

SISTEM MONITORING DAN KONTROL SUHU PADA BUDIDAYA MAGGOT BSF MENGGUNAKAN METODE ANN

1

1st Nur Aliffah Rizkianingtyas
Program Studi Teknik elektro
Telkom University Surabaya
Surabaya, Indonesia
nuraliffah@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Dimas Adiputra, B.Sc., M.Phil., Ph.D.
Program Studi Teknik elektro
Telkom University Surabaya
Surabaya, Indonesia
dimasze@telkomuniversity.ac.id

3rd Eka Sari Oktarina, S.Kom., M.Eng
Program Studi Teknik Komputer
Telkom University Surabaya
Surabaya, Indonesia
ekasario@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Pertumbuhan maggot Black Soldier Fly (BSF) sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan, terutama pada fase budidaya intensif. Untuk menjaga kestabilan suhu kandang, penelitian ini merancang sistem monitoring dan kontrol suhu otomatis berbasis Artificial Neural Network (ANN). Sistem memanfaatkan sensor DHT22 untuk membaca suhu secara real-time dan menghasilkan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) guna mengatur kecepatan kipas pendingin. Nilai error suhu dihitung dari selisih suhu aktual dengan suhu target 28°C, kemudian dijadikan input pelatihan ANN pada MATLAB. Model ANN dirancang dengan satu input layer, satu hidden layer (3 neuron), dan satu output layer, menggunakan fungsi aktivasi tansig dan purelin. Konfigurasi ini menunjukkan performa terbaik dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0,00000092005 dan koefisien regresi mendekati 1. Sistem berhasil merespons suhu ekstrem hingga 41,4°C dengan PWM maksimum 225. Validasi selama tiga hari menunjukkan keandalan sistem dalam menjaga suhu tetap stabil dan mendukung pertumbuhan maggot secara optimal. Perbandingan terhadap sistem tanpa kontrol otomatis membuktikan bahwa sistem ANN lebih efektif, ditunjukkan oleh peningkatan berat maggot dari 540 gram menjadi 590 gram, sementara pada sistem konvensional justru menurun hingga 500 gram. Dengan akurasi pembacaan $\pm 0,3^\circ\text{C}$, sistem ini dinilai efisien dan layak digunakan secara langsung dalam budidaya.

Kata kunci— Maggot BSF, Suhu, Artificial Neural Network

I. PENDAHULUAN

Jumlah sampah rumah tangga karena kegiatan sehari-hari telah meningkat saat ini. Peningkatan jumlah sampah ini terjadi karena tingkat populasi dan gaya hidup dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga serta kurangnya kesadaran terhadap lingkungan sekitar akan Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan melakukan pengolahan sampah pada skala rumah tangga. *The Sustainable Development Goals (SDGs)*

12 Responsible Consumption and Production menjelaskan tentang pola konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab untuk kelangsungan hidup generasi saat ini dan masa depan. Namun, dengan meminimalisir limbah dan polusi agar tidak mencemari lingkungan dan menerapkan pengolahan sampah skala rumah tangga *zero waste* menggunakan konsep pengelolaan sampah yang didasarkan pada kegiatan daur ulang atau *Recycle*. Pengelolaan sampah dilakukan dengan melakukan pemilahan dan pengomposan dalam penerapannya.

Saat ini maggot adalah pengurai sampah organik terbaik tanpa memiliki efek samping. Maggot BSF dapat mengubah sampah organik menjadi protein dan lemak yang bermanfaat [1]. Maggot memiliki kemampuan dalam mengurai dan berbagai jenis sisa makanan yang sangat ramah lingkungan, seperti pembuatan pakan ternak hewani. Suhu adalah salah satu faktor yang sangat penting dalam budidaya maggot. Suhu yang ideal untuk pertumbuhan budidaya maggot berada dalam rentang 25°C hingga 35°C [2]. Jika suhu berada di luar rentang, maka maggot akan mengalami stres dan pertumbuhannya akan terhambat. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kematian maggot, sedangkan suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat pertumbuhan dan reproduksi maggot. Namun, peternak maggot masih menggunakan cara manual dalam menjaga suhu optimal kandang. Kegiatan tersebut menyebabkan suatu masalah yaitu peternak lupa dalam menjaga suhu pada kandang terutama pada kandang maggot BSF sehingga menyebabkan kematian.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan dalam pengembangan alat sistem monitoring dan kontrol suhu pada budidaya maggot. Adapun penelitian tersebut adalah dengan menggunakan lampu sebagai keluarannya [2]. Penggunaan lampu untuk mengontrol suhu kandang Maggot BSF berbasis IoT. Terdapat juga sistem pengontrol suhu pada proses budidaya Maggot BSF menggunakan dua lampu pijar dan kipas sebagai keluarannya [3]. Penggunaan lampu pijar

dapat menghantarkan panas. Pada penelitian yang telah disebutkan diatas, ada yang menggunakan lampu saja untuk mengontrol suhu kandang maggot BSF dan ada juga yang menggunakan lampu pijar dan kipas untuk meratakan suhu kandang Maggot BSF.

Kemajuan teknologi masa kini mendorong manusia untuk terus berinovasi, tidak hanya dengan menggali penemuan-penemuan baru, tetapi juga dengan memaksimalkan potensi teknologi yang telah ada untuk mempermudah pekerjaan manusia dalam kehidupan sehari-hari. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka penelitian ini akan memonitoring dan kontrol suhu kandang Maggot BSF dengan pemanfaatan mikrokontroler. Sistem monitoring dan kontrol suhu pada budidaya maggot yang dilakukan dengan menggunakan metode ANN (*Artificial Neural Network*) menjadi salah satu cara yang paling efektif untuk mengatur akurasi suhu yang sesuai untuk budidaya maggot. Dengan menggunakan sistem ini, suhu dapat dikontrol dengan tingkat akurasi yang tinggi, sehingga suhu tetap berada dalam rentang yang sesuai pada budidaya pertumbuhan maggot. Sehingga pengolahan data sensor menggunakan model *Artificial Neural Network* dapat membangun program prediksi suhu maggot.

