BASIS ATURAN FUZZY PADA SISTEM PAKAR

Sri Mulyana[1], Retantyo Wardoyo dan Jazi Eko Istiyanto

Program Studi Ilmu Komputer, Jurusan Matematika, F MIPA, Universitas Gadjah Mada
[1]Email: srimul@mail.math-ugm.web.id

ABSTRAK

Salah satu komponen utama sebuah sistem pakar adalah basis aturan. Sistem pakar akan melakukan penalaran untuk mendapatkan kesimpulan atas fakta yang diberikan berdasarkan basis aturan. Telah dilakukan penelitian penggunaan logika samar untuk penalaran pada sistem pakar dengan mengkombinasikan beberapa interpretasi implikasi dan operator-operator pada logika samar. Analisis terhadap kesimpulan dipilih dengan membandingkan hasil dari berbagai kombinasi yang ada. Kombinasi tersebut merupakan kombinasi yang terpilih untuk menyusun basis aturan dalam sistem pakar.

Kata Kunci: logika samar, basis aturan, sistem pakar.

Makalah diterima [27 Agustus 2002]. Revisi akhir [15 Oktober 2002].

1. PENDAHULUAN

Perkembangan perangkat kompu-ter saat ini terjadi sangat cepat. Pada generasi yang terakhir telah dikembang-kan sistem komputer cerdas (*Artificial Intelligence*) khususnya sistem pakar (*expert system*). Salah satu permasalahan yang perlu diselesaikan dalam pengembangan sistem pakar adalah memilih teknik penalaran yang tepat. Pada penelitian ini telah dilakukan analisis teknik penalaran dengan logika samar yang mulai populer, yaitu dengan mengkombinasikan beberapa interpretasi implikasi dan operator-operator yang ada.

Lingkup sistem pakar dipelopori oleh beberapa ilmuwan pada akhir tahun 1960-an sampai awal 1970-an yaitu: Feigenbaum, Lederberg, Shortliffe dan Buchanan [1]. Pada tahap awal perkembangan kecerdasan buatan yang menjadi pusat perhatian adalah permainan, perencanaan dan penyelesaian masalah *(problem solving)*, namun dalam beberapa dekade berikutnya ternyata penekanan utama dalam perkembangannya adalah lingkup rekayasa pengetahuan khususnya sistem pakar, bahkan sistem pakar telah mencapai kematangan dalam proyek-proyek riset, dengan memberikan kontribusi yang penting dalam berbagai bidang, misalnya; kesehatan, rekayasa, komersial, institusi-institusi keuangan dan lain-lain.

Logika samar mulai dikembangkan kurang lebih sejak tahun 1965. Sejak itu banyak dihasilkan penelitian-penelitian penting yang berbasis logika samar. Salah satu bidang yang banyak memanfaatkan logika samar adalah *Fuzzy Logic Controller (FLC)*. Sistem pakar juga merupakan salah satu bidang penelitian yang banyak memanfaatkan logika samar. Dalam beberapa sistem pakar, derajat implikasi yaitu nilai yang diberikan terhadap suatu implikasi biasanya disajikan dengan nilai skalar dalam suatu interval. Cara yang lebih alami dalam menyajikan derajad implikasi adalah dengan pengukur fuzzy *(fuzzy quantifier)* [2].

Beberapa gambaran secara jelas tentang basis aturan fuzzy pada sistem pakar telah banyak diberikan oleh Vadiee [3]. Suatu model mesin inferensi fuzzy baik berbasis komposisi maupun aturan individu telah diteliti oleh Mulyana [4].

2. LOGIKA SAMAR PADA SISTEM PAKAR

Sebuah basis aturan fuzzy memuat sekumpulan aturan fuzzy *If-Then*. Dalam beberapa aplikasi, hal ini merupakan inti dari sistem fuzzy yaitu semua komponen yang lain digunakan untuk mengimple-mentasikan aturan-aturan tersebut secara logis dan efisien. Secara khusus, basis aturan fuzzy *If-Then* terdiri atas aturan-aturan fuzzy sebagai berikut :

$$Ru^{(l)}: IF\ x_1\ adalah\ A_1^l\ and \ldots and\ \ x_n\ adalah\ A_n^l,$$
$$THEN\ y\ adalah\ B^l$$

Penalaran akan dilakukan dalam sebuah mesin inferensi fuzzy dengan menggunakan prinsip-prinsip logika samar untuk mengkombinasikan aturan-aturan fuzzy *If-Then* pada basis aturan fuzzy. Terdapat dua cara penalaran untuk mengambil kesimpulan yang didasarkan pada basis aturan fuzzy [5] :

