

REASONING

ARTIFICIAL INTELLIGENT



Teknik Reasoning (Penalaran)

- Teknik penyelesaian masalah dengan cara merepresentasikan masalah ke dalam basis pengetahuan (knowledge base) menggunakan logic atau bahasa formal (bahasa yang dipahami komputer)

Searching VS Reasoning

Searching :

- Merepresentasikan masalah ke dalam state dan ruang masalah
- Menggunakan strategi pencarian untuk menemukan solusi.

Reasoning :

- Merepresentasikan masalah ke dalam basis pengetahuan
- Melakukan proses penalaran untuk menemukan solusi

Searching VS Reasoning

Problem Searching :

- Apakah aturan produksi (operator) sudah lengkap atau belum?
- Jika masalah yang dihadapi cukup kompleks, maka akan terjadi ketidak-efisienan representasi keadaan (state)

Masalah 8-puzzle → representasi **sebuah state** : 8 posisi ubin dan **sebuah state** maksimum 4 suksesor (faktor percabangan)

Masalah 32-posisi buah catur ?

→ representasi **sebuah state** : 32 posisi buah catur dan **sebuah state** bisa memiliki banyak suksesor.

Beberapa Jenis Logic

Jenis <i>logic</i>	Apa yang ada di dunia nyata	Apa yang dipercaya <i>Agent</i> tentang fakta
<i>Propositional logic</i>	fakta	benar/salah /tidak diketahui
<i>First-order logic</i>	fakta, objek, relasi	benar/salah /tidak diketahui
<i>Probability theory</i>	fakta	derajat kepercayaan [0,1]
<i>Fuzzy logic</i>	derajat kebenaran	derajat kepercayaan [0,1]

Propositional Logic

- *Logic yang paling sederhana*
- *Sangat mudah dipahami*
- *Membuat kita lebih mudah membedakan teknik reasoning dengan teknik searching.*

BNF (Backus-Naur Form)

Sentence \rightarrow *AtomicSentence* | *ComplexSentence*

AtomicSentence \rightarrow *True* | *False*
| *P* | *Q* | *R* | ...

ComplexSentence \rightarrow (*Sentence*)
| *Sentence* *Connective* *Sentence*
| \neg *Sentence*

Connective \rightarrow \wedge | \vee | \Leftrightarrow | \Rightarrow | \neg

Tabel Kebenaran 5 connective

P	Q	$\neg P$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$P \Leftrightarrow Q$
<i>False</i>	<i>False</i>	<i>True</i>	<i>False</i>	<i>False</i>	<i>True</i>	<i>True</i>
<i>False</i>	<i>True</i>	<i>True</i>	<i>False</i>	<i>True</i>	<i>True</i>	<i>False</i>
<i>True</i>	<i>False</i>	<i>False</i>	<i>False</i>	<i>True</i>	<i>False</i>	<i>False</i>
<i>True</i>	<i>True</i>	<i>False</i>	<i>True</i>	<i>True</i>	<i>True</i>	<i>True</i>

Aturan Inferensi

Propositional logic

1. **Modus Ponens** atau **Implication-Elimination**:

$$\frac{\alpha \Rightarrow \beta, \alpha}{\beta}$$

2. **And-Elimination**:

$$\frac{\alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_n}{\alpha_i}$$

3. **And-Introduction**:

$$\frac{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n}{\alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_n}$$

4. **Or-Introduction**:

$$\frac{\alpha_i}{\alpha_1 \vee \alpha_2 \vee \dots \vee \alpha_n}$$

5. **Double-Negation-Elimination**:

$$\frac{\neg \neg \alpha}{\alpha}$$

6. **Unit Resolution**:

$$\frac{\alpha \vee \beta, \neg \beta}{\alpha}$$

7. **Resolution**:

$$\frac{\alpha \vee \beta, \neg \beta \vee \gamma}{\alpha \vee \gamma}$$

ekivalen dengan

$$\frac{\neg \alpha \Rightarrow \beta, \beta \Rightarrow \gamma}{\neg \alpha \Rightarrow \gamma}$$

Modus Ponens (Implication-Elimination)

$$\frac{\alpha \Rightarrow \beta, \quad \alpha}{\beta}$$

And-Elimination

$$\frac{\alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_n}{\alpha_i}$$

And-Introduction

$$\frac{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n}{\alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_n}$$

