

# I. KECERDASAN BUATAN

Pengampu : Idhawati Hestningsih

## DEFINISI

Kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) :

Bagian dari ilmu komputer yang mempelajari bagaimana membuat mesin (komputer) dapat melakukan pekerjaan seperti dan sebaik yang dilakukan oleh manusia bahkan bisa lebih baik daripada yang dilakukan manusia.

Menurut John McCarthy, 1956, AI :

Untuk mengetahui dan memodelkan proses – proses berpikir manusia dan mendesain mesin agar dapat menirukan perilaku manusia.

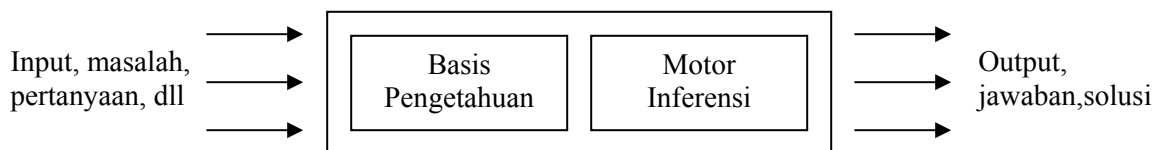
Cerdas = memiliki pengetahuan + pengalaman, penalaran (bagaimana membuat keputusan & mengambil tindakan), moral yang baik

Manusia cerdas (pandai) dalam menyelesaikan permasalahan karena manusia mempunyai pengetahuan & pengalaman. Pengetahuan diperoleh dari belajar. Semakin banyak bekal pengetahuan yang dimiliki tentu akan lebih mampu menyelesaikan permasalahan. Tapi bekal pengetahuan saja tidak cukup, manusia juga diberi akal untuk melakukan penalaran, mengambil kesimpulan berdasarkan pengetahuan & pengalaman yang dimiliki. Tanpa memiliki kemampuan untuk menalar dengan baik, manusia dengan segudang pengalaman dan pengetahuan tidak akan dapat menyelesaikan masalah dengan baik. Demikian juga dengan kemampuan menalar yang sangat baik, namun tanpa bekal pengetahuan dan pengalaman yang memadai, manusia juga tidak akan bisa menyelesaikan masalah dengan baik.

Agar mesin bisa cerdas (bertindak seperti & sebaik manusia) maka harus diberi bekal pengetahuan & mempunyai kemampuan untuk menalar.

2 bagian utama yg dibutuhkan untuk aplikasi kecerdasan buatan :

- basis pengetahuan (knowledge base): berisi fakta-fakta, teori, pemikiran & hubungan antara satu dengan lainnya.
- motor inferensi (inference engine) : kemampuan menarik kesimpulan berdasarkan pengalaman



## BEDA KECERDASAN BUATAN & KECERDASAN ALAMI

Kelebihan kecerdasan buatan :

1. Lebih bersifat permanen. Kecerdasan alami bisa berubah karena sifat manusia lupa. Kecerdasan buatan tidak berubah selama sistem komputer & program tidak mengubahnya.
2. Lebih mudah diduplikasi & disebarkan. Mentransfer pengetahuan manusia dari 1 orang ke orang lain membutuhkan proses yang sangat lama & keahlian tidak akan pernah dapat diduplikasi dengan lengkap. Jadi jika pengetahuan terletak pada suatu sistem komputer, pengetahuan tersebut dapat disalin dari komputer tersebut & dapat dipindahkan dengan mudah ke komputer yang lain.
3. Lebih murah. Menyediakan layanan komputer akan lebih mudah & murah dibandingkan mendatangkan seseorang untuk mengerjakan sejumlah pekerjaan dalam jangka waktu yang sangat lama.
4. Bersifat konsisten karena kecerdasan buatan adalah bagian dari teknologi komputer sedangkan kecerdasan alami senantiasa berubah-ubah
5. Dapat didokumentasi. Keputusan yang dibuat komputer dapat didokumentasi dengan mudah dengan cara melacak setiap aktivitas dari sistem tersebut. Kecerdasan alami sangat sulit untuk direproduksi.
6. Lebih cepat
7. Lebih baik

Kelebihan kecerdasan alami :

1. Kreatif : manusia memiliki kemampuan untuk menambah pengetahuan, sedangkan pada kecerdasan buatan untuk menambah pengetahuan harus dilakukan melalui sistem yang dibangun.

2. Memungkinkan orang untuk menggunakan pengalaman secara langsung. Sedangkan pada kecerdasan buatan harus bekerja dengan input-input simbolik.
3. Pemikiran manusia dapat digunakan secara luas, sedangkan kecerdasan buatan sangat terbatas.

**BEDA KECERDASAN BUATAN & PROGRAM KONVENSIONAL**

	Kecerdasan buatan	Program konvensional
Fokus pemrosesan	Konsep simbolik / numerik (pengetahuan)	Data & informasi
Pencarian	Heuristik	Algoritma
Sifat input	Bisa tidak lengkap	Harus lengkap
Keterangan	Disediakan	Biasanya tidak disediakan
Struktur	Kontrol dipisahkan dari pengetahuan	Kontrol terintegrasi dengan informasi (data)
Sifat output	Kuantitatif	Kualitatif
Kemampuan menalar	Ya	Tidak

Program kecerdasan buatan dapat ditulis dalam semua bahasa komputer, baik dalam bahasa C, Pascal, Basic, dan bahasa pemrograman lainnya. Tetapi dalam perkembangan selanjutnya, dikembangkan bahasa pemrograman yang khusus untuk aplikasi kecerdasan buatan yaitu LISP dan PROLOG.

**SEJARAH KECERDASAN BUATAN**

Tahun 1950 – an Alan Turing, seorang pionir AI dan ahli matematika Inggris melakukan percobaan Turing (Turing Test) yaitu sebuah komputer melalui terminalnya ditempatkan pada jarak jauh. Di ujung yang satu ada terminal dengan software AI dan diujung lain ada sebuah terminal dengan seorang operator. Operator itu tidak mengetahui kalau di ujung terminal lain dipasang software AI. Mereka berkomunikasi dimana terminal di ujung memberikan respon terhadap serangkaian pertanyaan yang diajukan oleh operator. Dan sang operator itu mengira bahwa ia sedang berkomunikasi dengan operator lainnya yang berada pada terminal lain.

Turing beranggapan bahwa jika mesin dapat membuat seseorang percaya bahwa dirinya mampu berkomunikasi dengan orang lain, maka dapat dikatakan bahwa mesin tersebut cerdas (seperti layaknya manusia).

**KECERDASAN BUATAN PADA APLIKASI KOMERSIAL**

Lingkup utama kecerdasan buatan :

1. Sistem pakar (expert system) : komputer sebagai sarana untuk menyimpan pengetahuan para pakar sehingga komputer memiliki keahlian menyelesaikan permasalahan dengan meniru keahlian yang dimiliki pakar.
2. Pengolahan bahasa alami (natural language processing) : user dapat berkomunikasi dengan komputer menggunakan bahasa sehari-hari, misal bahasa inggris, bahasa indonesia, bahasa jawa, dll
3. Pengenalan ucapan (speech recognition) : manusia dapat berkomunikasi dengan komputer menggunakan suara.
4. Robotika & sistem sensor
5. Computer vision : menginterpretasikan gambar atau objek-objek tampak melalui komputer
6. Intelligent computer-aided instruction : komputer dapat digunakan sebagai tutor yang dapat melatih & mengajar
7. Game playing

**SOFT Computing**

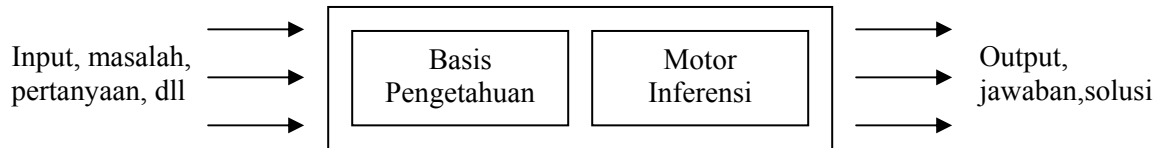
Soft computing merupakan inovasi baru dalam membangun sistem cerdas yaitu sistem yang memiliki keahlian seperti manusia pada domain tertentu, mampu beradaptasi dan belajar agar dapat bekerja lebih baik jika terjadi perubahan lingkungan. Soft computing mengeksplorasi adanya toleransi terhadap ketidaktepatan, ketidakpastian, dan kebenaran parsial untuk dapat diselesaikan dan dikendalikan dengan mudah agar sesuai dengan realita (Prof. Lotfi A Zadeh, 1992).

Metodologi-metodologi yang digunakan dalam Soft computing adalah :

1. Sistem Fuzzy (mengakomodasi ketidaktepatan) → Logika Fuzzy (fuzzy logic)
2. Jaringan Syaraf (menggunakan pembelajaran) → Jaringan Syaraf Tiruan (neurall network)
3. Probabilistic Reasoning (mengakomodasi ketidakpastian)
4. Evolutionary Computing (optimasi) → Algoritma Genetika

## II. MASALAH DAN METODE PEMECAHAN MASALAH

Sistem yang menggunakan kecerdasan buatan akan memberikan output berupa solusi dari suatu masalah berdasarkan kumpulan pengetahuan yang ada.



Gambar sistem yang menggunakan kecerdasan buatan

Pada gambar, input yg diberikan pada sistem yg menggunakan kecerdasan buatan adalah berupa masalah. Sistem harus dilengkapi dengan sekumpulan pengetahuan yang ada pada basis pengetahuan. Sistem harus memiliki motor inferensi agar mampu mengambil kesimpulan berdasarkan fakta atau pengetahuan. Output yang diberikan berupa solusi masalah sebagai hasil dari inferensi.

Secara umum, untuk membangun suatu sistem yang mampu menyelesaikan masalah, perlu dipertimbangkan 4 hal :

1. Mendefinisikan masalah dengan tepat.  
Pendefinisian ini mencakup spesifikasi yang tepat mengenai *keadaan awal* dan *solusi yang diharapkan*.
2. Menganalisis masalah tersebut serta mencari beberapa teknik penyelesaian masalah yang sesuai.
3. Merepresentasikan pengetahuan yang perlu untuk menyelesaikan masalah tersebut.
4. Memilih teknik penyelesaian masalah yang terbaik

### MENDEFINISIKAN MASALAH SEBAGAI SUATU RUANG KEADAAN

Misalkan permasalahan yang dihadapi adalah permainan catur, maka harus ditentukan :

1. posisi awal pada papan catur  
posisi awal setiap permainan catur selalu sama, yaitu semua bidak diletakkan di atas papan catur dalam 2 sisi, yaitu kubu putih dan kubu hitam.
2. aturan – aturan untuk melakukan gerakan  
aturan – aturan ini sangat berguna untuk menentukan gerakan suatu bidak, yaitu melangkah dari satu keadaan ke keadaan lain. Misalkan untuk mempermudah menunjukkan posisi bidak, setiap kotak ditunjukkan dalam huruf (a,b,c,d,e,f,g,h) pada arah horisontal dan angka (1,2,3,4,5,6,7,8) pada arah vertikal. Suatu aturan untuk menggerakkan bidak dari posisi (e,2) ke (e,4) dapat ditunjukkan dengan aturan :  
if bidak putih pada kotak(e,2),  
and kotak(e,3) kosong,  
and kotak(e,4) kosong  
then gerakkan bidak dari (e,2) ke (e,4)
3. tujuan (goal)  
tujuan yang ingin dicapai adalah posisi pada papan catur yang menunjukkan kemenangan seseorang terhadap lawannya. Kemenangan ini ditandai dengan posisi raja yang sudah tidak dapat bergerak lagi.

Contoh tersebut menunjukkan representasi masalah dalam Ruang Keadaan (State Space), yaitu suatu ruang yang berisi semua keadaan yang mungkin. Kita dapat memulai bermain catur dengan menempatkan diri pada keadaan awal, kemudian bergerak dari satu keadaan ke keadaan yang lain sesuai dengan aturan yang ada, dan mengakhiri permainan jika salah satu telah mencapai tujuan.

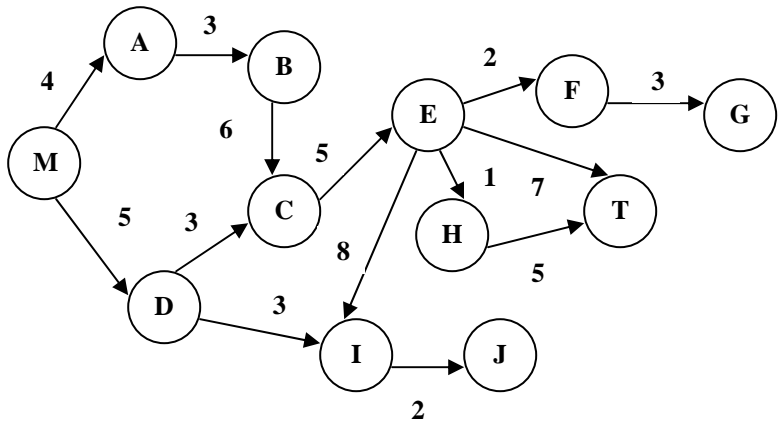
**Jadi untuk mendeskripsikan masalah dengan baik harus :**

1. Mendefinisikan suatu ruang keadaan (state space)
2. Menetapkan satu atau lebih keadaan awal (initial state)
3. Menetapkan satu atau lebih tujuan (goal state)
4. Menetapkan kumpulan aturan

Ada beberapa cara untuk merepresentasikan Ruang Keadaan, antara lain :

**GRAPH KEADAAN**

Graph terdiri dari node-node yang menunjukkan keadaan yaitu keadaan awal dan keadaan baru yang akan dicapai dengan menggunakan operator. Node-node dalam graph keadaan saling dihubungkan dengan menggunakan arc (busur) yang diberi panah untuk menunjukkan arah dari suatu keadaan ke keadaan berikutnya.



Graph keadaan dengan node M menunjukkan keadaan awal, node T adalah tujuan. Ada 4 lintasan dari M ke T :

M-A-B-C-E-T

M-A-B-C-E-H-T

M-D-C-E-T

M-D-C-E-H-T

Lintasan buntu atau lintasan yang tidak sampai ke tujuan :

M-A-B-C-E-F-G

M-A-B-C-E-I-J

M-D-C-E-F-G

M-D-C-E-I-J

M-D-I-J

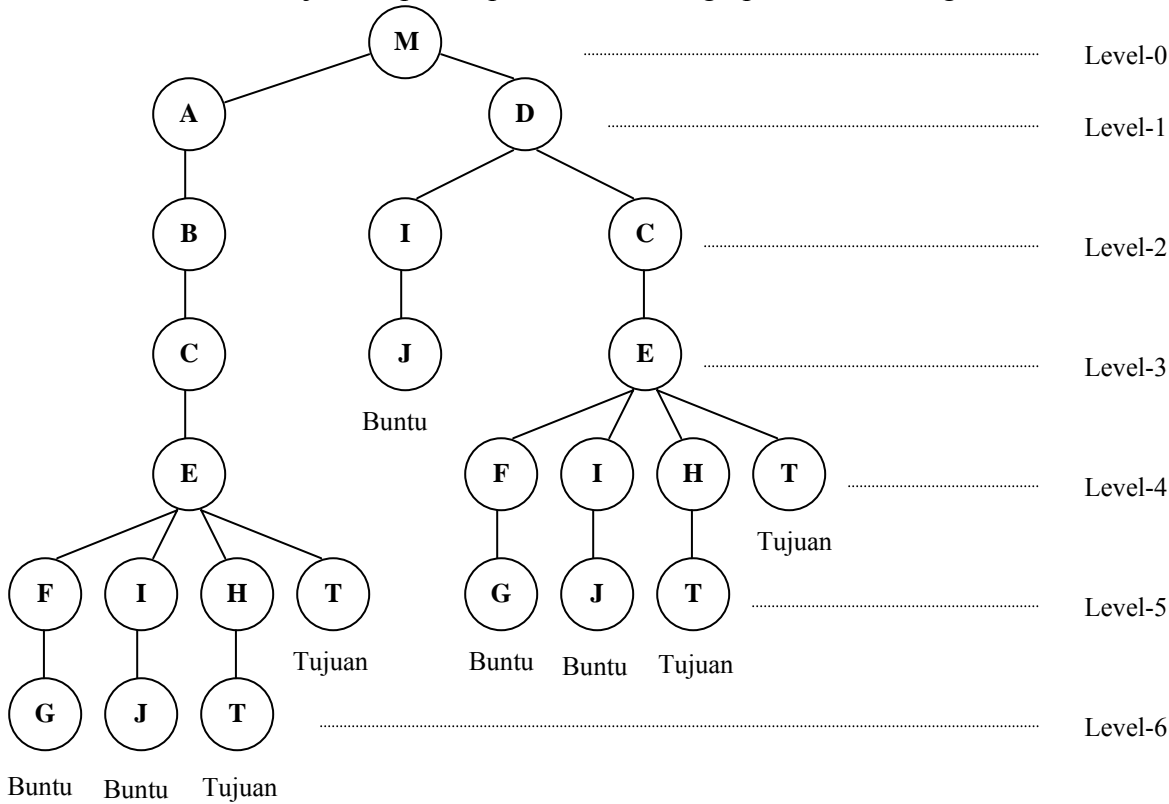
**POHON PELACAKAN / PENCARIAN**

Struktur pohon digunakan untuk menggambarkan keadaan secara hirarkis. Node yg terletak pada level-0 disebut 'akar'.

Node akar : menunjukkan keadaan awal & memiliki beberapa percabangan yang terdiri atas beberapa node yg disebut 'anak'.

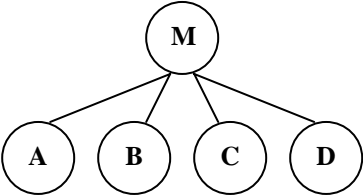
Node-node yg tidak memiliki anak disebut 'daun' menunjukkan akhir dari suatu pencarian, dapat berupa tujuan yang diharapkan (goal) atau jalan buntu (dead end).

Gambar berikut menunjukkan pohon pencarian untuk graph keadaan dengan 6 level.

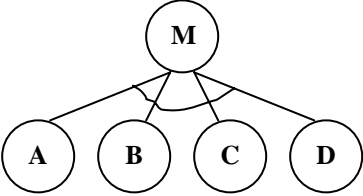


**POHON AND/OR**

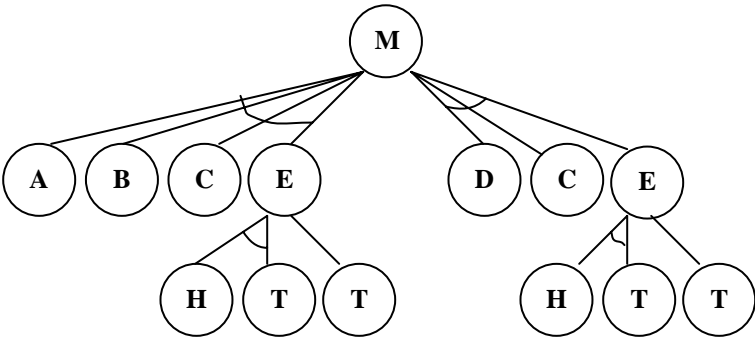
Masalah M dicari solusinya dengan 4 kemungkinan yaitu A OR B OR C OR D.



Masalah M hanya dapat diselesaikan dengan A AND B AND C AND D



Contoh : Dengan menggunakan pohon AND/OR tujuan yang dicapai pada pohon di Gambar sebelumnya bisa dipersingkat hanya sampai level-2 saja.



**Contoh 1 : Masalah EMBER**

Ada 2 ember masing-masing berkapasitas 4 galon (ember A) dan 3 galon (ember B). Ada pompa air yg akan digunakan untuk mengisi air pada ember tersebut. Bagaimana dapat mengisi tepat 2 galon air ke dalam ember berkapasitas 4 galon?

Penyelesaian :

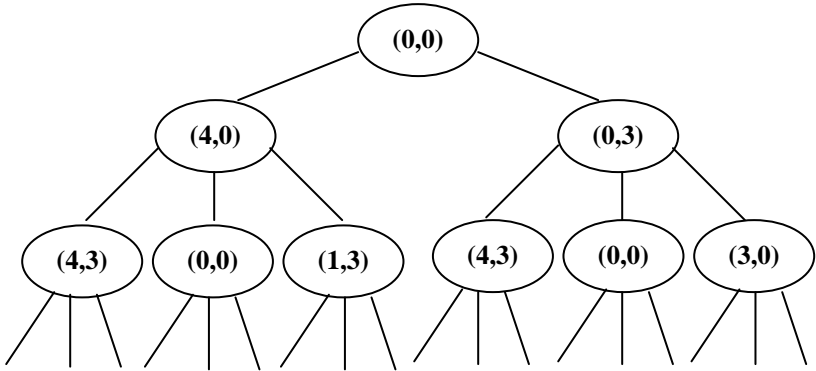
- 1. Identifikasi ruang keadaan (state space)  
Permasalahan ini dapat digambarkan sebagai himpunan pasangan bilangan bulat :  
x = jumlah air yg diisikan ke ember 4 galon (ember A)  
y = jumlah air yg diisikan ke ember 3 galon (ember B)  
Ruang keadaan = (x,y) sedemikian hingga  $x \in \{0,1,2,3,4\}$  dan  $y \in \{0,1,2,3\}$
- 2. Keadaan awal & tujuan  
Keadaan awal : kedua ember kosong = (0,0)  
Tujuan : ember 4 galon berisi 2 galon air = (2,n) dengan sembarang n
- 3. Keadaan ember  
Keadaan ember bisa digambarkan sebagai berikut :

Keadaan awal	Tujuan $\nabla$				
<div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div>(0,0)</div>	(1,0)	(2,0)	(3,0)	(4,0)	
(0,1)	(1,1)	(2,1)	(3,1)	(4,1)	
(0,2)	(1,2)	(2,2)	(3,2)	(4,2)	
(0,3)	(1,3)	(2,3)	(3,3)	(4,3)	

4. Aturan-aturan
- Diasumsikan kita dapat mengisi ember air itu dari pompa air, membuang air dari ember ke luar, menuangkan air dari ember yang satu ke ember yang lain.
- Kita buat beberapa aturan-aturan yang dapat digambarkan sebagai berikut :

Aturan ke-	Jika	Maka
1	$(x,y)$ $x < 4$	$(4,y)$ Isi ember A
2	$(x,y)$ $y < 3$	$(x,3)$ Isi ember B
3	$(x,y)$ $x > 0$	$(x - d,y)$ Tuang sebagian air keluar dari ember A
4	$(x,y)$ $y > 0$	$(x,y - d)$ Tuang sebagian air keluar dari ember B
5	$(x,y)$ $x > 0$	$(0,y)$ Kosongkan ember A dengan membuang airnya
6	$(x,y)$ $y > 0$	$(x,0)$ Kosongkan ember B dengan membuang airnya
7	$(x,y)$ $x+y \geq 4$ dan $y > 0$	$(4,y - (4 - x))$ Tuang air dari ember B ke ember A sampai ember A penuh
8	$(x,y)$ $x+y \geq 3$ dan $x > 0$	$(x - (3 - y),3)$ Tuang air dari ember A ke ember B sampai ember B penuh
9	$(x,y)$ $x+y \leq 4$ dan $y > 0$	$(x+y,0)$ Tuang seluruh air dari ember B ke ember A
10	$(x,y)$ $x+y \leq 3$ dan $x > 0$	$(0,x+y)$ Tuang seluruh air dari ember A ke ember B
11	$(0,2)$	$(2,0)$ Tuang 2 galon air dari ember B ke ember A

5. Representasi ruang keadaan dengan pohon pelacakan
- Pencarian suatu solusi dapat dilukiskan dengan menggunakan pohon. Tiap-tiap node menunjukkan satu keadaan. Jalur dari parent ke child ,menunjukkan 1 operasi. Tiap node memiliki node child yg menunjukkan keadaan yg dapat dicapai oleh parent.



