

**IR. KADARYONO, M.T.  
MUALIFI USMAN, ST., M.T.**



# **OPTIMASI LOAD FREQUENCY CONTROL (LFC)**

**Pada Sistem Pembangkit Listrik  
Tenaga Mikrohidro di Kabupaten Jombang  
Menggunakan Metode Firefly Algorithm (FA)**

***OPTIMASI LOAD FREQUENCY CONTROL (LFC)***  
**Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di**  
**Kabupaten Jombang Menggunakan Metode Firefly**  
**Algorithm (FA)**

Copyright © Desember 2022

Penulis : **IR. Kadaryono, M.T.**  
**Mualifi Usman, ST., M.T**  
Desain Sampul : **Muzammil Akbar**  
Editor : **Machrus Ali, ST., MT., IPM.**

Ukuran: 14.8 x 21 cm; Hal: vii + 45 (52)

Cetakan I, Desember 2022

**ISBN 978-623-5451-61-9**



*Penerbit*

*Insight Mediatama*

*Anggota IKAPI No. 338/JTI/2022*

*Watesnegoro No. 6 (61385) Mojokerto*

*Whatsapp 081234880343*

*Email: insightmediatama@gmail.com*

© **All Rights Reserved** Ketentuan Pidana Pasal 112-119 Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta. Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit dan penulis.

## **KATA PENGANTAR**

Puji Syukur kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan Hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku dengan judul: Optimasi *Load Frequency Control* (LFC) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kabupaten Jombang Menggunakan Metode *Firefly Algorithm* (FA).

Kami menyadari bahwa buku ini jauh dari kesempurnaan, namun kami berharap semoga buku ini bermanfaat didunia ilmu pengetahuan dan teknologi.

Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro.....	1
1.2 Manfaat .....	6
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>8</b>
2.1 Kajian Pustaka.....	8
2.2 Pemodelan Sistem .....	10
2.2.1 SistemPembangkit Listrik Tenaga Micro Hidro ..	10
2.2.2 Diagram Skematik LFC pada Generator.....	12
2.2.3 PID ( Proportional Integral Derivative) .....	15
2.2.4 Variabel Penelitian.....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1 Metode Optimasi.....	17
3.2 Tahapan Penelitian.....	19
3.3 Lokasi Penelitian.....	20
3.4 Variabel Penelitian.....	20
3.5 Pengumpulan Data .....	21
3.6 Firefly Algorithm .....	21
3.6.1 Penggunaan FA dalam Penelaan PID .....	24

<b>BAB IV SIMULASI DAN ANALISA .....</b>	<b>28</b>
4.1 Model PLTMH.....	28
4.2 Load Frequency Control (LFC) .....	30
4.3 Parameter PLTMH.....	30
4.4 Model Kontrol.....	33
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>42</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>45</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Parameter FA .....	27
Tabel 4.1. Parameter Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hidro .....	32
Tabel 4.2. Konstanta $K_p$ , $K_i$ , dan $K_d$ PLTMH .....	34

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Blog Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hidro.....	11
Gambar 2.2. Diagram Skematik LFC pada Generator.....	14
Gambar 2.3. Blok Diagram PID Controller .....	15
Gambar 3.1. Diagram Alir Proses Langkah-langkah Penelitian .....	17
Gambar 3.2. Diagram Alir Pengaturan Frekuensi pada sistem PLTMH .....	18
Gambar 3.3. Diagram Alir Penalaan FA pada PID.....	26
Gambar 4.1. Diagram Blok Sistem PLTMH.....	29
Gambar 4.2. Pengaturan Frekuensi pada PLTMH.....	33
Gambar 4.3. Blok Diagram Load Frequency Control (LFC)	34
Gambar 4.4. Model Simulasi Beberapa Macam Kontrol.....	35
Gambar 4.5. Hasil Respon LFC .....	36
Gambar 4.6. Hasil Reson Sistem PLTMH.....	38





# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro**

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggeraknya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Mikro hidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikro hidro memiliki tiga komponen utama yaitu air(sumber energi), turbin dan generator (Tsabit Mustarin. 2015).

Buku ini dikembangkan dengan menggunakan

beberapa referensi yang berhubungan dengan obyek pembahasan. Penggunaan referensi ditujukan untuk memberikan batasan-batasan sistem yang nantinya dapat dikembangkan lebih lanjut dalam penelitian selanjutnya. Buku ini merupakan kelanjutan dari paper ©2013 IEEE Tiejun Sun, Hongtao Mi, 2013, yang berjudul: *Electromagnetic Performance Controlling Using Intelligent Algorithm for Hydroelectric Generator* pada *International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC)* (Tiejun. 2013). Dalam *paper* ini membahas tentang penggunaan *Intelligent Algorithm* untuk pengaturan *exitasi* pada *Generator*. Dalam paper ini digunakan Fuzzy-PID controller dan IPSO (Improved PSO) algorithm. Paper ini belum membahas LFC, PID-ZN, PID-*Auto*

*Tunning*, *Valve*, Sensor, Turbin, Governor, PID-AI lain, Fuzzy-AI, ANFIS, Generator lain, PID-PSO (Standart). Pada penelitian yang akan dilakukan, membahas tentang kontrol PID dengan menggunakan *tunning* PID-FA (Standart).

Paper lainnya yang berhubungan dengan buku ini adalah jurnal Dwi Hendra Kusuma, 2016 yang berjudul *Desain Optimasi Load Frequency Control (LFC)*. Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan *Proportional Integral Derivative (PID) Controller* Berbasis *Particle Swarm Optimization (PSO)*.

Perkembangan dalam bidang teknologi kontrol saat ini semakin pesat salah satunya teknologi pengendali pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Mikro hidro atau yang dimaksud dengan

pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggeraknya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Mikro hidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikro hidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator.

