

Konsep Dasar Deep Learning: Mengapa Perlu Deep?

Banyak diambil dari materi kuliah Introduction to Deep Learning, CMU
Lecture 2 Neural Nets as Universal Approximators

<https://deeplearning.cs.cmu.edu/F20/index.html>

<https://youtu.be/-zSSU-aZvIk>

Kerangka Bahasan

1. Pengantar
2. Deep MLP untuk operasi Boolean universal, mengapa perlu deep?
3. Deep MLP untuk operasi klasifikasi, mengapa perlu deep?
4. Deep learning merupakan representation/feature learning
5. Ringkasan

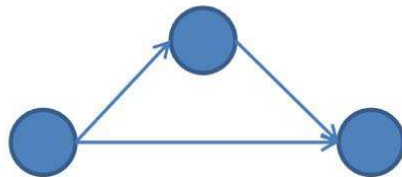
Kerangka Bahasan

1. Pengantar
2. Deep MLP untuk operasi Boolean universal, mengapa perlu deep?
3. Deep MLP untuk operasi klasifikasi, mengapa perlu deep?
4. Deep learning merupakan representation/feature learning.
5. Ringkasan

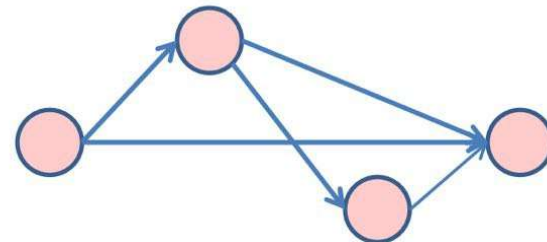
1. Pengantar

Kedalaman Sebuah Jaringan

- Dalam sebuah jaringan berarah atas elemen2 komputasi, dimulai dari *input source nodes* hingga *output sink nodes*.
 - *Source node* : hanya punya relasi keluar
 - *Sink node* : hanya punya relasi masuk
- Kedalaman (*depth*) adalah jalur terpanjang dari *source node* ke *sink node*.



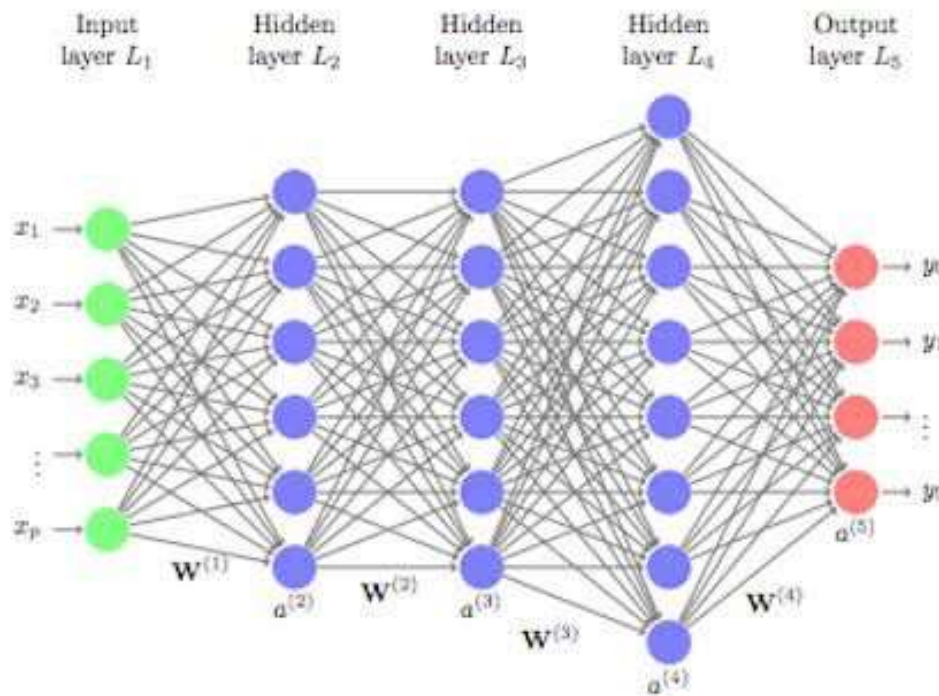
Kedalaman = 2



Kedalaman = 3

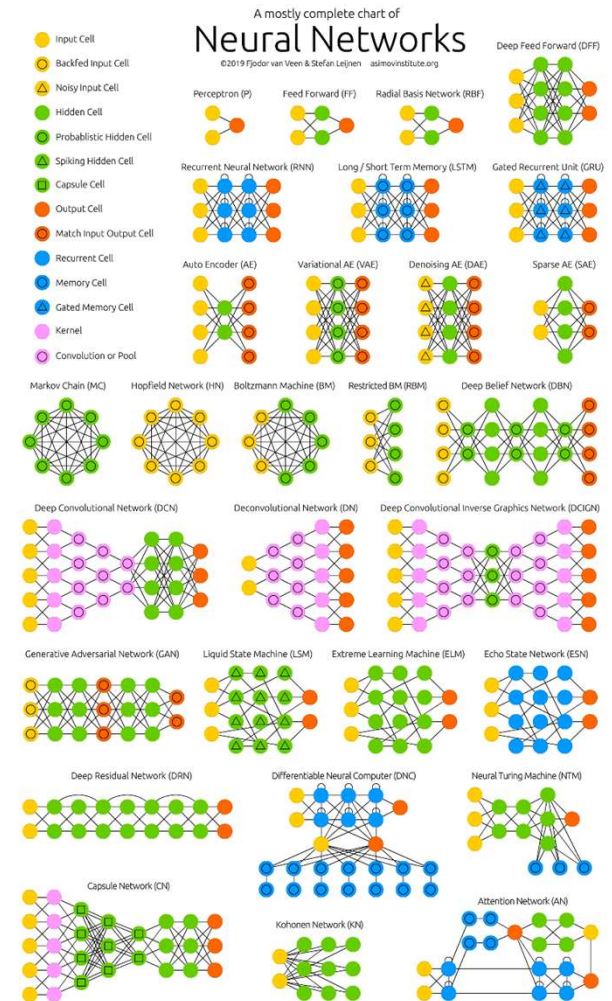
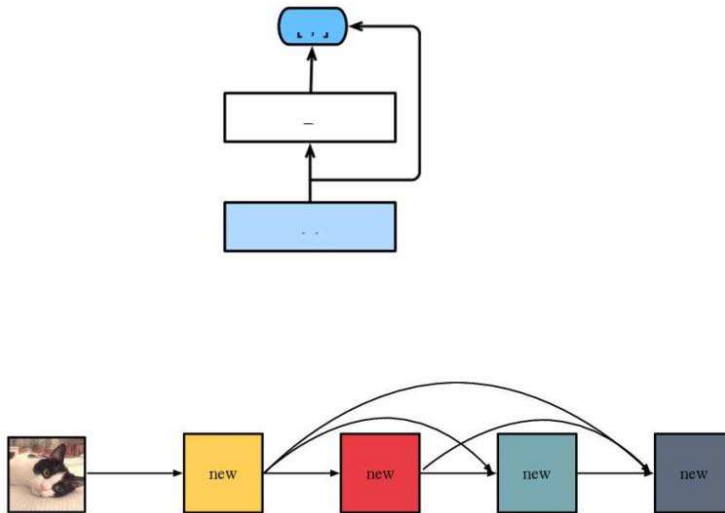
Kedalaman Sebuah Jaringan (cont)

- Pada arsitektur Multi-layer Perceptron (Deep Feed Forward), source nodes pada input layer dan sink nodes pada output layers.



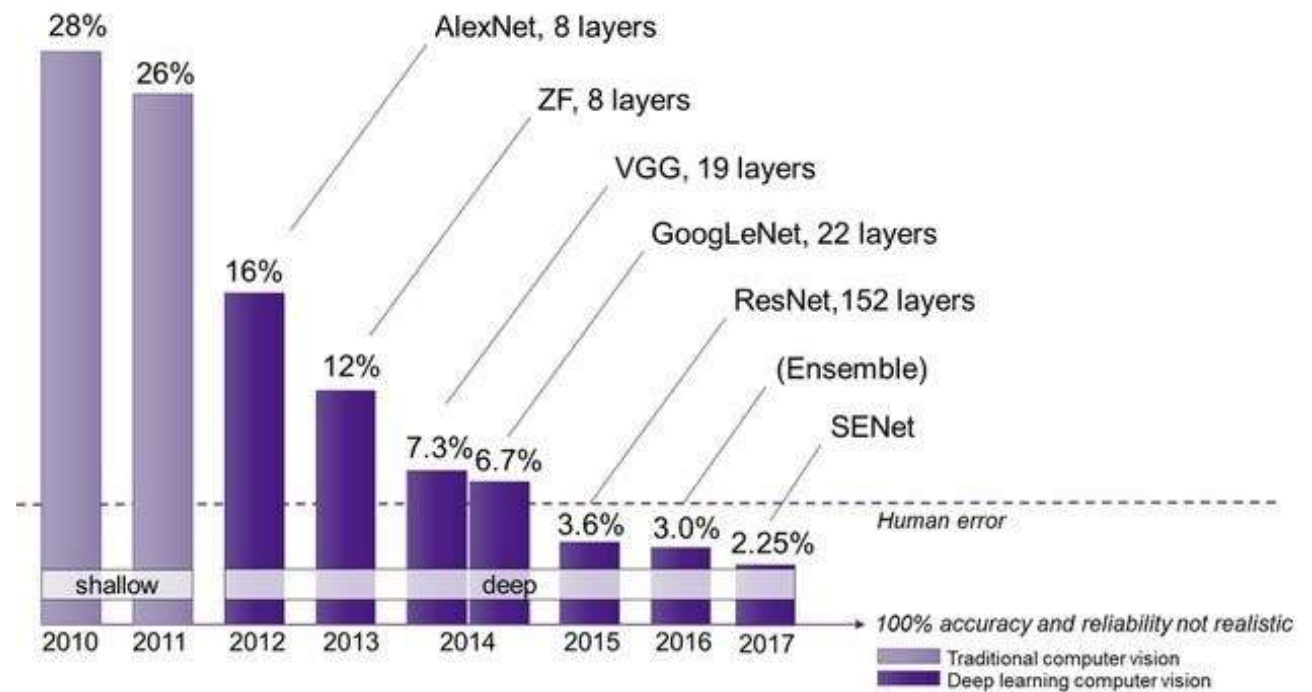
Gb dari <https://prathasaxena30.medium.com/multi-layer-perceptron-with-tensorflow-246b16d4e0dc>

Berbagai Teknik dan Arsitektur Jaringan



Perlu Deep, Mengapa?

- Sebuah jaringan dikatakan dalam / *deep*, jika kedalaman > 2 .
- Mengapa perlu *deep*?
 - Intinya supaya lebih efektif / akurat

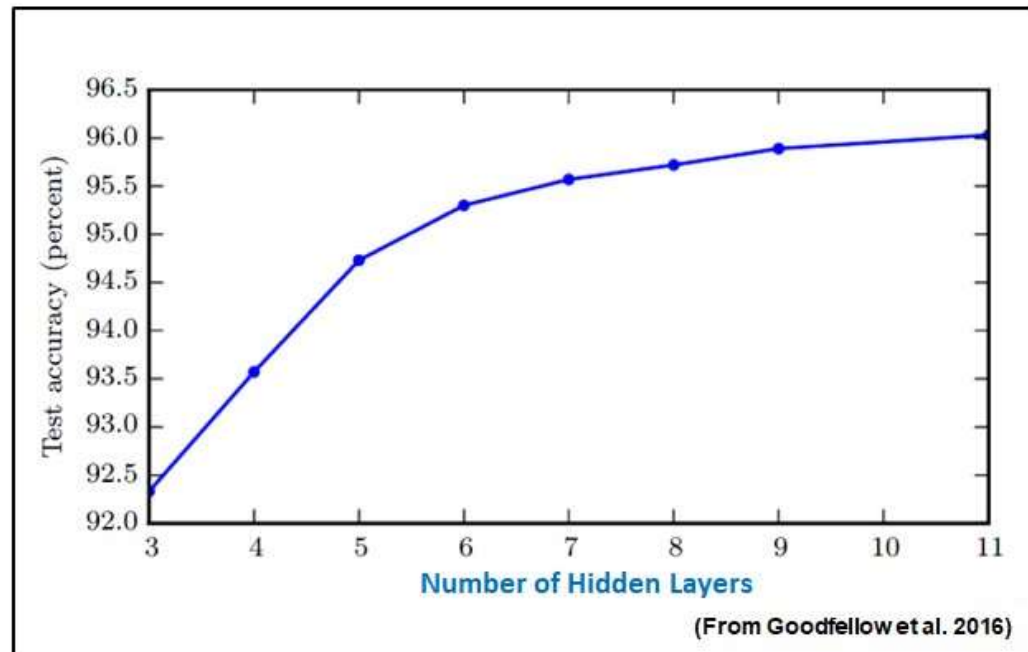


ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC)

Gb dari <https://semiengineering.com/new-vision-technologies-for-real-world-applications/>

Perlu Deep, Mengapa? (cont)

- Efek kedalaman, hasil pengujian dengan input data image foto alamat.



Bahasan Lebih Detail Mengapa Perlu Deep

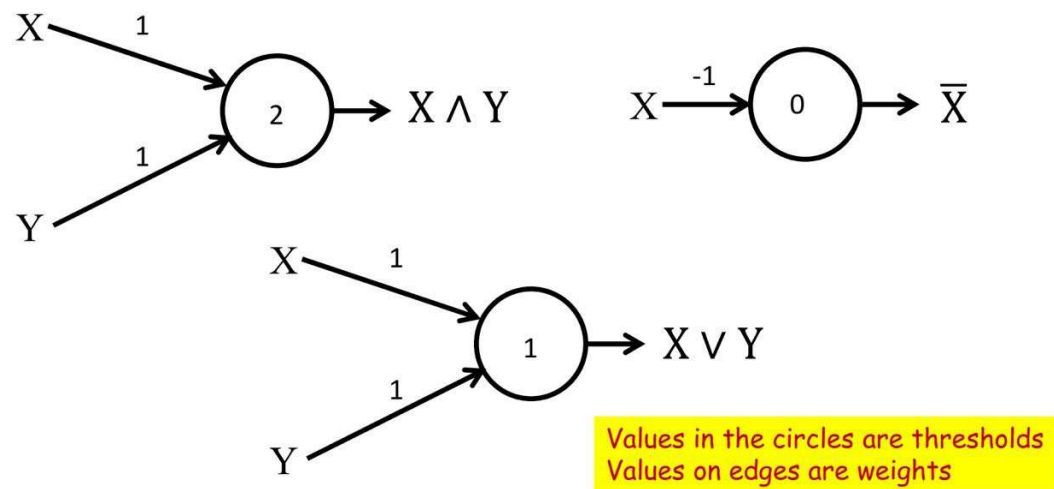
- Mengapa perlu deep?
- Apakah harus deep? Mengapa tidak wide saja?
- Dalam pembahasan ini, kita lihat dengan tinjauan
 - MLP sebagai universal Boolean function
 - MLP sebagai universal classifier
 - Visualisasi feature pada layer-layer arsitektur deep learning untuk image

Kerangka Bahasan

1. Pengantar
 2. Deep MLP untuk operasi boolean universal, mengapa perlu deep?
 3. Deep MLP untuk operasi klasifikasi, mengapa perlu deep?
 4. Deep learning merupakan representation/feature learning
 5. Ringkasan
- Catatan: penekanan kepada pemahaman bahwa arsitektur yang deep itu perlu, tidak kepada detail pembahasan.