1. Penalaran berbasis komposisi.
2. Penalaran berbasis aturan individu.

2.1. Prosedur Penalaran Berbasis Komposisi

- **Tahap 1** : Untuk aturan-aturan fuzzy IF-THEN yang terdiri atas M aturan, dihitung fungsi keanggotaan dari $\mu_{A_1^l \times \ldots \times A_n^l}(x_1, \ldots, x_n)$
  untuk $l = 1,2, \ldots, M$.
- **Tahap 2** : Pandang $A_1^l \times \ldots \times A_n^l$ sebagai FP_1 dan B' sebagai FP_2 dalam interpretasi fuzzy IF-THEN, kemudian dihitung :
  $$\mu_{Ru^{(l)}}(x_1, \ldots, x_n, y) = \mu_{A_1^l \times \ldots \times A_n^l \to B^l}(x_1, \ldots, x_n, y)$$
  untuk $l = 1,2,\ldots,M$ menurut salah satu bentuk interpretasi fuzzy *If-Then* tersebut.
- **Tahap 3** :
  Menghitung
  $$\mu_{QM}(x,y) = \mu_{Ru^{(1)}}(x,y) + \ldots + \mu_{Ru^{(M)}}(x,y)$$
  atau
  $$\mu_{QG}(x,y) = \mu_{Ru^{(1)}}(x,y) * \ldots * \mu_{Ru^{(M)}}(x,y)$$
  dengan + menyatakan *S-Norm* dan * menyatakan *T-Norm*
- **Tahap 4** : Untuk masukan A' yang diberikan, maka proses penalaran memberikan output B'
  $$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in U} t\left[\mu_{A'}(x), \mu_{QM}(x,y)\right] \quad \text{atau}$$
  $$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in U} t\left[\mu_{A'}(x), \mu_{QG}(x,y)\right]$$

2.2. Prosedur Penalaran Berbasis Aturan Individu

- **Tahap 1** : Untuk aturan-aturan fuzzy *If-Then* yang terdiri atas M aturan, dihitung fungsi keanggotaan dari
  $$\mu_{A_1^l \times \ldots \times A_n^l}(x_1, \ldots, x_n)$$
  untuk $l = 1,2, \ldots, M$.
- **Tahap 2** : Pandang $A_1^l \times \ldots \times A_n^l$ sebagai FP_1 dan B' sebagai FP_2 dalam interpretasi fuzzy *If-Then*, kemudian dihitung :
  $$\mu_{Ru^{(l)}}(x_1, \ldots, x_n, y) = \mu_{A_1^l \times \ldots \times A_n^l \to B^l}(x_1, \ldots, x_n, y)$$
  untuk $l = 1,2,\ldots,M$ menurut salah satu bentuk interpretasi fuzzy *If-Then* tersebut.
- **Tahap 3** : Untuk masukan A' dalam U yang diberikan, dihitung keluaran himpunan kabur dalam V untuk setiap aturan $Ru^{(l)}$ menggunakan modus pones umum yaitu :
  $$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in U} t\left[\mu_{A'}(x), \mu_{Ru^{(l)}}(x,y)\right], \quad \text{untuk}$$
  $l = 1,2,\ldots M$.
- **Tahap 4** : Keluaran proses penalaran fuzzy adalah kombinasi dari M himpunan fuzzy $\{B_1^l, \ldots, B_M^l\}$ baik dengan menggunakan *union*, sebagai berikut :
  $$\mu_{B'}(y) = \mu_{B_1^l}(y) + \ldots + \mu_{B_M^l}(y)$$
  atau menggunakan *interseksi*, sebagai berikut :
  $$\mu_{B'}(y) = \mu_{B_1^l}(y) * \ldots * \mu_{B_M^l}(y)$$
  dengan + menyatakan operator *S-norm* dan * menyatakan operator *T-norm*.

Operator-operator Logika Samar

a. **Komplemen :**

- Standard : $c[\mu_A(x)] = 1 - \mu_A(x)$
- Klas Sugeno [6] :

$$c_\lambda[\mu_A(x)] = \frac{1-\mu_A(x)}{1+\lambda\mu_A(x)}, \lambda \in (-1, \infty)$$

- Klas Yager [7] : $c_\omega[\mu_A(x)] = \left(1 - (\mu_A(x))^\omega\right)^{\frac{1}{\omega}}$, $\omega \in (0, \infty)$

b. **Union (S-Norm)**

- *Dombi Class* [8] :

$$s_\lambda(a,b) = \frac{1}{1+\left[\left(\frac{1}{a}-1\right)^{-\lambda} + \left(\frac{1}{b}-1\right)^{-\lambda}\right]^{-1/\lambda}},$$

$\lambda \in (0, \infty)$.

