

**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI SUHU *GREENHOUSE*
OTOMATIS PADA BUDIDAYA TANAMAN BAWANG MERAH, CABAI
RAWIT, DAN TOMAT**

(Skripsi)

Oleh

RISKI PRATAMA



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI SUHU *GREENHOUSE*
OTOMATIS PADA BUDIDAYA TANAMAN BAWANG MERAH, CABAI
RAWIT, DAN TOMAT**

Oleh

RISKI PRATAMA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI SUHU *GREENHOUSE* OTOMATIS PADA BUDIDAYA TANAMAN BAWANG MERAH, CABAI RAWIT, DAN TOMAT

Oleh

RISKI PRATAMA

Masalah utama yang dihadapi budidaya tanaman hortikultura di daerah tropis adalah intensitas cahaya yang tinggi oleh karena itu diperlukan naungan salah satunya yaitu *greenhouse*. Dari hasil pengamatan yang telah dilaksanakan didapat suhu di dalam *greenhouse* di daerah tropis mampu mencapai 34 - 36°C. Untuk itu, diperlukan sebuah alat yang dapat mengukur dan mengendalikan suhu udara yang ada di dalam *greenhouse*, agar pertumbuhan tanaman dapat maksimal. Tujuan penelitian ini adalah melakukan kalibrasi dan validasi sensor suhu untuk suhu tanaman dan melakukan perancangan dan pengujian alat untuk mendapatkan nilai kinerja aktuator yang meliputi keakurasian, rerata waktu pengendalian, stabilitas, respon sistem, dan pemberian aksi.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni - September 2019 di *Greenhouse* dan di Laboratorium daya dan alat mesin pertanian Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Perancangan sistem kendali ini dilakukan dengan membuat skematik rangkaian, dilanjutkan dengan pembuatan rangkaian sistem kendali suhu dan perakitan komponen sistem ke *greenhouse*. Pengambilan data dilakukan dengan pengujian kinerja alat berdasarkan akurasi, rerata waktu pengendalian, stabilitas, respon sistem, pemberian aksi, dan pertumbuhan tanaman.

Hasil penelitian menunjukkan sensor DHT22 pada rancang bangun sistem kendali otomatis suhu *greenhouse* pada budidaya tanaman cabai rawit, bawang merah, dan tomat ini telah sesuai dengan rancangan yang diinginkan dengan nilai kalibrasi R^2 berturut-turut sebesar 97,78%, 98,54%, 98,60%, dan 99,27%. Sedangkan untuk nilai validasi R^2 berturut-turut 99,68%, 99,29%, 99,00%, dan 98,83%. Nilai keakurasian yang didapat yaitu sebesar 98,40%, 97,82% dan 97,53%. Sedangkan untuk rerata waktu pengendalian pada suhu 32 °C sebesar 12,8 menit, suhu 33 °C.

Kata Kunci : Suhu, Mikrokontroler, dan *Greenhouse*

ABSTRACT

The main problem faced by the cultivation of horticultural crops in the tropics is the high light intensity. Therefore, shade is needed, one of which is the *greenhouse*. From the results of observations that have been carried out, it is found that the temperature in the *greenhouse* in the tropics can reach 34 - 36°C. For that, we need a tool that can measure and control the air temperature in the *greenhouse*, so that plant growth can be maximized. The purpose of this research is to calibrate and validate temperature sensors for plant temperatures and to design and test tools to obtain actuator performance values which include accuracy, average control time, stability, system response, and action.

This research was carried out in June - September 2019 at the *Greenhouse* and at the Laboratory of Power and Agricultural Machine Tools, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, University of Lampung. The design of this control system is done by making a schematic of the circuit, followed by making a series of temperature control systems and assembling system components to the *greenhouse*. Data retrieval is done by testing the performance of the tool based on accuracy, average control time, stability, system response, action, and plant growth.

The results showed that the DHT22 sensor in the design of the *greenhouse* temperature automatic control system for the cultivation of cayenne pepper, shallots, and tomatoes was in accordance with the desired design with R2 calibration values of 97.78%, 98.54%, 98 respectively. ,60%, and 99.27%. Meanwhile, the R2 validation values were 99.68%, 99.29%, 99.00%, and 98.83%, respectively. The accuracy values obtained are 98.40%, 97.82% and 97.53%. Meanwhile, the average control time at 32°C temperature is 12.8 minutes, 33°C temperature is 10.5 minutes, and 34°C temperature is 9.4 minutes with an average of 10.9 minutes at the three temperatures. When the air temperature value passes the *setting point*, the device will turn on the pump which sprays water with an amount of water as much as 6.45 liters/hour from a total of 4 pipe holes to lower the air temperature at 1 - 10 HST from 32.7°C until it reaches 32° C with system response for 6 hours, 11 - 20 hst air temperature from 34.67°C - 33°C with system response for 5 hours, and 21 - 30 hst air temperature from 35.17°C - 34°C with response system for 3 hours.

Keyword : *greenhouse*, temperature, microcontroller

Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu
Greenhouse Otomatis Pada Budidaya Tanaman
Bawang Merah, Cabai Rawit, Dan Tomat

Nama Mahasiswa : Riski Pratama

Nomor Pokok Mahasiswa : 1514071062

Program Studi : Teknik Pertanian

Fakultas : Pertanian



Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc.
NIP. 198803252015041001

Ir. Budianto Lanya, M.T.
NIP. 195805231986031002

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP. 196210101989021002

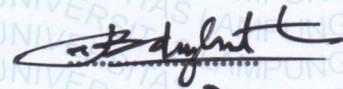
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

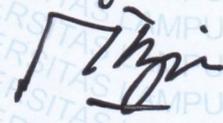
Ketua : Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc



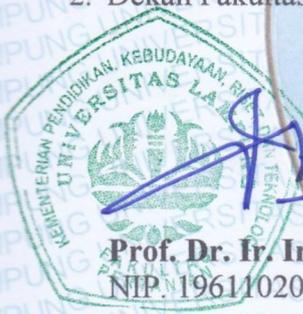
Sekretaris : Ir. Budianto Lanya, M.T.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 19611020 198603 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **8 Juni 2022**

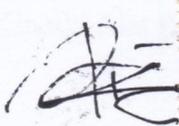
PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Riski Pratama** NPM **1514071062**

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing 1) Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP, M. Sc. dan 2) Ir. Budianto Lanya, M.T. berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, **17 Juni** 2022
Yang membuat pernyataan




(Riski Prata
NPM. 1514071062

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sagulung, kota Batam, pada 3 Mei 1997.

Penulis sebagai anak ke-satu dari tiga bersaudara pasangan Bapak Syaiful Anam dan Ibu Siti Khoiriah, kakak dari Hakiky Prasetyo dan Hasan Jiddan Ahmad.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD N 4 Margamulya pada tahun 2009. Pada tahun 2012, penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Bongas Indramayu, Jawa Barat. Pada tahun 2015 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Natar Lampung Selatan dan pada tahun yang sama penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur tes tertulis Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Pada bulan Desember sampai Januari 2018, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Gunung Sugih Kecil, Kecamatan Jabung, Lampung Timur. Pada bulan Juli sampai Agustus 2018, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia (PUSLITKOKA) dan menyelesaikan laporan PU dengan judul “Uji Kinerja Alat Pemecah Biji Kakao (*desheller*).

Selama menjadi mahasiswa, penulis menjadi Asisten Dosen Alat Mesin Pertanian pada tahun ajaran 2017/2018, serta Mikrokontroler pada tahun ajaran 2018/2019. Selain itu, penulis juga mengikuti berbagai perlombaan karya tulis ilmiah dan lolos seleksi Program Kreatifitas Mahasiswa tahun 2020 yang diselenggarakan oleh Kemenristekdikti dan mendapat sejumlah dana.

Karya ini saya persembahkan untuk
Ayahku Syaiful Anam
Ibuku Siti Khoiriah
Kedua Adikku Hakiky Prasetyo dan Hasan Jiddan Ahmad

Kebetulan adalah serangkaian takdir yang menyamar (Fiersa Besari)

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat ALLAH SWT karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu *Greenhouse* Otomatis Pada Budidaya Tanaman Bawang Merah, Cabai Rawit, dan Tomat” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si., selaku ketua Jurusan Teknik Pertanian sekaligus penguji utama, atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, kritik, dan saran dalam proses penyelesaian skripsi ini;
3. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc., selaku pembimbing pertama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, kritik, dan saran dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Bapak Ir. Budianto Lanya, M.T., selaku pembimbing kedua atas kesediaannya untuk memberikan motivasi, bimbingan, kritik, dan saran dalam proses penyelesaian skripsi ini;
5. Seluruh Bapak dan Ibu dosen pengajar, staff administrasi dan laboratorium di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
6. Kedua Orang Tua dan adik, atas kasih sayang yang tulus, semangat, motivasi, nasihat, dan doa yang selalu menyertai Penulis;
7. Teman seperjuangan, seluruh teman-teman TEP angkatan 2015 atas kebersamaan selama ini.

Penulis berharap semoga ALLAH membalas kebaikan yang telah diberikan dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Bandar Lampung, 3 Juni 2022

Riski Pratama

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	-
2.1. Bawang Merah	5
2.2. Cabai rawit	6
2.3. Tomat	7
2.4. <i>Greenhouse</i>	8
2.5. Sistem Kendali	10
2.6. Aktuator dan Sensor	12
2.7. Rangkaian Kebaruan Penelitian	13
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Waktu dan Tempat	16
3.2. Alat dan Bahan	16
3.3. Dasar Perancangan	16
3.4. Penentuan <i>Setting point</i>	17
3.5. Kriteria Desain	18
3.6. Perancangan Struktural	19
3.7. Perancangan Fungsional	20
3.8. Prosedur Perancangan Alat	23
3.8.1. Gambaran Umum Prosedur Penelitian	24

3.8.2. Skematik Rangkaian	26
3.8.3. Perakitan Perangkat Keras	27
3.8.4. Kalibrasi dan Validasi Alat	27
3.8.5. Pemograman	30
3.9. Mekanisme Kerja	30
3.10. Uji Kinerja Alat	32
3.11. Analisis Data	34

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Rangkaian Sistem Kendali	37
4.1.1. Sistem Kendali	38
4.1.2. Instalasi Pompa Air	41
4.2. Kalibrasi Sensor DHT 22	42
4.3. Validasi Sensor DHT 22	45
4.4. Pengujian Kinerja Alat	47
4.4.1. Akurasi	49
4.4.2. Stabilitas	50
4.4.3. Rerata Waktu Pengendalian	51
4.4.4. Respon Sistem	52
4.4.5. Pemberian Aksi	54
4.4.6. Pertumbuhan Tanaman	54
4.4.7. Akurasi Saat Alat Mengendalikan Suhu	63
4.4.8. Efisiensi Alat Dalam Mengendalikan Suhu	65

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	68
5.2. Saran	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rangkaian Kebaruan Penelitian	14
2. Dasar Penentuan <i>Setting point</i>	18
3. Interpretasi Koefisien Korelasi	36
4. Model-model persamaan	44
5. Nilai akurasi alat	50
6. Nilai rerata waktu pengendalian alat	52
7. Hasil analisis sidik ragam pengaruh tempat penanaman di dalam <i>greenhouse</i> dan di luar <i>greenhouse</i> dan hari pengamatan terhadap jumlah daun bawang	56
8. Hasil analisis sidik ragam pengaruh tempat penanaman di dalam <i>greenhouse</i> dan di luar <i>greenhouse</i> dan hari pengamatan terhadap tinggi tanaman bawang	57
9. Hasil analisis sidik ragam pengaruh tempat penanaman di dalam <i>greenhouse</i> dan di luar <i>greenhouse</i> dan hari pengamatan terhadap jumlah daun cabai	59
10. Hasil analisis sidik ragam pengaruh tempat penanaman di dalam <i>greenhouse</i> dan di luar <i>greenhouse</i> dan hari pengamatan terhadap tinggi tanaman cabai	60
11. Hasil analisis ragam pengaruh tempat penanaman di dalam <i>greenhouse</i> dan di luar <i>greenhouse</i> dan hari pengamatan terhadap jumlah daun tomat	62
12. Hasil analisis ragam pengaruh tempat penanaman di dalam <i>greenhouse</i> dan di luar <i>greenhouse</i> dan hari pengamatan terhadap tinggi tanaman tomat	63
Lampiran	
13. Pengukuran suhu 1 sampai 10	82
14. Pengukuran suhu hari ke 11 sampai 20	83
15. Pengukuran suhu hari ke 21 sampai 30	84
16. Data tinggi tanaman bawang merah di dalam <i>greenhouse</i>	85
17. Data tinggi tanaman bawang merah di luar <i>greenhouse</i>	85