Or-Introduction

$$\alpha_i$$

$$\alpha_1 \vee \alpha_2 \vee \dots \vee \alpha_n$$

Double-Negation-Elimination

$$\frac{\neg\neg\alpha}{\alpha}$$

Unit Resolution

$$\frac{\alpha \vee \beta, \quad \neg \beta}{\alpha}$$



Resolution

$$\frac{\alpha \vee \beta, \quad \neg \beta \vee \gamma}{\alpha \vee \gamma}$$

$$\frac{\neg \alpha \Rightarrow \beta, \quad \beta \Rightarrow \gamma}{\neg \alpha \Rightarrow \gamma}$$

Example

Bagaimana mobil dapat tahu posisi mercusuar dengan menggunakan logika proposisi dan aturan inferensi di atas ?

1,1 	1,2	1,3
2,1	2,2	2,3
3,1	3,2 	3,3

Mobil = M

Cahaya = C

Mercusuar = S

Misal cahaya di
2,2 maka
simbolnya
C2,2

Example

□ Aturan-aturan (dilambangkan dengan logika proposisi)

- $R_1 : \neg C_{1,1} \Rightarrow \neg S_{1,1} \wedge \neg S_{1,2} \wedge \neg S_{2,1}$
- $R_2 : \neg C_{1,2} \Rightarrow \neg S_{1,1} \wedge \neg S_{1,2} \wedge \neg S_{1,3} \wedge \neg S_{2,2}$
- $R_3 : \neg C_{1,3} \Rightarrow \neg S_{1,2} \wedge \neg S_{1,3} \wedge \neg S_{2,3}$
- $R_4 : \neg C_{2,1} \Rightarrow \neg S_{1,1} \wedge \neg S_{2,1} \wedge \neg S_{2,2} \wedge \neg S_{3,1}$
- $R_5 : C_{2,2} \Rightarrow S_{2,1} \vee S_{2,2} \vee S_{2,3} \vee S_{3,2}$
- $R_6 : \neg C_{2,3} \Rightarrow \neg S_{2,2} \wedge \neg S_{2,3} \wedge \neg S_{3,3}$
- $R_7 : C_{3,1} \Rightarrow S_{2,1} \vee S_{3,1} \vee S_{3,2}$
- $R_8 : C_{3,2} \Rightarrow S_{3,1} \vee S_{3,2} \vee S_{3,3} \vee S_{2,2}$
- $R_9 : C_{3,3} \Rightarrow S_{2,3} \vee S_{3,2} \vee S_{3,3}$

Example

Inferensi (menggunakan aturan inferensi logika proposisi)

- Modus ponens untuk R1 dan $\neg C_{1,1}$ didapat $\neg S_{1,1} \wedge \neg S_{1,2} \wedge \neg S_{2,1}$
- And elimination didapat $\neg S_{1,1} \neg S_{1,2} \neg S_{2,1}$
- Modus ponens untuk R2 dan $\neg C_{1,2}$ didapat $\neg S_{1,1} \wedge \neg S_{1,2} \wedge \neg S_{1,3} \wedge \neg S_{2,2}$
- And elimination didapat $\neg S_{1,1} \neg S_{1,2} \neg S_{1,3} \neg S_{2,2}$
- Modus ponens untuk R3 dan $\neg C_{1,3}$ didapat $\neg S_{1,2} \wedge \neg S_{1,3} \wedge \neg S_{2,3}$
- And elimination didapat $\neg S_{1,2} \neg S_{1,3} \neg S_{2,3}$
- Modus ponens untuk R4 dan $\neg C_{2,1}$ didapat $\neg S_{1,1} \wedge \neg S_{2,1} \wedge \neg S_{2,2} \wedge \neg S_{3,1}$
- And elimination didapat $\neg S_{1,1} \neg S_{2,1} \neg S_{2,2} \neg S_{3,1}$
- Modus ponens untuk R5 dan $C_{2,2}$ didapat $S_{2,1} \vee S_{2,2} \vee S_{2,3} \vee S_{3,2}$
- Unit Resolution terhadap hasil dengan $\neg S_{2,1}$ didapat $S_{2,2} \vee S_{2,3} \vee S_{3,2}$
- Unit Resolution terhadap hasil dengan $\neg S_{2,2}$ didapat $S_{2,3} \vee S_{3,2}$
- Unit Resolution terhadap hasil dengan $\neg S_{2,3}$ didapat **$S_{3,2}$**

