

# ANALISA HEAT EXCHANGER KNL 5-2015 DENGAN TEKNIK KONTROL FUZZY

Sugeng Tirta Atmadja <sup>1)</sup>

## Abstract

Suatu mesin transmisi penerus putaran dan daya di dalam gearbox menggunakan oli atau minyak pelumas yang berfungsi sebagai pendingin dan juga berguna untuk mengurangi gesekan yang terjadi. Akan tetapi oli tersebut juga membutuhkan pendinginan yang dinamakan heat exchanger. Selama ini metode yang digunakan dalam dunia industri, kebanyakan menggunakan metode kontrol konvensional yaitu on-off dan kecepatan aliran yang konstan. Namun demikian, terkadang metode kontrol konvensional kurang mampu bekerja sesuai dengan yang diharapkan, sehingga memungkinkan untuk mengaplikasikan metode kontrol yang lebih modern, salah satunya adalah dengan teknik kontrol fuzzy.

Heat exchanger merupakan salah satu bagian alat di mesin finish mill yang terdapat di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Citeureup yang berfungsi untuk menurunkan temperatur oli dan menjaga suhu pada keadaan normal sekitar 48<sup>0</sup>C, dengan mengatur kecepatan aliran oli masuk dan keluar. Pada keadaan tunak, output temperatur oli tidak sesuai dengan setting point-nya walaupun hanya terdapat sedikit perbedaan. Hal ini menunjukkan bahwa dalam praktek variabel kontrol tidak selalu sama dengan set-point, disebabkan adanya faktor dinamika dari proses yang dikendalikan, juga pengaruh faktor lingkungan.

Kata kunci : heat exchanger dan kontrol Fuzzy.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Semen merupakan material yang bersifat plastik yang sudah digunakan sejak lama atau zaman dahulu untuk membuat konstruksi. Kata semen berasal dari bahasa Yunani "Caementum", yang artinya bahan pengikat. Adapun definisi semen secara umum adalah bahan perekat yang dapat mengikat bahan – bahan padat menjadi satu kesatuan yang kuat.

Adapun dengan semakin banyaknya pembangunan industri, baik pertokoan maupun perkantoran dimana dalam pembangunannya tidak lepas dari kebutuhan akan semen. Oleh karena itu PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk sebagai produsen semen ikut berpartisipasi dalam memenuhi kebutuhan akan semen.

PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk memiliki 11 plant yang tersebar di pulau Jawa yaitu di Citeureup dan Cirebon, Jawa Barat dan di Tarjun, Kalimantan.

Pada proses pembuatan semen ada suatu tahapan dimana bahan baku mengalami pengecilan ukuran atau penggerusan dari raw mill dengan menggunakan mesin vertical mill. Tujuan dari vertical mill ini adalah agar menghasilkan semen dalam bentuk bubuk yang halus sebelum masuk ke dalam silo.

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

Permasalahan timbul pada mesin vertical mill, yang berputar beroperasi selama 24 jam maka timbul panas. Sebagaimana biasa lazimnya mesin, dibutuhkan pelumasan untuk mengurangi timbulnya panas dan juga untuk mencegah dari keausan.

### Maksud dan Tujuan

1. Mengetahui besarnya perpindahan panas dari oli ke air pendingin dan temperatur keluaran pada heat exchanger.
2. Merencanakan pengendalian temperatur keluaran dan kecepatan aliran heat exchanger KNL 5-2015 secara off-line dengan menggunakan teknik kontrol fuzzy.

### Pembatasan Masalah

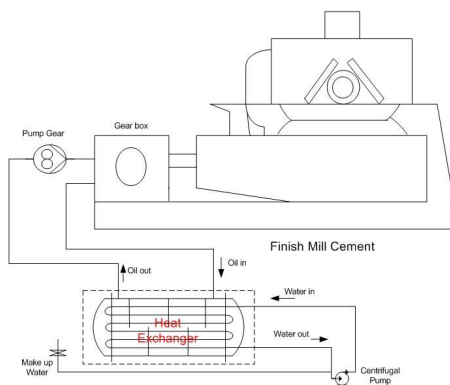
Membahas pengendalian temperatur pada heat exchanger KNL 5-2015 dengan menggunakan kontrol Fuzzy.