- *Dubois-Prade Class* [9] :

$$s_\alpha(a,b) = \frac{a+b-ab-\min(a,b,1-\alpha)}{\max(1-a,1-b,\alpha)},$$

$\alpha \in [0,1]$.

- *Yager Class* [7] :

$$s_\omega(a,b) = \min\left[1, \left(a^\omega + b^\omega\right)^{1/\omega}\right],$$

$\omega \in (0, \infty)$.

- *Drastic Sum* : $s_{ds}(a,b) = \begin{cases} a & , jika\ \ b = 0 \\ b & , jika\ \ a = 0 \\ 1 & , yang\ \ lain \end{cases}$

- *Einstein Sum :*
$$s_{es}(a,b)=\frac{a+b}{1+ab}$$
- *Algebraic Sum (Lukasiewicz) :*
$$s_{as}(a,b)=a+b-ab$$
- *Maksimum :* $s_m(a,b)=\max(a,b)$

c. Interseksi (T-Norm)

- *Dombi Class* [8] :
$$t_\lambda(a,b)=\frac{1}{1+\left[\left(\frac{1}{a}-1\right)^\lambda+\left(\frac{1}{b}-1\right)^\lambda\right]^{1/\lambda}},\ \lambda\in$$
(0,∞).
- *Dubois-Prade Class* [9] :
$$t_\alpha(a,b)=\frac{ab}{\max(a.b,\alpha)},\alpha\in[0,1].$$
- *Yager Class* [7] :
$$t_\omega(a,b)=1-\min\left[1,\left((1-a)^\omega+(1-b)^\omega\right)^{1/\omega}\right]$$
$\omega\in(0,\infty)$.
- *Drastic Product :* $t_{dp}(a,b)=\begin{cases}a & ,jika\ \ b=1\\ b & ,jika\ \ a=1\\ 0 & ,yang\ \ lain\end{cases}$
- *Einstein Product :* $t_{ep}(a,b)=\dfrac{ab}{2-(a+b-ab)}$
- *Algebraic Product (Lukasiewicz):* $s_{ap}(a,b)=ab$
- *Minimum :* $t_m(a,b)=\min(a,b)$

d. Interpretasi implikasi :

- Implikasi Dienes-Reschter (Standard)
$$\mu_{Q_D}(x,y)=\max[1-\mu_{FP1}(x),\mu_{FP2}(y)]$$
- Implikasi Zadeh
$$\mu_{Q_Z}(x,y)=$$
$$\max[\min(\mu_{FP1}(x),\mu_{FP2}(y)),1-\mu_{FP1}(x)]$$
- Implikasi Lukasiewicz
$$\mu_{Q_L}(x,y)=\min[1,1-\mu_{FP1}(x)+\mu_{FP2}(y)]$$
- Implikasi Godel
$$\mu_{Q_G}(x,y)=\begin{cases}1 & ,jika\mu_{FP1}(x)\le\mu_{FP2}(y)\\ \mu_{FP2}(y),yanglain\end{cases}$$
- Implikasi Mamdani
$$\mu_{Q_{MM}}(x,y)=\min[\mu_{FP1}(x),\mu_{FP2}(y)]$$
atau $\mu_{Q_{MP}}(x)=\mu_{FP1}(x)\mu_{FP2}(y)$

3. PENYUSUNAN MODEL

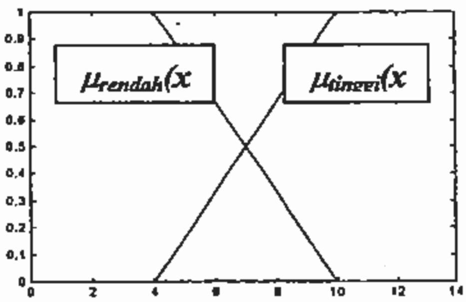
Model yang akan dipilih ini bersifat simulatif. Akan dilakukan analisis untuk kontrol kekenyalan suatu adonan. Diasumsikan bahwa faktor yang mempengaruhi ada 4 yaitu : pH (keasaman), kelembaban, kekentalan dan intensitas pengadukan. Tiap-tiap faktor tersebut akan dipandang sebagai sebuah variabel linguistik yang mempengaruhi perilaku kekenyalan adonan.

