

## RANCANG BANGUN ALAT PENGENDALI SUHU DAN KELEMBABAN RELATIF PADA RUMAH KACA DENGAN INFORMASI BERBASIS WEB

### *Designing a Control Device of Temperature and Relative Humidity in Greenhouse with Based Web Information*

Zaida<sup>1)</sup>, Irfan Ardiansah<sup>1)</sup>, Muhammad Ansyari Rizky<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran

<sup>2)</sup> Alumni Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran

Jalan Raya Bandung – Sumedang KM. 21. Jatinangor. Sumedang 45363 Jawa Barat

Email: zaida@unpad.ac.id

#### ABSTRAK

Suhu dan kelembaban relatif (RH) adalah variabel penting dalam budidaya tanaman di rumah kaca, serta dapat dikendalikan melalui proses pendinginan evaporatif dengan menggunakan pompa *fog cooling system*, tetapi prosesnya masih dilakukan secara manual. Penelitian ini adalah merancang alat pengendali suhu dan RH secara otomatis, merancang sistem monitoring melalui *website*, dan dapat menurunkan suhu dan meningkatkan RH. Penelitian ini menggunakan metode rekayasa. Hasil penelitian membuktikan bahwa alat pengendali suhu dan RH dapat menyalakan pompa *fog cooling system* secara otomatis. *Website* dapat menampilkan data monitoring. Jika intensitas cahaya matahari di luar rumah kaca ( $S_o$ ) lebih besar dari  $800 \text{ Wm}^{-2}$ , suhu dapat diturunkan di bawah  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  dan RH dapat dinaikkan di atas 60%. Jika  $S_o$   $400 \text{ Wm}^{-2} - 800 \text{ Wm}^{-2}$  dan lebih kecil dari  $400 \text{ Wm}^{-2}$ , suhu tidak dapat diturunkan di bawah  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , tetapi RH dapat dinaikkan di atas 60%.

**Kata kunci:** Fog Cooling System, Monitoring, Pengendalian Iklim Mikro, Rumah Kaca, Website.

#### ABSTRACT

*Temperature and relative humidity (RH) are an important variable for cultivation of plants in greenhouse, and can be controlled with evaporative cooling process using fogger cooling system, but this process is done manually. The purposes of this research are design an automatic temperature and RH controller, and monitoring system via website, and be able to decrease temperature and increase RH. This research uses engineering method. The result proves that temperature and RH controller may be able turn on the pump of fog cooling system automatically. The website can display monitoring data. If solar radiation outside the greenhouse ( $S_o$ ) is higher than  $800 \text{ Wm}^{-2}$ , temperature can be decreased lower than  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  and RH can be increased higher than 60%. If  $S_o$   $400 \text{ Wm}^{-2} - 800 \text{ Wm}^{-2}$  and lower than  $400 \text{ Wm}^{-2}$ , temperature can not be decreased lower than  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , but RH can be increased higher than 60%.*

**Keywords:** Environmental Controller, Fog Cooling System, Greenhouse, Monitoring, Website.

Diterima : 31 Januari 2017 ; Disetujui : 22 Februari 2017; Online Published : 25 Juli 2017

Doi : 10.24198/jt.vol11n1.2

#### PENDAHULUAN

Budidaya tanaman pada rumah kaca harus memperhatikan suhu udara, kondisi cahaya matahari, tingkat kesuburan, dan hama tanaman agar pertumbuhan dapat optimal. Kondisi lingkungan merupakan faktor penting yang

menentukan kualitas tanaman budidaya pada rumah kaca. Pada kondisi kering, pendinginan evaporatif sangat disarankan untuk memodifikasi lingkungan pada suhu panas (Albright, 1990).

Menurut Both dan Wheeler (2002), suhu adalah parameter iklim mikro yang mudah diukur.

Namun, setiap jenis tumbuhan memiliki kisaran suhu optimum berbeda-beda. Perubahan kondisi iklim di luar sangat mempengaruhi suhu di dalam ruangan. Misalnya penurunan suhu di luar rumah kaca atau peningkatan angin akan menyebabkan penurunan suhu di dalam rumah kaca (Yu *et al.*, 2005).

Kelembaban ideal tergantung pada jenis tanaman yang ditanam. Tanaman dari iklim tropis akan membutuhkan kelembaban yang lebih tinggi daripada tanaman yang berasal dari daerah kering. Pada umumnya tanaman rumah kaca mendukung kelembaban relatif antara 60% – 80%. Tanaman membutuhkan kelembaban yang lebih tinggi saat suhu tinggi dan kelembaban rendah saat suhu rendah. Hal ini membantu untuk mengatur tingkat transpirasi tanaman (Shamsiri, 2007).

Pendinginan evaporatif bertujuan sebagai proses pendinginan rumah kaca yang dapat menurunkan suhu dan meningkatkan kelembaban relatif. Alat yang digunakan untuk proses pendinginan evaporatif yaitu pompa *fogging*. Penggunaan pompa *fogging* memiliki kinerja yang lebih baik daripada sistem *pad and fan* karena pendinginannya tersebar merata pada ruangan rumah kaca (Van den Bulck *et al.*, 2003).

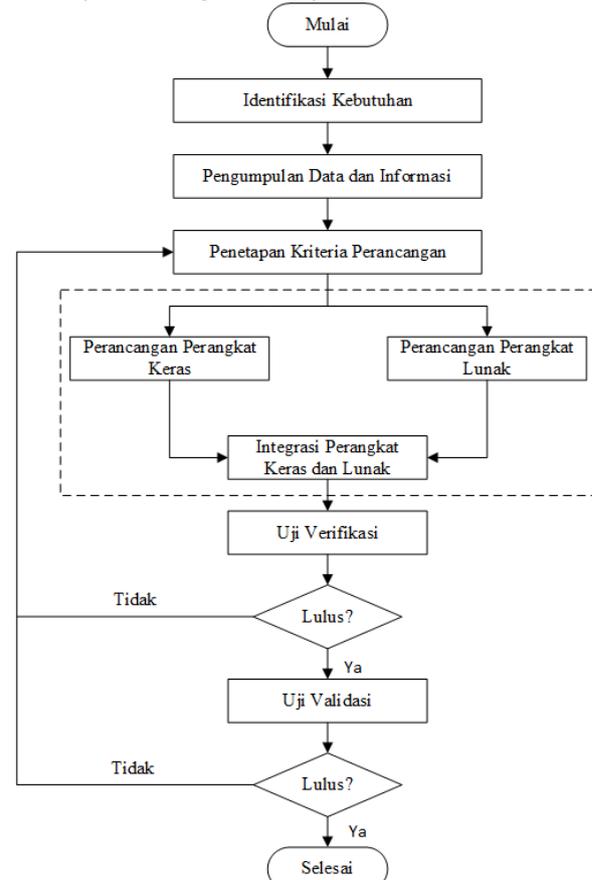
Pada umumnya proses pengabutan dilakukan secara manual menggunakan pompa *fog cooling system* sehingga prosesnya harus dikontrol. Kondisi ini membutuhkan sistem kendali otomatis agar prosesnya dapat berjalan tanpa harus dikontrol secara intensif. Dalam meningkatkan pertumbuhan yang optimal pada budidaya tanaman rumah kaca, maka perlu dirancang alat pengendali suhu dan kelembaban relatif dengan mikrokontroler Arduino Uno dengan sistem *monitoring* melalui *website*.

## METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode rekayasa, yaitu merancang bangun alat pengendali dan kelembaban relatif dengan informasi berbasis *website*. Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2015 sampai dengan Oktober 2016. Perancangan *hardware* dan pemrograman dilakukan di Laboratorium Komputer Fakultas Teknologi Industri Pertanian (FTIP) Universitas Padjadjaran (Unpad). Proses

pemasangan dan pengujian alat dilakukan di rumah kaca D lahan Ciparanje Unpad.

Adapun alur penelitian terdiri dari identifikasi kebutuhan, pengumpulan data dan informasi, penetapan kriteria perancangan baik perancangan perangkat keras maupun perangkat lunak, integrasi perangkat keras dan perangkat lunak, uji verifikasi, dan uji validasi. Pada Gambar 1 ditampilkan diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### Identifikasi Kebutuhan

Pada tahap ini dilakukan identifikasi kebutuhan yang terdapat pada rumah kaca mengenai otomasi pompa *fog cooling system* sebagai pendinginan evaporatif pada rumah kaca. Melalui tahap ini akan didapatkan kebutuhan akan komponen yang dibutuhkan untuk sistem kendali otomatis. Komponen elektronika yang dibutuhkan untuk proses *monitoring* dan kendali adalah *router*, *flashdisk*, mikrokontroler, sensor suhu dan kelembaban, dan lain-lain, serta kita dapat mengidentifikasi kebutuhan akan komponen mekanik untuk menunjang proses pendinginan

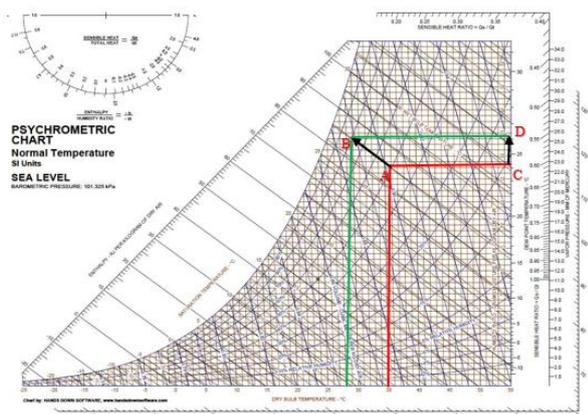
evaporatif menggunakan pompa fog yaitu nozzle, pompa fog, selang, dan lain-lain.

### Pengumpulan Data dan Informasi

Studi literatur merupakan cara untuk mengumpulkan data dan informasi. Studi literatur dilakukan dengan mencari semua informasi mengenai solusi dari masalah yang telah diidentifikasi sebelumnya pada pengendalian suhu dan kelembaban udara terkhusus pada aktuator. Selanjutnya mencari referensi yang berkaitan dengan masalah yang telah diidentifikasi. Referensi yang digunakan berasal dari buku, jurnal ilmiah, dan skripsi yang berkaitan dengan pengendalian suhu dan kelembaban relatif udara. Studi literatur berfungsi untuk menentukan kriteria terbaik yang akan dijadikan sebagai dasar perancangan.

### Perhitungan Psikrometrik

Perhitungan psikrometrik dilakukan untuk menentukan lama penyalaan pompa fog cooling system untuk mencapai kondisi optimal. Perhitungan dilakukan dengan memperhatikan diagram psikrometrik. Pada Gambar 2 di bawah ini ditampilkan cara penggunaan diagram psikrometrik dalam menentukan beberapa variabel perhitungan psikrometrik.



Gambar 2. Penggunaan Diagram Psikrometrik

Pada Gambar 2 di atas, titik A merupakan nilai suhu dan RH awal. Titik B merupakan nilai RH target yang diinginkan, dimana dari titik A ditarik garis sepanjang garis entalpi. Titik C dan D adalah perubahan kelembaban mutlak, hasil dari titik A dan B. Dalam perhitungan psikrometrik terdapat

beberapa persamaan yang digunakan, di antaranya adalah sebagai berikut.

$$e_{sTdi} = 0.61078 \cdot \exp \left\{ \frac{17.2693882 \cdot T_{di}}{T_{di} + 273.3} \right\} \quad (1a)$$

$$e_{sTwi} = 0.61078 \cdot \exp \left\{ \frac{17.2693882 \cdot T_{wi}}{T_{wi} + 273.3} \right\} \quad (1b)$$

Keterangan:

- $e_{sTdi}$  = Tekanan uap air jenuh suhu bola kering di dalam rumah kaca (kPa);
- $e_{sTwi}$  = Tekanan uap air jenuh suhu bola basah di dalam rumah kaca (kPa);
- $T_{di}$  = Suhu bola kering di dalam rumah kaca ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $T_{wi}$  = Suhu bola basah di dalam rumah kaca ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Persamaan (1a) dan (1b) digunakan untuk menghitung tekanan uap air pada keadaan jenuh untuk kondisi suhu bola kering dan bola basah.

$$e_i = e_{sTwi} - 0.000662 \cdot P_o \cdot (T_{di} - T_{wi}) \quad (2)$$

Keterangan:

- $e_i$  = Tekanan uap air di dalam rumah kaca (kPa);
- $P_o$  = Tekanan atmosfer (kPa).

Persamaan (2) digunakan untuk menghitung tekanan uap air keadaan jenuh di dalam ruangan rumah kaca. Untuk nilai tekanan atmosfer ( $P_o$ ) adalah 101.3 kPa.

$$X_i = (\varepsilon \cdot e_i) / (P_o - e_i) \quad (3)$$

Keterangan:

- $X_i$  = Kelembaban mutlak di dalam rumah kaca ( $\text{kg} \cdot \text{kg}_{\text{uk}}^{-1}$ );
- $\varepsilon$  = Rasio berat molekul air terhadap molekul udara (0,622).

Persamaan (3) digunakan untuk menghitung kelembaban mutlak di dalam ruangan rumah kaca.

$$m_f = V \cdot A \cdot \frac{\left( \left( \frac{RH_{it}}{100} \cdot X_{si} \right) - X_i \right)}{R} \quad (4)$$

Keterangan:

- $m_f$  = Debit yang akan disemporkan ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ );

- $V$  = Laju ventilasi berbasis massa ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ );  
 $A$  = Luas permukaan rumah kaca ( $\text{m}^2$ );  
 $X_{Si}$  = Kelembaban mutlak jenuh di dalam rumah kaca ( $\text{kg}\cdot\text{kg}_{\text{uk}}^{-1}$ );  
 $R$  = Rasio massa yang menguap terhadap air ( $0 - 1$ ).