Solusi yg ditemukan :

Solusi 1

Isi ember A	Isi ember B	Aturan yg dipakai
0	0	1
4	0	8
1	3	6
1	0	10
0	1	1
4	1	8
2	3	Solusi

Solusi 2

Isi ember A	Isi ember B	Aturan yg dipakai
0	0	2
0	3	9
3	0	2
3	3	7
4	2	5
0	2	9
2	0	Solusi

Contoh 2 : Masalah PETANI,KAMBING,SERIGALA,SAYURAN,PERAHU

Seorang petani akan menyeberangkan seekor kambing,seekor serigala,sayuran dengan sebuah perahu yg melalui sungai. Perahu hanya bisa memuat petani & satu penumpang yg lain (kambing, serigala, atau sayuran). Jika ditinggalkan petani tersebut, maka sayuran dimakan kambing dan kambing akan dimakan serigala.

Penyelesaian :

1. Identifikasi ruang keadaan
- Permasalahan ini dapat dilambangkan dengan (jumlah kambing,jumlah serigala,jumlah sayuran,jumlah perahu).
- Contoh : daerah asal (0,1,1,1) = daerah asal tidak ada kambing,ada serigala,ada sayuran,ada perahu

2. Keadaan awal & tujuan
- Keadaan awal, pada kedua daerah :
- daerah asal = (1,1,1,1)
- daerah seberang = (0,0,0,0)
- Keadaan tujuan, pada kedua daerah :
- daerah asal = (0,0,0,0)
- daerah seberang = (1,1,1,1)

3. Aturan-aturan

Aturan ke-	Aturan
1	Kambing menyeberang
2	Sayuran menyeberang
3	Serigala menyeberang
4	Kambing kembali
5	Sayuran kembali
6	Serigala kembali
7	Perahu kembali

4. Solusi yg ditemukan

Daerah asal	Daerah seberang	Aturan yg dipakai
(1,1,1,1)	(0,0,0,0)	1
(0,1,1,0)	(1,0,0,1)	7
(0,1,1,1)	(1,0,0,0)	3
(0,0,1,0)	(1,1,0,1)	4
(1,0,1,1)	(0,1,0,0)	2
(1,0,0,0)	(0,1,1,1)	7
(1,0,0,1)	(0,1,1,0)	1
(0,0,0,0)	(1,1,1,1)	Solusi

METODE PELACAKAN/PENCARIAN

Hal penting dalam menentukan keberhasilan sistem cerdas adalah kesuksesan dalam pencarian.

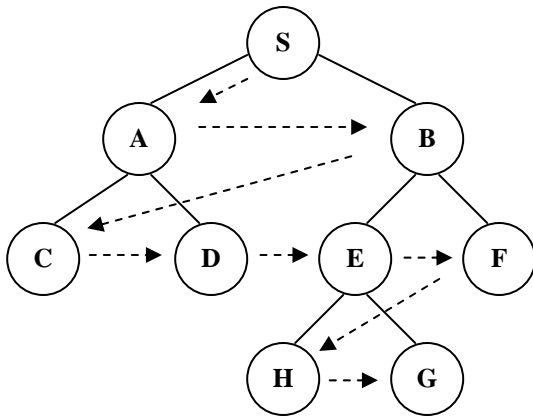
Teknik pencarian :

- A. Pencarian buta (blind search) :
1. Pencarian melebar pertama (Breadth – First Search)
2. Pencarian mendalam pertama (Depth – First Search)
- B. Pencarian terbimbing (heuristic search) :
1. Pendakian Bukit (Hill Climbing)
2. Pencarian Terbaik Pertama (Best First Search)

## A. Pencarian Buta (blind search)

### 1. Breadth – First Search

Semua node pada level  $n$  akan dikunjungi terlebih dahulu sebelum mengunjungi node-node pada level  $n+1$ . pencarian dimulai dari node akar terus ke level 1 dari kiri ke kanan, kemudian berpindah ke level berikutnya dari kiri ke kanan hingga solusi ditemukan.



Keuntungan :

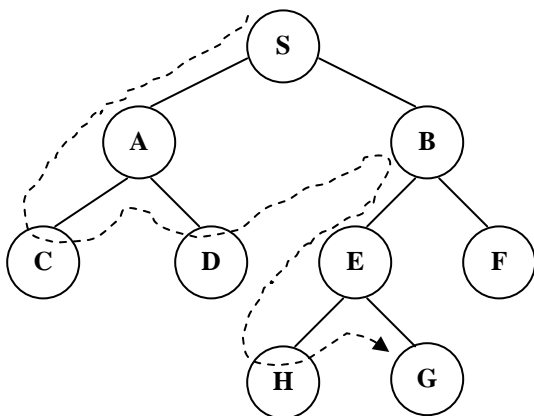
- tidak akan menemui jalan buntu
- jika ada 1 solusi, maka breadth – first search akan menemukannya, jika ada lebih dari 1 solusi, maka solusi minimum akan ditemukan.

Kelemahan :

- membutuhkan memori yang cukup banyak
- membutuhkan waktu yang cukup lama

### 2. Depth – First Search

Proses pencarian dilakukan pada semua anaknya sebelum dilakukan pencarian ke node-node yang selevel. Pencarian dimulai dari node akar ke level yang lebih tinggi. Proses diulangi terus hingga ditemukan solusi.



Keuntungan :

- membutuhkan memori relatif kecil, karena hanya node-node pada lintasan yang aktif saja yang disimpan
- Secara kebetulan, akan menemukan solusi tanpa harus menguji lebih banyak lagi dalam ruang keadaan

Kelemahan :

- Memungkinkan tidak ditemukannya tujuan yang diharapkan
- Hanya mendapat 1 solusi pada setiap pencarian



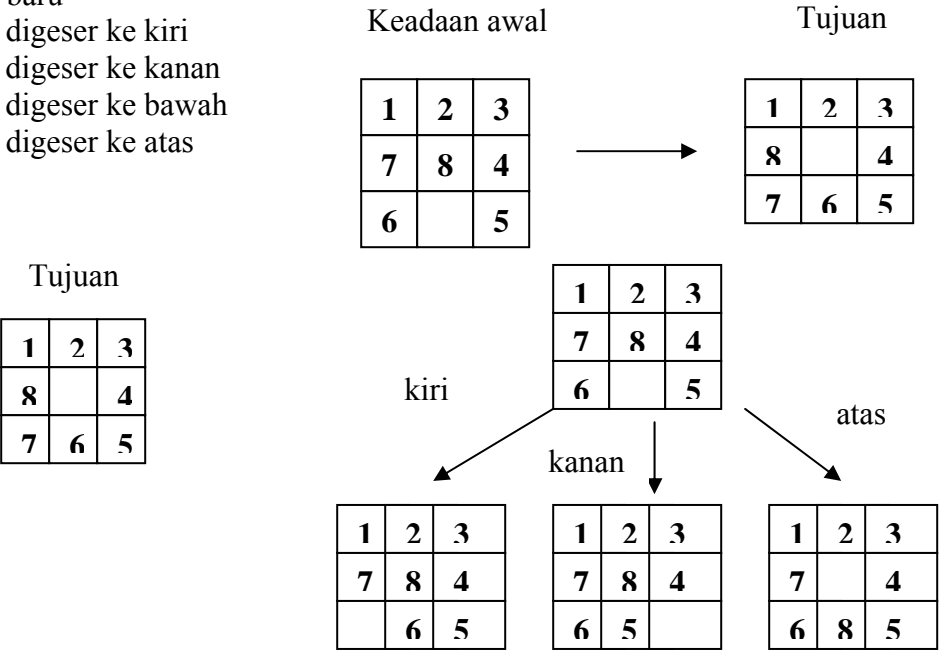
B. Heuristic Search

Pencarian buta tidak selalu dapat diterapkan dengan baik, hal ini disebabkan waktu aksesnya yang cukup lama & besarnya memori yang diperlukan. Kelemahan ini dapat diatasi jika ada informasi tambahan dari domain yang bersangkutan.

Misal kasus 8-puzzle. Ada 4 operator yang dapat digunakan untuk menggerakkan dari satu keadaan ke keadaan yang baru

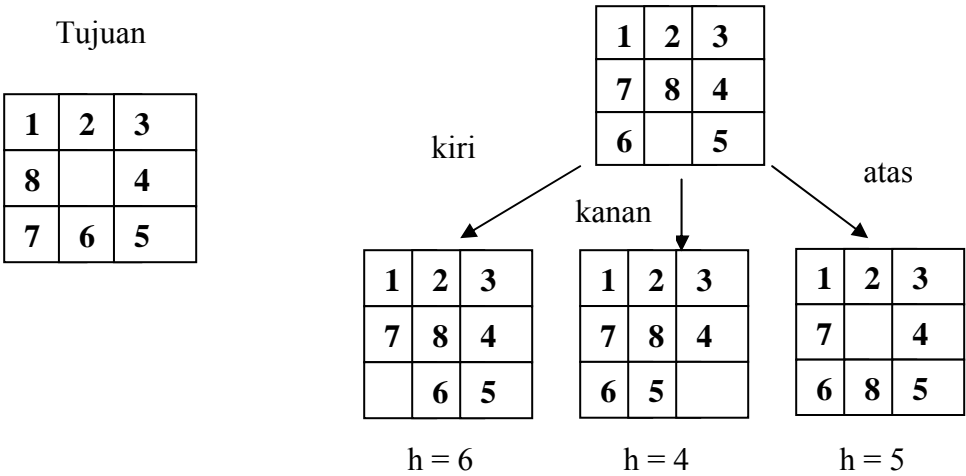
- 1. Ubin kosong digeser ke kiri
- 2. Ubin kosong digeser ke kanan
- 3. Ubin kosong digeser ke bawah
- 4. Ubin kosong digeser ke atas

Langkah awal

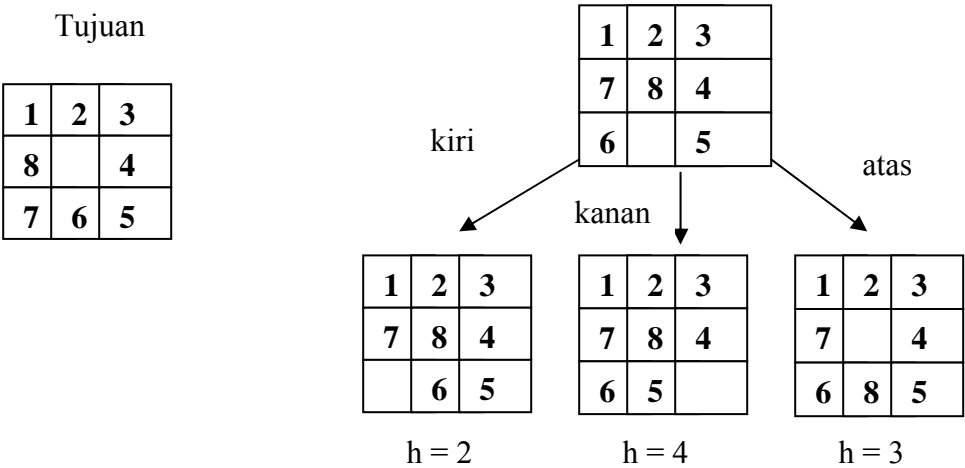


Pada pencarian heuristik perlu diberikan informasi khusus, yaitu :

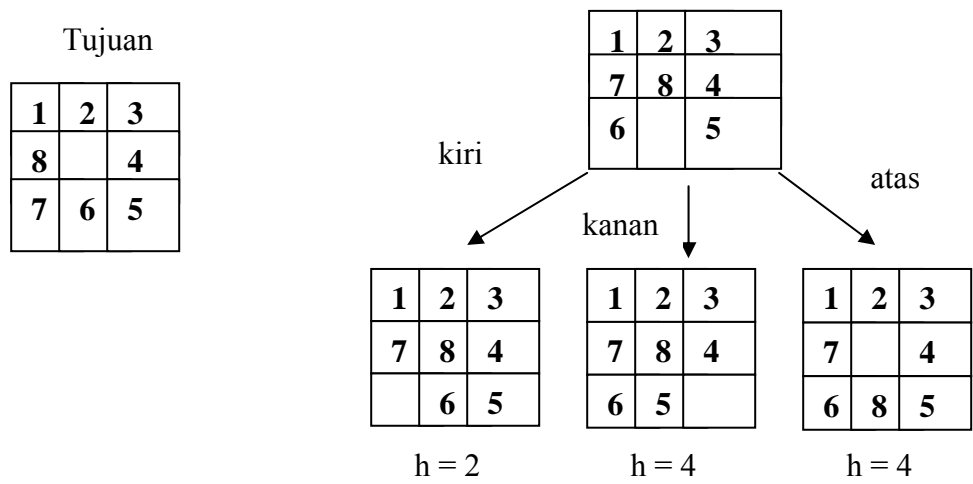
- ♦ Untuk jumlah ubin yang menempati posisi yang benar  
Jumlah yang lebih tinggi adalah yang lebih diharapkan (lebih baik)



- ♦ Untuk jumlah ubin yang menempati posisi yang salah  
Jumlah yang lebih kecil adalah yang diharapkan (lebih baik)



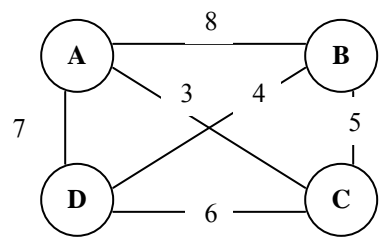
- ♦ Menghitung total gerakan yang diperlukan untuk mencapai tujuan  
Jumlah yang lebih kecil adalah yang diharapkan (lebih baik)



1. Hill Climbing

Contoh : Traveling Salesman Problem (TSP)

Seorang salesman ingin mengunjungi n kota. Jarak antara tiap-tiap kota sudah diketahui. Kita ingin mengetahui rute terpendek dimana setiap kota hanya boleh dikunjungi tepat 1 kali. Misal ada 4 kota dengan jarak antara tiap-tiap kota seperti berikut ini :



Solusi – solusi yang mungkin dengan menyusun kota-kota dalam urutan abjad, misal :

A – B – C – D : dengan panjang lintasan (=19)

A – B – D – C : (=18)

A – C – B – D : (=12)

A – C – D – B : (=13)

dst

a. Metode simple hill climbing

Ruang keadaan berisi semua kemungkinan lintasan yang mungkin. Operator digunakan untuk menukar posisi kota-kota yang bersebelahan. Fungsi heuristik yang digunakan adalah panjang lintasan yang terjadi.

Operator yang akan digunakan adalah menukar urutan posisi 2 kota dalam 1 lintasan. Bila ada n kota, dan ingin mencari kombinasi lintasan dengan menukar posisi urutan 2 kota, maka akan didapat sebanyak :

$$\frac{n!}{2!(n-2)!} = \frac{4!}{2!(4-2)!} = 6 \text{ kombinasi}$$

Keenam kombinasi ini akan dipakai semuanya sebagai operator, yaitu :

Tukar 1,2 = menukar urutan posisi kota ke – 1 dengan kota ke – 2

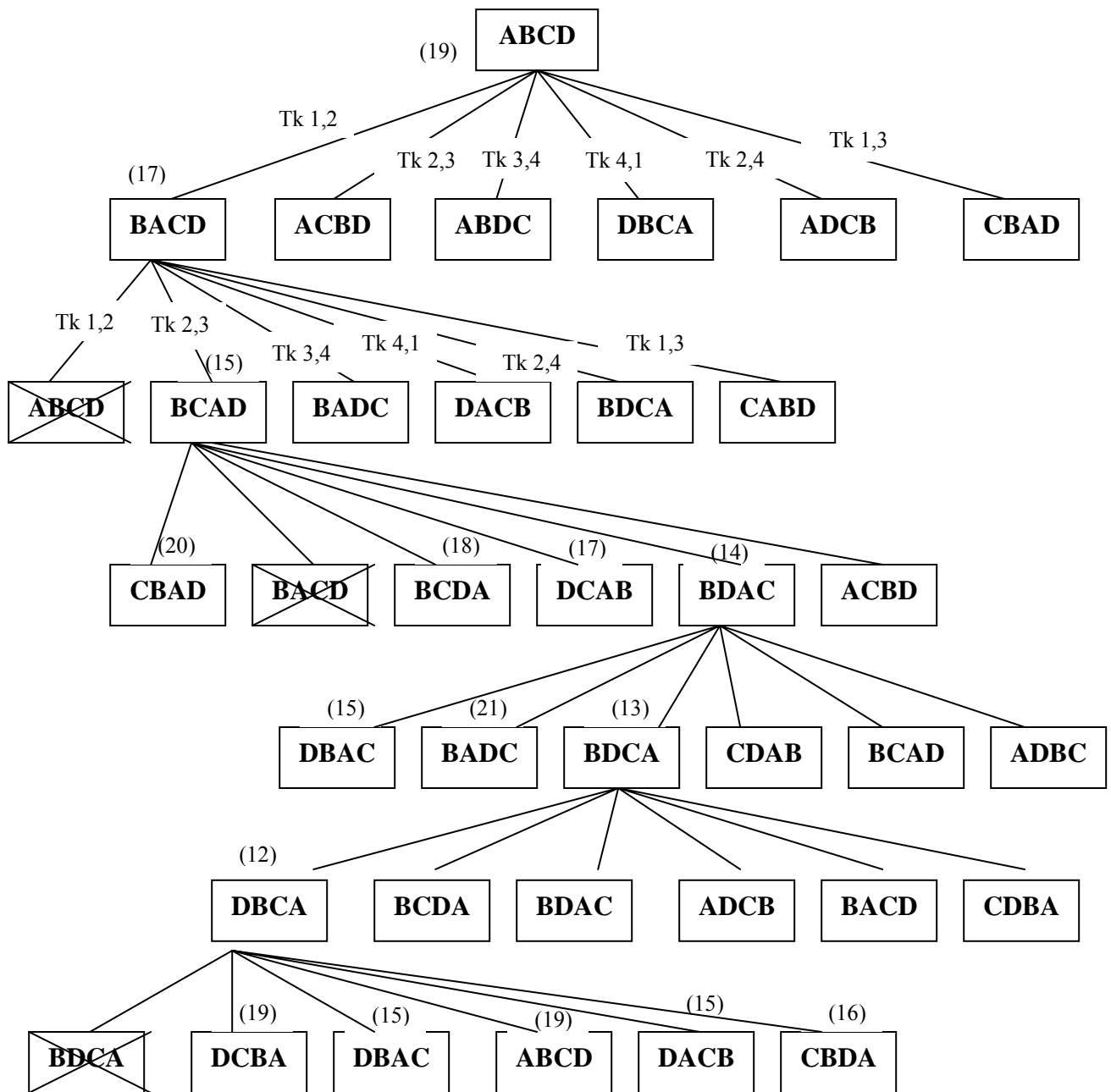
Tukar 2,3 = menukar urutan posisi kota ke – 2 dengan kota ke – 3

Tukar 3,4 = menukar urutan posisi kota ke – 3 dengan kota ke – 4

Tukar 4,1 = menukar urutan posisi kota ke – 4 dengan kota ke – 1

Tukar 2,4 = menukar urutan posisi kota ke – 2 dengan kota ke – 4

Tukar 1,3 = menukar urutan posisi kota ke – 1 dengan kota ke – 3



Keadaan awal, lintasan ABCD (=19).