Disusun Variabel-variabel linguistik yang mendukung basis aturan sebagai berikut :

❖ Linguistik (x_1) : pH (keasaman)
T = { tinggi, rendah }
U = Nilai pH larutan = [0 ..14]
M = { μ_{tinggi} , μ_{rendah} }
dengan fungsi keanggotaan masing-masing adalah :

$$\mu_{tinggi}(x)=\begin{cases}0 & , \quad x<4\\ \dfrac{x-4}{6} & , 4\le x\le 10\ ;\\ 1 & , \quad x>10\end{cases}$$

$$\mu_{rendah}(x)=\begin{cases}1 & , \quad x<4\\ \dfrac{-x+10}{6} & ,4\le x\le 10\\ 0 & , \quad x>10\end{cases}$$

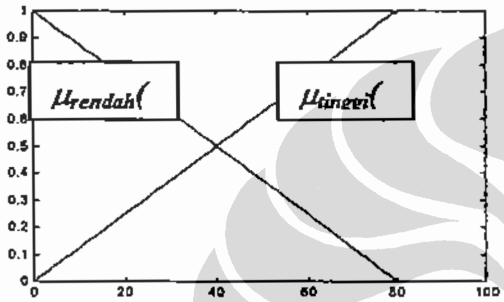


Gambar 1 : Fungsi keanggotaan variabel keasaman (pH)

- Linguistik (x_2) = Kelembaban
  T = { tinggi, rendah }
  U = Nilai kelembaban (dalam %)
  = [0 .. 100]
  M = { μ_{tinggi} , μ_{rendah} }
  dengan fungsi keanggotaan masing-masing adalah :

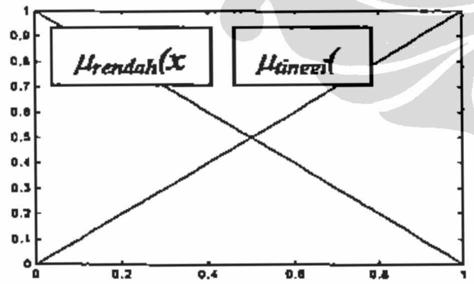
$$\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} \dfrac{x}{80} & ,x \le 80 \\ 1 & ,x > 80 \end{cases} \quad ;$$

$$\mu_{rendah}(x) = \begin{cases} 1 - \dfrac{x}{80} & ,x \le 80 \\ 0 & ,x > 80 \end{cases}$$



Gambar2 : Fungsi keanggotaan variabel kelembaban

- Linguistik (x_3) = kekentalan
  T = { tinggi, rendah }
  U = koefisien kekentalan pelarut
  = [0 .. 1]
  M = { μ_{tinggi} , μ_{rendah} }
  dengan fungsi keanggotaan masing-masing adalah :
  $\mu_{tinggi}(x) = x ,\ 0 \le x \le 1$; $\mu_{rendah}(x) = 1 - x,\ 0 \le x \le 1$

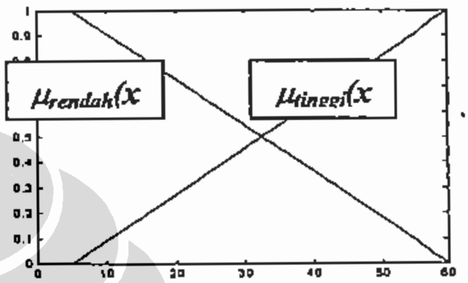


Gambar 3 : Fungsi keanggotaan variabel kekentalan

- Linguistik (x_4) = Intensitas pengadukan
  T = { tinggi, rendah }
  U = Banyaknya putaran per menit
  = [0 .. 60]
  M = { μ_{tinggi} , μ_{rendah} },
  dengan fungsi keanggotaan masing-masing adalah :

$$\mu_{tinggi}(x4) = \begin{cases} 0 & ,x < 5 \\ \dfrac{x-5}{55} & ,5 \le x \le 60 \\ 1 & ,x > 60 \end{cases} \quad ;$$

$$\mu_{rendah}(x4) = \begin{cases} 1 & ,x < 5 \\ \dfrac{60-x}{55} & ,5 \le x \le 60 \\ 0 & ,x > 60 \end{cases}$$

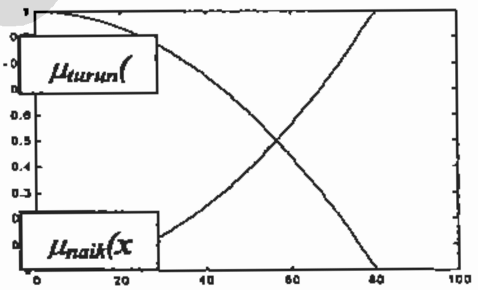


Gambar 4 : Fungsi keanggotaan variabel intensitas pengadukan

- Linguistik (y) = Kekenyalan adonan.
  T = { naik, turun }
  U = kadar kandungan air = [0 .. 100]
  M = { μ_{naik} , μ_{turun} },
  dengan fungsi keanggotaan masing-masing adalah :

$$\mu_{naik}(y) = \begin{cases} \dfrac{6400 - x^2}{6400} & ,\ 0 \le x \le 80 \\ 1 & ,\ x > 80 \end{cases}$$

$$\mu_{turun}(y) = \begin{cases} \dfrac{x^2}{6400} & ,\ 0 \le x \le 80 \\ 0 & ,\ x > 80 \end{cases}$$



Gambar 5 : Fungsi keanggotaan kekenyalan adonan

Dari variabel-variabel linguistik tersebut, selanjutnya disusun aturan-aturan berikut :

R1: Jika pH tinggi dan kelembaban rendah maka kekenyalan adonan akan naik.