Perceptron Sebagai Sebuah Gerbang Boolean

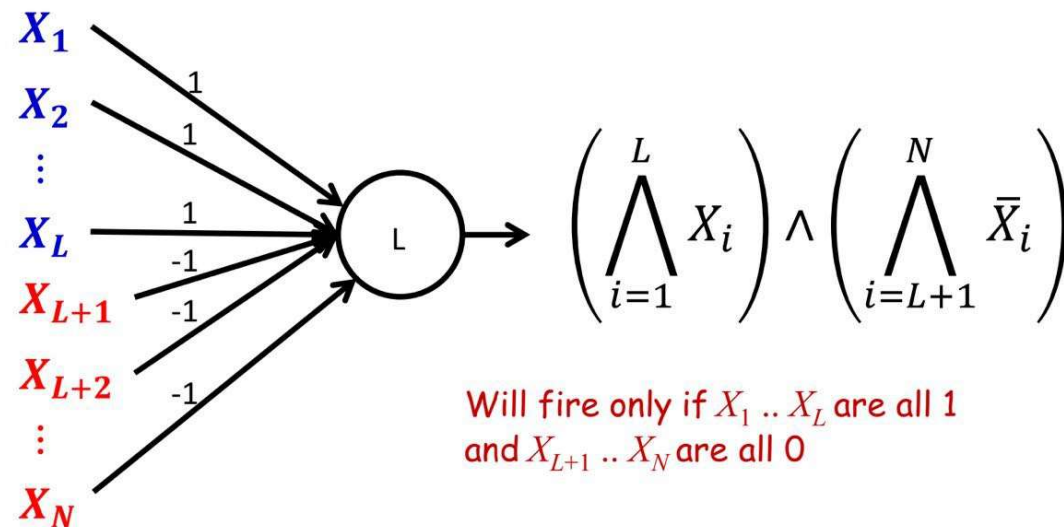
- Perceptron sebagai sebuah gerbang Boolean binary sederhana.
- Fungsi aktivasi sederhana *step* (dengan threshold).



2. Deep MLP untuk Operasi Boolean Universal

Perceptron Sebagai Sebuah Gerbang Boolean

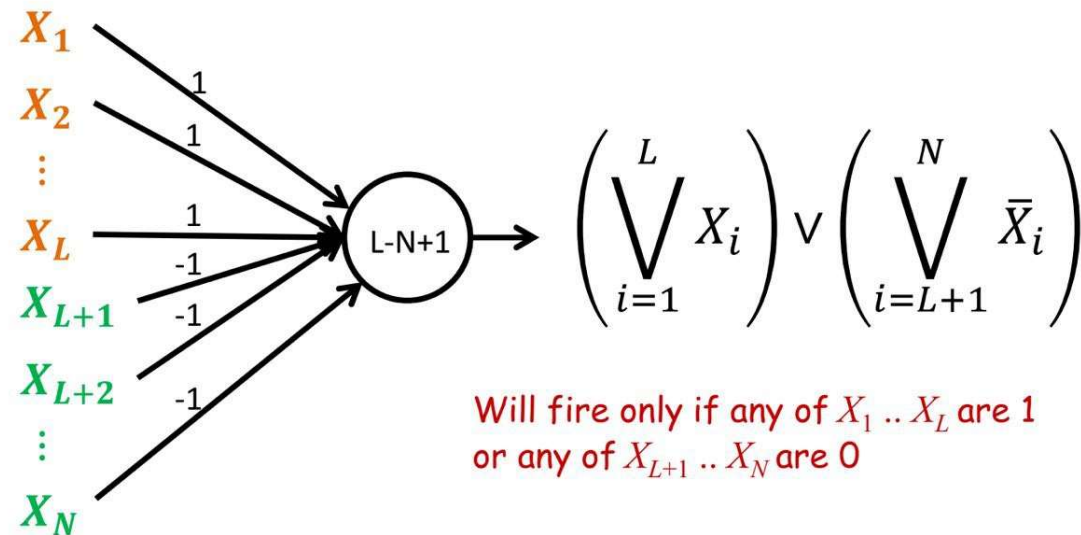
- Perceptron sebagai sebuah gerbang Boolean AND yg universal.



2. Deep MLP untuk Operasi Boolean Universal

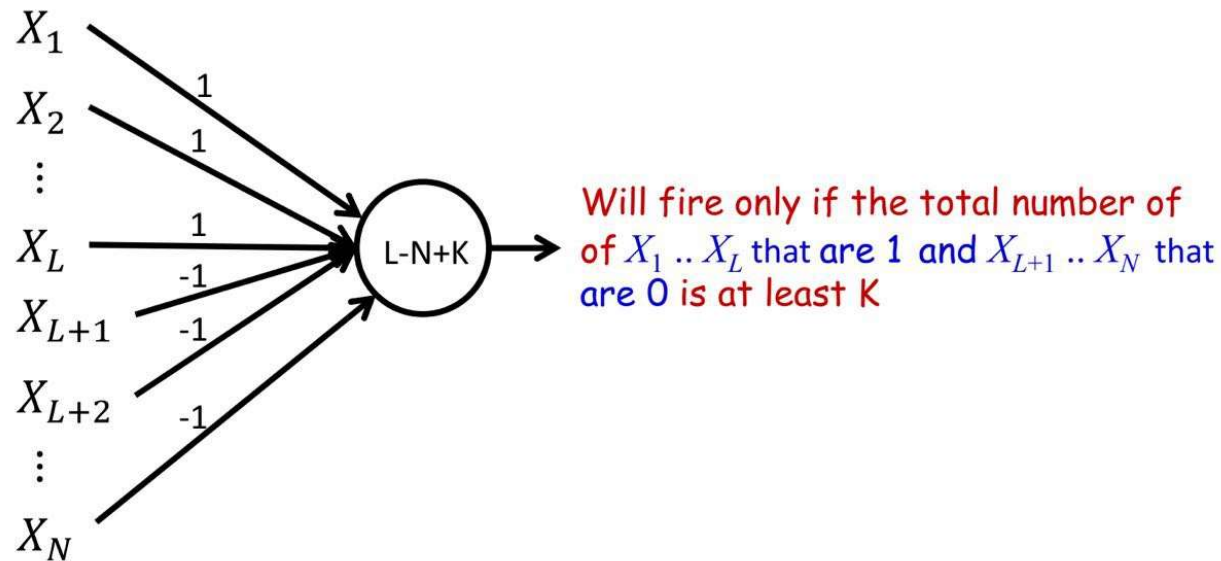
Perceptron Sebagai Sebuah Gerbang Boolean

- Perceptron sebagai sebuah gerbang Boolean OR yg universal.



Perceptron Sebagai Sebuah Gerbang Boolean

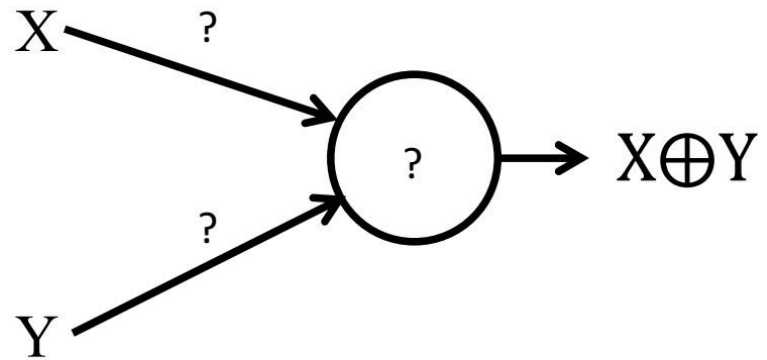
- Perceptron sebagai sebuah gerbang majority.



2. Deep MLP untuk Operasi Boolean Universal

Perceptron Saja Tidak Cukup

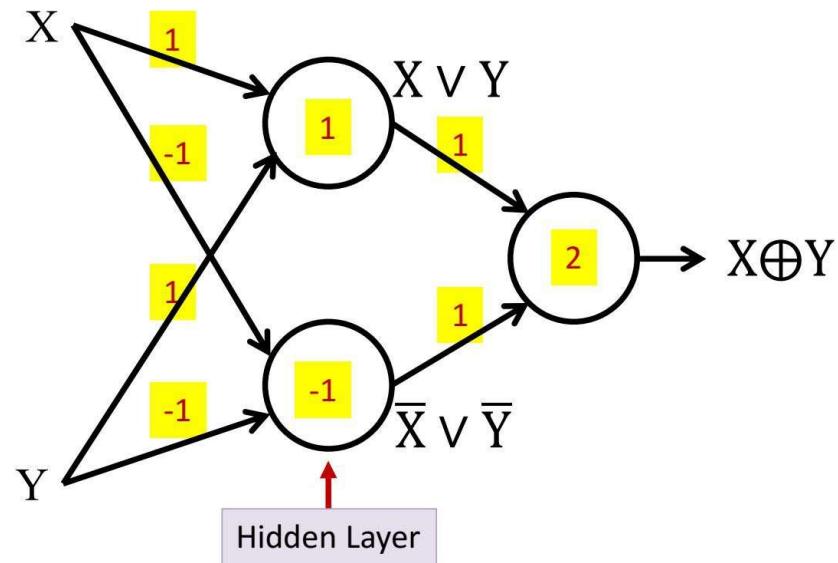
- Perceptron saja tidak bisa memproses sebuah XOR



2. Deep MLP untuk Operasi Boolean Universal

Multi Layer Perceptron

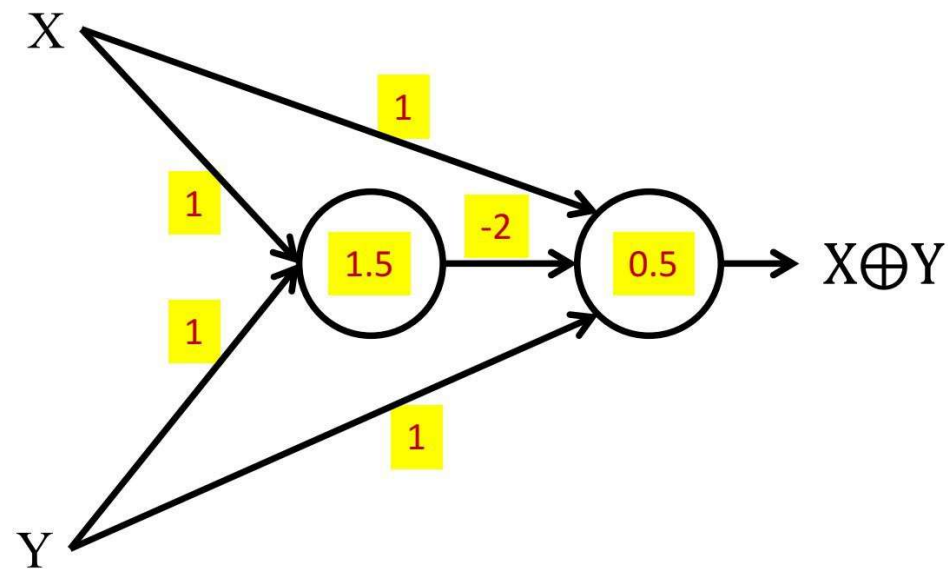
- MLP bisa memproses sebuah XOR



2. Deep MLP untuk Operasi Boolean Universal

Multi Layer Perceptron (cont)

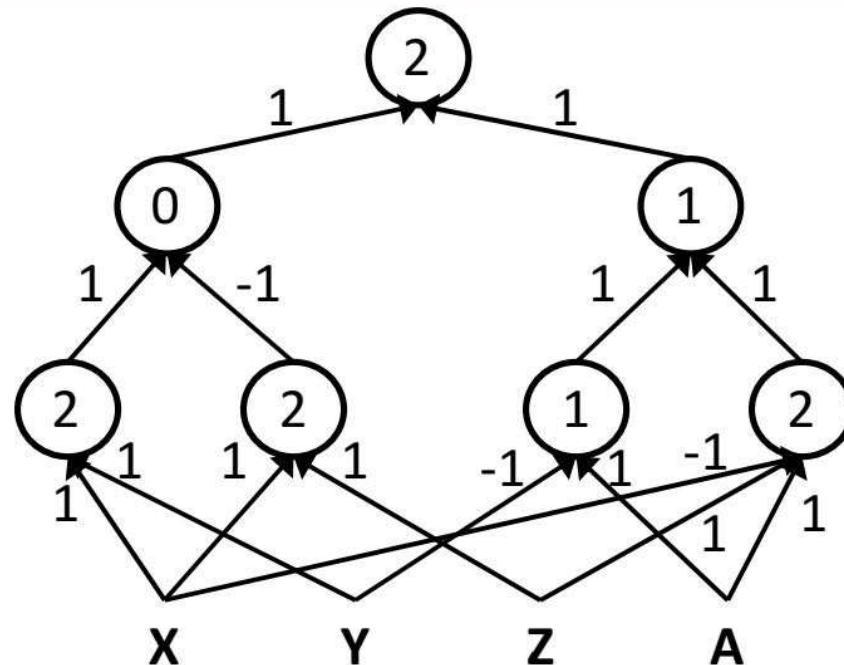
- MLP bisa memproses sebuah XOR dengan dua buah neuron.



Multi Layer Perceptron (cont)

- MLP bisa memproses fungsi Boolean yang kompleks.

$$((A \& \bar{X} \& Z) | (A \& \bar{Y})) \& ((X \& Y) | \overline{(X \& Z)})$$

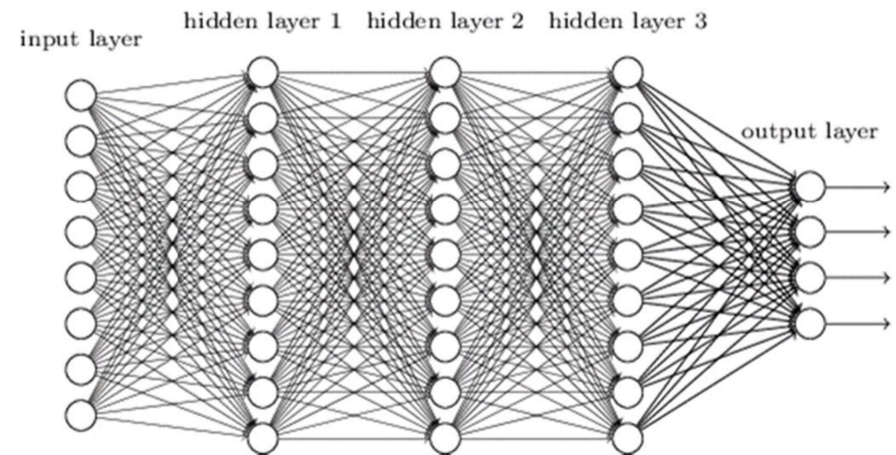


2. Deep MLP untuk Operasi Boolean Universal

Multi Layer Perceptron (cont)

- MLP adalah fungsi Boolean universal.
 - Fungsi Boolean apapun, berapapun jumlah input, berapapun jumlah output.
- Namun, berapa jml layer yg diperlukan?

Deep neural network



Berapa Jml Layer unt Boolean MLP?

