



IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: Wump-  
pusWorld

Ringkasan

# IKI 30320: Sistem Cerdas

## Kuliah 12: First Order Logic

Ruli Manurung

Fakultas Ilmu Komputer  
Universitas Indonesia

29 Oktober 2007



# Outline

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- 1 Mengapa FOL?
- 2 Definisi FOL
  - Syntax FOL
  - Semantics FOL
  - Quantifiers
  - Equality
- 3 KBA dgn. FOL
- 4 Contoh: WumpusWorld
- 5 Ringkasan



# Outline

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- 1 Mengapa FOL?
- 2 Definisi FOL
  - Syntax FOL
  - Semantics FOL
  - Quantifiers
  - Equality
- 3 KBA dgn. FOL
- 4 Contoh: WumpusWorld
- 5 Ringkasan



# Propositional logic sebagai KRL

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- **Declarative**: menyatakan fakta-fakta terpisah dari mekanisme/prosedur inference.
- Memungkinkan pernyataan informasi yang **partial** / **disjunctive** / **negated**
- **Compositional**: “arti”  $P \wedge Q$  tergantung arti  $P$  dan arti  $Q$
- **Context-independent**: arti tidak tergantung konteks
- **Unambiguous**: thd. suatu model, arti sebuah *sentence* jelas.
- ...Sayangnya, kurang **expressive**.  
Mis.: “Kalau ada jebakan, di kamar sebelah ada hembusan angin” harus dinyatakan dengan  $n \times n$  buah sentence propositional logic.



# Outline

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

**Definisi FOL**

Syntax FOL  
Semantics FOL  
Quantifiers  
Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- 1 Mengapa FOL?
- 2 **Definisi FOL**
  - Syntax FOL
  - Semantics FOL
  - Quantifiers
  - Equality
- 3 KBA dgn. FOL
- 4 Contoh: WumpusWorld
- 5 Ringkasan



# First Order Logic

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: Wump-  
pusWorld

Ringkasan

- Dalam **propositional logic**, dunia hanya mengandung **fakta-fakta**.
- Dalam **first order logic (FOL)**, dunia bisa mengandung:
  - **Object**: di dalam dunia ada orang, bangunan, buku, UI, SBY, bilangan, warna, hari, ...
  - **Relations**: tentang object dalam dunia, ada relasi merah, bulat, cantik, positif, abang dari, lebih besar dari, di atas, terjadi sebelum, ...
  - **Functions**: fungsi yang menghasilkan object lain seperti ayah dari, babak final dari, satu lebih dari, kaki kiri dari, ...
- Hal ini disebut **ontological commitment** dari sebuah logic: apa saja “isi” dunia yang dijelaskan?



# Beberapa jenis logic

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- Ada juga **epistemological commitment**: *kebenaran* apa yang dapat dinyatakan tentang sebuah *sentence*?

## Contoh beberapa jenis logic lain:

Language	Ontological	Epistemological
Propositional logic	facts	true/false/unknown
First-order logic	facts, objects, relations	true/false/unknown
Temporal logic	facts, objects, relations, times	true/false/unknown
Probability theory	facts	degree of belief $\in [0, 1]$
Fuzzy logic	degree of truth $\in [0, 1]$	known interval value



# Syntax FOL: Elemen-elemen dasar

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL  
Semantics FOL

Quantifiers  
Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

## Elemen-elemen dasar FOL

<b>Constants:</b>	<i>KingJohn, 2, UI, Depok, ...</i>
<b>Predicates:</b>	<i>Brother, &gt;, Loves, Membenci, Mengajar, ...</i>
<b>Functions:</b>	<i>Sqrt, LeftLegOf, Ayah, ...</i>
<b>Variables:</b>	$x, y, a, b, \dots$
<b>Connectives:</b>	$\wedge \vee \neg \Rightarrow \Leftrightarrow$
<b>Equality:</b>	$=$
<b>Quantifiers:</b>	$\forall \exists$





# Syntax FOL: Kalimat atomic

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL  
Syntax FOL  
Semantics FOL  
Quantifiers  
Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

## Definisi *atomic sentence*

*predicate*( $term_1, \dots, term_n$ )

atau  $term_1 = term_2$

## Definisi *term*

*function*( $term_1, \dots, term_n$ )

atau *constant*

atau *variable*

## Contoh:

- $Brother(KingJohn, RichardTheLionheart)$
- $> (Length(LeftLegOf(Richard)), Length(LeftLegOf(KingJohn)))$



# Syntax FOL: Kalimat kompleks

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

Kalimat kompleks *complex sentence* terdiri dari *sentence* yang digabungkan dengan *connective*.