18. Data jumlah daun bawang merah di luar <i>greenhouse</i>	85
19. Data jumlah daun bawang merah di luar <i>greenhouse</i>	86
20. Data tinggi tanaman tomat di dalam <i>greenhouse</i>	86
21. Data tinggi tanaman tomat di luar <i>greenhouse</i>	87
22. Data jumlah daun tomat di luar <i>greenhouse</i>	87
23. Data jumlah daun tomat di luar <i>greenhouse</i>	87
24. Data tinggi tanaman cabai rawit di dalam <i>greenhouse</i>	88
25. Data tinggi tanaman cabai rawit di luar <i>greenhouse</i>	88
26. Data jumlah daun cabai rawit di dalam <i>greenhouse</i>	88
27. Data jumlah daun cabai rawit di luar <i>greenhouse</i>	89
28. Data validasi sensor 1 DHT22	89
29. Data validasi sensor 2 DHT22	90
30. Data validasi sensor 3 DHT22	90
31. Data validasi sensor 4 DHT22	91
32. Hasil Uji T	92
33. Suhu di dalam <i>greenhouse</i>	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram loop tertutup	11
2. Penentuan <i>Setting point</i>	17
3. <i>Setting point</i> yang ditentukan	18
4. Skema peletakan komponen pengolah data	20
5. Sensor DHT22	21
6. Arduino USB	21
7. Real Time Clock	22
8. Modul micro SD Card	22
9. Liquid Crystal Display	23
10. Modul relay	23
11. Diagram Alir Perancangan Alat	24
12. Diagram Alir Prosedur Penelitian	25
13. Skematik Rangkaian	26
14. Diagram alir kalibrasi dan validasi sensor suhu	29
15. Penampilan program arduino	30
16. Diagram alir mekanisme kerja	31
17. Kurva Respon Transient dan Steady State	33
18. Rangkaian sistem kendali	37
19. Kotak rangkaian elektronika sistem kendali	38
20. Rangkaian elektronika sistem kendali	39
21. Instalasi pompa air	42
22. Kalibrasi sensor suhu DHT22	43
23. Validasi sensor DHT 22	45
24. Hasil perekaman data pada hari ke 1-10	48
25. Hasil perekaman data pada hari ke 11-20	48

26. Hasil perekaman data pada hari ke 21-30	49
27. Stabilitas alat pada 30 hari setelah tanam	51
28. Respon sistem penurunan suhu pada 10 hari pertama	53
29. Respon sistem penurunan suhu pada 10 hari kedua	53
30. Respon sistem penurunan suhu pada 10 hari ketiga	53
31. Rerata tinggi dan jumlah daun tanaman bawang merah di dalam <i>greenhouse</i> terkendali dibandingkan dengan tanaman kontrol	55
32. Rerata tinggi dan jumlah daun tanaman cabai rawit di dalam <i>greenhouse</i> terkendali dibandingkan dengan tanaman kontrol	58
33. Rerata tinggi dan jumlah daun tanaman tomat di dalam <i>greenhouse</i> terkendali dibandingkan dengan tanaman kontrol	61
34 Hasil pengukuran akurasi alat saat mengendalikan suhu	64
35 Hasil pengukuran akurasi alat saat mengendalikan suhu	64
36 Hasil pengukuran akurasi alat saat mengendalikan suhu	64
37. Efisiensi alat saat mengendalikan suhu	66

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Hortikultura berasal dari Bahasa Latin *hortus* (tanaman kebun) dan *cultura* (budidaya), atau disebut juga sebagai budidaya tanaman kebun. Istilah hortikultura kemudian digunakan secara luas bukan hanya untuk budidaya tanaman kebun saja. Sub sektor hortikultura telah berkontribusi secara nyata dalam mendukung perekonomian nasional, baik dalam penyediaan produk pangan maupun perdagangan. Hortikultura merupakan usaha pembudidayaan tanaman dalam bentuk ladang atau biasa disebut “*field crops*”. Akan tetapi, pada perkembangannya budidaya tanaman hortikultura juga dilakukan di lahan yang luas atau disebut “*orchard*” dengan teknologi mekanisasi modern.

Kebutuhan hasil tanaman hortikultura di Indonesia terus meningkat. Namun produksi sayuran nasional saat ini belum cukup untuk memenuhi kebutuhan pasar. Tiga komoditas sayuran yang paling diminati adalah cabai rawit, bawang merah, dan tomat. Tahun 2017, produksi nasional cabai rawit, bawang merah, dan tomat berturut-turut mencapai 1,15 juta ton, 1,47 juta ton, dan 962.849 ton. Jika dibandingkan dengan tahun 2016, produksi cabai rawit dan bawang merah mengalami peningkatan dikarenakan meningkatnya luas panen (Badan Pusat Statistik, 2017).

Masalah utama yang dihadapi budidaya tanaman hortikultura di daerah tropis adalah intensitas cahaya yang tinggi. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan suhu daun, sehingga dapat mempengaruhi efektivitas kerja enzim dan sintesis klorofil terhambat akibatnya, proses fotosintesis terganggu dan berdampak pada pertumbuhan tanaman yang terhambat. Intensitas cahaya yang tinggi yang diterima tanaman juga dapat meningkatkan laju evapotranspirasi pada tanaman,

sehingga menyebabkan tanaman kekurangan air. Saat tanaman kekurangan air dalam jangka waktu yang cukup lama, pertumbuhan tanaman akan terhambat dan mempengaruhi hasil produksi (Williams dkk, 1993).

Suhu memiliki peranan utama dalam mempengaruhi proses metabolisme tanaman. Pengaruhnya terutama pada proses yang menyangkut reaksi termokimia. Walaupun peningkatan suhu dapat meningkatkan energi kimia, akan tetapi jika peningkatan suhu di atas suhu optimum dapat mengganggu aktivitas enzim di dalam jaringan tanaman. Laju pertumbuhan tanaman akan bergerak linier dengan kenaikan suhu mendekati suhu optimum, akan tetapi meluncur cepat dengan kenaikan suhu di atasnya. Resultan dari keduanya akan mengakibatkan penurunan laju pertumbuhan di atas suhu optimum.

Untuk mengurangi dampak penerimaan cahaya yang menyebabkan peningkatan suhu adalah dengan naungan. Di masa sekarang banyak dikembangkan teknik pemuliaan tanaman hortikultura agar didapatkan hasil produksi yang lebih unggul secara kualitas dan kuantitas. Salah satunya dengan penggunaan naungan atau “*greenhouse*” yang berfungsi sebagai kontrol lingkungan. *Greenhouse* merupakan sebuah bangunan yang berbahan kaca atau plastik dan digunakan sebagai tempat menanam tanaman agar tanamannya terlindungi dari intensitas cahaya matahari yang tinggi dan curah hujan yang tinggi (Widyastuti, 1994).

Dari hasil pengamatan yang telah dilaksanakan didapat suhu di dalam *greenhouse* di daerah tropis mampu mencapai 34 - 36°C. Suhu tersebut mampu mengganggu pertumbuhan. Tingginya suhu udara di dalam *greenhouse* dapat memicu stress pada tanaman. Oleh karena itu, pertumbuhan tanaman sangat dipengaruhi oleh faktor suhu lingkungan. Untuk itu, diperlukan sebuah alat yang dapat mengukur dan mengendalikan suhu udara yang ada di dalam *greenhouse*, agar pertumbuhan tanaman dapat maksimal.

1.2. Rumusan Masalah

Suhu dapat mempengaruhi produktivitas tanaman cabai rawit, bawang merah, dan tomat. Perubahan suhu ditentukan oleh distribusi cahaya yang masuk ke dalam *greenhouse*. Intensitas cahaya yang tinggi memiliki dampak negatif bagi pertumbuhan tanaman di dalam *greenhouse*. Hal ini disebabkan sifat *greenhouse*, yakni menahan gelombang pendek yang masuk sehingga terperangkap di dalamnya. Gelombang panjang ini mampu meningkatkan suhu di dalam *greenhouse*. Suhu yang tinggi dapat meningkatkan suhu daun. Suhu tinggi mempengaruhi efektivitas kerja enzim sehingga sintesis klorofil terhambat. Akibatnya, proses fotosintesis terganggu sehingga pertumbuhan tanaman terhambat. Untuk itu diperlukan sebuah alat yang dapat mengontrol suhu di dalam *greenhouse* secara otomatis dan berkelanjutan. Bagaimana cara merancang alat tersebut dan hasil pengujian kinerja alatnya, hasil perancangan inilah yang akan peneliti lakukan.

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini merupakan prototype sistem kendali suhu lingkungan *greenhouse* yang akan diujikan pada tanaman bawang merah, cabai rawit, dan tomat dimulai dari 10 hari setelah tanam hingga masa vegetatif selesai.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan umum dilakukannya penelitian ini adalah merancang sebuah sistem kendali yang dapat mengendalikan suhu secara stabil terhadap peningkatan hasil dan mutu tanaman cabai rawit, bawang merah, dan tomat berbasis mikrokontroler.

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah :

1. Melakukan kalibrasi dan validasi sensor suhu untuk suhu tanaman serta melakukan perancangan dan pengujian alat untuk mendapatkan nilai kinerja

aktuator yang meliputi keakurasian, rerata waktu pengendalian, stabilitas, respon sistem, dan pemberian aksi.

2. Mengamati pertumbuhan tanaman yang dikendalikan dengan tanaman yang tidak dikendalikan pada tanaman bawang merah, cabai rawit, dan tomat.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai salah satu referensi dalam perancangan teknologi yang berbasis mikrokontroler dan untuk membantu petani dalam mengendalikan suhu untuk pertumbuhan tanaman cabai rawit, bawang merah, dan tomat di dalam *greenhouse* yang sesuai secara otomatis demi meningkatkan hasil produksi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bawang Merah

Tanaman bawang merah memiliki nama ilmiah (*Allium ascalonicum L.*). Tanaman ini termasuk kedalam famili *liliaceae*. Untuk lebih jelasnya, klasifikasi tanaman bawang merah adalah sebagai berikut, Kingdom: *Plantae*; Divisi: *Spermatophyta*; Kelas: *Monocotyledoneae*; Ordo: *Liliales*; Famili: *Liliaceae*; Genus: *Allium*, Spesies: *Allium ascalonicum L.* (Suriani, 2011). Menurut Nana (2014), bawang merah merupakan salah satu komoditas yang dibutuhkan masyarakat. Tanaman bawang merah digunakan sebagai bumbu masak meskipun bawang merah bukan kebutuhan tanaman pokok. Akan tetapi, kebutuhan pasar akan tanaman bawang merah tidak dapat terpenuhi dikarenakan produksi tanaman bawang merah belum bisa mengimbangi kebutuhan pasar. Hal ini disebabkan oleh penggunaan pupuk anorganik berlebihan sehingga berdampak pada kerusakan tanah.

Bawang merah akan tumbuh dengan baik apabila ditanam dimusim kemarau atau diakhir musim penghujan. Akan tetapi, tanaman ini tidak tahan kekeringan karena sistem perakaran yang pendek. Kebutuhan air dimasa pertumbuhan umbi cukup banyak. Sementara itu, bawang merah juga tidak tahan terhadap air hujan, tempat-tempat yang selalu terkena basah. Oleh karena itu, selama tanaman bawang merah hidupnya dimusim kemarau akan lebih baik apabila pengairannya baik (Wibowo, 2005).

Tanaman bawang merah tumbuh di iklim yang agak kering serta kondisi tempat terbuka yang membantu proses pertumbuhan dan produksi tanaman. Tanaman ini menghendaki termperatur udara antara 25 - 32°C. Suhu udara yang tinggi berpengaruh terhadap luas daun bawang merah. Suhu yang rendah

mengakibatkan pembentukan umbi terganggu atau tidak sempurna (Sumadi, 2003). Dalam penelitian Tesfay dkk. (2011), menguji pertumbuhan tanaman bawang merah berdasarkan perbedaan suhu yang dikendalikan. Tanaman bawang merah diuji dengan rentang suhu 25°C – 35°C. Pada suhu tersebut tanaman bawang merah dapat hidup dengan optimal karena suhu yang tidak terlalu dingin ataupun panas. Pemberian suhu yang optimal mendapatkan kualitas daun yang baik untuk fotosintesis dan umbi yang sempurna. Suhu udara optimum penanaman bawang merah dilakukan di daerah-daerah dengan suhu kering. Penanaman bawang merah tidak didapatkan disemua daerah sehingga harus ada pengendalian suhu.

2.2. Cabai rawit

Cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) memiliki klasifikasi sebagai berikut: Kingdom: *Plantae*; Divisi: *Magnoliophyta*; Kelas: *Magnoliopsida*; Ordo: *Solanales*; Famili: *Solanaceae*; Genus: *Capsicum*; Spesies: *Capsicum frutescens* L. (Simpson, 2010). Menurut Tjandra (2011), tanaman cabai rawit memiliki banyak kegunaan terutama digunakan sebagai bumbu masakan untuk memberikan citarasa pedas. Tanaman ini juga berkhasiat sebagai penambah nafsu makan, melegakan hidung yang tersumbat pada penyakit sinusitis, mengobati migrain (sakit kepala sebelah), dan menguatkan kembali tangan dan kaki yang lemas. Tanaman ini juga dapat digunakan sebagai obat luar untuk mengobati penyakit rematik, sakit perut, dan kedinginan. Selain itu, tanaman cabai rawit sering digunakan sebagai tanaman hias.

