

Analisis Putaran Motor Pada Electrical Submersible Pump (ESP) Menggunakan Fuzzy Logic Controller Berbasis Python

City Round Aritonang¹, Atmam², Elvira Zondra³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Lancang Kuning

Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

E-mail : ciroundp.cr@gmail.com, atmam@unilak.ac.id, elviraz@unilak.ac.id

ABSTRAK

Dengan spesifikasi tipe pompa ESP yang digunakan *well* ABC#123, laju alir fluida yang dihasilkan oleh ESP harus dijaga agar ketinggian fluida tetap menjaga agar pompa selalu dalam posisi terendam. Laju alir fluida dapat diatur dengan mengatur frekuensi yang menunjukkan putaran motor pada ESP menggunakan metode fuzzy logic. Dalam hal ini Laju alir fluida dan ketinggian level fluida akan menjadi input sistem yang menghasilkan perubahan nilai frekuensi. Baik input maupun output memiliki 3 label fungsi keanggotaan. Dengan metode ini kita dapat merubah frekuensi motor ESP sehingga motor akan berputar pada kecepatan tertentu sesuai dengan laju alir fluida yang diinginkan dari ESP tersebut berdasarkan ketinggian fluida tanpa harus merubah desain dari ESP. Dari hasil penelitian ini diperoleh nilai putaran motor sebesar 3330 rpm dengan frekuensi sebesar 55,5 Hz untuk laju alir 1051 bfpd dengan ketinggian fluida 1300 ft. Penggunaan metode fuzzy logic ini dapat dikembangkan dengan Python aplikasi, lebih cepat dan mudah karena modul fuzzy dan matematika sudah tersedia

Kata Kunci: *Electrical Submersible Pump (ESP), Python, Fuzzy Logic*

ABSTRACT

The ESP pump type specifications used in this study was WELL ABC # 123, the fluid flow rate produced by ESP must be maintained so that the height of fluid level keeps the pump always submerged. The fluid flow rate can be managed by adjusting the frequency that indicates the motor rotation on the ESP using the fuzzy method logic. In this case the fluid flow rate and the height of the fluid level will be the system input which results in a change in the frequency value. Both input and output have 3 membership function labels. With this method, the researcher can change the ESP motor frequency so that the motor will rotate at a certain speed in according to the fluid flow rate from the ESP based on fluid height without having to change the design of the ESP. With this study, the motor rotation value is 3330 rpm from the frequency of 55.5 Hz for a flow rate of 1051 bfpd with a fluid height of 1300 ft. The use of fuzzy logic methods can be developed with Python since its applications faster and easier. In addition, the fuzzy and mathematical modules have been available

Keywords: *Electrical Submersible Pump (ESP), Python, Fuzzy Logic*

1. PENDAHULUAN

Salah satu metode pengangkatan buatan adalah dengan menggunakan *Electrical Submersible Pump* (ESP). ESP digerakkan oleh motor induksi dan merupakan pompa sentrifugal bertingkat banyak dimana pada setiap tingkat (*stage*) terdiri dari *impeller* dan *diffuser* [1]. Motor akan terhubung dengan *shaft* pada pompa sehingga apabila motor berputar maka *impeller* pada pompa akan bergerak untuk menaikkan

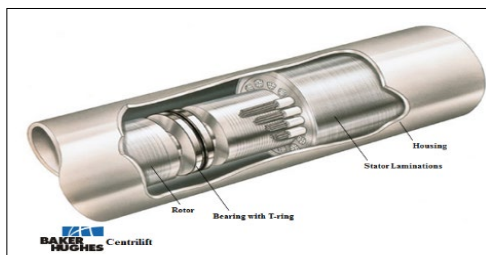
fluida ke atas. Setiap pompa ESP memiliki kemampuan mengangkat fluida yang berbeda-beda. Dalam penentuan laju produksi perlu juga dipertimbangkan nilai ketinggian fluida di atas pompa agar tetap menjaga pompa dalam posisi terendam sehingga pompa ESP dapat terus beroperasi dan produksi minyak dapat berjalan lancar. Dan untuk itu diperlukan pengaturan kecepatan motor yang lebih stabil melalui pemilihan nilai frekuensi pada VSD.