## Definisi *complex sentence*

$\neg S$ ,  $S_1 \wedge S_2$ ,  $S_1 \vee S_2$ ,  $S_1 \Rightarrow S_2$ ,  $S_1 \Leftrightarrow S_2$

## Contoh:

- $Sibling(KingJohn, Richard) \Rightarrow Sibling(Richard, KingJohn)$
- $>(1, 2) \vee \leq(1, 2)$
- $>(1, 2) \wedge \neg >(1, 2)$
- $Belajar(x, SC) \Rightarrow Mengerti(x, AI)$



# Semantics FOL: truth & model

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- Sama halnya dg. PL, sebuah kalimat FOL dikatakan *true* terhadap sebuah *model*.
- Namun, sebuah kalimat bisa *diinterpretasikan* banyak cara dalam sebuah model.
- Model berisi:
  - **Objects**: elemen-elemen di dalam dunia (**domain elements**)
  - **Relations** hubungan antara elemen-elemen tsb.
- Sebuah *interpretasi* mendefinisikan *referent* (“yang dipetakan”)
  - **Constant symbols** → objects
  - **Predicate symbols** → relations
  - **Function symbols** → functional relations



# Semantics FOL: interpretasi & kebenaran

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

## Arti dari sebuah kalimat FOL:

Kalimat atomik *predicate*( $term_1, \dots, term_n$ ) dikatakan bernilai *true* dalam model  $m$  di bawah interpretasi  $i$  jh **object** yang di-refer ( $term_1, \dots, term_n$ ) (di bawah  $i$ ) terhubung oleh **relation** yang di-refer oleh *predicate* (di bawah  $i$ ) dalam  $m$ .



# Contoh sebuah model

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

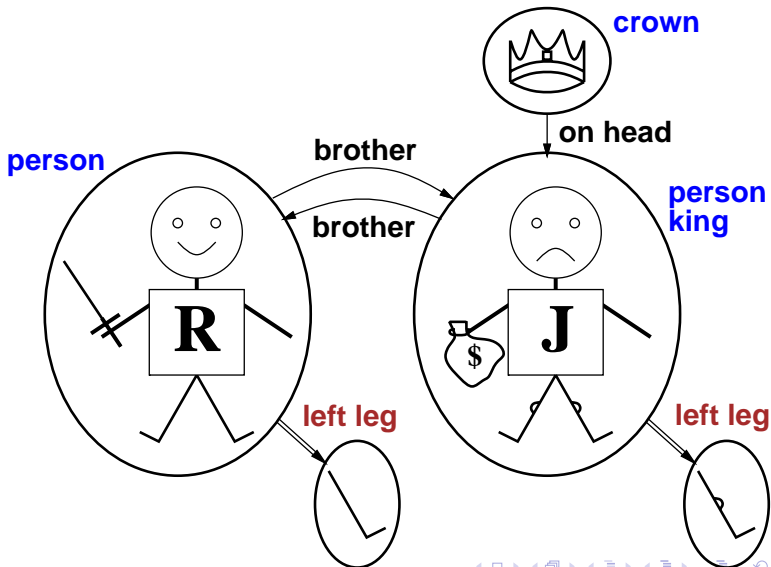
Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan





# Contoh sebuah model: lebih rinci

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

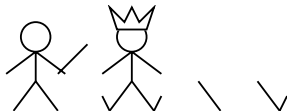
Syntax FOL  
Semantics FOL  
Quantifiers  
Equality

KBA dgn.  
FOL

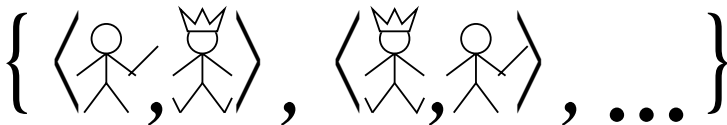
Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

