

**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI KELENGASAN TANAH,
SUHU LINGKUNGAN, DAN PERANGKAP HAMA UNTUK BUDIDAYA
TANAMAN CABAI MERAH KERITING (*Capsicum annum* L.)
BERBASIS MIKROKONTROLER**

(Skripsi)

Oleh

Faisal Ahmad Noval



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2018**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI KELENGASAN TANAH, SUHU LINGKUNGAN, DAN PERANGKAP HAMA UNTUK BUDIDAYA TANAMAN CABAI MERAH KERITING (*Capsicum annum L.*) BERBASIS MIKROKONTROLER

Oleh

FAISAL AHMAD NOVAL

Produksi cabai yang kurang maksimal disebabkan karena kondisi lingkungan yang tidak sesuai untuk pertumbuhan tanaman cabai. Kadar lengas dan suhu lingkungan yang tidak sesuai dengan syarat tumbuh berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman cabai. Selain itu, faktor serangan hama yang tidak teratasi menjadi penghambat pertumbuhan. Untuk itu, dibutuhkan teknologi yang mampu mengendalikan kadar lengas, suhu lingkungan, dan perangkap hama tanaman cabai merah keriting. Tujuan penelitian adalah untuk merancang sebuah sistem kendali kelengasan tanah, suhu lingkungan, dan perangkap hama untuk budidaya tanaman cabai merah keriting dengan berbasis mikrokontroler.

Perancangan alat ini dilakukan dengan membuat skematik rangkaian, dilanjutkan dengan pembuatan rangkaian alat kelengasan tanah, suhu lingkungan dan perangkap hama. Kalibrasi dan validasi pada sensor kelengasan tanah dilakukan dengan membandingkan antara nilai kadar air basis kering dan perubahan suhu tanah. Untuk sensor suhu lingkungan dilakukan dengan membandingkan nilai

keluaran sensor dan alat ukur termometer. Melakukan kalibrasi dan validasi alat perangkat hama dengan benda berbagai ukuran yang meyerupai ukuran serangga, lalu divariasasi dengan jarak jangkauan sensor. Pengambilan data dilakukan dengan pengujian kinerja alat berdasarkan keakurasian, waktu pengendalian, stabilitas, respon sistem, pemberian aksi, perangkat hama, timer pemupukan dan parameter pertumbuhan cabai merah keriting. Parameter pertumbuhan cabai merah keriting terdiri dari tinggi tanaman (cm), jumlah daun (helai), dan keliling kanopi (cm).

Untuk nilai kalibrasi yang didapatkan pada nilai regresi (R^2) sensor kelengasan tanah sebesar 0,9911, sedangkan sensor suhu lingkungan secara berturut-turut sebesar 0,9981, 0,9994, dan 0,9991. Hasil uji kinerja alat kendali kelengasan tanah dan suhu lingkungan didapatkan beberapa nilai diantaranya nilai keakurasian sebesar 88,77 % dengan *setting point* 33% dan 98,61% dengan *setting point* 35°C. Untuk uji kinerja waktu pengendalian dilakukan selama 41 menit 51,6 detik dan 47 menit 44,4 detik. Pengendalian kedua aktuator pompa secara keseluruhan terjadi dengan kondisi yang stabil. Kecepatan respon sistem terjadi selama 10 menit 10 detik untuk pengendalian kelengasan tanah, sedangkan suhu lingkungan terjadi selama 7 menit 10 detik. Pemberian aksi dilakukan selama 1 menit untuk kedua pengendalian. Pemupukan menggunakan pupuk cair yang dilakukan sebanyak 4 kali dengan jumlah air-pupuk sebanyak 5000 ml. Perangkat hama mampu menangkap hama dengan ukuran 0-1 mm terbanyak dengan jumlah 51 hama, sedangkan yang paling sedikit pada ukuran 7,1-9 mm sebanyak 1 hama. Selain itu, pertumbuhan tanaman yang dikendalikan lebih baik dibanding dengan yang tidak dikendalikan berdasarkan parameter tinggi tanaman, jumlah daun, dan keliling kanopi. Untuk tanaman yang dikendalikan memiliki tinggi rata-rata

sebesar 54,50 cm, jumlah daun rata-rata 148 helai, dan keliling kanopi rata-rata sebesar 122,58 cm, sedangkan tanaman yang tidak dikendalikan memiliki tinggi rata-rata sebesar 41,33 cm, jumlah daun rata-rata sebanyak 40 helai, dan keliling kanopi rata-rata sebesar 57,83 cm.