Dalam hal ini putaran motor akan dikontrol berdasarkan laju produksi dan ketinggian fluida menggunakan metode *fuzzy logic*. Penggunaan VSD memungkinkan pengoperasian pompa dengan rentang *input* frekuensi motor yang lebih luas. Frekuensi yang tegangan AC akan diubah dahulu sebelum dialirkan ke motor sehingga putaran motor dapat berubah. Proses perubahan frekuensi ini akan dianalisa menggunakan metode *fuzzy logic*.

Dengan menganalisa putaran pompa *Electrical Submersible Pump* (ESP) menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) dan mempertimbangkan perubahan Working Fluid Level diketahui nilai putaran pompa ESD dengan mengatur frekuensi VSD pada sumur ABC#123 menggunakan metode fuzzy logic berbasis Python.

Motor ESP

Motor ESP adalah jenis dua kutub, tiga fasa, sangkar tupai dan merupakan jenis motor induksi. Motor dipasang paling bawah dari rangkaian, dan motor tersebut digerakkan oleh arus listrik yang dikirim melalui kabel dari permukaan. Motor berfungsi untuk menggerakkan pompa dengan mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik [2]. Gambar 1 menampilkan konstruksi Motor ESP yang terdiri dari *Housing*, *Stator*, *Rotor* dan juga *Bearing*.



Gambar 1 Motor ESP

Variable Speed Drive (VSD)

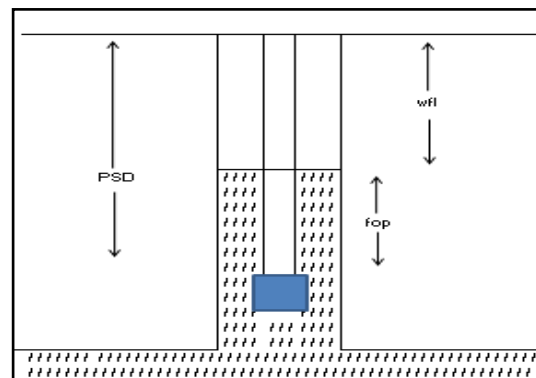
Secara umum VSD merupakan alat yang mempunyai kapasitas frekuensi yang dapat diubah sesuai dengan range tertentu. Adanya range tersebut maka akan memberikan kemudahan dalam pengaturan putaran pompa agar sesuai dengan laju alir produksi yang disesuaikan. Dengan pengaturan melalui VSD maka putaran motor pompa akan optimum tanpa harus melakukan perubahan perencanaan jumlah stage. Pengaturan putaran motor baik dengan menggunakan prinsip inverter atau VSD maupun dengan peralatan kendali otomatis, dapat

menghemat energi dikarenakan motor bekerja sesuai dengan kebutuhan [3]–[6].

Kecepatan motor tergantung pada frekuensi, hal ini memungkinkan untuk mengatur kecepatan motor dengan mengganti frekuensi output dari drive ini [3], [6], [7]. Hal ini akan memberikan manfaat jika kebutuhan untuk mengatur kecepatan dilakukan secara berulang [8]. Penentuan besarnya frekuensi output VSD yang nantinya merupakan frekuensi putaran pompa dapat ditentukan melalui beberapa jenis pengontrolan yaitu:

1. Speed Mode, yaitu pengaturan berdasarkan speed sebagai harga tetapan. Misalnya dengan speed mode pada 50 Hz, maka artinya motor akan tetap pada putaran konstan 50 Hz.
2. Current Mode, yaitu pengaturan berdasarkan running amper sebagai harga tetapan. Misalnya dengan current mode 40 Amp, berarti VSD akan mengatur putaran untuk menyesuaikan dengan running amper 40 Amp.
3. Pressure Mode, yaitu pengaturan berdasarkan tekanan bawah permukaan sebagai harga tetapan. Misalnya Pressure Mode pada 1000 psi berarti VSD akan mengatur putaran untuk menyesuaikan tekanan pada 1000 psi.