Mercusuar berada di posisi 3,2

Game

- Dunia Wumpus
- Game sederhana
- Bagaimana implementasi Propositional Logic

DUNIA WUMPUS

Wumpus merupakan seekor monster yang tinggal di sebuah gua yang terbagi menjadi 16 ruangan. Wumpus dapat mengeluarkan bau busuk (stench). Wumpus akan menjerit dan mati jika terkena panah. Di dalam gua terdapat 3 lubang mematikan (Pit) yang mengeluarkan angin (breeze) yang terasa sampai ruangan-ruangan di sekitarnya. Sebuah agent dilengkapi dengan tiga anak panah yang hanya bisa diarahkan menuju ruangan-ruangan yang searah dengan arah agent menghadap. Agent bisa bergerak hadap kanan, hadap kiri, atau maju. Agent bisa memanjat keluar gua jika berada pada posisi terjepit. Agen akan mati jika memasuki kotak yang terdapat Wumpus atau Pit.

4

 Stench Breeze**PIT**

3

 Breeze
 Stench
 Gold**PIT** Breeze

2

 Stench Breeze

1

 Breeze**PIT** Breeze

1

2

3

4

Apakah Teknik Searching bisa menyelesaikan Wumpus problem?

- **Bisa**
- **Sebuah state** : 16 ruangan dengan posisi-posisi Wumpus, Pit dan Gold.
- **Operator** : hadap kiri, hadap kanan, maju, memanah, mengambail objek dan memanjat keluar gua.
- Tentukan **initial state**, **goal state** dan **strategi searching**.
- Namun, representasi state membutuhkan **memori yang besar**.

Wumpus

- Monster yang tinggal di sebuah gua (16 ruangan)
- Di dalam gua terdapat 3 lubang mematikan (*Pit*) yang mengeluarkan angin (*breeze*) sehingga sampai ke ruangan-ruangan di sekitarnya.
- Wumpus mengeluarkan bau busuk (*stench*).
- Wumpus menjerit (*scream*) dan mati jika terpanah.




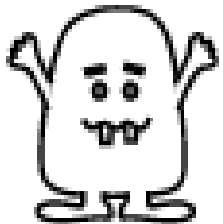



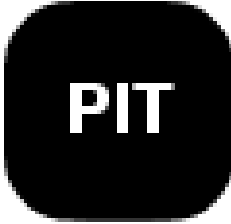



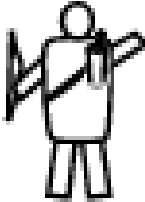

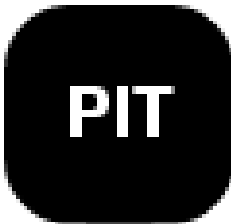

Agent

- Dilengkapi dengan tiga anak panah
- Bisa bergerak hadap kanan, hadap kiri, maju.
- Bisa memanjat keluar gua jika posisinya terjepit.
- Akan benjol (*bump*) jika menabrak dinding gua.
- Akan mati jika memasuki kotak yang terdapat Wumpus atau *Pit*. Tetapi aman jika memasuki kotak yang di dalamnya terdapat Wumpus yang telah mati.

Aturan Main

- Saat permainan dimulai, *Agent* berada di posisi (1,1)
- Tugas *Agent*
 - ▣ menemukan emas
 - ▣ membawanya kembali ke kotak start (1,1)
 - ▣ secepat mungkin dengan jumlah aksi semimumimum mungkin, tanpa terbunuh
- Poin
 - ▣ 1.000 : *agent* berhasil keluar gua + membawa emas
 - ▣ -1 : untuk setiap aksi yang dilakukan
 - ▣ -10.000 : jika *agent* terbunuh

4

 Stench		 Breeze	 PIT
	  Stench  Gold	 PIT	 Breeze
 Stench		 Breeze	
 START	 Breeze	 PIT	 Breeze