Kata Kunci: Kelengasan Tanah, Perangkap Hama, Sistem Kendali, , Suhu Lingkungan, Tanaman Cabai.

ABSTRACT

DESIGN OF CONTROL SYSTEM OF LAND DISTRIBUTION, ENVIRONMENTAL TEMPERATURE, AND TRANSFER FOR REDUCED CRUDE CULTIVATION (*Capsicum annum L.*) BASED ON MICROCONTROLLER

by

FAISAL AHMAD NOVAL

Chili production is less than the maximum due to environmental conditions that are not suitable for the growth of pepper plants. Moisture level and environmental temperature are not in accordance with the requirements to grow affect the growth of pepper plants. In addition, unresolved pest attack factors are inhibiting growth. For that, it takes a technology that is capable of controlling moisture content, ambient temperature, and pest curling plant pests. The objective of this study was to design a soil humidity control system, ambient temperature, and pest trap for the cultivation of red curry chili plants with microcontroller based.

The design of this tool is done by making a circuit schematic, followed by making a series of soil moisture tools, ambient temperature and pest traps. The calibration and validation of ground humidity sensors are done by comparing between dry base water content values and soil temperature changes. Environmental temperature sensor is done by comparing the sensor output value and thermometer

gauge. Perform calibration and validation of pest trap tools with various size objects that resemble insect size, then varied with range of sensor range. Data retrieval is done by performance testing of tool based on accuracy, time of control, stability, system response, giving action, pest trap, fertilizer timer and growth parameters of red curly pepper. The curly red chili growth parameters consist of plant height (cm), number of leaves (strands), and canopy circumference (cm).

For the calibration value obtained on the regression value (R^2) of the soil humidity sensor of 0.9911, while the environmental temperature sensor was 0.9981, 0.9994, and 0.9991, respectively. The Result of performance test of soil moisture control and environmental temperature got some value such as value of accuracy equal to 88,77% with setting point 33% and 98,61% with setting point 35oC. To test the performance of the control time is done for 41 minutes 51.6 seconds and 47 minutes 44.4 seconds. The Control of both pump actuators as a whole occurs with stable conditions. The speed of the system response occurs for 10 minutes 10 seconds for soil moisture control, while the ambient temperature occurs for 7 minutes 10 seconds. The action is given for 1 minute for both controls. Fertilization using liquid fertilizer is done 4 times with the amount of water-fertilizer as much as 5000 ml. Pest traps capable of catching pests with a size of 0-1 mm with the largest number of 51 pests, while the least in size of 7.1-9 mm as much as 1 pest. In addition, plant growth is better controlled than uncontrolled based on plant height parameters, number of leaves, and canopy circumference. For controlled plants having an average height of 54.50 cm, an average leaf number of 148 pieces, and an average canopy cover of 122.58 cm, whereas uncontrolled plants had an average height of 41.33 cm , the number of

leaves averaging as much as 40 pieces, and the periphery canopy average of 57.83 cm.

Keywords: Soil Fluidity, Pest Traps, Control Systems,, Environmental Temperature, Chili Plants.

**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI KELENGASAN TANAH,
SUHU LINGKUNGAN, DAN PERANGKAP HAMA UNTUK BUDIDAYA
TANAMAN CABAI MERAH KERITING (*Capsicum annum* L.)
BERBASIS MIKROKONTROLER**

Oleh

FAISAL AHMAD NOVAL

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI KELENGASAN TANAH, SUHU LINGKUNGAN, DAN PERANGKAP HAMA UNTUK BUDIDAYA TANAMAN CABAI MERAH KERITING (*Capsicum annum* L.) BERBASIS MIKROKONTROLER**