Level pertama, hill climbing mengunjungi BACD (=17), BACD (=17) < ABCD (=19), sehingga BACD menjadi pilihan selanjutnya dengan operator Tukar 1,2

Level kedua, mengunjungi ABCD, karena operator Tukar 1,2 sudah dipakai BACD, maka pilih node lain yaitu BCAD (=15), BCAD (=15) < BACD (=17)

Level ketiga, mengunjungi CBAD (=20), CBAD (=20) > BCAD (=15), maka pilih node lain yaitu BCDA (=18), pilih node lain yaitu DCAB (=17), pilih node lain yaitu BDAC (=14), BDAC (=14) < BCAD (=15)

Level keempat, mengunjungi DBAC (=15), DBAC (=15) > BDAC (=14), maka pilih node lain yaitu BADC (=21), pilih node lain yaitu BDCA (=13), BDCA (=13) < BDAC (=14)

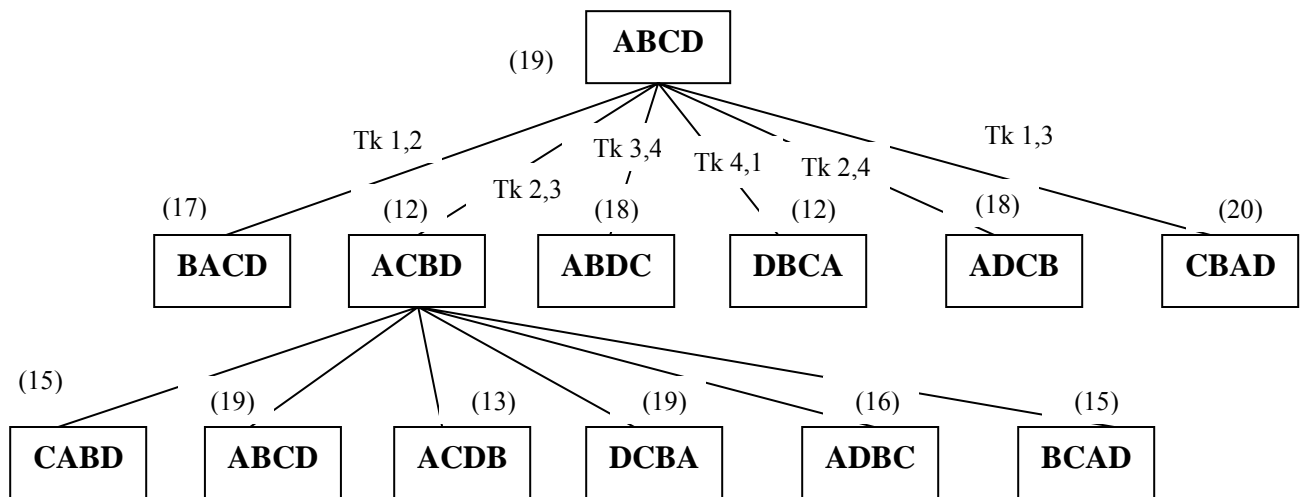
Level kelima, mengunjungi DBCA (=12), DBCA (=12) < BDCA (=13)

Level keenam, mengunjungi BDCA, karena operator Tukar 1,2 sudah dipakai DBCA, maka pilih node lain yaitu DCBA, pilih DBAC, pilih ABCD, pilih DACB, pilih CBDA

Karena sudah tidak ada node yang memiliki nilai heuristik yang lebih kecil dibanding nilai heuristik DBCA, maka **node DBCA (=12)** adalah **lintasan terpendek (SOLUSI)**

#### b. Metode steepest – ascent hill climbing

Steepest – ascent hill climbing hampir sama dengan simple – ascent hill climbing, hanya saja gerakan pencarian tidak dimulai dari kiri, tetapi berdasarkan nilai heuristik terbaik.



Keadaan awal, lintasan ABCD (=19).

Level pertama, hill climbing memilih nilai heuristik terbaik yaitu ACBD (=12) sehingga ACBD menjadi pilihan selanjutnya.

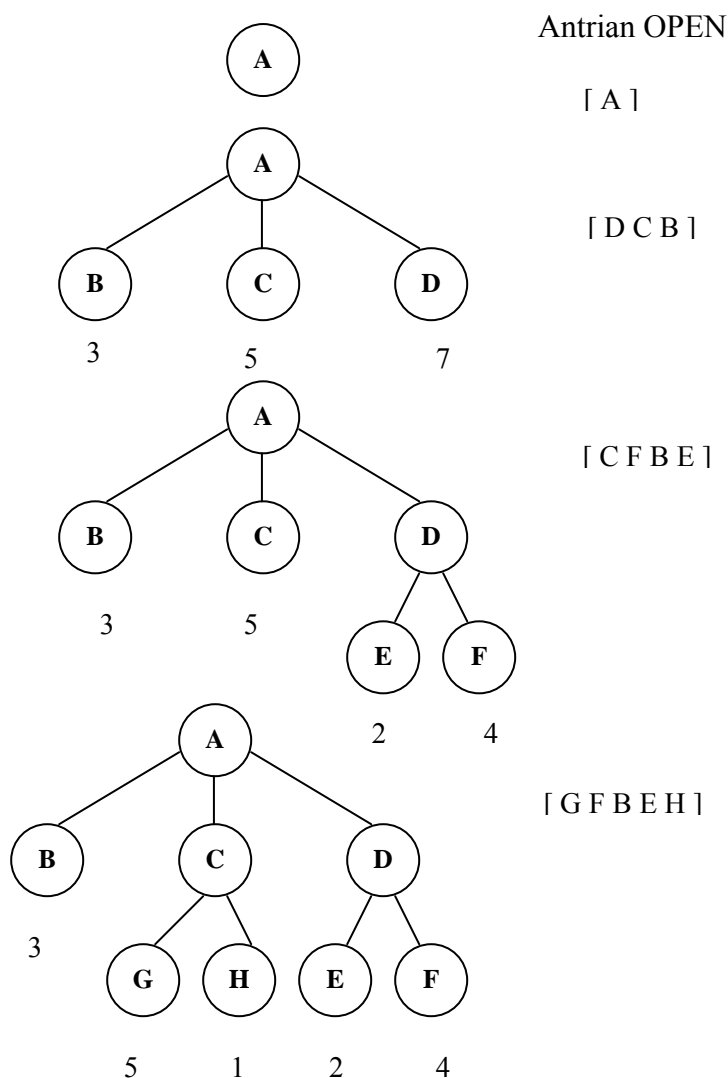
Level kedua, hill climbing memilih nilai heuristik terbaik, karena nilai heuristik lebih besar dibanding ACBD, maka hasil yang diperoleh lintasannya tetap ACBD (=12)

## 2. Best First Search

Metode best first search merupakan kombinasi dari metode depth first search dan breadth first search dengan mengambil kelebihan dari kedua metode tersebut. Hill climbing tidak diperbolehkan untuk kembali ke node pada lebih rendah meskipun node tersebut memiliki nilai heuristik lebih baik. Pada best first search, pencarian diperbolehkan mengunjungi node di lebih rendah, jika ternyata node di level lebih tinggi memiliki nilai heuristik lebih buruk. Untuk mengimplementasikan metode ini, dibutuhkan 2 antrian yang berisi node-node, yaitu :

OPEN : berisi node-node yang sudah dibangkitkan, sudah memiliki fungsi heuristik namun belum diuji. Umumnya berupa antrian berprioritas yang berisi elemen-elemen dengan nilai heuristik tertinggi.

CLOSED : berisi node-node yang sudah diuji.



Diasumsikan node dengan nilai yang lebih besar memiliki nilai evaluasi yang lebih baik. Pada keadaan awal, antrian berisi A. Pengujian dilakukan di level pertama, node D memiliki nilai terbaik, sehingga menempati antrian pertama, disusul dengan C dan B. Node D memiliki cabang E dan F yang masing-masing bernilai 2 & 4. Dengan demikian C merupakan pilihan terbaik dengan menempati antrian pertama. Demikian seterusnya.

### III. REPRESENTASI PENGETAHUAN

Sebelumnya kita telah dapat merepresentasikan suatu masalah dalam ruang keadaan. Dalam menyelesaikan masalah tersebut, dibutuhkan pengetahuan yang cukup dan sistem juga harus memiliki kemampuan untuk menalar. Basis pengetahuan dan kemampuan untuk melakukan penalaran merupakan bagian terpenting dari sistem yang menggunakan kecerdasan buatan.

#### 3.1 LOGIKA

Logika adalah bentuk representasi pengetahuan yang paling tua. Proses logika adalah proses membentuk kesimpulan atau menarik suatu inferensi berdasarkan fakta yang telah ada. Input dari proses logika berupa premis atau fakta-fakta yang diakui kebenarannya sehingga dengan melakukan penalaran pada proses logika dapat dibentuk suatu inferensi atau kesimpulan yang benar juga.



Ada 2 penalaran yang dapat dilakukan untuk mendapat konklusi :

1. Penalaran deduktif : dimulai dari prinsip umum untuk mendapatkan konklusi yang lebih khusus.

Contoh :

Premis mayor : Jika hujan turun saya tidak akan berangkat kuliah  
Premis minor : Hari ini hujan turun  
Konklusi : Hari ini saya tidak akan berangkat kuliah

2. Penalaran induktif : dimulai dari fakta-fakta khusus untuk mendapatkan kesimpulan umum.

Contoh :

Premis -1 : Aljabar adalah pelajaran yang sulit  
Premis -2 : Geometri adalah pelajaran yang sulit  
Premis -3 : Kalkulus adalah pelajaran yang sulit  
Konklusi : Matematika adalah pelajaran yang sulit

Munculnya premis baru bisa mengakibatkan gugurnya konklusi yang sudah diperoleh, misal :

Premis -4 : Kinematika adalah pelajaran yang sulit

Premis tersebut menyebabkan konklusi : “Matematika adalah pelajaran yang sulit”, menjadi salah, karena Kinematika bukan merupakan bagian dari Matematika, sehingga bila menggunakan penalaran induktif sangat dimungkinkan adanya ketidakpastian.

##### 3.1.1 Logika Proposisi

Proposisi adalah suatu pernyataan yang dapat bernilai Benar atau Salah. Simbol-simbol seperti P dan Q menunjukkan proposisi. Dua atau lebih proposisi dapat digabungkan dengan menggunakan operator logika :

- a. Konjungsi :  $\wedge$  (and)
- b. Disjungsi :  $\vee$  (or)
- c. Negasi :  $\neg$  (not)
- d. Implikasi :  $\rightarrow$  (if then)
- e. Ekuivalensi :  $\leftrightarrow$  (if and only if)

**Not**

P	not P
B	S
S	B

**And, Or, If – Then, If – and – only – if**

P	Q	P and Q	P or Q	if P then Q	P if and only if Q
B	B	B	B	B	B
B	S	S	B	S	S
S	B	S	B	B	S
S	S	S	S	B	B

Untuk melakukan inferensi pada logika proposisi dapat dilakukan dengan menggunakan resolusi. Resolusi adalah suatu aturan untuk melakukan inferensi yang dapat berjalan secara efisien dalam suatu bentuk khusus yaitu *conjunctive normal form* (CNF), ciri – cirinya :

- setiap kalimat merupakan disjungsi literal
- semua kalimat terkonjungsi secara implisit

Langkah-langkah untuk mengubah suatu kalimat (konversi) ke bentuk CNF :

- Hilangkan implikasi dan ekuivalensi
  - $x \rightarrow y$  menjadi  $\neg x \vee y$
  - $x \leftrightarrow y$  menjadi  $(\neg x \vee y) \wedge (\neg y \vee x)$
- Kurangi lingkup semua negasi menjadi satu negasi saja
  - $\neg(\neg x)$  menjadi  $x$
  - $\neg(x \vee y)$  menjadi  $(\neg x \wedge \neg y)$
  - $\neg(x \wedge y)$  menjadi  $(\neg x \vee \neg y)$
- Gunakan aturan assosiatif dan distributif untuk mengkonversi menjadi conjunction of disjunction
  - Assosiatif :  $(A \vee B) \vee C$  menjadi  $A \vee (B \vee C)$
  - Distributif :  $(A \wedge B) \vee C$  menjadi  $(A \vee C) \wedge (B \vee C)$
- Buat satu kalimat terpisah untuk tiap-tiap konjungsi

**Contoh :**

Diketahui basis pengetahuan (fakta-fakta yang bernilai benar) sebagai berikut :

1. P
2.  $(P \wedge Q) \rightarrow R$
3.  $(S \vee T) \rightarrow Q$
4. T

Tentukan kebenaran R.

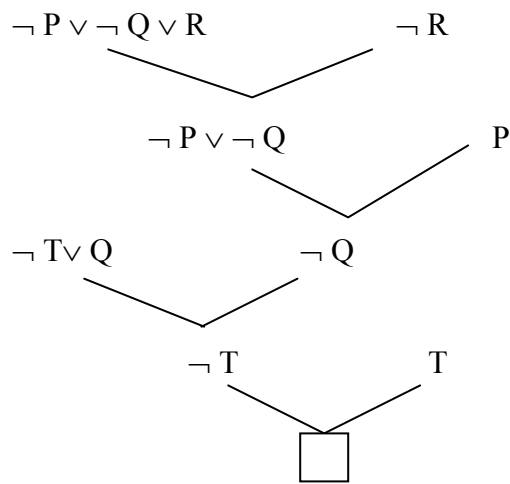
Untuk membuktikan kebenaran R dengan menggunakan resolusi,maka ubah dulu menjadi bentuk CNF.

Kalimat	Langkah-langkah	CNF
1. P	Sudah merupakan bentuk CNF	P
2. $(P \wedge Q) \rightarrow R$	■ Menghilangkan implikasi : $\neg (P \wedge Q) \vee R$  ■ Mengurangi lingkup negasi : $(\neg P \vee \neg Q) \vee R$  ■ Gunakan asosiatif : $\neg P \vee \neg Q \vee R$	$\neg P \vee \neg Q \vee R$
3. $(S \vee T) \rightarrow Q$	■ Menghilangkan implikasi : $\neg (S \vee T) \vee Q$  ■ Mengurangi lingkup negasi : $(\neg S \wedge \neg T) \vee Q$  ■ Gunakan distributif : $(\neg S \vee Q) \wedge (\neg T \vee Q)$	$(\neg S \vee Q)$ $(\neg T \vee Q)$
4. T	Sudah merupakan bentuk CNF	T

Kemudian kita tambahkan kontradiksi pada tujuannya, R menjadi  $\neg R$  sehingga fakta-fakta (dalam bentuk CNF) dapat disusun menjadi :

1. P
2.  $\neg P \vee \neg Q \vee R$
3.  $\neg S \vee Q$
4.  $\neg T \vee Q$
5. T
6.  $\neg R$

Sehingga resolusi dapat dilakukan untuk membuktikan kebenaran R, sebagai berikut :



Contoh bila diterapkan dalam kalimat :

- P : Ani anak yang cerdas
- Q : Ani rajin belajar
- R : Ani akan menjadi juara kelas
- S : Ani makannya banyak
- T : Ani istirahatnya cukup

Kalimat yang terbentuk :

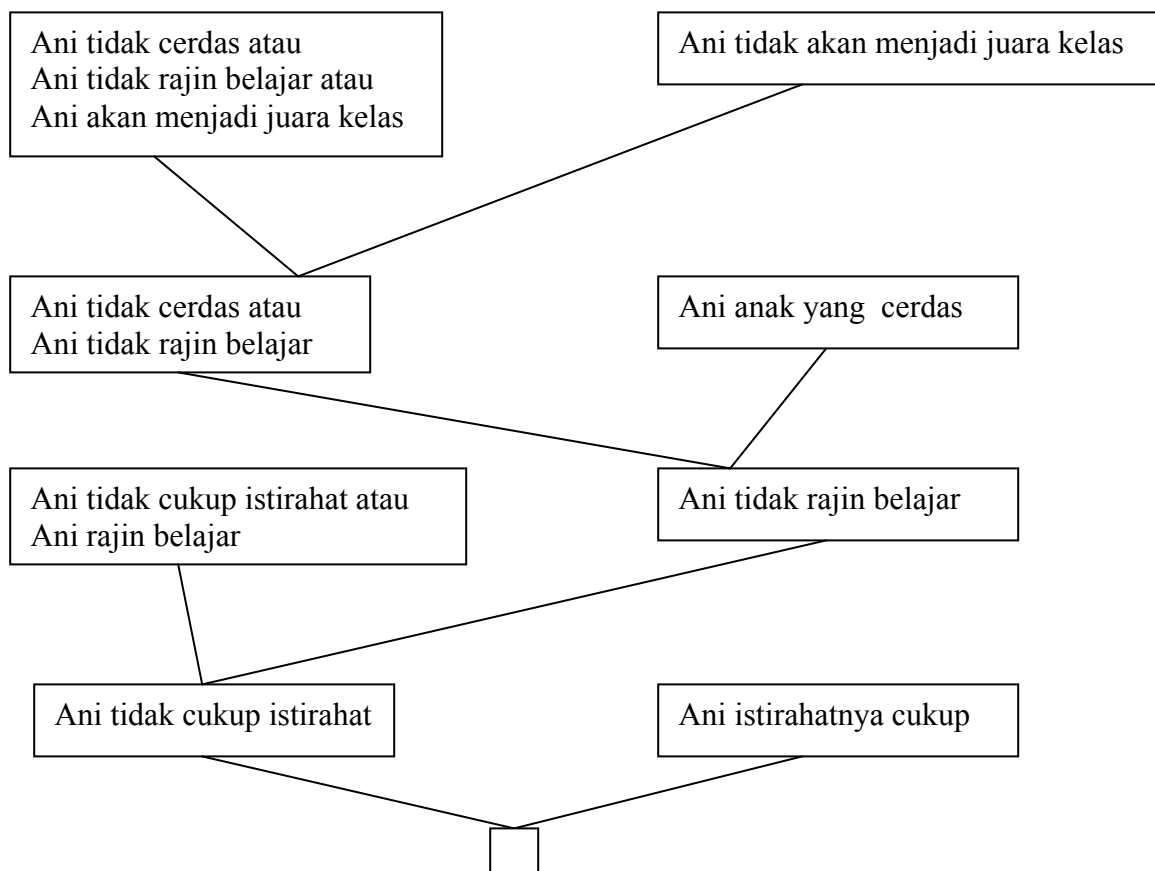
- Ani anak yang cerdas
- Jika ani anak yang cerdas dan ani rajin belajar, maka ani akan menjadi juara kelas
- Jika ani makannya banyak atau ani istirahatnya cukup, maka ani rajin belajar
- Ani istirahatnya cukup

Setelah dilakukan konversi ke bentuk CNF, didapat :

Fakta ke-2 : Ani tidak cerdas atau ani tidak rajin belajar atau ani akan menjadi juara kelas

Fakta ke-3 : Ani tidak makan banyak atau ani rajin belajar

Fakta ke-4 : Ani tidak cukup istirahat atau ani rajin belajar



### 3.1.2 Logika Predikat

#### Representasi Fakta Sederhana

Misal diketahui fakta-fakta sebagai berikut :

- Andi adalah seorang laki-laki : A
- Ali adalah seorang laki-laki : B
- Amir adalah seorang laki-laki : C
- Anto adalah seorang laki-laki : D
- Agus adalah seorang laki-laki : E

Jika kelima fakta tersebut dinyatakan dengan menggunakan proposisi, maka akan terjadi pemborosan, dimana beberapa pernyataan dengan predikat yang sama akan dibuat dalam proposisi yang berbeda.

Logika predikat digunakan untuk merepresentasikan hal-hal yang tidak dapat direpresentasikan dengan menggunakan logika proposisi. Pada logika predikat kita dapat merepresentasikan fakta-fakta sebagai suatu pernyataan yang disebut dengan *wff* (*well – formed formula*).

Pada contoh diatas, dapat dituliskan :

$\text{laki-laki}(x)$

dimana x adalah variabel yang disubstitusikan dengan Andi, Ali, Amir, Anto, Agus, dan laki-laki yang lain.

Dalam logika predikat, suatu proposisi atau premis dibagi menjadi 2 bagian, yaitu argumen (objek) dan predikat (keterangan). Argumen adalah individu atau objek yang membuat keterangan. Predikat adalah keterangan yang membuat argumen dan predikat.

Contoh :

1. Jika besok tidak hujan, Tommy pergi ke gunung  
 $\neg \text{cuaca}(\text{hujan}, \text{besok}) \rightarrow \text{pergi}(\text{tommy}, \text{gunung})$
2. Diana adalah nenek dari ibu Amir  
 $\text{nenek}(\text{Diana}, \text{ibu}(\text{Amir}))$
3. Mahasiswa berada di dalam kelas  
 $\text{didalam}(\text{mahasiswa}, \text{kelas})$

Dari contoh diatas dapat dijabarkan sebagai berikut :

di dalam = predikat (keterangan)

mahasiswa = argumen (objek)

kelas = argumen (objek)

4. Johan suka Maria  
 $\text{suka}(\text{johan}, \text{maria})$
5. Pintu terbuka  
 $\text{Buka}(\text{pintu})$
6. Johan suka Maria  
Ramon suka Maria  
Misal : Johan = x, Maria = y, Ramon = z  
Maka :  $\text{suka}(x, y) \wedge \text{suka}(z, y) \rightarrow \text{tidak suka}(x, z)$   
Dibaca : Jika Johan suka Maria dan Ramon suka Maria, maka Johan tidak suka Ramon

Misal terdapat pernyataan sebagai berikut :

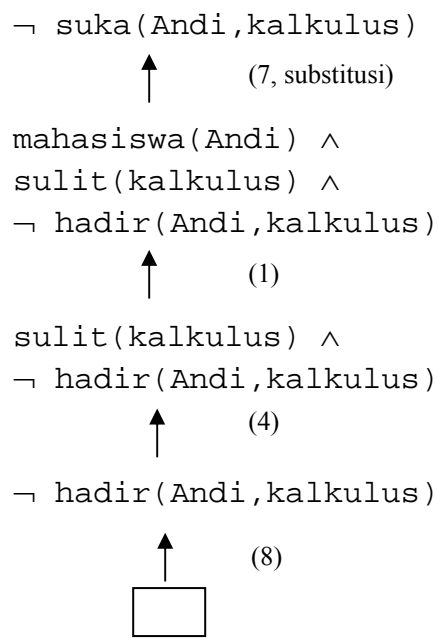
1. Andi adalah seorang mahasiswa
2. Andi masuk jurusan Elektro
3. Setiap mahasiswa elektro pasti mahasiswa teknik
4. Kalkulus adalah matakuliah yang sulit
5. Setiap mahasiswa teknik pasti akan suka kalkulus atau akan membencinya
6. Setiap mahasiswa pasti akan suka terhadap suatu matakuliah
7. Mahasiswa yang tidak pernah hadir pada kuliah matakuliah sulit, maka mereka pasti tidak suka terhadap matakuliah tersebut.
8. Andi tidak pernah hadir kuliah matakuliah kalkulus

Kedelapan pernyataan diatas dapat dibawa ke bentuk logika predikat dengan menggunakan operator-operator :  $\rightarrow$  ,  $\neg$  ,  $\wedge$  ,  $\vee$  ,  $\forall$  (untuk setiap),  $\exists$  (terdapat), sebagai berikut :



- 1. mahasiswa(Andi)
- 2. elektro(Andi)
- 3.  $\forall x : elektro(x) \rightarrow teknik(x)$
- 4. sulit(kalkulus)
- 5.  $\forall x : teknik(x) \rightarrow suka(x,kalkulus) \vee benci(x,kalkulus)$
- 6.  $\forall x : \exists y : suka(x,y)$
- 7.  $\forall x : \forall y : mahasiswa(x) \wedge sulit(y) \wedge \neg hadir(x,y) \rightarrow \neg suka(x,y)$
- 8.  $\neg hadir(Andi,kalkulus)$

Andaikan kita akan menjawab pertanyaan :  
"Apakah Andi suka matakuliah kalkulus?"  
Maka dari pernyataan ke-7 kita akan membuktikan bahwa Andi tidak suka dengan matakuliah kalkulus.  
Dengan menggunakan penalaran backward, bisa dibuktikan bahwa :  
 $\neg suka(Andi,kalkulus)$   
Sebagai berikut :



Dari penalaran tersebut dapat dibuktikan bahwa Andi tidak suka dengan matakuliah kalkulus.