Pemilihan frekuensi VSD pada pompa juga harus mempertimbangan nilai fluid level over pump (flop) yang merupakan ketinggian fluida di atas pompa seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Ketinggian fluida di atas pompa

Pompa harus dijaga agar tetap dalam posisi terendam sehingga dapat terus beroperasi. Nilai *flop* suatu pompa sangat ditentukan oleh ketinggian *working fluid level* (*wfl*) pada saat laju alir tertentu dimana nilai *flop* dan *wfl* ini

dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan (2)

$$Flop = PSD - w_{fl} \quad (1)$$

$$PI = \frac{Q}{(w_{fl} - s_{fl}) \times G_f} \quad (2)$$

Keterangan:

PSD = Pump setting depth (ft)

PI = Productivity indeks (bfpd/psi)

Q = Laju alir fluida (barrel fluid per day atau bfpd)

s_{fl} = Static fluid level (ft)

w_{fl} = Working fluid level (ft)

G_f = Gradient fluida (psi/ft)

Penggunaan VSD memungkinkan pengoperasian pompa dengan rentang input frekuensi motor yang lebih luas. Frekuensi yang berasal dari tegangan AC akan diubah dahulu sebelum dialirkan ke motor sehingga putaran motor dapat berubah. Berdasarkan hukum *affinity*, perubahan frekuensi akan mempengaruhi *rating* produksi (*rate*), daya lempar (*head*) dan power motor, yang diilustrasikan sebagai berikut [2] :

$$New Rate = \frac{New Hertz}{60 Hertz} \times 60 Hertz Rate \quad (3)$$

Fuzzy Inference System (FIS) Mamdani

Sistem *Inference Fuzzy (Fuzzy inference system)* adalah sistem yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya. Terdapat beberapa jenis FIS yang dikenal yaitu Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto. FIS yang paling mudah dimengerti, karena paling sesuai dengan naluri manusia adalah FIS Mamdani. Metoda Mamdani dikenal juga sebagai metoda Min-Max yang diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. FIS tersebut bekerja berdasarkan kaidah-kaidah linguistik dan memiliki algoritma *fuzzy* yang menyediakan sebuah aproksimasi untuk dimasuki analisa matematik. Salah satu metode evaluasi *rule* yang banyak dipakai adalah *Inference Min-Max*. Dalam *inference* "Min-Max", solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan mengambil nilai maksimum aturan, kemudian digunakan untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikannya ke *output*. Secara umum dapat dituliskan :

$$\mu_{sf}(x_i) = \max (\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i)) \quad (4)$$

Keterangan :

$\mu_{sf}(x_i)$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-*i*

$\mu_{kf}(x_i)$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* sampai aturan ke-*i*

Tahapan Operasional Logika Fuzzy

Dalam sistem kendali logika *fuzzy*, terdapat beberapa tahapan operasional yang meliputi [9]:

a. Fuzzyfikasi

Proses *fuzzyfikasi* ini berfungsi merubah masukan *crisp* menjadi masukan *fuzzy*. Masukan *crisp* dari sistem perlu diubah ke bentuk derajat keanggotaan *fuzzy* agar dapat diolah lebih lanjut dan setiap masukan dari sistem harus dapat terwakilkan pada himpunan keanggotaan *fuzzy*. Dalam *fuzzyfikasi* semesta masukan dibagi menjadi beberapa himpunan yang lebih kecil dengan fungsi keanggotaan.

b. Evaluasi aturan (rule)

Dalam langkah kedua proses logika *fuzzy*, dinamakan evaluasi aturan (*rule*). Proses *fuzzy* menggunakan aturan linguistik untuk menentukan aksi kendali apa yang harus dilakukan dalam merespon nilai masukan yang diberikan. Evaluasi *rule* juga mengacu pada *fuzzy inference*. Sistem Inferensi *Fuzzy (Fuzzy Inference System /FIS)* disebut juga *Fuzzy Inference Engine* adalah sistem yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya. FIS ini mengaplikasikan aturan pada masukan *fuzzy* yang dihasilkan dalam proses *fuzzyfikasi*, kemudian mengevaluasi tiap aturan dengan masukan yang dihasilkan dari proses *fuzzyfikasi*.

c. Defuzzyfikasi

Defuzzifikasi merupakan proses pemetaan himpunan *fuzzy* ke himpunan tegas (*crisp*). Proses ini merupakan kebalikan dari proses *fuzzyfikasi*. Metode dalam melakukan *defuzzyfikasi* antara lain [10] :

Centroid method

Metode ini mengambil titik pusat daerah *fuzzy* sebagai solusi *crisp*. Secara umum dapat dirumuskan [10] :

$$z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad (5)$$

Operasi Himpunan *Fuzzy*

Seperti halnya himpunan konvensional, ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasikan dan memodifikasi himpunan *fuzzy*. Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi 2 himpunan sering dikenal dengan nama *fire strength* atau α - predikat. Ada 3 operator dasar yang diciptakan oleh Zadeh [11] :