Permasalahan yang sering terjadi pada sistem pembangkit mikro hidro adalah terjadinya putaran tidak konstan generator yang disebabkan oleh perubahan beban yang tersambung. Sehingga menyebabkan terjadinya fluktuasi frekuensi pada

sistem yang dapat mengakibatkan kerusakan peralatan listrik. Frekuensi dan tegangan listrik yang dihasilkan generator mikro hidro sangat dipengaruhi oleh kecepatan putar generator. Sedangkan kecepatan putar generator dipengaruhi oleh beban. Pada malam hari (diatas pukul 23.00), sembilan puluh persen rumah mematikan lampu, maka beban mikro hidro menjadi turun. Hal ini akan mengakibatkan roda gerak berputar lebih cepat. Akibatnya frekuensi listrik akan naik dan bila terlalu tinggi akan merusak alat-alat elektronik yang digunakan di rumah-rumah. Oleh karena itu, pengendalian frekuensi agar selalu berada pada daerah kerja antara 49 Hz – 51 Hz sangat diperlukan. (Tsabit Mustarin. 2015)

Untuk mendapatkan nilai konstanta PID Controller secara manual, akan memerlukan waktu

yang panjang dan hasil yang didapat kurang maksimal. Untuk memperoleh hasil yang optimal diperlukan metode yang baik untuk menentukan konstanta PID Controller. Konstanta PID Controller yang tepat akan menghasilkan control LFC yang baik. Dengan kesetabilan frekuensi yang baik akan berdampak pada keamanan peralatan listrik penduduk desa Sumber kecamatan Wonosalam menjadi lebih baik dan stabil dibandingkan dengan kontrol konvensional.

## **1.2 Manfaat**

1. Dengan buku ini bisa digunakan untuk melihat langsung kondisi PLTMH di desa Sumber kecamatan Wonosalam, dari segi pengamanan jaringan, pentanahan, atau keselamatan daerah lingkungan sekitarnya.

2. Dengan buku ini diharapkan dapat memperbaiki frekuensi PLTMH sehingga terhindar dari kerusakan peralatan listrik akibat tidak stabilnya frekuensi.
3. Dengan adanya hasil buku ini diharapkan dapat menambah keilmuan dibidang konversi energi.
4. Dengan buku ini hasilnya bisa digunakan untuk mempublikasikan karya ilmiah peneliti, dengan mengadakan seminar nasional atau memasukkan buku ini kedalam jurnal nasional.
5. Peneliti bisa mengembangkan ilmu ketenagalistrikan dan dapat dipakai untuk membuat jurnal di International International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI 2018)

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Kundur, P, *Power System Stability and Control*, dibahas tentang kesetabilan dan control generator, teori tentang generator, karakteristik generator, turbin air, governor, kesetabilan frekuensi, daya dan tegangan generator, sistem kerja kontroler.

Imam Robandi, *Desain Sistem Tenaga Modern: Optimasi, Logika Fuzzy, dan Algoritma Genetika*; membahas tentang desain turbin, AVR, LFC, generator dan algoritma *Artificial Intelligence*.

DS.Henderson, *An advanced electronic load governor for control of Micro hydroelectric power generation*; membahas tentang governor untuk mengontrol pembangkit listrik tenaga air. Muh Budi R



Widodo, Soedibyo, Ali Musyafa, dan Imam Robandi  
Aplikasi Fuzzy PID pada Pengendali Wicket Gate  
pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro;  
membahas tentang aplikasi PID pada pengendali  
*wicket Gate* pada pembangkit listrik tenaga  
mikrohidro, tuning PID konvensional, auto tuning  
PID, PID dituning dengan *AI*, penggunaan Fuzzy  
Sugeno dan Mamdani. M. Hammandlu, H. Goyal,  
*Proposing a new advanced control technique for  
micro hydro power plants*; membahas teknik kontrol  
pada plan mikrohidro, beberapa teknik kontrol  
kecepatan putar, teknik kontrol kesetabilan tegangan,  
kontrol frekuensi. Yang, X. S. Firefly algorithms for  
multimodal optimization; membahas tentang  
algoritma firefly, pergerakan firefly, kecepatan  
firefly, kecerahan firefly. Dimas Angriawan Santoso

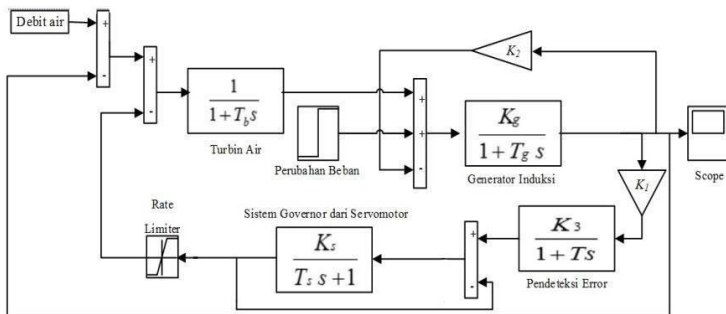
Perancangan *Load Frequency Control* (LFC) dengan *Capasitive Energy Storage* (CES) menggunakan *Particle Swarm Optimization* dan *Bacteria Foraging Algorithm* pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro; membahas tentang perancangan *Load FrequencyControl* (LFC), desain sistem LFC dan simulasi dengan Matlab.

## ***2.2 Pemodelan Sistem***

### **2.2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro**

Sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro pada buku ini menggunakan sebuah generator induksi, sebuah motor servo yang dioperasikan sebagai governor, dan beberapa komponen-komponen yang dimodelkan pada simulasi menggunakan

program MATLAB-SIMULINK. Gambar 2.1. Menunjukkan konfigurasi dari pembangkit Listrik tenaga mikro hidro yang dirancang pada buku ini.