Persamaan (4) digunakan untuk menghitung jumlah massa air yang dicurahkan melalui nozzle. Berdasarkan penelitian . Besarnya nilai laju ventilasi berbasis massa ( $V$ ) ditentukan dari data sekunder. Melalui persamaan (5) maka dapat ditentukan lama waktu yang dibutuhkan untuk mencurahkan massa air yang telah dihitung. Berikut persamaan (5) untuk menentukan lamanya waktu penyalaan pompa.

$$t_f = t_{fs} \cdot (m_f/m_r) \quad (5)$$

Keterangan:

- $t_f$  = Lama waktu pompa dinyalakan (s);  
 $t_{fs}$  = Panjang seluruh siklus (s),  $t_{fs} = t_f + t_s$ ;  
 $m_r$  = Debit nozzle ( $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Pada persamaan (5) lama waktu maksimal dalam satu siklus adalah 60 s, dimana waktu maksimal dalam satu siklus ini ditentukan dari perubahan warna water sensitive paper saat pompa dinyalakan. Menurut penelitian Kusumaningrum (2016), bahwa debit air pada nozzle 0,1 mm adalah sebesar 0,4 g/s.

### Penetapan Kriteria Perancangan

Penetapan kriteria perancangan ini disesuaikan dengan kebutuhan yang akan digunakan dalam sistem kendali. Tahap ini dilakukan untuk mengetahui syarat dan dasar perancangan dari alat yang akan dibuat sehingga dapat melakukan proses pengendalian suhu dan kelembaban relatif udara secara optimal pada rumah kaca dan proses *monitoring* yang terkini.

### Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras (*hardware*) adalah proses penggabungan bagian-bagian yang telah dirakit pada perancangan sistem elektronik menjadi sebuah kesatuan yang akan disambungkan dengan komputer atau laptop. Perancangan perangkat keras terdiri dari perancangan rangkaian *Router*, perancangan

rangkainan *relay*, perancangan sensor suhu DHT22, perancangan rangkaian *Router* dengan Arduino Uno, dan perancangan alat yang berkaitan dengan pendinginan evaporatif seperti pompa *fog cooling system*, solenoid valve, selang, dan nozzle untuk menghasilkan butiran embun pendingin.

### Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak (*software*) sistem kendali suhu dan kelembaban udara relatif udara di rumah kaca berbasis sistem informasi *website* menggunakan *software* Arduino IDE. Perancangan perangkat lunak terdiri dari pemrograman sensor DHT22, pemrograman *Router (openwrt)*, pemrograman Arduino Uno dengan relay untuk menggerakkan aktuator, serta pemrograman website sebagai sistem monitoring pada rumah kaca. Program yang diatur dalam mikrokontroler yaitu membaca nilai input dari sensor suhu dan kelembaban DHT22. Sensor ini akan mengeluarkan nilai digital. Nilai pembacaan sensor dikirimkan secara serial melalui Router dan ditarik oleh pemrograman bahasa python yang akan dikirim dan disimpan menjadi database pada MySQL, sehingga dapat ditampilkan pada website melalui pemrograman bahasa PHP.

Program pengendalian ini dibuat sesuai parameter yang ditentukan dalam perhitungan psikrometrik berdasarkan data sekunder suhu dan kelembaban relatif udara di dalam rumah kaca saat intensitas cahaya matahari mencapai titik terendah, sedang dan tertinggi, sehingga menjadi keputusan untuk menyalakan pompa fog cooling system.

### Pengujian

Pengujian alat berfungsi untuk mengukur tingkat keberhasilan dari alat yang telah dirancang. Pengujian mencakup uji verifikasi dan uji validasi.

### Uji verifikasi

Uji verifikasi merupakan tahapan yang dilakukan untuk memastikan apakah sistem yang dibuat telah benar. Tahap uji verifikasi dilakukan terhadap program yang telah dibuat, apakah pemrograman telah dilakukan secara benar dengan tata cara yang telah ditentukan, dan memastikan apakah program berjalan secara benar. Pengujian ini dapat dilakukan dengan menggunakan perintah *verify* pada *software*

Arduino Uno dalam mengetahui apakah penulisan coding sudah benar atau tidak.

### Uji validasi

Tahapan uji validasi dilakukan untuk menguji alat kendali dan program sistem kontrol apakah dapat bekerja sesuai perintah yang diberikan dan respon terhadap pemrograman yang telah dibuat. Variabel yang akan diuji adalah respon alat dalam memerintahkan pompa untuk menyala atau tidak, hasil monitoring suhu dan kelembaban relatif udara, intensitas cahaya matahari, serta perhitungan selisih kelembaban mutlak dan VPD terhadap masing-masing kondisi intensitas cahaya matahari.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pemrograman Arduino

Pemrograman pengendalian suhu dan RH dibuat dengan menggunakan *software* Arduino IDE. Pada pemrograman tersebut akan dirancang proses pengendalian suhu dan RH dengan menyalakan pompa *fog cooling system* guna menurunkan suhu dan meningkatkan RH di dalam rumah kaca serta proses monitoring secara berkala setiap 5 detik.

Pemrograman dirancang dengan kondisi awal beroperasi adalah tidak menyala selama 90 detik, hal ini agar alat tidak beroperasi ketika dinyalakan. Program ini menggunakan logika *and*, dimana alat akan berjalan ketika suhu dan RH terpenuhi sebagai syarat. Proses penyalakan pompa memiliki tiga kondisi dengan memperhatikan kondisi intensitas cahaya matahari di luar rumah kaca (So).

Kondisi pertama yaitu ketika So lebih besar dari 800 Wm<sup>-2</sup>, dimana jika suhu lebih besar dari 35 oC dan RH lebih kecil dari 60% maka pompa akan menyala selama satu siklus penuh yaitu 90 detik. Kondisi kedua yaitu saat nilai So 400 Wm<sup>-2</sup> – 800 Wm<sup>-2</sup>, dimana jika suhu 30 oC – 35 oC dan RH lebih kecil dari 60% maka pompa akan menyala selama 90 detik. Kondisi ketiga yaitu ketika nilai So lebih kecil dari 400 Wm<sup>-2</sup>, dimana jika suhu 28 oC – 30 oC dan RH lebih kecil dari 60% maka pompa menyala selama 30 detik, dan berhenti selama 60 detik. Selain ketiga kondisi tersebut,

maka pompa tidak akan menyala. Ketika kondisi pompa tidak menyala, solenoid valve akan menyala untuk membuang tekanan sisa pada nozzle. Pada pemrograman Arduino, monitoring dilakukan setiap 5 detik. Data yang ditampilkan yaitu suhu dan RH kelima sensor dan nilai rata-rata dari kelima sensor. Data monitoring yang akan ditampilkan pada *website* sebagai bentuk *monitoring* kepada operator rumah kaca. Tujuan dari adanya *monitoring* ini agar operator mengetahui kondisi perubahan suhu dan RH yang terjadi di dalam rumah kaca. Pemrograman Arduino dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



```
Program_Pengedali_dan_Monitoring_Suhu_dan_Kelembaban_1 | Arduino 1.6.11
File Edit Sketch Tools Help
Upload
Program_Pengedali_dan_Monitoring_Suhu_dan_Kelembaban_1 DHT.c
//kondisi >800 Wm^-2
if (tavg > 35 && havg < 60)
{
  digitalWrite (7, HIGH); //Pompa menyala selama 85 detik
  digitalWrite (8, LOW);
  for (ulang = 0; ulang < 17; ulang++)
  {
    Serial.println("ON3");
    Serial.println(t1,1);
    Serial.println(t2,1);
    Serial.println(t3,1);
    Serial.println(t4,1);
    Serial.println(t5,1);
    Serial.println(h1);
    Serial.println(h2);
    Serial.println(h3);
    Serial.println(h4);
    Serial.println(h5);
    Serial.println(tavg,1);
    Serial.println(havg);
    delay(5000);
    t1 = dht1.readTemperature()-0.3;
    t2 = dht2.readTemperature()-1.0;
    t3 = dht3.readTemperature()-0.3;
    t4 = dht4.readTemperature()-1.2;
    t5 = dht5.readTemperature()+0.1;
    tavg = ((t1+t2+t3+t4+t5)/5);
    h1 = dht1.readHumidity()/1+11.
```