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Merancang metode ANN dalam sistem monitoring suhu Maggot BSF dengan kipas.
2. Mengontrol suhu berdasarkan hasil monitoring Maggot BSF berbasis ANN berdasarkan kipas.
3. Mengukur akurasi dari sistem monitoring dan kontrol suhu pada Maggot BSF berbasis ANN.

II. KAJIAN TEORI

Maggot merupakan larva dari jenis lalat Black Soldier Fly (BSF) atau sering disebut maggot BSF. Lalat BSF memiliki ciri fisik yang mirip dengan ulat, dengan panjang larva dewasa antara 15-22 mm dan warna coklat. Larva BSF ini digunakan dan dijual dalam berbagai bentuk, termasuk larva segar, larva kering, telur lalat BSF, serta produk turunannya seperti tepung larva, pellet larva, prebiotik, dan pupuk organik. Larva BSF mengandung protein yang relatif tinggi, sekitar 30-45%, sehingga sangat sesuai digunakan sebagai pakan ternak, seperti ikan, burung, dan hewan ternak.

Suhu normal kandang maggot BSF berada dalam rentang 25-32°C. Sehingga sangat penting untuk memastikan kesehatan dan pertumbuhan larva maggot BSF. Suhu yang tepat dapat meningkatkan proses metabolisme larva untuk berjalan dengan optimal, sehingga Maggot BSF dapat tumbuh dengan baik dan seimbang. Dengan menjaga suhu kandang Maggot BSF dalam rentang tersebut, akan menghasilkan maggot-maggot yang berkualitas tinggi[2].

A. Monitoring dan Kontrol Suhu Pada Budidaya Maggot BSF
Monitoring dan kontrol suhu berguna untuk proses pemantauan dan mengatur suhu lingkungan Maggot BSF agar ideal perkembangannya. Berdasarkan hal tersebut ada beberapa parameter dalam monitoring dan kontrol suhu Maggot BSF seperti suhu ideal Maggot BSF, jika Maggot BSF berada diluar rentang suhu optimal 25°C - 32°C maka Maggot BSF akan menghambat pertumbuhannya dan mati. Selanjutnya fluktuasi suhu dimana jika suhu kadang Maggot

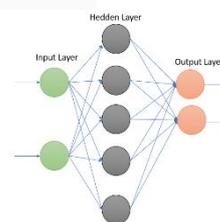
BSF mengalami kenaikan maka Maggot BSF mengalami stress dan mengganggu proses pengolahan sampah organik[3]. Selanjutnya ketersediaan pakan dan pemantauan suhu secara kontinu diberbagai titik kandang Maggot BSF yang terhubung dengan sistem monitoring. Sehingga upaya yang dapat dilakukan ialah dengan menempatkan sistem monitoring dan kontrol suhu Maggot BSF dalam kandang.

B. Artificial Neural Network

Artificial Neural Network (ANN) atau Jaringan Syaraf Tiruan adalah suatu model algoritma yang meniru cara kerja sistem syaraf biologis pada *neuron* otak manusia dalam memproses dan mengidentifikasi suatu informasi. Jaringan syaraf tiruan merupakan salah satu representasi buatan dari otak manusia yang digunakan untuk mensimulasikan proses pembelajaran. Dalam ilmu komputer, *Artificial Neural Network* banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan peramalan atau prediksi [4].

Model *Artificial Neural Network* menggabungkan banyak *Artificial Neuron* yang saling terkoneksi sehingga membentuk jaringan. Setiap *Artificial Neuron* mengandung *Activation Function* yang berfungsi untuk mengelolah data input yang diterima oleh *Artificial Neuron* untuk menghasilkan output. Output dari setiap *Artificial Neuron* menggabung menjadi input lain dengan weight (θ) tertentu. Sehingga model data yang masuk dapat dibedakan[5].

GAMBAR 1
(STRUKTUR ANN)



Artificial neural network atau jaringan saraf tiruan memiliki dua tahap pemrosesan yaitu tahap pelatihan (training) dimulai dengan memasukkan pola-pola pelatihan (data latih) ke dalam jaringan. Dengan menggunakan pola-pola ini jaringan akan mengubah bobot menjadi penghubung antar neuron. Tahap pengujian (testing) merupakan pengujian suatu pola masukan yang belum pernah dilatihkan sebelumnya (data uji) menggunakan bobot-bobot yang telah dihasilkan pada tahap pelatihan[6]. Kumpulan dari beberapa neuron dalam lapisan dan pola keterhubungan antara lapisan disebut arsitektur jaringan. ANN sendiri memiliki beberapa bagian yaitu input, bias, fungsi aktivasi, hidden layer, dan output. Input yaitu berperan sebagai data awal yang mengalir menuju neuron. Informasi yang diterima akan diproses melalui tahapan pemberian bobot (weight), yang menentukan pengaruh dari setiap input terhadap output akhir sistem. Hidden layer berfungsi mengolah informasi dari input layer sebelum diteruskan ke output layer. Proses ini menghasilkan output dari hidden layer, yang menjadi masukan bagi tahap akhir. Output akhir merupakan hasil agregasi seluruh perhitungan antara input, bobot, dan aktivasi neuron yang saling terhubung dalam jaringan.

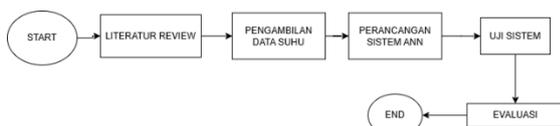
Fungsi aktivasi dalam ANN dipakai untuk menentukan output suatu neuron. Fungsi aktivasi adalah net input (kombinasi linier input dan bobot). Salah satu algoritma yang digunakan dalam ANN ini adalah feedforward. Merupakan pemodelan pelatihan untuk jaringan satu maju multilapis yang terdiri dari elemen proses dengan differensi continue fungsi aktivasi. Algoritma ini memungkinkan sistem untuk belajar secara mandiri dan dapat menyesuaikan diri dengan data yang diberikan. Feedforward merupakan metode yang sederhana dan mempunyai konsep belajar yang mudah dipahami dibandingkan metode-metode yang lain[7].