**Gambar 2.1.** Diagram blok sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro (Tsabit Mustarin et.al., 2015) (Djalal et.al., 2015)

Dari blok pendeteksi error, sinyal  $\Delta\omega$  akan diteruskan ke blok servomotor yang digunakan sebagai governor. Pada blok ini terdapat parameter  $K_s$  dan  $T_s$ . Adapun pada sisi output governor ada sinyal yang diumpanbalikkan sebagai nilai masukan pada

governor tersebut. Juga output dari governor ini diteruskan ke *rate limiter* yang berfungsi untuk membatasi sinyal pada nilai saturasi paling tinggi dan paling rendah yang telah ditentukan. Dari keluaran *rate limiter* ini, diteruskan sebagai masukan pada blok turbin air. (Tsabit Mustarin, 2015)\

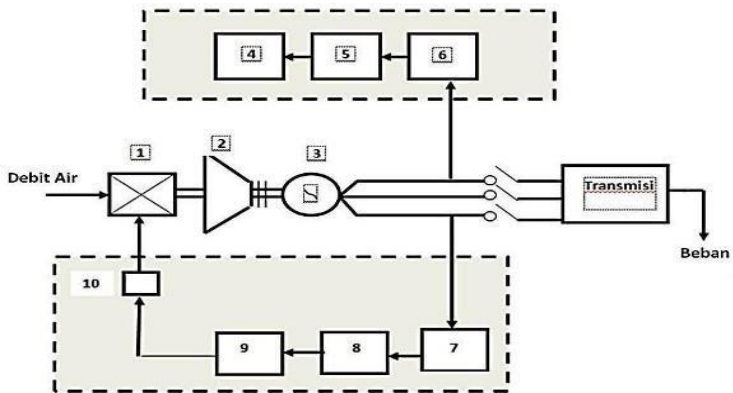
### **2.2.2 Diagram Skematik LFC Pada Generator (Kurang teori microhidro)**

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro semakin banyak digunakan sebagai alternatif sumber energi listrik, pembangkit listrik tenaga mikro hidro memiliki kelebihan secara teknis dan ekonomis. Hal tersebut disebabkan mikro hidro adalah pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang tidak

memerlukan instalasi penyimpanan air yang luas dan ramah lingkungan. Permasalahan yang sering terjadi pada sistem pembangkit mikro hidro adalah terjadinya putaran tidak konstan generator yang disebabkan oleh perubahan beban yang tersambung. Sehingga menyebabkan terjadinya fluktuasi frekuensi pada sistem yang dapat mengakibatkan kerusakan peralatan listrik. Frekuensi dan tegangan listrik yang dihasilkan generator mikro hidro sangat dipengaruhi oleh kecepatan putar generator. Sedangkan kecepatan putar generator dipengaruhi oleh beban. Oleh karena itu, pengendalian frekuensi diperlukan agar selalu berada pada daerah kerja sangat

diperlukan. Saat ini Artificial Intelegent (AI) sering digunakan untuk mengembangkan berbagai keilmuan diantaranya sebagai control steer kendaraan, sebagai control sudu turbin angin, sebagai kontrol mikrohidro, sebagai control kecepatan motor DC.

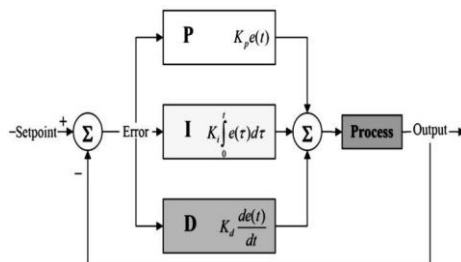
Berikut ini adalah diagram skematik LFC pada Generator. Sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Diagram Skematik LFC pada Generator(Saadat, 1999).

### 2.2.3 PID (*Proportional Integral Derivative*)

PID (*Proportional Integral Derivative*) Controller merupakan *controller* untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik / *feed back* pada sistem tersebut. Komponen PID terdiri dari 3 jenis, yaitu Proportional, Integratif, dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri, tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu *plant*.



Gambar 2.3. Blok Diagram PID Controller

Ada 3 macam control PID yaitu control PI, PD, dan PID. PI adalah kontrol yang menggunakan komponen proportional dan integratif. PD adalah kontrol yang menggunakan komponen proportional dan derivatif. Dan PID adalah kontrol yang menggunakan komponen proportional, integratif, dan derivative

#### **2.2.4 *Variabel Penelitian***

Dalam buku ini akan digunakan variabel untuk masing-masing tahapan perencanaan meliputi: desain PLTMH, frekuensi sistem, konstanta membership function konstanta ( $w$ ,  $c1$  dan  $c2$ ), konstanta turbin ( $Tb$ ,  $\omega$ ,  $fg$ ), konstanta generator ( $Kg$ ,  $Tg$ ,  $Sg$ ,  $Vg$ ,  $pf$ ,  $K1, K2$ ,  $K3$ ), governor ( $Ks$ ,  $Ts$ ).