Gambar 3. Pemrograman Arduino

Durasi pompa menyala ditentukan berdasarkan perhitungan psikrometrik dan uji teknis menggunakan *water sensitive paper* bahwa ditetapkan durasi siklus maksimal adalah 90 detik. Durasi ini ditetapkan agar daun tanaman tidak basah terkena *droplet* dari nozzle secara langsung.

### Hasil Monitoring Website

Data dari Arduino akan disimpan pada *database* MySQL dan kemudian akan ditampilkan

pada *website* dengan menggunakan pemrograman bahasa HTML dan PHP. *Website* menampilkan waktu *monitoring*, status pompa, suhu dan RH

kelima sensor, serta suhu rata-rata dan RH rata-rata. Pada Gambar 4 di bawah ini dapat dilihat tampilan *website monitoring* rumah kaca.

Waktu	Pompa	Suhu (°C)					RH (%)					Suhu rata-rata (°C)	RH rata-rata (%)
		Sensor-1	Sensor-2	Sensor-3	Sensor-4	Sensor-5	Sensor-1	Sensor-2	Sensor-3	Sensor-4	Sensor-5		
2016-09-01 14:01:10	ON2	31	30.3	30.5	30.4	30.9	48	50	47	50	50	30.64	49
2016-09-01 14:01:01	ON2	31	30.1	30.6	30.5	30.9	48	50	47	50	50	30.7	49
2016-09-01 14:00:57	ON2	31	30.4	30.6	30.5	30.9	48	50	47	50	50	30.68	49
2016-09-01 14:00:51	ON2	31	30.4	30.6	30.5	30.9	48	50	47	50	50	30.68	49
2016-09-01 14:00:44	ON2	31	30.4	30.6	30.5	30.9	48	50	47	50	50	30.68	49
2016-09-01 14:00:38	ON2	31	30.4	30.6	30.5	30.9	48	50	47	50	50	30.68	49
2016-09-01 14:00:32	ON2	31.1	30.4	30.6	30.5	30.9	48	50	47	50	50	30.7	49
2016-09-01 14:00:25	ON2	31.1	30.4	30.6	30.6	30.9	48	50	47	50	50	30.72	49
2016-09-01 14:00:19	ON2	31.1	30.4	30.6	30.6	31	48	50	47	50	50	30.74	49
2016-09-01 14:00:13	ON2	31.1	30.4	30.6	30.6	31	48	50	47	50	50	30.74	49

Gambar 4. Website Monitoring

Pada Gambar 4 di atas, data terbaru akan ditampilkan di *sheet* teratas. Tujuannya agar pengguna tidak perlu *melakukan scrool down* untuk mengetahui data suhu dan RH yang terbaru. Pada *website* juga disediakan fasilitas sort baris dengan warna merah, hal ini bertujuan untuk mempermudah apabila ingin mengetahui kondisi suhu dan RH pada waktu tertentu. Selain itu, pada *website* juga disediakan tombol export agar data yang telah terbaca dapat diunduh dalam bentuk microsoft excel. *Website* versi pertama ini akan lebih optimal jika diakses dengan menggunakan web browser Mozilla Firefox.

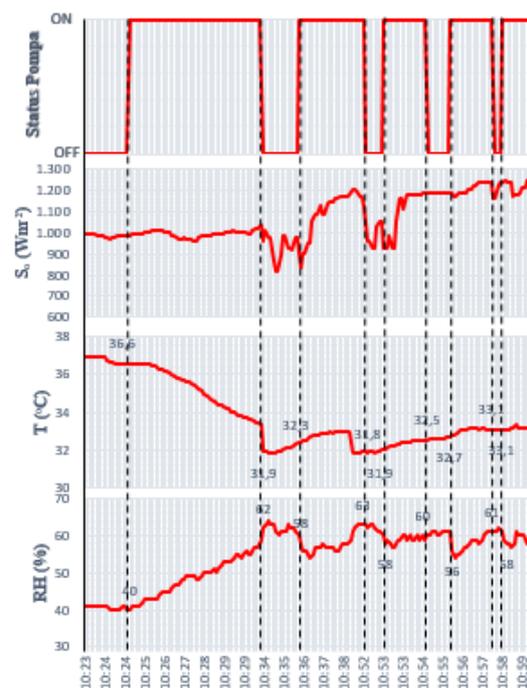
**Kondisi Intesitas Cahaya Matahari (So) Lebih Besar 800 Wm<sup>-2</sup>**

Pada kondisi ini data yang diambil sebanyak 10 siklus pada pukul 10.23 – 10.59 WIB, dimana So lebih besar dari 800 Wm<sup>-2</sup>. Data pengukuran status pompa, S<sub>o</sub>, T dan RH dapat dilihat pada Gambar 5.

**Analisis Status Pompa pada Kondisi S<sub>o</sub> Lebih Besar dari 800 Wm<sup>-2</sup>**

Pada Gambar 5 di atas, jika melihat grafik status pompa, ternyata durasi menyala (t<sub>on</sub>) lebih panjang daripada durasi tidak menyala (toff). Hal ini terjadi karena nilai So mencapai 800 Wm<sup>-2</sup> – 1.300 Wm<sup>-2</sup>. Tingginya nilai So sangat

mempengaruhi nilai suhu dan RH di dalam rumah kaca, sehingga dibutuhkan durasi penyalaan pompa yang lebih panjang untuk dapat menurunkan suhu dan meningkatkan RH sesuai target pada pemrograman Arduino.



Gambar 5. Grafik Status Pompa, Intesitas Cahaya Matahari (S<sub>o</sub>), Suhu (T) dan Kelembaban Relatif (RH pada Kondisi S<sub>o</sub> Lebih Besar dari 800 Wm<sup>-2</sup>

Pada grafik status pompa terlihat bahwa kondisi awal pompa tidak menyala sesuai dengan pemrograman yang telah dibuat pada Arduino. Ketika alat pertama kali dioperasikan, pompa dalam keadaan tidak menyala selama 90 sekon, ternyata suhu dan RH dalam rumah kaca diluar dari kondisi yang diharapkan sehingga pada siklus selanjutnya alat memerintahkan pompa untuk menyala dan harus mencapai target yang optimal untuk rumah kaca.