R2: Jika kekentalan rendah dan intensitas pengadukan sangat rendah maka kekenyalan adonan akan menurun.

Misalkan diberikan sebuah masukan (A') yang merupakan fakta pembuatan adonan, sebagai berikut :

1. pH larutan = 7.5,
2. Tingkat kelembaban = 65 %
3. Kekentalan = 0.45
4. Intensitas pengadukan per menit = 40
5. Kandungan air (yang menyatakan tingkat kekenyalan) = 30 % dengan

$$\mu_{A'}(x_1, x_2, x_3, x_4) = \frac{\mu_{A_1^1}(x_1) + \mu_{A_1^2}(x_2) + \mu_{A_2^1}(x_3) + \mu_{A_2^2}(x_4)}{4}$$

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dari aturan (rule) yang diberikan di atas, dapat dijabarkan sebagai berikut :

R1 (aturan 1) :

A_1^1 : pH larutan tinggi, dengan

$$\mu_{A_1^1}(x_1) = \begin{cases} 0 & , \quad x < 4 \\ \dfrac{x-4}{6} & , 4 \le x \le 10 \\ 1 & , \quad x > 10 \end{cases}$$

A_1^2 : kelembaban rendah, dengan

$$\mu_{A_1^2}(x_2) = \begin{cases} 1 - \dfrac{x}{80} & , x \le 80 \\ 0 & , x > 80 \end{cases}$$

B^1 : Indikasi kekenyalan adonan naik, dengan

$$\mu_{B^1}(y) = \begin{cases} \dfrac{6400 - x^2}{6400} & , 0 \le x \le 80 \\ 1 & , x > 80 \end{cases}$$

R2 (aturan 2) :

A_2^1 : tingkat kekentalan rendah, dengan

$$\mu_{A_2^1}(x_3) = 1 - x, \ 0 \le x \le 1$$

A_2^2 : Intensitas pengadukan sangat rendah, dengan

$$\mu_{A_2^2}(x_4) = \begin{cases} 1 & , x < 5 \\ \left(\dfrac{60 - x}{55}\right)^2 & , 5 \le x \le 60 \\ 0 & , x > 60 \end{cases}$$

B^2 : Indikasi kekenyalan adonan turun, dengan

$$\mu_{B^2}(y) = \begin{cases} \dfrac{x^2}{6400} & , 0 \le x \le 80 \\ 0 & , \ x > 80 \end{cases}$$

Terhadap fakta yang diberikan, maka diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\mu_{A_1^1}(x_1) = \mu_{A_1^1}(7.5) = 0.5833$$

$$\mu_{A_1^2}(x_2) = \mu_{A_1^2}(65) = 0.1875$$

$$\mu_{B^1}(y) = \mu_{B^1}(30) = 0.8594$$

$$\mu_{A_2^1}(x_3) = \mu_{A_2^1}(0.45) = 0.4500$$

$$\mu_{A_2^2}(x_4) = \mu_{A_2^2}(40) = 0.1322$$

$$\mu_{B^2}(y) = \mu_{B^2}(30) = 0.1406$$

$$\mu_{A'}(7.5, 65, 0.45, 40) = \frac{0.5833 + 0.1875 + 0.4500 + 0.1322}{4} = 0.3383$$

Berikut ini akan dilakukan inferensi berbasis komposisi. Untuk tiap-tiap aturan (R^l) dilakukan analisis berikut :

R1 :

Tahap 1: Menghitung fungsi keanggotaan $\mu_{A_1^1 \times A_1^2}(x_1, x_2)$ dengan operator *T-Norm*. Dari operator-operator T-Norm diperoleh hasil berikut :

- Dombi Class $(\lambda = 10)$:
  $\mu_{A_1^1 \times A_1^2}(x_1, x_2) = 0.0010$
- Dobuis-Prade Class $(\alpha = 0.5)$:
  $\mu_{A_1^1 \times A_1^2}(x_1, x_2) = 0.1875$
- Yager Class $(\omega = 10)$: $\mu_{A_1^1 \times A_1^2}(x_1, x_2) = 0.1874$
- Drastic Product : $\mu_{A_1^1 \times A_1^2}(x_1, x_2) = 0.0000$
- Einstein Product : $\mu_{A_1^1 \times A_1^2}(x_1, x_2) = 0.0817$
- Lukasiewicz : $\mu_{A_1^1 \times A_1^2}(x_1, x_2) = 0.1094$
- Minimum : $\mu_{A_1^1 \times A_1^2}(x_1, x_2) = 0.1875$

