

PERANCANGAN SISTEM DETEKSI KONDISI POMPA BERBASIS LOGIKA *FUZZY* DI PT. PETROKIMIA GRESIK

Anindita Adikaputri Vinaya¹, Ellisa Kusuma Dewi²

^{1,2}Universitas Internasional Semen Indonesia, Jalan Veteran, Sidokumpul Gresik
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jalan Raya ITS, Keputih Sukolilo Surabaya

Email: anindita.vinaya@uisi.ac.id¹, ellisadewi@yahoo.co.id²

Abstrak

Pompa adalah komponen utama operasi yang harus senantiasa dijaga operasinya. Setiap bagian dari pompa mempunyai tingkat vibrasi yang berbeda tergantung pada letaknya dan gaya yang diterimanya. Pada umumnya, analisa vibrasi mekanik merupakan salah satu langkah predictive maintenance di perusahaan yang digunakan untuk mengetahui kondisi mesin. Tujuan pada makalah ini adalah untuk merancang sistem berbasis *Fuzzy* sehingga dapat digunakan untuk mengetahui atau mendeteksi kondisi pompa. Pada perancangan sistem, variabel input sistem deteksi kondisi mesin adalah amplitudo dan frekuensi sedangkan variabel output dari FIS adalah kondisi dari pompa. Aturan yang telah dirancang sebanyak 25 aturan dengan fungsi keanggotaan input berupa amplitudo berupa dibagi dalam 5 fungsi keanggotaan, dan frekuensi dengan 5 fungsi keanggotaan. Dari hasil perancangan, sistem mampu mendeteksi kondisi pompa berdasarkan amplitudo peak dan frekuensi yang ditangkap sebagai sinyal getaran. Pada 2 kasus dimana amplitudonya sama yaitu 95, sedangkan frekuensi nya berbeda yaitu 211 dan 814, maka output akan menunjukkan nilai yang berbeda yaitu 0.092 menyatakan kondisi good dan 0.25 menyatakan kondisi acceptable. Kondisi pompa telah mampu mengikuti besarnya amplitudo dan frekuensi yang beragam. Perancangan FIS telah sesuai dengan kepakaran berdasarkan validasi data dari pompa CWP PT. Petrokimia Gresik.

Kata Kunci - Vibrasi, *Fuzzy Inference System*, Deteksi kondisi pompa

Abstract

Pumps are the main components that must always be maintained. Each part of the pump has a different level of vibration depending on its location and the received force. In general, mechanical vibration analysis is one of the predictive maintenance technique in the company used to determine the condition of the machine. The purpose of this paper is to build a *Fuzzy*-based system so that it can be used to detect pump condition. In the system design system, the input system detection variable of the FIS is the condition of the pump. The *rules* have been designed as many as 25 *rules* with 5 membership functions of amplitude function, and 5 membership functions of frequency as inputs. From the design results, the system is able to detect the pump conditions based on the peak amplitude and the frequency captured as a vibration signal. In 2 cases where the amplitude is the same that is 95, while the different frequencies are 211 and 814, then the output will show different value that is 0,092 indicated good condition and 0,25 stated acceptable condition. The pump conditions have been adapted with the amount of amplitudes and frequency varies. The design of FIS has been in accordance with the expertise based on the validation data from the CWP pump PT. Petrokimia Gresik.

Keywords -Vibration, *Fuzzy Inference System*, Detection of pump condition

1. PENDAHULUAN

Maintenance atau pemeliharaan merupakan salah satu bagian penting dalam proses produksi dan operasi di perusahaan. *Maintenance* dalam hal pemeliharaan rutin dan skala kecil terhadap *equipment-equipment* harus dilakukan agar proses produksi dapat berjalan dengan lancar. Ada beberapa metode yang diterapkan dalam pemeliharaan di perusahaan ini yakni: *Preventive Maintenance (PM)*, *Predictive Maintenance (PdM)*, *Corrective Maintenance (CM)*. PdM merupakan metode analisa kerusakan

berdasarkan kondisi mesin. PdM sendiri terdiri dari beberapa teknik yakni analisa getaran, emisi akustik, kondisi oli, temperatur/suhu dan lain-lain[1].