Dalam menentukan jumlah input layer, hidden layer, dan output layer. Ada beberapa parameter penting dalam sistem ANN yaitu fungsi aktivasi, fungsi percepatan, learning rate, target eror berupa *Mean Square Error* (MSE), dan batas iterasi (epoch). Fungsi aktivasi feedforward menentukan output neuron berdasarkan inputnya [8].

III. METODE

Pada penelitian ini merupakan pengembangan alat monitoring dan kontrol suhu pada budidaya maggot bsf dengan menggunakan ANN. Ada beberapa tahap untuk menyelesaikan penelitian.

GAMBAR 2
(ALUR PENELITIAN)



Proses penelitian dimulai dari tahap awal berupa tinjauan pustaka terhadap literatur untuk mendapatkan pemahaman teoretis dan mendukung perancangan sistem. Setelah itu, dilakukan pengumpulan data suhu sebagai input utama dalam penelitian. Data yang diperoleh digunakan dalam tahap perancangan sistem Artificial Neural Network (ANN) untuk memproses dan menganalisis pola suhu. Sistem ANN yang telah dirancang kemudian diuji guna menilai akurasi serta efektivitas dalam pengendalian suhu. Tahap akhir adalah evaluasi terhadap seluruh rangkaian proses untuk memastikan sistem berfungsi sesuai tujuan yang telah direncanakan secara sistematis dan akurat.

A. Perancangan Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu

Tahap perancangan sistem merupakan proses integrasi seluruh komponen menjadi satu kesatuan sistem monitoring dan kontrol suhu budidaya maggot BSF berbasis Artificial Neural Network (ANN). Pengambilan data suhu dilakukan setiap satu jam selama enam hari (tiga hari di dalam dan tiga hari di luar ruangan). Data suhu digunakan untuk membuat data dummy berupa error suhu, yaitu selisih antara suhu aktual dan suhu target 28°C, yang kemudian dipetakan menjadi nilai PWM (0–255). Proses training dilakukan pada MATLAB agar ANN dapat menghasilkan output PWM otomatis. Output ini selanjutnya dikendalikan oleh Arduino untuk mengatur kipas secara real-time.

Data didapatkan dari pembuatan data dummy dengan jumlah 101 data. Data akan dimasukkan ke neural network, dengan pembagian 70% untuk data training, 15% untuk data validasi, dan 15% untuk data tes. Pembagian data training, validasi, dan tes ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan karakteristik data yang digunakan, tetapi pada

umumnya pembagian data training, validasi, dan test adalah 70% data training, 15% data validasi, dan 15% data tes[9]. Data training, validasi, dan test dilakukan dengan menggunakan Neural Network fitting toolbox yang ada pada aplikasi Matlab. Menggunakan feed-forward network dengan fungsi aktivasi tangsig pada hidden layer dan pada output yang linier[10]. Neural Network akan ditraining dengan algoritma Levenberg-Marquardt. Pada penelitian ini, Lavenberg-Marquardt network dipilih karena algoritma ini membutuhkan lebih banyak memori tetapi lebih sedikit waktu. Proses kerja ANN adalah data masuk diberikan ke lapisan input, lalu diproses oleh hidden layer. Proses ini melibatkan perkalian bobot dan bias, serta fungsi aktivasi. output dari hidden layer diberikan ke output layer. Output dari output layer adalah hasil akhir dari ANN.

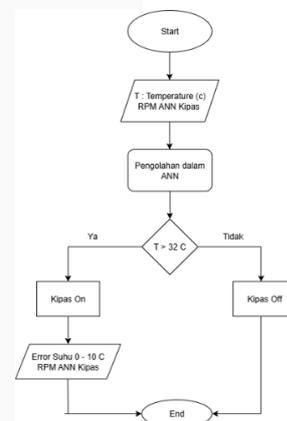
$$a = \frac{2}{1 + \exp(-2 * n)} - 1$$

Keterangan :
a : Tangen Sigmoid
exp : Ekponensial
n : Jumlah input

B. Perancangan Hardware

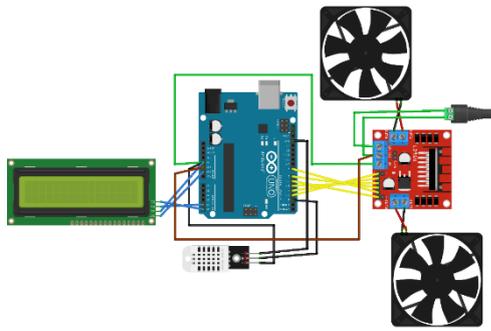
Berikut terdapat sensor DHT 22 sebagai input untuk dikirim ke arduino dan output-nya adalah Kipas dan LCD.

GAMBAR 3
(FLOWCHART HARDWARE)



Proses sistem diawali dari kondisi *Start*, di mana sistem mulai membaca data suhu aktual dalam satuan derajat Celsius. Setelah suhu terbaca, sistem akan membandingkannya dengan ambang batas yang telah ditentukan, yaitu 32°C. Apabila suhu melebihi batas tersebut, sistem secara otomatis mengaktifkan kipas (*Kipas On*) dan mengatur kecepatannya berdasarkan nilai *error* suhu, yaitu selisih antara suhu terukur dan suhu target. Nilai *error* ini dipetakan menjadi sinyal Pulse Width Modulation (PWM) dalam rentang 0 hingga 255, yang merepresentasikan besarnya *duty cycle* untuk pengaturan kecepatan kipas. Sebaliknya, jika suhu berada di bawah atau sama dengan 32°C, kipas akan dimatikan (*Kipas Off*), dan sistem kembali memulai siklus pembacaan suhu secara otomatis dan berulang.

GAMBAR 4
(RANGKAIAN HARDWARE)



Gambar 4 menjelaskan rangkaian sistem kontrol suhu berbasis Arduino Uno sebagai pusat kendali. Sensor DHT22 terhubung pada pin D2 untuk membaca suhu lingkungan. Apabila suhu melebihi 32°C, Arduino akan mengirim sinyal PWM ke ENA dan ENB pada modul driver motor L298N. Pin IN1 hingga IN4 dihubungkan ke pin D3 sampai D8 untuk mengatur arah dan kecepatan kipas yang tersambung pada Out1 hingga Out4. Kecepatan kipas meningkat seiring naiknya suhu. LCD I2C yang terhubung ke pin A4 (SDA) dan A5 (SCL) digunakan untuk menampilkan suhu dan nilai PWM secara real-time.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data didapatkan dari hasil pengukuran suhu primer selama 3 hari di luar ruangan dan 3 hari di dalam ruangan agar mendapatkan pola suhu budidaya Maggot BSF.