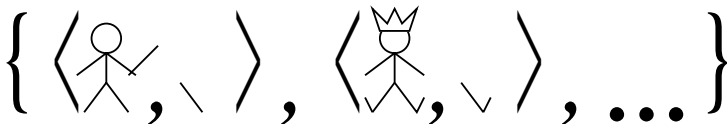
**objects**



**relations: sets of tuples of objects**



**functional relations: all tuples of objects + "value" object**





# Kemungkinan model & interpretasi

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- *Entailment*, *validity*, *satisfiability*, dll. didefinisikan untuk **semua kemungkinan interpretasi** dari **semua kemungkinan model**!
- Kalau mau dijabarkan semua kemungkinannya:  
For each number of domain elements  $n$  from 1 to  $\infty$   
For each  $k$ -ary predicate  $P_k$  in the vocabulary  
For each possible  $k$ -ary relation on  $n$  objects  
For each constant symbol  $C$  in the vocabulary  
For each choice of referent for  $C$  from  $n$  objects . . .
- Menentukan *entailment* berdasarkan *truth-table* mustahil!
- Biasanya ada satu interpretasi yang “dimaksudkan”  $\rightarrow$  **intended interpretation**.



# Universal quantification

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

## Syntax:

Jika  $S$  kalimat,  $\forall$  *variables*  $S$  adalah kalimat

## Contoh:

- “Semua mahasiswa Fasilkom UI adalah pintar”
- $\forall x \text{ mahasiswa}(x, \text{FasilkomUI}) \Rightarrow \text{pintar}(x)$

## Semantics:

$\forall x$   $S$  bernilai *true* dalam model  $m$  di bawah interpretasi  $i$  jh  $S$  bernilai *true* untuk **semua** kemungkinan *referent* dari  $x$  (setiap object di dalam  $m$ ).

Dengan kata lain,  $\forall x$   $S \equiv$  **conjunction** dari semua **instantiation**  $S$ :

$$\begin{aligned} & (\text{mahasiswa}(\text{Ani}, \text{FasilkomUI}) \Rightarrow \text{pintar}(\text{Ani})) \wedge \\ & (\text{mahasiswa}(\text{Anto}, \text{FasilkomUI}) \Rightarrow \text{pintar}(\text{Anto})) \wedge \\ & \vdots \\ & (\text{mahasiswa}(\text{Zaenal}, \text{FasilkomUI}) \Rightarrow \text{pintar}(\text{Zaenal})) \wedge \\ & (\text{mahasiswa}(\text{Zakky}, \text{FasilkomUI}) \Rightarrow \text{pintar}(\text{Zakky})) \end{aligned}$$





# Perhatian!

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- Biasanya,  $\Rightarrow$  adalah *operator/connective* yang digunakan dengan  $\forall$ .
- Masalah yang sering terjadi: menggunakan  $\wedge$  sebagai *connective* untuk  $\forall$ :  
$$\forall x \text{ mahasiswa}(x, \text{FasilkomUI}) \wedge \text{pintar}(x)$$
- Kalimat ini berarti “Semua orang adalah mahasiswa Fasilkom UI dan pintar”.



# Existential quantification

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

## Syntax:

Jika  $S$  kalimat,  $\exists$  *variable*  $S$  adalah kalimat

## Contoh:

- “Ada mahasiswa Gunadarma yang pintar”
- $\exists x \text{ mahasiswa}(x, \text{Gundar}) \wedge \text{pintar}(x)$

## Semantics:

$\exists x \ S$  bernilai *true* dalam model  $m$  di bawah interpretasi  $i$  jh  $S$  bernilai *true* untuk *setidaknya 1* kemungkinan *referent* dari  $x$  (sebuah object di dalam  $m$ ).