Suhu dan RH yang dicapai saat pompa ON maupun OFF membuktikan bahwa alat pengendali ini memiliki respon yang baik saat beroperasi. Pada pukul 10.24 suhu dan RH masing-masing sebesar 36,6 oC dan 40% dan kondisi pompa menyala karena dua variabel tersebut masuk ke dalam kriteria keputusan untuk menyalakan pompa pada pemrograman Arduino. Pada pukul 10.34 suhu dan RH masing-masing sebesar 31.9 oC dan 62%. Kondisi tersebut menyebabkan pompa berhenti menyala (OFF), karena penggunaan logika and pada pemrograman sehingga ketika salah satu sudah mencapai target maka pompa akan berhenti dalam hal ini RH telah sesuai dengan kondisi yang diharapkan.

#### Analisis Intensitas Cahaya Matahari (So) Lebih Besar dari 800 Wm<sup>-2</sup>

Kondisi intensitas cahaya matahari di luar rumah kaca (S<sub>o</sub>) mencapai nilai 800 Wm<sup>-2</sup> – 1.300 Wm<sup>-2</sup>. Kondisi ini sangat mempengaruhi nilai suhu dan RH di dalam rumah kaca. Data intensitas cahaya matahari yang diperoleh sesuai dengan kondisi cuaca pada saat pengukuran. Kondisi matahari yang terik sebanding dengan tingginya nilai intensitas cahaya matahari yang diperoleh.

#### Analisis Suhu dan RH pada Kondisi So Lebih Besar dari 800 Wm<sup>-2</sup>

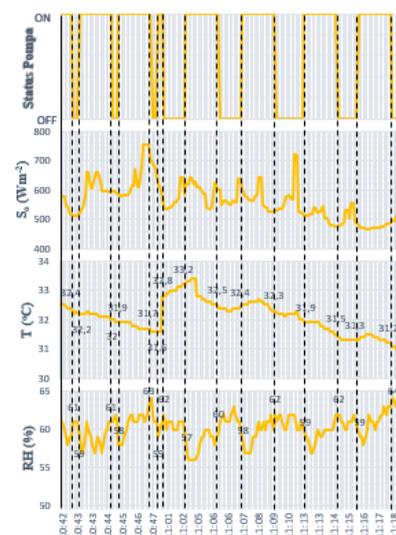
Suhu dan RH menjadi variabel penting yang menentukan pompa *fog cooling system* menyala atau tidak. Nilai suhu dan RH dipengaruhi oleh tingginya intensitas cahaya matahari di luar rumah kaca (S<sub>o</sub>), namun dengan penggunaan pompa *fog cooling system* suhu dan RH dapat dikontrol dengan target yang telah dibuat pada pemrograman Arduino. Pada Gambar 5 di atas, kondisi grafik suhu dan RH berbanding terbalik.

Ketika nilai suhu turun maka nilai RH akan meningkat, begitupun sebaliknya. Perubahan suhu dan RH terjadi sangat drastis pada pukul 10.23 – 10.34 WIB, dimana nilai suhu dan RH yang awalnya sebesar 36,6 °C dan 40% berubah menjadi 31,9 oC dan 62%. Perubahan drastis ini terjadi karena pompa fog cooling system menyala selama 7,5 menit, sehingga suhu dapat diturunkan sekitar 4,7 oC dan RH dapat dinaikkan sekitar 22%. Lamanya waktu pompa menyala terjadi karena tingginya intensitas cahaya matahari (S<sub>o</sub>) menyebabkan alat beroperasi secara berkelanjutan untuk mencapai target yang telah ditetapkan pada pemrograman.

Berdasarkan grafik suhu pada Gambar 5 nilai suhu sudah mencapai nilai yang diharapkan yaitu di bawah 35 oC, penggunaan logika and pada bahasa pemrograman Arduino menyebabkan pompa dapat berhenti karena nilai RH mencapai nilai yang diharapkan yaitu di atas 60%. Nilai RH sangat menentukan pompa berhenti, karena nilai RH selalu mencapai target yang diharapkan ketika pompa menyala (ON).

#### Kondisi Intensitas Cahaya Matahari (So) 400 Wm<sup>-2</sup> – 800 Wm<sup>-2</sup>

Pada kondisi ini data yang diambil sebanyak 10 siklus pada pukul 10.42 – 11.18 WIB, dimana nilai S<sub>o</sub> 400 Wm<sup>-2</sup> – 800 Wm<sup>-2</sup>. Data pengukuran status pompa, S<sub>o</sub>, T dan RH dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Grafik Status Pompa, Intensitas Cahaya Matahari (S<sub>o</sub>), Suhu (T), dan Kelembaban Relatif (RH) pada Kondisi S<sub>o</sub> 400 Wm<sup>-2</sup> – 800 Wm<sup>-2</sup>

### Analisis Status Pompa pada Kondisi $S_o$ $400 \text{ Wm}^{-2}$ – $800 \text{ Wm}^{-2}$

Berdasarkan grafik status pompa pada Gambar 6 di atas dapat dikatakan bahwa suhu dan RH di dalam rumah kaca stabil. Hal ini karena dari seluruh siklus pada Gambar 6 memiliki durasi pompa saat menyala (ON) tidak melebihi dari 90 detik, atau dapat dikatakan bahwa durasi maksimal pompa saat menyala (ON) hanya satu siklus dan pompa langsung berhenti karena telah mencapai target yang telah ditentukan.

Untuk melihat respon alat pengendali baik atau tidaknya, dapat dilihat nilai suhu dan RH yang dicapai saat ON dan OFF. Pada pukul 10.43 nilai suhu sebesar  $32,4 \text{ }^\circ\text{C}$  dan RH 61%, kondisi pompa tidak menyala (OFF). Sedangkan pada pukul 10.45 nilai suhu dan RH masing-masing sebesar  $31,9 \text{ }^\circ\text{C}$  dan 58%, kondisi pompa tidak menyala (OFF). Memperhatikan hal tersebut, alat pengendali terbukti memiliki respon yang baik dalam memerintahkan pompa untuk menyala (ON) atau tidak menyala (OFF).

### Analisis Intensitas Cahaya Matahari ( $S_o$ ) $400 \text{ Wm}^{-2}$ – $800 \text{ Wm}^{-2}$

Dalam grafik intensitas cahaya yang terdapat pada Gambar 6 membuktikan bahwa nilai intensitas cahaya matahari di luar rumah kaca ( $S_o$ )  $400 \text{ Wm}^{-2}$  –  $800 \text{ Wm}^{-2}$ . Nilai  $S_o$  mempengaruhi nilai suhu dan RH di dalam rumah kaca, dimana nilai suhu dan RH saat kondisi intensitas cahaya matahari  $400 \text{ Wm}^{-2}$  –  $800 \text{ Wm}^{-2}$  yaitu  $31 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $34 \text{ }^\circ\text{C}$  dan 55% – 65%. Bila dibandingkan saat kondisi intensitas cahaya matahari ( $S_o$ ) lebih besar dari  $800 \text{ Wm}^{-2}$  yang mencapai suhu lebih besar  $36 \text{ }^\circ\text{C}$  dan RH lebih kecil dari 55 %, maka kondisi saat  $400 \text{ Wm}^{-2}$  –  $800 \text{ Wm}^{-2}$  memiliki suhu yang lebih rendah dan RH yang lebih tinggi. Maka dalam pengendalian suhu dan RH tidak terdapat siklus ON yang melebihi 90 detik.