TABEL 1
(DATA PRIMER SUHU LUAR RUANGAN)

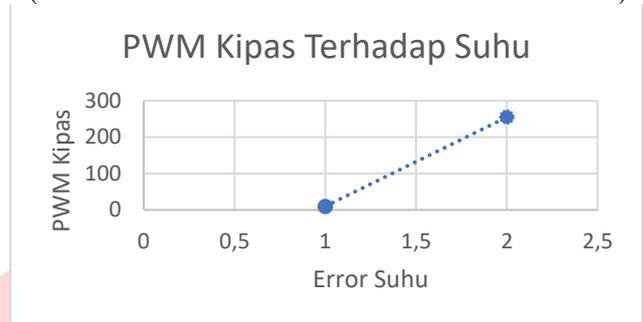
Jam/Hari	1	2	3
08.00	31	30	32.1
09.00	32	30.2	32.1
10.00	32	30.2	32.3
11.00	30	30.5	32.5
12.00	29.9	31	33
13.00	30	31	33.7
14.00	30.2	31	33.7
15.00	30	31.3	31
16.00	30	30	31
17.00	29.2	29	31.30
18.00	29.5	29	32.20
19.00	30	29.3	31
20.00	29	29.8	30

TABEL 2
(DATA SUHU DALAM RUANGAN)

Jam/Hari	1	2	3
08.00	30	30	31
09.00	30.4	30.3	31.3
10.00	30.7	30.9	32
11.00	31	31	32
12.00	31	31.7	32.3
13.00	32	31.8	32.8
14.00	33	32	33
15.00	33.4	32.5	32.5
16.00	33	32.8	33

17.00	32.7	32	33
18.00	31	31.8	32
19.00	32	31	31
20.00	32	31	32

GAMBAR 5
(GRAFIK PWM KIPAS TERHADAP ERROR SUHU)



Grafik ini menunjukkan hubungan proporsional antara error suhu dan kecepatan kipas. Error suhu dihitung dari selisih suhu aktual terhadap suhu target 28°C. Semakin besar error, nilai PWM meningkat hingga 255.

TABEL 3
(DATA SUHU BUDIDAYA MAGGOT BSF MENGGUNAKAN ANN)

	Hari 1		Hari 2		Hari 3	
Pukul	Suhu	PWM	Suhu	PWM	Suhu	PWM
0	31,4	0	31	0	31	0
2	31,4	0	30,2	0	31	0
4	31,4	0	30,2	0	31,6	0
6	29,8	0	30,4	0	31,6	0
8	34	153	30,6	0	32	0
10	34,7	171	33,7	145	32,4	112
12	34,7	171	33,7	145	32,1	105
2	34,6	168	34	145	41,4	225
4	30,4	0	31	0	38	225
6	30,4	0	30,5	0	31,9	0
8	30,1	0	30,8	0	31,9	0
10	30,1	0	31,2	0	31,4	0
Berat	540 gram		590 gram		590 gram	

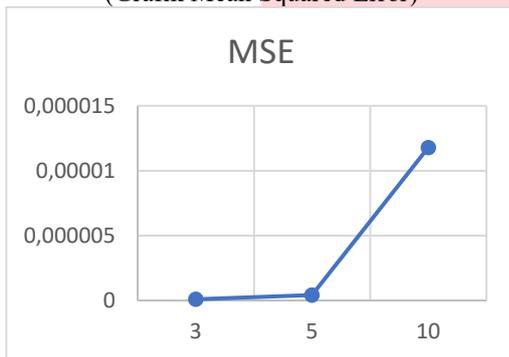
Data suhu budidaya maggot Black Soldier Fly (BSF) yang dikendalikan oleh sistem Artificial Neural Network (ANN) menunjukkan kestabilan suhu yang efektif selama tiga hari pengamatan dengan pemberian pakan sebesar 200 gram. Pada Hari ke-1, suhu berkisar 29,08°C hingga 34,7°C, dengan kipas dikendalikan oleh sinyal PWM untuk menjaga suhu dalam batas optimal. Hari ke-2 menunjukkan suhu yang lebih stabil, berkisar 30,2°C hingga 34°C, dengan penggunaan PWM yang lebih rendah dibandingkan hari sebelumnya. Hari ke-3 mencatat suhu tertinggi sebesar 41,4°C dan PWM maksimum mencapai 225. Data berat maggot meningkat dari 540 gram pada Hari ke-1 menjadi 590 gram pada Hari ke-2, dan tetap stabil pada Hari ke-3. Proses pengolahan data dilakukan dengan menginput data suhu ke dalam MATLAB untuk pelatihan ANN. Hasil pelatihan berupa bobot dan bias diimplementasikan ke dalam Arduino

untuk mengatur kipas secara otomatis berdasarkan suhu yang terdeteksi.

B. Training Pada Matlab

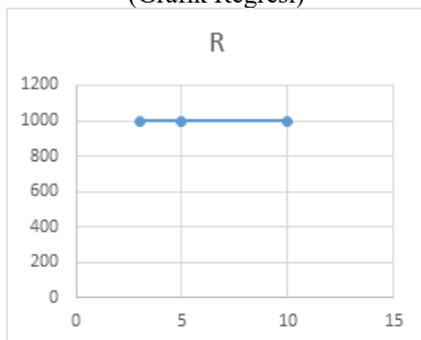
Data yang diambil yaitu data suhu budidaya maggot bsf dan pwm kipas. Data akan dibagi menjadi 3 yaitu data training sebesar 70%, data validasi 15%, dan data testing network 15%. Keseluruhan proses pengumpulan data, pengolahan data, akan menghasilkan tahap akhir sistem ANN dengan tiga bagian utama yaitu, input layer, hidden layer, dan output layer. Dalam proses training data terdapat 3 variabel yang dapat jadi perbandingan dalam menentukan jumlah node pada satu hidden layer, yaitu nilai mean squared error (MSE), nilai Regression pada data training, dan banyak iterasi.