Nama Mahasiswa : **Faisal Ahmad Noval**

No. Pokok Mahasiswa : 1314071021

Jurusan : Teknik Pertanian

Fakultas : Pertanian




Dr. Marell Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.
NIP 19880325 201504 1 001

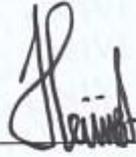

Dr. Siti Suharyatun, S.T.P., M.Si.
NIP 19700703 199802 2 001

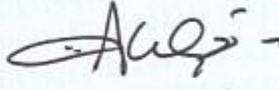
2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

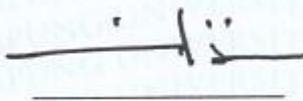

Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP 19650527 199303 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.** 

Sekretaris : **Dr. Siti Suharyatun, S.T.P., M.Si.** 

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Ridwan, M.S.** 

2. Dekan Fakultas Pertanian



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **11 Juli 2018**

PERNYATAAN KEASILIAN HASIL KARYA

Saya bernama **Faisal Ahmad Noval** NPM 1314071021, 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.T.P., M.Sc. dan 2) Dr. Siti Suharyatun, S.T.P., M.Si. 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.

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

Bandar Lampung, 11 Juli 2018
Yang membuat pernyataan



Faisal Ahmad Noval
NPM 1314071021

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Gunung Madu pada tanggal 21 November 1995, sebagai anak keenam dari pasangan Alm. Bapak Jono Mujiono dan Ibu Siti Jumariah, A.Md.

Penulis menempuh pendidikan pada jenjang taman kanak-kanak di TK Dharma Wanita I Bandar Sakti diselesaikan pada tahun 2001, Sekolah Dasar (SD)

Negeri 1 Tanjung Anom diselesaikan pada tahun 2007, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Terusan Nunyai diselesaikan pada tahun 2010, dan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Negeri 2 Terbanggi Besar yang diselesaikan pada tahun 2013.

Pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan strata (S1) di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui Jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Motor Bakar dan Traktor Pertanian, Alat dan Mesin Pertanian, Perbengkelan, Mesin dan Peralatan Pengolahan Hasil Pertanian, dan Mekanisasi Pertanian. Penulis pernah mengikuti organisasi mahasiswa tingkat jurusan yaitu Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) sebagai anggota bidang

Keprofesian pada tahun 2014-2015 dan menjabat sebagai Wakil Ketua Umum pada tahun 2015-2016. Penulis juga aktif pada organisasi mahasiswa tingkat universitas yakni Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Pramuka sebagai anggota kelompok kerja Informasi dan Komunikasi pada tahun 2014-2015 dan anggota kelompok kerja Penelitian dan Pengembangan pada tahun 2016. Penulis juga terdaftar aktif sebagai Wakil Koordinator Wilayah Lampung pada tahun 2017-2018 di Komunitas Alumni Ekspedisi Nusantara Jaya yakni Forum Nasional Perintis Maritim Jaya (ForNas Rintara Jaya) yang bergerak dibidang kemaritiman pada Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Terkecil (WP3K). Selain itu, penulis juga terdaftar aktif sebagai anggota pada organisasi persaudaraan Pramuka Garuda tingkat internasional yakni *Association of Top/Achiever Scouts* (ATAS) pada tahun 2017 dengan nomor anggota #6715.

Pada tahun 2016, penulis melaksanakan Praktik Umum di Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Kabupaten Subang, Provinsi Jawa Barat yang dilaksanakan selama 30 hari mulai pada tanggal 18 Juli sampai 18 Agustus 2016. Penulis menuliskan laporan dengan judul “Pengeringan Singkong Iris Menggunakan Pengereng Inframerah di Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna LIPI Subang Jawa Barat”. Pada tahun berikutnya, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kampung Sidoluhur, Kecamatan Bangun Rejo, Kabupaten Lampung Tengah, selama 40 hari mulai tanggal 19 Januari sampai dengan 28 Februari 2017. Di tahun yang sama penulis didelegasikan oleh Universitas Lampung mengikuti kegiatan Ekspedisi Nusantara Jaya Program Kementerian Koordinator Kemaritiman ke Pulau Sipora, Kab. Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat untuk pengabdian selama 10 hari.