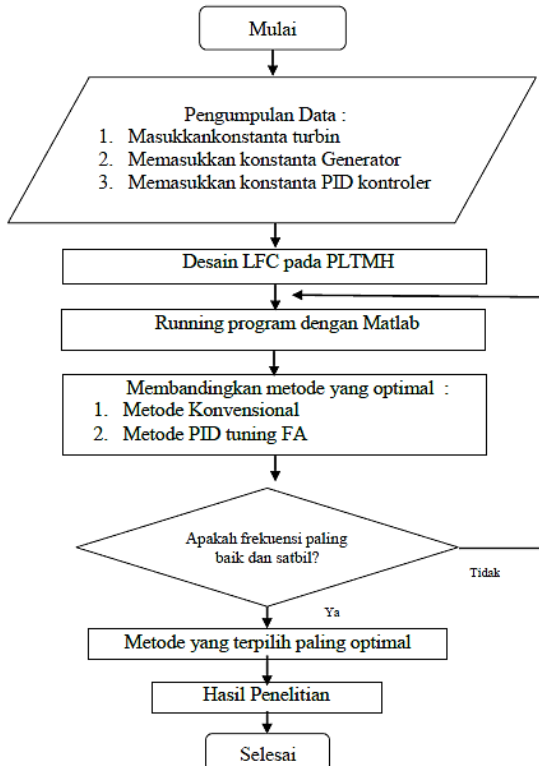


# BAB III METODE PENELITIAN

## 3.1 METODE OPTIMASI

### 1. Kerangka Konsep Penelitian

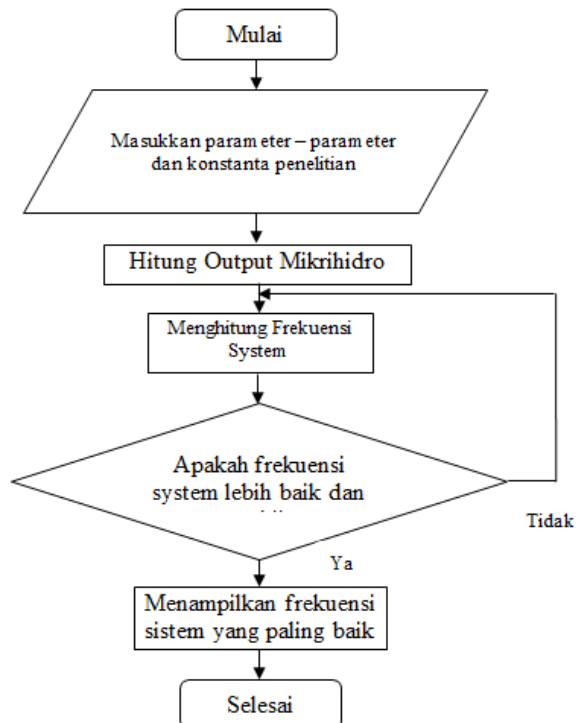
Diagram alir proses langkah-langkah penelitian terlihat pada gambar 3.1



**Gambar 3.1** Diagram alir proses langkah-langkah penelitian

## 2. Diagram alir penyelesaian Desain pengaturan frekuensi sistem PLTMH

Diagram alir penyelesaian desain pengaturan frekuensi pada sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro terlihat pada gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Diagram alir pengaturan frekuensi pada sistem PLTMH

### **3.2 Tahapan Penelitian**

1. Membuat desain kontrol LFC pada PLTMH, meliputi desain turbin, desaingenerator, desain kontroler.
2. Menentukan konstanta variable turbin, generator dan PID kontroler
3. Membandingkan kesetabilan frekuensi pada PLTMH sebelum menggunakan controller dan setelah menggunakan PID kontroler tanpa tunning, dengan auto tunning PID dan PID dituning dengan FA.
4. Memperbaiki setting PID kontroler dengan hasil tuning FA, dengan memperbaiki rangkaian kontrolnya.
5. Membuat paper untuk seminar atau jurnal.

### **3.3 Lokasi Penelitian**

Buku ini dilakukan dengan melakukan analisis dari data-data yang ada pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di desa Sumber kecamatan Wonosalam kabupaten Jombang.

### **3.4 Variabel Penelitian**

Dalam buku ini akan digunakan variabel untuk masing-masing tahapan perencanaan meliputi; desain PLTMH, frekuensi sistem, konstanta PID ( $k_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ), konstanta firefly algorithm ( $\beta$ ,  $y$ ,  $\alpha$ ), konstanta turbin ( $T_b$ ,  $\omega$ ,  $f_g$ ), konstanta generator ( $K_g$ ,  $T_g$ ,  $S_g$ ,  $V_g$ ,  $pf$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ), governor ( $K_S$ ,  $T_s$ ).

### **3.5 Pengumpulan Data**

Data yang digunakan dalam buku ini adalah data yang ada pada Sumber kecamatan Wonosalam kabupaten Jombang. Adapun data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Data teknis pipa penstock, runner, turbin, generator.
2. Desain governor, Turbin, generator dan PID controller.
3. Mengukur, mencatat dan menganalisa tentang frekuensi, tegangan, arus dan daya sistem.

### **3.6 *FIREFLY ALGORITHM* (FA)**

Metode yang digunakan untuk mengoptimisasi parameter PID adalah metode *Firefly Algorithm* (FA). Algoritma ini pertama ditemukan oleh Dr. Xin-

She Yang di Universitas Cambridge pada tahun 2007. Pada algoritma ini terdapat tiga perumusan dasar :

1. Semua kunang-kunang adalah unisex, jadi suatu kunang-kunang akan tertarik dengan kunang-kunang lain terlepas dari jenis kelamin mereka.
2. Daya tarik sebanding dengan kecerahan, maka kunang-kunang dengan kecerahan lebih redup akan bergerak ke arah kunang-kunang dengan kecerahan lebih terang dan kecerahan berkurang seiring dengan bertambah jarak. Apabila tidak ada kunang-kunang yang memiliki kecerahan paling cerah maka kunang-kunang akan bergerak random.

3. Tingkat kecerahan kunang-kunang dideterminasikan oleh tempat dari fungsi objektif kunang-kunang.

Dalam proses permasalahan optimisasi, kecerahan cahaya kunang-kunang adalah sebanding untuk nilai dari fungsi tujuan. Bentuk lain dari kecerahan dapat didefinisikan pada cara yang sama untuk fungsi fitness pada algoritma genetika (Yang, X. S, 2009). Berdasarkan pada ketiga peraturan ini, langkah dasar dari algoritma kunang-kunang (FA) dapat diringkas sebagai *pseudo code* berikut(Dimas Angriawan 2014).