Faktor-faktor yang dibutuhkan tanaman harus tersedia dalam jumlah yang optimum. Menurut Sitompul dan Bambang (1995), penyesuaian jarak tanam adalah salah satu cara untuk mendapatkan faktor-faktor yang dibutuhkan tanaman tersebar secara merata bagi setiap individu tanaman dan faktor lingkungan yang tersedia dapat dioptimasi penggunaannya.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Thuy dan Kenji (2015), tanaman cabai rawit dapat tumbuh dengan rata-rata suhu 28°C – 33,4°C di siang hari dan 11,8°C

– 21,4°C pada malam hari. Pada saat masa pengamatan, suhu udara dapat meningkat secara bertahap hingga suhu 42°C. Suhu yang tinggi dapat menyebabkan penurunan berat, panjang, dan diameter tanaman cabai rawit. Jumlah biji per buah dan berat buah akan turun secara signifikan apabila ditanam di atas suhu 38°C pada siang hari dan pada suhu 30°C pada malam hari.

Menurut Sahuri dan Rosyid (2015), iklim memiliki dampak negatif pada tanaman cabai rawit karena menyebabkan timbulnya penyakit. Pada kondisi iklim kering relatif basah dengan suhu rata-rata 32°C, curah hujan rata-rata 178,3 mm, dan kelembaban rata-rata 87,9% tidak terlalu berpengaruh terhadap perkembangan penyakit. Namun pada saat iklim penghujan dengan rata-rata suhu 31,6°C, kelembaban 86,5%, serta curah hujan rata-rata 358,3 mm dapat menyebabkan tumbuhnya jamur dan penyakit. Penyakit yang timbul salah satunya adalah penyakit antraknosa dan pembungaan rontok. Hal ini menyebabkan produksi tanaman cabai rawit menurun.

2.3. Tomat

Tanaman tomat (*Lycopersicon esculentum*) menurut Jones (2008) secara taksonomi digolongkan sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Subkingdom	: <i>Trachebionta</i>
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Magnoliopsida</i>
Subkelas	: <i>Asteridae</i>
Ordo	: <i>Solanales</i>
Famili	: <i>Solanaceae</i>
Genus	: <i>Solanum</i>
Spesies	: <i>Solanum Lycopersicum</i>
Nama binominal	: <i>Lycopersicon esculentum</i> .

Buah tomat merupakan salah satu tanaman hortikultura yang mempunyai prospek pasar yang menjanjikan. Tomat dimanfaatkan baik dalam bentuk utuh maupun

olahan, memiliki komposisi zat gizi yang cukup lengkap dan baik. Komposisi buah tomat terdiri dari 5 - 10% berat kering tanpa air dan satu persen kulit dan biji. Jika buah tomat dikeringkan, glukosa dan fruktosa, sisanya asam-asam organik, mineral, pigmen, vitamin, dan lipid. Tanaman tomat umumnya hanya untuk satu kali periode panen atau disebut tanaman setahun (*annual*). Tanaman ini berbentuk perdu atau semak dengan panjang bias mencapai 2 meter.

Media tanam yang dapat digunakan tanaman tomat pada umumnya adalah tanah. Tanaman tomat dapat ditanam di segala jenis tanah, mulai dari tanah pasir (ukuran partikel 0,05 – 2,0 mm) sampai tanah lempung (ukuran partikel kurang dari 0,002 mm). Tanah yang ideal adalah tanah lempung berpasir subur, gembur, banyak mengandung bahan organik serta unsur hara, dan mudah merambaskan air (Pracaya, 1998). Menurut Afifi dkk, (2017) faktor penting bagi pertumbuhan tanaman adalah ketersediaan unsur hara yang cukup. Unsur hara sangat dibutuhkan tanaman tomat selama masa vegetatif sangat tinggi. Unsur hara yang cukup dapat membantu proses pertumbuhan tanaman tomat dengan ditandai semakin meningkatnya pertumbuhan tanaman pada setiap umur pengamatan.

Menurut Zhang et al., (2017) tanaman tomat termasuk tanaman yang memiliki sifat yang baik dan tahan penyakit. Tanaman tomat bertoleransi dengan suhu dan cahaya yang rendah, dan kemampuan adaptasi yang luas. Selain itu, tanaman tomat dapat dibudidayakan di lapangan terbuka dan di area yang luas. Akan tetapi, jika tanaman tomat menghadapi suhu dan intensitas cahaya yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan tanaman tomat. Tomat dapat tumbuh optimal dengan suhu 15°C – 32°C dan suhu 35°C sebagai suhu maksimalnya.

2.4. Greenhouse

Greenhouse sering diartikan rumah kaca karena bangunannya yang terbuat dari kaca dan tembus pandang. Pada perkembangan selanjutnya ditemukan bahan lain seperti plastik, *fiberglass*, dan paranet sehingga penyebutannya berubah menjadi rumah tanaman. Menurut Widyastuti (1994), istilah *greenhouse* berasal dari kata *green* yang berarti hijau dan *house* yang berarti rumah. Oleh karena itu,

greenhouse biasa diterjemahkan sebagai rumah hijau. Widyastuti menambahkan bahwa *greenhouse* berasal dari Belanda yang kehadirannya sangat membantu petani-petani Belanda terutama petani bunga dan sayur dalam meningkatkan produksinya. Kenyataan ini terlihat dari semakin meluasnya areal pertanian di Belanda yang menggunakan *greenhouse*. Secara umum, sosok bangunan *greenhouse* terdiri dari bagian kerangka sebagai penopang kekuatan, atap dan dinding sebagai pelindung, *interior greenhouse* yang biasanya berupa rak atau tempat gantungan pot, dan perlengkapan *greenhouse* yang berupa alat-alat pengontrol iklim. *Greenhouse* dirancang untuk memelihara dan melindungi tanaman terhadap iklim, terutama mengurangi intensitas sinar matahari dan terpaan curah hujan.

Berdasarkan uraian di atas, penulis menyimpulkan bahwa *greenhouse* merupakan sebuah bangunan yang berbahan kaca atau plastik dan digunakan sebagai tempat menanam tanaman agar tanaman di dalamnya terlindungi dari intensitas cahaya matahari yang tinggi dan curah hujan yang tinggi.

Adapun manfaat *greenhouse* menurut Widyastuti (1994) ialah sebagai berikut:

1. Tanaman dapat terlindung karena berada di dalam ruangan tertutup.
2. Kondisi lingkungan yang ada di dalam *greenhouse* dapat dikontrol dan diatur sesuai dengan kebutuhan tanaman.
3. Sebagai sarana untuk melindungi tanaman yang diusahakan menggunakan sistem hidroponik. Dengan sistem tersebut, tanaman yang dibudidayakan mendapat perawatan sebaik mungkin agar hasilnya optimal.
4. Mengurangi intensitas serangan hama penyakit pada tanaman karena pola kerja yang higienis.
5. Bisa dijadikan sarana hobi dan usaha komersial.

Salah satu bentuk modifikasi iklim mikro pada tanaman yaitu dengan penggunaan naungan rumah plastik. Rumah plastik atau rumah kaca (*greenhouse*) adalah suatu bangunan yang ditutup dengan benda transparan untuk melindungi tanaman dari pengaruh negatif lingkungan. Akibat penutupan ini akan diatur jenis spektrum matahari yang dibutuhkan oleh tanaman dengan menggunakan jenis penutup. Struktur *greenhouse* berinteraksi dengan parameter iklim di sekitar

greenhouse dan menciptakan iklim mikro di dalamnya berbeda dengan parameter iklim di sekitar *greenhouse*. Hal ini disebut sebagai peristiwa efek rumah kaca (*greenhouse effect*). Menurut Nafila dkk, (2018) suhu di dalam bangunan secara keseluruhan relatif lebih tinggi dibandingkan dengan suhu diluar bangunan yang nilainya dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari. Radiasi matahari menghasilkan kalor yang masuk ke dalam bangunan melalui atap, sebagian besar besar terjebak di dalam bangunan (*greenhouse effect*) yang menyebabkan terjadinya peningkatan suhu. Suhardiyanto (2009) menyebutkan *greenhouse effect* disebabkan oleh dua hal, yaitu:

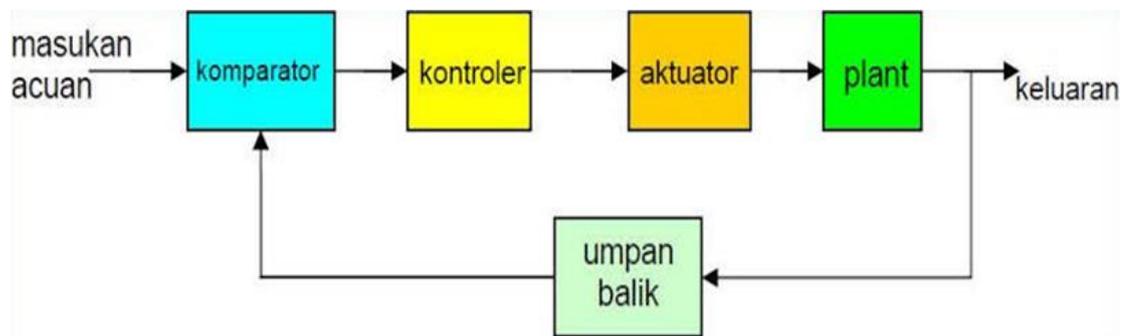
1. Pergerakan udara di dalam *greenhouse* yang relatif sangat sedikit atau cenderung stagnan. Penyebabnya adalah struktur *greenhouse* yang tertutup dan laju pertukaran udara di dalam *greenhouse* dengan lingkungan luar yang sangat kecil. Hal ini menyebabkan suhu udara di dalam *greenhouse* cenderung lebih tinggi daripada di luar.
2. Radiasi matahari gelombang pendek yang masuk ke dalam *greenhouse* melalui atap diubah menjadi radiasi gelombang panjang. Radiasi gelombang panjang ini tidak dapat keluar dari *greenhouse* dan terperangkap di dalamnya. Hal ini menimbulkan *greenhouse effect* yang menyebabkan meningkatnya suhu udara di dalam *greenhouse*.

Radiasi gelombang pendek yang masuk ke dalam *greenhouse* diubah menjadi gelombang panjang karena melewati bahan penutup, yaitu atap dan dinding serta dipantulkan oleh lantai maupun bagian konstruksi *greenhouse*. Radiasi gelombang panjang yang terperangkap di dalam *greenhouse* menyebabkan naiknya suhu udara di dalam *greenhouse*. Untuk mengatasi masalah tersebut, perlu diperhatikan bentuk *greenhouse* maupun sirkulasi udara di dalamnya (Suhardiyanto, 2009).

2.5. Sistem Kendali

Menurut Ichwan dkk (2013), sistem pengendalian terdapat tiga elemen pokok, yaitu input, proses dan *output*. *Input* adalah yang mempengaruhi pengendalian,

dalam hal ini yang dikendalikan adalah peralatan listrik, sedangkan output adalah hal yang dihasilkan oleh yang mengendalikan. Pengendalian pada peralatan listrik umumnya menghidupkan dan mematikan peralatan listrik, seperti lampu, televisi, dan sebagainya. Sistem kendali merupakan suatu sistem dimana masukan tertentu dapat digunakan sebagai pengendali untuk keluaran dengan nilai tertentu. Elemen yang terdapat pada sistem kendali terdiri dari input, pembanding, pengendali, aktuator, kendalian, dan output serta umpan balik. Sistem kendali lup tertutup merupakan sistem pengaturan yang mengutamakan ketepatan hasil keluaran yang diinginkan (Kurniawan dkk, 2013). Untuk proses sistem kendali lup tertutup dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram loop tertutup

Menurut Ogata (2010), berdasarkan aksi kontrolnya sistem kendali dibagi menjadi enam yaitu: kendali dual posisi atau kendali *on-off*, kendali proporsional, kendali integral, kendali proporsional-integral, kendali proporsional derivatif, dan kendali proporsional integral-integral-derivatif. Sistem kendali otomatis sering digunakan dalam sebuah industri. Kendali *on-off* merupakan sistem kendali yang sering digunakan karena penggunaannya sederhana dalam pengendalian sistem di industri. Sistem kendali *on-off* bekerja dengan memberikan aksi hidup atau mati pada aktuator. Aksi *on-off* dari aktuator yang didapatkan dari pengendalian otomatis.

2.6. Aktuator dan Sensor

Aktuator merupakan bagian dari *output* untuk mengubah energi suplai menjadi energi kerja yang dimanfaatkan. Sinyal yang dikeluarkan oleh sistem kontrol dan aktuator bertanggungjawab pada sinyal kontrol melalui elemen kontrol terakhir. Jenis lain dari bagian *output* digunakan untuk mengindikasikan status kontrol sistem atau aktuator (Dentha, 2013).

Aktuator adalah devais yang mengubah suatu energi input menjadi energi mekanik. Ada bermacam jenis aktuator yang dibuat dan memiliki fungsi yang sesuai dengan energi input. Aktuator elektromagnetik, hidrolis dan pneumatik melakukan pergeseran secara tidak langsung dengan pergeseran sebuah piston dengan gaya elektromagnetik atau tekanan. Sedangkan aktuator piezoelektrik melanjutkan gerakan secara langsung dengan deformasi benda padat. Sehingga aktuator piezoelektrik mempunyai pergeseran dengan akurasi yang tinggi, gaya yang lebih besar, dan respon yang lebih cepat dibanding aktuator yang lain (Hananto, 2009). Aktuator dikendalikan oleh sistem kendali menggunakan *relay*. *Relay* berfungsi sebagai penghubung atau pemutus aliran arus listrik yang dikendalikan dengan tegangan dan arus tertentu pada koilnya. Ada dua jenis *relay* berdasarkan tegangan untuk menggerakkan koilnya, yakni *relay* AC dan *relay* DC. Aktuator sendiri dimanfaatkan dalam sistem kendali guna menjaga kestabilan atau mengubah sistem (Setiawan, 2011).