**TERUNTUK KEDUA ORANGTUA KU TERSAYANG
ALM. BAPAK JONO MUJIONO DAN IBU SITI JUMARIAH
SERTA KAKAK-KAKAKU**

**KUPERSEMBAHKAN KARYA KECILKU INI
SEBAGAI TANDA TERIMA KASIH DAN TANGGUNG
JAWABKU**

**DAN
ALMAMATER TERCINTA
TEKNIK PERTANIAN UNIVERSITAS LAMPUNG
PRAMUKA UNIVERSITAS LAMPUNG**

**SERTA
NEGERIKU TERCINTA
INDONESIA**

Motto

A Scout smiles and whistles under all circumstances (Seorang Pramuka tersenyum dan bersiul dalam semua keadaan).

(Lord Baden-Powel)

**Kalau engkau tidak bisa menjadi batang nyiur yang tegar;
Jadilah segumpal rumput tetapi mampu memperindah
taman; Yakinlah dalam hatimu; Bahwa berbuat meski sedikit;
Lebih baik dari hanya bicara**

(Sandi Racana Putera Saburai)

**Sebuah keyakinan muncul dari dalam hati; Hati yang baik
akan memunculkan tindakan yang baik; Maka perbaikilah
diri mulai dari hati.**

(Faisal A. Noval)

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan oleh penulis.

Skripsi dengan judul “Rancang Bangun Sistem Kendali Kelengasan Tanah, Suhu Lingkungan, dan Perangkat Hama untuk Budidaya Tanaman Cabai Merah Keriting (*Capsicum annum* L.) Berbasis Mikrokontroler” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung, serta jajaran Wakil Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P. selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc. selaku Pembimbing Utama yang telah memberikan motivasi, bimbingan, kritik, dan saran selama proses penelitian hingga penyelesaian skripsi;

4. Ibu Dr. Siti Suharyatun, S.T.P., M.Si. selaku Pembimbing Kedua dan Pembimbing Akademik atas motivasi, bimbingan, kritik, dan saran selama proses penelitian hingga penyelesaian skripsi;
5. Bapak Dr. Ir. Ridwan, M.S. selaku Penguji atas kritik dan saran dalam penulisan skripsi;
6. Bapak Dr. Ir. Sigit Prabawa, M.Si. selaku Pembimbing Akademik semester 1 hingga semester 5 atas bimbingan, kritik, dan saran selama melaksanakan perkuliahan;
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung;
8. Kedua orang tua penulis, alm. Bapak Jono Mujiono dan Ibu Siti Jumariah, A.Md., serta kakak-kakak penulis kak Jou Nur Kesumaria, A.Md., kak Yoga Sudomo Hidayat, kak Nurlela Agustina, A.Md., dan kak Brita Oktaviana, A.Md. yang selalu memberikan semangat dan inspirasi, serta motivasi dalam hidup;
9. Teman-teman Teknik Pertanian angkatan 2013, Ade Tiya Apriani, S.T.P., Aditya H. Prabowo, S.T.P.; Agung Pratama, S.T.P., Ahmad Syahabudin, An'nisa Nur Racmwyaty, S.T.P., Annie Widya Subagia, S.T.P., Aprilia Mulyani, Bayu Anugerah, Burhanuddin JA, Danesta Ayu Saputri, S.T.P., Devira Ayu Dwi Mustika, Dodi Setiawan, S.T.P., Dyah Isworo, S.T.P., Erick Desrianto Munthe, S.T.P., Eriko Aditama, Esa Filorenchi Pakpahan, S.T.P., Fanya Alfacia Arafat, S.T.P., Fatkhul Rohman, S.T.P., Fery Yanto, S.T.P., Galih Pratama, S.T.P., Haposan M. Simorangkir, S.T.P., Hendri Setiawan, S.T.P., Japen H. Sigiro, S.T.P., Julianto, Kholfira Masoyogie,