Dengan kata lain,  $\exists x \ S \equiv$  *disjunction* dari semua *instantiation*  $S$ :

$$\begin{aligned} & (\text{mahasiswa}(\text{Ani}, \text{Gundar}) \wedge \text{pintar}(\text{Ani})) \vee \\ & (\text{mahasiswa}(\text{Anto}, \text{Gundar}) \wedge \text{pintar}(\text{Anto})) \vee \\ & \vdots \\ & (\text{mahasiswa}(\text{Zaenal}, \text{Gundar}) \wedge \text{pintar}(\text{Zaenal})) \vee \\ & (\text{mahasiswa}(\text{Zakky}, \text{Gundar}) \wedge \text{pintar}(\text{Zakky})) \end{aligned}$$



# Perhatian!

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- Biasanya,  $\wedge$  adalah *operator/connective* yang digunakan dengan  $\exists$ .
- Masalah yang sering terjadi: menggunakan  $\Rightarrow$  sebagai *connective* untuk  $\exists$ :  
$$\exists x \text{ mahasiswa}(x, \text{Gundar}) \Rightarrow \text{pintar}(x)$$
- Kalimat ini *true* jika ada setidaknya 1 orang (object) yang tidak kuliah di Gunadarma!



# Beberapa sifat $\forall$ dan $\exists$

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- $\forall x \forall y S$  sama dengan  $\forall y \forall x S$ , biasa ditulis  $\forall x, y S$
- $\exists x \exists y S$  sama dengan  $\exists y \exists x S$ , biasa ditulis  $\exists x, y S$
- $\exists x \forall y S$  TIDAK sama dengan  $\forall y \exists x S$ !
  - $\exists x \forall y \text{ Mencintai}(x, y)$   
"Ada (sekurang-kurangnya) seseorang yang mencintai semua orang di dunia."
  - $\exists x \forall y \text{ Mencintai}(x, y)$   
"Semua orang di dunia dicintai sekurang-kurangnya satu orang".
- Quantifier bisa dinyatakan dengan yang lain:
  - $\forall x \text{ Doyan}(x, \text{Bakso})$  sama dengan  $\neg \exists x \neg \text{Doyan}(x, \text{Bakso})$
  - $\exists x \text{ Doyan}(x, \text{Dodol})$  sama dengan  $\neg \forall x \neg \text{Doyan}(x, \text{Dodol})$



# Contoh kalimat FOL (sebagai KRL)

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

**Quantifiers**

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- “Ayah adalah orangtua”



# Contoh kalimat FOL (sebagai KRL)

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- “Ayah adalah orangtua”

$$\forall x, y \text{ Ayah}(x, y) \Rightarrow \text{Orangtua}(x, y)$$



# Contoh kalimat FOL (sebagai KRL)

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- “Ayah adalah orangtua”

$$\forall x, y \text{ Ayah}(x, y) \Rightarrow \text{Orangtua}(x, y)$$

- “Hubungan saudara berlaku simetris”



# Contoh kalimat FOL (sebagai KRL)

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- “Ayah adalah orangtua”

$$\forall x, y \text{ Ayah}(x, y) \Rightarrow \text{Orangtua}(x, y)$$

- “Hubungan saudara berlaku simetris”

$$\forall x, y \text{ Saudara}(x, y) \Leftrightarrow \text{Saudara}(y, x)$$





# Contoh kalimat FOL (sebagai KRL)

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- “Ayah adalah orangtua”

$$\forall x, y \text{ Ayah}(x, y) \Rightarrow \text{Orangtua}(x, y)$$

- “Hubungan saudara berlaku simetris”

$$\forall x, y \text{ Saudara}(x, y) \Leftrightarrow \text{Saudara}(y, x)$$

- “Ibu adalah orangtua berjenis kelamin perempuan”



# Contoh kalimat FOL (sebagai KRL)

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: Wum-  
pusWorld

Ringkasan

- “Ayah adalah orangtua”

$$\forall x, y \text{ Ayah}(x, y) \Rightarrow \text{Orangtua}(x, y)$$

- “Hubungan saudara berlaku simetris”

$$\forall x, y \text{ Saudara}(x, y) \Leftrightarrow \text{Saudara}(y, x)$$

- “Ibu adalah orangtua berjenis kelamin perempuan”

$$\forall x, y \text{ Ibu}(x, y) \Leftrightarrow \text{Orangtua}(x, y) \wedge \text{Perempuan}(x)$$