3

2

1

1

2

3

4

Dunia Wumpus

- Masalah dunia Wumpus dapat dirumuskan ke dalam tiga kelompok sbb:
 - ▣ *Percept*: sesuatu yang ditangkap oleh *Agent*
 - ▣ *Action*: aksi yang dapat dilakukan oleh *Agent*
 - ▣ *Goal*: tujuan

Percept

- *Percept* : [*stench* , *breeze*, *glitter*, *bump*, *scream*]
- [*stench* , *breeze*, *None*, *None*, *None*]
 - ▣ Ada *stench* dan *breeze*
 - ▣ Tidak ada *glitter(gold)*, *bump*, maupun *scream*

Action

- **Move:** hadap kiri, hadap kanan, atau maju.
- **Grab:** mengambil objek yang berada di kotak dimana *agent* berada.
- **Shoot:** memanah dengan arah lurus sesuai dengan arah *Agent* menghadap.
- **Climb:** memanjat keluar dari gua.

Goal

- Menemukan emas dan membawanya kembali ke kotak start $(1,1)$ secepat mungkin dengan jumlah *action* yang semimum mungkin, tanpa terbunuh.
- Poin
 - ▣ 1.000 : *agent* berhasil keluar gua + membawa emas
 - ▣ -1 : untuk setiap aksi yang dilakukan
 - ▣ -10.000 : jika *agent* terbunuh

Wumpus dengan Reasoning

- Reasoning menggunakan *propositional logic*
- Pertama, kita harus merepresentasikan fakta atau keadaan ke dalam simbol-simbol *propositional logic*.
 - $S_{1,2}$: ada *stench* di kotak (1,2)
 - $B_{2,1}$: ada *breeze* di kotak (2,1)
 - $G_{2,3}$: ada *glitter* di kotak (2,3)
 - $M_{1,4}$: *bump* di kotak (1,4)
 - $C_{1,3}$: ada *scream* di kotak (1,3)
 - $W_{1,3}$: ada *Wumpus* di kotak (1,3)
 - $\neg S_{1,1}$: tidak ada *stench* di posisi (1,1)

Knowledge-based System (KBS)

- *Agent* → *knowledge-based system*
- *Agent* melakukan aksi berdasarkan hasil penalaran *percept* terhadap *Knowledge Based* yang dimilikinya.
- Pada awal permainan, di dalam KB tidak ada fakta sama sekali karena *Agent* belum menerima *percept*.
- KB hanya berisi beberapa aturan (*rule*) yang merupakan pengetahuan tentang *environment*

Pengetahuan ttg *environment*

$$R_1 : \neg S_{1,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$$

$$R_2 : \neg S_{2,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{2,1} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{3,1}$$

$$R_3 : \neg S_{1,2} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{1,3}$$

$$R_4 : S_{1,2} \Rightarrow W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2} \vee W_{1,1}$$

...

$$R_{33} : \neg B_{1,1} \Rightarrow \neg P_{1,1} \wedge \neg P_{1,2} \wedge \neg P_{2,1}$$

$$R_{34} : B_{2,1} \Rightarrow P_{1,1} \vee P_{2,1} \vee P_{2,2} \vee P_{3,1}$$

...

Translation

Untuk melakukan aksi yang tepat, *agent* harus dibekali aturan untuk menerjemahkan pengetahuan menjadi aksi.

$$T_1 : A_{2,1} \wedge East_A \wedge P_{3,1} \Rightarrow \neg Forward$$






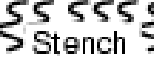









$$T_2 : A_{1,2} \wedge North_A \wedge W_{1,3} \Rightarrow \neg Forward$$

...

T_1 dibaca: "Jika *agent* di (2,1) dan menghadap ke Timur dan ada Pit di (3,1), maka jangan melangkah maju (ke posisi (3,1))".

Inference & Reasoning

- **Inference** : A process of drawing conclusion (solution) from set of facts.
- **Reasoning**: A Process of deriving new knowledge from the exist knowledge.

4	 Stench		 Breeze	
3		  Stench  Gold		
2	 Stench		 Breeze	
1	 START	 Breeze		
	1	2	3	4

- Apakah Wumpus berada di posisi (1,3)?
- Bagaimana *reasoning* oleh manusia?
- Bagaimana proses *reasoning* oleh *agent*?