- Fungsi Boolean adalah sekedar sebuah *truth table*.
- Truth table: semua kombinasi input unt output 1.
 - Dalam disjunctive normal form (DNF).

Truth Table

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
0	0	1	1	0	1
0	1	0	1	1	1
0	1	1	0	0	1
1	0	0	0	1	1
1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1

Berapa Jml Layer unt Boolean MLP?

- Fungsi Boolean adalah sekedar sebuah *truth table*.
- Truth table: semua kombinasi input unt output 1.
 - Dalam disjunctive normal form (DNF).

$$Y = \bar{X}_1\bar{X}_2X_3X_4\bar{X}_5 + \bar{X}_1X_2\bar{X}_3X_4X_5 + \bar{X}_1X_2X_3\bar{X}_4\bar{X}_5 + X_1\bar{X}_2\bar{X}_3\bar{X}_4X_5 + X_1\bar{X}_2X_3X_4X_5 + X_1X_2\bar{X}_3\bar{X}_4X_5$$

Truth Table

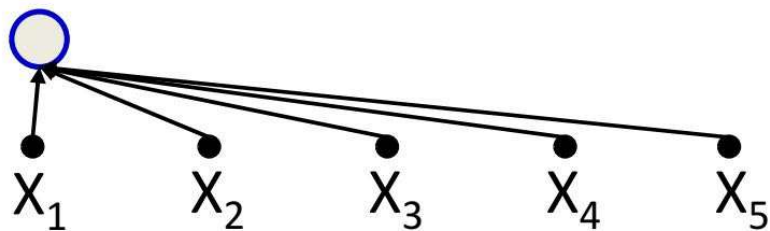
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
0	0	1	1	0	1
0	1	0	1	1	1
0	1	1	0	0	1
1	0	0	0	1	1
1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1

2. Deep MLP untuk Operasi Boolean Universal

Berapa Jml Layer unt Boolean MLP?

- Fungsi Boolean adalah sekedar sebuah *truth table*.
- Truth table: semua kombinasi input unt output 1.
 - Dalam disjunctive normal form (DNF).

$$Y = \bar{X}_1 \bar{X}_2 X_3 X_4 \bar{X}_5 + \bar{X}_1 X_2 \bar{X}_3 X_4 X_5 + \bar{X}_1 X_2 X_3 \bar{X}_4 \bar{X}_5 + X_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \bar{X}_4 X_5 + X_1 \bar{X}_2 X_3 X_4 X_5 + X_1 X_2 \bar{X}_3 \bar{X}_4 X_5$$



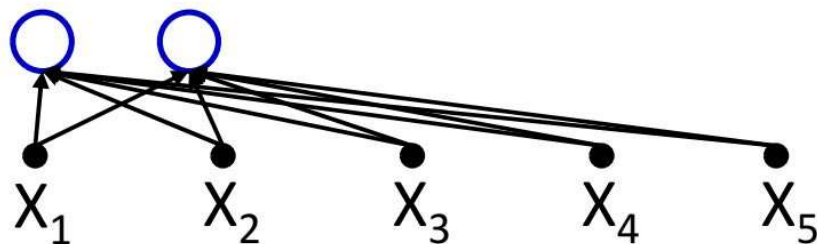
Truth Table

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
0	0	1	1	0	1
0	1	0	1	1	1
0	1	1	0	0	1
1	0	0	0	1	1
1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1

Berapa Jml Layer unt Boolean MLP?

- Fungsi Boolean adalah sekedar sebuah *truth table*.
- Truth table: semua kombinasi input unt output 1.
 - Dalam disjunctive normal form (DNF).

$$Y = \bar{X}_1\bar{X}_2X_3X_4\bar{X}_5 + \bar{X}_1X_2\bar{X}_3X_4X_5 + \bar{X}_1X_2X_3\bar{X}_4\bar{X}_5 + X_1\bar{X}_2\bar{X}_3\bar{X}_4X_5 + X_1\bar{X}_2X_3X_4X_5 + X_1X_2\bar{X}_3\bar{X}_4X_5$$



Truth Table

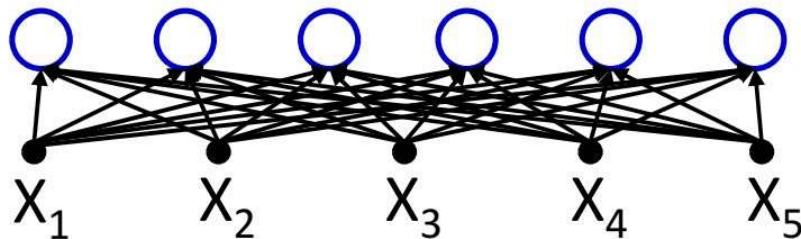
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y
0	0	1	1	0	1
0	1	0	1	1	1
0	1	1	0	0	1
1	0	0	0	1	1
1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1

2. Deep MLP untuk Operasi Boolean Universal

Berapa Jml Layer unt Boolean MLP?

- Fungsi Boolean adalah sekedar sebuah *truth table*.
- Truth table: semua kombinasi input unt output 1.
 - Dalam disjunctive normal form (DNF).

$$Y = \bar{X}_1\bar{X}_2X_3X_4\bar{X}_5 + \bar{X}_1X_2\bar{X}_3X_4X_5 + \bar{X}_1X_2X_3\bar{X}_4\bar{X}_5 + X_1\bar{X}_2\bar{X}_3\bar{X}_4X_5 + X_1\bar{X}_2X_3X_4X_5 + \bar{X}_1X_2\bar{X}_3\bar{X}_4X_5$$



Truth Table

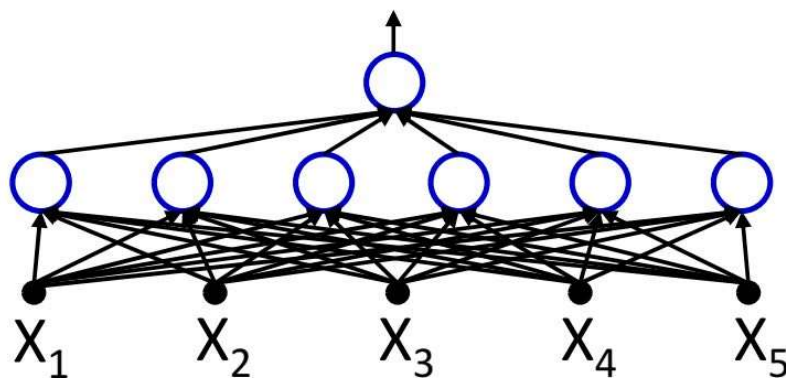
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
0	0	1	1	0	1
0	1	0	1	1	1
0	1	1	0	0	1
1	0	0	0	1	1
1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1

2. Deep MLP untuk Operasi Boolean Universal

Berapa Jml Layer unt Boolean MLP?

- MLP dengan **satu hidden layer** adalah sebuah Boolean Universal Function.
 - Dalam disjunctive normal form (DNF).

$$Y = \bar{X}_1\bar{X}_2X_3X_4\bar{X}_5 + \bar{X}_1X_2\bar{X}_3X_4X_5 + \bar{X}_1X_2X_3\bar{X}_4\bar{X}_5 + X_1\bar{X}_2\bar{X}_3\bar{X}_4X_5 + X_1\bar{X}_2X_3X_4X_5 + X_1X_2\bar{X}_3\bar{X}_4X_5$$



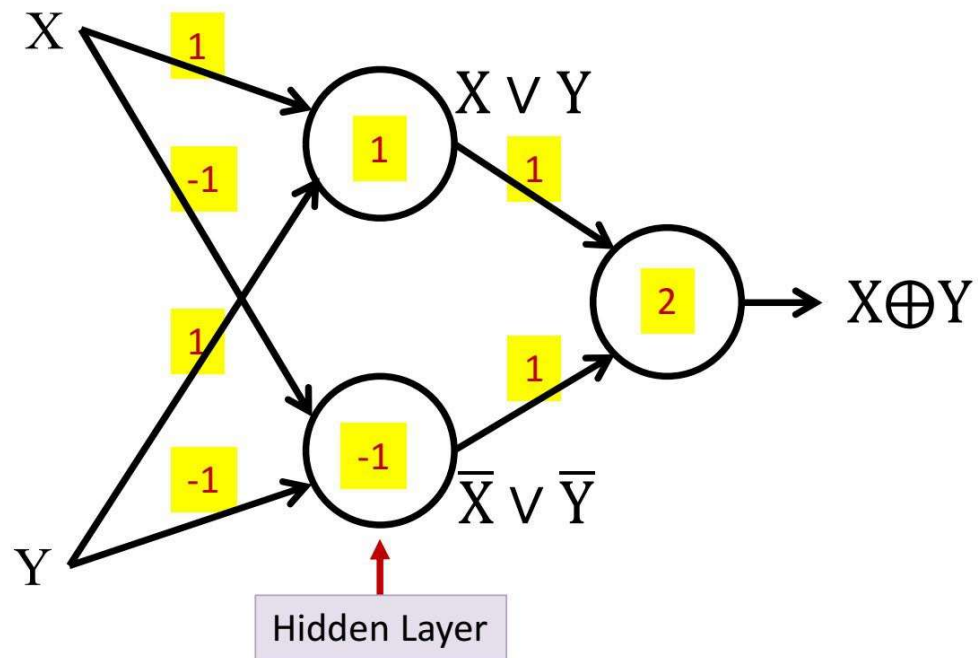
Truth Table

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
0	0	1	1	0	1
0	1	0	1	1	1
0	1	1	0	0	1
1	0	0	0	1	1
1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1

2. Deep MLP untuk Operasi Boolean Universal

MLP untuk XOR

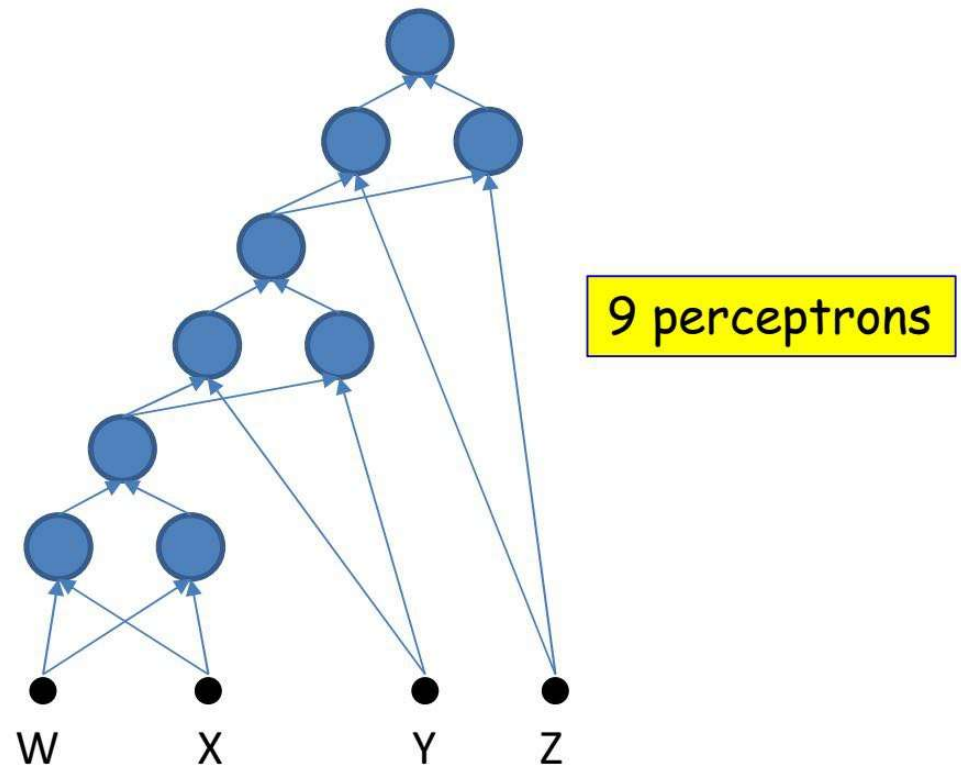
- Sebuah XOR perlu tiga buah perceptron.



2. Deep MLP untuk Operasi Boolean Universal

Ukuran Sebuah Deep MLP

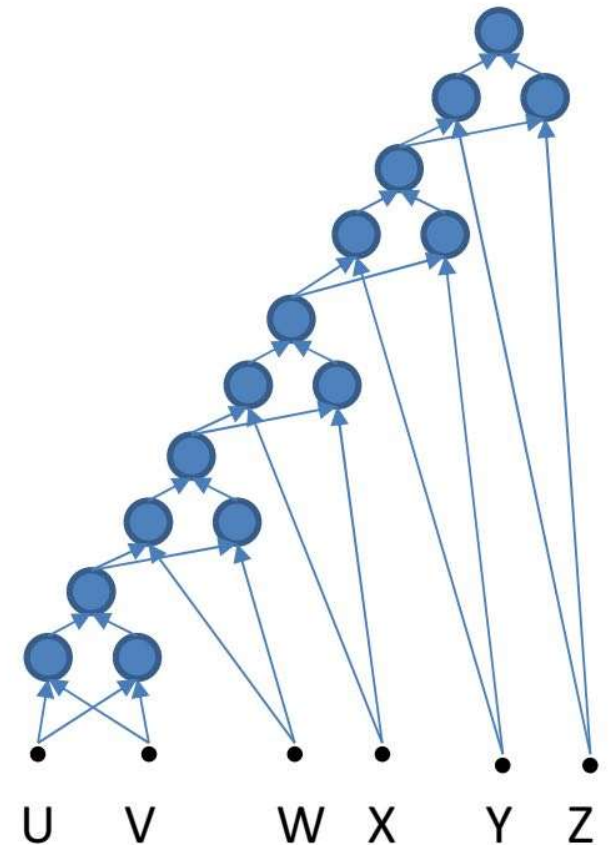
- Operasi $O = W \oplus X \oplus Y \oplus Z$
 - Perlu $3 \times 3 = 9$ perceptron



2. Deep MLP untuk Operasi Boolean Universal

Ukuran Sebuah Deep MLP

- Operasi $O = U \oplus V \oplus W \oplus X \oplus Y \oplus Z$
 - Perlu $3 \times 5 = 15$ perceptron
- Secara umum, XOR dari N variabel membutuhkan
 - Unt deep MLP : $3(N-1)$ perceptron.
(linear N)
 - Unt 1-hidden-layer MLP : $2^{N+1} + 1$ perceptron
(eksponensial N)



Jumlah Parameter

- Jumlah parameter dalam sebuah neural network (NN) sebanding dengan jumlah neuronnya.
- Jumlah parameter sangat berarti bagi implementasi software dan hardware.