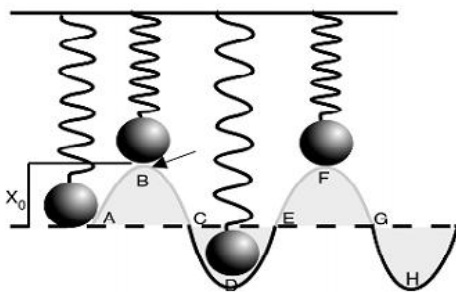
Pompa adalah komponen utama operasi yang harus senantiasa dijaga operasinya. Setiap bagian dari pompa mempunyai tingkat vibrasi yang berbeda tergantung pada letaknya dan gaya yang diterimanya. Pada umumnya, berdasar analisa vibrasi mekanik ini digunakan sebagai pendeteksi kondisi mesin apakah masih normal atau tidak, dapat toleransi, atau kondisinya telah parah sehingga diperlukan *maintenance*[1]. Kesalahan dalam analisa dan

pengambilan keputusan akan berdampak pada operasi dan produksi perusahaan, oleh sebab itu diperlukan sistem yang dapat mampu membantu dalam mendeteksi dan menganalisa kondisi mesin[2].

Teknik untuk mengetahui kondisi pada mesin telah banyak dikembangkan. Salah satu teknik untuk mempermudah dalam mengetahui kondisi mesin adalah dengan menggunakan *Fuzzy Inference System* (FIS)[3][4]. FIS ini memiliki kelebihan yaitu sangat fleksibel, memiliki toleransi terhadap ketelitian data, selain itu pengambilan keputusan juga berdasarkan pengalaman ahli atau pakar. [5] Teknik ini telah banyak dikembangkan untuk mendeteksi kerusakan, salah satunya adalah untuk mendeteksi kondisi pada motor induksi 3 fasa[3]. Pada penelitiannya, FIS tipe Mamdani dapat digunakan untuk memonitor kondisi pada motor induksi dengan input nya adalah arus dan output adalah kondisi dari motor. FIS juga dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan bearing pada mesin berputar dengan tepat[2]. Berdasarkan hal tersebut, maka pada tugas kali ini FIS akan digunakan sebagai alat untuk mempermudah operator di industri dalam menganalisa kondisi pompa

2. METODE

Vibrasi merupakan gerakan bolak balik melewati titik setimbang. Model sederhana dari vibrasi dapat digambarkan sebagai sebuah pegas yang bergerak naik turun melewati titik setimbangnya seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Model vibrasi sederhana [6]

Gerak tersebut merupakan gerak periodik dan harmonik, dimana hubungan antara simpangannya (X) dengan massa (m) dan waktu (t) dapat diekspresikan dalam persamaan sinus:

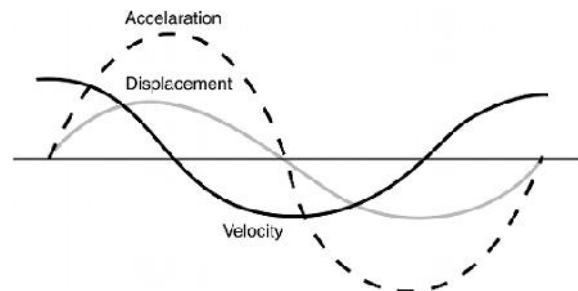
$$X = X_0 \sin \omega t \tag{1}$$

Selain simpangan (*displacement*) ada dua besaran lainnya yang digunakan untuk menganalisa getaran, yakni kecepatan (*velocity*) dan percepatan (*acceleration*).

$$V = \frac{dX}{dt} = X_0 \cdot \omega \cdot \cos \omega t \tag{2}$$

$$a = \frac{dV}{dt} = -X_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \tag{3}$$

Bentuk gelombang dari ketiga komponen besaran getaran tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 2 dimana simpangan menunjukkan kurva sinus, kecepatan menunjukkan kurva *cosinus* dan percepatan kembali menunjukkan kurva sinus. [6]



Gambar 2. Waveform simpangan, kecepatan dan percepatan[1]

Tiga terminologi utama untuk menggambarkan sinyal getaran adalah amplitudo, frekuensi dan *phase*. Amplitudo merupakan simpangan maksimum vibrasi, pada Gambar 1 disimbolkan dengan X₀. Amplitudo diukur dengan tiga cara, *displacement* (*mills, micron*), *velocity* (*ips, mm/s*) dan *acceleration* (*g, mm/s², inch/s²*). Frekuensi merupakan banyaknya vibrasi yang terjadi dalam satu satuan waktu (sekon/detik). Satuan frekuensi adalah Hz, cps, cpm dan rpm. Phase adalah

perbedaan posisi dari getaran sebuah titik relatif terhadap titik referensi yang diam atau relatif terhadap titik lain yang bergetar [1].