Agent berada di posisi (1,1)

- Pada awalnya, KB hanya berisi Rule yang berupa pengetahuan tentang *environment*. Tidak ada fakta sama sekali karena agent belum melakukan *percept*.
- Pada kasus di atas, Agent menerima *percept* yang berupa [*None, None, None, None, None*]
- Tidak ada *stench, breeze, glitter, bump, scream*
- Selanjutnya, Agent menggunakan aturan inferensi dan pengetahuan tentang *environment* untuk melakukan proses inferensi.

Pengetahuan ttg *environment*

$$R_1 : \neg S_{1,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$$

$$R_2 : \neg S_{2,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{2,1} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{3,1}$$

$$R_3 : \neg S_{1,2} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{1,3}$$

$$R_4 : S_{1,2} \Rightarrow W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2} \vee W_{1,1}$$

...

$$R_{33} : \neg B_{1,1} \Rightarrow \neg P_{1,1} \wedge \neg P_{1,2} \wedge \neg P_{2,1}$$

$$R_{34} : B_{2,1} \Rightarrow P_{1,1} \vee P_{2,1} \vee P_{2,2} \vee P_{3,1}$$

...

Proses inferensi di (1,1)

- **Modus Ponens** untuk $\neg S_{1,1}$ dan R_1
 $\neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$
- **And-Elimination** terhadap hasil di atas
 $\neg W_{1,1} \quad \neg W_{1,2} \quad \neg W_{2,1}$
- **Modus Ponens** untuk $\neg B_{1,1}$ dan R_{33}
 $\neg P_{1,1} \wedge \neg P_{1,2} \wedge \neg P_{2,1}$
- **And-Elimination** terhadap hasil di atas
 $\neg P_{1,1} \quad \neg P_{1,2} \quad \neg P_{2,1}$

Inferensi dilakukan sampai dihasilkan kalimat yang paling sederhana atau bahkan atomik.

$$\begin{array}{ccccccc}
\neg S_{1,1} & \neg B_{1,1} & \neg G_{1,1} & \neg M_{1,1} & \neg C_{1,1} & \neg W_{1,1} & \neg P_{1,1} \\
& & & & & \neg W_{2,1} & \neg P_{2,1} \\
& & & & & \neg W_{1,2} & \neg P_{1,2}
\end{array}$$

$$R_1 : \neg S_{1,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$$

$$R_2 : \neg S_{2,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{2,1} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{3,1}$$

$$R_3 : \neg S_{1,2} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{1,3}$$

$$R_4 : S_{1,2} \Rightarrow W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2} \vee W_{1,1}$$

...

$$R_{33} : \neg B_{1,1} \Rightarrow \neg P_{1,1} \wedge \neg P_{1,2} \wedge \neg P_{2,1}$$

$$R_{34} : B_{2,1} \Rightarrow P_{1,1} \vee P_{2,1} \vee P_{2,2} \vee P_{3,1}$$

...

Misalkan *Agent* ke posisi (2,1)

- *Percept* [None, Breeze, None, None, None]
- Ada *breeze*, tidak ada *stench*, *glitter*, *bump* dan *scream*
- $\neg S_{2,1}$, $B_{2,1}$, $\neg G_{2,1}$, $\neg M_{2,1}$, dan $\neg C_{2,1}$

Proses inferensi di (2,1)

- **Modus Ponens** untuk $\neg S_{2,1}$ dan R_2
 $\neg W1,1 \wedge \neg W2,1 \wedge \neg W2,2 \wedge \neg W3,1$
- **And-Elimination** terhadap hasil tersebut
 $\neg W1,1 \quad \neg W2,1 \quad \neg W2,2 \quad \neg W3,1$
- **Modus Ponens** untuk $B_{2,1}$ dan R_{34}
 $P1,1 \vee P2,1 \vee P2,2 \vee P3,1$
- **Unit Resolution** terhadap hasil tersebut dengan $\neg P_{1,1}$
kemudian $\neg P_{2,1}$, sehingga didapat
 $P2,2 \vee P3,1$

$$\begin{array}{ccccccc}
\neg S_{1,1} & \neg B_{1,1} & \neg G_{1,1} & \neg M_{1,1} & \neg C_{1,1} & \neg W_{1,1} & \neg P_{1,1} & P_{2,2} \vee P_{3,1} \\
& & & & & \neg W_{2,1} & \neg P_{2,1} & \\
& & & & & \neg W_{1,2} & \neg P_{1,2} & \\
& & & & & \neg \mathbf{W}_{2,2} & & \\
& & & & & \neg \mathbf{W}_{3,1} & &
\end{array}$$