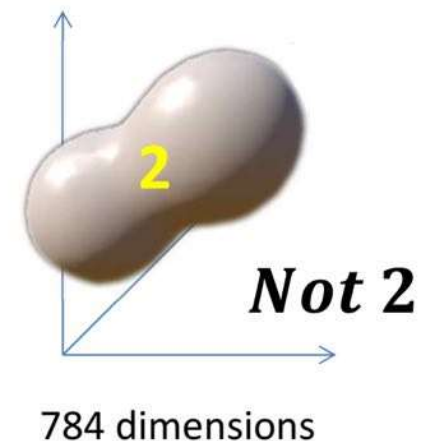
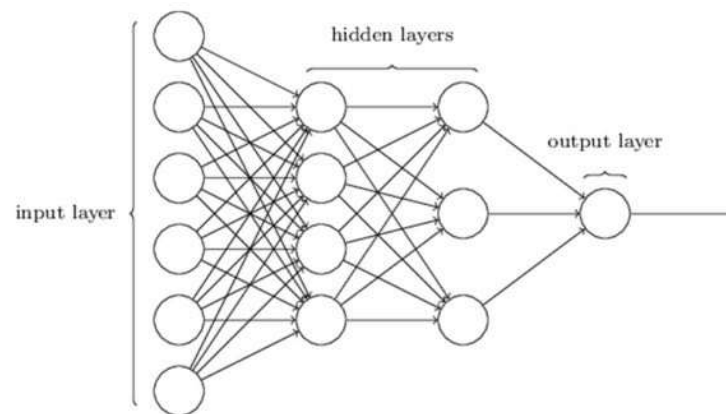
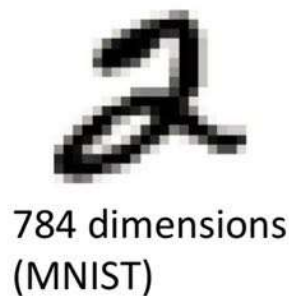
Kerangka Bahasan

1. Pengantar
 2. Deep MLP untuk operasi boolean universal, mengapa perlu deep?
 3. Deep MLP untuk operasi klasifikasi, mengapa perlu deep?
 4. Deep learning merupakan representation/feature learning
 5. Ringkasan
- Catatan: penekanan kepada pemahaman bahwa arsitektur yang deep itu perlu, tidak kepada detail pembahasan.

3. Deep MLP untuk Klasifikasi

MLP Sebagai Sebuah Classifier

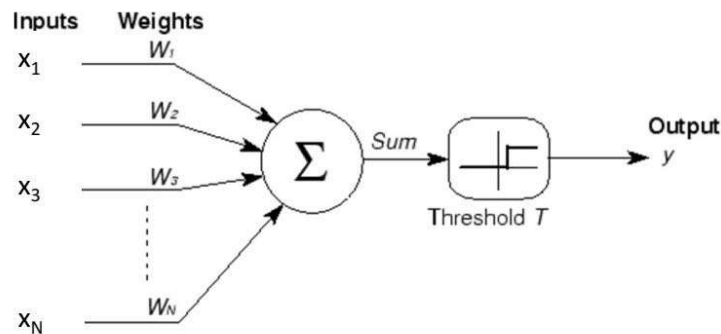
- MLP sebagai fungsi dengan input bilangan riil.
- MLP bisa menemukan/memounyai “decision boundary” yg kompleks.
- Contoh data image $28 \times 28 = 784$ pixels



3. Deep MLP untuk Klasifikasi

Perceptron atas Bilangan Riil

- Sebuah perceptron untuk input berupa vektor bilangan riil.
- Dengan aktivasi step function.

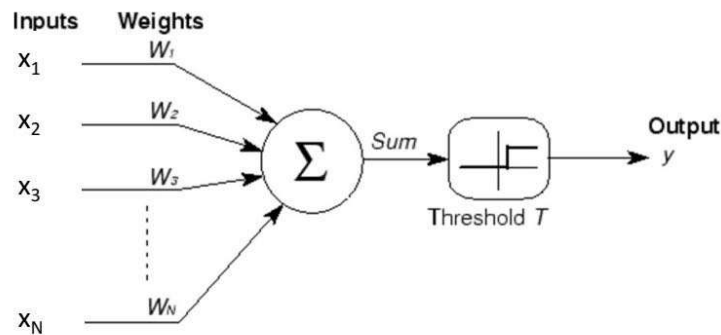


$$y = \begin{cases} 1 & \text{if } \sum_i w_i x_i \geq T \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

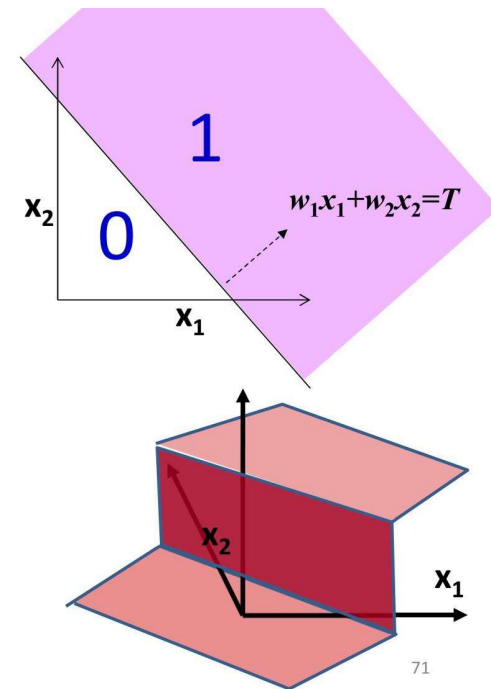
3. Deep MLP untuk Klasifikasi

Perceptron atas Bilangan Riil

- Sebuah perceptron untuk input berupa vektor bilangan riil.
- Dengan aktivasi step function adalah **linear classifier**.

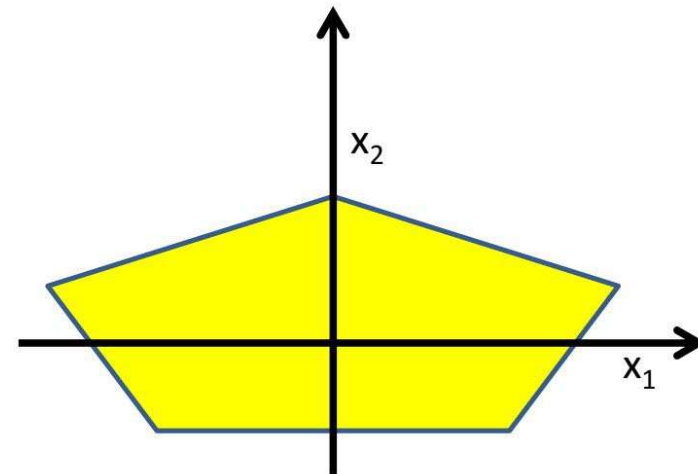


$$y = \begin{cases} 1 & \text{if } \sum_i w_i x_i \geq T \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$



Menyusun “Decision Boundary” Yg Kompleks

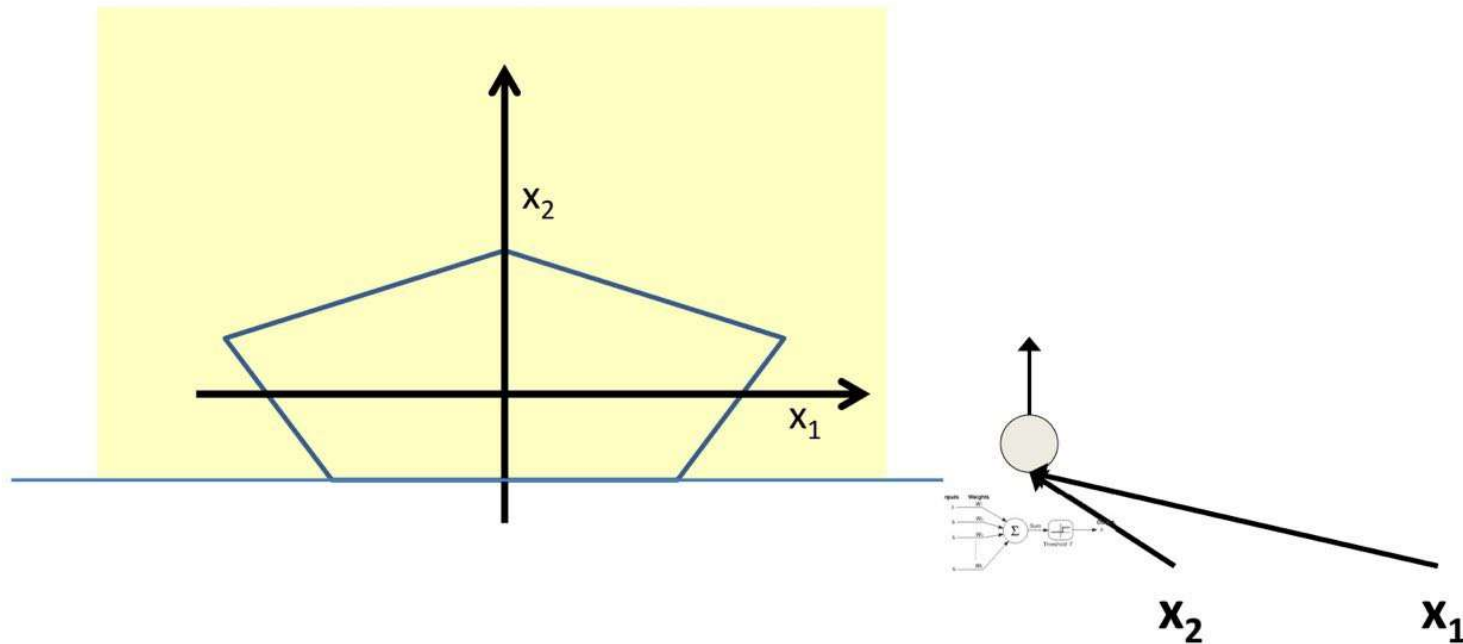
- Dengan satu output, jaringan akan aktif jika input berada dalam wilayah yang berwarna kuning.
- Tujuan akhir seperti ini.
- Arsitektur MLPnya spt apa?



3. Deep MLP untuk Klasifikasi

Menyusun “Decision Boundary” Yg Kompleks

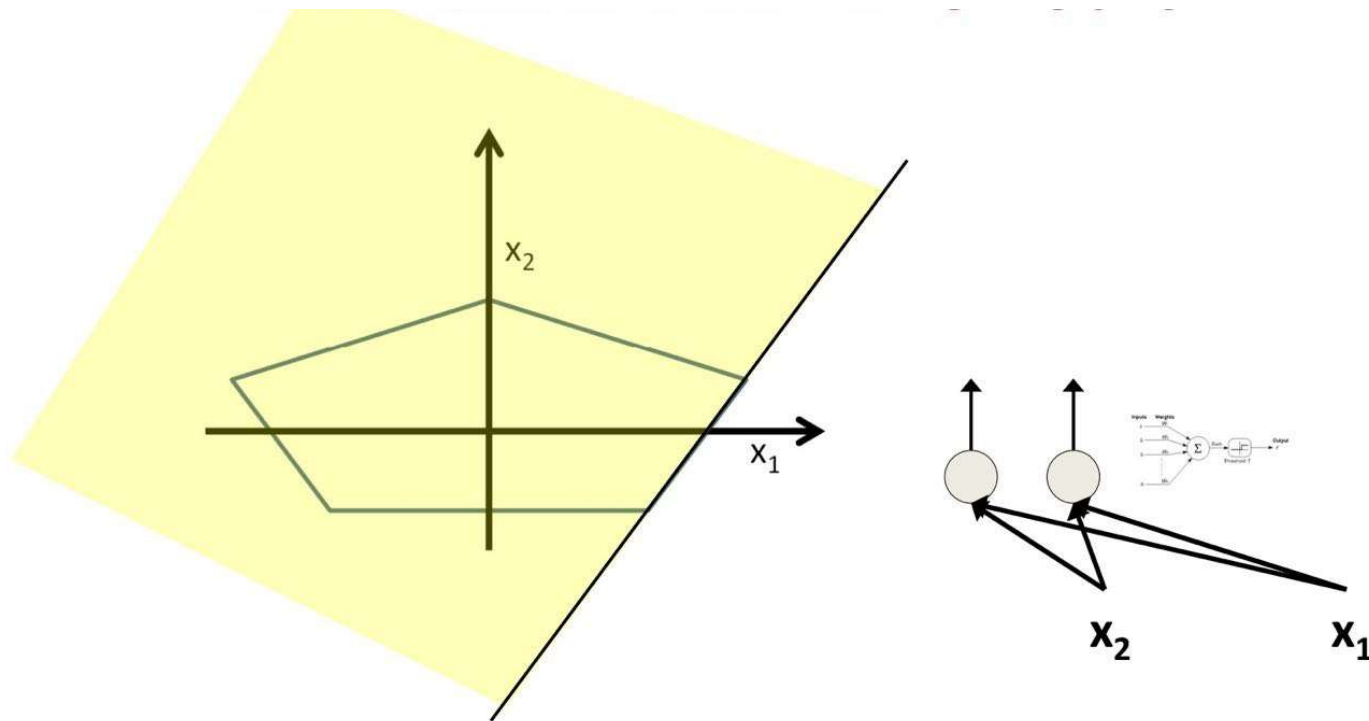
- Dengan satu output, jaringan akan aktif jika input berada dalam wilayah yang berwarna.



3. Deep MLP untuk Klasifikasi

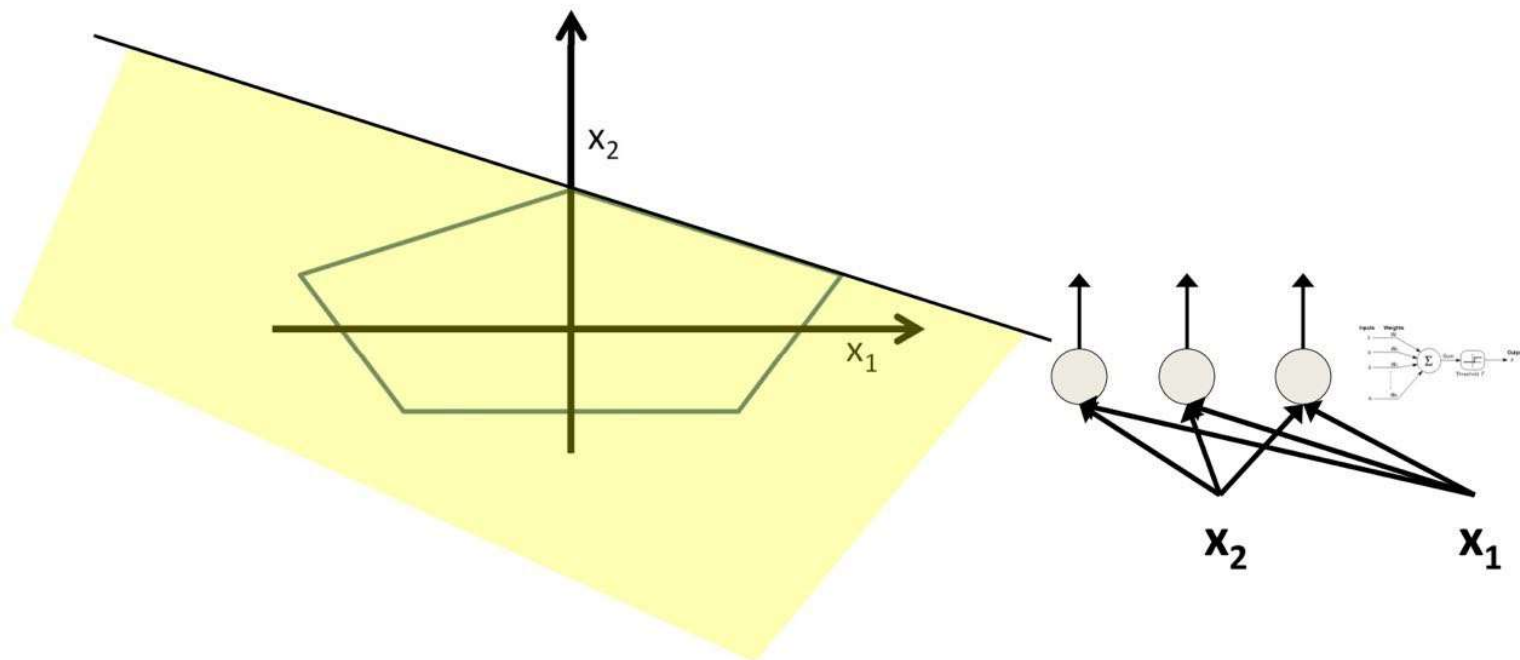
Menyusun “Decision Boundary” Yg Kompleks

- Dengan satu output, jaringan akan aktif jika input berada dalam wilayah yang berwarna.