Pada umumnya, berdasar amplitudo dan frekuensi saja maka telah dapat dilakukan analisa sinyal getaran dari suatu vibrasi. Dari analisa tersebut maka diperoleh informasi yang dapat digunakan untuk menentukan kondisi mesin[1]. Pada pengukuran getaran sinyal input berupa vibrasi mekanik yang diubah oleh sensor/transduser menjadi sinyal tegangan kemudian ditransmisikan ke elemen pengkondisi sinyal, diproses oleh elemen pemroses sinyal dan akhirnya ditampilkan dalam bentuk data angka maupun grafik (*spectrum, waveform* dan *trend*)[1].

Dalam kondisi yang nyata, beberapa aspek dalam dunia nyata selalu atau biasanya berada diluar model matematis dan bersifat *inexact*. Konsep ketidakpastian inilah yang menjadi konsep dasar munculnya konsep logika *Fuzzy*. Pencetus gagasan logika *Fuzzy* adalah Prof. L.A. Zadeh (1965) dari California University. Sebelum adanya logika *Fuzzy*, dikenal istilah logika tegas atau *crisp logic*. Logika tegas memiliki nilai benar dan salah yang tegas. Benar dinyatakan dengan angka "1" dan salah dinyatakan dengan angka "0". Sedangkan dalam logika *Fuzzy* memiliki nilai keaburan atau kesamaran antara benar dan salah. Logika *Fuzzy* memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keaburan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk linguistik, konsep tidak pasti seperti "sedikit", "lumayan" dan "sangat". [7] [8]

Pada teori himpunan *Fuzzy* terdapat istilah derajat keanggotaan (*member of degree*). Derajat keanggotaan ini dalam interval antara "0" dan "1" atau dinyatakan dengan notasi [0 1]. Himpunan *Fuzzy* F dalam semesta X biasanya dinyatakan sebagai pasangan berurutan dari elemen x dan mempunyai derajat keanggotaan :

$$F = \{(x, F(x)) | x \in X\} \quad (4)$$

dengan F : notasi himpunan *Fuzzy*, X : semesta pembicaraan, x : elemen generik dari X , dan

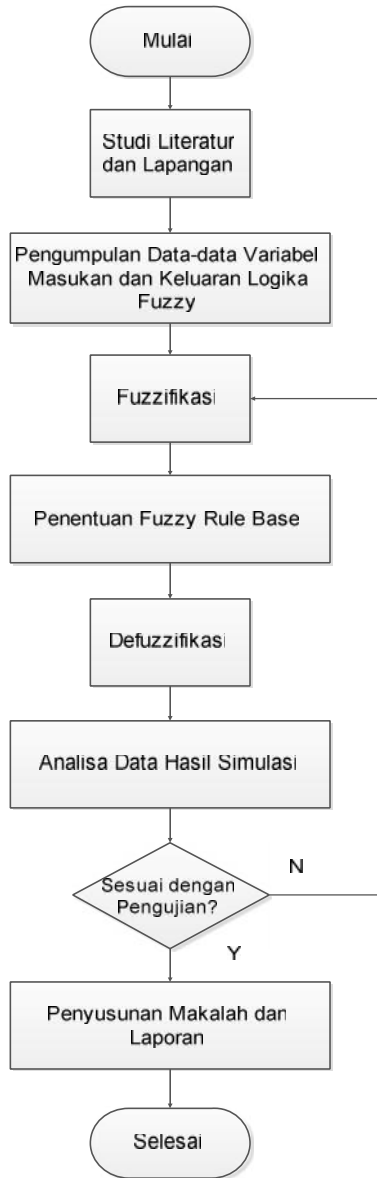
$F(x)$: derajat keanggotaan dari x . Fungsi keanggotaan (*membership function*) dari himpunan *Fuzzy* dapat disajikan dalam bentuk gabungan derajat keanggotaan tiap-tiap elemen pada semesta pembicaraan. [8]