Tahap 2 : Menghitung fungsi keanggotaan interpretasi fuzzy IF-THEN ($\mu_{FP1 \to FP2}(x, y)$) atau $\mu_{R^1}(x, y)$

FP1 / Implikasi	T_Norm Dombi	T_Norm Prade	T_Norm Yager	T_Norm Dr-Pd
Din-Rech	0.9990	0.8594	0.8594	1.0000
Zadeh	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Lkasiewicz	0.9990	0.8125	0.8126	1.0000
Godel	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Mamdani	0.0009	0.1611	0.1610	0.0000

FP1 / Implikasi	T_Norm Eins-P	T_Norm Lukas	T_Norm Min
Din-Rech	0.9183	0.8906	0.8594
Zadeh	1.0000	1.0000	1.0000
Lkasiewicz	0.9183	0.8906	0.8126
Godel	1.0000	1.0000	1.0000
Mamdani	0.0702	0.0940	0.1610

R2 :

Tahap 1: Menghitung fungsi keanggotaan $\mu_{A_2^1 \times A_2^2}(x_3, x_4)$ dengan operator *T-Norm*. Dari ope-rator-operator T-Norm diperoleh hasil sebagai berikut :

- Dombi Class $(\lambda = 10)$: $\mu_{A_2^1 \times A_2^2}(x_3, x_4) = 0.9966$
- Dobuis-Prade Class $(\alpha = 0.5)$: $\mu_{A_2^1 \times A_2^2}(x_3, x_4) = 0.1190$
- Yager Class $(\omega = 10)$: $\mu_{A_2^1 \times A_2^2}(x_3, x_4) = 0.1313$
- Drastic Product : $\mu_{A_2^1 \times A_2^2}(x_3, x_4) = 0.0000$
- Einstein Product : $\mu_{A_2^1 \times A_2^2}(x_3, x_4) = 0.0403$
- Lukasiewicz : $\mu_{A_2^1 \times A_2^2}(x_3, x_4) = 0.0595$
- Minimum : $\mu_{A_2^1 \times A_2^2}(x_3, x_4) = 0.1322$

Tahap 2 : Menghitung fungsi keanggotaan interpretasi fuzzy IF-THEN ($\mu_{FP1 \to FP2}(x, y)$)

FP1 / Implikasi	T_Norm Dombi	T_Norm Prade	T_Norm Yager	T_Norm Dr-Pd
Din-Rech	0.8594	0.8594	0.8594	1.0000
Zadeh	0.1140	1.0000	1.0000	1.0000
Lkasiewicz	0.1406	0.8810	0.8687	1.0000
Godel	0.1406	1.0000	1.0000	1.0000
Mamdani	0.1402	0.0167	0.0185	0.0000

FP1 / Implikasi	T_Norm Eins-P	T_Norm Lukas	T_Norm Min
Din-Rech	0.9183	0.8906	0.8594
Zadeh	1.0000	1.0000	1.0000
Lkasiewicz	0.9597	0.9405	0.8678
Godel	1.0000	1.0000	1.0000
Mamdani	0.0057	0.0084	0.0186

Tahap 3 : Menghitung fungsi keanggo-taan $\mu_{QM}(\underset{\approx}{x}, y)$ atau nilai $\mu_{QG}(\underset{\approx}{x}, y)$ sebagai berikut :

- $\mu_{QM}(\underset{\approx}{x}, y) = \mu_{R^1}(\underset{\approx}{x}, y) \dot{+} \mu_{R^2}(\underset{\approx}{x}, y)$ dengan $\dot{+}$ menyatakan operator *S-norm.*
- $\mu_{QG}(x, y) = \mu_{R^1}(x, y) * \mu_{R^2}(x, y)$ dengan $*$ menyatakan operator *T-Norm.*

Pada tahap ini tidak semua nilai $\mu_{R^1}(x, y)$ dan $\mu_{R^2}(x, y)$ dikombinasikan, melainkan akan dipilih nilai-nilai Implikasi yang mempunyai tingkat perbedaan yang tinggi sebagai berikut :

$\mu_{R^1}(x, y)$ akan dipilih :

- Implikasi Dienes-Reschter
- Implikasi Lukasiewicz
- Implikasi Mamdani

$\mu_{R^2}(x, y)$ akan dipilih :

- Implikasi Dienes-Reschter
- Implikasi Lukasiewicz
- Implikasi Mamdani

Operator-operator T-Norm pada tingkat ini akan dibatasi hanya untuk minimum dan Lukasiewicz *(Algebraic Product)*, demikian juga untuk S-Norm akan dibatasi hanya untuk maksimum dan Lukasiewicz *(Algebraic Sum)*.