Fungsi objektif  $f(x)$ ,  $x = (x_1, \dots, x_d)^T$

Inisialisasi populasi kunang-kunang  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )

Tentukan koefisien penyerapan cahaya  $y$

*while*( $t < \text{Max Generation}$ )

*for*  $i = 1 : n$  semua  $n$  kunang-kunang

*for*  $j = 1 : i$  semua  $n$  kunang-kunang

Intensitas cahaya  $I_i$  pada  $x_i$  ditentukan oleh  $f(x_i)$

*if* ( $I_j > I_i$ )

Pindahkan kunang-kunang  $I$  menuju  $j$  pada dimensi  $d$

*end if*

Ketertarikan populasi dengan  
jarak  $r$  pada  $\exp[-y r]$  Evaluasi  
solusi baru dan perbarui  
intensitas cahaya *end for*  $j$

*end for*  $i$

Urutkan peringkat kunang-kunang dan cari posisi terbaik baru

*end while*

### **3.6.1 PENGGUNAAN FA DALAM PENALAN PID**

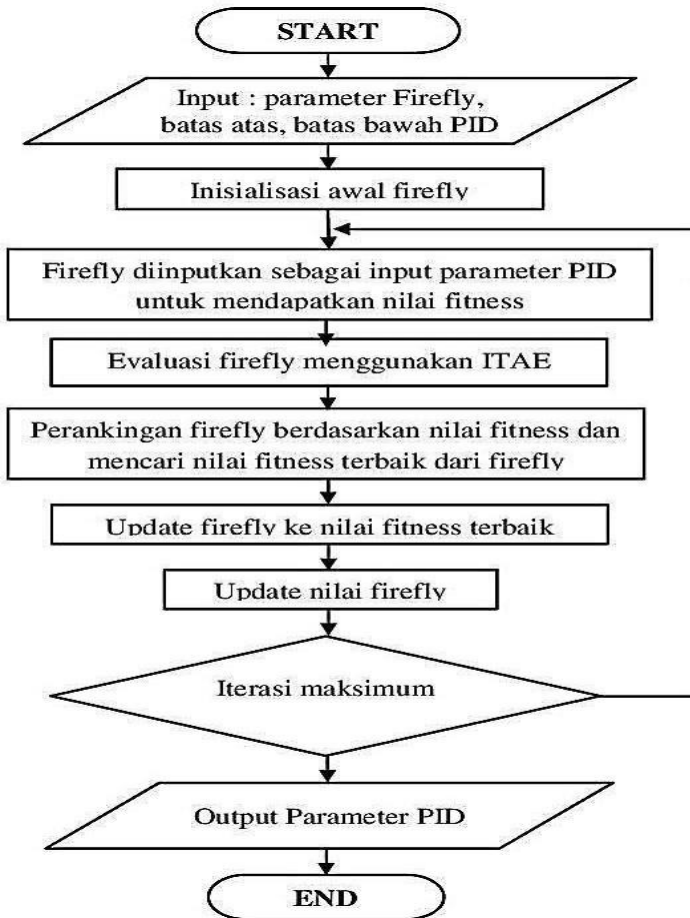
Gambar 3.3 menunjukkan diagram alur algoritma metode *Firefly Algorithm (FA)* yang digunakan pada penelitian buku ini.



Fungsi objektif yang digunakan untuk menguji kestabilan sistem adalah dengan *Integral Time Absolut Error* (ITAE).

$$ITAE = \int_0^t |\Delta\omega(t)| dt$$

Parameter PID yang ditala oleh FA adalah Kd, Kp, Ki. Adapun untuk diagram alur proses penalaan parameter PID dengan menggunakan metode *firefly algorithm* ditunjukkan oleh *flowchart* pada Gambar 3.3. Dengan melihat diagram alur, akan lebih memudahkan kita untuk mengetahui runtutan-runtutan proses yang perlu dilakukan untuk menyusun suatu sistem (Yang, X. S, 2009).



**Gambar 3.3.** Diagram alir penalaan FA pada PID  
(Yang, X. S, 2009)

Adapun data **parameter**-parameter FA yang

digunakan ditunjukkan pada tableberikut.

**Tabel 3.1** Parameter FA

<b>Parameter</b>	<b>Nilai</b>
<i>Alpha</i>	0.25
<i>Beta</i>	0.2
<i>Gamma</i>	1
<i>Dimensi</i>	3
<i>Jumlah Kunang-Kunang</i>	50
<i>Iterasi maksimum</i>	50

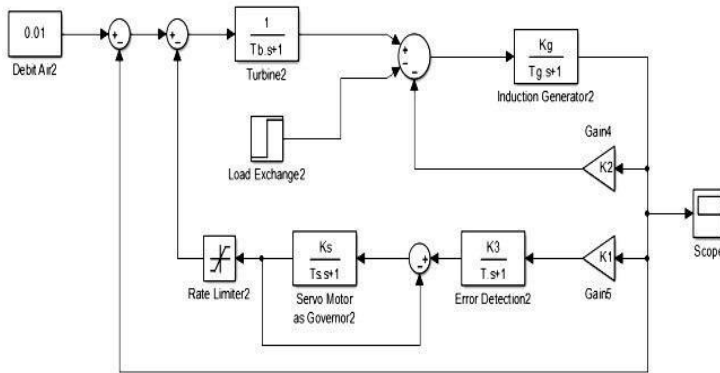
## **BAB IV**

### **SIMULASI DAN ANALISA**

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggeraknya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator.