Menyusun “Decision Boundary” Yg Kompleks

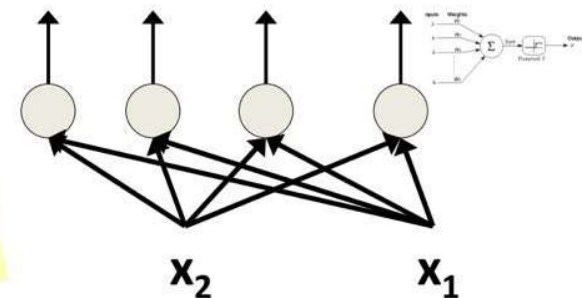
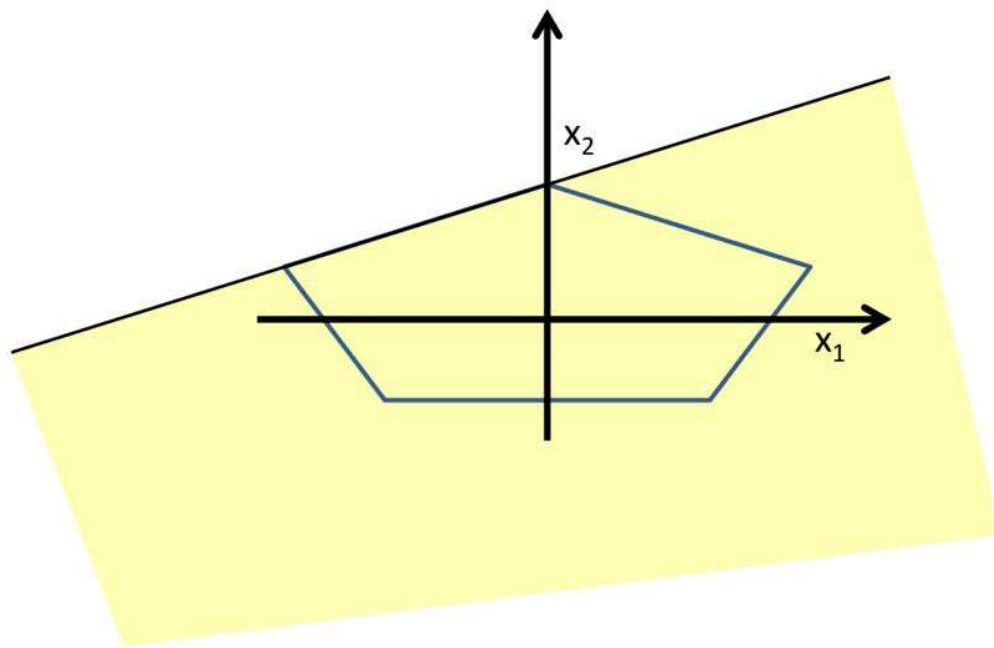
- Dengan satu output, jaringan akan aktif jika input berada dalam wilayah yang berwarna.



3. Deep MLP untuk Klasifikasi

Menyusun “Decision Boundary” Yg Kompleks

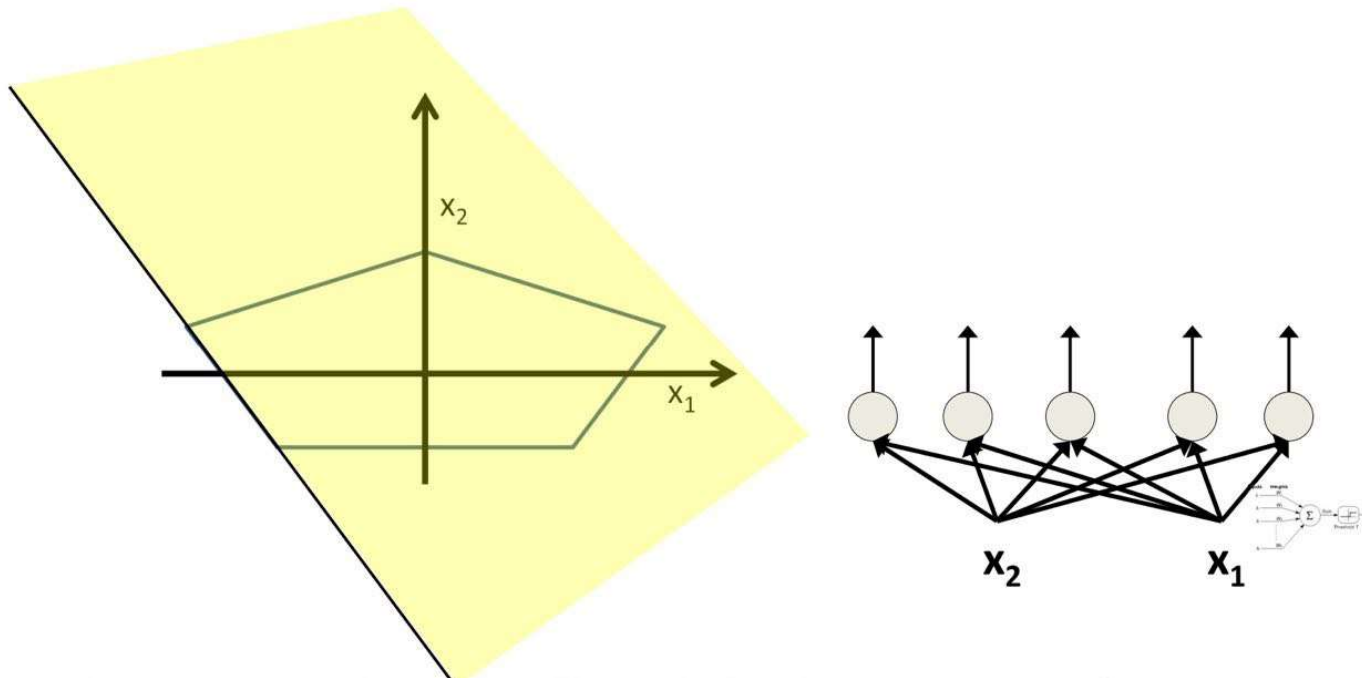
- Dengan satu output, jaringan akan aktif jika input berada dalam wilayah yang berwarna.



3. Deep MLP untuk Klasifikasi

Menyusun “Decision Boundary” Yg Kompleks

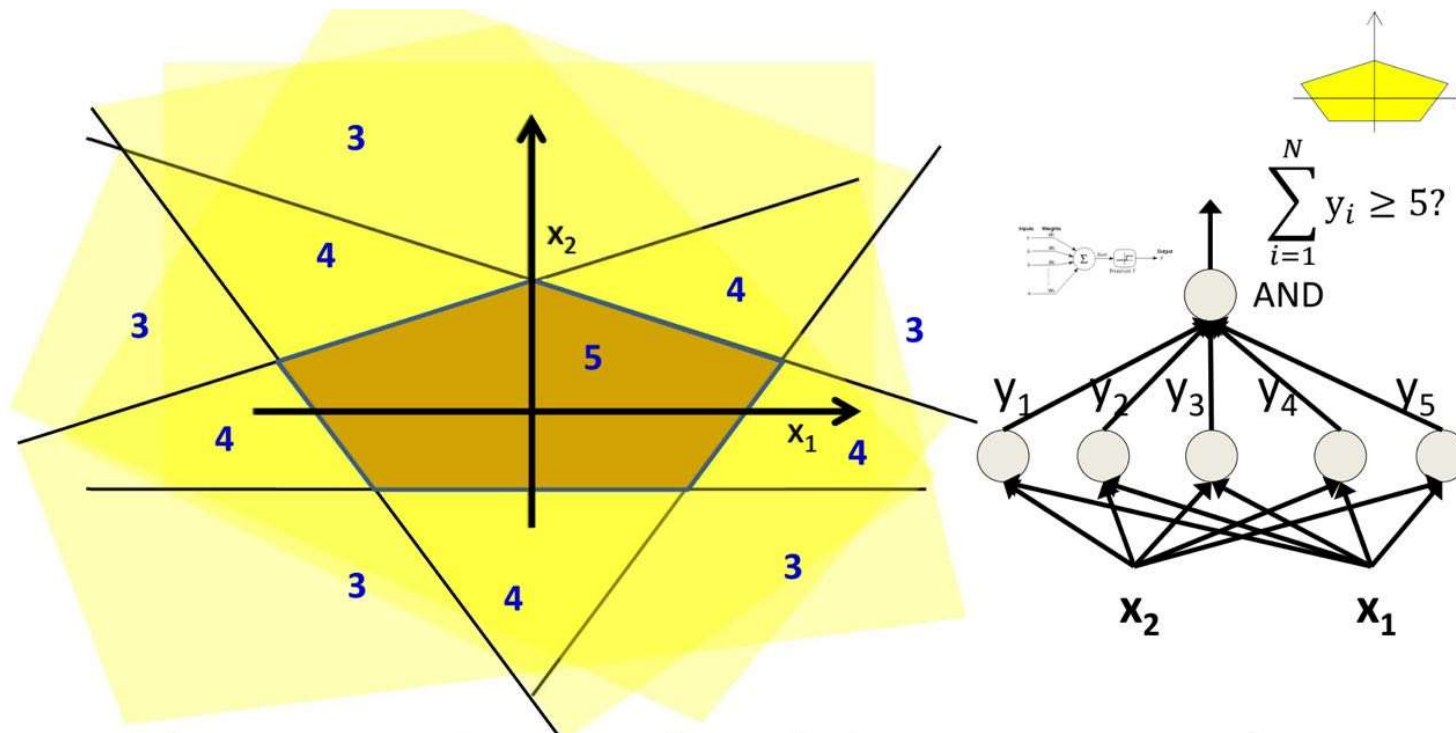
- Dengan satu output, jaringan akan aktif jika input berada dalam wilayah yang berwarna.



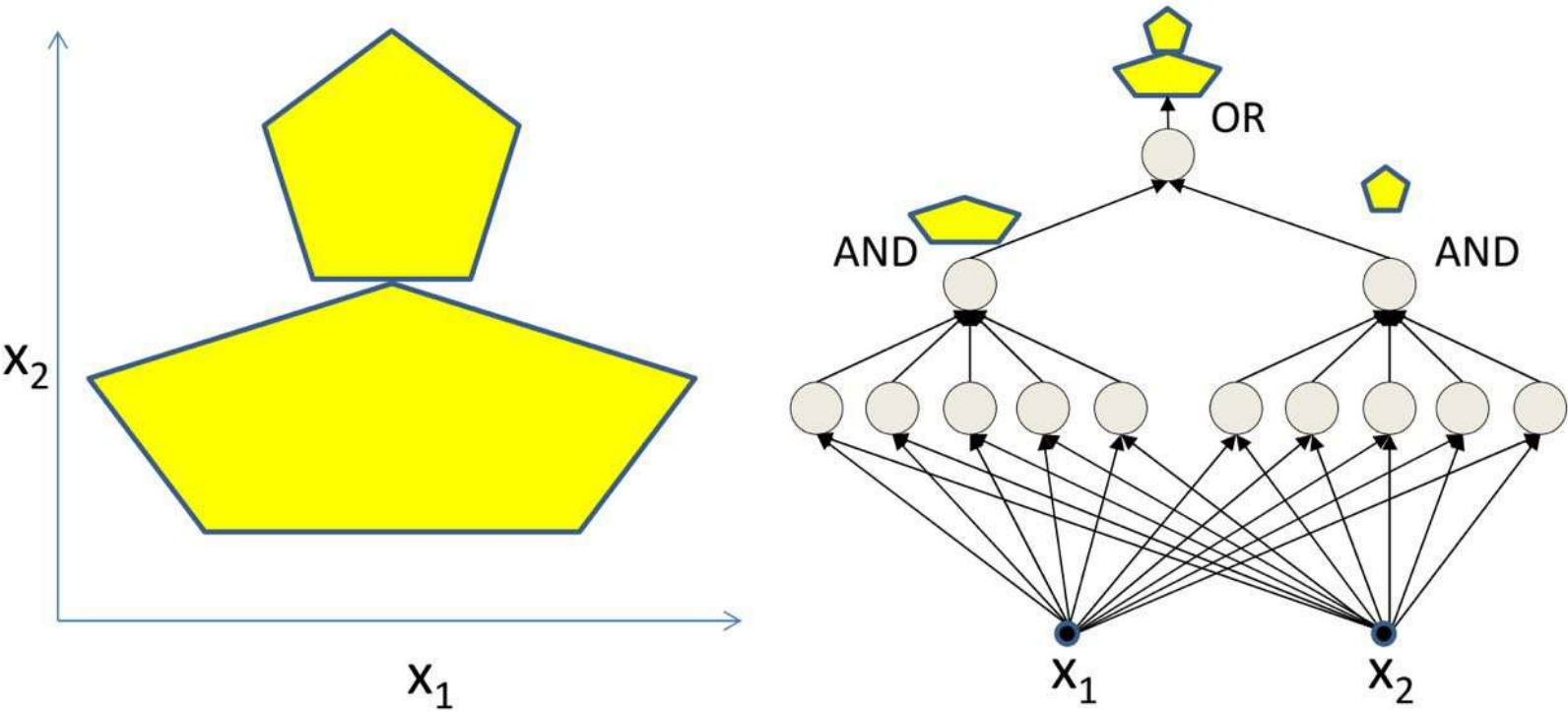
3. Deep MLP untuk Klasifikasi

Menyusun “Decision Boundary” Yg Kompleks

- Dengan satu output, jaringan akan aktif jika input berada dalam wilayah yang berwarna.