$$F = \sum F(ui) / ui \quad (5)$$

Struktur dasar logika *Fuzzy* terdiri atas fuzzifikasi, basis pengetahuan, logika pengambil keputusan dan defuzzifikasi. Fuzzifikasi berfungsi untuk mengubah sinyal input yang bersifat *crisp* (bukan *Fuzzy*) menjadi himpunan *Fuzzy*. Dalam fuzzifikasi terdapat fungsi keanggotaan himpunan *Fuzzy* yang direpresentasikan dalam bentuk kurva dengan derajat keanggotaan antara 0-1. [5] Pada Basis pengetahuan berisi basis data (*data base*) dan kaidah atur (*rule base*).

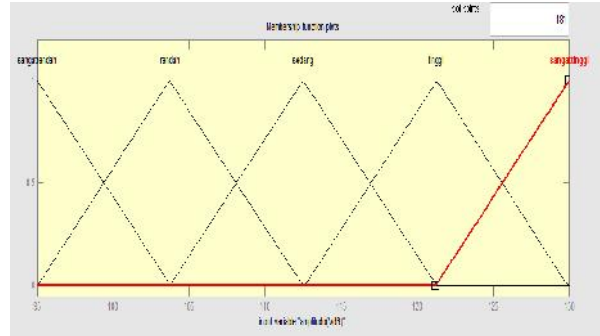
Proses pengambilan keputusan dalam logika *Fuzzy* dilakukan dengan cara mengolah dan menyimpulkan kaidah yang tersusun dalam *rule IF... THEN*, dimana setiap *rule* menghasilkan satu output. Pada dasarnya, satu *rule* akan aktif apabila kondisi input memenuhi aturan pernyataan IF. Pengaktifan aturan pernyataan IF menghasilkan output kontrol yang didasarkan pada aturan pernyataan THEN. Dalam sistem *Fuzzy* digunakan banyak *rule* yang menyatakan satu atau lebih pernyataan IF. Suatu *rule* dapat pula mempunyai beberapa kondisi input, yang satu sama lainnya dihubungkan dengan *AND* atau *OR* untuk mendapatkan *rule* output. Tahapan terakhir dari sistem logika *Fuzzy* adalah defuzzifikasi dimana merupakan proses pengubahan output *Fuzzy* dari FIS (*Fuzzy inference system*) menjadi output *crisp*[5].

Perancangan sistem deteksi kondisi pompa ini didasarkan oleh beberapa tahapan yang harus dilakukan. Tahapan-tahapan tersebut telah digambarkan dalam diagram alir (*flowchart*) di bawah ini:

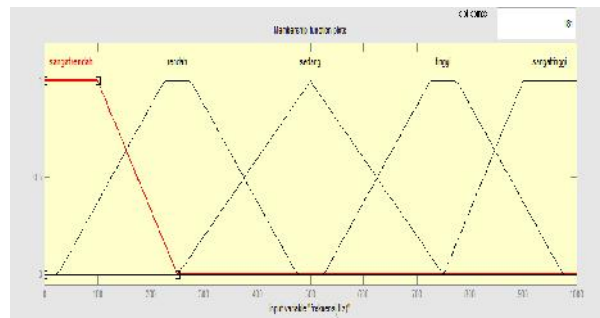


Gambar 3. Diagram Alir Logika *Fuzzy* untuk Mendeteksi Kondisi Pompa.

Berikut tampilan fungsi keanggotaan input dan output yang jumlah fungsi keanggotannya didasarkan pada pengelompokan variabel input dan output yang sebelumnya.

