj} = \alpha \delta_k z_j = \alpha \delta z_j \quad ; \quad j = 0, 1, \dots, 3$$

$$\Delta w_{10} = 0.2 (-0.11) (1) = -0.02$$

$$\Delta w_{11} = 0.2 (-0.11) (0.55) = -0.01$$

$$\Delta w_{12} = 0.2 (-0.11) (0.67) = -0.01$$

$$\Delta w_{13} = 0.2 (-0.11) (0.52) = -0.01$$

Langkah 7 : Hitung penjumlahan kesalahan dari unit tersembunyi
 $(=\delta)$

$$\delta_{\text{net } 1} = (-0.11) (0.5) = -0.05$$

$$\delta_{\text{net } 2} = (-0.11) (-0.3) = 0.03$$

$$\delta_{\text{net } 3} = (-0.11) (-0.4) = 0.04$$

Faktor kesalahan δ di unit tersembunyi :

$$\delta_j = \delta_{\text{net } j} f'(z_{\text{net } j}) = \delta_{\text{net } j} z_j (1 - z_j)$$

$$\delta_1 = -0.05 (0.55) (1 - 0.55) = -0.01$$

$$\delta_2 = 0.03 (0.67) (1 - 0.67) = 0.01$$

$$\delta_3 = 0.04 (0.52) (1 - 0.52) = 0.01$$

Suku perubahan bobot ke unit tersembunyi $\Delta v_{ji} = \alpha \delta_j x_i$ ($j =$
 $1, 2, 3 ; i = 0, 1, 2$)

Tabel 7.3

	z_1	z_2	z_3
x_1	$\Delta v_{11} = (0.2) (-0.01)$ (1) = 0	$\Delta v_{21} = (0.2) (0.01)$ (1) = 0	$\Delta v_{31} = (0.2) (0.01)$ (1) = 0
x_2	$\Delta v_{12} = (0.2) (-0.01)$ (1) = 0	$\Delta v_{22} = (0.2) (0.01)$ (1) = 0	$\Delta v_{32} = (0.2) (0.01)$ (1) = 0
1	$\Delta v_{10} = (0.2) (-0.01)$ (1) = 0	$\Delta v_{20} = (0.2) (0.01)$ (1) = 0	$\Delta v_{30} = (0.2) (0.01)$ (1) = 0

Langkah 8 : Hitung semua perubahan bobot

Perubahan bobot unit keluaran :

$$w_{kj}(\text{baru}) = w_{kj}(\text{lama}) + \Delta w_{kj} \quad (k = 1 ; j = 0, 1, \dots, 3)$$

Studi Kasus

Langkah 5 : Hitung keluaran unit y_k

$$y_{\text{net } k} = w_{ko} + \sum_{j=1}^3 z_j w_{kj} =$$

Karena jaringan hanya memiliki sebuah unit keluaran y maka $y_{\text{net } k}$
 $= y_{\text{net}} = w_{10} + \sum_{j=1}^3 z_j w_{1j} = -0.1 + 0.55 (0.5) + 0.67 (-0.3) + 0.52 (-0.4) =$
 -0.24

$$y = f(y_{\text{net}}) = \frac{1}{1 + e^{-y_{\text{net}}}} = \frac{1}{1 + e^{-0.24}} = 0.44$$

Langkah 6 : Hitung faktor δ di unit keluaran y_k

$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_{\text{net } k}) = (t_k - y_k) y_k (1 - y_k)$. Karena jaringan
 hanya memiliki sebuah keluaran maka $\delta_k = \delta = (t - y) y (1 - y) =$
 $(0 - 0.44) (0.44) (1 - 0.44) = -0.11$

Suku perubahan bobot w_{kj} (dengan $\alpha = 0.2$) :

$$\Delta w_{kj} = \alpha \delta_k z_j = \alpha \delta z_j \quad ; \quad j = 0, 1, \dots, 3$$

$$\Delta w_{10} = 0.2 (-0.11) (1) = -0.02$$

$$\Delta w_{11} = 0.2 (-0.11) (0.55) = -0.01$$

$$\Delta w_{12} = 0.2 (-0.11) (0.67) = -0.01$$

$$\Delta w_{13} = 0.2 (-0.11) (0.52) = -0.01$$

Langkah 7 : Hitung penjumlahan kesalahan dari unit tersembunyi
 $(=\delta)$

$$\delta_{\text{net } 1} = (-0.11) (0.5) = -0.05$$

$$\delta_{\text{net } 2} = (-0.11) (-0.3) = 0.03$$

$$\delta_{\text{net } 3} = (-0.11) (-0.4) = 0.04$$

Faktor kesalahan δ di unit tersembunyi :

$$\delta_j = \delta_{\text{net } j} f'(z_{\text{net } j}) = \delta_{\text{net } j} z_j (1 - z_j)$$

$$\delta_1 = -0.05 (0.55) (1 - 0.55) = -0.01$$

$$\delta_2 = 0.03 (0.67) (1 - 0.67) = 0.01$$

$$\delta_3 = 0.04 (0.52) (1 - 0.52) = 0.01$$

Suku perubahan bobot ke unit tersembunyi $\Delta v_{ji} = \alpha \delta_j x_i$ ($j =$
 $1, 2, 3 ; i = 0, 1, 2$)

Tabel 7.3

	z_1	z_2	z_3
x_1	$\Delta v_{11} = (0.2) (-0.01)$ (1) = 0	$\Delta v_{21} = (0.2) (0.01)$ (1) = 0	$\Delta v_{31} = (0.2) (0.01)$ (1) = 0
x_2	$\Delta v_{12} = (0.2) (-0.01)$ (1) = 0	$\Delta v_{22} = (0.2) (0.01)$ (1) = 0	$\Delta v_{32} = (0.2) (0.01)$ (1) = 0
1	$\Delta v_{10} = (0.2) (-0.01)$ (1) = 0	$\Delta v_{20} = (0.2) (0.01)$ (1) = 0	$\Delta v_{30} = (0.2) (0.01)$ (1) = 0

Langkah 8 : Hitung semua perubahan bobot

Perubahan bobot unit keluaran :

$$w_{kj}(\text{baru}) = w_{kj}(\text{lama}) + \Delta w_{kj} \quad (k = 1 ; j = 0, 1, \dots, 3)$$