Aktuator yang digunakan adalah pompa air. Menurut Yana dkk (2017), pompa adalah mesin yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat menuju ke tempat yang lain. Selain itu, pompa berfungsi sebagai penguat laju aliran air dengan mekanisme kerja menaikkan tekanan cairan dari rendah ke cairan bertekanan tinggi. Hal ini bisa terjadi dengan membuat suatu tekanan yang rendah pada sisi masuk atau *suction* dan tekanan yang tinggi pada sisi keluar atau *discharge* dari pompa.

Kipas angin merupakan alat yang digunakan untuk mendinginkan ruangan yang sering digunakan oleh masyarakat Indonesia. Kipas angin menggunakan motor

sebagai penggerak baling yang akan menghasilkan angin. Kipas angin terdiri dari beberapa komponen yaitu motor penggerak, bagian kipas, rumah kipas, rumah motor, dan dudukan kipas. Meskipun sudah ada AC pendingin ruangan, kipas angin masih digunakan karena harga yang murah serta perawatan dan perbaikannya yang mudah (Haripan dan Dian, 2013).

Sensor merupakan alat yang digunakan untuk mengukur pengendalian terhadap suatu sistem dan mengkonversinya menjadi sebuah sinyal masukan, kemudian mengubahnya dalam bentuk informasi. Informasi yang didapatkan dapat digunakan untuk mengukur besaran luaran sistem sehingga dapat dilakukan perhitungan antara masukan dan luaran. Sedangkan aktuator adalah sekumpulan alat yang berfungsi sebagai pemberi aksi luaran untuk mempertahankan atau mengubah suatu sistem (Ogata, 2010).

Komponen yang digunakan untuk mendeteksi suhu dan kelembababn udara adalah sensor DHT22. DHT22 memiliki keluaran sinyal digital serta memiliki 4 pin yang terdiri dari *power supply*, *data signal*, *null*, dan *ground*. Sensor DHT22 merupakan sensor pengukur suhu dan kelembaban relatif dengan tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan DHT11 dengan galat relatif pengukuran suhu 4% dan kelembaban 18% (Islam dkk, 2016).

2.7. Rangkaian Kebaruan Penelitian

Penelitian merupakan salah satu sarana mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi. Maka dari itu, perlu diadakan analisa lebih lanjut dan kontruksi terhadap data yang telah dikumpulkan dan diolah. Kebaruan dari penelitian ini adalah mengendalikan suhu tanaman bawang merah, cabai rawit, dan tomat di dalam *greenhouse* dengan menggunakan sensor DHT22 secara otomatis. Selain itu, suhu tanaman diatur berdasarkan masa tanam mulai dari 10 hst, 20 hst, dan 30 hst. Rangkaian kebaruan yang sudah ada mengenai penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rangkaian Kebaruan Penelitian

No	Penulis	Tahun	Judul	Keterangan
1	Nafila, dkk	2018	Analisis Struktur dan Fungsional <i>Greenhouse</i> (Studi Kasus Kebun Percobaan dan Rumah Kaca Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran)	Penelitian ini menggunakan metode deskriptif untuk menilai kelayakan <i>greenhouse</i>
2	Afifi, dkk.	2017	Respon Tanaman Tomat (<i>Lycopersicum esculatum Mill</i>) Terhadap Aplikasi Pupuk Yang Berbeda.	Penelitian ini mengkaji pemberian pupuk nitrogen dengan sumber yang berbeda dan menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh nyata
3	Yana, dkk.	2017	Rancang Bangun Mesin Pompa Air Dengan Sistem <i>Recharging</i> .	Penelitian ini mengkaji pengembangan mesin pompa air dengan sistem <i>recharging</i> .
4	Islam, dkk.	2016	Sistem Kendali Suhu dan Pemantauan Kelembaban Udara Ruang Berbasis Arduino Uno Dengan Menggunakan Sensor DHT22 dan <i>Passive Infrared (PIR)</i> .	Penelitian menggunakan metode analisa masalah, analisa kebutuhan, studi pustaka, perancangan alat, dan pengujian alat.
5	Sahuri dan Rosyid	2015	Analisis Usaha Tani dan Optimalisasi Pemanfaatan Gawangan Karet Menggunakan Cabai Rawit Sebagai Tanaman Sela.	Penelitian ini mengkaji pemanfaatan gawangan karet untuk dijadikan lahan pertumbuhan tanaman cabai rawit.
6	Nana dan Salamah	2014	Pertumbuhan Tanaman Bawang Merah (<i>Allium ceoa L.</i>) dengan Penyiraman Air Kelapa (<i>Cocos nucifera L.</i>) Sebagai Sumber Belajar Biologi SMA Kelas XII.	Penelitian ini mengkaji pertumbuhan tanaman bawang merah dengan penyiraman air kelapa.
7	Ichwan dan Rasyid	2013	Pembangunan Prototipe Sistem Pengendalian Peralatan Listrik Pada <i>Platform Android</i> .	Penelitian ini meneliti tentang penggunaan <i>platform android</i> sebagai sistem kendali.

Tabel 1. (Lanjutan)

No	Penulis	Tahun	Judul	Keterangan
8	Kurniawan, dkk	2013	Sistem Penerangan Rumah Otomatis Dengan Sensor Cahaya Berbasis Mikrokontroler.	Penelitian ini membahas otomatisasi penerangan rumah dengan menggunakan sensor.
9	Hananto	2009	Aplikasi Aktuator.	Penelitian ini mengkaji suatu aktuator piezoelektrik yang mempunyai kelebihan dalam akurasi gerakan, respon yang cepat dan gaya yang besar.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni - September 2019 di *Greenhouse* dan di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pembuatan sistem kendali suhu antara lain aplikasi *software* Arduino, perangkat komputer, Arduino Mega 2560, kabel jumper, sensor DHT22, *liquid crystal display* (LCD), *real time clock* (RTC), *SD card module*, *relay* modul, PCB, led indikator, kapasitor, saklar, resistor, aki dan accu, pipa, lem besi, *thermometer*, tang potong, *greenhouse*, gunting dan pompa air. Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain tanah, bibit cabai rawit, bibit bawang merah, bibit tomat, air, tanah dan pupuk.

3.3. Dasar Perancangan

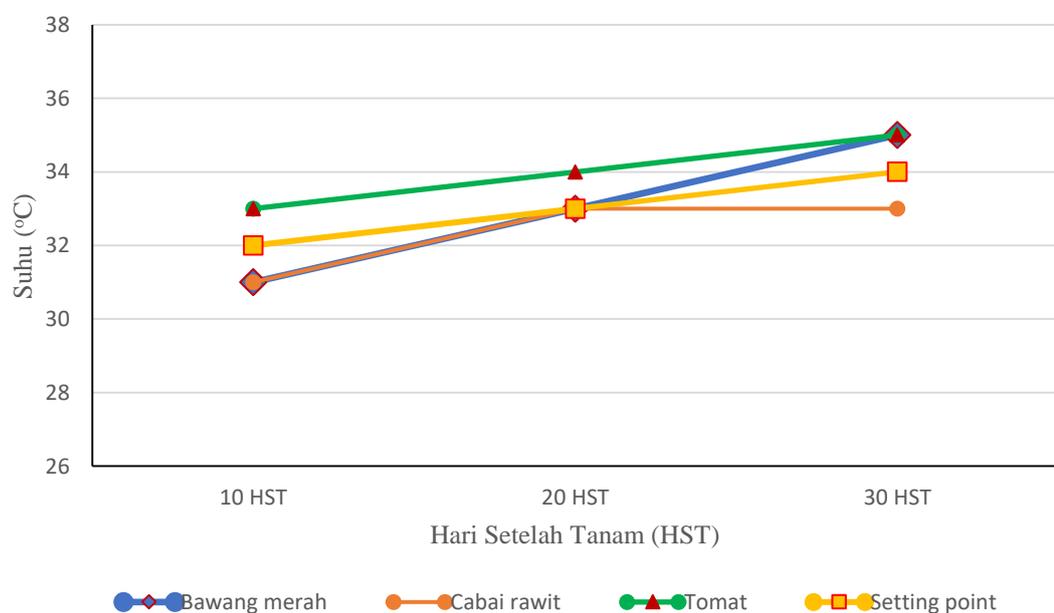
Suhu di dalam *greenhouse* tergolong lebih tinggi dibanding di luar *greenhouse*. Pengaruh suhu yang tinggi, disebabkan penggunaan *greenhouse* dan beton yang berada di sekitar *greenhouse*. *Shelter* pada atap *greenhouse* menyebabkan terperangkapnya sinar pendek, dan beton yang berada di bawah *greenhouse*, menyerap serta memantulkan panas yang diterimanya. Hal ini menyebabkan iklim mikro di *greenhouse* lebih tinggi. Di samping kelemahannya, *greenhouse* mampu membantu tanaman dari pengaruh buruk luar seperti angin yang terlalu kencang, serangan hama tanaman, dan juga hujan. Selain itu, bentuk *greenhouse*

yang cenderung tertutup, menjadikan iklim mikro di dalam *greenhouse* tergolong mudah dikendalikan.

Untuk mempermudah penurunan suhu di dalam *greenhouse* digunakan *streamin* sebagai dinding *greenhouse*. Pemakaian *streamin* bertujuan agar udara dapat keluar masuk *greenhouse* dengan mudah. Hal inilah yang menjadi dasar perancangan dalam pengendalian iklim mikro di dalam *greenhouse* iklim tropis.

3.4. Penentuan *Setting point*

Pada penelitian ini, menentukan *setting point* merupakan hal yang penting dikarenakan terdapat 3 varietas tanaman yang berbeda. Setiap tanaman memiliki titik suhu maksimum dan minimum sendiri untuk dapat tumbuh yang dapat ditarik sedemikian rupa hingga membentuk garis horizontal seperti yang terlihat pada Gambar 2. Cara sederhana untuk menentukan *setting point* adalah memberi tanda pada level suhu tertinggi. Dasar penentuan *setting point* dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 2. Penentuan *Setting point*

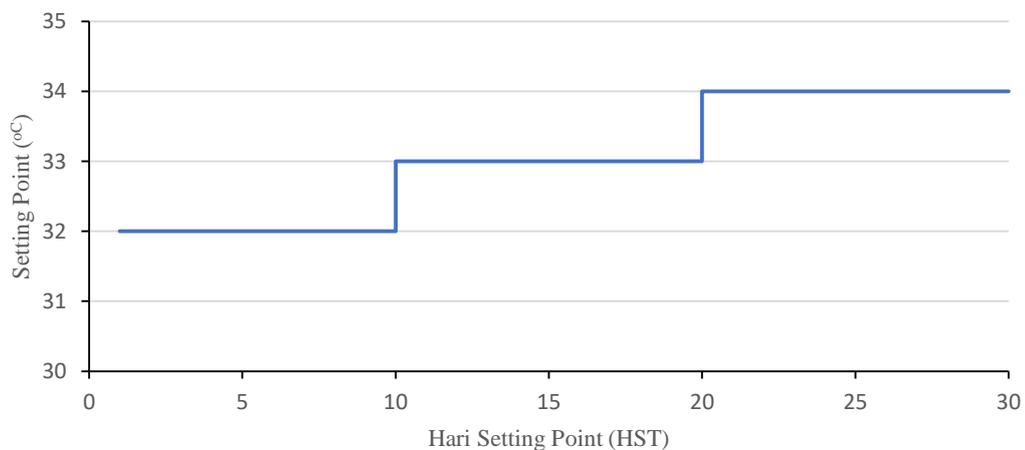
Tabel 2. Dasar Penentuan *Setting point*

No	Tanaman	Suhu optimum (°C)	Penulis
1.	Bawang merah	35	Tesfay dkk., 2011
2.	Cabai rawit	33	Thuy dan Kenji, 2015
3.	Tomat	35	Zhang dkk., 2017

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa penentuan *setting point* ditentukan berdasarkan penelitian – penelitian terdahulu, sehingga dapat ditarik kesimpulan tanaman bawang merah, cabai rawit, dan tomat dapat tumbuh dengan optimal pada suhu 33 - 34°C.