$$R_1 : \neg S_{1,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,1}$$

$$R_2 : \neg S_{2,1} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{2,1} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{3,1}$$

$$R_3 : \neg S_{1,2} \Rightarrow \neg W_{1,1} \wedge \neg W_{1,2} \wedge \neg W_{2,2} \wedge \neg W_{1,3}$$

$$R_4 : S_{1,2} \Rightarrow W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2} \vee W_{1,1}$$

...

$$R_{33} : \neg B_{1,1} \Rightarrow \neg P_{1,1} \wedge \neg P_{1,2} \wedge \neg P_{2,1}$$

$$R_{34} : B_{2,1} \Rightarrow P_{1,1} \vee P_{2,1} \vee P_{2,2} \vee P_{3,1}$$

...

Misalkan *Agent* ke posisi (1,2)

- *Percept* [*Stench*, *None*, *None*, *None*, *None*]
- Ada *stench*, tidak ada *breeze*, *glitter*, *bump* dan *scream*.
- $S_{1,2}$, $\neg B_{1,2}$, $\neg G_{1,2}$, $\neg M_{1,2}$, dan $\neg C_{1,2}$

Proses inferensi di (1,2)

- **Modus Ponens** untuk $S_{1,2}$ dan R_4

$$W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2} \vee W_{1,1}$$

- **Unit Resolution** terhadap hasil di atas dengan $\neg W_{1,1}$

$$W_{1,3} \vee W_{1,2} \vee W_{2,2}$$

- **Unit Resolution** terhadap hasil di atas dengan $\neg W_{2,2}$

$$W_{1,3} \vee W_{1,2}$$

- **Unit Resolution** terhadap hasil di atas dengan $\neg W_{1,2}$

$$W_{1,3}$$

First-Order Logic (FOL)

- **Objects:** sesuatu dengan identitas individual (*people, houses, colors, ...*)
- **Properties:** sifat yang membedakannya dari object yang lain (*red, circle, ...*)
- **Predicate/Relations:** hubungan antar object (*brother of, bigger than, part of, ...*)
- **Functions:** relation yang mempunyai satu nilai (*father of, best friend, ...*)

Sentence \rightarrow *AtomicSentence*

| *Sentence* *Connective* *Sentence*

| *Quantifier* *Variable*, ... *Sentence*

| \neg *Sentence*

| (*Sentence*)

AtomicSentence \rightarrow *Predicate*(*Term*,...) | *Term* = *Term*

Term \rightarrow *Function*(*Term*,...)

| *Constant*

| *Variable*

Connective \rightarrow \Rightarrow | \wedge | \vee | \Leftrightarrow

Quantifier \rightarrow \forall | \exists

Constant \rightarrow *A* | *X*₁ | *John* | ...

Variable \rightarrow *a* | *x* | *s* | ...

Predicate \rightarrow *Before* | *HasColor* | *Raining* | ...

Function \rightarrow *MotherOf* | *LeftLegOf* | ...

Constant

- Dituliskan dalam huruf besar : A, X, Budi.
- Setiap simbol konstanta menyatakan secara spesifik objek yang dimaksud

Variable

- Dituliskan dalam huruf kecil : a, x, s dll.
- Menyatakan simbol yang dapat digantikan oleh konstanta apapun.

Predicate

- Relasi khusus dalam suatu model.
- Misal : Berwarna adalah suatu predicate yang memiliki beberapa nilai.
- Contoh : Berwarna(Tasku, Hijau),
Berwarna(Tasmu, Putih),
dsb.

Function

- Relasi yang hanya mempunyai satu nilai.
- Relasi orang dengan ibu kandungnya → karena setiap orang hanya memiliki satu ibu kandung. Maka relasi ibu kandung disebut **function**.
- Contoh : IbuKandung(Wati, Budi)

Term

- Merupakan ekspresi logika yang mengacu pada sebuah objek.
- Bisa berupa ***constant***, ***variable***, atau ***function***.