S.T.P., Komang Suarme, M. Adita Putra, S.T.P., Magdalena Tyas Pratiwi, S.T.P., M. Agung Hardiyanto, Nasrullah, S.T.P., Posmaria Mei Siska, S.T.P., Rafiko Ferilino, S.T.P., Randi Anggit Wibisono, S.T.P., Ridho Al Akbar, Riko Masda Putra, S.T.P., Riyan Wahyudi, S.T.P., Rizky Hendra Wijaya, Ryandy Kurniawan, Sapta Adi Prasetya, S.T.P., Septian Trisaputra, Sofyan Sambudi, S.T.P., Stefani Silvi Agustin, S.T.P., Wahyu Ratna Ningsih, S.T.P., dan Wisnu Bayu Wardana, S.T.P. atas dukungan moral yang kalian berikan kepada penulis;

10. Kakak-kakak Teknik Pertanian terutama angkatan 2010, 2011, dan 2012 dan adik-adik Teknik Pertanian angkatan 2014, 2015, 2016, dan 2017;
11. Kakak-kakak UKM Pramuka terutama kak Nurhudiman, S.P., kak Yuniar Apriliani, S.Pd., kak Usnaqul Efriyani, S.P., kak Erwanto, S.T.P., kak Eka Nur Rani Efendi, S.Sos., kak Arif Vhisodik, S.Pd., kak Baidowi, S.Pd. dan rekan-rekan seperjuangan (Angkatan XXXII Racana Raden Intan – Puteri Silamaya) Tri Yoga Pangestu, Hardi Hamidi, S.Kom., Temu Riyadi, S.Pd., Arif Rizki, Ahmat Syamsudin, A.Md., Andi Kurniawan, S.E., Saipul Anwar, S.Pd., kak Albar Dias, S.H., kak Riski Ari Pratama, S.T., kak Nur Rokhim, S.Pd., kak Dini Arimurti, S.P., Desti Yuniatun, Reni Adnriyani, S.Pd., Fitri Fidyah, S.Pd., Vini Agustiani, S.Pd., Hilda Dewi Anifa, S.Pd., Nila Oktaviani, S.Pd., Indah Nurkomala Dewi, S.Pd., Uun Yukanah, S.Pd., Rina Intan Sari, S.Pd., Sri Harnita, S.Pd., dan Siti Khotijah, S.Pd., serta adik-adik atas dukungan moral yang kalian berikan kepada penulis;

12. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung pelaksanaan penelitian mulai dari awal sampai selesai yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, namun sebuah harapan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan dan berbagai pihak. Aamiin.

Bandar Lampung, 11 Juli 2018

Penulis,

Faisal Ahmad Noval

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
I.PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
II.TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Cabai Merah Keriting	6
2.2. Faktor Pertumbuhan Cabai Merah Keriting.....	8
2.2.1. Suhu	8
2.2.2. Kelengasan Tanah	9
2.2.3. Unsur Hara	10
2.3. Perangkat Hama	11
2.4. Sistem Kendali	12
2.5. Mikrokontroler	13

2.6. Sensor dan Aktuator.....	15
2.6.1. Sensor Suhu DHT22	16
2.6.2. Sensor Kelengasan Tanah	17
2.6.3. Sensor Inframerah Tipe E18-D80NK	17
III.METODOLOGI	18
3.1. Waktu dan Tempat.....	18
3.2. Alat dan Bahan.....	18
3.3. Dasar Perancangan.....	19
3.3.1. Dasar Perancangan Kendali Suhu Lingkungan dan Kelengasan Tanah.....	19
3.3.2. Dasar Perancangan Pemupukan	20
3.3.3. Dasar Perancangan Perangkat Hama.....	22
3.4. Kriteria Desain	22
3.5. Prosedur Penelitian	24
3.6. Perancangan Alat	26
3.6.1. Perancangan Struktural	38
3.6.2. Perancangan Fungsional.....	42
3.7. Mekanisme Kerja	49
3.8. Uji Kinerja Alat.....	50
3.8.1. Keakurasian/ Keakuratan	50
3.8.2. Waktu Pengendalian.....	51
3.8.3. Stabilitas.....	51