## DASAR TEORI

### Gambaran Umum Heat Exchanger

Heat exchanger adalah suatu alat yang menghasilkan perpindahan panas dari suatu fluida ke fluida lainnya. Jenis heat exchanger yang sederhana adalah wadah dimana fluida yang panas dan fluida yang dingin dicampur secara langsung. Pada sistem ini, kedua fluida akan mencapai suhu akhir yang sama, dan jumlah panas yang berpindah dapat diperkirakan dengan mempersamakan kerugian energi dari fluida yang

lebih panas dengan perolehan energi oleh fluida yang lebih dingin. Hal yang lazim pada heat exchanger adalah perpindahan panas pada suatu fluida terpisah dengan fluida lainnya oleh dinding atau sekat yang dilalui oleh panas. Penukar panas seperti ini disebut *recuperator*. Alat ini terdapat dalam berbagai bentuk, dari pipa-didalam-pipa (*shell and tube*). Satuan ini dipergunakan secara luas karena dapat dibangun dengan permukaan perpindahan panas yang besar dalam volume yang relatif kecil, dapat dibuat dari logam paduan (*alloy*) agar tahan terhadap korosi, dan sesuai untuk pemanasan, pendinginan, penguapan, atau pengembunan (*condensation*) segala jenis fluida.



Gambar 1 Heat exchanger di mesin finish mill

### Tipe – tipe dasar Heat Exchanger

Tipe heat exchanger yang paling sederhana adalah cangkang dan pipa. Alat ini terdiri dari sebuah pipa yang terletak konsentrik di dalam pipa lainnya yang merupakan cangkang untuk susunan. Salah satu fluidanya mengalir melalui pipa didalamnya, fluida lainnya mengalir melalui cincin (*annulus*) yang terbentuk diantara pipa dalam dan pipa luar. Karena kedua aliran fluida melintasi penukar panas hanya sekali, maka susunan ini disebut penukar panas satu lintasan (*single – pass*; lintasan tunggal). Jika bertipe aliran searah (*parallel – flow*; aliran sejajar), jika fluida – fluida itu mengalir dalam arah yang berlawanan, maka penukar panas ini bertipe aliran lawan (*counter – flow*).

### Keefektifan Heat Exchanger

Dalam analisa termal berbagai tipe heat exchanger guna memperoleh laju perpindahan panas yang tidak menyangkut suhu keluar yaitu dengan menggunakan keefektifan penukar panas (*heat exchanger effectiveness*)  $\epsilon$ . Keefektifan penukar panas berdefinisi perbandingan laju

perpindahan panas yang sebenarnya dalam penukar panas tertentu terhadap laju pertukaran panas maksimum. Bentuk persamaan yang dipergunakan dalam analisa berbagai tipe penukar panas yang diperlukan untuk menentukan harga suhu rata – rata adalah :

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{rata-rata}$$

$$\epsilon = \frac{C_h (T_{hin} - T_{hout})}{C_{min} (T_{hin} - T_{cin})} \text{ atau}$$

$$\epsilon = \frac{C_c (T_{cout} - T_{cin})}{C_{min} (T_{hin} - T_{cin})}$$

### Faktor Pengotoran

Unjuk kerja penukar panas dalam kondisi pengoperasian, terutama dalam industri proses, seringkali tidak dapat diramalkan dari analisa termal saja. Selama dioperasikan dengan kebanyakan cairan dan minyak, terbentuk suatu lapisan kotoran pada permukaan perpindahan panas secara berangsur – angsur seperti endapan pada tube yang menyebabkan kurang efektifnya laju perpindahan panas. Efeknya yang disebut pengotoran (*fouling*) adalah mempertinggi tahanan termal. Tahanan termal endapan pada umumnya dapat diperoleh dari pengujian – pengujian nyata atau pengalaman. Jika diadakan pengujian unjuk kerja terhadap suatu penukar panas yang bersih dan belakangan diulangi setelah satuannya dioperasikan agak lama, maka tahanan termal endapan dapat ditentukan dari hubungan :

$$Rd = \frac{1}{Ua} - \frac{1}{U}$$

$$Ud = \frac{1}{\frac{1}{ho} + Ro + Rk + \frac{RiAo}{Ai} + \frac{Ao}{hiAi}}$$

### Analisa Perhitungan

Spesifikasi alat :

Model : KNL 5-2015 VALCO  
ENGINEERING CO.LTD. JAPAN

Kapasitas : 5 m<sup>3</sup>  
Fluida tube : oli ( ISO VG320 )  
Fluida shell : water

Diketahui:

Q = 5,1 m<sup>3</sup>/jam  
Do = 0,01 m  
Di = 0,0092 m  
N = 142  
Tin oil = 57 °C  
Tout oil = 48 °C  
Tin water = 30 °C

Sifat fisik fluida :

Fluida	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (J/kg.K)	$K_f$ (W/m.K)	$\mu$ (kg/m.s)	Pr
Air	1000	4178	0,620	$7,69 \times 10^{-4}$	5,2
Oli	853,77	2118	0,1385	$3,52 \times 10^{-2}$	540,6