Kondisi cuaca ketika intensitas cahaya matahari ( $S_o$ )  $400 \text{ Wm}^{-2}$  –  $800 \text{ Wm}^{-2}$  yaitu matahari terik, namun di sisi lain awan menutupi matahari menyebabkan nilai intensitas cahaya matahari menurun. Penurunan intensitas cahaya ini mempengaruhi nilai suhu dan RH di dalam rumah kaca.

### Analisis Suhu dan RH pada Kondisi $S_o$ $400 \text{ Wm}^{-2}$ – $800 \text{ Wm}^{-2}$

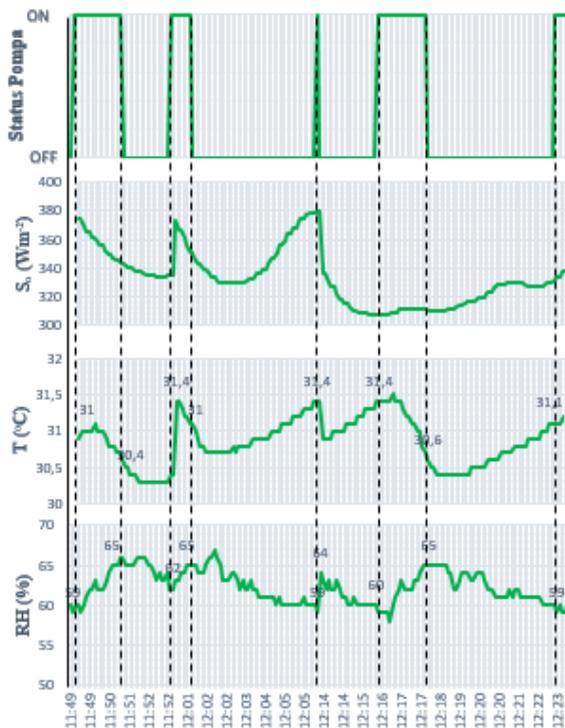
Suhu dan RH saat kondisi intensitas cahaya matahari di luar rumah kaca ( $S_o$ )  $400 \text{ Wm}^{-2}$  –  $800 \text{ Wm}^{-2}$  memiliki target suhu lebih kecil dari  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  dan RH lebih besar dari 60%. Perubahan suhu dan RH stabil, karena tidak terjadinya penurunan suhu dan peningkatan RH yang drastis. Hal ini karena nilai RH selalu mencapai target yang diharapkan ketika pompa menyala (ON). Nilai suhu pada Gambar 6 di atas tidak mencapai target yang diharapkan yaitu lebih kecil dari  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Namun demikian, penggunaan variabel `and` pada pemrograman Arduino sangat mempengaruhi pompa untuk berhenti menyala dalam hal ini variabel RH menjadi penentu keputusan untuk pompa berhenti menyala (OFF).

Grafik suhu dan RH yang digambarkan pada Gambar 6 di atas menunjukkan bentuk grafik yang fluktuatif, karena terdapatnya kondisi ON dan OFF yang stabil durasinya. Ketika pompa menyala maka suhu akan turun dan RH akan naik, sebaliknya ketika pompa tidak menyala maka suhu akan naik dan RH akan turun. Suhu pada pukul 11.03 – 11.18 cenderung menurun, hal ini karena penurunan intensitas cahaya matahari yang terjadi waktu yang bersamaan.

Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 6 di atas, RH menjadi variabel yang memutuskan pompa menyala (ON) atau tidak menyala (OFF). Pada grafik tersebut, pompa menyala (ON) ketika nilai RH pada 58% – 59%. Grafik RH yang fluktuatif membuktikan bahwa kondisi ON dan OFF terjadi secara bergantian dan membuktikan bahwa RH menjadi variabel kontrol pompa. Nilai RH tidak pernah mencapai kurang dari 55%.

### Kondisi Intensitas Cahaya Matahari ( $S_o$ ) Lebih Kecil dari $400 \text{ Wm}^{-2}$

Pada kondisi ini data yang diambil sebanyak 10 siklus pada pukul 11.49 – 12.23 WIB, dimana nilai intensitas cahaya matahari di luar rumah kaca ( $S_o$ ) lebih kecil dari  $400 \text{ Wm}^{-2}$ . Pada kondisi  $S_o$  lebih kecil dari  $400 \text{ Wm}^{-2}$  alat pengendali sering tidak memerintahkan pompa untuk menyala. Data pengukuran status pompa,  $S_o$ , T dan RH dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Grafik Status Pompa, Intensitas Cahaya Matahari ( $S_o$ ), Suhu ( $T$ ), dan Kelembaban Relatif (RH) saat Kondisi  $S_o$  Lebih Kecil dari  $400 \text{ Wm}^{-2}$

#### Analisis Status Pompa pada Kondisi $S_o$ Lebih Kecil dari $400 \text{ Wm}^{-2}$

Berdasarkan grafik status pompa pada Gambar 7 di atas, durasi saat pompa tidak menyala (OFF) lebih panjang dibandingkan durasi saat pompa menyala (ON). Hal ini terjadi karena nilai intensitas cahaya matahari ( $S_o$ ) di luar rumah kaca yang di bawah  $400 \text{ Wm}^{-2}$  yang menyebabkan nilai suhu rendah dan RH tinggi. Pada kondisi ini pompa hanya menyala (ON) ketika nilai RH mencapai 59%.

Durasi yang dibutuhkan saat pompa menyala (ON) tidak melebihi dari 90 detik, karena alat memiliki respon yang baik. Respon alat yang baik dapat dilihat dengan memperhatikan nilai suhu saat keadaan ON dan OFF. Pada pukul 11.49 WIB suhu dan RH masing-masing memiliki nilai  $31^\circ\text{C}$  dan 59%, kondisi pompa menyala (ON) karena nilai RH di luar dari kondisi yang diharapkan. Sedangkan pada pukul 11.51 pompa tidak menyala (OFF) karena suhu dan RH masing-masing memiliki nilai sebesar  $30,4^\circ\text{C}$  dan 65%.