#### **4.1 Model PLTMH**

Diagram bol system PLTMH dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini:



Gambar 4.1. Diagram blok sistem PLTMH

Dari blok pendeteksi error, sinyal  $\Delta\omega$  akan diteruskan ke blok servomotor yang digunakan sebagai governor. *Pada* blok ini terdapat parameter  $K_s$  dan  $T_s$ . Adapun pada sisi output governor ada sinyal yang diumpun balikkan sebagai nilai masukan pada governor tersebut. Juga output dari governor ini diteruskan ke *rate limiter* yang berfungsi untuk membatasi sinyal pada nilai saturasi paling tinggi dan paling rendah yang telah

ditentukan. Dari keluaran rate limiter ini, diteruskan sebagai masukan pada blok turbin air.

#### ***4.2 Load Frequency Control (LFC)***

LFC bekerja secara bersamaan dengan sensor frekwensi dengan tujuan utamanya adalah menjaga agar frekwensi tetap sama sebagai ukuran dari perubahan daya aktif sistem. Oleh karena itu, pada LFC terdapat variabel daya aktif referensi  $P_{ref}$  sehingga seperti pada AVR maka pada komparator akan terbaca seberapa besar perubahan daya aktif yang terjadi yang kemudian disebut sebagai error sebesar  $\Delta P$ . Error inilah yang kemudian sebagai input utama dari governor.

#### ***4.3 Parameter PLTMH***

Pada diagram blok diatas terdapat parameter-parameter yang menunjukkan masing-masing bagian

dari pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Dimulai dari bagian input sistem yang nilainya diperoleh dari besarnya debit air untuk memutar turbin air. Selanjutnya masuk pada blok Turbin Air yang memiliki parameter  $T_w$  pada turbin, energi air yang memutar turbin dikonversikan menjadi daya mekanis yang menjadi salah satu nilai masukan untuk generator. Dari blok pendeteksi error, sinyal akan diteruskan ke blok servomotor yang digunakan sebagai governor. Pada blok ini terdapat parameter  $K_s$  dan  $T_s$ . Adapun pada sisi output governor ada sinyal yang diumpanbalikkan sebagai nilai masukan pada governor tersebut. Juga output dari governor ini diteruskan ke *rate limiter* yang berfungsi untuk membatasi sinyal pada nilai saturasi paling tinggi dan paling rendah

yang telah ditentukan. Dari keluaran rate limiter ini, diteruskan sebagai masukan pada blok turbin air.

Selain parameter - parameter yang telah ditentukan sebelumnya, terdapat juga nilai input pada generator yang berasal dari *Load Exchange* atau perubahan frekuensi beban. Sinyal input akibat perubahan beban ini merupakan bagian yang sangat menentukan bagaimana system pengaturan frekuensi ini berjalan. Nilai sinyal ini dapat berubah-ubah nilainya, tergantung besar atau kecilnya beban daya listrik yang digunakan oleh pelanggan.

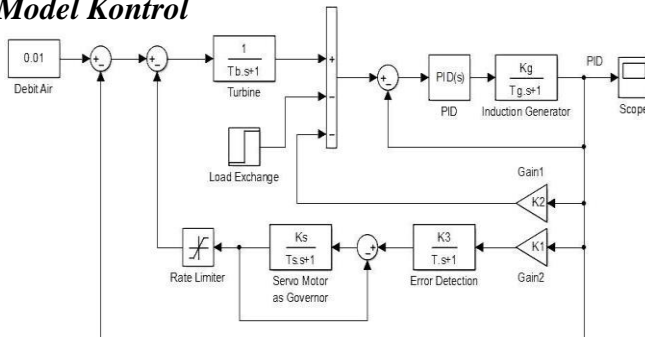
Tabel 4.1. Parameter Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

	Nilai	Keterangan
<i>Tb</i>	1	Respon waktu turbin air (s)
<i>Kg</i>	1	Penguatan pengatur generator indksi (s)



$T_g$	13,333	Respon waktu generator induksi (s)
$K1$	5	Konstanta penguatan <i>Error Detection</i>
$K2$	8,52	Konstanta penguatan deviasi frekuensi
$K3$	0,004	Penguatan pengatur <i>Error Detection</i>
$T$	0,02	Respon waktu <i>Error Detection</i>
$T_s$	0.1	Konstanta waktu governor (s)
$KS$	2,5	Penguatan pengatur governor
$S_g$	40	Rating daya generator mikro hidro (kVA)
$pf$	0,8	Faktor daya
$V_g$	400/231	Tegangan nominal generator (V)
$\omega$	1500	Kecepatan rotasi nominal (rpm)
$f_g$	50	Frekuensi nominal mikro hidro (Hz)

#### 4.4 Model Kontrol



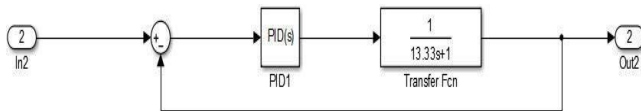
Gambar 4.2. Pengaturan Frekuensi pada PLTMH

Dengan memasukkan parameter-parameter dan running program pada plan pembangkit mikrohidro didapatkan nilai konstanta PID pada masing-masing model. Konstanta  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  pada PID dapat dilihat pada table 4.2. dibawah ini:

Tabel 4.2. Konstanta  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  PLTMH