Analisa :

$$m_h \cdot C_{ph} \cdot (T_{hin} - T_{hout}) = m_c \cdot C_{pc} \cdot (T_{cout} - T_{cin})$$

$$1,21 \times 2118 \times (57 - 48) = 1,42 \times 4178 \times (T_{cout} - 30)$$

$$23065,02 = 5932,76 \times (T_{cout} - 30)$$

$$T_{cout} = 33,89^\circ C$$

$$T_{c_{out}} \approx 34^\circ C$$

$$q = \dot{m}_c \cdot C_{pc} \cdot (T_{c_{out}} - T_{c_{in}})$$

$$q = 1,42 \times 4178 \times (34 - 30)$$

$$q = 23731,04 \text{ J/s}$$

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{m}_c}{N}$$

$$\dot{m}_1 = \frac{1,42}{142} = 0,01$$

$$R_{ED} = \frac{4\dot{m}_1}{\pi D \mu} = \frac{4 \times 0,01}{3,14 \times 0,0092 \times 7,69 \cdot 10^{-4}} = 1800,66$$

$$N_{UD} = 0,023 \cdot R_{ED}^{0,8} \cdot Pr^{0,4} = 0,023 \times (1800,66)^{0,8} \times (5,2)^{0,4} = 17,88$$

$$h_1 = \frac{K_f \cdot N_{UD}}{D} = \frac{0,62 \times 17,88}{0,0092} = 1204,95$$

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{m}_h}{N} = \frac{1,21}{1} = 1,21$$

$$R_{ED} = \frac{4\dot{m}_2}{\pi D \mu} = \frac{4 \times 1,21}{3,14 \times 0,01 \times 3,52 \cdot 10^{-2}} = \frac{4,84}{0,110528 \cdot 10^{-2}} = 4378,98$$

$$N_{UD} = 0,023 \times (4378,98)^{0,8} \times (540,6)^{0,4} = 23329$$

$$h_2 = \frac{K_f \cdot N_{UD}}{D} = \frac{0,62 \times 23329}{0,01} = 14463,98$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1204,95} + \frac{1}{14463,98}} = 1112,29$$

**Faktor Koreksi dari grafik :**

$$F = 0,97$$

$$\Delta T_m = LMTD \times F = \frac{27 - 14}{\ln\left(\frac{27}{14}\right)} \times 0,97 = 19,23$$

$$L = \frac{q}{U \cdot N \cdot \pi \cdot D \cdot F \cdot \Delta T_m} = \frac{23731,04}{1112,29 \times 142 \times 3,14 \times 0,0092 \times 0,97 \times 19,23} = 0,278 \text{ meter}$$

**Fouling Factor (Faktor pengotoran) :**

$$U_d = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + R_{f1} + R_{f2} + \frac{1}{h_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1204,95} + 4,24 \cdot 10^{-5} + 6,36 \cdot 10^{-5} + \frac{1}{14463,98}} = 994,98$$

W/m<sup>2</sup>.K

$$R_{f1} = 4,24 \cdot 10^{-5} \text{ W/mK}$$

$$R_{f2} = 6,36 \cdot 10^{-5} \text{ W/mK}$$

$$L = \frac{q}{U_d \cdot N \cdot \pi \cdot D \cdot F \cdot \Delta T_m} = \frac{23731,04}{994,98 \times 142 \times 3,14 \times 0,0092 \times 0,97 \times 19,23} = 0,31 \text{ meter}$$

**Jumlah tube minimal yang diizinkan :**

$$N = \frac{q}{U \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot F \cdot \Delta T_m} = \frac{23731,04}{1112,29 \times 3,14 \times 0,0092 \times 0,31 \times 0,97 \times 19,23}$$

$$N = \frac{23731,04}{185,801} = 127,72 \approx 127 \text{ tube}$$

$$\text{Jumlah\_tube\_efektif} = \frac{127}{142} \times 100\% = 88,44\% \approx 88\%$$

**Heat exchanger efektif :**

$$C_{\min} = m_h \cdot c_{ph} \text{ atau } m_c \cdot c_{pc} \text{ yang lebih kecil.}$$

Karena  $m_h \cdot c_{ph} < m_c \cdot c_{pc}$ , maka suhu keluar fluida yang lebih panas (dengan kata lain suhu oli) sama dengan suhu masuk fluida yang lebih dingin (air).

$$\varepsilon = \frac{C_h (Th_{in} - Th_{out})}{C_{\min} (Th_{in} - Tc_{in})} = \frac{m_h \cdot c_{ph} (Th_{in} - Th_{out})}{C_{\min} (Th_{in} - Tc_{in})} = \frac{(57 - 48)}{(57 - 30)}$$

$$\varepsilon = \frac{9}{27} = 0,33$$

**Kontrol Fuzzy**

Fuzzy berarti samar atau kabur, merupakan istilah yang dipakai oleh Lotfi A Zadeh pada Tahun 1965 untuk menyatakan kelompok/himpunan yang dapat dibedakan dengan kelompok lain berdasarkan derajat keanggotaan secara kabur.