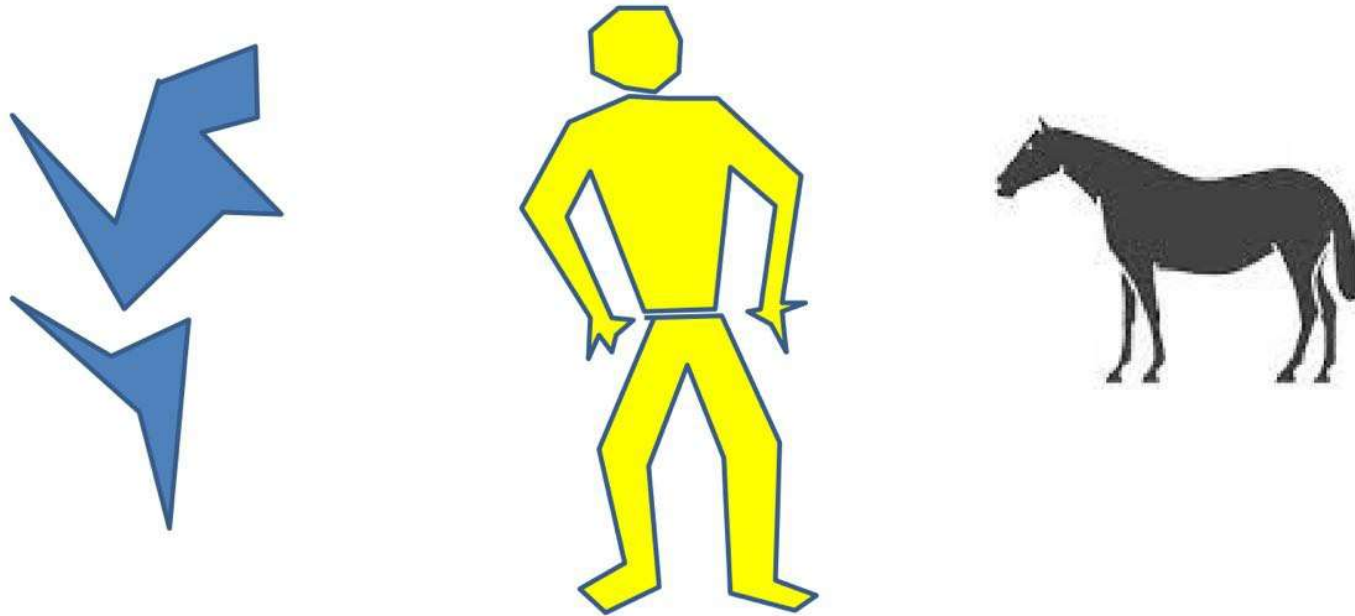


Decision Boundary yg Lebih Kompleks



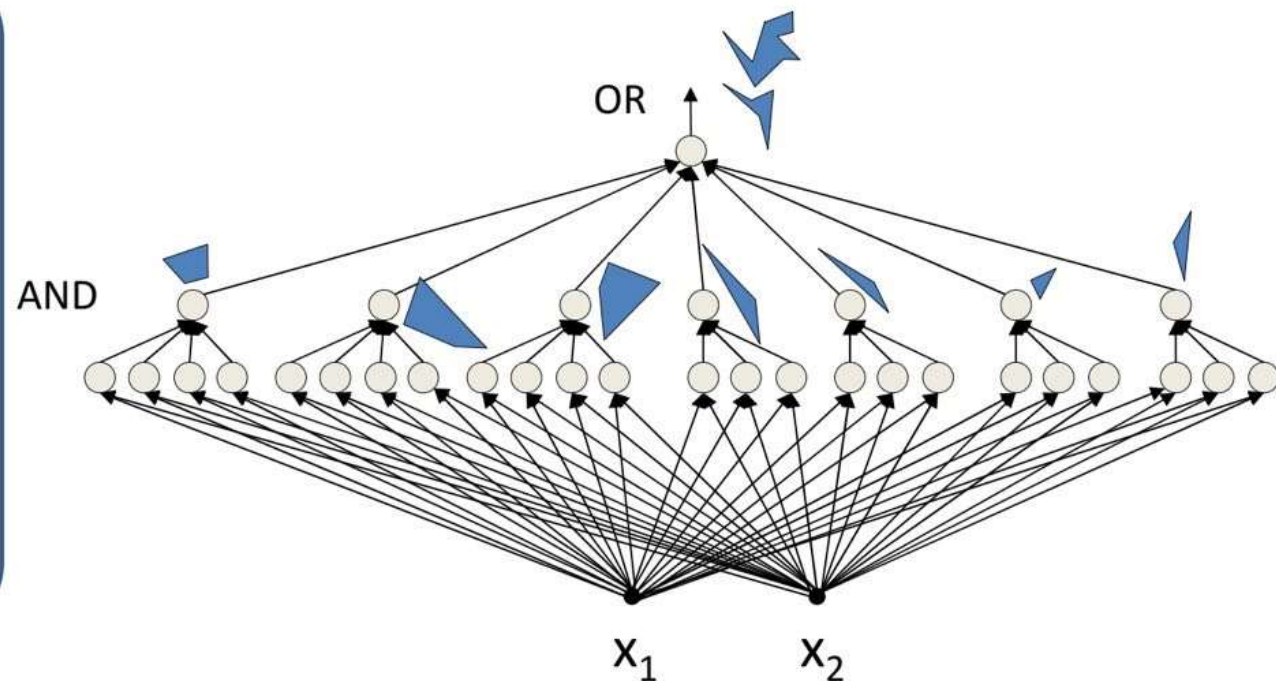
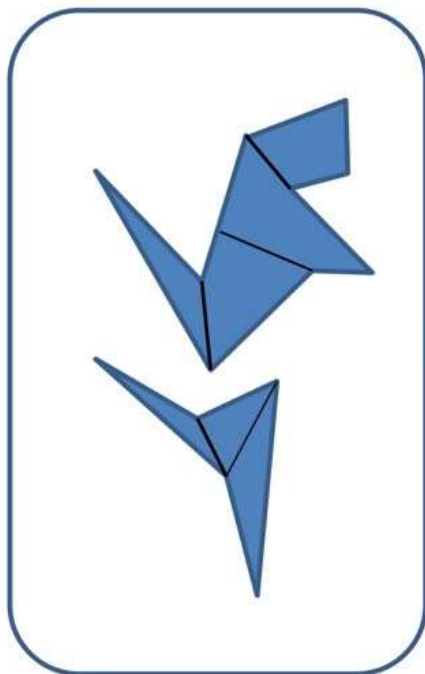
Decision Boundary yg Lebih Kompleks (cont)

- Bisa menyusun decision boundary yang kompleks seperti apapun.



Decision Boundary yg Lebih Kompleks (cont)

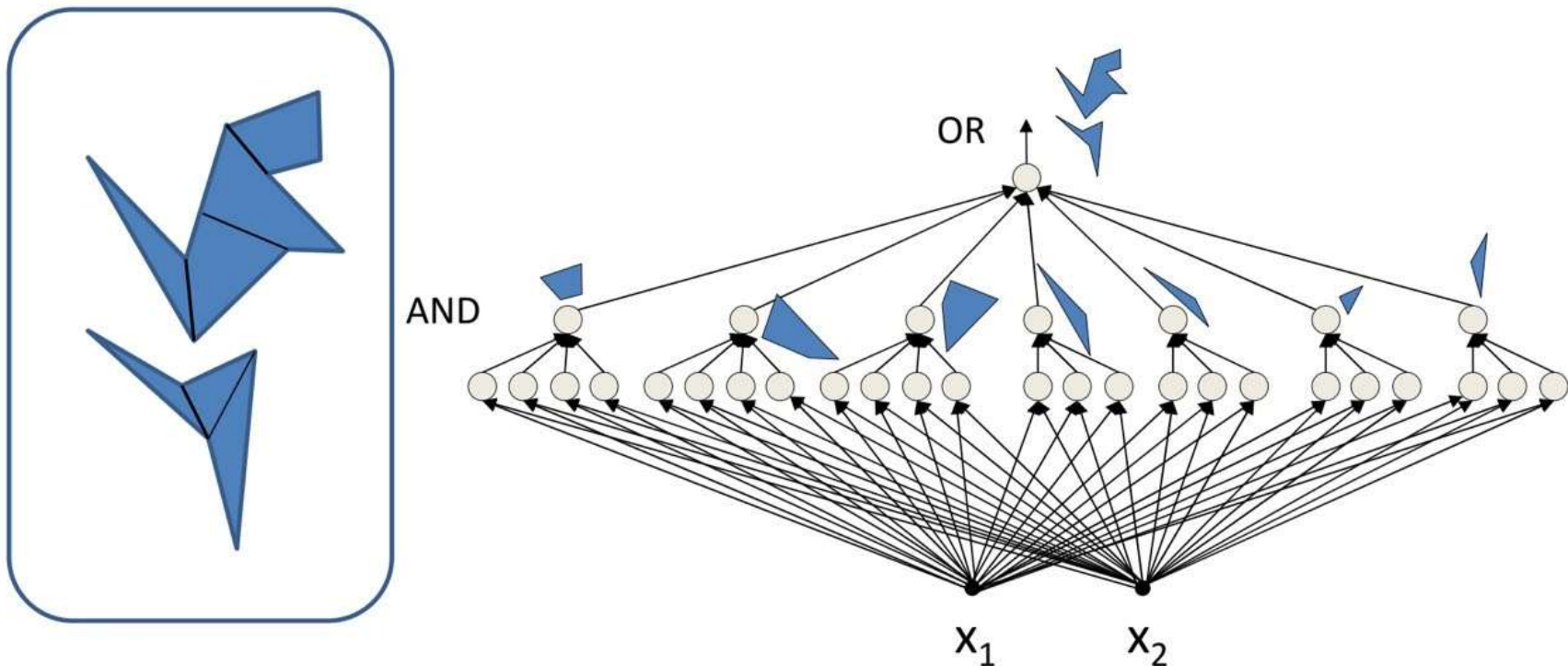
- Bisa menyusun decision boundary yang kompleks seperti apapun.



3. Deep MLP untuk Klasifikasi

Decision Boundary yg Lebih Kompleks (cont)

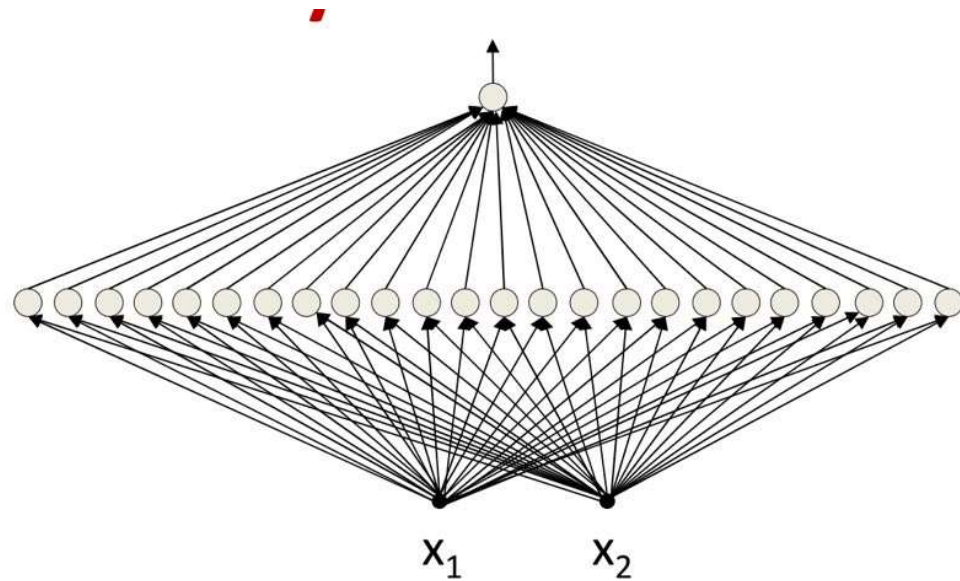
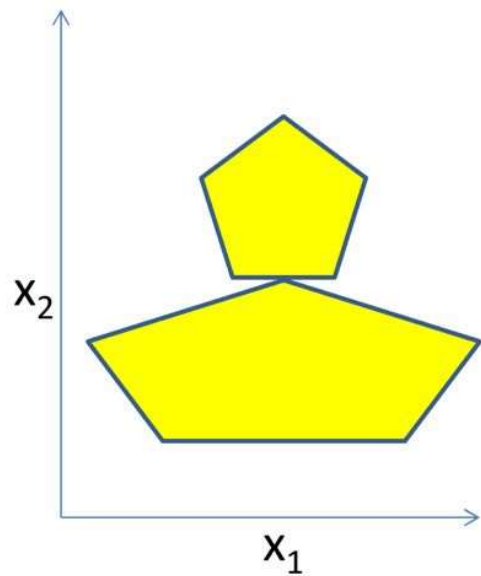
- Bisa menyusun decision boundary yang kompleks seperti apapun.
- Dengan hanya satu hidden layer! **Bagaimana caranya?**



3. Deep MLP untuk Klasifikasi

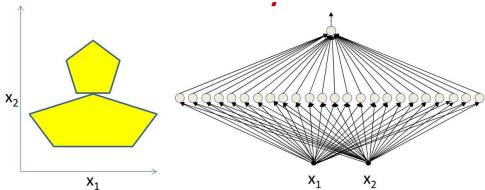
Decision Boundary yg Kompleks dengan Satu Hidden Layer

- .

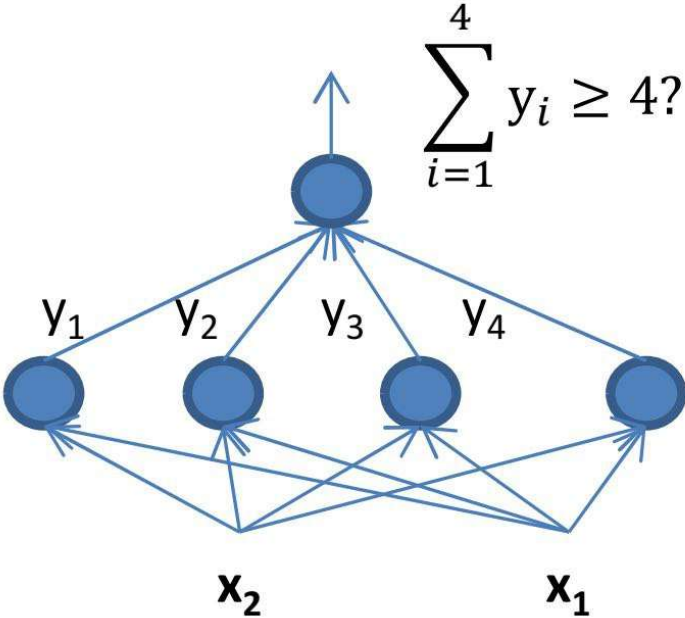
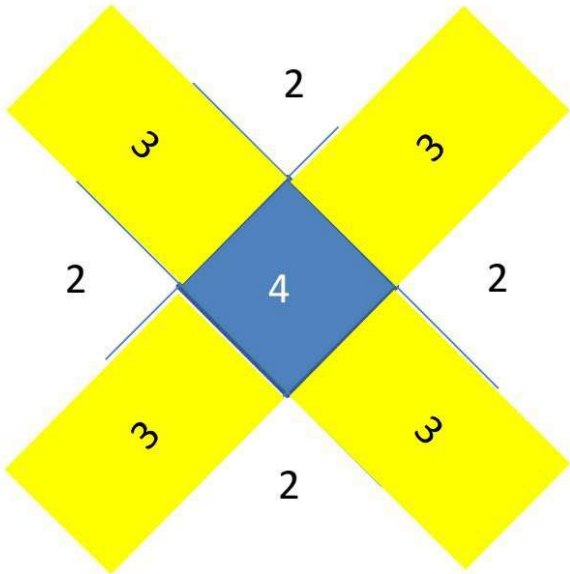


3. Deep MLP untuk Klasifikasi

Decision Boundary yg Kompleks dengan Satu Hiden Layer (cont)

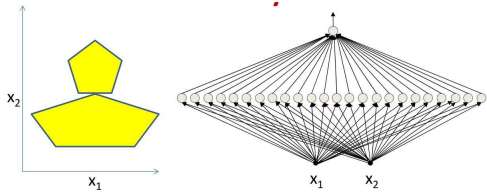


• .