Atomic sentences

- Dibentuk dari $Predicate(Term, \dots)$ atau $Term = Term$
 - $Sepatu(Budi)$
 - $Saudara(Andi, Budi)$
 - $Memberi(Andi, Budi, KueCoklat)$
 - $Saudara(Andi) = Budi$, dan sebagainya.

Complex sentences

- Sentence yang dibangun menggunakan *connective*
- Contoh:

Saudara(Andi,Budi) \Rightarrow Memberi(Andi,Budi,Kue)

Universal quantifiers (\forall)

- Menyatakan sesuatu yang bersifat umum
- Simbol \forall (huruf A terbalik) dibaca 'For **All**'
- $\forall x \text{ AnakKecil}(x) \Rightarrow \text{Suka}(x, \text{Permen})$
- Kalimat tersebut benar jika dan hanya jika **semua** kalimat di bawah ini benar
 - ▣ $\text{AnakKecil}(\text{Andi}) \Rightarrow \text{Suka}(\text{Andi}, \text{Permen}) \wedge$
 - ▣ $\text{AnakKecil}(\text{Anto}) \Rightarrow \text{Suka}(\text{Anto}, \text{Permen}) \wedge$
 - ▣ $\text{AnakKecil}(\text{Budi}) \Rightarrow \text{Suka}(\text{Budi}, \text{Permen}) \wedge$
 - ▣ ...

Existential quantifiers (\exists)

- Menyatakan sesuatu yang berlaku sebagian.
- Simbol \exists (huruf E menghadap ke kiri) dibaca '*There Exist*' (ada satu atau beberapa).
- $\exists x \text{ AnakKecil}(x) \Rightarrow \text{Suka}(x, \text{Permen})$.
- Kalimat ini adalah benar jika dan hanya jika **ada** kalimat di bawah ini yang bernilai benar.
 - $\text{AnakKecil}(\text{Andi}) \Rightarrow \text{Suka}(\text{Andi}, \text{Permen}) \vee$
 - $\text{AnakKecil}(\text{Anto}) \Rightarrow \text{Suka}(\text{Anto}, \text{Permen}) \vee$
 - $\text{AnakKecil}(\text{Budi}) \Rightarrow \text{Suka}(\text{Budi}, \text{Permen}) \vee$
 - ...

Inferensi pada *First-Order Logic*

- *FOL* menggunakan 7 aturan *propositional logic*
- Ditambah tiga aturan tambahan yang lebih kompleks (berhubungan dengan *quantifier*), yaitu:
 - *Universal Elimination*
 - *Existential Elimination*
 - *Existential Introduction*

1. Modus Ponens atau **Implication-Elimination:**

$$\frac{\alpha \Rightarrow \beta, \alpha}{\beta}$$

2. And-Elimination:

$$\frac{\alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_n}{\alpha_i}$$

3. And-Introduction:

$$\frac{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n}{\alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \dots \wedge \alpha_n}$$

4. Or-Introduction:

$$\frac{\alpha_i}{\alpha_1 \vee \alpha_2 \vee \dots \vee \alpha_n}$$

5. Double-Negation-Elimination:

$$\frac{\neg \neg \alpha}{\alpha}$$

6. Unit Resolution:

$$\frac{\alpha \vee \beta, \neg \beta}{\alpha}$$

7. Resolution:

$$\frac{\alpha \vee \beta, \neg \beta \vee \gamma}{\alpha \vee \gamma} \quad \text{ekivalen dengan} \quad \frac{\neg \alpha \Rightarrow \beta, \beta \Rightarrow \gamma}{\neg \alpha \Rightarrow \gamma}$$

Masalah: Hukum Pernikahan

- Hukum pernikahan menyatakan bahwa suatu pernikahan adalah **tidak sah** jika kedua mempelai memiliki **hubungan keponakan**.
- Wati menikah dengan Andi.
- Dimana Wati adalah anak kandung Budi, sedangkan Andi adalah saudara kembar Budi.
- Dengan FOL, buktikan bahwa pernikahan Andi dan Wati adalah **tidak sah**.