GAMBAR 6
(Grafik Mean Squared Error)



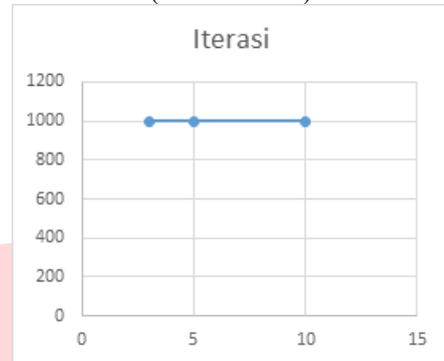
Nilai Mean Squared Error (MSE) dari hasil pelatihan jaringan saraf tiruan (Artificial Neural Network/ANN) dengan jumlah neuron yang berbeda pada hidden layer, yaitu 3, 5, dan 10 neuron. Berdasarkan grafik, dapat dilihat bahwa konfigurasi dengan 3 neuron menghasilkan nilai MSE paling rendah bernilai 0,00002005, yang menunjukkan tingkat kesalahan prediksi model sangat kecil. Sebaliknya, saat jumlah neuron ditambah menjadi 5, nilai MSE sedikit meningkat, dan pada 10 neuron terjadi lonjakan signifikan dengan nilai MSE mencapai 0,13. Nilai MSE yang rendah mengindikasikan bahwa model ANN mampu mempelajari pola data dengan akurat dan memberikan prediksi yang mendekati target. Dapat disimpulkan bahwa konfigurasi jaringan dengan 3 neuron pada hidden layer merupakan konfigurasi yang paling optimal, karena memberikan performa pelatihan terbaik dengan kesalahan minimum.

GAMBAR 7
(Grafik Regresi)



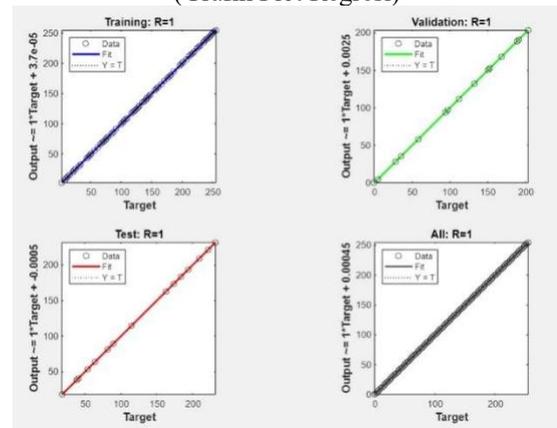
Nilai koefisien korelasi (Regresi) yang menggambarkan seberapa kuat hubungan antara nilai prediksi yang dihasilkan oleh model Artificial Neural Network (ANN) dengan nilai target sebenarnya. Dari grafik terlihat bahwa nilai R berada pada kisaran mendekati 1000.

GAMBAR 8
(Grafik Iterasi)



Model dengan tiga neuron pada hidden layer tetap unggul meskipun seluruh konfigurasi sebanyak 1000 iterasi, menunjukkan efisiensi pelatihan dan akurasi terbaik.

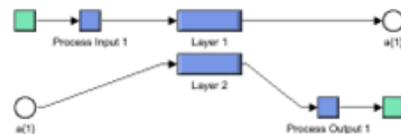
GAMBAR 9
(Grafik Plot Regresi)



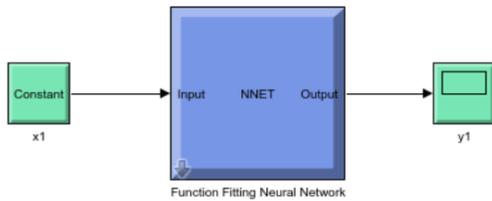
C. Training Pada Simulink

Penggunaan simulink pada Matlab dalam proyek ini bertujuan untuk memvalidasi sistem yang telah dikembangkan, menguji dan mengevaluasi efektivitas serta keandalan algoritma yang diterapkan.

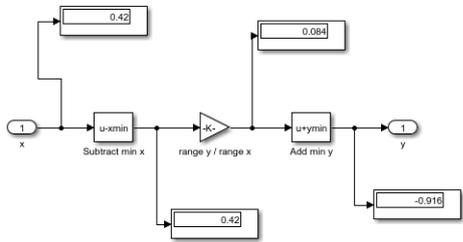
GAMBAR 10
(PROSES INPUT 1)



GAMBAR 11
(PROSES INPUT)

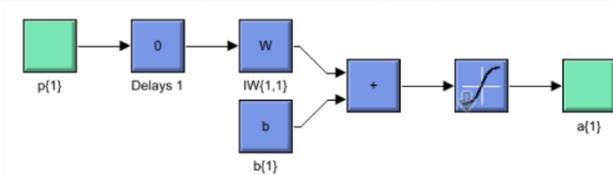


GAMBAR 12
(PROSES INPUT 1)

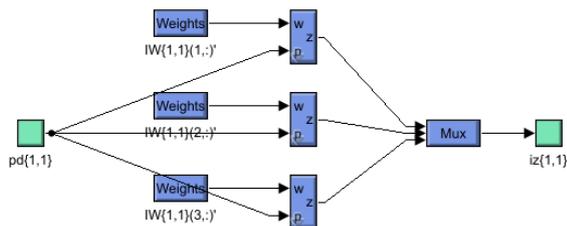


Proses dari proses input, yang pertama terdapat subtract min x dengan fungsi $u - x_{min}$, dimana nilai u merupakan nilai inputan yang dimasukkan kedalam program. Berikutnya adalah K atau $range\ y / range\ x$ dengan fungsi $(u * K)$, dimana nilai $K = (y_{max} - y_{min}) / (x_{max} - x_{min})$ untuk nilai tersebut diperoleh dari matlab seperti pada gambar 12 serta nilai u menggunakan nilai yang dihasilkan pada proses subtract min x. Kemudian proses ketiga yaitu add min y atau $u + y_{min}$, nilai u menggunakan nilai yang dihasilkan pada proses sebelumnya yaitu nilai K . Setelah, semua proses didapatkan maka diperoleh nilai y sebagai nilai output terakhir dari proses input.