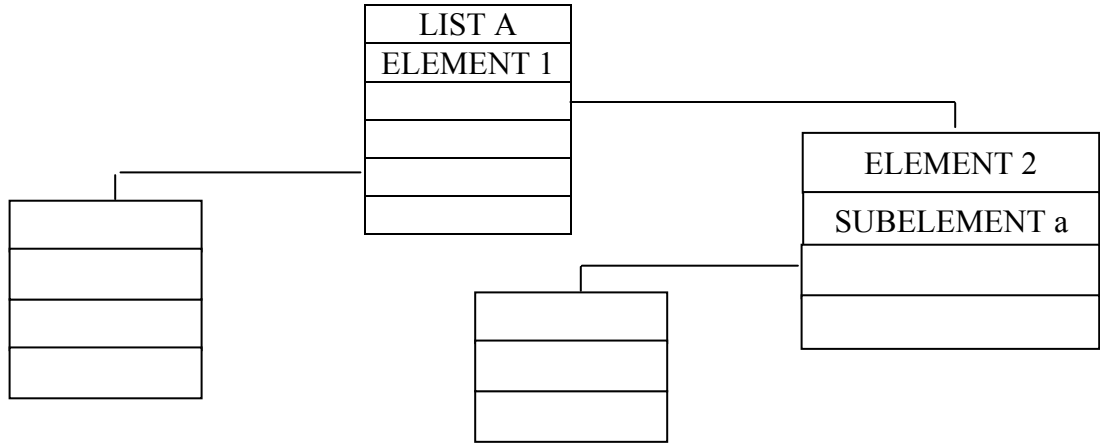
3.2 LIST dan TREE

List dan Tree merupakan struktur sederhana yang digunakan dalam representasi hirarki pengetahuan.

LIST

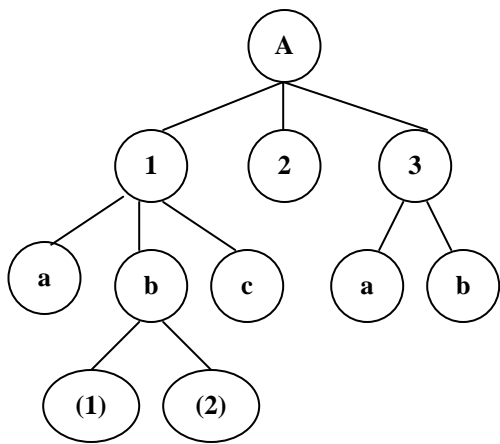
Adalah serangkaian jenis barang-barang tertulis yang berhubungan. Hal ini bisa merupakan suatu daftar (list) nama orang yang anda kenal, barang-barang yang akan dibeli dari toko Serba Ada, hal-hal yang akan dikerjakan minggu ini, atau produk-produk berbagai jenis barang dalam katalog, dll.

List biasanya digunakan untuk merepresentasikan hirarki pengetahuan dimana objek dikelompokkan, dikategorikan atau digabungkan sesuai dengan urutan atau hubungannya. Objek dibagi dalam kelompok atau jenis yang sama. Kemudian hubungan ditampilkan dengan menghubungkan satu sama lain.



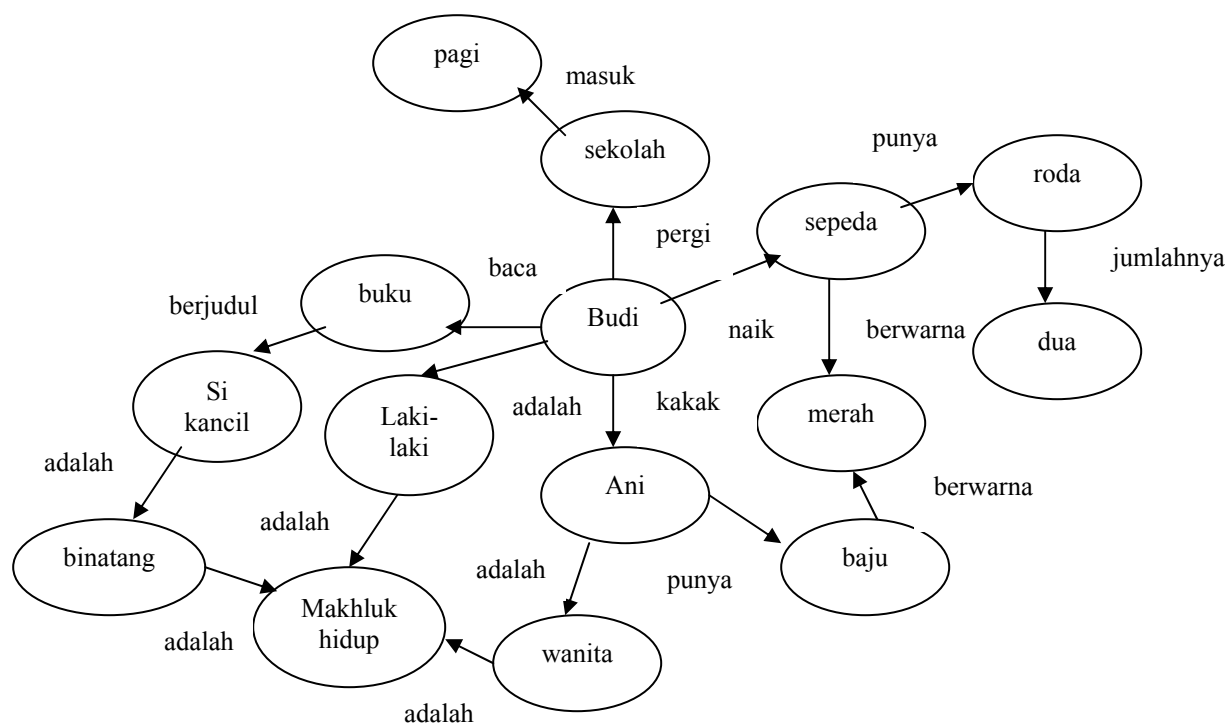
**POHON**

Struktur pohon adalah struktur grafik hirarki. Struktur ini merupakan cara yang sederhana untuk menggambarkan list dan hirarki pengetahuan lainnya.



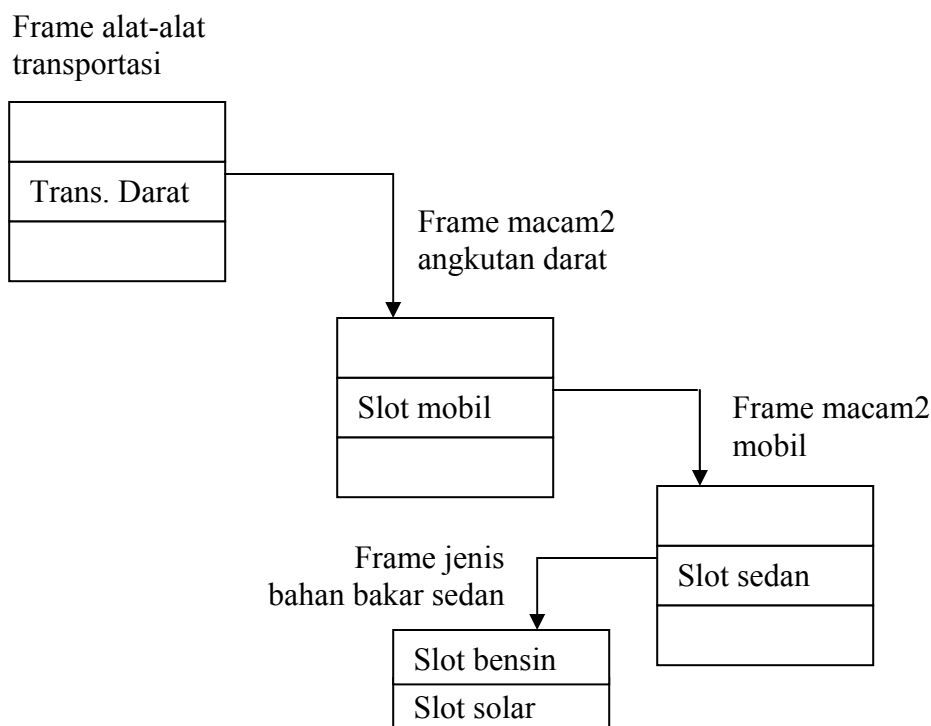
**3.3 JARINGAN SEMANTIK**

Jaringan semantik merupakan gambaran pengetahuan grafis yang menunjukkan hubungan antar berbagai objek. Jaringan semantik terdiri dari lingkaran-lingkaran yang menunjukkan objek dan informasi tentang objek-objek tersebut. Objek disini bisa berupa benda atau peristiwa. Antara 2 objek dihubungkan oleh arc yang menunjukkan hubungan antar objek. Gambar berikut menunjukkan representasi pengetahuan menggunakan jaringan semantik.



**3.3 FRAME**

Frame merupakan kumpulan pengetahuan tentang sutau objek tertentu, peristiwa, lokasi, situasi, dll. Frame memiliki slot yang menggambarkan rincian (atribut) dan karakteristik objek. Frame biasanya digunakan untuk merepresentasikan pengetahuan yang didasarkan pada karakteristik yang sudah dikenal, yang merupakan pengalaman-pengalaman. Dengan menggunakan frame, sangat mudah untuk membuat inferensi tentang objek, peristiwa, atau situasi baru, karena frame menyediakan basis pengetahuan yang ditarik dari pengalaman.



### 3.4. NASKAH (SCRIPT)

Script adalah skema representasi pengetahuan yang sama dengan frame, yaitu merepresentasikan pengetahuan berdasarkan karakteristik yang sudah dikenal sebagai pengalaman-pengalaman. Perbedaannya, frame menggambarkan objek, sedangkan script menggambarkan urutan peristiwa. Dalam menggambarkan urutan peristiwa, script menggunakan slot yang berisi informasi tentang orang, objek, dan tindakan-tindakan yang terjadi dalam suatu peristiwa.

Elemen script meliputi :

1. Kondisi input, yaitu kondisi yang harus dipenuhi sebelum terjadi atau berlaku suatu peristiwa dalam script
2. Track, yaitu variasi yang mungkin terjadi dalam suatu script
3. Prop, berisi objek-objek pendukung yang digunakan selama peristiwa terjadi
4. Role, yaitu peran yang dimainkan oleh seseorang dalam peristiwa
5. Scene, yaitu adegan yang dimainkan yang menjadi bagian dari suatu peristiwa
6. Hasil, yaitu kondisi yang ada setelah urutan peristiwa dalam script terjadi.

Berikut ini adalah contoh script kejadian yang ada di “Ujian Akhir”

Jalur (track) : ujian tertulis matakuliah Kecerdasan Buatan  
Role (peran) : mahasiswa, pengawas  
Prop (pendukung) : lembar soal, lembar jawab, presensi, pena, dll  
Kondisi input : mahasiswa terdaftar untuk mengikuti ujian

Adegan (scene) -1 : Persiapan pengawas

- Pengawas menyiapkan lembar soal
- Pengawas menyiapkan lembar jawab
- Pengawas menyiapkan lembar presensi

Adegan-2 : Mahasiswa masuk ruangan

- Pengawas mempersilahkan mahasiswa masuk
- Pengawas membagikan lembar soal
- Pengawas membagikan lembar jawab
- Pengawas memimpin doa

Adegan - 3 : Mahasiswa mengerjakan soal ujian

- Mahasiswa menuliskan identitas di lembar jawab
- Mahasiswa menandatangani lembar jawab
- Mahasiswa mengerjakan soal
- Mahasiswa mengecek jawaban

Adegan - 4 : Mahasiswa telah selesai ujian

- Pengawas mempersilahkan mahasiswa keluar ruangan
- Mahasiswa mengumpulkan kembali lembar jawab

- Mahasiswa keluar ruangan

Adegan - 5 : Mahasiswa mengemasi lembar jawab

- Pengawas mengurutkan lembar jawab
- Pengawas mengecek lembar jawab dan presensi
- Pengawas meninggalkan ruangan

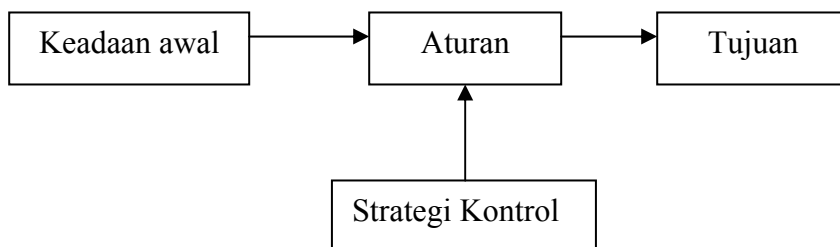
Hasil :

- Mahasiswa merasa senang dan lega
- Mahasiswa merasa kecewa
- Mahasiswa pusing
- Mahasiswa memaki - maki
- Mahasiswa sangat bersyukur

### 3.5 SISTEM PRODUKSI

Sistem produksi secara umum terdiri dari komponen-komponen :

1. ruang keadan, yang berisi keadaan awal, tujuan, kumpulan aturan yang digunakan untuk mencapai tujuan
2. strategi kontrol, berguna untuk mengarahkan bagaimana proses pencarian akan berlangsung dan mengendalikan arah eksplorasi



Representasi pengetahuan dengan sistem produksi berupa aplikasi aturan (rule) yang berupa :

1. Antecedent, yaitu bagian yang mengekspresikan situasi atau premis (pernyataan berawalan IF)
2. Konsekuensi, yaitu bagian yang menyatakan suatu tindakan tertentu atau konklusi yang diterapkan jika suatu situasi atau premis bernilai benar (pernyataan berawalan THEN)

Konsekuensi atau konklusi yang dinyatakan pada bagian THEN baru dinyatakan benar, jika bagian IF pada sistem tersebut juga benar atau sesuai dengan aturan tertentu.

Contoh :

IF lalulintas pagi ini padat  
THEN saya naik sepeda motor saja

Apabila pengetahuan direpresentasikan dengan aturan, maka ada 2 metode penalaran yang dapat digunakan :

1. Forward Reasoning (penalaran maju)  
Pelacakan dimulai dari keadaan awal (informasi atau fakta yang ada) dan kemudian dicoba untuk mencocokkan dengan tujuan yang diharapkan
2. Backward Reasoning (penalaran mundur)  
Penalaran dimulai dari tujuan atau hipotesa, baru dicocokkan dengan keadaan awal atau fakta-fakta yang ada.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan backward atau forward dalam memilih metode penalaran :

- banyaknya keadaan awal dan tujuan. Jika jumlah keadaan awal lebih kecil daripada tujuan, maka digunakan penalaran forward. Sebaliknya jika jumlah tujuan lebih banyak daripada keadaan awal, maka dipilih penalaran backward
- rata-rata jumlah node yang dapat diraih langsung dari suatu node. Lebih baik dipilih yang jumlah node tiap cabangnya lebih sedikit
- apakah program butuh menanyai user untuk melakukan justifikasi terhadap proses penalaran? Jika ya, maka alangkah baiknya jika dipilih arah yang lebih memudahkan user
- bentuk kejadian yang akan memicu penyelesaian masalah. Jika kejadian itu berupa fakta baru, maka lebih baik dipilih penalaran forward. Namun jika kejadian itu berupa query, maka lebih baik digunakan penalaran backward.

## V. SISTEM PAKAR

Sistem pakar (expert system) adalah sistem yang berusaha mengapdosi pengetahuan manusia ke komputer, agar komputer dapat menyelesaikan masalah seperti yang biasa dilakukan oleh para ahli. Sistem pakar yang baik dirancang agar dapat menyelesaikan suatu permasalahan tertentu dengan meniru kerja dari para ahli.

Dengan sistem pakar, orang awam pun dapat menyelesaikan masalah yang cukup rumit yang sebenarnya hanya dapat diselesaikan dengan bantuan para ahli. Bagi para ahli, sistem pakar juga akan membantu aktivitasnya sebagai asisten yang sangat berpengalaman.

Sistem pakar dikembangkan pertama kali tahun 1960.

Sistem pakar yang terkenal :

Sistem pakar	Kegunaan
MYCIN	Diagnosa penyakit
DENDRAL	Mengidentifikasi struktur molekular campuran kimia yang tak dikenal
XCON & XSEL	Membantu mengkonfigurasi sistem komputer besar
SOPHIE	Analisis sirkit elektronik
Prospector	Digunakan di dalam geologi untuk membantu mencari dan menemukan deposit
FOLIO	Membantu memberikan keputusan bagi seorang manajer dalam hal stok broker dan investasi
DELTA	Pemeliharaan lokomotif listrik disel

### MANFAAT SISTEM PAKAR :

1. Memungkinkan orang awam bisa mengerjakan pekerjaan para ahli
2. Bisa melakukan proses secara berulang secara otomatis
3. Menyimpan pengetahuan dan keahlian para pakar
4. Mampu mengambil dan melestarikan keahlian para pakar (terutama yang termasuk keahlian langka)
5. Mampu beroperasi dalam lingkungan yang berbahaya
6. Memiliki kemampuan untuk bekerja dengan informasi yang tidak lengkap dan mengandung ketidakpastian
7. Tidak memerlukan biaya saat tidak digunakan, sedangkan pada pakar manusia memerlukan biaya sehari-hari.
8. Dapat digandakan (diperbanyak) sesuai kebutuhan dengan waktu yang minimal dan sedikit biaya
9. Dapat memecahkan masalah lebih cepat daripada kemampuan manusia dengan catatan menggunakan data yang sama.
10. Menghemat waktu dalam pengambilan keputusan
11. Meningkatkan kualitas dan produktivitas

### KELEMAHAN SISTEM PAKAR

1. Biaya yang diperlukan untuk membuat, memelihara, dan mengembangkannya sangat mahal
2. Sulit dikembangkan, hal ini erat kaitannya dengan ketersediaan pakar di bidangnya
3. Sistem pakar tidak 100% benar karena seseorang yang terlibat dalam pembuatan sistem pakar tidak selalu benar. Oleh karena itu perlu diuji ulang secara teliti sebelum digunakan

### KONSEP DASAR SISTEM PAKAR

Konsep dasar sistem pakar mengandung keahlian, ahli/pakar, pengalihan keahlian, mengambil keputusan, aturan, kemampuan menjelaskan.

#### Keahlian

Keahlian bersifat luas dan merupakan penguasaan pengetahuan dalam bidang khusus yang diperoleh dari pelatihan, membaca atau pengalaman. Contoh bentuk pengetahuan yang termasuk keahlian :

- Teori, fakta, aturan-aturan pada lingkup permasalahan tertentu
- Strategi global untuk menyelesaikan masalah

#### Ahli / Pakar

Seorang ahli adalah seseorang yang mampu menjelaskan suatu tanggapan, mempelajari hal-hal baru seputar topik permasalahan, menyusun kembali pengetahuan jika dipandang perlu, memecahkan masalah dengan cepat dan tepat

**Pengalihan keahlian**

Tujuan dari sistem pakar adalah untuk mentransfer keahlian dari seorang pakar ke dalam komputer kemudian ke masyarakat. Proses ini meliputi 4 kegiatan, yaitu perolehan pengetahuan (dari para ahli atau sumber-sumber lainnya), representasi pengetahuan ke komputer, kesimpulan dari pengetahuan dan pengalihan pengetahuan ke pengguna.

**Mengambil keputusan**

Hal yang unik dari sistem pakar adalah kemampuan untuk menjelaskan dimana keahlian tersimpan dalam basis pengetahuan. Kemampuan komputer untuk mengambil kesimpulan dilakukan oleh komponen yang dikenal dengan mesin inferensi yaitu meliputi prosedur tentang pemecahan masalah.

**Aturan**

Sistem pakar yang dibuat merupakan sistem yang berdasarkan pada aturan – aturan dimana program disimpan dalam bentuk aturan-aturan sebagai prosedur pemecahan masalah. Aturan tersebut biasanya berbentuk IF – THEN.

**Kemampuan menjelaskan**

Keunikan lain dari sistem pakar adalah kemampuan dalam menjelaskan atau memberi saran/rekomendasi serta juga menjelaskan mengapa beberapa tindakan/saran tidak direkomendasikan.