Didalam teori himpunan klasik objek dinyatakan suatu anggota jika bernilai "1" dan bukan anggota jika bernilai "0" dari suatu himpunan dengan batas keanggotaan yang jelas/tegas. Namun dalam teori himpunan fuzzy memungkinkan derajat keanggotaan (*member of degree*) suatu objek bernilai antara "0" dan "1" atau dalam interval antara "0" dan "1", biasa ditulis [0 1].

Himpunan fuzzy F dalam semesta X biasanya dinyatakan sebagai pasangan berurutan dari elemen x dan mempunyai derajat keanggotaan :

$$F = \{(x, \mu_F(x)) \mid x \in X\}$$

dimana:

F = Notasi himpunan fuzzy

X = Semesta pembicaraan

$x$  = Elemen dari X  
 $\mu_F(x)$  = Derajat keanggotaan x dalam interval [0 1]

Sistem Fuzzy ini mempunyai beberapa kelebihan antara lain:

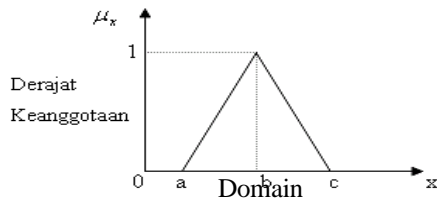
1. Konsep logika fuzzy mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari logika fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti.
2. Logika fuzzy sangat fleksibel.
3. Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
4. Logika fuzzy mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinier yang sangat kompleks.
5. Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus mengalami pelatihan.
6. Logika fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik –teknik kendali secara konvensional.
7. Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami.

Blok diagram pengendali logika fuzzy diperlihatkan pada Gambar 2.6 dengan masing-masing blok dijelaskan sebagai berikut:

**Fuzzifikasi (Fuzzification)**

Fuzzifikasi adalah suatu proses mengubah peubah masukan dari bentuk tegas (*Crisp*) menjadi peubah fuzzy (*Variable Linguistic*) yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan fuzzy dengan suatu fungsi *keanggotaan masing-masing*.

Fungsi keanggotaan segitiga direpresentasikan sebagai berikut:



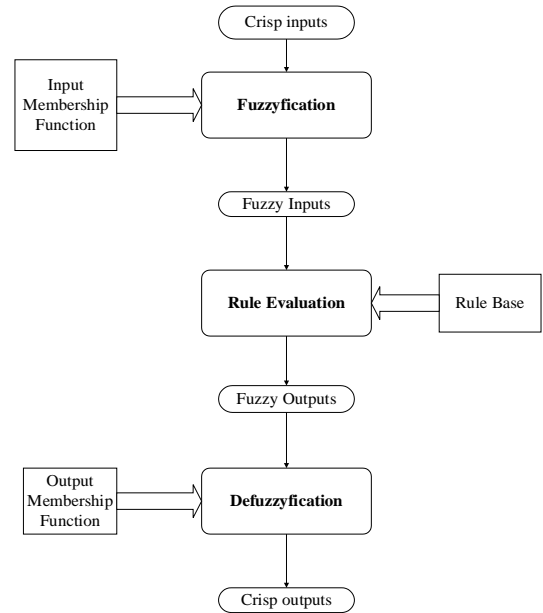
Gambar 2. Representasi Kurva Segitiga

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu_x = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x-a)/(b-a), & a \leq x \leq b \\ (b-x)/(c-b), & b \leq x \leq c \end{cases}$$

**Evaluasi Aturan (Rule Evaluation)**

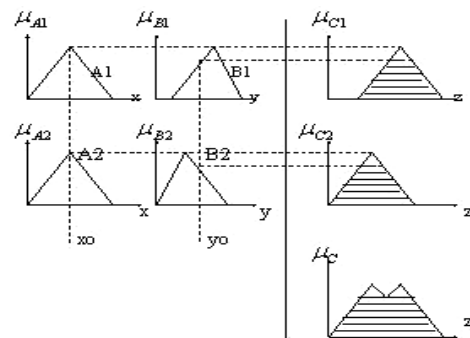
Evaluasi aturan disebut juga proses pengambilan keputusan (*Inference*) yang ditetapkan pada basis aturan (*Rule Base*) untuk menghubungkan antar peubah-peubah fuzzy masukan dan peubah fuzzy keluaran. Aturan ini berbentuk **jika....maka (If ...Then)**.