GAMBAR 13
(Proses dalam Layer 1)



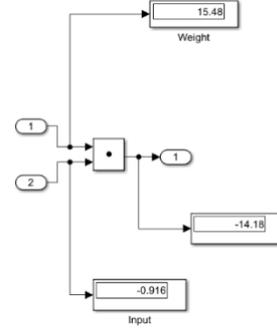
GAMBAR 14
(Proses dalam Layer 1 dengan 3 neuron)



Alur proses pada layer 1 dalam jaringan neural, di mana diagram blok menunjukkan bahwa layer ini menggunakan fungsi aktivasi tanh. Blok pertama (p) merepresentasikan hasil dari input 1 yang masuk ke jaringan. Karena sistem ini tidak menerapkan mekanisme delay, maka blok delays 1 tidak memiliki nilai atau tidak aktif. Selanjutnya, blok weight (W1,1) menunjukkan bobot yang digunakan oleh neuron dalam layer. Pada tahapan ini terjadi operasi dot product, yaitu proses perkalian antara input dan bobot. Hasil dari operasi ini kemudian dijumlahkan dengan nilai pada blok bias (b), yang berfungsi sebagai penyesuaian tambahan untuk menggeser kurva fungsi aktivasi agar jaringan dapat

mempelajari data dengan lebih baik. Setelah itu, blok tansig digunakan sebagai fungsi aktivasi adalah tanh. Fungsi ini mengubah input menjadi output dalam rentang (-1, 1), dan output tersebut selanjutnya menjadi input untuk lapisan jaringan berikutnya.

GAMBAR 15
(Proses dalam Blok Weight Layer 1)



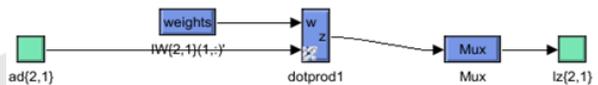
TABEL 4
(Nilai Weight Layer 1)

W1	W2	W3
15,482	0,039	-5,362

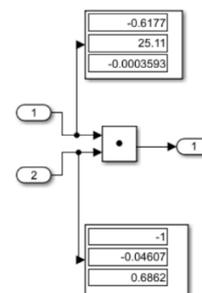
TABEL 5
(Proses Layer 1 Dot Product, Bias, Netsum dan Tansig)

Layer 1					
Dot product			Bias		
1	2	3	1	2	3
-14,181	-0,036	4,911	-36,417	-0,009	-4,070
Netsum			Tansig		
1	2	3	1	2	3
-50,598	-0,046	0,0840	-1	-0,046	0,686

GAMBAR 16
(Proses dalam Blok Weight layer 2)



GAMBAR 17
(Proses Dot Product dalam Blok Weight Layer 2)



TABEL 6
(Niali Weight Layer 2)

Layer 2		
W1	W2	W3
-0,6177	25,1122	-0,0003593

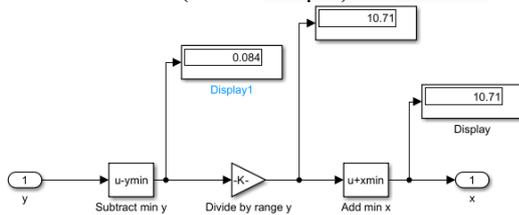
Proses dari blok weight layer 2 dan gambar 16 adalah proses dot product pada gambar 17. Nilai dari proses ini diperoleh dari hasil perkalian nilai tansig pada layer 1 dengan nilai weight.

TABEL 7
(Proses Layer 2 Dot Product, Bias, Netsum dan Purelin)

Layer 2			
Dot product	Bias	Netsum	Purelin
-0,53942	-	-0,916	-0,916
	0,376588307		

Proses berikutnya yaitu terdapat penjumlahan (Netsum) dari nilai dot product dengan bias, nilai bias dapat dilihat pada tabel 7 nilai tersebut diperoleh berdasarkan hasil training data. Nilai bias hanya terdapat 1 dikarenakan hasil dari weight juga hanya memiliki 1 nilai. Proses terakhir dari layer 2 yaitu proses purelin, di sini letak perbedaan antara layer 1 dan 2. Dimana dalam tahap ini data dimasukkan kedalam fungsi aktivasi linier. Fungsi linear pada layer 2 digunakan dalam konteks regresi atau prediksi nilai kontinu untuk memetakan input langsung ke output tanpa transformasi non-linier. Pada tabel 7 dapat dilihat hasil dari purelin yang merupakan nilai output dari layer 2. Pada Neural Network ini terdapat dua kombinasi fungsi aktivasi yang diterapkan pada hidden layer dan output layer yang menghasilkan nilai yang sangat efektif untuk melakukan pengestimasi nilai.

GAMBAR 18
(Proses Output)



TABEL 8
(Proses Output)

Proses Output		
u-ymin	k	+xmin
0,084	10,71	10,71

Proses output dengan tahapan awal dari proses ini yaitu subtract min y, dimana rumusnya adalah $u - y_{min}$. Nilai u yang digunakan didalam rumus ini merupakan hasil akhir dari proses layer 2. Untuk nilai u_{min} merupakan nilai yang dihasilkan dari proses training data pada matlab. Proses kedua dari proses output dari y . Rumus yang digunakan pada tahap ini yaitu $(y = K * u)$. Nilai u merupakan nilai yang diambil dari tahap sebelumnya yaitu subtract min y dan nilai K diambil dari rumus $(x_{max} - x_{min}) / (y_{max} - y_{min})$ proses perhitungan disajikan pada tabel 8 Proses ketiga yaitu add min x, dengan rumus $(u + x_{min})$. Nilai u diperoleh dari nilai akhir pada tahap sebelumnya yaitu divide by range y. Sedangkan nilai dari x_{min} diperoleh dari parameter hasil pengolahan data pada matlab. Pada tabel 8 dapat dilihat nilai dari tahap terakhir dalam proses output, sehingga nilai yang diperoleh dari proses $u+x_{min}$ merupakan nilai output dan

akan dibulatkan dengan angka yang paling dekat. Nilai tersebut juga merupakan hasil akhir dari sistem neural network.