1. Operator AND

Operator ini berhubungan dengan operasi instereksi pada himpunan α - predikat sebagai operasi dengan operator AND diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad (6)$$

Keterangan :

- $\mu_{A \cap B}$ = fungsi keanggotaan dalam himpunan A AND B
- $\mu_A[x]$ = fungsi keanggotaan x dalam himpunan A
- $\mu_B[y]$ = fungsi keanggotaan y dalam himpunan B

2. Operator OR

Operator OR berhubungan dengan operasi union pada himpunan, α - predikat sebagai hasil operasi dengan operator OR diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad (7)$$

Keterangan :

- $\mu_{A \cup B}$ = fungsi keanggotaan dalam himpunan A OR B
- $\mu_A[x]$ = fungsi keanggotaan x dalam himpunan A
- $\mu_B[y]$ = fungsi keanggotaan y dalam himpunan B

2 Operator NOT

Operator NOT berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan. α - predikat sebagai hasil operasi dengan operator NOT diperoleh dengan mengurangkan nilai

keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1.

$$\mu_{A^c} = 1 - \mu_A[x] \quad (8)$$

Keterangan :

- μ_A = fungsi keanggotaan dalam himpunan $NOT A$
- $\mu_A[x]$ = fungsi keanggotaan x dalam himpunan A

2. METODE PENELITIAN

Proses penelitian menggunakan data lapangan ABC sumur 123 di PT. Chevron Pacific Indonesia atau secara umum disebut sumur ABC#123. Sumur ABC#123 merupakan sumur yang dioperasikan dengan sistem artificial lift berupa ESP dan juga memasang fitur VSD untuk memudahkan pengaturan frekuensi motor sehingga motor akan berputar optimal sesuai dengan laju produksi yang diinginkan. Dengan penggunaan VSD putaran motor dapat diubah-ubah sehingga motor dapat berfungsi optimal untuk meningkatkan laju produksi [8]. Sumur ABC#123 ini dijalankan dengan VSD dan di atur dari frekuensi rendah dahulu yakni 47 Hz. Dengan pengaturan frekuensi yang cukup rendah ini, diharapkan kenaikan watercut dari sumur ABC#123 ini dapat dijaga agar tidak terjadi kenaikan yang terlalu drastis.

Nilai frekuensi pada VSD ini dapat dilakukan perubahan dengan sebelumnya melihat dahulu data welltest monitoring untuk dijadikan pertimbangan untuk pengaturan frekuensi berikutnya. Selain watercut, nilai ketinggian fluida di atas pompa atau fluid level over pump (flop) juga menjadi acuan untuk pengaturan frekuensi yang baru. Nilai flop harus dijaga sedemikian hingga agar pompa tetap dalam posisi terendam [12]. Dalam praktek di lapangan, nilai minimum ketinggian flop adalah 500ft dari pompa. Pengaturan flop ini bertujuan agar pompa berada tetap dalam posisi terendam fluida sehingga pompa dapat terus beroperasi. Apabila pompa tidak terendam, maka dapat menyebabkan kerusakan pada pompa akibat masuknya partikel selain fluida ke dalam intake, selain itu dapat pula menyebabkan kavitasi atau getar yang dapat menyebabkan shaft pompa patah.

Data Desain ESP

Tabel 1 berisi data desain dan spesifikasi peralatan ESP.

Tabel 1 Data Desain ESP

| | |
|------------------------------|-----------|
| Nama Sumur | ABC#123 |
| QESP desain pada 60 Hz | 1281 bfpd |
| Sgo (API) | 32,0 |
| SGw | 1,003 |
| Water Cut (%) | 83 |
| Kedalaman Pompa (ft) | 2498 |
| Productivity Indeks bpd/psi) | 11,87 |
| Static fluid level (ft) | 816 |
| Motor (RPM) | 3502 |
| Series | 400 |
| Stage Type | P10 |
| Type | 400P10 |
| Rate @ Best Efficiency | 1000 bfpd |
| Motor | 57/ |
| VSD | 60 |
| kVA @480V | 260 |
| Frekuensi Input (Hz) | 50/60 Hz |

| | | | |
|-----------|---------|------|----|
| 3-Aug-19 | 1048,01 | 1148 | 63 |
| 13-Aug-19 | 1019,16 | 1490 | 63 |
| 10-Sep-19 | 844,88 | 1490 | 63 |

Dalam penelitian ini *wfl* dan *flop* dijadikan variabel-variabel input yang dapat menghasilkan sebuah klasifikasi untuk menentukan VSD.