Gambar 3. Blok diagram pengendali fuzzy

**Metode MAX-MIN**

Pada metode MAX-MIN pengambilan keputusan didasarkan pada aturan operasi menurut Mamdani. Gambar 4 dibawah ini menggambarkan metode MAX-MIN:



Gambar 4 Metode MAX-MIN

**Defuzzifikasi (Defuzzification)**

Defuzzifikasi berarti proses perubahan kembali himpunan fuzzy keluaran menjadi himpunan dalam bentuk tegas (*crisp*). Hal ini

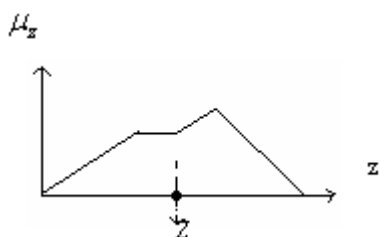
diperlukan karena *plant* hanya mengenal nilai tegas.

### Metode Centroid

Metode *centroid* ini dikenal juga sebagai metode COA (*Center of Area*) atau metode *Center of Gravity*. Pada metode ini nilai tegas keluarannya diperoleh berdasarkan titik berat dari kurva hasil proses pengambilan keputusan (*inference*) yang dapat dilukiskan pada Gambar 2.5

Rumus COA:

$$z = \frac{\int_z z \mu(z) dz}{\int_z \mu(z) dz} = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)}$$



Gambar 5. Metode Centroid

### APLIKASI KONTROL FUZZY PADA PENGENDALIAN TEMPERATUR HEAT EXCHANGER

*Heat exchanger* merupakan suatu alat untuk memindahkan energi termal dari sumber panas ke sumber yang lebih dingin. Alat ini berguna untuk mendinginkan fluida oli yang digunakan pada pelumasan *gearbox* pada mesin vertikal *mill* dan menjaganya pada temperatur normal dengan mengatur kecepatan aliran oli dan air sebagai media pendingin. Besar kecilnya kecepatan aliran ini ditentukan oleh temperatur input *heat exchanger*. Jika temperatur keluaran *heat exchanger* masih tinggi dari *setting point* maka kecepatan aliran dari pompa akan membuka besar sehingga temperatur yang digunakan untuk mendinginkan oli sudah mencukupi, sebaliknya jika temperatur keluaran *heat exchanger* rendah dari *setting point* maka kecepatan aliran dari pompa akan menutup sehingga tidak ada aliran yang mengalir atau kecil sekali aliran yang mengalir yang digunakan untuk mendinginkan oli. Temperatur keluaran *heat exchanger* harus dikontrol *extra* karena jika tidak maka akan berpengaruh terhadap kegiatan operasional mesin itu sendiri.

### Perancangan Sistem Fuzzy Fungsi Keanggotaan

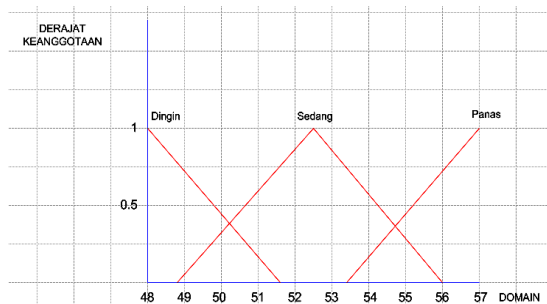
Sistem ini memiliki dua variabel masukan dan dua variabel keluaran, seperti ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Variabel masukan dan keluaran yang diperlukan

Fungsi	Nama variabel	Semesta pembicaraan	Satuan	Keterangan
Input	Temperatur oli	[48,57]	°C	
	Temperatur air	[30,35]	°C	
Output	Kecepatan aliran oli	[0,3,0,5]	m/s	
	Kecepatan aliran air	[1,1,02]	m/s	

### Fuzzyfikasi

#### a. Fungsi Keanggotaan temperature oli



Gambar 5. Himpunan Fuzzy temperature oli

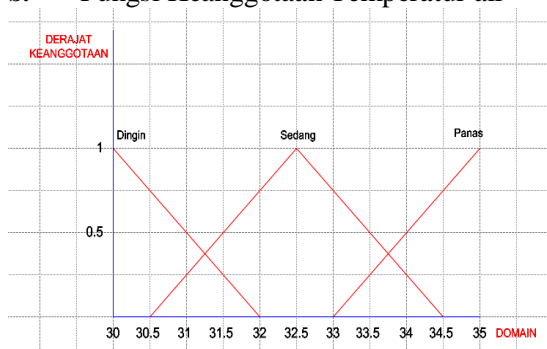
Fungsi Keanggotaannya adalah:

$$\mu_{dingin}(a) = \begin{cases} 0 & a \geq 51.6 \\ (51.6 - a) / 0.4 & 48 \leq a \leq 51.6 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang}(a) = \begin{cases} 0 & a \leq 48.9 \text{ atau } a \geq 56.1 \\ (a - 48.9) / 0.4 & 48.9 \leq a \leq 52.5 \\ (56.1 - a) / 0.4 & 52.5 \leq a \leq 56.1 \end{cases}$$

$$\mu_{panas}(a) = \begin{cases} 0 & a \leq 53.4 \\ (a - 53.4) / 0.4 & 53.4 \leq a \leq 57 \\ 1 & a \geq 57 \end{cases}$$