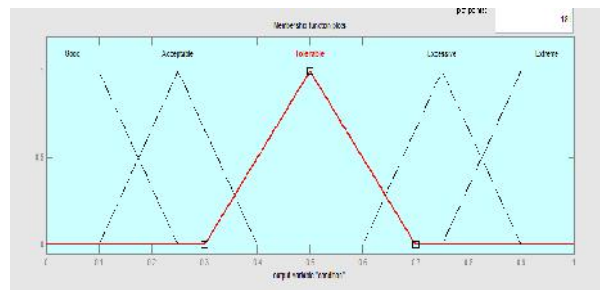


Gambar 4. Fungsi Keanggotaan *Input* “Amplitudo”



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan *Input* “Frekuensi”

Selain itu, telah dirancang pula fungsi keanggotaan output yaitu kondisi mesin pompa dalam 5 kondisi yaitu *good*, *acceptable*, *tolerable*, *excessive*, dan *extreme*:



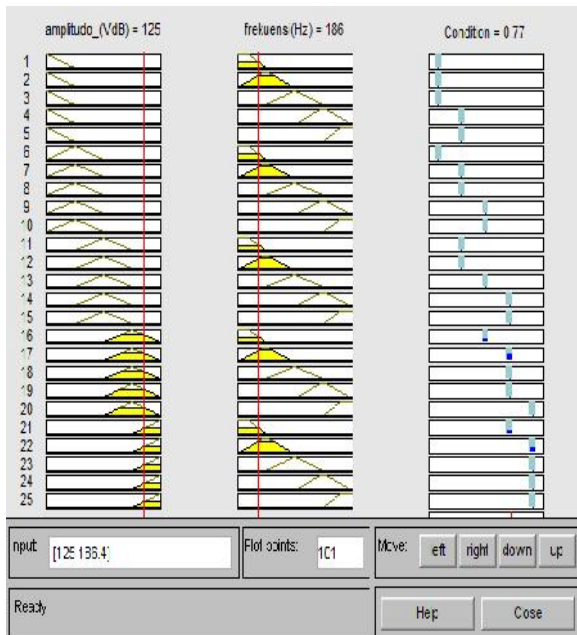
Gambar 6. Fungsi Keanggotaan *Output* “Kondisi Pompa”

Untuk mengolah data dari variabel-variabel yang telah ditentukan, maka perlu dibuat suatu aturan dasar (*rule base*) yang terdapat di dalam *Fuzzy inference engine* untuk membuat suatu keputusan berupa nilai output sistem. *Rule base* sistem yang telah dirancang berjumlah 25 (5 x 5).. Berikut merupakan basis aturan yang digunakan

Tabel 1. Rule Base Pada Sistem Deteksi Kondisi Mesin Berbasis Fuzzy

A/F	SR	R	S	T	ST
SR	G	G	A	Tol	Exc
R	G	A	A	Exc	Ext
SR	G	A	Tol	Exc	Ext
T	A	Tol	Exc	Exc	Ext
ST	A	Tol	Exc	Ext	Ext

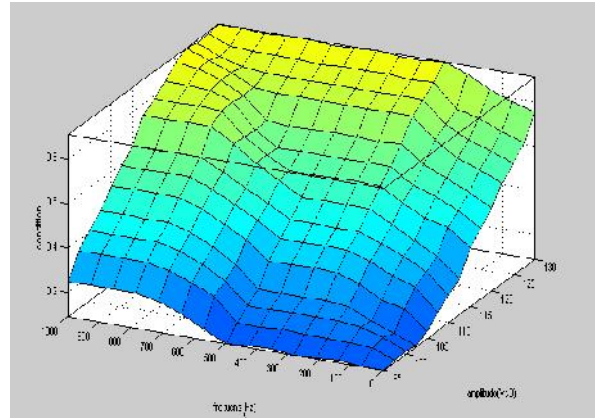
Dimana: SR= Sangat Rendah, R= Rendah, S= Sedang, T=Tinggi, ST= Sangat Tinggi, G=Good, A= Acceptable, Tol= Tolerable, Exc = Excessive, dan Ext = Extreme.