D. Validasi

Hasil validasi menunjukkan perbedaan performa antara sistem monitoring suhu berbasis Artificial Neural Network (ANN) dan sistem tanpa kontrol otomatis. Kalibrasi sensor adalah dengan membandingkan sensor DHT 22 yang digunakan dengan thermometer hygrometer yang dijual dipasaran. Berikut adalah data hasil pengujian sensor suhu DHT 22 yang dibandingkan dengan thermometer hygrometer[21].

TABEL 9
(Perbandingan Data Sensor Suhu)

Suhu DHT 22 (°C)	Suhu Hygrometer (°C)
26	26.7
30.9	31.4
31	31.4
31.3	31.3

Pada table 9 menunjukan bahwa proses pengujian dan validasi sensor suhu DHT 22 dengan thermometer hygrometer digital digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi sensor. Rata – rata selisih antara pembacaan sensor suhu DHT 22 dan thermometer hygrometer digital bernilai 0.30 °C, yang masih berada dalam batas toleransi akurasi sensor DHT 22 ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$).

GAMBAR 19
(Kalibrasi Sensor Suhu DHT 22 dengan Hygrometer)

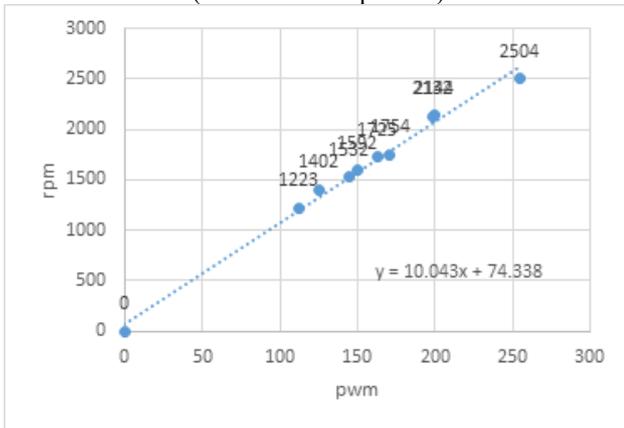


TABEL 10
(PWM Menjadi RPM)

PWM	RPM
112	1223
125	1402
145	1532
150	1592
163	1725
171	1754
199	2132
200	2144
255	2504

Table diatas menunjukkan hubungan antara nilai PWM (Pulse Width Modulation) dengan putaran kipas per menit Revolutions Per Minute (RPM), dimana peningkatan PWM secara diikuti oleh kenaikan nilai RPM.

GAMBAR 20
(PWM Terhadap RPM)



$$y : 10,043x + 74,338$$

Keterangan :

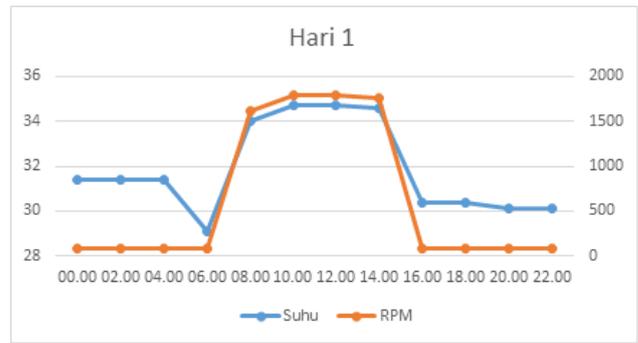
- y : RPM
- x : PWM
- 74,338 : Intercep

Persamaan tersebut didapatkan dari pengolahan data yang mencakup variasi PWM dari 0 hingga 255, dengan nilai RPM yang terukur berkisar antara 0 hingga 2504. Persamaan regresi ini dapat digunakan untuk memprediksi seberapa cepat kipas akan berputar dengan cara memasukkan langsung nilai PWM yang dihasilkan. Hal ini dapat mempermudah proses kalibrasi dan optimasi sistem, serta mempercepat proses perancangan perangkat pada kecepatan rotasi kipas. Model ini menunjukkan bahwa secara umum hubungan antara PWM dan RPM.

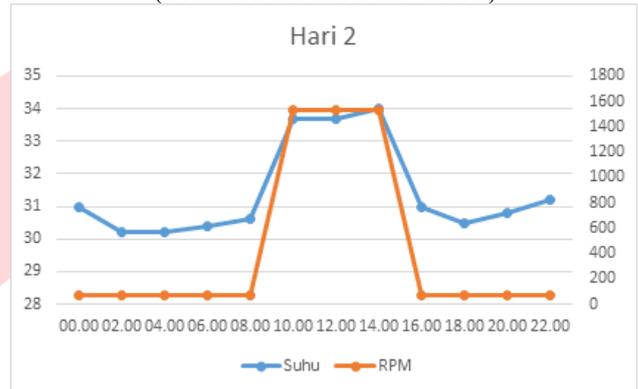
TABEL 11
(Data Suhu dan RPM)

	Hari 1		Hari 2		Hari 3	
Pukul	Suhu	RPM	Suhu	RPM	Suhu	RPM
0	31,4	74	31	74	31	74
2	31,4	74	30,2	74	31	74
4	31,4	74,	30,2	74	31,6	74
6	29,08	74	30,4	74	31,6	74
8	34	1610	30,6	74	32	74
10	34,7	1791	33,7	1530	32,4	1199
12	34,7	1791	33,7	1530	32,1	1128
2	34,6	1761	34	1530	41,4	2635
4	30,4	74	31	74	38	2635
6	30,4	74	30,5	74	31,9	74
8	30,1	74	30,8	74	31,9	74
10	30,1	74	31,2	74	31,4	74