#### Analisis Intensitas Cahaya Matahari ( $S_o$ ) Lebih Kecil $400 \text{ Wm}^{-2}$

Intensitas cahaya matahari saat kondisi lebih kecil ( $S_o$ ) dari  $400 \text{ Wm}^{-2}$  dapat dilihat pada Gambar 7 di atas. Nilai intensitas cahaya matahari di luar rumah kaca yaitu  $300 \text{ Wm}^{-2} - 380 \text{ Wm}^{-2}$ . Rendahnya nilai intensitas cahaya matahari di luar rumah kaca mempengaruhi nilai suhu dan RH di dalam rumah kaca. Kisaran nilai suhu dan RH yang diperoleh ketika intensitas cahaya matahari di bawah  $400 \text{ Wm}^{-2}$  masing-masing adalah  $30^\circ\text{C} - 31,5^\circ\text{C}$  dan 59% – 70%. Nilai ini jauh lebih kecil dari kedua kondisi intensitas cahaya matahari sebelumnya. Hal ini menyebabkan pompa lebih banyak dalam keadaan OFF, karena suhu yang stabil dan RH yang selalu mencapai nilai target yang diharapkan. Kondisi cuaca yang terjadi saat penelitian yaitu kondisi matahari yang selalu tertutupi awan, sehingga tampak seperti cuaca berawan.

#### Analisis Suhu dan RH pada Kondisi $S_o$ Lebih Kecil dari $400 \text{ Wm}^{-2}$

Suhu dan RH saat kondisi intensitas cahaya matahari lebih kecil dari  $400 \text{ Wm}^{-2}$  memiliki nilai target masing-masing lebih kecil dari  $28^\circ\text{C}$  dan lebih besar dari 60%. Berdasarkan nilai yang terdapat pada Gambar 7 di atas, nilai suhu tidak mencapai target yang diinginkan. Hal ini dikarenakan nilai RH yang selalu mencapai target yang diharapkan. Ketika pompa menyala dan salah satu variabel keputusan mencapai target maka alat akan memerintahkan pompa untuk berhenti menyala (OFF). Dalam hal ini nilai RH telah mencapai target yang diharapkan, sementara nilai suhu belum mencapai target. Nilai terendah suhu yang dicapai pada kondisi ini yaitu  $30,4^\circ\text{C}$ , apabila nilai RH belum terpenuhi maka suhu akan lebih rendah lagi dari nilai tersebut.

Nilai RH terendah pada Gambar 7 di atas adalah 59%. Pada nilai tersebut tentu pompa akan menyala terbukti pada pukul 10.49 WIB dan 12.22 WIB. RH menjadi variabel yang penting dalam memutuskan pompa berhenti menyala atau tidak, karena selalu mencapai target yang diharapkan. Pada kondisi ini juga alat pengendali terbukti memiliki respon yang baik, karena memerintahkan pompa untuk menyala dan berhenti sesuai kriteria

keputusan yang telah ditentukan pada pemrograman Arduino.

Vapor Pressure Defisit (VPD) dan Selisih Kelembaban Mutlak ( $\Delta W$ ) pada Semua Kondisi  $S_o$ . Pada kondisi intensitas cahaya matahari di luar rumah kaca ( $S_o$ ) lebih besar dari  $800 \text{ Wm}^{-2}$  data yang diambil sebagai perhitungan adalah pada pukul 10.26 – 10.36 WIB yaitu siklus ke-2, ke-4 dan ke-7 pengukuran. Data pengukuran dan perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Perhitungan VPD dan  $\Delta W$  pada Kondisi  $S_o$  Lebih Besar dari  $800 \text{ Wm}^{-2}$

Siklus	Waktu	Status	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	$S_o$ ( $\text{Wm}^{-2}$ )	VPD (kPa)	$\Delta W$ (g/kg)
2	10:26	ON	36	46	989,4	3,21	1,80
4	10:30	ON	33,5	57	1013,1	2,22	1,60
7	10:36	ON	32,5	56	904,4	2,15	1,26

Pada kondisi intensitas cahaya matahari di luar rumah kaca ( $S_o$ )  $400 \text{ Wm}^{-2} - 800 \text{ Wm}^{-2}$  data yang diambil sebagai perhitungan adalah pada pukul 10.44 – 11.14 WIB yaitu siklus ke-11, ke-12, dan ke-27 pengukuran. Data pengukuran dan perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Perhitungan VPD dan  $\Delta W$  pada Kondisi  $S_o$   $400 \text{ Wm}^{-2} - 800 \text{ Wm}^{-2}$

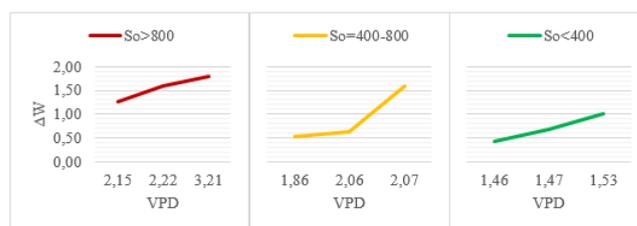
Siklus	Waktu	Status	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	$S_o$ ( $\text{Wm}^{-2}$ )	VPD (kPa)	$\Delta W$ (g/kg)
11	10:44	ON	32,2	57	629,4	2,07	1,58
12	10:44	ON	32,1	57	595,6	2,06	0,62
27	11:44	ON	31,6	60	480,6	1,86	0,52

Pada kondisi intensitas cahaya matahari di luar rumah kaca ( $S_o$ ) lebih kecil dari  $400 \text{ Wm}^{-2}$  data yang diambil sebagai perhitungan adalah pada waktu 11.50 – 12.02 WIB yaitu siklus ke-46, ke-47, dan ke-52 pengukuran. Data pengukuran dan perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Perhitungan VPD dan  $\Delta W$  pada Kondisi  $S_o$  Lebih Kecil dari  $400 \text{ Wm}^{-2}$

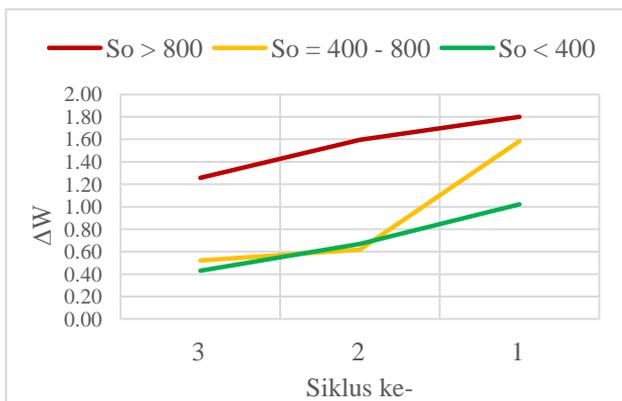
Siklus	Waktu	Status	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	$S_o$ ( $\text{Wm}^{-2}$ )	VPD (kPa)	$\Delta W$ (g/kg)
11	10:44	ON	32,2	57	629,4	2,07	1,58
12	10:44	ON	32,1	57	595,6	2,06	0,62
27	11:44	ON	31,6	60	480,6	1,86	0,52

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 membuktikan bahwa nilai VPD dan kelembaban mutlak dipengaruhi oleh nilai suhu dan RH. Jika nilai suhu tinggi dan RH tinggi maka nilai VPD dan selisih kelembaban mutlak akan semakin rendah, begitupun sebaliknya. Hubungan antara VPD dan selisih kelembaban mutlak ( $\Delta W$ ) pada masing-masing kondisi dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hubungan  $\Delta W$  Terhadap VPD pada semua Kondisi  $S_o$