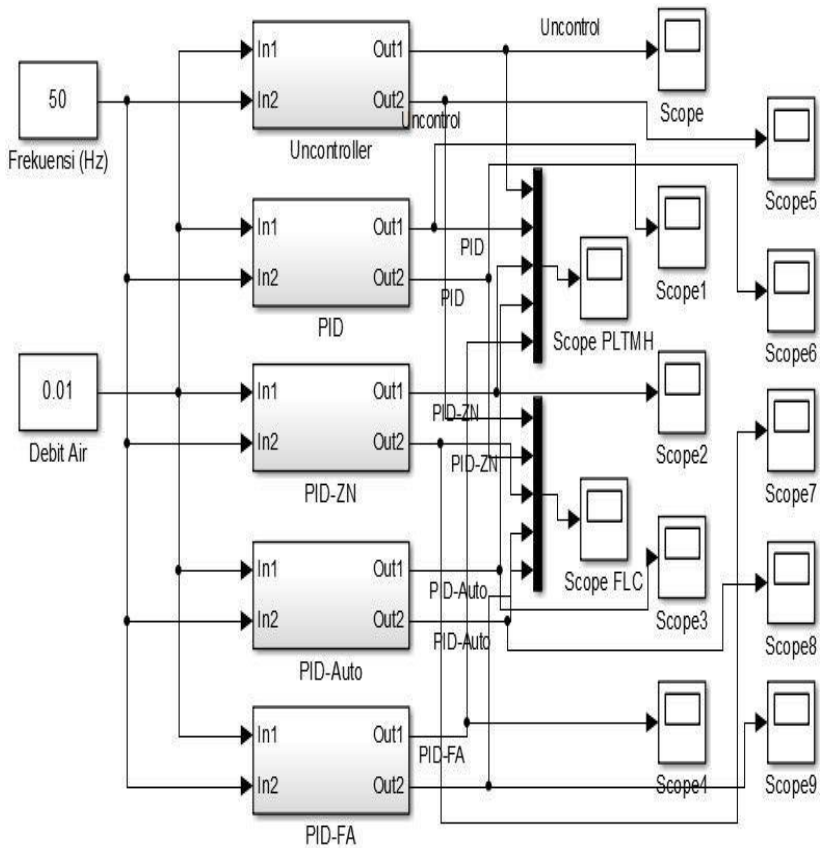
	Un-control	PID	PID-Auto	PID-ZN	PID-FA
$K_p$	-	1	15,664	10	43,4532
$K_i$	-	1	21,619	1,21	1,0021
$K_d$	-	0	-2,711	0	0,01

Blok diagram Load Frequency Control LFC dapat dilihat pada Gambar 4.3.dibawah ini:



Gambar 4.3. Blok diagram Load Frequency Control (LFC)

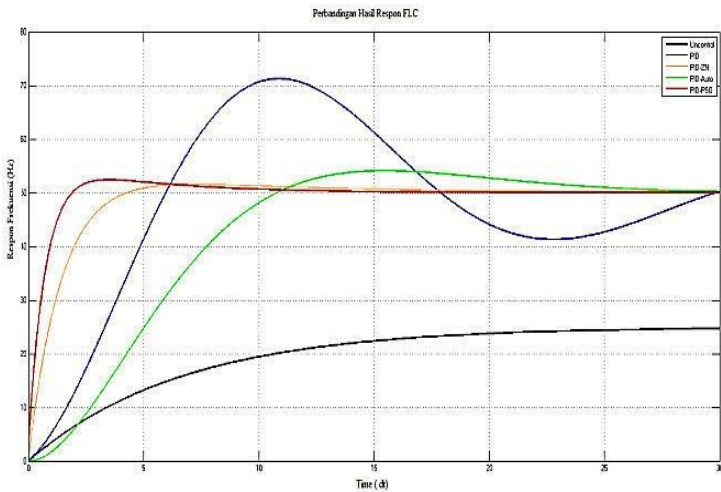
Gambar rancangan simulasi Pembangkit Mikrohidro dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini :



Gambar 4.4. Model Simulasi beberapa macam control

## 4.4 Hasil Penelitian

Hasil penelitian dapat digambarkan pada gambar 4.5 dan gambar 4.6. LFC bekerja secara bersamaan dengan sensor frekwensi agar frekwensi tetap sama. Hasil respon LFC dengan frekuensi refferensi 50 Hz pada berbagai model dapat dilihat pada gambar 4.5.

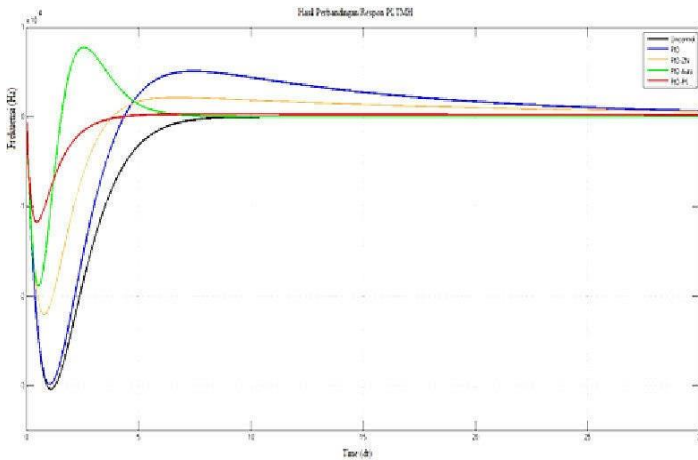


Gambar 4.5.. Hasil Respon LfC

Dari gambar grafik hasil respon LFC diatas dapat di jelaskan bahwa:

1. Tanpa kontroller didapatkan tidak ada overshoot tapi sistem tidak bisa mencapai frekuensi yg diinginkan.
2. PID standar kontroller didapatkan terjadi overshoot frekuensi pada  $t = 11$  detik sebesar 71 Hz dengan settling time = 30 detik.
3. PID Auto tuning kontroller didapatkan terjadi overshoot frekuensi pada  $t = 15,5$  detik sebesar 54 Hz dengan settling time = 28,5 detik.
4. PID Ziegler Nichols kontroller didapatkan terjadi overshoot frekuensi pada  $t = 15,5$  detik sebesar 51,5 Hz dengan settling time = 8,5 detik.

- PID FA controller didapatkan terjadi overshoot frekuensi pada  $t = 3,4$  detik sebesar 52 Hz dengan settling time = 5 detik.