# Contoh kalimat FOL (sebagai KRL)

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- “Ayah adalah orangtua”

$$\forall x, y \text{ Ayah}(x, y) \Rightarrow \text{Orangtua}(x, y)$$

- “Hubungan saudara berlaku simetris”

$$\forall x, y \text{ Saudara}(x, y) \Leftrightarrow \text{Saudara}(y, x)$$

- “Ibu adalah orangtua berjenis kelamin perempuan”

$$\forall x, y \text{ Ibu}(x, y) \Leftrightarrow \text{Orangtua}(x, y) \wedge \text{Perempuan}(x)$$

- “Sepupu adalah anak dari saudara orangtua”



# Contoh kalimat FOL (sebagai KRL)

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- “Ayah adalah orangtua”

$$\forall x, y \text{ Ayah}(x, y) \Rightarrow \text{Orangtua}(x, y)$$

- “Hubungan saudara berlaku simetris”

$$\forall x, y \text{ Saudara}(x, y) \Leftrightarrow \text{Saudara}(y, x)$$

- “Ibu adalah orangtua berjenis kelamin perempuan”

$$\forall x, y \text{ Ibu}(x, y) \Leftrightarrow \text{Orangtua}(x, y) \wedge \text{Perempuan}(x)$$

- “Sepupu adalah anak dari saudara orangtua”

$$\forall x, y \text{ Sepupu}(x, y) \Leftrightarrow \exists ox, oy \text{ Orangtua}(ox, x) \wedge \text{Saudara}(ox, oy) \wedge \text{Orangtua}(oy, y)$$



# Equality

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- Kalimat  $term_1 = term_2$  bernilai *true* di bawah sebuah interpretasi jh  $term_1$  and  $term_2$  me-refer ke *object* yang sama.
- Contoh:
  - $Ayah(Anto) = Abdul$  adalah *satisfiable*
  - $Anto = Abdul$  juga *satisfiable*!
  - $Anto = Anto$  adalah *valid*.
- Bisa digunakan dengan negasi untuk membedakan dua *term*:  
 $\exists x, y \text{ Mencintai}(Anto, x) \wedge \text{Mencintai}(Anto, y)$



# Equality

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- Kalimat  $term_1 = term_2$  bernilai *true* di bawah sebuah interpretasi jh  $term_1$  and  $term_2$  me-refer ke *object* yang sama.
- Contoh:
  - $Ayah( Anto ) = Abdul$  adalah *satisfiable*
  - $Anto = Abdul$  juga *satisfiable*!
  - $Anto = Anto$  adalah *valid*.
- Bisa digunakan dengan negasi untuk membedakan dua *term*:  
 $\exists x, y \text{ Mencintai}(Anto, x) \wedge \text{Mencintai}(Anto, y) \wedge \neg(x = y)$   
(Anto mendua!)
- Definisi *Sibling*:  
 $\forall x, y \text{ Sibling}(x, y) \Leftrightarrow (\neg(x = y) \wedge \exists m, f \neg(m = f) \wedge \text{Parent}(m, x) \wedge \text{Parent}(f, x) \wedge \text{Parent}(m, y) \wedge \text{Parent}(f, y))$



# Outline

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

1 Mengapa FOL?

2 Definisi FOL

- Syntax FOL
- Semantics FOL
- Quantifiers
- Equality

3 KBA dgn. FOL

4 Contoh: WumpusWorld

5 Ringkasan



# Knowledge-based Agent dengan FOL

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- Kita bisa menggunakan FOL sebagai KRL sebuah KBA.
- Pertama-tama, kita berikan informasi ke KB (TELL).
- Kalimat FOL yang ditambahkan ke KB disebut **assertion**.  
Contohnya:
  - $\text{TELL}(\text{KB}, \text{King}(\text{John}))$
  - $\text{TELL}(\text{KB}, \forall x \text{ King}(x) \Rightarrow \text{Person}(x))$
- Lalu, kita bisa memberikan **query**, atau bertanya, kepada KB (Ask).  
Contohnya:
  - $\text{Ask}(\text{KB}, \text{King}(\text{John}))$  jawabannya adalah