1. Penentuan data *input* dan *output* target
2. Menghitung laju produksi dan frekuensi yang baru dengan menggunakan laju produksi pompa pada frekuensi 60 Hz sebagai acuan
3. Menghitung nilai *wfl* dan *flop* pada setiap laju alir fluida berdasarkan frekuensi yang baru
4. Melakukan evaluasi terhadap data Laju Alir Fluida dan *Working Fluid Level* dan keterhubungannya dengan VSD.
5. Menerapkan logika *fuzzy* dengan langkah langkah sebagai berikut
 - a. Fuzzifikasi
 - b. Operasi *Fuzzy Logic*
 - c. Implikasi
 - d. Agregasi
 - e. *Defuzzifikasi*.
6. Mengamati hasil *defuzzifikasi* berupa VSD yang menjadi rekomendasi dari sistem terhadap perubahan dan kondisi Laju Alir Fluida dan *Working Fluid Level* terhadap VSD.
7. Menghitung putaran motor & *slip* berdasarkan frekuensi yang baru
8. Menghitung persentase kesalahan antara perhitungan dengan pengukuran di lapangan.

Data Welltest Monitoring Sumur ABC#123

Berisi data laju produksi fluida per hari, laju produksi minyak per hari, *watercut*, nilai maksimum dan minimum laju produksi, serta frekuensi VSD yang digunakan seperti pada Tabel 2:

Tabel 2 Welltest Monitoring Sumur ABC#123

| Tanggal | Laju Alir Fluida | Working Fluid Level | VSD (Rpm) |
|-----------|------------------|---------------------|-----------|
| 22-Apr-18 | 767,20 | 1240 | 47 |
| 19-Dec-18 | 673,92 | 1234 | 47 |
| 26-Dec-18 | 882,96 | 1199 | 47 |
| 2-Jan-19 | 806,16 | 1207 | 47 |
| 18-Jan-19 | 1035,00 | 1338 | 50 |
| 27-Jan-19 | 1035,84 | 1194 | 53 |
| 3-Feb-19 | 1108,80 | 1183 | 53 |
| 27-Feb-19 | 1198,08 | 1184 | 53 |
| 11-Mar-19 | 1078,40 | 1448 | 55 |
| 22-Mar-19 | 1132,32 | 1338 | 57 |
| 4-Apr-19 | 1210,80 | 1081 | 57 |
| 22-Apr-19 | 1268,00 | 1056 | 57 |
| 5-May-19 | 538,99 | 1061 | 48 |
| 18-May-19 | 538,99 | 1094 | 52 |
| 3-Jun-19 | 759,79 | 1055 | 52 |
| 13-Jun-19 | 740,45 | 1031 | 52 |
| 2-Jul-19 | 732,31 | 999 | 52 |
| 20-Jul-19 | 741 | 1094 | 60 |
| 30-Jul-19 | 992,16 | 1112 | 63 |

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, berdasarkan data samar yang ada yaitu berupa data Laju Alir Fluida dan Working Fluid Level dan keterhubungannya dengan VSD yang menggunakan fuzzy logic dalam penentuan data input dan output target. Laju alir fluida pada setiap perubahan frekuensi dapat dihitung dengan menggunakan hukum *affinity* pada persamaan (3) yang menyatakan bahwa laju alir berbanding lurus dengan frekuensi. Menghitung laju produksi dan frekuensi yang baru dengan menggunakan laju produksi pompa pada frekuensi 60 Hz sebagai acuan, sebagaimana terlihat pada Tabel 3

Tabel 3. Perhitungan Frekuensi terhadap Laju Alir Fluida

| Frekuensi (Hz) | Laju Alir (bfpd) |
|----------------|------------------|
| 47 | 1003,45 |
| 48 | 1024,80 |
| 49 | 1046,15 |
| 50 | 1067,50 |
| 51 | 1088,85 |
| 52 | 1110,20 |
| 53 | 1131,55 |
| 54 | 1152,90 |
| 55 | 1174,25 |
| 56 | 1195,60 |
| 57 | 1216,95 |
| 58 | 1238,30 |
| 59 | 1259,65 |