Beberapa hasil perhitungan dapat disajikan pada tabel berikut :

- R1 : Implikasi Dienes-Rechter, R2 : Implikasi Dienes-Rechter, dengan T-Norm Minimum

R1 / R2	0.8594	0.8810	0.8687	1.0000	0.9597	0.9405	0.8687
0.9990	0.8594	0.8810	0.8687	0.9990	0.9597	0.9405	0.8687
0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594
0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594
1.0000	0.8594	0.8810	0.8687	1.0000	0.9597	0.9405	0.8687
0.9183	0.8594	0.8810	0.8687	0.9183	0.9183	0.9183	0.8687
0.8906	0.8594	0.8810	0.8687	0.8906	0.8906	0.8906	0.8687
0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594

- R1 : Implikasi Dienes-Rechter, R2 : Implikasi Zadeh, dengan T-Norm Minimum

R1 / R2	0.1406	0.8810	0.8687	1.0000	0.9597	0.9405	0.8678
0.9990	0.1406	0.8810	0.8687	0.9990	0.9597	0.9405	0.8678
0.8594	0.1406	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594
0.8594	0.1406	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594
1.0000	0.1406	0.8810	0.8687	1.0000	0.9597	0.9405	0.8678
0.9183	0.1406	0.8810	0.8687	0.9183	0.9183	0.9183	0.8678
0.8906	0.1406	0.8810	0.8687	0.8906	0.8906	0.8906	0.8678
0.8594	0.1406	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594	0.8594

- R1 : Implikasi Dienes-Rechter, R2 : Implikasi Dienes-Rechter, dengan S-Norm Maksimum

R1 / R2	0.8594	0.8810	0.8687	1.0000	0.9597	0.9405	0.8687
0.9990	0.9990	0.9990	0.9990	1.0000	0.9990	0.9990	0.9990
0.8594	0.8594	0.8810	0.8687	1.0000	0.9597	0.9405	0.8687
0.8594	0.8594	0.8810	0.8687	1.0000	0.9597	0.9405	0.8687
1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.9183	0.9183	0.9183	0.9183	1.0000	0.9597	0.9405	0.9183
0.8906	0.8906	0.8906	0.8906	1.0000	0.9597	0.9405	0.8906
0.8594	0.8594	0.8810	0.8687	1.0000	0.9597	0.9405	0.8687

- R1 : Implikasi Dienes-Rechter, R2 : Implikasi Zadeh, dengan S-Norm Maksimum

R1 / R2	0.1406	0.8810	0.8687	1.0000	0.9597	0.9405	0.8678
0.9990	0.9990	0.9990	0.9990	1.0000	0.9990	0.9990	0.9990
0.8594	0.8594	0.8810	0.8687	1.0000	0.9597	0.9405	0.8678
0.8594	0.8594	0.8810	0.8687	1.0000	0.9597	0.9405	0.8678
1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.9183	0.9183	0.9183	0.9183	1.0000	0.9597	0.9405	0.9183
0.8906	0.8906	0.8906	0.8906	1.0000	0.9597	0.9405	0.8906
0.8594	0.8594	0.8810	0.8687	1.0000	0.9597	0.9405	0.8678

Tahap 4 : Terhadap masukan tersebut dilakukan kombinasi dengan T-Norm. Sebagaimana pada uraian sebelumnya, untuk membatasi jumlah perhitungan hanya akan digunakan T-Norm Minimum dan Lukasiewicz.

Aturan masukan yang diberikan memberikan output $\mu_{A'} = 0.3383$.

Beberapa hasil perhitungan disajikan pada tabel berikut :

- Hasil Dienes-Reschter & Dienes-Reschter dengan T-Norm Minimum

0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383
0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383
0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383
0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383
0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383
0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383
0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383

- Hasil Dienes-Reschter & Zadeh dengan T-Norm Minimum

0.1406	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383
0.1406	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383
0.1406	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383
0.1406	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383
0.1406	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383
0.1406	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383
0.1406	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383	0.3383

- Hasil Dienes-Reschter & Dienes-Reschter dengan T-Norm Lukasiewicz

0.2907	0.2980	0.2938	0.3379	0.3246	0.3181	0.2935
0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907
0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907
0.2907	0.2980	0.2938	0.3383	0.3246	0.3181	0.2935
0.2907	0.2980	0.2938	0.3106	0.3106	0.3106	0.2935
0.2907	0.2980	0.2938	0.3013	0.3013	0.3013	0.2935
0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907