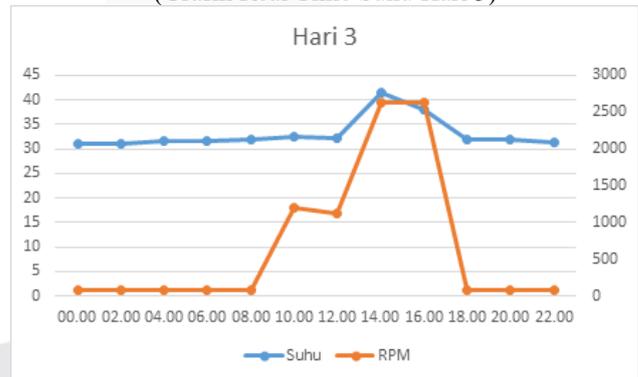
GAMBAR 21
(Grafik Real Time Suhu Hari 1)



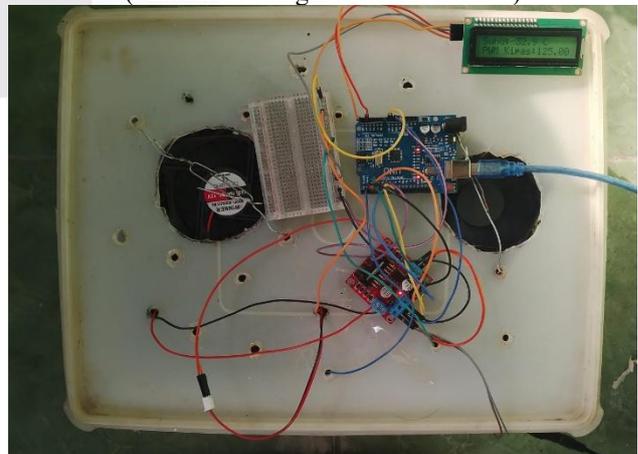
GAMBAR 22
(Grafik Real Time Suhu Hari 2)



GAMBAR 23
(Grafik Real Time Suhu Hari 3)



GAMBAR 24
(Alat Monitoring Dan Kontrol Suhu)



V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, sistem kontrol suhu budidaya maggot BSF berbasis Artificial Neural Network (ANN) terbukti mampu membaca suhu secara real-time dan mengatur kecepatan kipas secara otomatis melalui output PWM. Model ANN dengan tiga neuron pada hidden layer menghasilkan performa terbaik dengan MSE sebesar 0,00092 dan nilai regresi mendekati 1. Validasi selama tiga hari menunjukkan bahwa sistem mampu merespons fluktuasi suhu, termasuk kondisi ekstrem hingga 41,4°C, dengan menghasilkan PWM maksimal 225. Dibandingkan sistem tanpa kontrol, sistem ANN menghasilkan berat maggot yang lebih stabil dan tinggi, yaitu antara 540–590 gram. Tingkat akurasi dari sistem monitoring dan kontrol suhu pada Maggot BSF berbasis ANN menghasilkan rata – rata selisih antara pembacaan sensor suhu DHT 22 dan termometer hygrometer digital bernilai 0.30 °C, yang masih berada dalam batas toleransi akurasi sensor DHT 22 ($\pm 0.5^\circ\text{C}$). Dengan demikian, sistem ini dinilai efisien dan mampu meningkatkan produktivitas budidaya secara nyata.

REFERENSI

- [1] R. Satrio Mukti, A. Risky Widyana, Z. Pradnya Rahmadani, A. Lukman, and Y. Oktanella, "Optimalisasi Metode Pembudidayaan Maggot Black Soldier Fly Di Desa Tambakasri Kecamatan Tajinan," *J. Innov. Appl. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 1277–1282, 2021, doi: 10.21776/ub.jiat.2021.006.02.9.
- [2] R. Aldy and 2021 Putra, Destama, "Monitoring Dan Kontrol Suhu Lampu Untuk Budidaya Maggot Bsf Berbasis Iot (Lamp Temperature Monitoring and Control for Iot-Based Maggot Bsf Cultivation)," *J. Transit*, vol. 9, no. 12, pp. 37–44, 2021.
- [3] R. N. Wakidah, "Sistem Pengontrolan Suhu Pada Proses Budidaya Black Slodier Fly (Bsf) Sebagai Alternatif Pengurangan Sampah Organik," *J. Qua Tek.*, vol. 12, no. 01, pp. 17–24, 2022, doi: 10.35457/quateknika.v12i01.2016.
- [4] L. Nurhani, A. Gunaryati, S. Andryana, and I. Fitri, "Jaringan Syaraf Tiruan Dengan Metode Backpropagation Untuk Memprediksi Jumlah Mahasiswa Baru," *Semin. Nas. Teknol. Inf. dan Multimed.*, pp. 25–30, 2018.
- [5] W. Sim, R. Intan, and Liliana, "Electrocardiogram Biometrics Recognition Menggunakan Artificial Neural Network," *J. Infra*, vol. 9, no. 031, pp. 1–7, 2021, [Online]. Available: <http://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-informatika/article/view/10936%0Ahttp://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-informatika/article/download/10936/9726>
- [6] N. A. Izati, B. Warsito, and T. Widiharah, "Prediksi Harga Emas Menggunakan Feed Forward Neural Network Dengan Metode Extreme Learning Machine," *J. Gaussian*, vol. 8, no. 2, pp. 171–183, 2019, doi: 10.14710/j.gauss.v8i2.26641.
- [7] W. Hendromartono, D. Hartanti, and T. I. Stt-pln, "Backpropagation Dalam Memprediksi Indeks Harga Saham Gabungan (IhsG)," *J. Pengkaj. dan Penerapan Tek. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 133–239, 2015.
- [8] A. F. Suahati, A. A. Nurrahman, and O. Rukmana, "Penggunaan Jaringan Syaraf Tiruan – Backpropagation dalam Memprediksi Jumlah Mahasiswa Baru," *J. Media Tek. dan Sist. Ind.*, vol. 6, no. 1, p. 21, 2022, doi: 10.35194/jmtsi.v6i1.1589.
- [9] K. Buatan, D. Psikologi, and D. Biologi, "Tinjauan Pengantar Jaringan Saraf Spiking dan Jaringan Syaraf Tiruan : Dari Biologi".
- [10] P. Sharma, "ISSN : 2278-6252 FEEDFORWARD NEURAL NETWORK : A Review ISSN : 2278-6252," vol. 2, no. 10, pp. 25–34.