Berdasarkan kurva pompa yang ada kita dapat menentukan batas nilai minimum dan maksimum dari laju alir yang bisa dihasilkan pompa yaitu 600 bfpd sampai dengan 1400 bfpd, sebagaimana terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Fuzzifikasi Laju Alir Fluida

| Kriteria | Linguistik | Domain | Range |
|-------------------------|------------|-------------|-----------------|
| Laju Alir Fluida (BFPD) | Low | 600 ; 950 | 600 sampai 1400 |
| | Medium | 750 ; 1100 | |
| | High | 1050 ; 1400 | |

Fuzzifikasi Working Fluid Level

Perubahan frekuensi putaran motor akan merubah laju alir fluida yang akan berdampak pula pada nilai *working fluid level* (w_n) suatu sumur produksi, sebagaimana pada Tabel 5.

Tabel 5. Fuzzifikasi Working Fluid Level

| Kriteria | Linguistik | Domain | Range |
|---------------------|------------|-------------|-----------------|
| Working Fluid Level | Low | 403 ; 905 | 403 sampai 1905 |
| | Medium | 905 ; 1403 | |
| | High | 1403 ; 1905 | |

Fuzzifikasi Frekuensi VSD

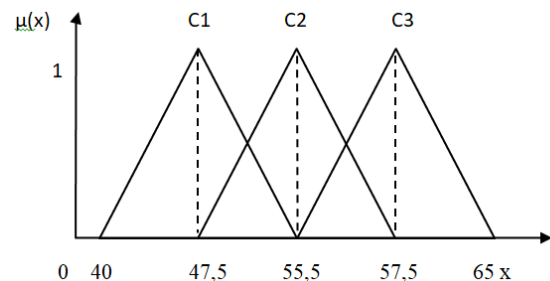
Berdasarkan data range frekuensi dari kurva pompa yang ada diketahui bahwa VSD terdapat 3 himpunan linguistik dengan domain

masing-masing sesuai dengan definisi cepat atau lambat nya laju alir fluida tersebut, seperti pada Tabel 6.

Tabel 6 Fuzzifikasi Frekuensi VSD

| Kriteria | Linguistik | Domain | Range |
|----------|------------|---------|--------------|
| VSD | Low | 40 ; 55 | 40 sampai 65 |
| | Medium | 48 ; 63 | |
| | High | 50 ; 65 | |

Fungsi keanggotaan dari variable input, diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Variabel Input batasan frekuensi

Operasi Fuzzy Logic (Pembentukan basis pengetahuan Fuzzy)

Dalam pembentukan basis pengetahuan fuzzy terdapat 2 input, masing-masing input terdiri dari 3 himpunan seperti pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Variabel Input dan Himpunan Fuzzy

| No | Input | Himpunan Fuzzy |
|----|---------------------|----------------|
| 1. | Laju Alir Fluida | A1 |
| | | A2 |
| | | A3 |
| 2. | Working Fluid Level | B1 |
| | | B2 |
| | | B3 |

Berikut ini adalah operasi *Fuzzy logic* yang merupakan *rule* yang diterapkan pada penentuan *Output* putaran pompa dengan 3 kondisi yaitu C1, C2, C3. Fungsi implikasi yang digunakan adalah aturan MIN sehingga didapat 9 aturan sebagai berikut:

- [R1] = If Jumlah Laju Alir Fluida A1 And Working Fluid Level B1 Then VSD C1;
- [R2] = If Jumlah Laju Alir Fluida A1 And Working Fluid Level B2 Then VSD C2;
- [R3] = If Jumlah Laju Alir Fluida A1 And Working Fluid Level B3 Then VSD C3;
- [R4] = If Jumlah Laju Alir Fluida A2 And Working Fluid Level B1 Then VSD C1;
- [R5] = If Jumlah Laju Alir Fluida A2 And Working Fluid Level B2 Then VSD C2;
- [R6] = If Jumlah Laju Alir Fluida A2 And Working Fluid Level B3 Then VSD C3;
- [R7] = If Jumlah Laju Alir Fluida A3 And Working Fluid Level B1 Then VSD C1;
- [R8] = If Jumlah Laju Alir Fluida A3 And Working Fluid Level B2 Then VSD C2;
- [R9] = If Jumlah Laju Alir Fluida A3 And Working Fluid Level B3 Then VSD C3.