**PERBEDAAN SISTEM KONVENSIONAL DENGAN SISTEM PAKAR**

Sistem Konvensional	Sistem Pakar
Informasi dan pemrosesannya biasanya jadi satu dengan program	Basis pengetahuan merupakan bagian terpisah dari mekanisme inferensi
Program tidak pernah salah (kecuali pemrogramnya yang salah)	Program bisa saja melakukan kesalahan
Biasanya tidak bisa menjelaskan mengapa suatu input data itu dibutuhkan atau bagaimana output itu diperoleh	Penjelasan adalah bagian terpenting dari sistem pakar
Pengubahan program cukup sulit dan merepotkan	Pengubahan pada aturan/kaidah dapat dilakukan dengan mudah
Sistem hanya akan bekerja jika sistem tersebut sudah lengkap	Sistem dapat bekerja hanya dengan beberapa aturan
Eksekusi dilakukan langkah demi langkah secara algoritmik	Eksekusi dilakukan pada keseluruhan basis pengetahuan secara heuristik dan logis
Menggunakan data	Menggunakan pengetahuan
Tujuan utamanya adalah efisiensi	Tujuan utamanya adalah efektivitas

**ELEMEN MANUSIA YANG TERKAIT DALAM PENGGUNAAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PAKAR**

- 1. Pakar  
Pakar adalah orang yang memiliki pengetahuan khusus, pendapat, pengalaman dan metode, serta kemampuan untuk mengaplikasikan keahliannya tersebut guna menyelesaikan masalah.
- 2. Perakayasa pengetahuan  
Perakayasa pengetahuan adalah orang yang membantu pakar dalam menyusun area permasalahan dengan menginterpretasikan dan mengintegrasikan jawaban-jawaban pakar atas pertanyaan yang diajukan, menggambarkan analogi, mengajukan counter example dan menerangkan kesulitan-kesulitan konseptual.
- 3. Pemakai
  - Pemakai awam : dalam hal ini sistem pakar bertindak sebagai konsultan untuk memberikan saran dan solusi kepada pemakai
  - Pelajar yang ingin belajar : sistem pakar bertindak sebagai instruktur
  - Pembuat sistem pakar : sistem pakar sebagai partner dalam pengembangan basis pengetahuan.
  - Pakar : sistem pakar bertindak sebagai mitra kerja/asisten

## **AREA PERMASALAHAN APLIKASI SISTEM PAKAR**

1. Interpretasi  
Yaitu pengambilan keputusan dari hasil observasi, diantaranya : pengawasan, pengenalan ucapan, analisis citra, interpretasi sinyal, dan beberapa analisis kecerdasan
2. Prediksi  
Memprediksi akibat-akibat yang dimungkinkan dari situasi-situasi tertentu, diantaranya : peramalan, prediksi demografis, peralaman ekonomi, prediksi lalu lintas, estimasi hasil, militer, pemasaran, atau peramalan keuangan.
3. Diagnosis  
Menentukan sebab malfungsi dalam situasi kompleks yang didasarkan pada gejala-gejala yang teramati, diantaranya : medis, elektronis, mekanis, dan diagnosis perangkat lunak
4. Desain  
Menentukan konfigurasi komponen-komponen sistem yang cocok dengan tujuan-tujuan kinerja tertentu dan kendala-kendala tertentu, diantaranya : layout sirkuit, perancangan bangunan
5. Perencanaan  
Merencanakan serangkaian tindakan yang akan dapat mencapai sejumlah tujuan dengan kondisi awal tertentu, diantaranya : perencanaan keuangan, komunikasi, militer, pengembangan politik, routing dan manajemen proyek.
6. Monitoring  
Membandingkan tingkah laku suatu sistem yang teramati dengan tingkah laku yang diharapkan darinya, diantaranya : Computer Aided Monitoring System
7. Debugging dan repair  
Menentukan dan mengimplementasikan cara-cara untuk mengatasi malfungsi, diantaranya memberikan resep obat terhadap suatu kegagalan.
8. Instruksi  
Melakukan instruksi untuk diagnosis, debugging dan perbaikan kinerja.
9. Kontrol  
Mengatur tingkah laku suatu environment yang kompleks seperti kontrol terhadap interpretasi-interpretasi, prediksi, perbaikan, dan monitoring kelakuan sistem
10. Seleksi  
Mengidentifikasi pilihan terbaik dari sekumpulan (list) kemungkinan.
11. Simulasi  
Pemodelan interaksi antara komponen-komponen sistem.

## **BENTUK / TIPE SISTEM PAKAR**

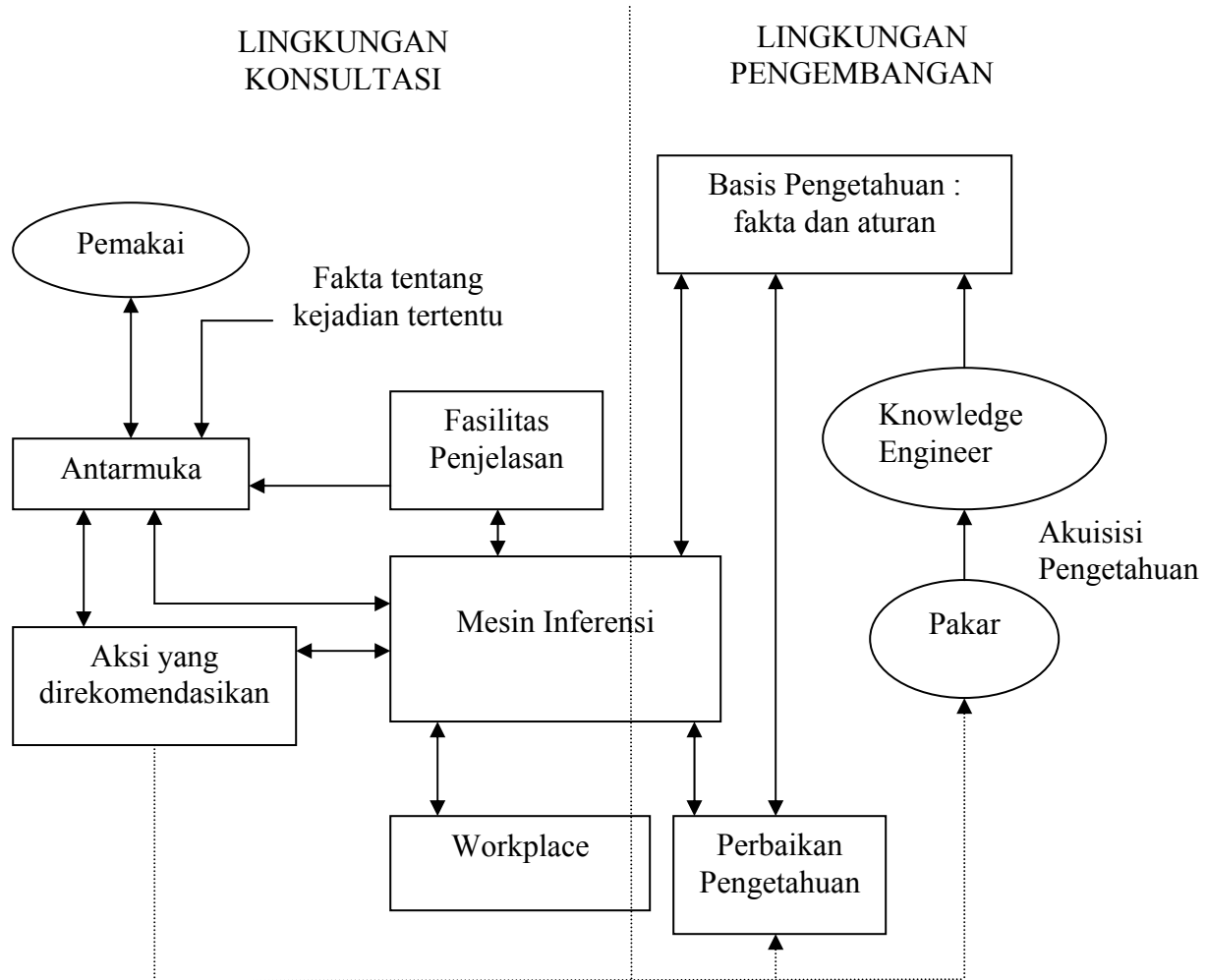
1. Mandiri : sistem pakar yang murni berdiri sendiri, tidak digabung dengan software lain, bisa dijalankan pada komputer pribadi, mainframe.
2. Terkait/Tergabung : dalam bentuk ini sistem pakar hanya merupakan bagian dari program yang lebih besar. Program tersebut biasanya menggunakan teknik algoritma konvensional tapi bisa mengakses sistem pakar yang ditempatkan sebagai subrutin, yang bisa dimanfaatkan setiap kali dibutuhkan.
3. Terhubung : merupakan sistem pakar yang berhubungan dengan software lain, misal : spreadsheet, DBMS, program grafik. Pada saat proses inferensi, sistem pakar bisa mengakses data dalam spreadsheet atau DBMS atau program grafik bisa dipanggil untuk menayangkan output visual.
4. Sistem Mengabdikan  
Merupakan bagian dari komputer khusus yang diabdikan kepada fungsi tunggal. Sistem tersebut bisa membantu analisa data radar dalam pesawat tempur atau membuat keputusan intelejen tentang bagaimana memodifikasi pembangunan kimiawi, dll.

## STRUKTUR SISTEM PAKAR

2 bagian utama sistem pakar :

- lingkungan pengembangan (development environment) : digunakan untuk memasukkan pengetahuan pakar ke dalam lingkungan sistem pakar
- lingkungan konsultasi (consultation environment) digunakan oleh pengguna yang bukan pakar untuk memperoleh pengetahuan pakar

**Arsitektur sistem pakar :**



Komponen-komponen yang terdapat dalam arsitektur/struktur sistem pakar :

### 1. Antarmuka Pengguna (User Interface)

Merupakan mekanisme yang digunakan oleh pengguna dan sistem pakar untuk berkomunikasi. Antarmuka menerima informasi dari pemakai dan mengubahnya ke dalam bentuk yang dapat diterima oleh sistem. Selain itu antarmuka menerima dari sistem dan menyajikannya ke dalam bentuk yang dapat dimengerti oleh pemakai.

### 2. Basis Pengetahuan

Basis pengetahuan mengandung pengetahuan untuk pemahaman, formulasi, dan penyelesaian masalah. Komponen sistem pakar ini disusun atas 2 elemen dasar, yaitu :

- fakta : informasi tentang obyek dalam area permasalahan tertentu
- aturan : informasi tentang cara bagaimana memperoleh fakta baru dari fakta yang telah diketahui.

### 3. Akuisisi Pengetahuan (Knowledge Acquisition)

Akuisisi pengetahuan adalah akumulasi, transfer, dan transformasi keahlian dalam menyelesaikan masalah dari sumber pengetahuan ke dalam program komputer. Dalam tahap ini knowledge engineer berusaha menyerap pengetahuan untuk selanjutnya ditransfer ke dalam basis pengetahuan. Pengetahuan diperoleh dari pakar, dilengkapi dengan buku, basis data, laporan penelitian dan pengalaman pemakai.

Metode akuisisi pengetahuan :

- Wawancara

Metode yang paling banyak digunakan, yang melibatkan pembicaraan dengan pakar secara langsung dalam suatu wawancara



- Analisis protokol  
Dalam metode ini pakar diminta untuk melakukan suatu pekerjaan dan mengungkapkan proses pemikirannya dengan menggunakan kata-kata. Pekerjaan tersebut direkam, dituliskan, dan dianalisis.
- Observasi pada pekerjaan pakar  
Pekerjaan dalam bidang tertentu yang dilakukan pakar direkam dan diobservasi
- Induksi aturan dari contoh  
Induksi adalah suatu proses penalaran dari khusus ke umum. Suatu sistem induksi aturan diberi contoh-contoh dari suatu masalah yang hasilnya telah diketahui. Setelah diberikan beberapa contoh, sistem induksi aturan tersebut dapat membuat aturan yang benar untuk kasus-kasus contoh. Selanjutnya aturan dapat digunakan untuk menilai kasus lain yang hasilnya tidak diketahui.

#### 4. Mesin/Motor Inferensi (inference engine)

Komponen ini mengandung mekanisme pola pikir dan penalaran yang digunakan oleh pakar dalam menyelesaikan suatu masalah. Mesin inferensi adalah program komputer yang memberikan metodologi untuk penalaran tentang informasi yang ada dalam basis pengetahuan dan dalam workplace, dan untuk memformulasikan kesimpulan.

#### 5. Workplace / Blackboard

Workplace merupakan area dari sekumpulan memori kerja (working memory), digunakan untuk merekam kejadian yang sedang berlangsung termasuk keputusan sementara. Ada 3 keputusan yang dapat direkam :

- Rencana : bagaimana menghadapi masalah
- Agenda : aksi-aksi yang potensial yang sedang menunggu untuk dieksekusi
- Solusi : calon aksi yang akan dibangkitkan

#### 6. Fasilitas Penjelasan

Adalah komponen tambahan yang akan meningkatkan kemampuan sistem pakar. Digunakan untuk melacak respon dan memberikan penjelasan tentang kelakuan sistem pakar secara interaktif melalui pertanyaan :

- mengapa suatu pertanyaan ditanyakan oleh sistem pakar ?
- bagaimana konklusi dicapai ?
- mengapa ada alternatif yang dibatalkan ?
- rencana apa yang digunakan untuk mendapatkan solusi ?

#### 7. Perbaikan Pengetahuan

Pakar memiliki kemampuan untuk menganalisis dan meningkatkan kinerjanya serta kemampuan untuk belajar dari kinerjanya. Kemampuan tersebut adalah penting dalam pembelajaran terkomputerisasi, sehingga program akan mampu menganalisis penyebab kesuksesan dan kegagalan yang dialaminya dan juga mengevaluasi apakah pengetahuan-pengetahuan yang ada masih cocok untuk digunakan di masa mendatang

### BASIS PENGETAHUAN (KNOWLEDGE BASE)

Basis pengetahuan berisi pengetahuan-pengetahuan dalam penyelesaian masalah. Ada 2 bentuk pendekatan basis pengetahuan :

#### a. Penalaran berbasis aturan (rule-based reasoning)

Pada penalaran berbasis aturan, pengetahuan direpresentasikan dengan menggunakan aturan berbentuk IF-THEN. Bentuk ini digunakan apabila kita memiliki sejumlah pengetahuan pakar pada suatu permasalahan tertentu, dan si pakar dapat menyelesaikan masalah tersebut secara berurutan. Disamping itu, bentuk ini juga digunakan apabila dibutuhkan penjelasan tentang jejak (langkah-langkah) pencapaian solusi.

Contoh : aturan identifikasi hewan

Rule 1 : IF hewan berambut dan menyusui THEN hewan mamalia

Rule 2 : IF hewan mempunyai sayap dan bertelur THEN hewan jenis burung

Rule 3 : IF hewan mamalia dan memakan daging THEN hewan karnivora

Dst...

b. Penalaran berbasis kasus (case-based reasoning)

Pada penalaran berbasis kasus, basis pengetahuan akan berisi solusi-solusi yang telah dicapai sebelumnya, kemudian akan diturunkan suatu solusi untuk keadaan yang terjadi sekarang (fakta yang ada). Bentuk ini digunakan apabila user menginginkan untuk tahu lebih banyak lagi pada kasus-kasus yang hampir sama (mirip). Selain itu bentuk ini juga digunakan bila kita telah memiliki sejumlah situasi atau kasus tertentu dalam basis pengetahuan.

## **MESIN INFERENSI**

Ada 2 cara yang dapat dikerjakan dalam melakukan inferensi :

a. Forward Chaining

Pencocokan fakta atau pernyataan dimulai dari bagian sebelah kiri dulu (IF dulu). Dengan kata lain penalaran dimulai dari fakta terlebih dahulu untuk menguji kebenaran hipotesis.

b. Backward Chaining

Pencocokan fakta atau pernyataan dimulai dari bagian sebelah kanan (THEN dulu). Dengan kata lain penalaran dimulai dari hipotesis terlebih dahulu, dan untuk menguji kebenaran hipotesis tersebut harus dicari fakta-fakta yang ada dalam basis pengetahuan.

Contoh :

R1 : IF suku bunga turun THEN harga obligasi naik

R2 : IF suku bunga naik THEN harga obligasi turun

R3 : IF suku bunga tidak berubah THEN harga obligasi tidak berubah

R4 : IF dolar naik THEN suku bunga turun

R5 : IF dolar turun THEN suku bunga naik

R6 : IF harga obligasi turun THEN beli obligasi

Apabila diketahui bahwa dolar turun, maka untuk memutuskan apakah akan membeli obligasi atau tidak dapat ditunjukkan sebagai berikut :

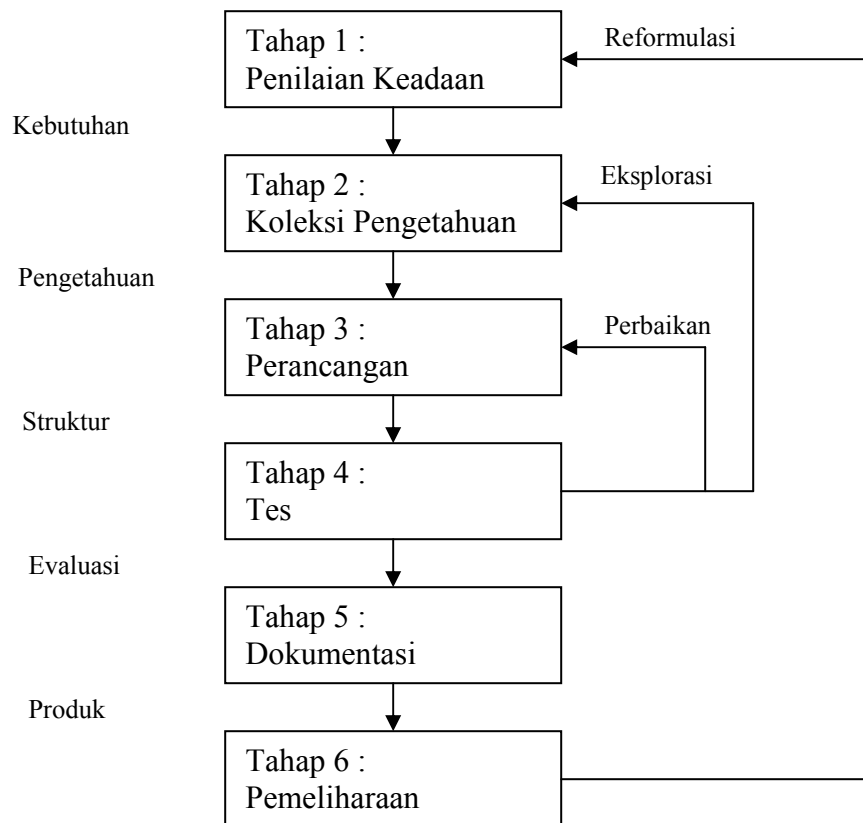
### **Forward Chaining**

Dari fakta dolar turun, berdasarkan Rule 5, diperoleh konklusi suku bunga naik. Dari Rule 2 suku bunga naik menyebabkan harga obligasi turun. Dengan Rule 6, jika harga obligasi turun, maka kesimpulan yang diambil adalah membeli obligasi.

### **Backward Chaining**

Dari solusi yaitu membeli obligasi, dengan menggunakan Rule 6 diperoleh anteseden harga obligasi turun. Dari Rule 2 dibuktikan harga obligasi turun bernilai benar jika suku bunga naik bernilai benar . Dari Rule 5 suku bunga naik bernilai memang bernilai benar karena diketahui fakta dolar turun.

## LANGKAH-LANGKAH PEMBUATAN/PENGEMBANGAN SISTEM PAKAR



1. Mengidentifikasi masalah dan kebutuhan  
Mengkaji situasi dan memutuskan dengan pasti tentang masalah yang akan dikomputerisasi dan apakah dengan sistem pakar bisa lebih membantu atau tidak
2. Menentukan problema yang cocok  
Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi agar sistem pakar dapat bekerja dengan baik, yaitu :
  - domain masalah tidak terlalu luas
  - kompleksitasnya menengah  
jika masalah terlalu mudah atau masalah yang terlalu kompleks tidak perlu menggunakan sistem pakar
  - tersedianya ahli
  - menghasilkan solusi mental bukan fisik  
sistem pakar hanya memberikan anjuran tidak bisa melakukan aktifitas fisik, seperti membau atau merasakan
3. Mempertimbangkan alternatif  
Kaji alternatif lain yang lebih mudah, cepat dan sesuai dengan masalah yang ingin diselesaikan, menggunakan sistem pakar atau komputer tradisional
4. Menghitung pengembalian investasi  
Termasuk diantaranya biaya pembuatan sistem pakar, biaya pemeliharaan, biaya training
5. Memilih alat pengembangan  
Bisa menggunakan software pembuat sistem pakar (seperti SHELL0 atau dirancang dengan bahasa pemrograman sendiri (misal dengan PROLOG)
6. Merekayasa pengetahuan  
Memperoleh pengetahuan dan menyempurnakan banyak kaidah yang paling sesuai
7. Merancang sistem  
Pembuatan prototype dan menterjemahkan pengetahuan menjadi aturan-aturan
8. Melengkapi pengembangan  
Perluasan prototype ke dalam sistem yang final yaitu dengan meluaskan bagian demi bagian dan setiap bagian diuji apakah sudah berjalan sesuai.
9. Menguji dan mencari kesalahan sistem  
Lakukan percobaan dengan user yang menginginkannya, user akan menunjukkan bagian mana yang harus diroboh/dikoreksi/dikurangi sesuai dengan keinginannya.
10. Memelihara sistem  
Memperbaharui pengetahuan, mengganti pengetahuan yang sudah ketinggalan, meluweskan sistem agar bisa lebih baik lagi dalam menyelesaikan masalah.

## V. KETIDAKPASTIAN

Dalam kenyataan sehari-hari banyak masalah di dunia ini tidak dapat dimodelkan secara lengkap dan konsisten. Suatu penalaran dimana adanya penambahan fakta baru mengakibatkan ketidakkonsistenan, dengan ciri-ciri penalaran sebagai berikut :

- adanya ketidakpastian
- adanya perubahan pada pengetahuan
- adanya penambahan fakta baru dapat mengubah konklusi yang sudah terbentuk

contoh :

Premis -1 : Aljabar adalah pelajaran yang sulit

Premis -2 : Geometri adalah pelajaran yang sulit

Premis -3 : Kalkulus adalah pelajaran yang sulit

Konklusi : Matematika adalah pelajaran yang sulit

Munculnya premis baru bisa mengakibatkan gugurnya konklusi yang sudah diperoleh, misal :

Premis -4 : Kinematika adalah pelajaran yang sulit

Premis tersebut menyebabkan konklusi : “Matematika adalah pelajaran yang sulit”, menjadi salah, karena Kinematika bukan merupakan bagian dari Matematika, sehingga bila menggunakan penalaran induktif sangat dimungkinkan adanya ketidakpastian.