#### b. Fungsi Keanggotaan Temperatur air



Gambar 6. Himpunan Fuzzy Temperatur air

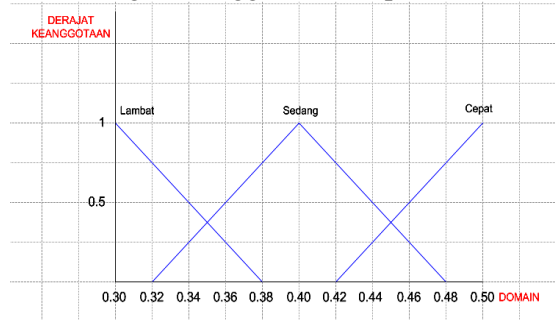
Fungsi Keanggotaanya adalah:

$$\mu_{dingin}(b) = \begin{cases} 0 & b \geq 32 \\ (32 - b) / 0.4 & 30 \leq b \leq 32 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang}(b) = \begin{cases} 0 & b \leq 30.5 \text{ atau } b \geq 34.5 \\ (b - 30.5) / 0.4 & 30.5 \leq b \leq 32.5 \\ (34.5 - b) / 0.4 & 32.5 \leq b \leq 34.5 \end{cases}$$

$$\mu_{panas}(b) = \begin{cases} 0 & b \leq 33 \\ (b - 33) / 0.4 & 33 \leq b \leq 35 \\ 1 & a \geq 35 \end{cases}$$

c. Fungsi Keanggotaan kecepatan aliran oli



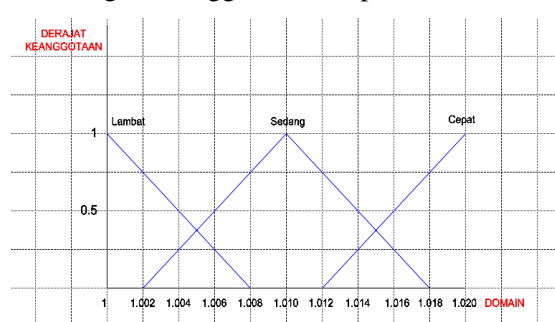
Gambar 7. Himpunan Fuzzy kecepatan aliran oli  
Fungsi Keanggotaanya adalah:

$$\mu_{lambat}(c) = \begin{cases} 0 & c \geq 0.38 \\ (0.38 - c) / 0.45 & 0.30 \leq c \leq 0.38 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang}(c) = \begin{cases} 0 & c \leq 0.32 \text{ atau } c \geq 0.48 \\ (c - 0.32) / 0.45 & 0.32 \leq c \leq 0.40 \\ (0.48 - c) / 0.45 & 0.40 \leq c \leq 0.48 \end{cases}$$

$$\mu_{cepat}(c) = \begin{cases} 0 & c \leq 0.42 \\ (c - 0.42) / 0.45 & 0.42 \leq c \leq 0.50 \\ 1 & c \geq 0.50 \end{cases}$$

d. Fungsi Keanggotaan kecepatan aliran air



Gambar 8. Himpunan Fuzzy kecepatan aliran air  
Fungsi keanggotaannya adalah :

$$\mu_{lambat}(d) = \begin{cases} 0 & d \geq 1.008 \\ (1.008 - d) / 0.40 & 1 \leq d \leq 1.008 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang}(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 1.002 \text{ atau } d \geq 1.018 \\ (d - 1.002) / 0.40 & 1.002 \leq d \leq 1.010 \\ (1.018 - d) / 0.40 & 1.010 \leq d \leq 1.018 \end{cases}$$

$$\mu_{cepat}(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 1.012 \\ (d - 1.012) / 0.40 & 1.012 \leq d \leq 1.020 \\ 1 & d \geq 1.020 \end{cases}$$

**Basis aturan**

Logika algoritma fuzzy sebetulnya hanya terdiri dari pernyataan *IF-THEN*. Pernyataan ini mengungkapkan bahwa apabila suatu variabel masukan terjadi, maka variabel keluaran harus menunjuk ke fungsi keanggotaan tertentu. Gabungan kemungkinan antara masukan pengendali fuzzy dengan masukan lain akan mengakibatkan keluaran tertentu. Aturan ini dibuat sedemikian sehingga kecepatan aliran akan optimal, aturan tersebut antara lain:

- [R1] *If* Temperatur oli DINGIN *and* Temperatur air DINGIN *then* kecepatan aliran oli LAMBAT *and* kecepatan aliran air LAMBAT
- [R2] *If* Temperatur oli SEDANG *and* Temperatur air SEDANG *then* kecepatan aliran oli SEDANG *and* kecepatan aliran air SEDANG
- [R3] *if* Temperatur oli PANAS *and* Temperatur air DINGIN *then* kecepatan aliran oli SEDANG *and* kecepatan aliran air SEDANG
- [R4] *if* Temperatur oli SEDANG *and* Temperatur air PANAS *then* kecepatan aliran oli CEPAT *and* kecepatan aliran air CEPAT
- [R5] *if* Temperatur oli PANAS *and* Temperatur air SEDANG *then* kecepatan aliran oli LAMBAT *and* kecepatan aliran air CEPAT
- [R6] *if* Temperatur oli SEDANG *and* Temperatur air DINGIN *then* kecepatan aliran oli LAMBAT *and* kecepatan aliran air SEDANG
- [R7] *if* Temperatur oli DINGIN *and* Temperatur air SEDANG *then* kecepatan aliran oli SEDANG *and* kecepatan aliran air SEDANG

**Evaluasi aturan**

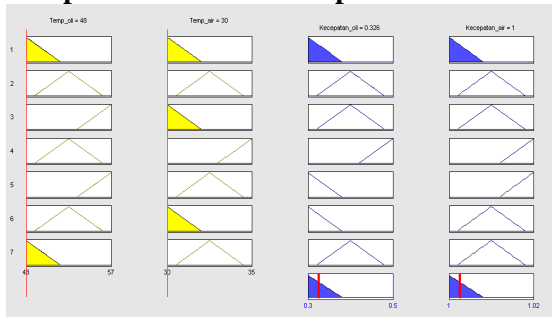
Dengan menggunakan aturan-aturan yang sudah ada dalam basis aturan, maka sistem fuzzy akan melaksanakan proses pengambilan keputusan sehingga didapatkan suatu penyelesaian dalam evaluasi aturan. Teknik yang digunakan untuk pengambilan keputusan tersebut adalah dengan metode MAX-MIN.

**Defuzzifikasi**

Defuzzifikasi merupakan tahap akhir pada proses dasar pengendali logika fuzzy. Pada proses ini dilakukan pengubahan dari fuzzy output yaitu berupa grade sebagai proses evaluasi aturan menjadi bentuk tegasnya (*crisp*). Metode yang digunakan untuk proses defuzzifikasi adalah metode *centroid*.

## PENGUJIAN DAN ANALISA

### Temp. oli = 48<sup>0</sup>C dan Temp. air = 30<sup>0</sup>C

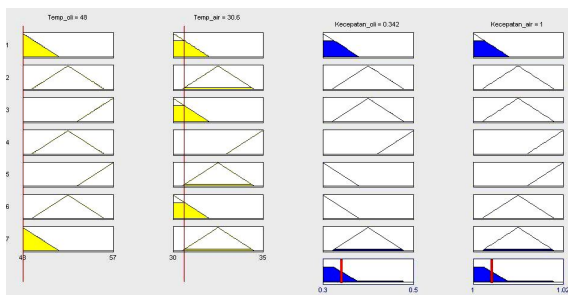


Gambar 9. Hasil Pengujian Temp.oli = 48 dan Temp. air = 30

Pada pengujian sistem dengan perubahan Temperatur oli didapat hasil seperti pada Gambar 9, terlihat bahwa ketika Temperatur oli berada pada temperatur 48<sup>0</sup>C dan Temperatur air berada pada temperatur 30<sup>0</sup>C maka kecepatan oli adalah sebesar 0.326 m/s dan kecepatan air adalah sebesar 1 m/s. Dengan kecepatan sebesar itu diharapkan temperatur oli akan tetap pada kondisi normalnya yaitu sekitar 48<sup>0</sup>C.

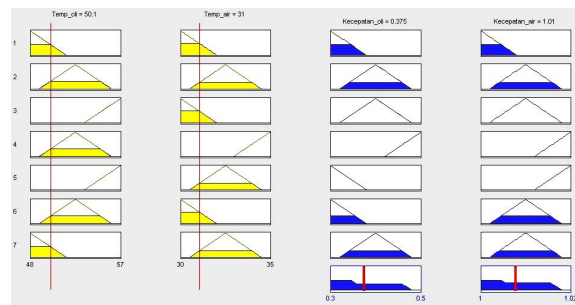
### Temp. oli =48<sup>0</sup>C dan Temp air = 30.6<sup>0</sup>C

Pada pengujian sistem dengan perubahan temperatur air didapat hasil seperti pada Gambar 10, terlihat bahwa ketika temperatur oli berada pada temperatur 48<sup>0</sup>C dan temperatur air berada pada temperatur 32<sup>0</sup>C maka kecepatan aliran oli adalah sebesar 0.345 m/s dan kecepatan aliran air adalah sebesar 1 m/s. Dengan kecepatan sebesar itu diharapkan temperatur oli akan tetap pada kondisi normalnya yaitu sekitar 48<sup>0</sup>C, walaupun temperatur air berubah.