3.5. Kriteria Desain

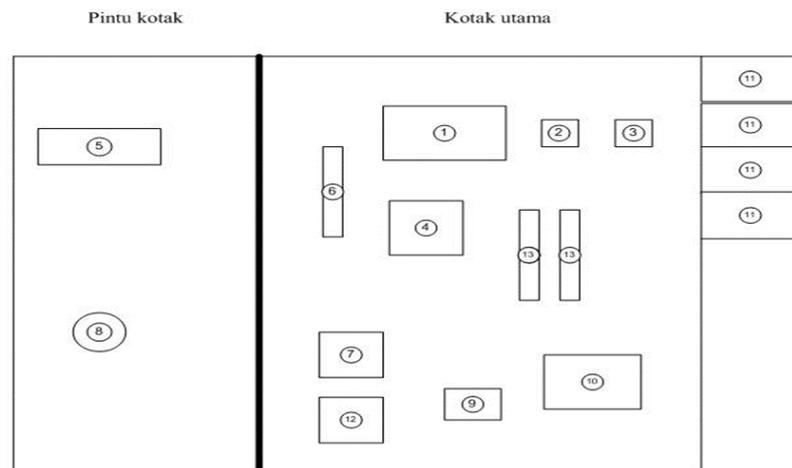
Rancangan alat kendali otomatis ini dibuat untuk dapat bekerja secara berkelanjutan mengendalikan suhu tanaman cabai rawit, bawang merah, dan tomat di dalam *greenhouse* pada rentang 32°C – 34°C mulai dari 10 hst hingga 40 hst. Alat yang dirancang diharapkan dapat mencapai kecepatan respon 1 detik dengan penyiraman dan pengipasan secara *real time*. *Setting point* ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3. *Setting point* yang ditentukan.

Berdasarkan Gambar 3 alat yang dirancang akan secara otomatis menaikkan suhu di dalam *greenhouse* secara bertahap sesuai dengan *setting point* yang telah ditentukan. Setelah suhu dikendalikan, mikrokontroler mengaktifkan *relay* untuk menghidupkan pompa yang menyemprotkan air keseluruh ruangan di dalam *greenhouse*.

3.6. Perancangan Struktural

Alat pengendali suhu ini dirancang secara otomatis untuk mengendalikan suhu pada *greenhouse* sesuai kriteria yang sudah diterapkan. Ada 3 bagian pada proses perancangan perangkat keras yang dirangkai yaitu perangkat keras bagian penginderaan, perangkat keras bagian pengolah data hasil penginderaan, dan perangkat keras pelaksana bagian aktuator dan luaran hasil pengolah data. Bagian penginderaan terdapat perangkat keras sensor DHT22 yang digunakan untuk mengukur suhu dan temperatur di dalam *greenhouse*. Bagian ini merupakan bagian pertama yang bersinggungan atau bersentuhan secara langsung dengan objek penelitian. Bagian selanjutnya yaitu bagian pengolah data. Bagian ini merupakan bagian yang mengolah hasil penginderaan. Terdapat beberapa komponen perangkat keras pada bagian ini, yaitu mikrokontroler, *Real Time Clock (RTC)*, dan *SD card module*. Komponen perangkat keras tersebut dirangkai dan disusun pada *mainboard*. *Mainboard* mempunyai tugas untuk mengolah dan menyimpan data yang telah didapatkan pada saat proses pengumpulan data. *Mainboard* diletakan dalam sebuah kotak yang terbuat dari akrilik untuk menghindari kontak langsung dengan sinar matahari, debu, dan air. Kemudian bagian yang terakhir adalah bagian aktuator dan luaran dari rangkaian alat kendali suhu *greenhouse*. Bagian ini terdiri dari *relay module* dan *Liquid Crystal Display (LCD)* yang dirangkai menjadi satu dengan *mainboard*. *Relay module* dihubungkan dengan pompa air, dan kabel. Bagian ini berfungsi memberikan respon hasil pengolahan data dari *mainboard*. Tata letak penempatan kotak *mainboard* dapat dilihat pada Gambar 4.



- Keterangan:
- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1. Mikrokontroler | 8. Tombol reset |
| 2. Modul <i>micro SD Card</i> | 9. Regulator |
| 3. RTC | 10. <i>Power Supply</i> |
| 4. Modul <i>relay</i> | 11. Terminal pompa |
| 5. LCD | 12. <i>Switch on/off</i> |
| 6. Transistor | 13. Jalur kabel |
| 7. <i>AC Socket</i> | |

Gambar 4. Skema peletakan komponen pengolah data

3.7. Perancangan Fungsional

Penelitian ini dirancang sebuah sistem kendali berupa alat yang berfungsi mengendalikan suhu dalam media tanam dengan cara menyemprotkan air secara *real time*. Alat ini memiliki beberapa komponen yaitu sensor DHT22, mikrokontroler, *real time clock* (RTC) dan *SD card module*, *liquid crystal display* (LCD), serta *relay module*.

1. Sensor DHT22

Pada penelitian ini menggunakan sensor DHT22 dengan jumlah 4 buah, yang ditempatkan pada lokasi yang berbeda. Sensor DHT22 berfungsi sebagai penangkap besaran suhu yang akan diteruskan ke mikrokontroler. Sebelum dikirim ke mikrokontroler, besaran suhu yang telah diukur akan diubah terlebih dahulu menjadi sinyal digital. Sensor DHT22 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Sensor DHT22

Jumlah kaki pin yang dimiliki sensor ini sebanyak 3 pin berupa VCC, GND, dan pin data. Kaki pin VCC dan GND pada semua modul sensor DHT22 dihubungkan pada pin VCC dan GND Arduino.

2. Mikrokontroler Arduino

Arduino merupakan mikrokontroler yang bersifat open source, baik untuk hardware maupun software-nya. Komponen utama yang ada didalam papan arduino adalah sebuah mikrokontroler 8bit dengan merk Atmega yang dibuat oleh perusahaan *Atmel Corporation*. Papan Arduino memiliki tipe Atmega yang berbeda tergantung pada spesifikasinya, sebagai contoh Arduino USB. Menggunakan USB sebagai antar muka pemrograman atau komunikasi computer. Contoh Arduino Uno, Arduino Duemilanove, Arduino Diecimia, ArduinoNG Rev.C, ArduinoNG (*Nouva Generazione*), Arduino Extremedan Arduino Extream v2, Arduino USB dan arduinoUsbv2.0 (Dinata, 2015). Gambar Arduino dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Arduino USB

3. Real Time Clock

Real Time Clock (RTC) merupakan komponen yang memiliki fungsi sebagai pemberi informasi waktu dari setiap data yang telah diolah oleh mikrokontroler yang akan disimpan oleh data logger. Komponen ini sudah berbasis I²C sehingga hanya memiliki empat kaki pin yang dihubungkan ke pin mikrokontroler.

Keempat kaki tersebut yakni, VCC, GND, SDA, dan SCL. Kaki pin GND dan VCC pada RTC dihubungkan pada VCC dan GND pada pin GND dan VCC Arduino, sedangkan SDA dan SCL secara beruntun dihubungkan ke pin digital 20 dan 21. Gambar komponen RTC dapat dilihat pada Gambar 7 (Noval, 2017).



Gambar 7. Real Time Clock

4. SD Card

SD Card merupakan komponen yang berfungsi sebagai penyimpan data yang telah diolah oleh mikrokontroler. Data ini kemudian disimpan pada *SD Card* dalam bentuk file *.txt. Modul *SD Card* memiliki enam kaki pin yang dihubungkan ke Arduino. Kaki pin tersebut yaitu GND, VCC, CS, MOSI, MISO, dan SCK. Gambar komponen SD Card dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Modul micro SD Card

5. *Liquid Crystal Display*

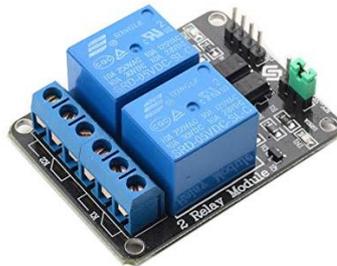
Liquid Crystal Display (LCD) adalah perangkat yang digunakan sebagai penampil. Komponen ini akan digunakan untuk menampilkan informasi suhu yang telah diolah oleh mikrokontroler secara *real time*. LCD mempunyai 4 kaki pin yakni GND, VCC, SDA, dan SCL. Bentuk LCD dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. *Liquid Crystal Display*

6. *Relay module*

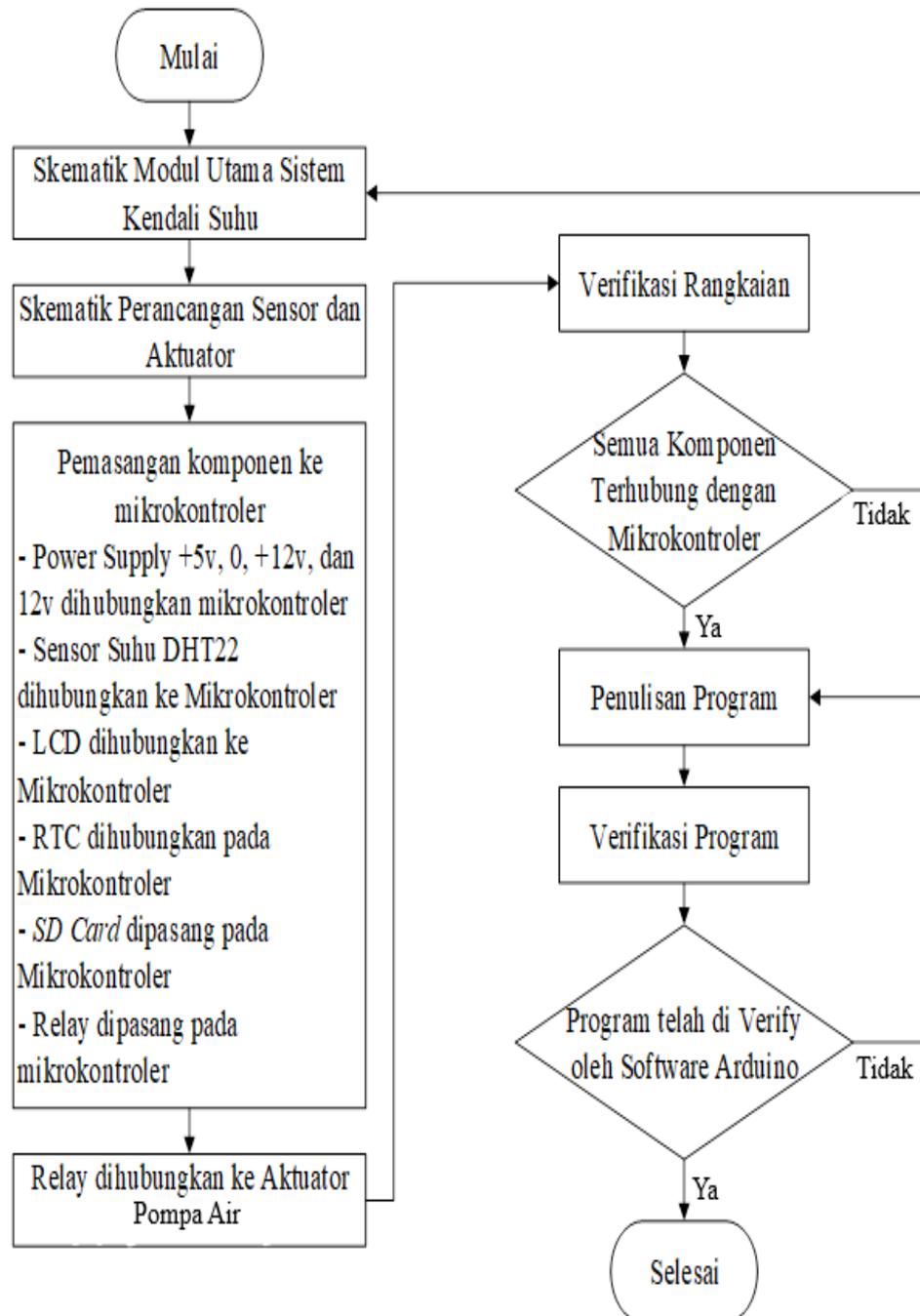
Modul *relay* berfungsi sebagai penyambung atau pemutus arus listrik bertegangan 220/110 volt. Proses pemutusan dan penyambungan arus listrik berlangsung secara otomatis yang diatur oleh mikrokontroler. Modul *relay* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Modul *relay*

3.8. Prosedur Perancangan Alat

Perancangan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pembuatan skematik rangkaian, perakitan perangkat keras, pemrograman, kalibrasi dan validasi alat yang ditunjukkan pada Gambar 11.