Langkah pertama

- $\forall x,y \text{ Keponakan}(x,y) \wedge \text{Menikah}(x,y) \Rightarrow \neg \text{Sah}(\text{Menikah}(x,y))$ (3.1)
- $\text{Menikah}(\text{Wati}, \text{Andi})$ (3.2)
- $\text{AnakKandung}(\text{Wati}, \text{Budi})$ (3.3)
- $\text{SaudaraKembar}(\text{Budi}, \text{Andi})$ (3.4)
- $\forall x,y \text{ SaudaraKembar}(x,y) \Rightarrow \text{SaudaraKandung}(x,y)$ (3.5)
- $\forall x,y,z \text{ AnakKandung}(x,y) \wedge \text{SaudaraKandung}(y,z) \Rightarrow \text{Keponakan}(x,z)$ (3.6)

Langkah ke dua

- Dari (3.5) dan *Universal Elimination*:

$$\text{SaudaraKembar}(\text{Budi}, \text{Andi}) \Rightarrow \text{SaudaraKandung}(\text{Budi}, \text{Andi}) \quad (3.7)$$

- Dari (3.4), (3.7), dan *Modus Ponens*:

$$\text{SaudaraKandung}(\text{Budi}, \text{Andi}) \quad (3.8)$$

- Dari (3.6) dan *Universal Elimination*:

$$\text{AnakKandung}(\text{Wati}, \text{Budi}) \wedge \text{SaudaraKandung}(\text{Budi}, \text{Andi}) \Rightarrow \text{Keponakan}(\text{Wati}, \text{Andi}) \quad (3.9)$$

- Dari (3.3), (3.8), dan *And-Intoduction*:

$$\text{AnakKandung}(\text{Wati}, \text{Budi}) \wedge \text{SaudaraKandung}(\text{Budi}, \text{Andi}) \quad (3.10)$$

Langkah ke dua

- Dari (3.9), (3.10), dan *Modus Ponens*:

$$\text{Keponakan}(\text{Wati}, \text{Andi}) \quad (3.11)$$

- Dari (3.1) dan *Universal Elimination*:

$$\text{Keponakan}(\text{Wati}, \text{Andi}) \wedge \text{Menikah}(\text{Wati}, \text{Andi}) \Rightarrow \neg \text{Sah}(\text{Menikah}(\text{Wati}, \text{Andi})) \quad (3.12)$$

- Dari (3.11), (3.2) dan *And-Intoduction*:

$$\text{Keponakan}(\text{Wati}, \text{Andi}) \wedge \text{Menikah}(\text{Wati}, \text{Andi}) \quad (3.13)$$

- Dari (3.12), (3.13), dan *Modus Ponens*:

$$\neg \text{Sah}(\text{Menikah}(\text{Wati}, \text{Andi}))$$

(3.14)

Logical Programming

- Bahasa pemrograman logis yang paling populer adalah PROLOG (PROgramming in *Logic*).
- Di dalam PROLOG, suatu program dituliskan sebagai kumpulan kalimat dalam *Horn clause*.
- Pekerjaan kita hanyalah membangun *knowledge base* yang sesuai dan lengkap untuk suatu masalah.
- Proses *reasoning* sampai dihasilkan suatu kesimpulan ditangani oleh PROLOG.
- Tetapi, membangun *knowledge base* yang benar dan lengkap bukanlah hal yang mudah.

FOL dan PROLOG

□ FOL

Menikah(Wati,Andi)

$\forall x,y \text{ SaudaraKembar}(x,y) \Rightarrow \text{SaudaraKandung}(x,y)$

$\forall x,y,z \text{ AnakKandung}(x,y) \wedge \text{SaudaraKandung}(y,z) \Rightarrow \text{Keponakan}(x,z)$

□ PROLOG

Menikah(wati,andi).

SaudaraKandung(X,Y) :- SaudaraKembar(X,Y).

Keponakan(X,Z) :- AnakKandung(X,Y), SaudaraKandung(Y,Z).

Buku Referensi

- Suyanto. 2007. **Artificial Intelligence: Searching, Reasoning, Planning and Learning**. Informatika, Bandung. ISBN: 979-1153-05-1.
- Russel, Stuart and Norvig, Peter. 1995. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. Prentice Hall International, Inc.
- Mitchell M. Tom. 1997. **Machine Learning**. McGraw-Hill International Editions. Printed in Singapore.
- Ray Kurzweil, 1999, “The age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence”. Viking Penguin, a division of Penguin Putnam Inc., United Kingdom
- Wolfgang Ertel, 2011, **Introduction to Artificial Intelligence**, Springer