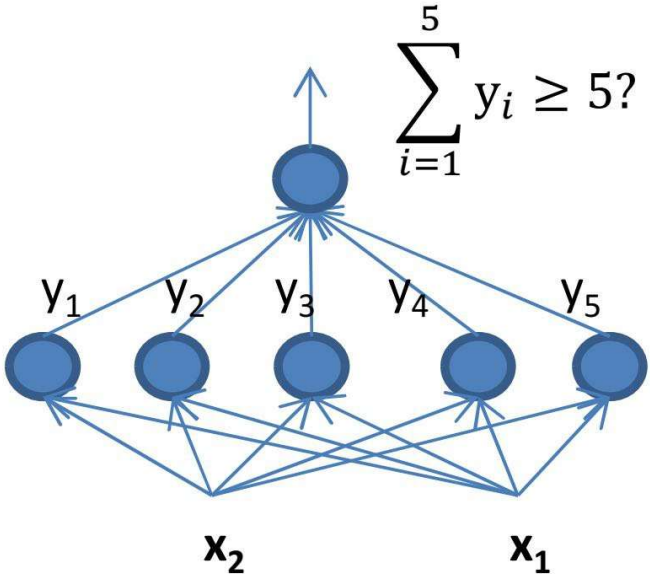
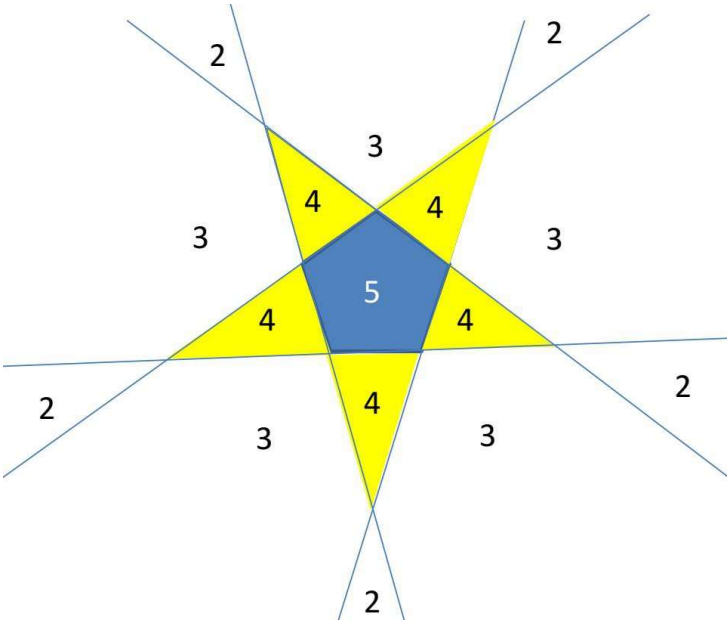


3. Deep MLP untuk Klasifikasi

Decision Boundary yg Kompleks dengan Satu Hiden Layer (cont)

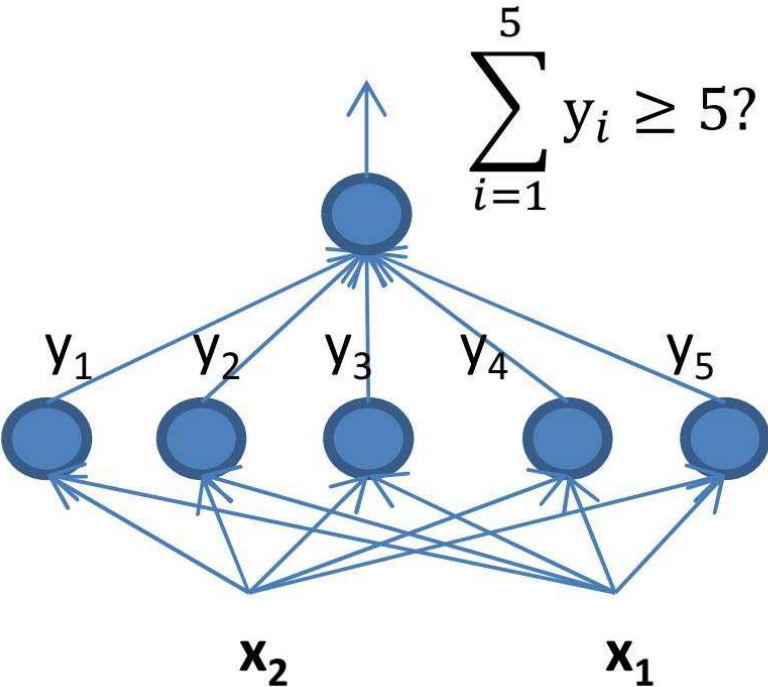
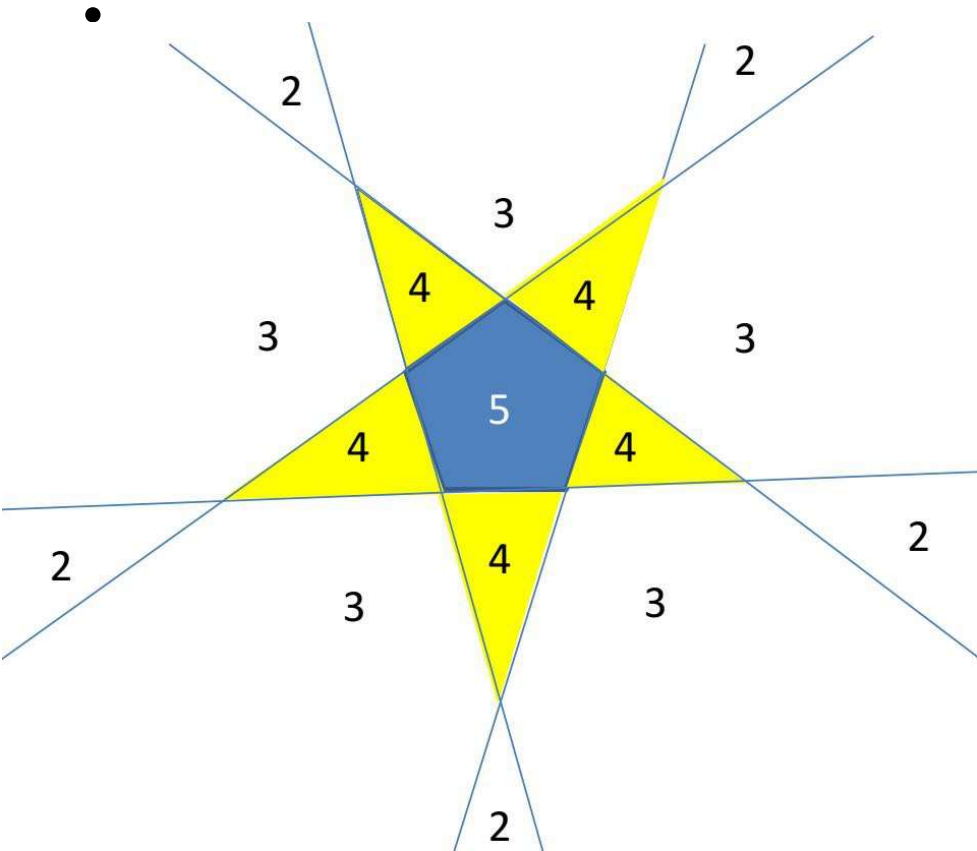
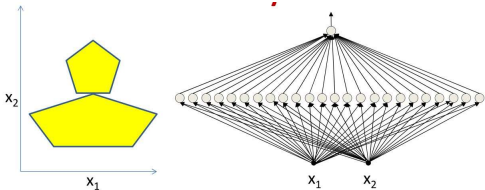


• .



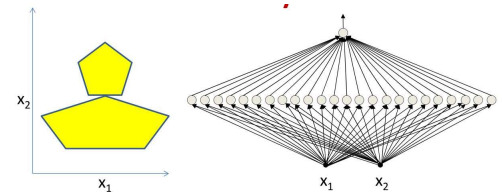
3. Deep MLP untuk Klasifikasi

Decision Boundary yg Kompleks dengan Satu Hiden Layer (cont)

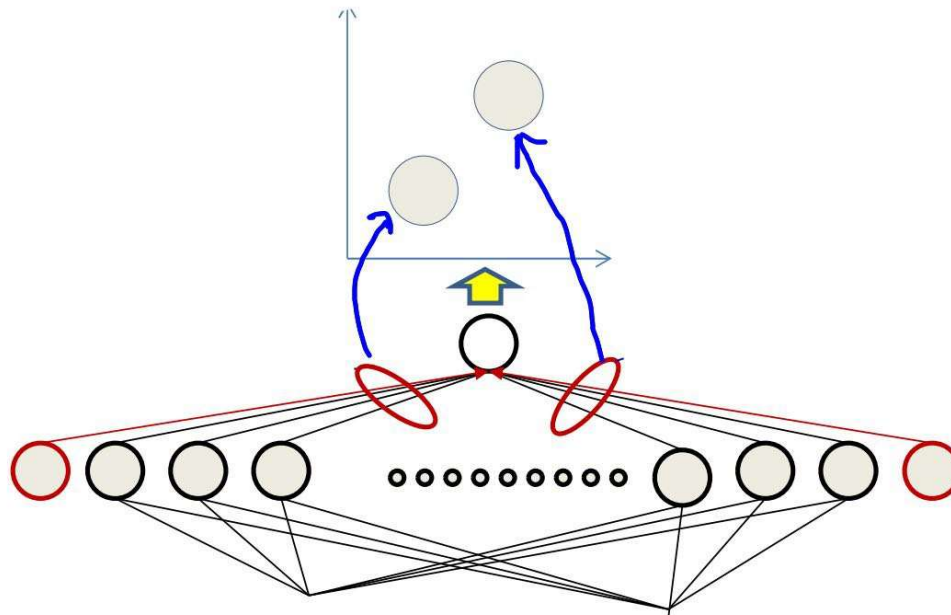


3. Deep MLP untuk Klasifikasi

Decision Boundary yg Kompleks dengan Satu Hiden Layer (cont)

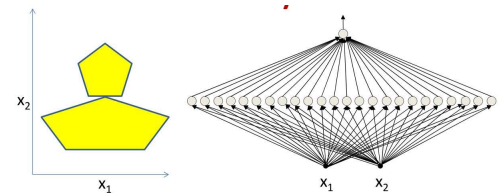


- Jk jml neuron sangat banyak, bentuk mendekati lingkaran

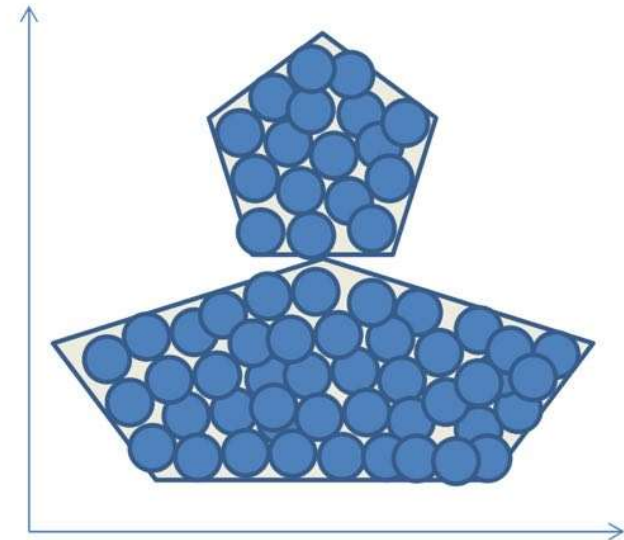
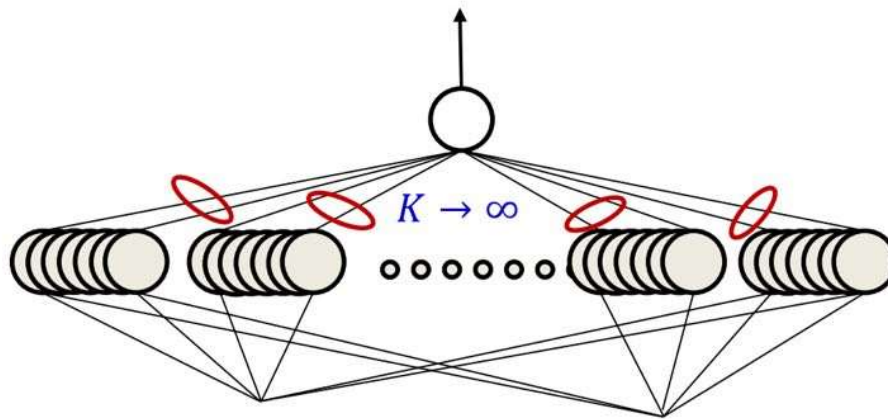


3. Deep MLP untuk Klasifikasi

Decision Boundary yg Kompleks dengan Satu Hiden Layer (cont)

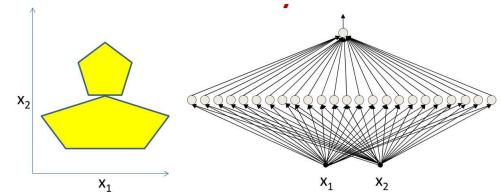


- Jk jml neuron sangat banyak, bentuk mendekati lingkaran.
- Menyusun lingkaran2 kecil menjadi mendekati bentuk apapun

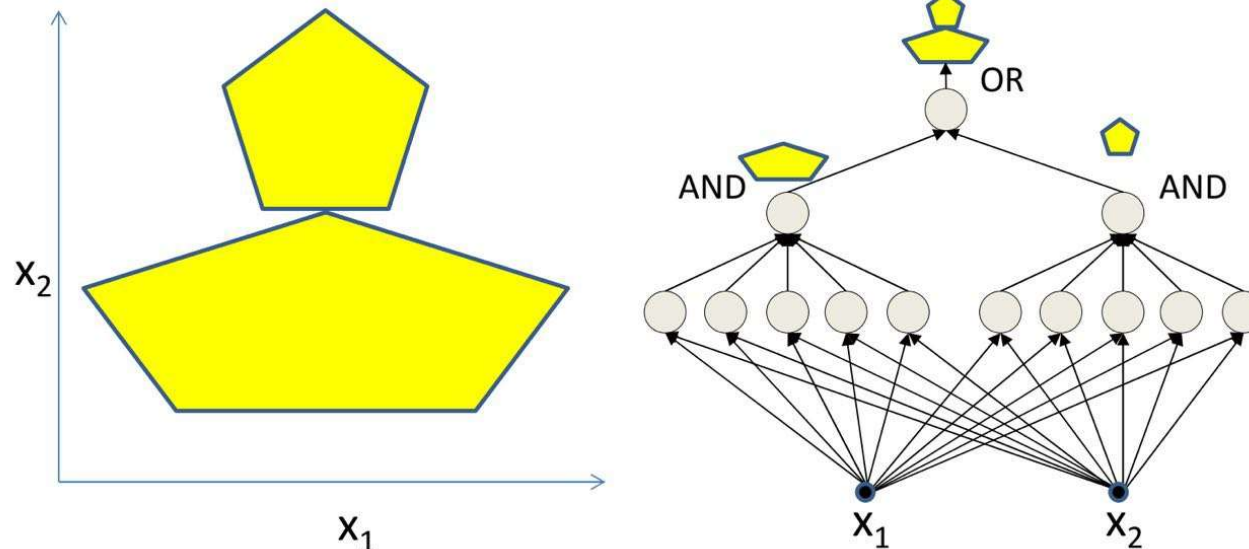


3. Deep MLP untuk Klasifikasi

Decision Boundary yg Kompleks dengan Satu Hiden Layer (cont)



- Network yg lebih deep bisa membutuhkan neuron yang jauh lebih sedikit.