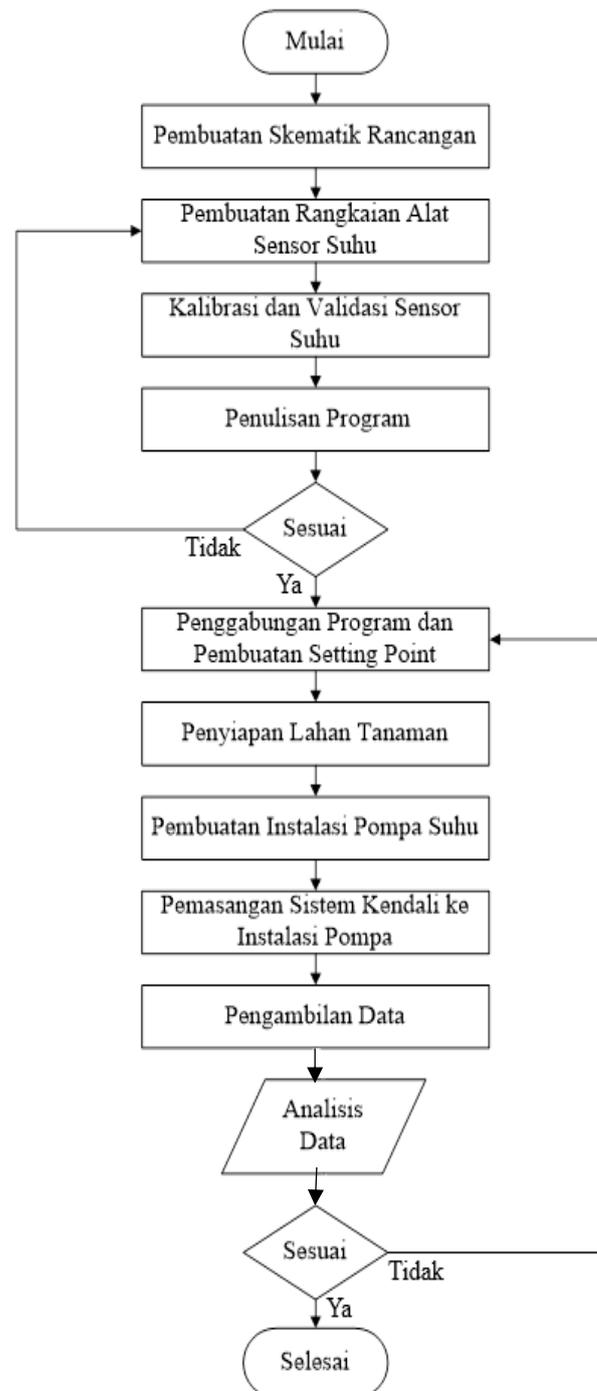


Gambar 11. Diagram Alir Perancangan Alat

3.8.1. Gambaran Umum Prosedur Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian yang merancang sensor suhu di dalam naungan *greenhouse*. Proses pembuatannya dilakukan dalam beberapa tahap, pembuatan skematik rancangan alat, pembuatan rangkaian alat kendali suhu,

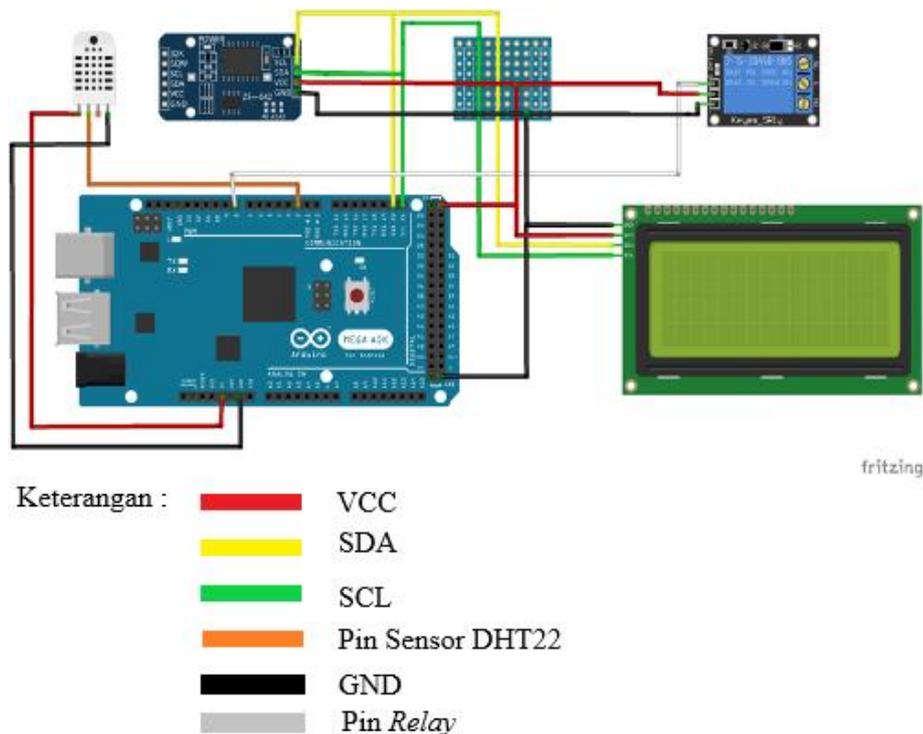
kalibrasi dan validasi sensor suhu, penulisan program, penggabungan program dan pembuatan *setting point*, penyiapan lahan tanaman dan pupuk, pembuatan instalasi pompa suhu, pemasangan sistem kendali ke instalasi pompa, pengambilan data, dan analisis data. Berikut adalah diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram Alir Prosedur Penelitian

3.8.2. Skematik Rangkaian

Pada skematik rangkaian alat ini, mikrokontroler sebagai pusat kendali modul dan komponen yang ada. Sensor DHT22 digunakan sebagai alat penginderaan yang akan mengukur suhu di dalam *greenhouse*. Setelah pembacaan oleh sensor, data yang diperoleh akan ditransfer sensor DHT22 ke mikrokontroler berupa sinyal digital. Selanjutnya mikrokontroler akan memberikan perintah terhadap komponen untuk dieksekusi, dalam hal ini yang menjadi target eksekusinya adalah RTC, *relay*, dan LCD. Bagian akhir dari skematik rangkaian alat ini adalah menghidupkan aktuator berupa pompa air yang dihubungkan menjadi satu menggunakan kabel. Pembuatan skematik rangkaian ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Skematik Rangkaian

3.8.3. Perakitan Perangkat Keras

Proses awal yang dilakukan adalah pembuatan kotak dengan akrilik. Kemudian dilanjutkan dengan perakitan perangkat keras dengan cara mendefinisikan hasil skematik rangkaian yang kemudian dilakukan perangkaian komponen utama. Komponen-komponen utama yang dirangka i ialah mikrokontroler, data *logger*, RTC, dan *relay module*. Sensor DHT22 dan LCD dirangkai secara terpisah dengan komponen utama namun tetap dihubungkan pada pin mikrokontroler. Setelah komponen utama selesai dirakit pada kotak akrilik, masukan kotak akrilik tersebut ke dalam kotak besi (lebih besar). Perangkat keras yang dimasukkan dalam kotak besi adalah kotak akrilik (komponen utama), dan catu daya, sedangkan untuk sensor kelengasan tanah, sensor DHT22, sensor inframerah, dan aktuator seperti pompa air, dan lampu pijar diletakkan di dalam *greenhouse*.

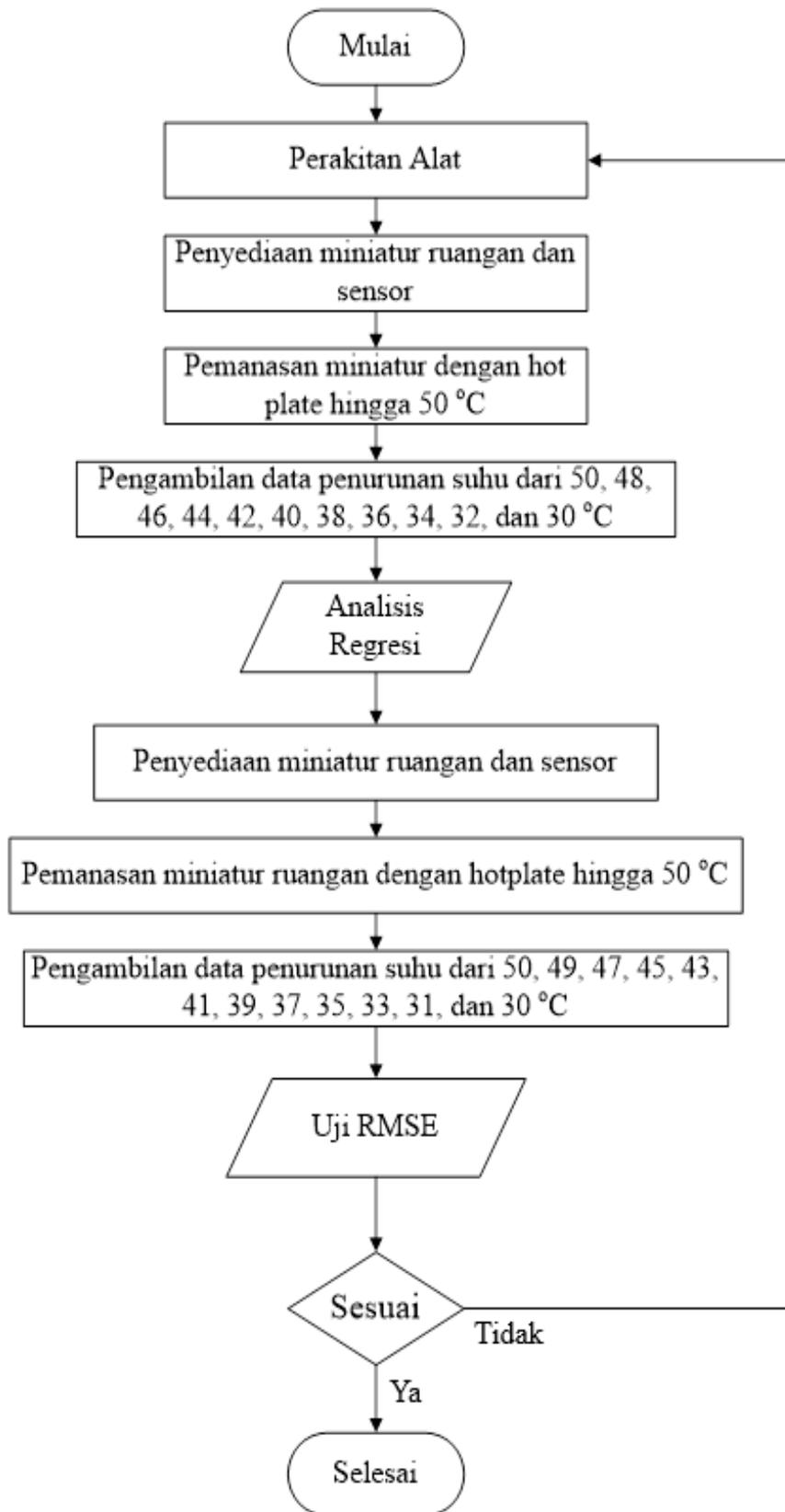
3.8.4. Kalibrasi dan Validasi Alat

Kalibrasi alat merupakan sebuah prosedur untuk mengetahui keabsahan data luaran alat. Metode kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan alat yang akan dikalibrasi dengan kalibrator yang memiliki akurasi tinggi. Kalibrasi dilakukan pada alat yang sering digunakan secara periodik, alat yang akan digunakan maupun alat baru yang menggunakan sensor.

Kalibrasi alat pengukur suhu lingkungan (sensor DHT22) dilakukan dengan membandingkan nilai keluaran sensor dengan alat ukur termometer. Nilai yang ditampilkan oleh kedua alat tersebut dibandingkan agar mendapatkan rumus yang diaplikasikan pada pemrograman. Data tersebut dilakukan pengujian dengan analisis regresi linear untuk mendapatkan nilai korelasi antara alat pengukur suhu yang dibuat dengan termometer. Tahap kalibrasi ini bertujuan untuk mendapatkan angka kalibrasi suhu lingkungan yang tepat sehingga alat mampu bekerja secara optimal. Kalibrasi sensor suhu dilakukan dengan cara memanaskan sebuah kaleng dengan diameter 15 cm dan tinggi 25 cm yang ditutup hingga

suhunya mencapai 50°C. Sensor suhu yang digunakan sebanyak 3 buah dan 1 buah termometer. Kemudian sensor suhu dimasukkan ke dalam ruang kaleng tersebut bersamaan dengan termometer digital sebagai pembandingnya. Kemudian dilakukan pencatatan nilai yang keluar dari kedua alat ukur, setiap penurunan 2 derajat dari alat ukur termometer dari suhu 50°C hingga 30 °C. Data yang sudah tercatat dilakukan analisis regresi untuk mendapatkan sebuah persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai suhu aktual.

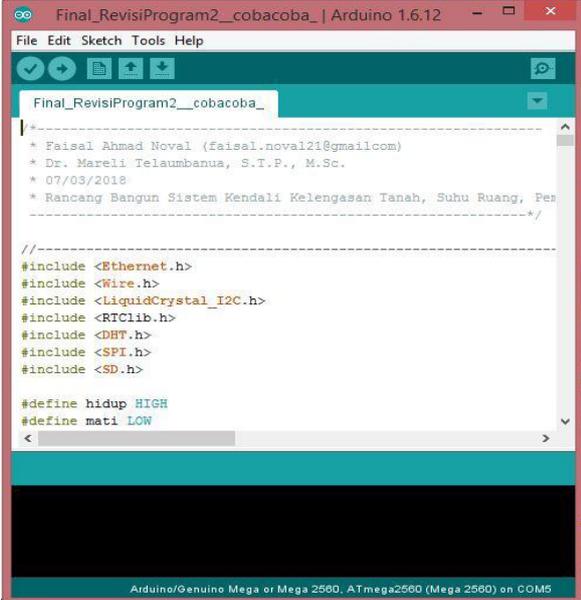
Tahap validasi bertujuan untuk memastikan nilai yang keluar dari sensor sudah sesuai dengan alat ukur termometer. Proses validasi yang dilakukan dengan menyiapkan kaleng dengan diameter 15 cm dan tinggi 25 cm sebagai minatur ruangan untuk pengujian. Pengambilan data yang dilakukan pada suhu 50, 49, 47, 45, 43, 41, dan 40 °C. Data yang diambil merupakan nilai keluaran dari sensor yang dihasilkan dari perhitungan persamaan proses kalibrasi. Diagram alir kalibrasi dan validasi sensor suhu lingkungan (Sensor DHT22) dapat dilihat pada Gambar 14. Dalam menentukan nilai persamaan yang diaplikasikan pada program Arduino, penelitian ini menggunakan bantuan aplikasi Microsoft Excel dengan *toolbox data analysis*.