Fuzzifikasi Data

Fuzzifikasi merupakan tahap awal dari proses inferensi, dimana Fuzzifikasi adalah proses merubah data yang telah di *input* yang berupa data *crisp* (tegas) menjadi data dalam bentuk himpunan *Fuzzy* dengan fungsi keanggotaan [9]. Untuk perhitungan digunakan data berikut :

Laju Alir Fluida = 1051 bfpd
 Working Fluid Level = 1300 ft

Menghitung nilai keanggotaan Laju Alir Fluida 1051 bfpd

Nilai 1051 bfpd termasuk fungsi keanggotaan Laju Alir Fluida himpunan A2 dan A3, maka nilai keanggotaannya adalah :

$$\begin{aligned} \mu_{A2} [1051] &= (1100 - x) / (1100 - 750) \\ &= (1100 - 1051) / (150) \\ &= 49 / 150 = 0,327 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{A3} [1051] &= (x - 1050) / (1050 - 1225) \\ &= (1051 - 1050) / (175) \\ &= 1 / 175 = 0,0057 \end{aligned}$$

Menghitung nilai keanggotaan *Working Fluid* 1300 ft

Nilai 1300 ft termasuk fungsi keanggotaan *Working Fluid* himpunan B2, maka

nilai keanggotaannya dapat dihitung menggunakan persamaan (7) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \mu_{B2} [1300] &= (1403 - x) / (1403 - 905) \\ &= (1403 - 1300) / (249) \\ &= 103 / 249 = 0,413 \end{aligned}$$

Aplikasi Fungsi Implikasi

Setelah proses Fuzzifikasi, tahapan berikutnya adalah menentukan aplikasi fungsi implikasi. Aplikasi fungsi implikasi pada metoda Fuzzy logic digunakan fungsi MIN. Pada tahapan ini setiap derajat keanggotaan diproses kedalam 9 aturan Fuzzy yang telah dibuat sebelumnya. Dengan nilai keanggotaan Fuzzifikasi yang telah didapat, maka α -predikat (fire strength) dapat ditentukan dengan aturan [R5] dan [R8].

DeFuzzifikasi

Langkah yang digunakan untuk melakukan deFuzzifikasi pada penelitian ini adalah menggunakan metode rata-rata (Average) sesuai persamaan (5):

$$Z^* = \frac{\sum \mu_i . z_i}{\sum \mu_i}$$

Sehingga di dapatkan nilai berdasarkan perhitungan di atas adalah sebagai berikut:

$$Z \text{ Total} = (0,28 \times 50,1) + (0,0057 \times 48,042) / (0,28+0,0057)$$

$$Z \text{ Total} = 50,058 \text{ Hz}$$

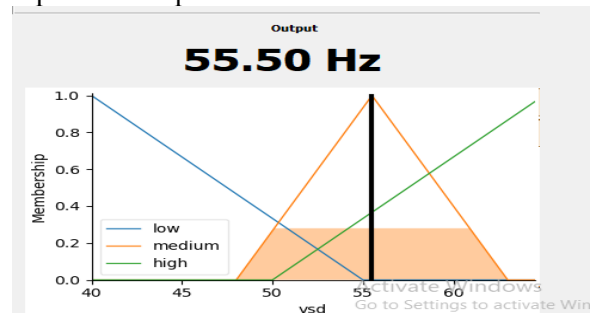
$$Z' \text{ Total} = (0,28 \times 60,9) + (0,0057 \times 62,957) / (0,28+0,0057)$$

$$Z' \text{ Total} = 60,941$$

$$(Z + Z') / 2 = (50,058 + 60,941) / 2 = 55,5 \text{ Hz}$$

Maka didapatkan nilai VSD untuk Laju Alir Fluida 1051 bfpd dan Working Fluid Level 1300 ft adalah 55,5 Hz. Dan dari hasil perhitungan diatas dapat digambarkan menjadi sebuah grafik seperti dibawah ini dimana hasil VSD dari himpunan *Fuzzy* melalui Z total adalah 55,5 Hz

Selanjutnya hasil himpunan frekuensi diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Himpunan Frekuensi