Kerangka Bahasan

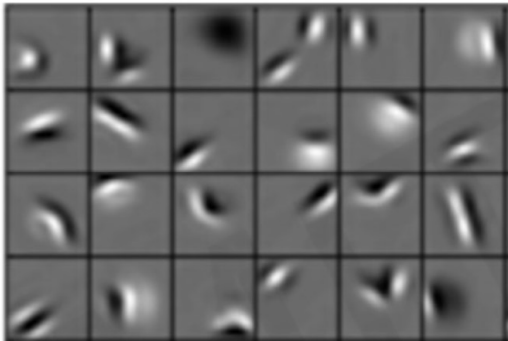
1. Pengantar
2. Deep MLP untuk operasi boolean universal, mengapa perlu deep?
3. Deep MLP untuk operasi klasifikasi, mengapa perlu deep?
4. Deep learning merupakan representation/feature learning
5. Ringkasan

4. Deep learning merupakan representation/feature learning

Hirarki Himpunan Fitur

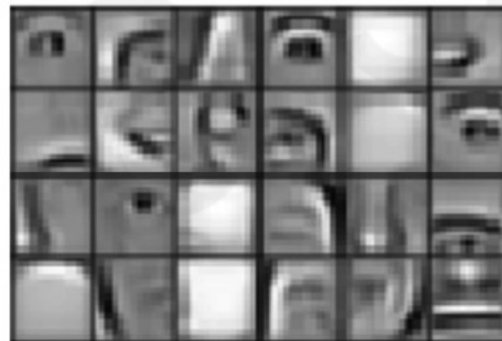
- Pembelajaran (menghasilkan) fitur-fitur yang hirarkis dari data image secara otomatis.
- Dari hidden layer ke 1, 2 dan 3 sbb:

Low level features



Edges, dark spots

Mid level features



Eyes, ears, nose

High level features



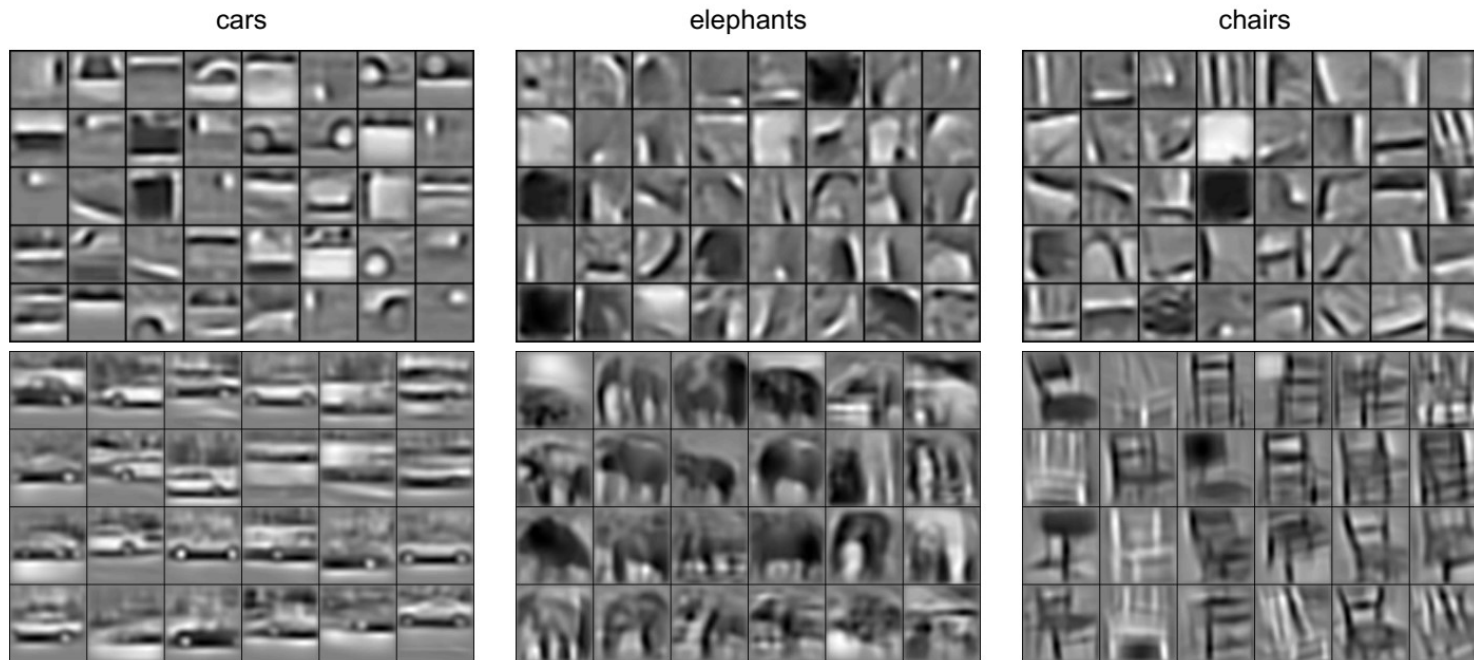
Facial structure

Lee, Honglak, et al. "Convolutional deep belief networks for scalable unsupervised learning of hierarchical representations." *ICML*. 2009.

4. Deep learning merupakan representation/feature learning

Hirarki Himpunan Fitur (cont)

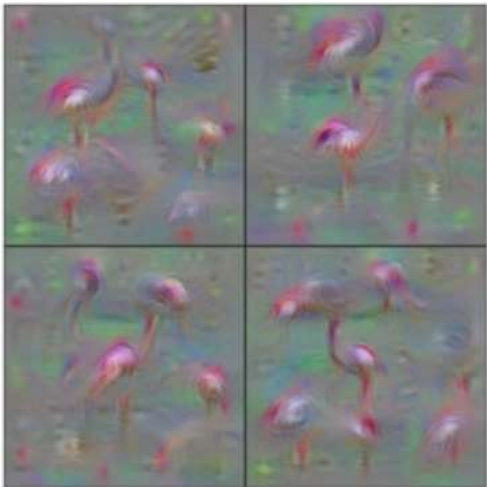
- Hidden layer ke-2 (gb. Atas) dan ke-3 (gb-bawah)



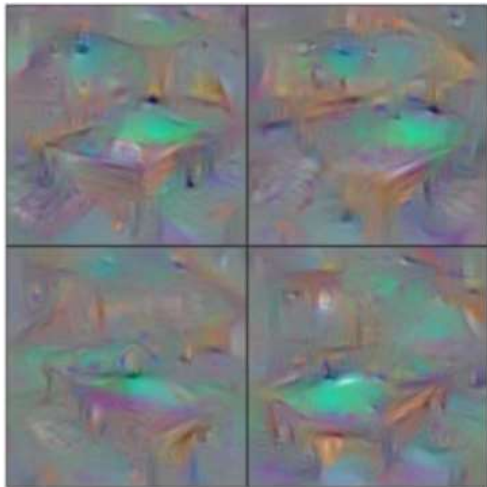
Lee, Honglak, et al. "Convolutional deep belief networks for scalable unsupervised learning of hierarchical representations." *ICML*. 2009.

4. Deep learning merup

- Pada layer akhir



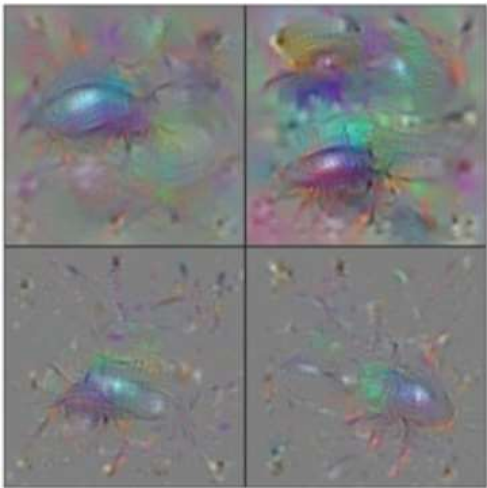
Flamingo



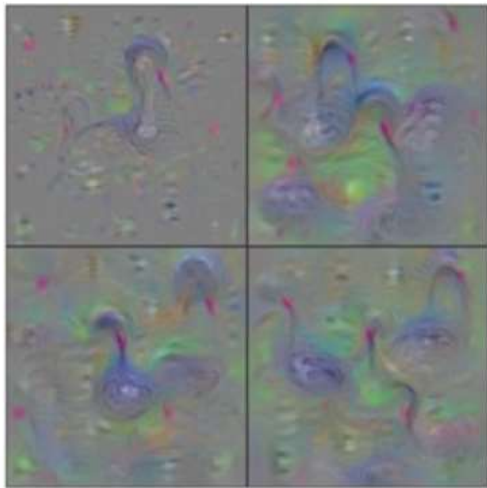
Billiard Table



School Bus



Ground Beetle



Black Swan



Tricycle

4. Deep learning merupakan representation/feature learning

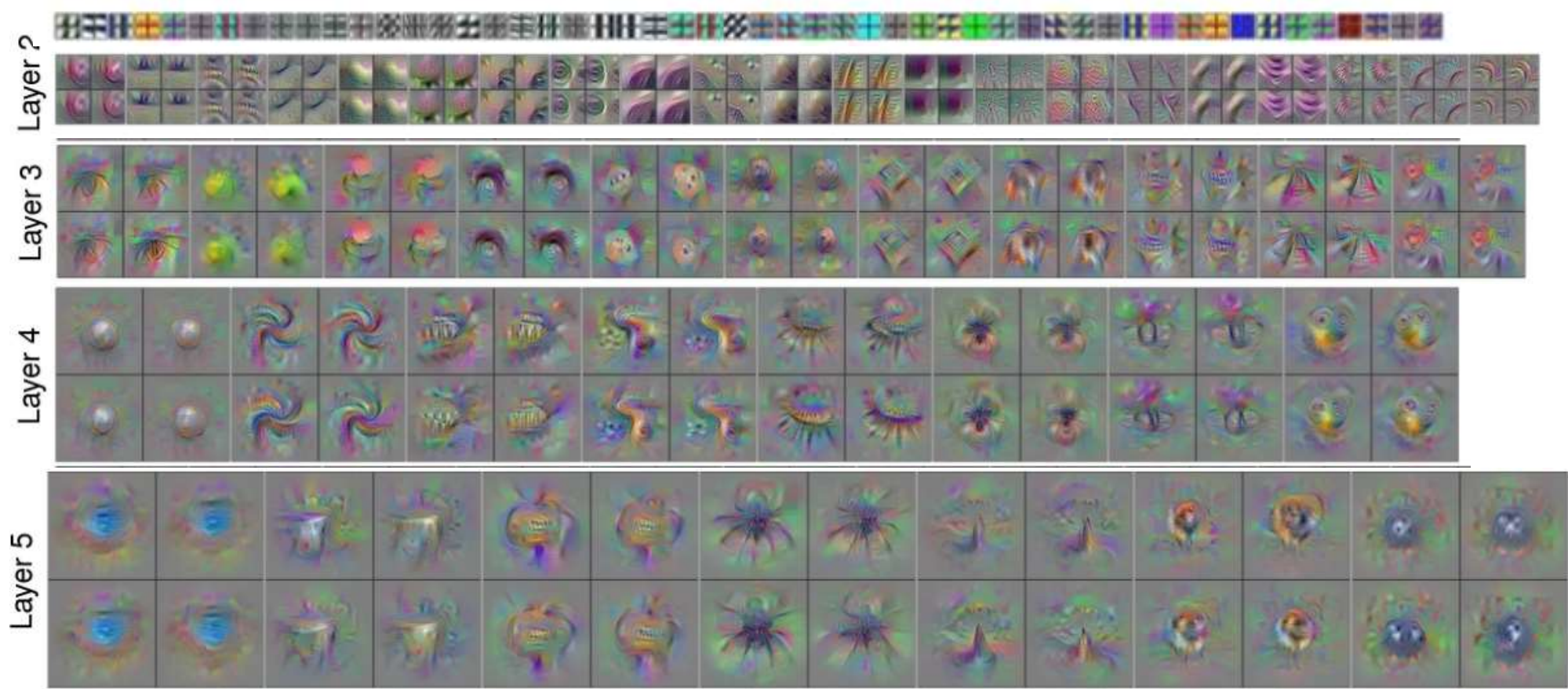
Hirarki Himpunan Fitur (cont)

- Pirate ship, rocking chair, teddy bear, widstor tie, pitcher
- Layer 1



4. Deep learning merupakan representation/feature learning

- Pirate ship, rocking chair, teddy bear, widstor tie, pitcher

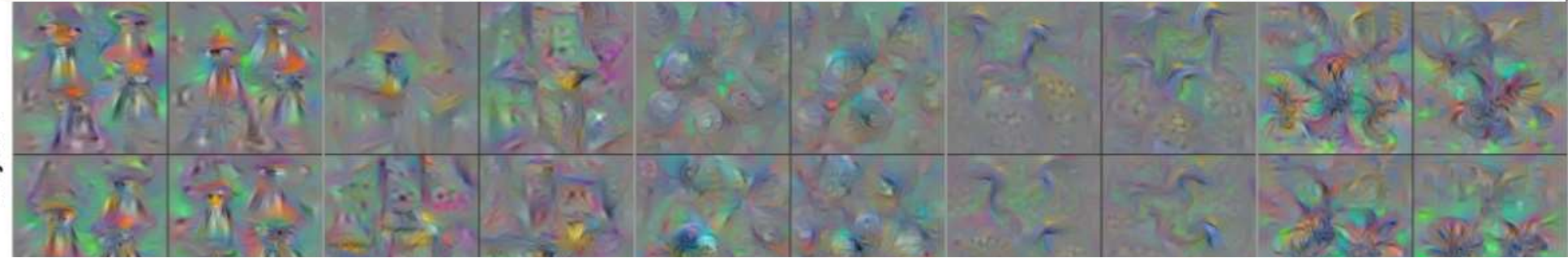


4.

Layer 6



Layer 7



Layer 8



Pirate Ship

Rocking Chair

Teddy Bear

Windsor Tie

Pitcher

4. Deep learning merupakan representation/feature learning

Deep Visualization Toolbox

- Deep Visualization Toolbox
- <https://yosinski.com/deepvis#toolbox>
- <https://youtu.be/AgkfIQ4IGaM>

Kerangka Bahasan

1. Pengantar
2. Deep MLP untuk operasi boolean universal, mengapa perlu deep?
3. Deep MLP untuk operasi klasifikasi, mengapa perlu deep?
4. Deep learning merupakan representation/feature learning
5. Ringkasan

Ringkasan

- Kedalaman sebuah jaringan perlu untuk proses pembelajaran pada permasalahan riil.
- Perlunya kedalaman tersebut tersebut diperlihatkan dengan kasus operasi Boolean universal dan operasi klasifikasi.
- Diperlihatkan adanya level hirarki representasi untuk contoh kasus data image. Layer yang semakin tinggi/dalam bisa memperlihatkan representasi dengan struktur yang semakin jelas.