Gambar 7. Tampilan Rule Viewer pada Sistem Deteksi Kondisi Mesin

Berdasarkan perancangan rule base, variabel input dan output yang telah ditetapkan dalam fungsi keanggotaan maka kita dapat mengetahui kondisi pompa melalui suatu rule viewer. Tampilan rule viewer dapat dilihat pada gambar di bawah ini :

Hubungan antara variabel input terhadap output dapat diketahui berdasar rule based dalam suatu surface. Berikut tampilan hubungan input-output dalam surface viewer:



Gambar 8. Hubungan Amplitudo, Frekuensi , dan Kondisi Mesin dalam Surface Viewer

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi pompa dapat diketahui berdasarkan amplitudo dan frekuensi dari beberapa kasus. Berikut adalah kondisi pompa pada beberapa amplitudo dan frekuensi:

Tabel 2. Hasil Kondisi Pompa

Kasus	Amplitudo Velocity peak (VdB)	Frekuensi (Hz)	Kondisi
1	95	211	Good (0.092)
2	95	814	Acceptable (0.25)
3	98	142	Good (0.155)
4	99	713	Acceptable-Tolerable (0.366)
5	100	341	Acceptable (0.22)
6	113	681	Tolerable-Excessive (0.65)
7	116	225	Tolerable (0.542)
8	116	743	Excessive (0.731)
9	120	743	Excessive (0.74)
10	120	991	Excessive-Extreme (0.88)
11	123	741	Excessive-Extreme (0.778)
13	125	755	Excessive-Extreme (0.811)

14	128	91	<i>Excessive</i> (0.709)
15	130	800	<i>Extreme</i> (0.907)

Berdasarkan Tabel II, ketika besarnya *input* frekuensi, dan amplitudo berubah, maka *output* berubah kondisi pompa dapat mengikuti perubahan tersebut. Pada kasus 1 dan kedua, ketika amplitudo kasus 1 dan kasus 2 adalah sama sedangkan frekuensinya berbeda, maka kondisi pompa juga akan berbeda. Pada frekuensi 211Hz, kondisi pompa baik, sedangkan pada frekuensi 814Hz, kondisi pompa masih dapat diterima sehingga masih dapat beroperasi. Hal tersebut sama halnya pada kasus 7 dan 8, amplitudo peak pada kedua kasus berbeda, akan tetapi frekuensi berbeda, sehingga menyebabkan perbedaan kondisi pompa. Pada kasus 7, kondisi pompa adalah *tolerable*, kemudian ketika frekuensi naik menjadi 743Hz, maka pompa berada pada kondisi *excessive*, atau cukup berbahaya apabila dioperasikan. Pada kasus ke-4 kondisi pompa adalah *acceptable-tolerable*, hal ini berarti pompa berada masih dapat bekerja atau diterima kondisinya, dan hampir mendekati kondisi *tolerable*. Selanjutnya pada kasus 15, terlihat bahwa ketika amplitudo peak sangat tinggi yaitu 130VdB pada frekuensi 800Hz, maka pompa dalam kondisi *extreme* atau sangat berbahaya apabila dioperasikan. Berdasarkan analisa data yang diperoleh, kondisi pompa sangat bergantung dengan besarnya amplitudo dan frekuensi dan hubungan tersebut dapat terlihat jelas dalam *surface viewer*. Warna kuning pada *surface viewer* menunjukkan kondisi pompa yang sangat *extreme* atau parah, semakin ke bawah dan mendekati warna biru tua, maka kondisi pompa akan semakin baik.

Untuk memvalidasi apakah sistem yang dibuat telah sesuai, maka akan digunakan data getaran pompa CWP kelas 2 dari PT. Petrokimia Gresik pada tahun 2012, yang berdasarkan analisa sebelumnya dari ahli getaran di perusahaan, telah mengindikasikan kerusakan *unbalance* 2994CPM atau pada frekuensi 50 Hz akan tetapi pompa masih

diperbolehkan untuk beroperasi[9]. Berikut adalah tabel data amplitudo pompa yang kemudian diproses melalui FIS :

Tabel 3. Kondisi Pompa Cwp Ditinjau Dari Amplitudo *Velocity Peak* Tiap Tipe Peletakan Sensor

Tipe peletakan sensor	Amplitudo Velocity peak (in/s)	Amplitudo Velocity peak (VdB)	Kondisi Pompa berdasar FIS
<i>Inboard-Horisonta l</i>	0.816	123.3	<i>Tolerable</i> (0.58)
<i>Inboard-Vertikal</i>	0.468	118.4	<i>Tolerable</i> (0.459)
<i>Inboard-Axial</i>	0.651	121.3	<i>Tolerable</i> (0.535)
<i>Outboard-Horisonta l</i>	0.663	121.5	<i>Tolerable</i> (0.539)
<i>Outboard-Vertikal</i>	0.308	114.8	<i>Acceptable</i> -0.394
<i>Outboard-Axial</i>	0.501	119	<i>Tolerable</i> (0.471)