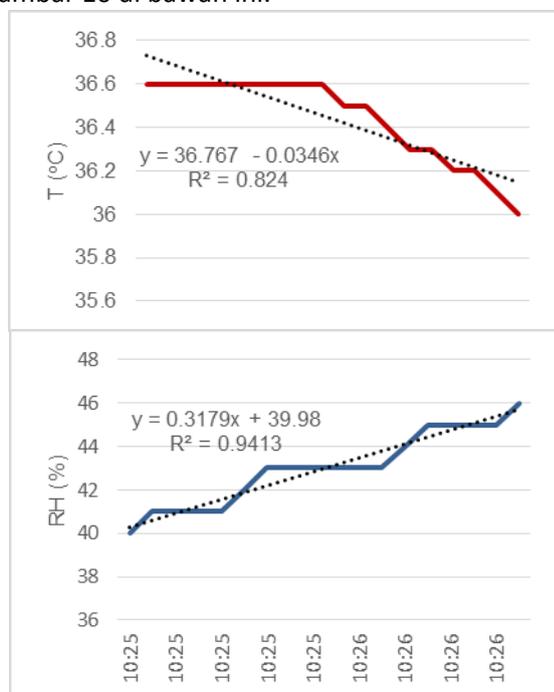
Pada Gambar 8 di atas, hubungan selisih kelembaban mutlak terhadap VPD pada semua kondisi berbanding lurus. Semakin besar nilai VPD maka semakin besar nilai selisih kelembaban mutlak. Untuk melihat perbedaan besarnya nilai selisih kelembaban mutlak pada masing-masing kondisi intensitas cahaya matahari di luar rumah kaca dapat dilihat pada Gambar 9 yang terlihat bahwa besar nilai selisih kelembaban mutlak paling besar terjadi pada kondisi intensitas cahaya matahari di atas  $800 \text{ Wm}^{-2}$  dan paling kecil terjadi pada kondisi intensitas cahaya matahari di bawah  $400 \text{ Wm}^{-2}$ . Hal ini membuktikan bahwa intensitas cahaya matahari mempengaruhi lama atau tidaknya penyalaan pompa *fog cooling system* untuk menurunkan suhu dan meningkatkan kelembaban relatif udara.



Gambar 9. Grafik Perbedaan Nilai ΔW pada Semua Kondisi S<sub>o</sub>

### Analisis Perubahan Suhu dan RH Terhadap Durasi Penyalan Pompa

Pada analisis ini menggunakan data pengukuran saat pompa menyala (ON). Data yang digunakan yaitu data pengukuran pada pukul 10.25 – 10.26 WIB. Analisis diperlukan untuk mengetahui seberapa besar perubahan nilai suhu dan RH yang terjadi ketika pompa menyala (ON) selama satu siklus penuh. Untuk melihat perubahan suhu dan RH yang terjadi terhadap durasi penyalan pompa dapat dilihat pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Grafik Perubahan Suhu (T) dan Kelembaban Relatif (RH) Terhadap Durasi Penyalan Pompa

Berdasarkan Gambar 10 di atas, diperoleh persamaan regresi suhu dan RH masing-masing adalah  $y = 36,767 - 0,0346x$  dan  $y = 0,3179x + 39,98$ . Persamaan regresi pada grafik suhu menyatakan bahwa setiap durasi bertambah maka secara rata-rata nilai suhu akan turun sebesar  $0,0346 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Sedangkan persamaan regresi pada grafik RH menyatakan bahwa setiap durasi bertambah maka secara rata-rata nilai RH naik sebesar  $0,3179\%$ . Nilai R<sup>2</sup> suhu dan RH masing-masing adalah  $0,824$  dan  $0,9413$ . Hal ini membuktikan durasi penyalan pompa memiliki hubungan dengan perubahan nilai suhu dan RH, bahwa ketika pompa menyala dengan durasi tertentu dapat menurunkan nilai suhu dan meningkatkan nilai RH di dalam rumah kaca.

### KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat pengendali suhu dan kelembaban relatif udara dapat menyalakan pompa *fog cooling system* secara otomatis ketika suhu lebih besar dari  $35 \text{ } ^\circ\text{C}$  dan RH lebih kecil dari  $60 \%$ , suhu di antara  $30 \text{ } ^\circ\text{C} - 35 \text{ } ^\circ\text{C}$  dan RH lebih kecil dari  $60\%$ , serta ketika suhu di antara  $28 \text{ } ^\circ\text{C} - 30 \text{ } ^\circ\text{C}$  dan RH lebih kecil dari  $60\%$ .
2. Website dapat menampilkan data monitoring berupa data suhu dan kelembaban relatif udara yang dibaca oleh kelima sensor DHT 22.
3. Suhu dapat diturunkan dan kelembaban relatif udara dapat dinaikkan pada kondisi intensitas cahaya matahari lebih besar dari  $800 \text{ Wm}^{-2}$  sesuai target yang diharapkan dimana suhu lebih kecil dari  $35 \text{ } ^\circ\text{C}$  dan RH lebih besar dari  $60 \%$ , namun pada kondisi intensitas cahaya matahari  $400 \text{ Wm}^{-2} - 800 \text{ Wm}^{-2}$  dan lebih kecil dari  $400 \text{ Wm}^{-2}$  suhu tidak dapat diturunkan sesuai target yang diharapkan yaitu  $30 \text{ } ^\circ\text{C}$  tetapi RH berhasil dinaikkan sesuai target yaitu lebih besar dari  $60\%$ .

### DAFTAR PUSTAKA

Albright, L.D., 1990. *Environmental Control for Animals and Plants*. Departement of Agricultural and Biological Engineering, Cornell University.

- Both, A.J., & Wheeler, E.F., 2002. *Principles of Evaluating Greenhouse Aerial Environments*. Rutgers University.
- Handarto, Hayashi, M., Goto, E., & Kozai, T., 2007. *Experimental Verification of Control Logic for Operation of a Fog Cooling System for a Naturally Ventilated Greenhouse*. *Environ Control Biol.*, 45, hal. 47 – 58.
- Kusumanigrum, D.A., 2016. *Peningkatan Mutu Droplet pada Sistem Pendinginan Pengabutan (Fog Cooling System) di Rumah Kaca Berventilasi Alami*. Skripsi. Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran.
- Shamsiri, R. 2007., *Principles of Greenhouse Control Engineering*. Institute of Advanced Technology Universiti Putra Malaysia.
- Van den Bulck, N., Coomans, M., Wittemans, L., Hanssens, J., & Steppe, K., 2013. *Monitoring and Energetic Performance Analysis of an Innovative Ventilation Concept in a Belgian Greenhouse*. *Energi and Building*, 57, hal. 51 – 57. Tersedia di <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.021>
- Yu, C., Ying, Y., Wang, J., Nourain, J., & Yang, J., 2005. *Determining Heating Pipe Temperature in Greenhouse Using Proportional Integral Plus Feedforwarded Control and Radial Basic Function Neural-Networks*. *Zhejiang University SCIENCE*, 6A(4), hal.265 – 269. Tersedia di <http://www.zju.edu.cn/jzus/article.php?doi=10.1631/jzus.2005.A0265>