Gambar 14. Diagram alir kalibrasi dan validasi sensor suhu

3.8.5. Pemrograman

Perangkat lunak yang digunakan dalam pemrograman mikrokontroler adalah *software* Arduino IDE. Pemrograman memiliki tujuan untuk memberikan perintah pada mikrokontroler agar dapat bekerja sesuai dengan sistem yang diinginkan. Penulisan program menggunakan bahasa pemrograman C seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15. Setelah penulisan selesai, tahapan selanjutnya adalah pengecekan program yang ditulis. Pengecekan dilakukan dengan melakukan verifikasi pada *software* Arduino IDE, jika *software* tidak memberikan peringatan, maka program sudah tepat dan bisa dijalankan. Langkah terakhir adalah *upload* program, *upload* program ini bertujuan untuk menuliskan program yang dibuat pada mikrokontroler. Kemudian mikrokontroler melaksanakan aksi sesuai dengan penulisan program yang dibuat dan di*upload*.



```

Final_RevisiProgram2__cobacoba_ | Arduino 1.6.12
File Edit Sketch Tools Help
Final_RevisiProgram2__cobacoba_
/*
 * Faisal Ahmad Noval (faisal.noval21@gmail.com)
 * Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.
 * 07/03/2018
 * Rancang Bangun Sistem Kendali Kelengasan Tanah, Suhu Ruang, Pen
 *
 */
//-----
#include <Ethernet.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <RTClib.h>
#include <DHT.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

#define hidup HIGH
#define mati LOW
<
Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM5

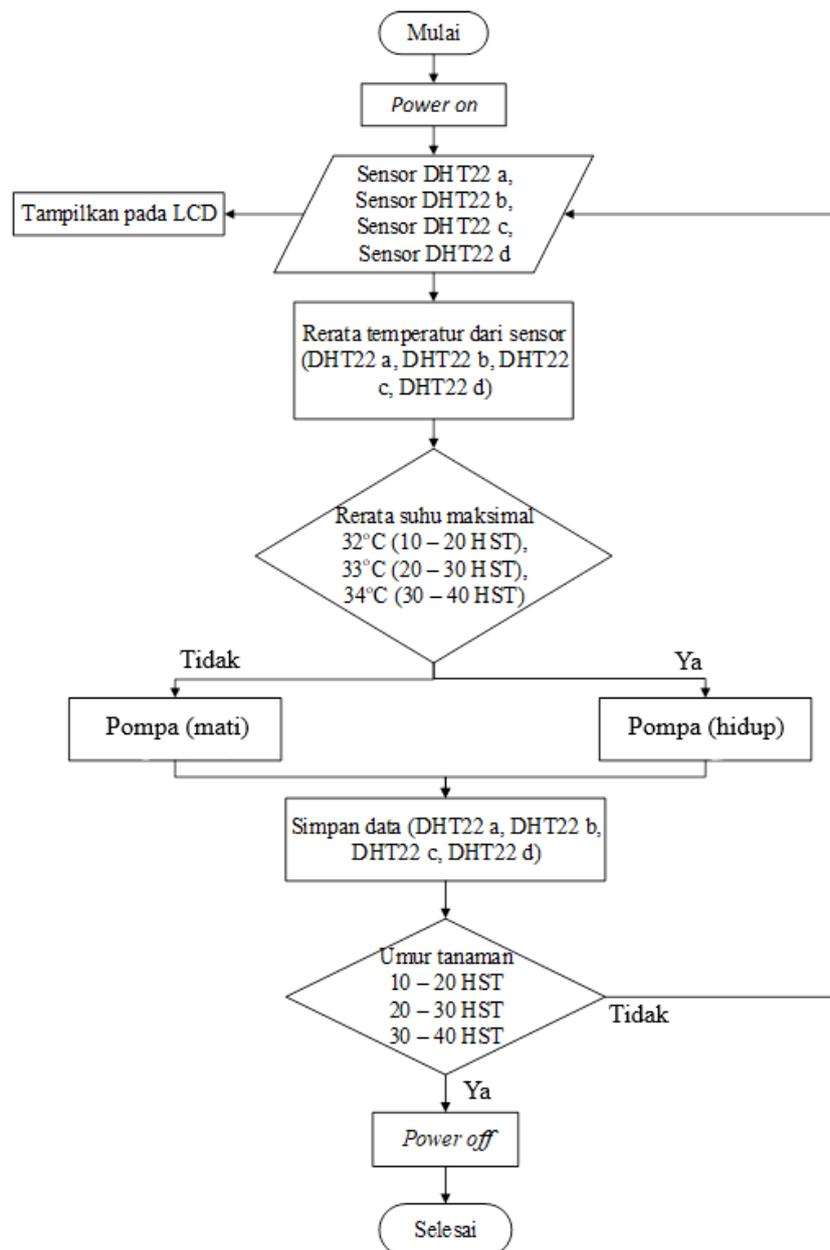
```

Gambar 15. Penampilan program arduino

3.9. Mekanisme Kerja

Rancang bangun sistem kendali suhu otomatis ini didesain untuk bekerja secara terus-menerus dan berkelanjutan. Pengendalian suhu lingkungan menggunakan sensor DHT22 yang diletakkan pada empat lokasi yang berbeda. Hasil

pembacaan sensor akan memberikan aksi terhadap *relay* yang terhubung dengan pompa air. Saat suhu lingkungan mencapai nilai $>32^{\circ}\text{C}$, maka pompa air pengkabutan akan menyala. Kemudian pompa air akan mati dengan sendirinya ketika suhu lingkungan berada pada suhu $<32^{\circ}\text{C}$. Setelah beberapa perintah telah dilakukan, maka mikrokontroler mengulang proses dari awal hingga alat dimatikan. Diagram alir mekanisme kerja alat ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Diagram alir mekanisme kerja

3.10. Uji Kinerja Alat

Sistem kendali suhu terhadap pertumbuhan tanaman bawang merah, cabai rawit dan tomat akan dilakukan uji kinerja dari aktuator berupa analisis. Analisisnya yakni nilai keakurasian/keakuratan, rerata waktu pengendalian, stabilitas, respon sistem, dan pemberian aksi.

1. Keakurasian/Keakuratan

Keakurasian / Keakuratan menunjukkan ketepatan kinerja alat saat melewati *setting point* yang diinginkan. Untuk mencari nilai keakurasian harus diketahui terlebih dahulu berapa nilai ketidakakurasian dari alat. Cara perhitungannya dengan menggunakan Persamaan 1 (Telaumbanua, 2015).

$$\text{Keakurasian} = \left(\frac{1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n |SP - NA_i|}{n} \right)}{SP} \right) \times 100\% \dots\dots\dots 1$$

Keterangan:

SP = Nilai *setting point*

NA_i = Nilai aktual ke-i

N = Jumlah data

2. Rerata Waktu Pengendalian

Rerata waktu pengendalian menunjukkan kecepatan kinerja alat mampu mengendalikan suatu nilai untuk mencapai *setting point*. Cara perhitungannya dengan menggunakan Persamaan 2 (Telaumbanua, 2015).

$$\text{RWP} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{on_i}}{n} \dots\dots\dots 2$$

Keterangan:

RWP = Rerata waktu pengendalian (menit)

A_{on_i} = Aktuator hidup ke-i (menit)

Delay = Waktu tunggu (menit)

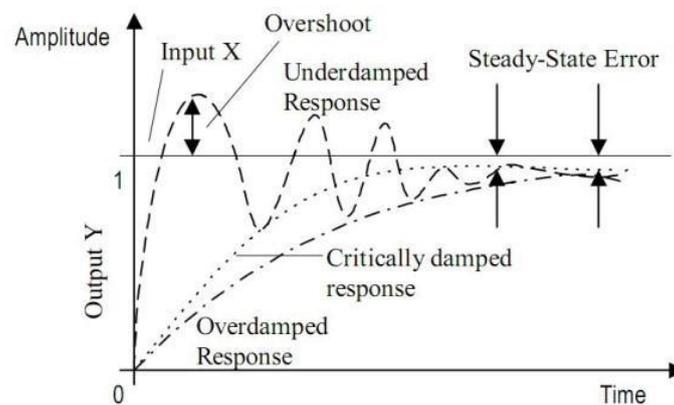
n = Jumlah data

3. Stabilitas

Stabilitas menunjukkan daya tahan alat mampu menghasilkan kinerja yang tetap atau tidak. Ketidakstabilan pada sistem kendali ini berpengaruh terhadap pengendalian nilai suhu. Jika suhu yang dikendalikan menyimpang terlalu jauh melewati batas, maka syarat untuk digunakan mengendalikan suhu tidak terpenuhi.

4. Respon Sistem

Respon sistem menunjukkan kecepatan kinerja alat terhadap adanya gangguan dan waktu. Respon sistem dibedakan menjadi dua, yaitu respon transient dan respon steady state seperti pada Gambar 17. Respon transient digunakan untuk mengukur waktu saat sistem pertama kali digunakan (pada titik 0) hingga mencapai steady state. Menurut Ogata (1985) respon *steady state* digunakan untuk mengukur waktu saat sistem sudah berada pada keadaan stabil hingga waktu tidak terhingga.



Gambar 17. Kurva Respon *Transient* dan *Steady State*

Respon sistem juga dapat digunakan untuk mengetahui jenis sinyal masukan terhadap karakteristik sistem berdasarkan kurva. Jenis sinyal masukan ini dapat dilihat dari bentuk masukan yang sering terjadi pada sistem. Jika masukannya berupa fungsi waktu yang tidak ditentukan, maka termasuk dalam fungsi ramp. Jika sistem diberikan gangguan secara bertahap, maka termasuk dalam fungsi

tangga (*step*), dan jika sistem diberikan gangguan kejut, maka termasuk dalam fungsi impulse (Ogata, 1985).

5. Pemberian Aksi

Pemberian aksi menunjukkan banyaknya jumlah air yang dikeluarkan pada saat aktuator dinyalakan.

6. Parameter Pertumbuhan Tanaman

Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah tinggi tanaman, jumlah daun, dan keliling kanopi tanaman. Tanaman yang diamati berjumlah 36 tanaman, dengan rincian 18 tanaman dikendalikan oleh alat dan 18 tanaman lainnya tidak dikendalikan oleh alat. Masing-masing varietas dibuat menjadi 9 tanaman. Pengamatan dilakukan selama 30 hari dengan pengecekan selama 4 hari sekali.

3.11. Analisis Data

Pada penelitian ini, analisis data dilakukan dengan mengukur suhu lingkungan di dalam *greenhouse* berdasarkan keakuratan, kecepatan respon, stabilitas dan respon sistem suatu sensor. Data hasil pengukuran akan direkam dan disimpan dalam *SD Card* berformat **txt*, dengan interval penyimpanan data selama 1 jam atau 60 menit. Perekaman uji kinerja alat dilakukan selama 30 hari. Data yang diperoleh akan dipindahkan ke *Microsoft excel* untuk dilakukan analisis. Hasil analisis disajikan dalam bentuk grafik.

1. *Root Mean Squar Error*

Root Mean Square Error (RMSE) adalah metode untuk mengetahui besarnya kesalahan pendugaan dari model yang dikembangkan. Uji RMSE merupakan akar dari total kuadratis rata-rata simpangan antara data observasi dengan hasil prediksi model. Selain RMSE, ada metode lain yang dapat digunakan untuk mengetahui besarnya kesalahan pendugaan yaitu Mean Absolute Error (MAE). Namun menurut Qodari (2015), RMSE merupakan pilihan yang baik karena dapat memberikan gambaran tentang kekonsistenan dari sebuah model yang

dikembangkan. Semakin kecil nilai RMSE, maka model tersebut mampu memberikan hasil yang relatif lebih konsisten untuk semua variabel bebas yang dimasukkan. Rumus perhitungan nilai RMSE dapat dilihat pada Persamaan 3 (Saputra, 2016).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \dots\dots\dots 3$$

Keterangan = n = jumlah data
 O_i = nilai observasi ke – i
 P_i = nilai prediksi ke –i

2. Standar Deviasi

Standar deviasi adalah nilai statistik yang digunakan untuk menentukan sebaran data dalam sampel. Standar deviasi dari kumpulan data sama dengan nol menunjukkan bahwa semua nilai himpunan tersebut adalah sama. Nilai deviasi yang lebih besar akan menghasilkan sebuah makna bahwa titik data individu jauh dari nilai rata-rata. Menghitung standar deviasi, pertama-tama menghitung nilai rata-rata dari semua titik data. Rata-rata adalah sama dengan jumlah dari semua nilai dibagi dengan jumlah total titik data. Penyimpangan setiap titik data dari rata-rata dihitung dengan mengurangi nilai dari nilai rata-rata. Deviasi setiap titik data dikuadratkan dan dicari penyimpangan kuadrat individu rata-rata (Budi, 2018). Rumus perhitungan standar deviasi dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$s = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots 4$$

Keterangan =
s = Standar Deviasi
 \bar{X} = Rata – rata data
n = Jumlah data

3. Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi (R^2) pada intinya digunakan untuk mengukur seberapa besar kemampuan variabel bebas dalam menerangkan variabel terikat. Nilai koefisien determinasi terbesar adalah 1 dan terkecil adalah 0. Hasil prediksi model dianggap baik apabila nilai $R^2 = 1$ atau $R^2 \approx 1$. Jika nilai $R^2 = 0$ atau $R^2 \approx 0$, berarti garis regresi tidak dapat digunakan untuk membuat perkiraan variabel bebas (x). Hal ini karena variabel-variabel bebas yang dimasukkan dalam persamaan regresi tidak mampu menjelaskan atau tidak berpengaruh terhadap variabel terikat (y). Nilai R^2 dicari dengan membuat grafik *scatter* nilai observasi versus nilai prediksi pada *Microsoft Excel*. Pada grafik, ditambahkan *treadline* lalu dipilih tipe regresi linier dan menampilkan nilai R^2 (Saputra, 2016).

4. Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi ialah pengukuran statistik kovarian atau asosiasi antara dua variabel. Besarnya koefisien korelasi berkisar antara +1 s/d -1. Jika koefisien korelasi positif, maka kedua variabel mempunyai hubungan searah. Artinya jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan tinggi pula. Sebaliknya, jika koefisien korelasi negatif, maka kedua variabel mempunyai hubungan terbalik. Artinya jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan menjadi rendah (dan sebaliknya). Interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara dua variabel ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Interpretasi Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat Rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat Kuat

(Sumber: Sugiyono, 2007)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. a. Sensor DHT22 pada rancang bangun sistem kendali otomatis suhu *greenhouse* pada budidaya tanaman cabai rawit, bawang merah, dan tomat ini telah sesuai dengan rancangan yang diinginkan dengan nilai kalibrasi R^2 berturut-turut sebesar 97,78%, 98,54%, 98,60%, dan 99,27%. Sedangkan untuk nilai validasi R^2 berturut-turut 99,68%, 99,29%, 99,00%, dan 98,83%.
b. Rancang bangun sistem kendali otomatis suhu *greenhouse* pada budidaya tanaman cabai rawit, bawang merah, dan tomat mampu berkerja secara baik dengan nilai keakurasian sebesar 98,40%, 97,82% dan 97,53%.
c. Rereta waktu pengendalian pada suhu 32 °C sebesar 12,8 menit, suhu 33 °C sebesar 10,5 menit, dan suhu 34°C sebesar 9,4 menit dengan rata-rata pada ketiga suhu tersebut selama 10,9 menit.
d. Ketika nilai suhu udara melewati *setting point*, maka alat akan menghidupkan pompa yang menyemprotkan air dengan jumlah air sebanyak 6,45 liter/jam dari total 4 lubang pipa untuk menurunkan suhu udara pada 1 - 10 hst dari 32,7°C sampai mencapai 32°C dengan respon sistem selama 6 jam, 11 - 20 hst suhu udara dari 34,67°C - 33°C dengan respon sistem selama 5 jam, dan 21 – 30 hst suhu udara dari 35,17°C - 34°C dengan respon sistem selama 3 jam.
2. Dari hasil pengamatan yang didapatkan bahwa pertumbuhan tanaman bawang merah, cabai rawit dan tomat yang dikendalikan memiliki persentase pertumbuhan yang tinggi dibandingkan tanaman yang tidak dikendalikan.

- a. Tanaman bawang merah yang dikendalikan dengan yang tidak dikendalikan memiliki selisih pertumbuhan tinggi dan jumlah daun sebesar 10,82% dan 33,34%.
- b. Tanaman cabai rawit yang dikendalikan dengan yang tidak dikendalikan memiliki selisih pertumbuhan tinggi dan jumlah daun sebesar 23,58% dan 20%,.
- c. Tanaman tomat yang dikendalikan dengan yang tidak dikendalikan memiliki selisih pertumbuhan tinggi dan jumlah daun sebesar 18,22% dan 5%.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Sebaiknya dilakukan perbaikan desain pada kain penutup pada *greenhouse* agar alat mampu berkerja secara optimal.
2. Sebaiknya tanaman lebih spesifik agar tanaman dapat tumbuh dan secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Afifi, N.A., Wardiyati.T., dan Koesriharti. 2017. Respon Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculatum Mill*) Terhadap Aplikasi Pupuk Yang Berbeda. *Jurnal Produksi Tanaman*. 5(5):774-781.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Statistik Tanaman Sayuran Dan Buah-Buahan Semusim Indonesia Tahun 2017*. Badan Pusat Statistik. Jakarta Pusat
- Budi. 2018. *Pengertian Standar Deviasi*. www.sridianti.com. Diakses pukul 14.00 WIB tanggal 27 April 2019.
- Dentha. 2013. *Pengertian Aktuator*. [terhubung berkala] <http://www.famosastudio.com/aktuator/pengertian>. (10 Oktober 2013).
- Dinata, Y.M. 2015. *Arduino Itu Mudah*. Alex Media Komputindo. Jakarta.
- Hananto, F.S. 2009. Aplikasi Aktuator. *Jurnal Neutrino*. 2(1):86-91.
- Haripan, M, dan Dian, T.M. 2013. Perawatan dan Perbaikan Peralatan Listrik Rumah Tangga. Makalah Pengertian Kipas Angin. Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 2 Curup Timur.
- Ichwan, M., Husada, M.G. dan Rasyid, M.I.A. 2013. Pembangunan Prototipe Sistem Pengendalian Peralatan Listrik Pada *Platform* Android. *Jurnal Informatika*. 4(1):13-25.
- Islam, H.I., Nabilah, N., Atsaurry, S.S., Saputra, D.H., Pradipta, G.M., Kurniawan, A., Syafutra, H., Irmansyah dan Irzaman. 2016. Sistem Kendali Suhu dan Pemantauan Kelembaban Udara Ruangan Berbasis Arduino Uno Dengan Menggunakan Sensor DHT22 dan *Passive Infrared* (PIR). *Jurnal Seminar Nasional Fisika*. 5:1-6.
- Jones, B Jr. 2008. *Tomato Plant Culture in the field, Greenhouse and Home Garden*. CRC Press. New York. 399 hlm.
- Kurniawan, E., Suhery, C. dan Triyanto, D. 2013. Sistem Penerangan Rumah Otomatis Dengan Sensor Cahaya Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Coding Sistem Komputer Universitas Tanjungpura*. 1(2):1-10.

- Mustafa, Ghazala and Komatsu, S. 2016. *Toxicity of Heavy Metals and Metal-Containing Nanoparticles on Plants. Biochimia et Biophysica Acta (BBA). Proteins and Proteomics* 1862 (8): 932-44.
- Nafila, A., Prijatna, D., Herwanto, T. dan Handarto. 2018. Analisis Struktur dan Fungsional *Greenhouse* (Studi Kasus Kebun Percobaan dan Rumah Kaca Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran). *Jurnal Teknotan*. 12(1):36-49.
- Nana, S.A.B.P. dan Salamah, Z. 2014. Pertumbuhan Tanaman Bawang Merah (*Allium ceoa L.*) dengan Penyiraman Air Kelapa (*Cocos nucifera L.*) Sebagai Sumber Belajar Biologi SMA Kelas XII. *Jurnal-PBIO*. 1(1):82-86.
- Noval, F.A. 2018. Rancang Bangun Sistem Kendali Kelengasan Tanah, Suhu Lingkungan Dan Perangkap Hama Untuk Budidaya Tanaman Cabai Merah Keriting (*Capsicum Annum L.*) Berbasis Mikrokontroler. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Lampung. 102 hlm.
- Ogata, K. 1985. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan) Jilid 1*. Diterjemahkan oleh: Edi Leksono. Erlangga. Jakarta. 390 hlm.
- Ogata, K. 2010. *Modern Control Engineering (fifth edition)*. Pearson Education. New Jersey. 905 hlm.
- Pracaya. 1998. *Bertanam Tomat*. Kanisius. Yogyakarta.
- Philipss, C., L. dan Harbor, R., D. (terjemah). 1996. *Dasar-dasar Sistem Kontrol*. Edisi 3. Erlangga. Jakarta.
- Qodari, A. 2015. *Kapan Menggunakan MAE dan MSE?*. <https://arifqodari.wordpress.com/201509/22/kapan-menggunakan-Mae-danmse/>. Diakses pada tanggal 18 Juli 2019.
- Sahuri dan Rosyid, M.J. 2015. Analisis Usaha Tani dan Optimalisasi Pemanfaatan Gawangan Karet Menggunakan Cabai Rawit Sebagai Tanaman Sela. *Warta Perkaretan*. 34(2):77-88.
- Saputra, T.W. 2016. Prediksi Umur Tanaman, Berat Segar, Total Luas Daun dan Tinggi Tanaman Menggunakan Teknik Pengolahan Citra Multi Kamera. (Thesis). Program Pasca Sarjana, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. 110 hlm.
- Setiawan, A. 2011. *20 Aplikasi Mikrokontroler ATMEGA8535 & ATMEGA16 Menggunakan BASCOM-AVR*. Andi Publisher. Yogyakarta. 118 hlm.

- Setiawan, D., Notosudjono, D., dan Wismiana, E. 2016. Sistem Kendali Suhu Udara Dan Kelembaban Tanah Pada Miniatur *GREENHOUSE* Dengan Menggunakan Mikrokontroler ATMEGA 328. Jurnal Program studi Teknik elektro fakultas Teknik Univrsitas Pakuan. Bogor.
- Seto, A., Arifin, Z., dan Maharani, S. 2015. Rancang Bangun Sistem Pengendali Suhu Dan Kelembaban Pada Miniatur *Greenhouse* Menggunakan Mikrokontroler Atmega 8. *Prosiding seminar tugas akhir FMIPA UNMUL*. Universitas Mulawarman. Samarinda.
- Simpson, M. G. 2010. *Plant Systematics*. Elsevier, Burlington, USA. Inc Publishers. Sunderland, Massachusetts, U. S. A.
- Sitompul, S. M. dan Guritno, B. 1995. *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. UGM Press. Yogyakarta.
- Suhardiyanto, H. 2009. *Teknologi Rumah Tanaman untuk Iklim Tropika Basah "Pemodelan dan Pengendalian Lingkungan"*. IPB Press. Bogor.
- Suhardiyanto, H. 2009. *Teknologi Hidroponik untuk Budidaya Tanaman..* Departemen Teknik Pertanian. IPB Press. Bogor. Gal: 28 – 40.
- Sumadi, B. 2003. *Intensifikasi Budidaya Bawang Merah*. Kanisius. Yogyakarta.
- Suriani, N. 2011. *Bawang Bawa Untung. Budidaya Bawang Merah dan Bawang Merah*. Cahaya Atma Pustaka. Yogyakarta.
- Telaumbanua, M., Purwantana, B. dan Sutiarso, L. 2014. Rancang Bangun Aktuator Pengendali IklimMikro Di Dalam *Greenhouse* Untuk Pertumbuhan Tanaman Sawi (*Brassica rapa var.parachinensis* L.). *Agritech*. Yogyakarta. 34(2):1-10.
- Tesfay, S.Z., Bertling, I., Odindo, A.O., Greenfield, P.L. dan Workneh, T.S. 2011. Growth Responses of Tropical Onion Cultivars to Photoperiod and Temperature Based on Growing Degree Days. *African Journal of Biotechnology*. 10(71):1-7.
- Thuy, T.L. dan Kenji, M. 2015. Effect of High Temperature on Fruit Productivity and Seed-Set of Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) in the Field Condition. *Journal of Agricultural Science and Tecnology A and B & Hue University Journal of Science*. 5:1-7.
- Tjandra, E. 2011. *Panen Cabai Rawit Di Polybag*. Cahaya Atma Pustaka. Yogyakarta.
- Wibowo, S. 2005. *Budidaya Bawang Putih, Merah dan Bombay*. Penebar Swadaya. Jakarta. hal: 17-23.

- Widyastuti, Y. E. 1994. *GREENHOUSE: Rumah untuk Tanaman*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Williams, C.N., Uzo, J.O., dan Peregrine, W.T.H. 1993. *Produksi Sayuran di Daerah Tropika*. Penerjemah: Ronoprawiro, S (ed. Tjitrosoepomo, G). Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 374 hlm.
- Yana, K.L., Dantes, K.R. dan Wigraha, N.A. 2017. Rancang Bangun Mesin Pompa Air Dengan Sistem *Recharging*. *Jurnal Jurusan Pendidikan Teknik Mesin*. 8(2):1-10.
- Zhang, J., Li, T.L. and Xu, J. 2005. *Effect of Daytime Sub-High Temperature on Photosynthesis and Dry Matter Accumulation of Tomato in Greenhouse*. *Acta Horti*. Sin 32, 228– 33 hlm.