Gambar 4.6. Hasil Respon sistem PLTMH Hasil grafik di atas dapat diartikan bahwa:

- Kontroler tanpa controller didapatkan undershoots =  $-3,14 \times 10^{-5}$  (49.99985 Hz) pada saat  $t = 1,15$  dengan settling time 10 detik.

2. PID standar controller didapatkan undershoots =  $-3,14 \times 10^{-5}$  (49.99985 Hz) pada saat  $t = 1,15$  overshoots =  $5,1 \times 10^{-5}$  (50.0025 Hz) pada saat  $t = 7,5$  dengan settling time 29 detik.
3. PID Auto tuning controller didapatkan undershoots =  $-1,89 \times 10^{-5}$  (49.999 Hz) pada saat  $t = 0,53$  overshoots =  $7,73 \times 10^{-5}$  (50.004 Hz) pada saat  $t = 7,5$  dengan settling time 9,5 detik.
4. PID Ziegler Nichols controller didapatkan undershoots =  $-2,21 \times 10^{-5}$  (49,99 Hz) pada saat  $t = 0,8$  overshoots =  $2,15 \times 10^{-5}$  (50,01 Hz) pada saat  $t = 6,6$  dengan settling time 19 detik.
5. PID FA controller didapatkan undershoots =  $-1,18 \times 10^{-5}$  (49.9994 Hz) pada saat  $t = 0,45$  dengan settling time 4,22 detik.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **1.1 KESIMPULAN**

Dari perbandingan hasil penelitian, sistem PLTMH dapat disimpulkan bahwa kontroler terbaik pada buku ini adalah PID-FA yaitu didapatkan undershoots =  $-1,18 \times 10^{-5}$  (49.9994 Hz) pada saat  $t = 0,45$  dengan settling time 4,22 detik. Ini berarti bahwa range frekuensi pada PID-FA adalah antara 49,9994 sampai 50.000 Hz. Dengan waktu perubahan maksimum 4,22 detik. Ini berarti lebih baik dari frekuensi yang diperbolehkan pada sistem, yaitu 49 – 50 Hz dengan perubahan 3 sampai 5 detik untuk gejala transien dan 10 sampai 20 detik untuk interkoneksi.



## **1.2 SARAN**

Hasil penelitian bisa dikembangkan dengan menggunakan metode lain yang nantinya bisa didapatkan hasil yang paling baik.

## DAFTAR PUSTAKA

DS. Henderson, "*An advanced electronic load governor for control of Micro hydroelectric power generation*", IEEE Transactions Energy Conversion, Vol.13, No.3, September 1998.

Dwaraka S. Padimiti and Badrul H. Chowdhury, "*Superconducting Magnetic Energy Storage System (SMES) for Improved Dynamic System Performance*", Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE

Imam Robandi, "*Desain Sistem Tenaga Modern: Optimasi, Logika Fuzzy, dan Algoritma Genetika*", Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2006.

Imam Robandi, "*Modern Power System Control*", Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2009

J. Kennedy and R. C. Eberhart. Particle swarm optimization.

In Proceed-ings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks. IEEE Service Center, Piscataway, 1995.

Kundur, P, (1994), *Power System Stability and Control*, EPRI, Mc.Graw Hill, Inc, NewYork.

Muh Budi R Widodo, Soediby, Ali Musyafa, dan Imam robandi “*Aplikasi Fuzzy PIPD pada Pengendali Wicket Gate pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*” Prosiding Seminar Nasional Basic Science 7, Malang, 2010

M. Hammandlu, H. Goyal, “*Proposing a new advanced control technique for micro hydro power plants*”, Electrical power and Energy System, 2008

Saadat, H, (1999), *Power System Analysis*, Mc. Graw Hill Book Co, Singapore

Tsabit Mustarin, Teguh Yuwono, Imam Robandi,

***“Desain Optimal Load Frequency Control (LFC) dengan Superconducting Magnetic Energy Storage(SMES) pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Menggunakan Firefly Algorithm(FA)”***, Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1, (2015) 1-6

Yang, X. S. (2009). "***Firefly algorithms for multimodal optimization***". ***Stochastic Algorithms: Foundations and Applications***, SAGA 2009. Lecture Notes in Computer Sciences 5792. pp. 169–178. Ar Xiv: 1003. 1466

Rizqi Nafiardli, Nasrul Fatkhur, Muhlasin, Askan, Machrus Ali, ***Optimasi Kontroller CES dan ANFIS Untuk Meredam Osilasi Frekuensi Pada Mikrohidro Berbasis Ant Colony Optimization***, SinarFe-1 7, ISSN (Print) : 2621-3540, ISSN (Online) : 2621-5551

## BIODATA PENULIS



**Kadaryono**, Lahir di Jombang, 11 April 1966. Lulus S1 pada program studi Teknik Mesin pada tahun 1992 di Universitas Darul ‘Ulum Jombang. Lulus S2 pada program studi Magister Teknik Mesin pada tahun 2013 di Institut Teknologi Sepuluh Novemver Surabaya. Meniti karir sebagai dosen di Universitas Darul ‘Ulum Jombang sejak tahun Februari 1994 sampai sekarang. Aktif meneliti dan menulis di bidang Microhidro, Statika Struktur dan Kinematika Teknik



**Muallifi Usman**, Lahir di Jombang, 10 September 1984. Lulus S1 pada program studi Teknik Mesin pada tahun 2008 di Universitas Darul ‘Ulum Jombang. Lulus S2 pada program studi Magister Teknik Industri pada tahun 2016 di Institut Teknologi Nasional Malang. Meniti karir sebagai dosen di Universitas Darul ‘Ulum Jombang sejak tahun Februari 2016 sampai sekarang. Aktif meneliti dan menulis di bidang Proses Manufaktur I, Proses Manufaktur II dan Elektronika.