Berdasarkan tabel di atas, data pompa CWP di PT. Petrokimia Gresik pada berbagai tipe peletakan sensor telah diproses menggunakan FIS, sehingga dapat diketahui kondisi pompa. Secara keseluruhan kondisi pompa CWP pada berbagai tipe peletakan mengindikasikan keadaan pompa yang masih dapat ditolerir (*tolerable*) sehingga masih memungkinkan untuk dapat dioperasikan. Berdasarkan hal tersebut, sistem yang dirancang telah sesuai dengan pengambilan keputusan berdasarkan kepakaran.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan sistem deteksi kondisi pompa berdasar sinyal getaran yang telah dilakukan, maka dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa telah diperoleh suatu rancangan sistem deteksi kondisi pompa berbasis *Fuzzy Inference System* (FIS). Berikut variabel dan parameter dari sistem yang telah dirancang:

-Variabel *input* sistem deteksi kondisi mesin adalah amplitudo dan frekuensi sedangkan

variabel *output* dari FIS adalah kondisi dari pompa.

-Aturan yang telah dirancang sebanyak 25 aturan dengan fungsi keanggotaan *input* berupa amplitudo berupa dibagi dalam 5 fungsi keanggotaan, dan frekuensi dengan 5 fungsi keanggotaan.

-Fungsi keanggotaan tipe segitiga digunakan sebagai *input* FIS yaitu amplitudo peak, sedangkan untuk input berupa frekuensi menggunakan fungsi keanggotaan gabungan tipe segitiga-trapesium.

-Jumlah fungsi keanggotaan *output* adalah 5, masing-masing merepresentasikan kondisi pompa yang berbeda-beda.

Dari hasil perancangan, sistem mampu mendeteksi kondisi pompa berdasarkan amplitudo peak dan frekuensi yang ditangkap sebagai sinyal getaran. Pada 2 kasus dimana amplitudonya sama yaitu 95, sedangkan frekuensi nya berbeda yaitu 211 dan 814, maka *output* akan menunjukkan nilai yang berbeda yaitu 0.092 menyatakan kondisi *good* dan 0.25 menyatakan kondisi *acceptable*. Kondisi pompa telah mampu mengikuti besarnya amplitudo dan frekuensi yang beragam. Perancangan FIS telah sesuai dengan kepakaran berdasarkan validasi data dari pompa CWP PT. Petrokimia Gresik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya berikan kepada Universitas Internasional Semen Indonesia yang telah memeberikan dukungan. Kepada sumber referensi yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu saya ucapkan terimakasih.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nian , Zhang, Lim dan He, Cheng. “A Vibration Diagnosis Approach to Structural Fault” *Journal Vibraton-Acoustic* 111(1), 88-93, 1989
- [2] Wadhawani, Sulochana, “Detection of Fault of Bearing Failure in Rotating Machine Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System,” 0-7803-9771-1/06 . IEEE. 2006
- [3] Saravana, 2013, Vinoth. “Fuzzy Logic based fault detection in induction machines using Lab view”. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.9 No.9, September 2009.
- [4] Altug, M.-Y. Chow, H. J. Trussell, "Fuzzy inference systems implemented on neural architectures for motor fault detection and diagnosis," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 46, pp. 1069-1079, Dec. 1999.
- [5] Zimmermann, H. “Fuzzy set theory”, Advance Review on John Wiley & Sons, Inc. WIREs Comp Stat, 317–332. 2010.
- [6] Girdhar, Paresh. 2004. Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance. Oxford. Newnes Inc
- [7] Luhandjula, MK. “Fuzzy Mathematical Programming: Theory, Applications and Extension” Journal of Uncertain Systems Vol.1, No.2, pp.124-136, 2007
- [8] Zadeh. “Fuzzy Sets”. Information and Control, 8, 338-355. 1965
- [9] Vinaya, Anindita . “Penerapan Metode Fast Fourier Transform (FFT) untuk Menentukan Predictive Maintenance pada Pompa di Unit P1204a-Fwp Pt. Petrokimia Gresik”. Jurnal Teknik Fisika. 2015