Untuk mengatasi ketidakpastian maka digunakan penalaran statistik.

### PROBABILITAS & TEOREMA BAYES

#### PROBABILITAS

Probabilitas menunjukkan kemungkinan sesuatu akan terjadi atau tidak.

$$p(x) = \frac{\text{jumlah kejadian berhasil}}{\text{jumlah semua kejadian}}$$

Misal dari 10 orang sarjana, 3 orang menguasai cisco, sehingga peluang untuk memilih sarjana yang menguasai cisco adalah :

$$p(\text{cisco}) = 3/10 = 0.3$$

#### TEOREMA BAYES

$$p(H_i | E) = \frac{p(E | H_i) * (p(H_i))}{\sum_{k=1}^n p(E | H_k) * (p(H_k))}$$

dengan :

$p(H_i | E)$  = probabilitas hipotesis  $H_i$  benar jika diberikan evidence (fakta) E

$p(E | H_i)$  = probabilitas munculnya evidence (fakta) E jika diketahui hipotesis  $H_i$  benar

$p(H_i)$  = probabilitas hipotesis  $H_i$  (menurut hasil sebelumnya) tanpa memandang evidence (fakta) apapun

n = jumlah hipotesis yang mungkin

Contoh :

Asih mengalami gejala ada bintik-bintik di wajahnya. Dokter menduga bahwa Asih terkena cacar dengan :

- probabilitas munculnya bintik-bintik di wajah, jika Asih terkena cacar  $\rightarrow p(\text{bintik} | \text{cacar}) = 0.8$
- probabilitas Asih terkena cacar tanpa memandang gejala apapun  $\rightarrow p(\text{cacar}) = 0.4$
- probabilitas munculnya bintik-bintik di wajah, jika Asih terkena alergi  $\rightarrow p(\text{bintik} | \text{alergi}) = 0.3$
- probabilitas Asih terkena alergi tanpa memandang gejala apapun  $\rightarrow p(\text{alergi}) = 0.7$
- probabilitas munculnya bintik-bintik di wajah, jika Asih jerawat  $\rightarrow p(\text{bintik} | \text{jerawat}) = 0.9$
- probabilitas Asih jerawat tanpa memandang gejala apapun  $\rightarrow p(\text{jerawat}) = 0.5$

Maka :

- probabilitas Asih terkena cacar karena ada bintik-bintik di wajahnya :

$$p(H_i | E) = \frac{p(E | H_i) * (p(H_i))}{\sum_{k=1}^n p(E | H_k) * (p(H_k))}$$

$$p(\text{cacar} \mid \text{bintik}) = \frac{p(\text{bintik} \mid \text{cacar}) * p(\text{cacar})}{p(\text{bintik} \mid \text{cacar}) * p(\text{cacar}) + p(\text{bintik} \mid \text{alergi}) * p(\text{alergi}) + p(\text{bintik} \mid \text{jerawat}) * p(\text{jerawat})}$$

$$p(\text{cacar} \mid \text{bintik}) = \frac{(0.8) * (0.4)}{(0.8) * (0.4) + (0.3) * (0.7) + (0.9) * (0.5)} = \frac{0.32}{0.98} = 0.327$$

- probabilitas Asih terkena alergi karena ada bintik-bintik di wajahnya :

$$p(\text{alergi} \mid \text{bintik}) = \frac{p(\text{bintik} \mid \text{alergi}) * p(\text{alergi})}{p(\text{bintik} \mid \text{cacar}) * p(\text{cacar}) + p(\text{bintik} \mid \text{alergi}) * p(\text{alergi}) + p(\text{bintik} \mid \text{jerawat}) * p(\text{jerawat})}$$

$$p(\text{alergi} \mid \text{bintik}) = \frac{(0.3) * (0.7)}{(0.8) * (0.4) + (0.3) * (0.7) + (0.9) * (0.5)} = \frac{0.21}{0.98} = 0.214$$

- probabilitas Asih jerawat karena ada bintik-bintik di wajahnya :

$$p(\text{jerawat} \mid \text{bintik}) = \frac{p(\text{bintik} \mid \text{jerawat}) * p(\text{jerawat})}{p(\text{bintik} \mid \text{cacar}) * p(\text{cacar}) + p(\text{bintik} \mid \text{alergi}) * p(\text{alergi}) + p(\text{bintik} \mid \text{jerawat}) * p(\text{jerawat})}$$

$$p(\text{jerawat} \mid \text{bintik}) = \frac{(0.9) * (0.4)}{(0.8) * (0.4) + (0.3) * (0.7) + (0.9) * (0.5)} = \frac{0.45}{0.98} = 0.459$$

Jika setelah dilakukan pengujian terhadap hipotesis muncul satu atau lebih evidence (fakta) atau observasi baru maka :

$$p(H \mid E, e) = p(H \mid E) * \frac{p(e \mid E, H)}{p(e \mid E)}$$

dengan :

$e$  = evidence lama

$E$  = evidence atau observasi baru

$p(H \mid E, e)$  = probabilitas hipotesis  $H$  benar jika muncul evidence baru  $E$  dari evidence lama  $e$

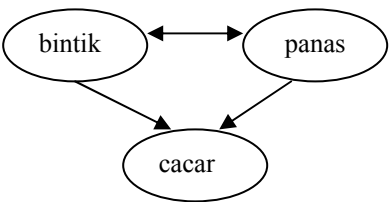
$p(H \mid E)$  = probabilitas hipotesis  $H$  benar jika diberikan evidence  $E$

$p(e \mid E, H)$  = kaitan antara  $e$  dan  $E$  jika hipotesis  $H$  benar

$p(e \mid E)$  = kaitan antara  $e$  dan  $E$  tanpa memandang hipotesis apapun

Misal :

Adanya bintik-bintik di wajah merupakan gejala seseorang terkena cacar. Observasi baru menunjukkan bahwa selain bintik-bintik di wajah, panas badan juga merupakan gejala orang kena cacar. Jadi antara munculnya bintik-bintik di wajah dan panas badan juga memiliki keterkaitan satu sama lain.



Asih ada bintik-bintik di wajahnya. Dokter menduga bahwa Asih terkena cacar dengan probabilitas terkena cacar bila ada bintik-bintik di wajah  $\rightarrow p(\text{cacar} \mid \text{bintik}) = 0.8$

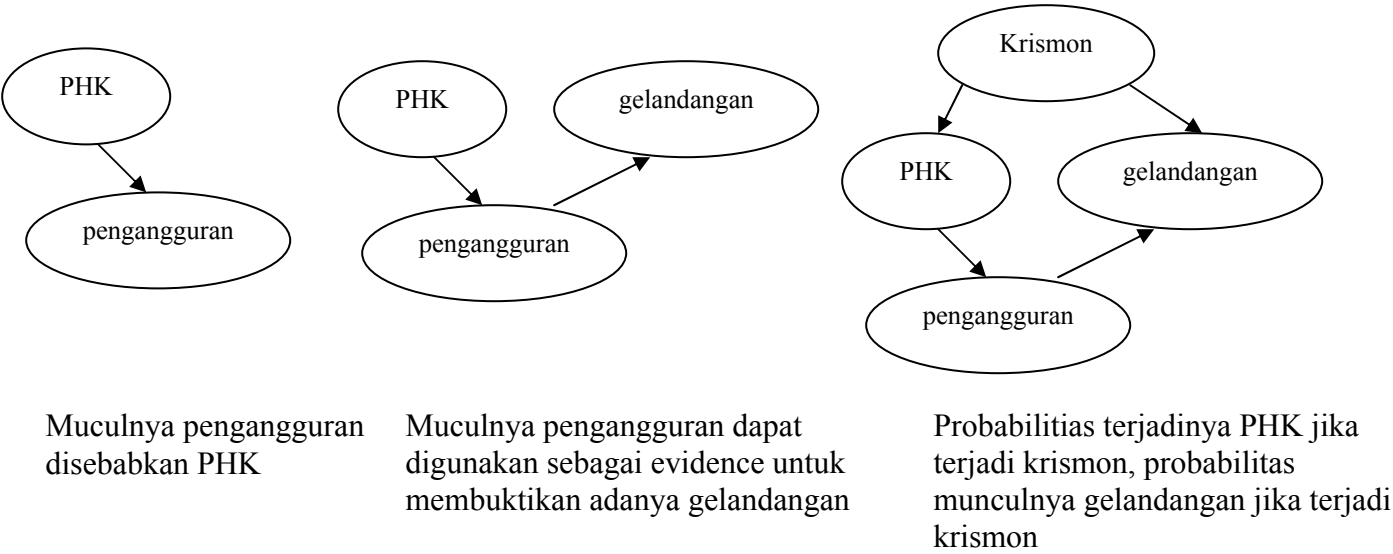
Ada observasi bahwa orang terkena cacar pasti mengalami panas badan. Jika diketahui probabilitas orang terkena cacar bila panas badan  $\rightarrow p(\text{cacar} \mid \text{panas}) = 0.5$

Keterkaitan antara adanya bintik-bintik di wajah dan panas badan bila seseorang terkena cacar  $\rightarrow p(\text{bintik} \mid \text{panas}, \text{cacar}) = 0.4$

Keterkaitan antara adanya bintik-bintik di wajah dan panas badan →  $p(\text{bintik} \mid \text{panas}) = 0.6$   
Maka :

$$p(H \mid E, e) = p(H \mid E) * \frac{p(e \mid E, H)}{p(e \mid E)}$$
$$p(\text{cacar} \mid \text{panas}, \text{bintik}) = p(\text{cacar} \mid \text{panas}) * \frac{p(\text{bintik} \mid \text{panas}, \text{cacar})}{p(\text{bintik} \mid \text{panas})}$$
$$p(\text{cacar} \mid \text{panas}, \text{bintik}) = (0.5) * \frac{(0.4)}{(0.6)} = 0.33$$

Pengembangan lebih jauh dari Teorema Bayes adalah Jaringan Bayes.  
Contoh : hubungan antara krismon, PHK, pengangguran, gelandangan dalam suatu jaringan.



Probabilitas untuk jaringan bayes

Atribut	Prob	Keterangan
$p(\text{pengangguran} \mid \text{PHK}, \text{gelandangan})$	0.95	Keterkaitan antara pengangguran & PHK, jika muncul gelandangan
$p(\text{pengangguran} \mid \text{PHK}, \sim \text{gelandangan})$	0.20	Keterkaitan antara pengangguran & PHK, jika tidak ada gelandangan
$p(\text{pengangguran} \mid \sim \text{PHK}, \text{gelandangan})$	0.75	Keterkaitan antara pengangguran & tidak ada PHK, jika muncul gelandangan
$p(\text{pengangguran} \mid \sim \text{PHK}, \sim \text{gelandangan})$	0.40	Keterkaitan antara pengangguran & tidak ada PHK, jika tidak ada gelandangan
$p(\text{PHK} \mid \text{krismon})$	0,50	Probabilitas orang diPHK jika terjadi krismon
$p(\text{PHK} \mid \sim \text{krismon})$	0.10	Probabilitas orang diPHK jika tidak terjadi krismon
$p(\text{pengangguran} \mid \text{krismon})$	0.90	Probabilitas muncul pengangguran jika terjadi krismon
$p(\text{pengangguran} \mid \sim \text{krismon})$	0.30	Probabilitas muncul pengangguran jika tidak terjadi krismon
$p(\text{krismon})$	0.80	

## FAKTOR KEPASTIAN (CERTAINTY FACTOR)

Certainty Factor (CF) menunjukkan ukuran kepastian terhadap suatu fakta atau aturan.

$$CF[h,e] = MB[h,e] - MD[h,e]$$

$CF[h,e]$  = faktor kepastian

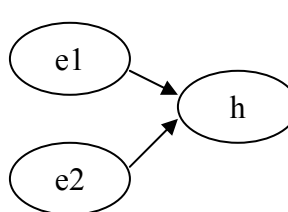
$MB[h,e]$  = ukuran kepercayaan/tingkat keyakinan terhadap hipotesis h, jika diberikan/dipengaruhi evidence e (antara 0 dan 1)

$MD[h,e]$  = ukuran ketidakpercayaan/tingkat ketidakyakinan terhadap hipotesis h, jika diberikan/dipengaruhi evidence e (antara 0 dan 1)

3 hal yang mungkin terjadi :

### 1. Beberapa evidence dikombinasikan untuk menentukan CF dari suatu hipotesis.

Jika  $e_1$  dan  $e_2$  adalah observasi, maka :


$$MB[h, e_1 \wedge e_2] = \begin{cases} 0 & \text{jika } MD[h, e_1 \wedge e_2] = 1 \\ MB[h, e_1] + MB[h, e_2] * (1 - MB[h, e_1]) & \text{lainnya} \end{cases}$$
$$MD[h, e_1 \wedge e_2] = \begin{cases} 0 & \text{jika } MB[h, e_1 \wedge e_2] = 1 \\ MD[h, e_1] + MD[h, e_2] * (1 - MD[h, e_1]) & \text{lainnya} \end{cases}$$

Contoh :

- Misal suatu observasi memberikan kepercayaan terhadap h dengan  $MB[h, e_1]=0,3$  dan  $MD[h, e_1]=0$  maka :

$$CF[h, e_1] = 0,3 - 0 = 0,3$$

Jika ada observasi baru dengan  $MB[h, e_2]=0,2$  dan  $MD[h, e_2]=0$ , maka :

$$MB[h, e_1 \wedge e_2] = 0,3 + 0,2 * (1 - 0,3) = 0,44$$

$$MD[h, e_1 \wedge e_2] = 0$$

$$CF[h, e_1 \wedge e_2] = 0,44 - 0 = 0,44$$

- Asih menderita bintik-bintik di wajahnya. Dokter memperkirakan Asih terkena cacar dengan kepercayaan  $MB[\text{cacar}, \text{bintik}]=0,80$  dan  $MD[\text{cacar}, \text{bintik}]=0,01$  maka :

$$CF[\text{cacar}, \text{bintik}] = 0,80 - 0,01 = 0,79$$

Jika ada observasi baru bahwa Asih juga panas badan dengan kepercayaan,  $MB[\text{cacar}, \text{panas}]=0,7$  dan  $MD[\text{cacar}, \text{panas}]=0,08$  maka :

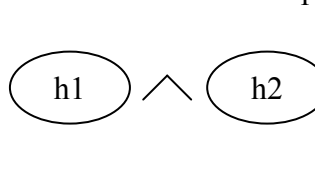
$$MB[\text{cacar}, \text{bintik} \wedge \text{panas}] = 0,8 + 0,7 * (1 - 0,8) = 0,94$$

$$MD[\text{cacar}, \text{bintik} \wedge \text{panas}] = 0,01 + 0,08 * (1 - 0,01) = 0,0892$$

$$CF[\text{cacar}, \text{bintik} \wedge \text{panas}] = 0,94 - 0,0892 = 0,8508$$

### 2. CF dihitung dari kombinasi beberapa hipotesis

Jika  $h_1$  dan  $h_2$  adalah hipotesis maka :


$$\begin{aligned} MB[h_1 \wedge h_2, e] &= \min(MB[h_1, e], MB[h_2, e]) \\ MB[h_1 \vee h_2, e] &= \max(MB[h_1, e], MB[h_2, e]) \\ MD[h_1 \wedge h_2, e] &= \min(MD[h_1, e], MD[h_2, e]) \\ MD[h_1 \vee h_2, e] &= \max(MD[h_1, e], MD[h_2, e]) \end{aligned}$$

Contoh :

- Misal suatu observasi memberikan kepercayaan terhadap  $h_1$  dengan  $MB[h_1, e]=0,5$  dan  $MD[h_1, e]=0,2$  maka :

$$CF[h_1, e] = 0,5 - 0,2 = 0,3$$

Jika observasi tersebut juga memberikan kepercayaan terhadap  $h_2$  dengan  $MB[h_2, e]=0,8$  dan  $MD[h_2, e]=0,1$ , maka :

$$CF[h_2, e] = 0,8 - 0,1 = 0,7$$

Untuk mencari  $CF[h_1 \wedge h_2, e]$  diperoleh dari

$$MB[h_1 \wedge h_2, e] = \min(0,5 ; 0,8) = 0,5$$

$$MD[h_1 \wedge h_2, e] = \min(0,2 ; 0,1) = 0,1$$

$$CF[h_1 \wedge h_2, e] = 0,5 - 0,1 = 0,4$$

Untuk mencari  $CF[h_1 \vee h_2, e]$  diperoleh dari

$$MB[h1 \vee h2, e] = \max(0,5 ; 0,8) = 0,8$$

$$MD[h1 \vee h2, e] = \max(0,2 ; 0,1) = 0,2$$

$$CF[h1 \vee h2, e] = 0,8 - 0,2 = 0,6$$

- Asih menderita bintik-bintik di wajahnya. Dokter memperkirakan Asih terkena cacar dengan kepercayaan  $MB[\text{cacar}, \text{bintik}] = 0,80$  dan  $MD[\text{cacar}, \text{bintik}] = 0,01$  maka

$$CF[\text{cacar}, \text{bintik}] = 0,80 - 0,01 = 0,79$$

Jika observasi tersebut juga memberikan kepercayaan bahwa Asih mungkin juga terkena alergi dengan kepercayaan  $MB[\text{alergi}, \text{bintik}] = 0,4$  dan  $MD[\text{alergi}, \text{bintik}] = 0,3$  maka

$$CF[\text{alergi}, \text{bintik}] = 0,4 - 0,3 = 0,1$$

Untuk mencari  $CF[\text{cacar} \wedge \text{alergi}, \text{bintik}]$  diperoleh dari

$$MB[\text{cacar} \wedge \text{alergi}, \text{bintik}] = \min(0,8 ; 0,4) = 0,4$$

$$MD[\text{cacar} \wedge \text{alergi}, \text{bintik}] = \min(0,01 ; 0,3) = 0,01$$

$$CF[\text{cacar} \wedge \text{alergi}, \text{bintik}] = 0,4 - 0,01 = 0,39$$

Untuk mencari  $CF[\text{cacar} \vee \text{alergi}, \text{bintik}]$  diperoleh dari

$$MB[\text{cacar} \vee \text{alergi}, \text{bintik}] = \max(0,8 ; 0,4) = 0,8$$

$$MD[\text{cacar} \vee \text{alergi}, \text{bintik}] = \max(0,01 ; 0,3) = 0,3$$

$$CF[\text{cacar} \vee \text{alergi}, \text{bintik}] = 0,8 - 0,3 = 0,5$$

Kesimpulan : semula faktor kepercayaan bahwa Asih terkena cacar dari gejala munculnya bintik-bintik di wajahnya adalah 0,79. Demikian pula faktor kepercayaan bahwa Ani terkena alergi dari gejala munculnya bintik-bintik di wajah adalah 0,1. dengan adanya gejala yang sama mempengaruhi 2 hipotesis yang berbeda ini memberikan faktor kepercayaan :

$$\text{Asih menderita cacar dan alergi} = 0,39$$

$$\text{Asih menderita cacar atau alergi} = 0,5$$

- Pertengahan tahun 2002, ada indikasi bahwa turunnya devisa Indonesia disebabkan oleh permasalahan TKI di Malaysia. Apabila diketahui  $MB[\text{devisaturun}, \text{TKI}] = 0,8$  dan  $MD[\text{devisaturun}, \text{TKI}] = 0,3$  maka  $CF[\text{devisaturun}, \text{TKI}]$  :

$$CF[\text{devisaturun}, \text{TKI}] = MB[\text{devisaturun}, \text{TKI}] - MD[\text{devisaturun}, \text{TKI}]$$

$$0,8 - 0,3 = 0,5$$

Akhir September 2002 kemarau berkepanjangan mengakibatkan gagal panen yang cukup serius, berdampak pada turunnya ekspor Indonesia. Bila diketahui  $MB[\text{devisaturun}, \text{eksporturun}] = 0,75$  dan  $MD[\text{devisaturun}, \text{eksporturun}] = 0,1$ , maka  $CF[\text{devisaturun}, \text{eksporturun}]$  dan  $CF[\text{devisaturun}, \text{TKI} \wedge \text{eksporturun}]$  :

$$CF[\text{devisaturun}, \text{eksporturun}] = MB[\text{devisaturun}, \text{eksporturun}] - MD[\text{devisaturun}, \text{eksporturun}]$$

$$= 0,75 - 0,1 = 0,65$$

$$MB[\text{devisaturun}, \text{TKI} \wedge \text{eksporturun}] =$$

$$MB[\text{devisaturun}, \text{TKI}] + MB[\text{devisaturun}, \text{eksporturun}] * (1 - MB[\text{devisaturun}, \text{TKI}])$$

$$= 0,8 + 0,75 * (1 - 0,8) = 0,95$$

$$MD[\text{devisaturun}, \text{TKI} \wedge \text{eksporturun}] =$$

$$MD[\text{devisaturun}, \text{TKI}] + MD[\text{devisaturun}, \text{eksporturun}] * (1 - MD[\text{devisaturun}, \text{TKI}])$$

$$= 0,3 + 0,1 * (1 - 0,3) = 0,37$$

$$CF[\text{devisaturun}, \text{TKI} \wedge \text{eksporturun}] =$$

$$MB[\text{devisaturun}, \text{TKI} \wedge \text{eksporturun}] - MD[\text{devisaturun}, \text{TKI} \wedge \text{eksporturun}]$$

$$= 0,95 - 0,37 = 0,58$$

- Isu terorisme di Indonesia pasca bom bali tgl 12 Oktober 2002 ternyata juga ikut mempengaruhi turunnya devisa Indonesia sebagai akibat berkurangnya wisatawan asing. Bila diketahui  $MB[\text{devisaturun}, \text{bombali}] = 0,5$  dan  $MD[\text{devisaturun}, \text{bombali}] = 0,3$ , maka  $CF[\text{devisaturun}, \text{bombali}]$  dan  $CF[\text{devisaturun}, \text{TKI} \wedge \text{eksporturun} \wedge \text{bombali}]$  :

$$CF[\text{devisaturun}, \text{bombali}] = MB[\text{devisaturun}, \text{bombali}] - MD[\text{devisaturun}, \text{bombali}]$$

$$= 0,5 - 0,3 = 0,2$$

$$MB[\text{devisaturun}, \text{TKI} \wedge \text{eksporturun} \wedge \text{bombali}] =$$