3.8.4. Respon Sistem.....	52
3.8.5. Pemberian Aksi	53
3.8.6. Perangkat Hama	54
3.8.7. Timer Pemupukan	55
3.8.8. Parameter Pertumbuhan Cabai Merah Keriting.....	56
3.9. Analisis Data.....	56
3.9.1. <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE).....	56
3.9.2. Koefisien Determinasi (R^2).....	57
3.9.3. Koefisien Korelasi (KK)	58
IV.HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
4.1. Rangkaian Sistem Kendali.....	59
4.1.1. Sistem Kendali	60
4.1.2. Instalasi Pompa Air dan Perangkat Hama.....	65
4.2. Kalibrasi dan Validasi Sensor.....	69
4.2.1. Kalibrasi	69
4.2.2. Validasi	74
4.3. Pengujian Kinerja Alat.....	78
4.3.1. Keakurasian.....	82
4.3.2. Waktu Pengendalian.....	84
4.3.3. Stabilitas.....	85
4.3.4. Respon Sistem.....	87

4.3.5. Pemberian Aksi	88
4.3.6. Perangkat Hama	89
4.3.7. Timer Pemupukan	90
4.3.8. Perkembangan Tanaman	91
V.SIMPULAN DAN SARAN	95
5.1. Simpulan	95
5.2. Saran	98
DAFTAR PUSTAKA	99
LAMPIRAN.....	103
Tabel 13-23	104
Gambar 57-58	108

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Spesifikasi Arduino Mega2560.....	15
Tabel 2. Spesifikasi Sensor DHT22	16
Tabel 3. Spesifikasi Sensor Inframerah Tipe E18-D80NK.....	17
Tabel 4. Penurunan Kelembaban tanah pada setiap interval pemberian air untuk fase pertumbuhan cabai.....	20
Tabel 5. Koordinat peletakan sensor DHT22 pada rumah tanaman.	39
Tabel 6. Koordinat peletakan sensor kelengasan tanah pada media tanam.	40
Tabel 7. Interpretasi koefisien korelasi	58
Tabel 8. Data kalibrasi jarak dan kecepatan respon.....	74
Tabel 9. Data kalibrasi luas penampang	74
Tabel 10. Data validasi jarak dan kecepatan respon	78
Tabel 11. Data validasi luas penampang.....	78
Tabel 12. Nilai keakurasian alat.....	83
Tabel 13. Nilai waktu pengendalian.....	85
Tabel 14. Nilai RMSE suhu 1	104
Tabel 15. Nilai RMSE suhu 2	104
Tabel 16. Nilai RMSE suhu 3	105
Tabel 17. Nilai RMSE kelengasan tanah	105

Tabel 18. Jumlah air yang keluar pada aliran penurun suhu (l/menit).....	105
Tabel 19. Tanaman dikendalikan dengan parameter tinggi tanaman (cm)	106
Tabel 20. Tanaman dikendalikan dengan parameter jumlah daun (helai)	106
Tabel 21. Tanaman dikenalikan dengan parameter keliling kanopi (cm).....	106
Tabel 22. Tanaman tidak dikendalikan dengan parameter tinggi tanaman (cm)	107
Tabel 23. Tanaman tidak dikendalikan dengan parameter jumlah daun (helai) .	107
Tabel 24. Tanaman tidak dikendalikan dengan parameter keliling kanopi (cm)	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Cabai merah keriting	6
Gambar 2. Konfigurasi pin Atmega2560	14
Gambar 3. Arduino Mega 2560	15
Gambar 4. <i>Setting point</i> sensor suhu DHT22 yang ditentukan.....	23
Gambar 5. <i>Setting point</i> sensor kelengasan tanah yang Ditentukan.	23
Gambar 6. Diagram alir prosedur penelitian.....	25
Gambar 7. Diagram alir perancangan alat.....	27
Gambar 8. Skematik rangkaian	28
Gambar 9. Diagram alir kalibrasi dan validasi kelengasan tanah	32
Gambar 10. Diagram alir kalibrasi dan validasi suhu lingkungan	34
Gambar 11. Diagram alir kalibrasi dan validasi sensor inframerah.....	35
Gambar 12. Penampilan program arduino menggunakan bahasa pemrograman C	36
Gambar 13. Diagram alir pemrograman pompa pengkabutan kendali suhu lingkungan <i>greenhouse</i>	37
Gambar 14. Diagram alir pemrograman pompa air kendali kelengasan tanah	38
Gambar 15. Skema peletakan komponen pengolah data	41
Gambar 16. Peletakkan alat-alat penelitian.....	42