# Knowledge-based Agent dengan FOL

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- Kita bisa menggunakan FOL sebagai KRL sebuah KBA.
- Pertama-tama, kita berikan informasi ke KB (TELL).
- Kalimat FOL yang ditambahkan ke KB disebut **assertion**.  
Contohnya:
  - $TELL(KB, King(John))$
  - $TELL(KB, \forall x \text{ King}(x) \Rightarrow \text{Person}(x))$
- Lalu, kita bisa memberikan **query**, atau bertanya, kepada KB (ASK).  
Contohnya:
  - $ASK(KB, King(John))$  jawabannya adalah *true*.
  - $ASK(KB, Person(John))$  jawabannya adalah



# Knowledge-based Agent dengan FOL

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- Kita bisa menggunakan FOL sebagai KRL sebuah KBA.
- Pertama-tama, kita berikan informasi ke KB (TELL).
- Kalimat FOL yang ditambahkan ke KB disebut **assertion**.  
Contohnya:
  - $TELL(KB, King(John))$
  - $TELL(KB, \forall x \text{ King}(x) \Rightarrow \text{Person}(x))$
- Lalu, kita bisa memberikan **query**, atau bertanya, kepada KB (Ask).  
Contohnya:
  - $ASK(KB, King(John))$  jawabannya adalah *true*.
  - $ASK(KB, Person(John))$  jawabannya adalah *true*.
  - $ASK(KB, \exists x \text{ Person}(x))$  jawabannya adalah



# Knowledge-based Agent dengan FOL

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- Kita bisa menggunakan FOL sebagai KRL sebuah KBA.
- Pertama-tama, kita berikan informasi ke KB (TELL).
- Kalimat FOL yang ditambahkan ke KB disebut **assertion**.  
Contohnya:
  - $TELL(KB, King(John))$
  - $TELL(KB, \forall x \text{ King}(x) \Rightarrow \text{Person}(x))$
- Lalu, kita bisa memberikan **query**, atau bertanya, kepada KB (Ask).  
Contohnya:
  - $ASK(KB, King(John))$  jawabannya adalah *true*.
  - $ASK(KB, Person(John))$  jawabannya adalah *true*.
  - $ASK(KB, \exists x \text{ Person}(x))$  jawabannya adalah  $\{x/John\}$



# Substitution

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- Sebuah *query* dengan *existential variable* bertanya kepada KB: “Apakah ada  $x$  sedemikian sehingga ... ?”
- Bisa saja jawabannya “ya” atau “tidak”, tetapi akan lebih baik jika jawabannya adalah *nilai (referent)  $x$  di mana query bernilai true*.
- Bentuk jawaban demikian disebut *substitution*, atau *binding list*: himpunan pasangan *variable/term*
- Untuk kalimat  $S$  dan substitution  $\sigma$ ,  $S\sigma$  adalah hasil “pengisian”  $S$  dengan  $\sigma$ .
  - $S = \text{LebihPintar}(x, y)$
  - $\sigma = \{x/\text{Ani}, y/\text{Anto}\}$
  - $S\sigma = \text{LebihPintar}(\text{Ani}, \text{Anto})$
- $\text{Ask}(\text{KB}, S)$  mengembalikan (satu? semua?)  $\sigma$  sedemikian sehingga  $\text{KB} \models S\sigma$



# Outline

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- 1 Mengapa FOL?
- 2 Definisi FOL
  - Syntax FOL
  - Semantics FOL
  - Quantifiers
  - Equality
- 3 KBA dgn. FOL
- 4 Contoh: WumpusWorld
- 5 Ringkasan