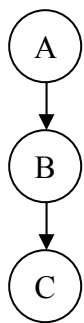


$$\begin{aligned} & MB[\text{devisaturun}, TKI \wedge \text{eksporturun}] + MB[\text{devisaturun}, \text{bombali}] * (1 - MB[\text{devisaturun}, \\ & TKI \wedge \text{eksporturun}]) \\ & = 0,95 + 0,5 * (1 - 0,95) = 0,975 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MD[\text{devisaturun}, TKI \wedge \text{eksporturun} \wedge \text{bombali}] &= \\ MD[\text{devisaturun}, TKI \wedge \text{eksporturun}] + MD[\text{devisaturun}, \text{bombali}] * \\ (1 - MD[\text{devisaturun}, TKI \wedge \text{eksporturun}]) &= \\ = 0,37 + 0,3 * (1 - 0,37) = 0,559 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CF[\text{devisaturun}, TKI \wedge \text{eksporturun} \wedge \text{bombali}] &= \\ MB[\text{devisaturun}, TKI \wedge \text{eksporturun} \wedge \text{bombali}] - MD[\text{devisaturun}, TKI \wedge \text{eksporturun} \wedge \text{bombali}] &= \\ = 0,975 - 0,559 = 0,416 \end{aligned}$$

### 3. Beberapa aturan saling bergandengan, ketidakpastian dari suatu aturan menjadi input untuk aturan yang lainnya



Maka :

$$MB[h,s] = MB'[h,s] * \max(0, CF[s,e])$$

$MB'[h,s]$  = ukuran kepercayaan h berdasarkan keyakinan penuh terhadap validitas s

Contoh :

PHK = terjadi PHK

Pengangguran = muncul banyak pengangguran

Gelandangan = muncul banyak gelandangan

Aturan 1 :

IF terjadi PHK THEN muncul banyak pengangguran

$$CF[\text{pengangguran}, \text{PHK}] = 0,9$$

Aturan 2 :

IF muncul banyak pengangguran THEN muncul banyak gelandangan

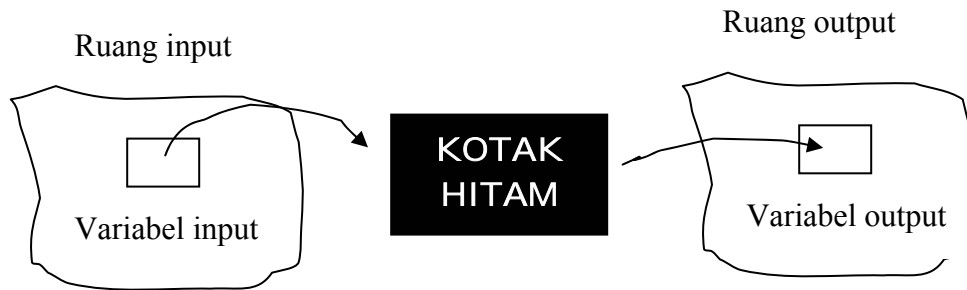
$$MB[\text{gelandangan}, \text{pengangguran}] = 0,7$$

Maka =

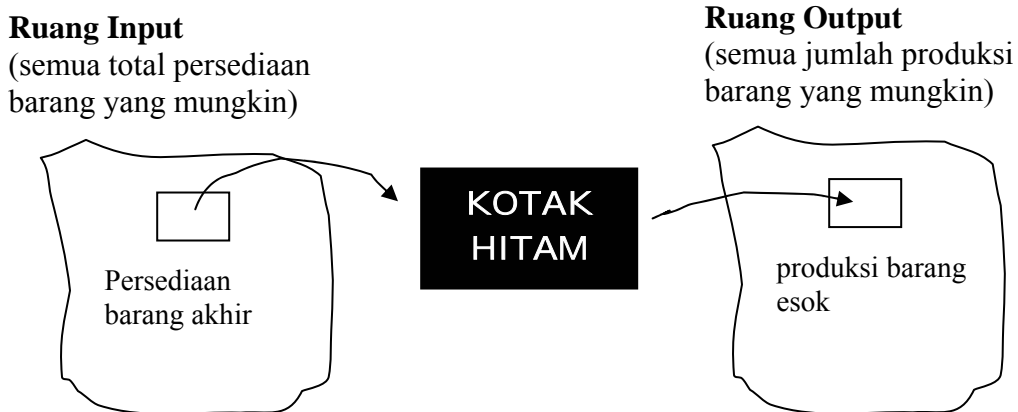
$$MB[\text{gelandangan}, \text{pengangguran}] = [0,7] * [0,9] = 0,63$$

## VI. LOGIKA FUZZY

Logika fuzzy adalah suatu cara untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output.  
Skema logika fuzzy :



Antara input dan output terdapat suatu kotak hitam yang harus memetakan input ke output yang sesuai.  
Misal :



Pemetaan input-output pada masalah produksi : “diberikan data persediaan barang, berapa jumlah barang yang harus diproduksi ?”

Ada beberapa cara/metode yang mampu bekerja di kotak hitam tersebut, misal : sistem fuzzy, jaringan syaraf tiruan, sistem linear, sistem pakar, dll.

### ALASAN MENGGUNAKAN FUZZY

1. Konsep logika fuzzy mudah dimengerti
2. Logika fuzzy sangat fleksibel
3. Memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat
4. Dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan

### APLIKASI LOGIKA FUZZY

1. Tahun 1990 pertama kali mesin cuci dengan logika fuzzy di Jepang (Matsushita Electric Industrial Company). Sistem fuzzy digunakan untuk menentukan putaran yang tepat secara otomatis berdasarkan jenis dan banyaknya kotoran serta jumlah yang akan dicuci. Input yang digunakan : seberapa kotor, jenis kotoran, banyaknya yang dicuci. Mesin ini menggunakan sensor optik, mengeluarkan cahaya ke air dan mengukur bagaimana cahaya tersebut sampai ke ujung lainnya. Makin kotor, maka sinar yang sampai makin redup. Sistem juga mampu menentukan jenis kotoran tersebut daki/minyak.
2. Transmisi otomatis pada mobil Nissan, menghemat bensin 12 – 17 %
3. Kereta bawah tanah Sendai mengontrol pemberhentian otomatis pada area tertentu
4. Ilmu kedokteran dan biologi, seperti sistem diagnosis kanker
5. Manajemen dan pengambilan keputusan, misal tata letak pabrik berdasarkan logika fuzzy, pembuatan games berdasarkan logika fuzzy, dll
6. Ilmu lingkungan, misal kendali kualitas air, prediksi cuaca
7. Teknik, misal perancangan jaringan komputer, prediksi adanya gempa bumi, dll
8. dsb

**HIMPUNAN TEGAS (CRISP)**

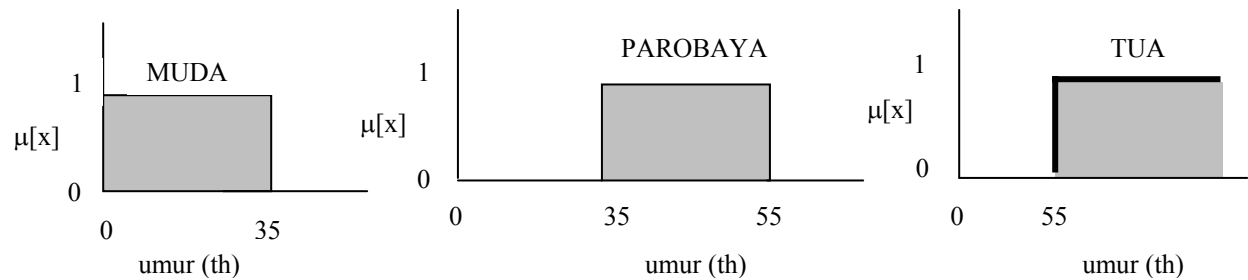
= nilai keanggotaan suatu item  $x$  dalam suatu himpunan  $A$ , yang sering ditulis dengan  $\mu_A[x]$ , memiliki 2 kemungkinan, yaitu :

- 1, yang berarti bahwa item tersebut ( $x$ ) anggota himpunan  $A$
- 0, yang berarti bahwa item tersebut ( $x$ ) bukan anggota himpunan  $A$

contoh :

- $S = [1,2,3,4,5,6]$  adalah semesta pembicaraan  
 $A = [1,2,3]$   
 $B = [3,4,5]$   
Jadi :  
nilai keanggotaan 2 pada himpunan  $A \rightarrow \mu_A[2] = 1$  , karena  $2 \in A$   
nilai keanggotaan 3 pada himpunan  $A \rightarrow \mu_A[3] = 1$  , karena  $3 \in A$   
nilai keanggotaan 4 pada himpunan  $A \rightarrow \mu_A[4] = 0$  , karena  $4 \notin A$   
nilai keanggotaan 2 pada himpunan  $B \rightarrow \mu_B[2] = 0$  , karena  $2 \notin B$   
nilai keanggotaan 3 pada himpunan  $B \rightarrow \mu_B[3] = 1$  , karena  $3 \in A$
- misal variabel umur dibagi menjadi 3 kategori, yaitu :  
MUDA            umur < 35 tahun  
PAROBAYA     $35 \leq \text{umur} \leq 55$  tahun  
TUA             umur > 55 tahun

Nilai keanggotaan secara grafis, himpunan MUDA, PAROBAYA, TUA :



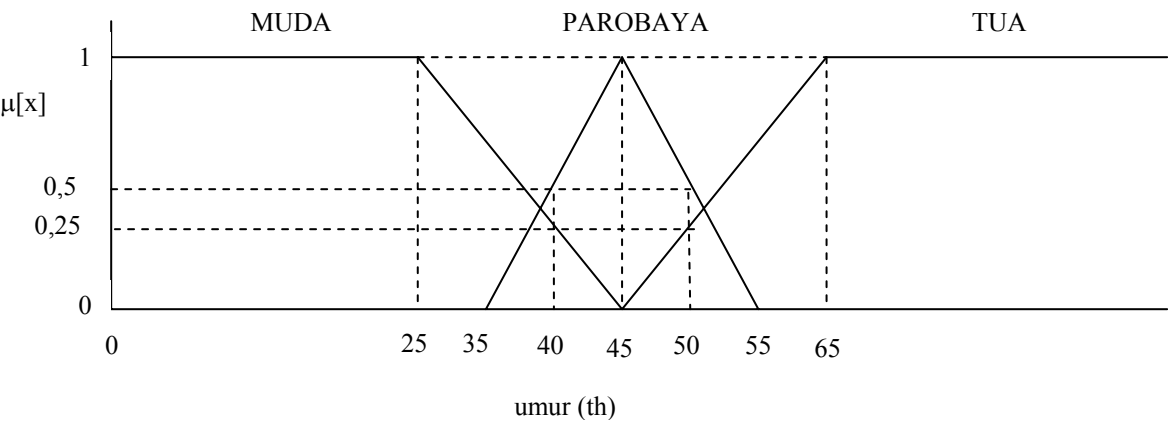
usia 34 tahun maka dikatakan MUDA  $\rightarrow \mu_{MUDA}[34] = 1$   
usia 35 tahun maka dikatakan TIDAKMUDA  $\rightarrow \mu_{MUDA}[35] = 0$   
usia 35 tahun maka dikatakan PAROBAYA  $\rightarrow \mu_{PAROBAYA}[35] = 1$   
usia 34 tahun maka dikatakan TIDAKPAROBAYA  $\rightarrow \mu_{PAROBAYA}[34] = 0$   
usia 35 tahun kurang 1 hari maka dikatakan TIDAKPAROBAYA  $\rightarrow$   
 $\mu_{PAROBAYA}[35 \text{ th} - 1 \text{ hari}] = 0$

Himpunan crisp untuk menyatakan umur bisa tidak adil karena adanya perubahan kecil saja pada suatu nilai mengakibatkan perbedaan kategori yang cukup signifikan.

**HIMPUNAN FUZZY**

Himpunan fuzzy digunakan untuk mengantisipasi hal tersebut diatas. Seseorang dapat masuk dalam 2 himpunan yang berbeda, MUDA dan PAROBAYA, PAROBAYA dan TUA, dsb. Seberapa besar eksistensinya dalam himpunan tersebut dapat dilihat pada nilai keanggotaannya.

Himpunan fuzzy untuk variabel umur :



usia 40 tahun termasuk dalam himpunan MUDA dengan  $\mu_{\text{MUDA}}[40] = 0,25$   
termasuk juga dalam himpunan PAROBAYA dengan  $\mu_{\text{PAROBAYA}}[40] = 0,5$   
usia 50 tahun termasuk dalam himpunan TUA dengan  $\mu_{\text{TUA}}[50] = 0,25$   
termasuk juga dalam himpunan PAROBAYA dengan  $\mu_{\text{PAROBAYA}}[50] = 0,5$

Himpunan crisp, nilai keanggotaan hanya 0 dan 1.

Himpunan fuzzy, nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1.

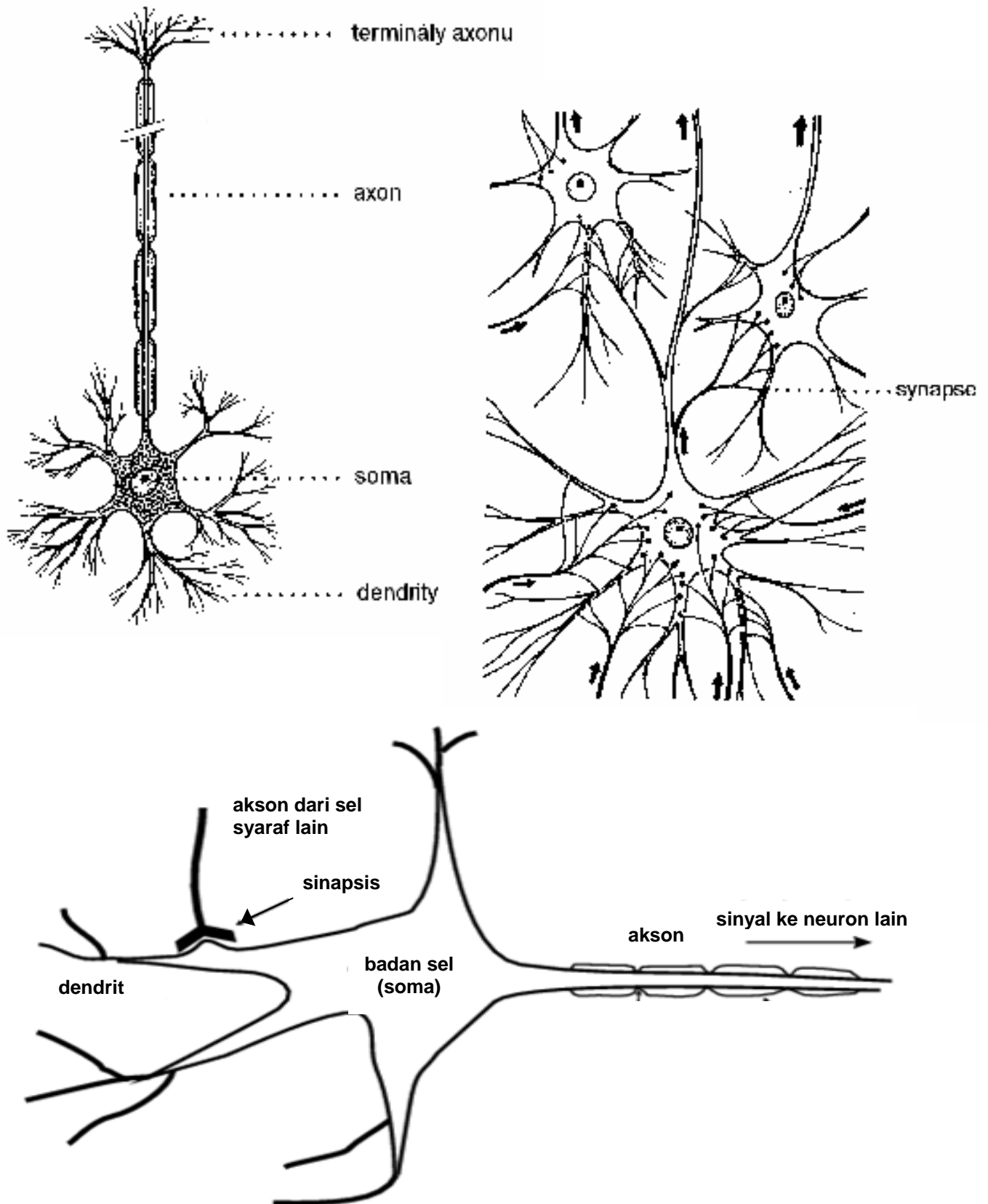
Bila  $x$  memiliki nilai keanggotaan fuzzy  $\mu_A[x] = 0 \rightarrow x$  bukan anggota himpunan  $A$

Bila  $x$  memiliki nilai keanggotaan fuzzy  $\mu_A[x] = 1 \rightarrow x$  anggota penuh himpunan  $A$

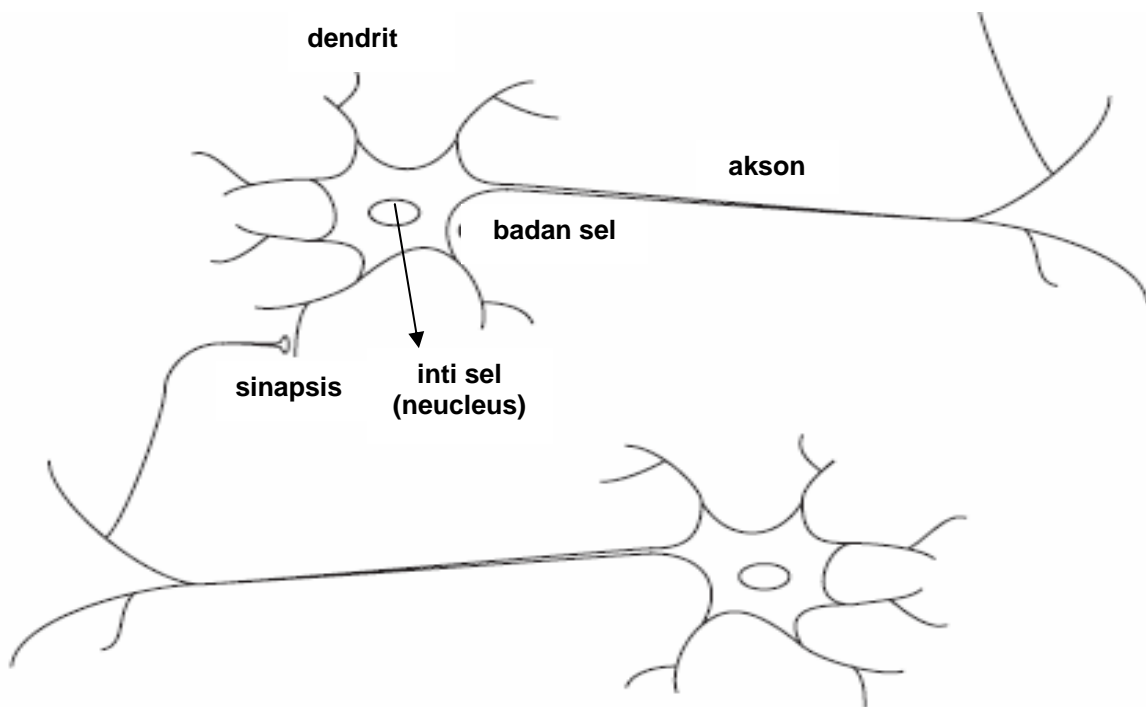
## PENGANTAR JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST)

### JARINGAN SYARAF BIOLOGIS (JSB)

- Otak manusia berisi sekitar  $10^{11}$  sel syaraf (neuron) yang bertugas untuk memproses informasi yang masuk. Tiap sel syaraf dihubungkan dengan sel syaraf lain hingga sekitar  $10^4$  sinapsis. Tiap sel bekerja seperti suatu prosesor sederhana. Masing-masing sel tersebut saling berinteraksi sehingga mendukung kemampuan kerja otak manusia.



Gambar NEURON



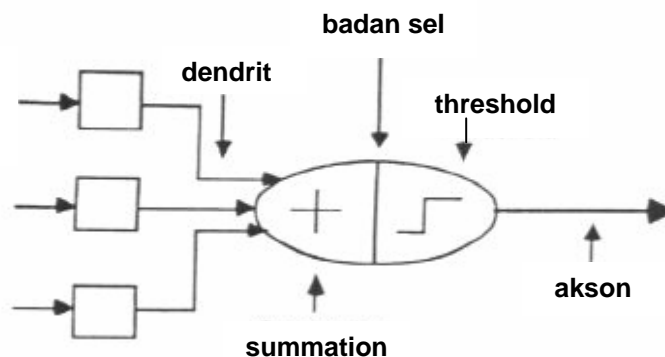
Komponen utama neuron dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian :

1. Dendrit = bertugas menerima informasi = jalur input bagi soma
2. Badan sel (soma) = tempat pengolahan informasi
3. Akson = bertugas mengirimkan impuls-impuls sinyal ke sel syaraf lain = jalur output bagi soma

Perhatikan gambar-gambar diatas :

- Sebuah neuron menerima impuls-impuls sinyal (informasi) dari neuron lain melalui dendrit dan mengirimkan sinyal yang dibangkitkan (hasil penjumlahan) oleh badan sel melalui akson.
- Akson dari sel syaraf ini bercabang-cabang dan berhubungan dengan dendrit dari sel syaraf lain dengan cara mengirimkan impuls melalui sinapsis.
- Sinapsis adalah unit fungsional antara 2 buah sel syaraf, misal A dan B, dimana yang satu adalah serabut akson dari neuron A dan satunya lagi adalah dendrit dari neuron B.
- Kekuatan sinapsis bisa menurun / meningkat tergantung seberapa besar tingkat propagasi (penyiaran) sinyal yang diterimanya.
- Impuls-impuls sinyal (informasi) akan diterima oleh neuron lain jika memenuhi batasan tertentu, yang sering disebut dengan nilai ambang (threshold).