Gambar 10. Hasil Pengujian Temp. oli = 48 dan Temp.air = 30.6

### Temp. oli =50.1<sup>0</sup>C dan temp. air=31<sup>0</sup>C



Gambar 11. Hasil Pengujian Temp. oli = 50.1 dan Temp.air = 31

Pada pengujian sistem dengan kombinasi masukan didapat hasil seperti pada Gambar 11, terlihat bahwa ketika temperatur oli berada pada temperatur 50,1<sup>0</sup>C dan temperatur air berada pada temperatur 31<sup>0</sup>C maka kecepatan aliran oli adalah sebesar 0,376 m/s dan kecepatan aliran air sebesar 1,01 m/s. Dengan kecepatan aliran sebesar itu diharapkan temperatur oli akan tetap pada kondisi normalnya yaitu sekitar 48<sup>0</sup>C, walaupun temperatur air masukan berubah

Dari beberapa hasil pengujian yang telah dilakukan, kecepatan aliran akan mengalir sesuai dengan kombinasi masukan dari temperatur oli maupun temperatur air, sehingga kecepatan aliran tersebut diharapkan merupakan kecepatan paling optimal sedemikian sehingga keluaran temperatur pada heat exchanger sesuai dengan yang diinginkan. Disamping itu dengan menggunakan kontrol fuzzy maka kecepatan aliran akan kontinu. Hal ini dikarenakan pada berbagai masukan dapat ditentukan kecepatannya.

Tabel 2. Beberapa Hasil Pengujian pada berbagai kondisi masukan

Kondisi	TEMPERATUR OLI (°C)	TEMPERATUR AIR (°C)	KECEPATAN ALIRAN OLI (m/s)	KECEPATAN ALIRAN AIR (m/s)
1	48.2	30.5	0.327	1
2	49.4	30.6	0.343	1.01
3	50.5	30.3	0.331	1.01
4	52.9	32.3	0.4	1.01
5	51.6	33.9	0.422	1.01
6	56.2	34.7	0.4	1.01
7	49.8	34.9	0.465	1.02
8	48.9	33.6	0.4	1.01
9	51.3	31.4	0.389	1.01
10	55.1	32.8	0.375	1.01

## **PENUTUP**

### **Kesimpulan**

1. Respon yang didapat hasil simulasi berbeda dengan kenyataanya, hal ini dikarenakan dalam simulasi banyak dilakukan pendekatan-pendekatan.
2. Logika Fuzzy bisa digunakan untuk mengendalikan sistem yang memiliki banyak masukan dan banyak keluaran (*MIMO = Multi Input Multi Output*).
3. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa berbagai kemungkinan masukan akan menghasilkan kecepatan aliran tertentu berdasar proses defuzzyfikasinya.
4. Pengendalian dengan logika fuzzy lebih fleksibel (Aturan-aturan dan fungsi keanggotaan bisa diubah jika diperlukan).
5. Faktor pengotoran dapat mengurangi keefektifan dalam heat exchanger, hal ini terjadi karena menghalangi proses perpindahan panas.

### **Saran**

1. Fungsi keanggotaan dari tiap-tiap variabel masukan dan keluaran perlu dibuat lebih banyak lagi untuk mengantisipasi kemungkinan-kemungkinan yang ada.
2. Bisa juga digunakan *Auto Tuning Regulator/Self Tuning Regulator* untuk mengendalikan temperatur *heat exchanger* atau kontrol adaptif lain.
3. Sebaiknya perlu pengurusan secara rutin dalam saluran heat exchanger
4. Cairan pendingin yang digunakan sebaiknya perlu dilakukan softening terlebih dahulu.

## **DAFTAR PUSTAKA**

---

1. Duda, W.H, 1985, "*Cement Data Book*", vol.1, 3ed, pp. 297 – 301, PT. ITP Bouverlag GmbH, Berlin.
2. Kusumadewi, Sri, *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2002
3. Lea, F.M, 1976, "*The Chemistry of Cement and Concrete*", 3ed, pp. 116 – 157, Edward Arnold Ltd, London
4. Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Otomatik Jilid 1*, Erlangga, Bandung, 1994
5. Holman, J.P, "Perpindahan Kalor", Penerbit Erlangga, Jakarta.
6. Thomas dan Agung Prasetyo, "*Analisis dan Desain Sistem Kontrol dengan Matlab*", Penerbit Andi, Yogyakarta