# FOL sbg KRL utk KBA $LA^{TM}$ dlm WW

IKI30320

Kuliah 12

29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- Representasi hasil *percept* dari sensor:  
*Percept([bau, angin, kilau], waktu)* (perhatikan penggunaan *list* agar rapi).
  - $TELL(KB, Percept([None, None, None], 1))$
  - $TELL(KB, Percept([Smell, None, None], 2))$
  - $TELL(KB, Percept([None, Breeze, Glitter], 3))$
- Untuk menentukan tindakan yang diambil:  
*Ask(KB,  $\exists t$  TindakanTerbaik( $t, 3$ ))*
- Data “mentah” dari sensor perlu diolah:
  - $\forall a, k, w \text{ } Percept([Smell, a, k], w) \Rightarrow MenciumBau(w)$
  - $\forall b, k, w \text{ } Percept([b, Breeze, k], w) \Rightarrow MerasaHembus(w)$
  - $\forall b, a, w \text{ } Percept([b, a, Glitter], w) \Rightarrow MelihatKilauan(w)$
- Tindakan “rational reflex” bisa dinyatakan sebuah kalimat, mis:  
 $\forall w \text{ } MelihatKilauan(w) \Rightarrow TindakanTerbaik(Grab, w)$



# Menyatakan aturan main Wumpus World

IKI30320

Kuliah 12

29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- Tambah assertion mengenai kamar:

- $\forall k, w \text{ } Di(Agent, k, w) \wedge MenciumBau(w) \Rightarrow KmrBusuk(k)$
- $\forall k, w \text{ } Di(Agent, k, w) \wedge MerasaHembus(t) \Rightarrow KmrAngin(k)$
- $\forall k, w \text{ } Di(Agent, k, w) \wedge MelihatKilauan(t) \Rightarrow KmrEmas(k)$

- “Di kamar sebelah lubang jebakan ada hembusan angin”

- **Diagnostic rule:** simpulkan *sebab* dari *akibat*:

$$\forall y \text{ } KmrAngin(y) \Rightarrow \exists x \text{ } Jebakan(x) \wedge Sebelahan(x, y)$$

$$\forall y \text{ } \neg KmrAngin(y) \Rightarrow \neg \exists x \text{ } Jebakan(x) \wedge Sebelahan(x, y)$$

- **Causal rule:** simpulkan *akibat* dari *sebab*:

$$\forall x \text{ } Jebakan(x) \Rightarrow (\forall y \text{ } Sebelahan(x, y) \Rightarrow KmrAngin(y))$$

$$\forall x \text{ } (\forall y \text{ } Sebelahan(x, y) \Rightarrow \neg Jebakan(y)) \Rightarrow \neg KmrAngin(x)$$

Definisi predikat **KmrAngin**:

$$\forall y \text{ } KmrAngin(y) \Leftrightarrow [\exists x \text{ } Jebakan(x) \wedge Sebelahan(x, y)]$$



# Knowledge Engineering

IKI30320

Kuliah 12

29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: Wump-  
usWorld

Ringkasan

- **Diagnostic** vs. **causal (model-based)** reasoning penting, mis: diagnosa medis secara AI (dulu diagnostic, sekarang model-based)
- Proses merancang kalimat-kalimat KRL yang dengan tepat “merepresentasikan” sifat dunia/masalah disebut **knowledge engineering**.
- “Memrogram” secara deklaratif: pengkodean fakta dan aturan **domain-specific**.

## Sedikit jargon:

Agent programmer = knowledge engineer

- Mekanisme/proses penjawaban query → *inference rule* yang **domain-independent**.





# Outline

IKI30320  
Kuliah 12  
29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- 1 Mengapa FOL?
- 2 Definisi FOL
  - Syntax FOL
  - Semantics FOL
  - Quantifiers
  - Equality
- 3 KBA dgn. FOL
- 4 Contoh: WumpusWorld
- 5 Ringkasan



# Ringkasan

IKI30320

Kuliah 12

29 Okt 2007

Ruli Manurung

Mengapa  
FOL?

Definisi FOL

Syntax FOL

Semantics FOL

Quantifiers

Equality

KBA dgn.  
FOL

Contoh: WumpusWorld

Ringkasan

- First order logic
  - *Objects* dan *relations* adalah elemen-elemen **semantic** (di dalam model)
  - **Syntax** FOL: *constants, functions, predicates, equality, quantifier*
- FOL lebih **expressive** dari PL: Wumpus World bisa didefinisikan dengan tepat dan ringkas(!)
- Proses “mengkodekan” dunia ke dalam suatu KRL = **Knowledge Engineering**
- Berikutnya:
  - Inference dalam FOL (Bab 9 R&N2e)
  - Knowledge representation & engineering (Bab 10 R&N2e)