#### Model Struktur NEURON JSB



#### JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST)

- JST didefinisikan sebagai suatu sistem pemrosesan informasi yang mempunyai karakteristik menyerupai jaringan syaraf manusia (JSB)
- JST tercipta sebagai suatu generalisasi model matematis dari pemahaman manusia (human cognition) yang didasarkan atas asumsi sebagai berikut :
  1. Pemrosesan informasi terjadi pada elemen sederhana yang disebut neuron
  2. Sinyal mengalir diantara sel saraf/neuron melalui suatu sambungan penghubung
  3. Setiap sambungan penghubung memiliki bobot yang bersesuaian. Bobot ini akan digunakan untuk menggandakan / mengalikan sinyal yang dikirim melaluinya.
  4. Setiap sel syaraf akan menerapkan fungsi aktivasi terhadap sinyal hasil penjumlahan berbobot yang masuk kepadanya untuk menentukan sinyal keluarannya.

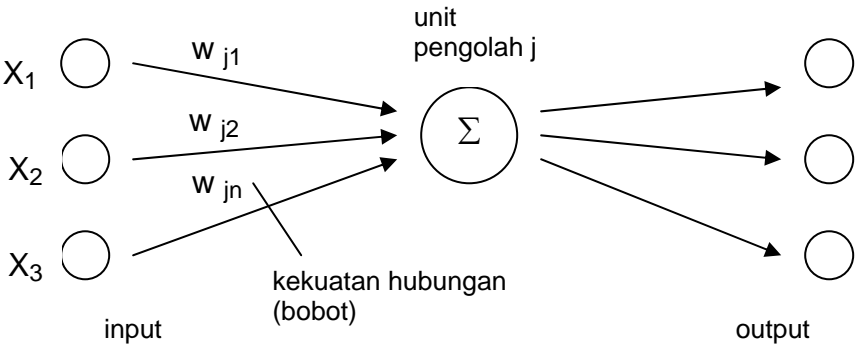
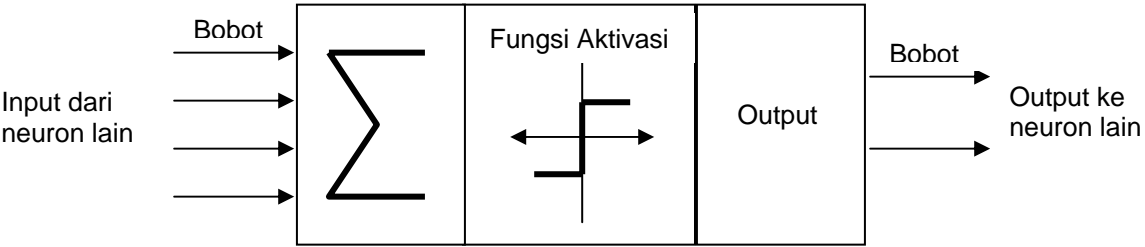
- Perbandingan kemampuan otak manusia dengan CPU

Parameter	Otak manusia	CPU
Elemen pengolah	10 <sup>11</sup> sinapsis	10 <sup>8</sup> transistor
Ukuran elemen	10 <sup>-6</sup> m	10 <sup>-6</sup> m
Energi yang digunakan	30 W	30 W (CPU)
Kecepatan pengolah	100 Hz	10 <sup>9</sup> Hz
Bentuk komputasi	Paralel terdistribusi	Serial terpusat
Fault tolerant	Ya	Tidak
Proses belajar	Ya	Tidak
Kepandaian	Selalu	Tidak (kadang-kadang)

Analogi JST dengan JSB

JST	J S Biologis
Node / input	Badan sel (soma)
Input	Dendrit
Output	Akson
Bobot	Sinapsis

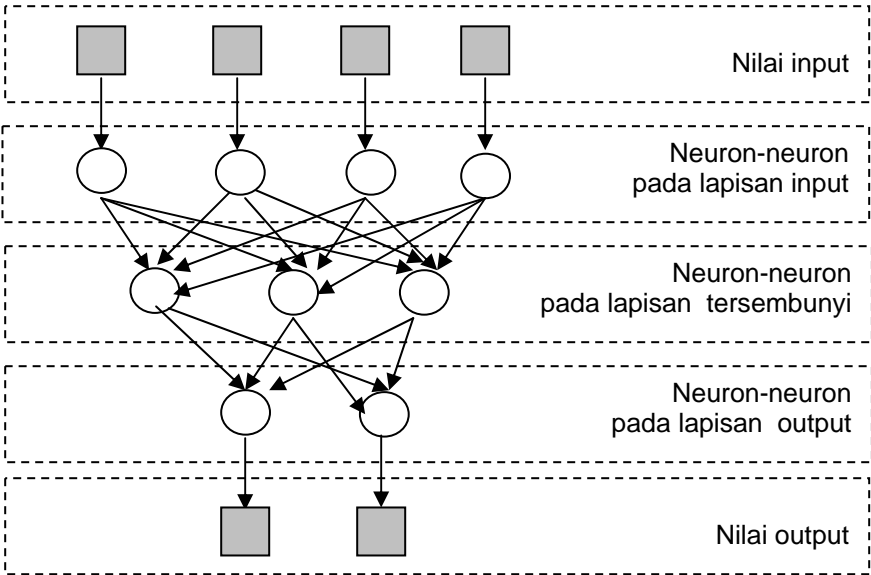
Model Struktur NEURON JST



- Jaringan syaraf tiruan dapat belajar dari pengalaman, melakukan generalisasi atas contoh-contoh yang diperolehnya dan mengabstraksi karakteristik esensial input bahkan untuk data yang tidak relevan.
- Algoritma untuk JST beroperasi secara langsung dengan angka sehingga data yang tidak numerik harus diubah menjadi data numerik.
- JST tidak diprogram untuk menghasilkan keluaran tertentu. Semua keluaran atau kesimpulan yang ditarik oleh jaringan didasarkan pada pengalamannya selama mengikuti proses pembelajaran. Pada proses pembelajaran, ke dalam JST dimasukkan pola-pola input (dan output) lalu jaringan akan diajari untuk memberikan jawaban yang bisa diterima.
- Pada dasarnya karakteristik JST ditentukan oleh :
  1. Pola hubungan antar neuron (disebut arsitektur jaringan)
  2. Metode penentuan bobot-bobot sambungan (disebut dengan pelatihan atau proses belajar jaringan)
  3. Fungsi aktivasi

ARSITEKTUR JST

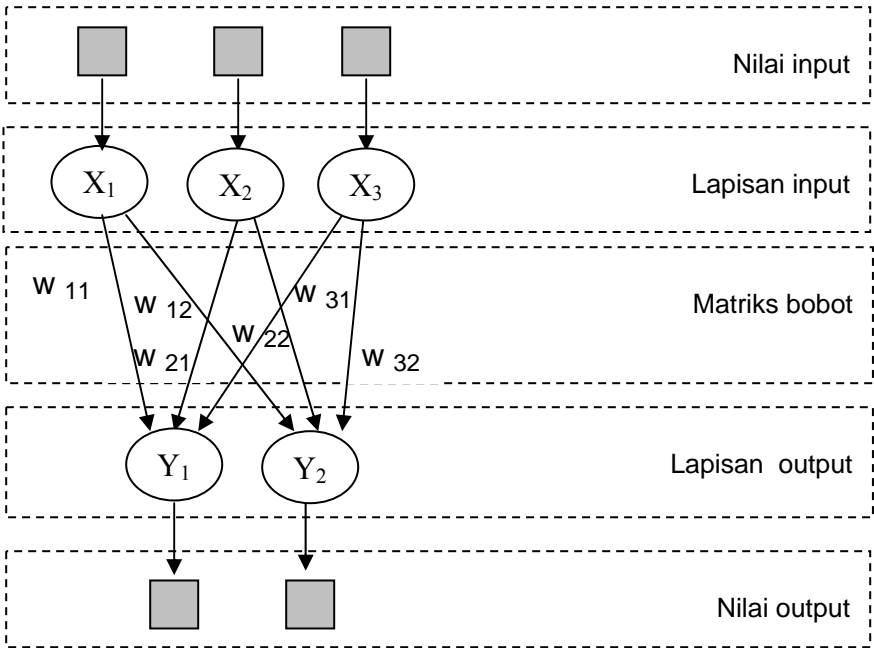
- Pada JST, neuron-neuron akan dikumpulkan dalam lapisan-lapisan (layer) yang disebut dengan lapisan neuron (neuron layers).
- Neuron-neuron pada satu lapisan akan dihubungkan dengan lapisan-lapisan sebelum dan sesudahnya.
- Informasi yang diberikan pada jaringan syaraf akan dirambatkan lapisan ke lapisan, mulai dari lapisan input sampai ke lapisan output melalui lapisan tersembunyi (hidden layer).
- Gambar berikut ini jaringan syaraf dengan 3 lapisan dan bukanlah struktur umum jaringan syaraf karena beberapa jaringan syaraf ada yang tidak memiliki lapisan tersembunyi.



- Faktor terpenting dalam menentukan kelakuan suatu neuron adalah fungsi aktivasi dan pola bobotnya.
- Umumnya neuron-neuron yang terletak pada lapisan yang sama akan memiliki keadaan yang sama sehingga pada setiap lapisan yang sama neuron-neuron memiliki fungsi aktivasi yang sama.
- Bila neuron-neuron pada suatu lapisan (misal lapisan tersembunyi) akan dihubungkan dengan neuron-neuron pada lapisan lain (misal lapisan output) maka setiap neuron pada lapisan tersebut (lapisan tersembunyi) juga harus dihubungkan dengan setiap neuron pada lapisan lainnya (lapisan output)
- Macam arsitektur JST ada 3 :

1. Jaringan dengan lapisan tunggal (single layer net)

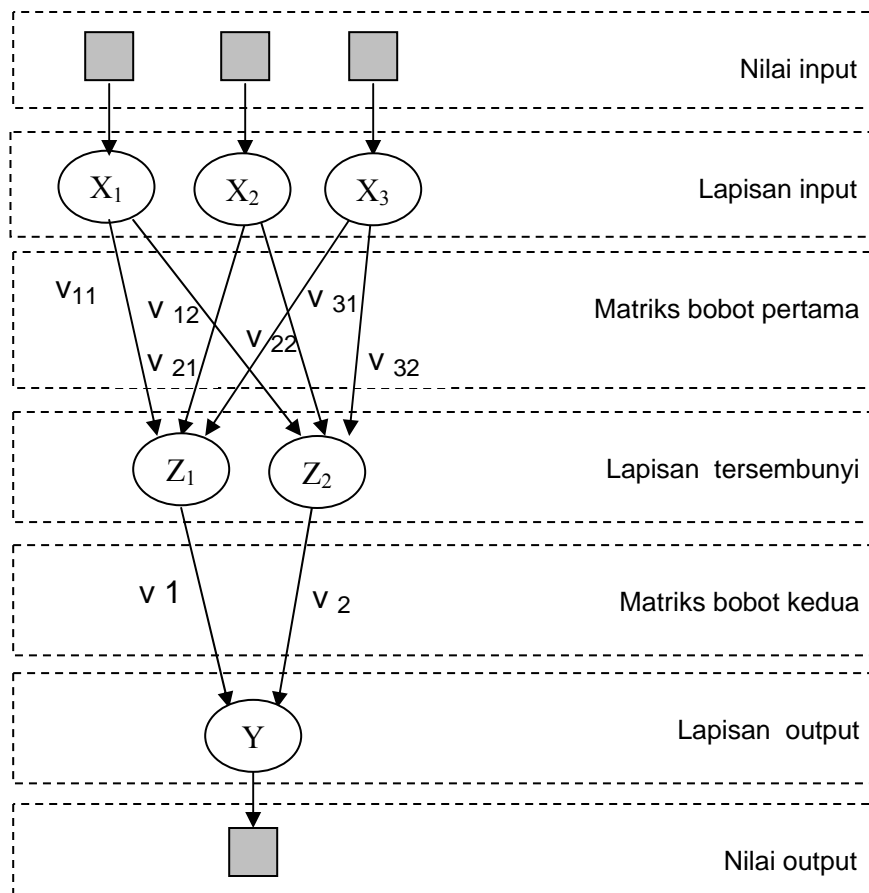
Hanya memiliki 1 lapisan dengan bobot-bobot terhubung. Jaringan ini hanya menerima input kemudian secara langsung akan mengolahnya menjadi output tanpa harus melalui lapisan tersembunyi. Pada gambar berikut neuron-neuron pada kedua lapisan saling berhubungan. Seberapa besar hubungan antara 2 neuron ditentukan oleh bobot yang bersesuaian. Semua unit input akan dihubungkan dengan dengan setiap unit output.





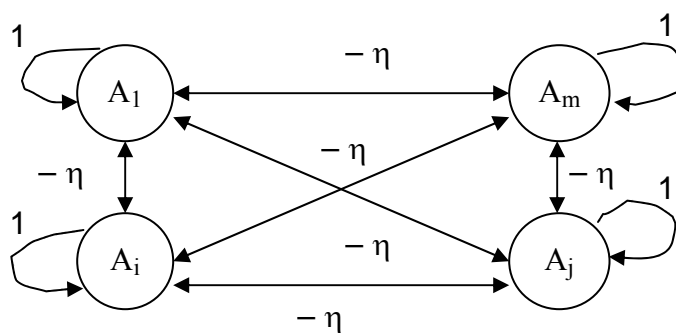
## 2. Jaringan dengan banyak lapisan (multilayer net)

Memiliki 1 atau lebih lapisan yang terletak diantara lapisan input dan lapisan output. Umumnya ada lapisan bobot-bobot yang terletak antara 2 lapisan yang bersebelahan. Jaringan dengan banyak lapisan ini dapat menyelesaikan permasalahan yang lebih sulit daripada lapisan tunggal, tentu saja dengan pembelajaran yang lebih rumit. Pada banyak kasus, pembelajaran pada jaringan dengan banyak lapisan ini lebih sukses dalam menyelesaikan masalah.



## 3. Jaringan dengan lapisan kompetitif (competitive layer net)

Pada jaringan ini sekumpulan neuron bersaing untuk mendapatkan hak menjadi aktif. Umumnya hubungan antar neuron pada lapisan kompetitif ini tidak diperlihatkan pada diagram arsitektur. Gambar berikut menunjukkan salah satu contoh arsitektur jaringan dengan lapisan kompetitif yang memiliki bobot  $-\eta$



## PROSES PEMBELAJARAN JARINGAN

### • Cara belajar JST :

Ke dalam JST diinputkan informasi yang sebelumnya telah diketahui hasil keluarannya. Penginputan informasi ini dilakukan lewat node-node atau unit-unit input. Bobot-bobot antarkoneksi dalam suatu arsitektur diberi nilai awal dan kemudian JST dijalankan. Bobot-bobot ini bagi jaringan digunakan untuk belajar dan mengingat suatu informasi. Pengaturan bobot dilakukan secara terus-menerus dan dengan menggunakan kriteria tertentu sampai diperoleh keluaran yang diharapkan.

- Hal yang ingin dicapai dengan melatih/mengajari JST adalah untuk mencapai keseimbangan antara kemampuan memorisasi dan generalisasi.
- Kemampuan memorisasi adalah kemampuan JST untuk memanggil kembali secara sempurna sebuah pola yang telah dipelajari.
- Kemampuan generalisasi adalah kemampuan JST untuk menghasilkan respon yang bisa diterima terhadap pola-pola input yang serupa (namun tidak identik) dengan pola-pola yang sebelumnya telah dipelajari.

Hal ini sangat bermanfaat bila pada suatu saat ke dalam JST diinputkan informasi baru yang belum pernah dipelajari, maka JST masih akan tetap dapat memberikan tanggapan yang baik, memberikan keluaran yang paling mendekati.

- Paradigma/metode pembelajaran/pelatihan JST :

1. **Pembelajaran terawasi (supervised learning)**

Pada pembelajaran ini kumpulan input yang digunakan, output-outputnya telah diketahui. Perbedaan antara output-output aktual dengan output-output yang diinginkan digunakan untuk mengoreksi bobot JST agar JST dapat menghasilkan jawaban sedekat (semirip) mungkin dengan jawaban yang benar yang telah diketahui oleh JST.

2. **Pembelajaran tak terawasi (unsupervised learning) / pembelajaran tanpa guru**

Pada pembelajaran ini, JST mengorganisasi dirinya sendiri untuk membentuk vektor-vektor input yang serupa, tanpa menggunakan data atau contoh-contoh pelatihan. Struktur menggunakan dasar data atau korelasi antara pola-pola data yang dieksplorasi. Paradigma pembelajaran ini mengorganisasi pola-pola ke dalam kategori-kategori berdasarkan korelasi yang ada.

3. **Gabungan pembelajaran terawasi dan tak terawasi (hybrid)**

Merupakan kombinasi dari kedua pembelajaran tersebut. Sebagian dari bobot-bobotnya ditentukan melalui pembelajaran terawasi dan sebagian lainnya melalui pembelajaran tak terawasi.

## FUNGSI AKTIVASI

- Dipakai ntuk menentukan keluaran suatu neuron
- Merupakan fungsi yang menggambarkan hubungan antara tingkat aktivasi internal (summation function) yang mungkin berbentuk linier atau nonlinear. Beberapa fungsi aktivasi JST diantaranya hard limit, purelin, dan sigmoid. Yang populer digunakan adalah fungsi sigmoid yang memiliki beberapa varian : sigmoid logaritma, sigmoid biner, sigmoid bipolar, sigmoid tangen.
- Hard limit memberikan batasan tegas 0 atau 1, purelin memisahkan secara linier, sigmoid berupa fungsi smooth bernilai antara 0 sampai dengan 1 (bila biner) atau antara -1 sampai 1 (bila bipolar)

## SUMMATION FUNCTION

- Fungsi yang digunakan untuk mencari rata-rata bobot dari semua elemen input.
- Bentuk sederhananya adalah dengan mengalikan setiap nilai input ( $X_j$ ) dengan bobotnya ( $W_{ij}$ ) dan menjumlahkannya (disebut penjumlahan berbobot atau  $S_i$ )

$$S_i = \sum_{j=1}^N W_{ij} * X_j$$

- Diibaratkan dengan sebuah neuron yang memonitor sinyal yang datang dari neuron-neuron lain. Neuron ini menghitung penjumlahan berbobotnya dan kemudian menentukan sinyal untuk dikirim ke neuron-neuron lain.

## SUM SQUARE ERROR dan ROOT MEAN SQUARE ERROR

- Perhitungan kesalahan merupakan pengukuran bagaimana jaringan dapat belajar dengan baik sehingga jika dibandingkan dengan pola yang baru akan dengan mudah dikenali.
- Kesalahan pada keluaran jaringan merupakan selisih antara keluaran sebenarnya (current output) dan keluaran yang diinginkan (desired output)
- Selisih yang dihasilkan antara keduanya biasanya ditetnukan dengan cara dihitung menggunakan suatu persamaan.
- Sum Square Error (SSE) :
  1. Hitung keluaran jaringan syaraf untuk masukan pertama

2. Hitung selisih antara nilai keluaran jaringan syaraf dan nilai target/yang diinginkan untuk setiap keluaran
3. Kuadratkan setiap keluaran kemudian hitung seluruhnya

$$SSE = \sum_p \sum_j (T_{jp} - X_{jp})^2$$

$T_{jp}$  : nilai keluaran jaringan syarag

$X_{jp}$  : nilai target/yang diinginkan untuk setiap keluaran

- Root Mean Square Error (RMS Error) :
  1. Hitung SSE
  2. Hasilnya dibagi dengan perkalian antara banyaknya data pada pelatihan dan banyaknya keluaran, kemudian diakarkan.

$$RMSError = \sqrt{\frac{\sum_p \sum_j (T_{jp} - X_{jp})^2}{n_p n_o}}$$

$T_{jp}$  : nilai keluaran jaringan syarag

$X_{jp}$  : nilai target/yang diinginkan untuk setiap keluaran

$n_p$  : jumlah seluruh pola

$p_o$  : jumlah keluaran

## APLIKASI JARINGAN SYARAF TIRUAN

- Aerospace  
autopilot pesawat terbang, simulasi jalur penerbangan, sistem kendali pesawat, perbaikan autopilot, simulasi komponen pesawat
- Otomotif : sistem kendali otomatis mobil
- Keuangan dan perbankan  
pendeteksian uang palsu, evaluator aplikasi kredit, pengidentifikasian pola-pola data pasar saham
- Militer  
Pengendali senjata, pendeteksi bom, penelusuran target, pembedaan objek, pengendali sensor, sonar, radar, dan pengolahan sinyal citra yang meliputi kompresi data, ekstraksi bagian istimewa, dan penghilangan derau, pengenalan sinyal atau citra.
- Elektronik  
Pembuatan perangkat keras yang bisa mengimplementasikan JST secara efisien, machine vision, pengontrol gerakan dan penglihatan robot, sintesis suara
- Broadcast : pencarian klip berita melalui pengenalan wajah
- Keamanan : JST digunakan untuk mengenali mobil dan mengenali wajah oknum
- Medis : analisis sel kanker
- Pengenalan suara : pengenalan percakapan, klasifikasi suara
- Pengenalan tulisan : pengenalan tulisan tangan, penerjemahan tulisan ke dalam tulisan latin
- Matematika : alat pemodelan asalah dimana bentuk eksplisit dari hubungan antara variabel-variabel tertentu tidak diketahui
- Pengenalan benda bergerak  
selain pola dari citra diam, JST juga bisa digunakan untuk mendeteksi citra bergerak dari video seperti citra orang yang bergerak, dll.
- JST digunakan sebagai detektor virus komputer, penginderaan bau, dll

**REFERENSI**

1. Sri Kusumadewi, “*Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*”, Graha Ilmu, 2003
2. Arief Hermawan, “*Jaringan Syaraf Tiruan (Teori dan Aplikasi)*”, Penerbit Andi, 2006