Perbandingan Hasil Perhitungan Laju Alir Fluida Secara Fuzzy dan pengukuran

Tabel 8. Hasil Welltest Monitoring Sumur ABC#123

| Frekuensi (Hz) | Laju Alir Perhitungan (bfpd) | Laju Alir Aktual (bfpd) | % Kesalahan |
|----------------|------------------------------|-------------------------|-------------|
| 50 | 1067,5 | 1035,84 | 3% |
| 53 | 1131,55 | 1198,08 | -6% |
| 55 | 1174,25 | 1078,4 | 8% |
| 57 | 1216,95 | 1268,8 | -4% |

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan analisa pada data sumur ABC#123, diperoleh kesimpulan :

1. Frekuensi yang ditetapkan pada VSD akan mempengaruhi putaran motor pompa ESP mempengaruhi laju alir yang dapat dihasilkan oleh pompa ESP. Semakin besar nilai frekuensi yang ditetapkan pada VSD maka pompa ESP akan menghasilkan laju produksi yang semakin meningkat seperti saat VSD di atur pada frekuensi 47 Hz akan maka pompa ESP akan menghasilkan laju alir sebesar 1003,45 bfpd. Kemudian ketika frekuensi VSD dinaikkan menjadi 57 Hz maka jumlah laju alir yang dapat dihasilkan oleh pompa ESP akan meningkat menjadi 1216,95 bfpd.
2. Berdasarkan metode *fuzzy logic* dapat ditentukan nilai frekuensi pada VSD berdasarkan laju alir fluida yang diinginkan dengan ketinggian fluida yg ada pada sumur.
3. Nilai frekuensi antara perhitungan dan metode *fuzzy logic* memiliki error yang cukup kecil (rata-rata 3%)
4. Dengan metode *fuzzy logic* didapatkan nilai frekuensi sebesar 55,5 hz untuk laju alir 1051 bfpd dan ketinggian fluida 1300 feet.
5. Penggunaan metode *fuzzy logic* ini dapat dikembangkan dengan Python aplikasi lebih cepat dan mudah karena modul *fuzzy* dan matematika sudah tersedia

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. A. Marpaung, "Optimasi Penggunaan Electric Submersible Pump Pada Sumur RN dan NM Di Lapangan Y Berikut Rincian Metode Pemasangannya," in *Seminar Nasional Cendekiawan*, 2015.
- [2] W. S. Roosa, "Submersible Pump," *Met. Finish.*, vol. 99, no. 8, p. 35, 2001.
- [3] Erisman, H. Eteruddin, and A. Atmam, "Evaluasi Kinerja Motor Ship Moving 3 Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Pada PLTU Tenayan Raya Pekanbaru," in *Seminar Nasional Cendekiawan ke 4*, 2018, pp. 237–242.
- [4] R. Ratnadewi *et al.*, "Control and Notification Automatic Water Pump with Arduino and SMS Gateway," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 407, p. 12160, 2018.
- [5] D. Setiawan, H. Eteruddin, and A. Arlenny, "Desain dan Analisis Inverter Satu Fasa Berbasis Arduino Menggunakan Metode SPWM," *Jurnal Teknik*, vol. 13, no. 2, pp. 128–135, 2019.
- [6] A. Atmam, A. Tanjung, and Z. Zulfahri, "Analisis Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD)," *SainETIn*, vol. 2, no. 2, pp. 52–59, 2018.
- [7] E. P. Wibowo, E. Zondra, and U. Situmeang, "Studi Penggunaan Variable Speed Drive Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Exhaust Fan Pada Dyno Test Room PT. Trakindo Utama Pekanbaru," *Jurnal Teknik*, vol. 12, no. 2, pp. 85–96, 2018.
- [8] T. Aditya, "Research to study Variable Frequency Drive and its Energy Savings," *Int. J. Sci. Res.*, 2013.
- [9] F. Derroncourt, "Introduction to fuzzy logic," *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, vol. 1, no. October, pp. 50–56, 1995.
- [10] L. Maulida, "Implementasi Logika Fuzzy Mamdani Untuk Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Perusahaan Listrik Negara (PLN) Rayon Banda Aceh," Universitas Syaikh Kuala, 2016.
- [11] L. A. Zadeh and R. A. Aliev, "Introduction to Fuzzy Logic Control," in *Fuzzy Logic Theory and Applications*, New Jersey: World Scientific, 2018, pp. 327–351.
- [12] J. A. Veil, "Interest revives in downhole oil-water separators," *Oil Gas J.*, vol. 99, no. 9, pp. 47–47, 2001.