- Hasil Dienes-Reschter & Zadeh dengan T-Norm Minimum

0.0476	0.2980	0.2938	0.3379	0.3246	0.3181	0.2935
0.0476	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907
0.0476	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907
0.0476	0.2980	0.2938	0.3383	0.3246	0.3181	0.2935
0.0476	0.2980	0.2938	0.3106	0.3106	0.3106	0.2935
0.0476	0.2980	0.2938	0.3013	0.3013	0.3013	0.2935
0.0476	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907	0.2907

Pembahasan lebih lanjut adalah membandingkan semua hasil pada tahap 4 dengan nilai-nilai $\mu_{B^1}(y) = \mu_{B^1}(30) = 0.8594$ dan $\mu_{B^2}(y) = \mu_{B^{21}}(30) = 0.1406$.

Nilai yang mempunyai selisih terkecil menunjukkan kecenderungan kekenyalan adonan.

Dari tabel di atas beberapa hasil perhitungan diperoleh sebagai berikut :

- Dienes-Reschter & Dienes-Reschter dengan T-Norm Minimum
  Selisih minimum dengan kecenderungan naik : 0.5211
  Selisih minimum dengan kecenderungan turun: 0.1976
  Sehingga disimpulkan bahwa dengan kombinasi tersebut kecenderungan kekenyalan adonan turun.
- Dienes-Reschter & Zadeh dengan T-Norm Minimum
  Selisih minimum dengan kecenderungan naik: 0.5211
  Selisih minimum dengan kecenderungan turun : 0.000
  Sehingga disimpulkan bahwa dengan kombinasi tersebut kecenderungan kekenyalan adonan turun.
- Dienes-Reschter & Dienes-Reschter dengan T-Norm Lukasiewics
  Selisih minimum dengan kecenderungan naik : 0.5211
  Selisih minimum dengan kecenderungan turun: 0.1976
  Sehingga disimpulkan bahwa dengan kombinasi tersebut kecenderungan kekenyalan adonan turun.
- Dienes-Reschter & Zadeh dengan T-Norm Lukasiewicz
  Selisih minimum dengan kecenderungan naik : 0.5211
  Selisih minimum dengan kecenderungan turun : 0.000
  Sehingga disimpulkan bahwa dengan kombinasi tersebut kecenderungan kekenyalan adonan turun.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang diperoleh, dapatlah diberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Terhadap data masukan yang diberikan, mesin inferensi samar dengan kombinasi berbasis komposisi yang mengkombinasikan operator-operator menunjuk-kan bahwa kecenderungan kekenyalan adonan adalah turun.
2. Mesin inferensi berbasis komposisi menggunakan Kombinasi Godel dengan T-Norm Minimum meru-pakan kombinasi yang paling baik untuk data yang diberikan. Hal ini ditunjukkan selisih nilai $\mu_{QG}(x,y)$ dengan $\mu_{B'}(y)$ yang mendekati nol.

REFERENSI

[1] Giarrantano, J. & Riely, G., 1994. *Expert Systems Principles and Programming*. Second Edition, PWS Publishing Company, Boston.

[2] Zadeh, L.A., 1983, *A Computational approach to Fuzzy Quantifiers in Natural Languages, Computer and Mathematics*, 9(1), 149-184.

[3] Vadiee, N., 1993, *Fuzzy Rule-Based Expert Systems*, Prentice-Hall International Inc., A simon & Schuster Company, Englewood Cliffs, New Jersey.

[4] Mulyana, S., 2000, *Model Mesin Inferensi pada Sistem Pakar dengan Logika Samar*, Tesis S-2, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada

[5] Wang, L.X., 1997, *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice-Hall International Inc., A simon & Schuster Company, Englewood Cliffs, New Jersey.

[6] Sugeno, M., 1977, *Fuzzy Measures and Fuzzy Integrals : A Survey*. In Gupta, M., Saridis, G.N., and Gainesm B.R., eds : *Fuzzy Automata and Decision Processes*, North Hallandm N.Y., pp. 329-346.

[7] Yager, R.R., 1980, *Fuzzy Set, Information and Control*. Information Science, 8, 338-353.

[8] Dombi, J., 1982, *A General class of fuzzy operators, the De Morgan class of fuzzy operators and fuziness measures induced by fuzzy operators*, Fuzzy Sets and Systems, 8, no. 2, pp. 149-163.

[9] Dubois, D., and Prade, H., 1980, *Fuzzy Sets and Systems :Theory and Applications*, Academic Press Inc. Orlando, Florida.