Gambar 17. Modul sensor kelengasan tanah.....	43
Gambar 18 . Sensor DHT22.....	44
Gambar 19. Sensor Inframerah E18-D80NK.....	45
Gambar 20. Mikrokontroler jenis Arduino Mega 2560	46
Gambar 21. <i>Real time clock</i>	46
Gambar 22. <i>Liquid crystal display</i> dan modul I ² C.....	47
Gambar 23. Modul <i>micro SD card</i>	48
Gambar 24. Modul relay 4-channel.	48
Gambar 25. Sinyal respon transien dan steady state	53
Gambar 26. Perangkat hama	55
Gambar 27. Rangkaian alat penelitian sistem kendali pada <i>greenhouse</i>	59
Gambar 28. Kotak rangkaian elektronika sistem kendali	60
Gambar 29. Peletakan kotak rangkaian elektronika sistem kendali.....	61
Gambar 30. Rangkaian elektronika sistem kendali.....	62
Gambar 31. Instalasi pompa air kelengasan tanah	66
Gambar 32. Instalasi pompa air pengakabutan air	67
Gambar 33. Instalasi pompa air pemupukan.....	68
Gambar 34. Instalasi perangkat hama	69
Gambar 35. Kalibrasi sensor kelengasan dan suhu tanah	70
Gambar 36. Kalibrasi sensor suhu 1	71
Gambar 37. Kalibrasi sensor suhu 2	72
Gambar 38. Kalibrasi sensor suhu 3	73
Gambar 39. Validasi sensor kelengasan dan suhu tanah	75
Gambar 40. Validasi sensor suhu 1	76

Gambar 41 Validasi sensor suhu 2.....	76
Gambar 42. Validasi sensor suhu 3.....	77
Gambar 43. Hasil perekaman data sensor kelengasan tanah.....	79
Gambar 44. Hasil perekaman data sensor suhu lingkungan	81
Gambar 45. Stabilitas alat pengendalian suhu	86
Gambar 46. Stabilitas alat pengendalian kelengasan tanah	86
Gambar 47. Respon sistem saat menurunkan suhu lingkungan.....	87
Gambar 48. Respon sistem menaikkan nilai lengas tanah	88
Gambar 49. Jumlah hama atau serangga yang terperangkap	89
Gambar 50. Status pompa pemupukan hidup	90
Gambar 51. Tinggi tanaman cabai yang dikendalikan oleh alat	91
Gambar 52. Tinggi tanaman cabai yang tidak dikendalikan oleh alat	92
Gambar 53. Jumlah daun tanaman cabai yang dikendalikan oleh alat	92
Gambar 54. Jumlah daun tanaman cabai yang tidak dikendalikan oleh alat	93
Gambar 55. Keliling kanopi tanaman cabai yang dikendalikan oleh alat.....	93
Gambar 56. Keliling kanopi tanaman cabai yang dikendalikan oleh alat.....	94
Gambar 57. Tanaman cabai yang dikendalikan oleh alat	108
Gambar 58. Tanaman yang tidak dikendalikan oleh alat.....	108

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Cabai merah keriting (*Capsicum annuum* L.) merupakan salah satu jenis tanaman hortikultura yang tergolong sebagai tanaman sayuran. Cabai merah keriting banyak dimanfaatkan menjadi bumbu untuk menjadi penguat rasa makanan. Cabai ini tumbuh dan berkembang di daerah tropis sehingga banyak petani Indonesia yang membudidayakannya.

Kebutuhan cabai di Indonesia terus mengalami peningkatan. Namun, hingga saat ini produksi cabai di Indonesia masih belum dapat memenuhi kebutuhan masyarakat banyak. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2015) bahwa pada tahun 2012 Indonesia berhasil memproduksi cabai besar hingga 954.363 ton dengan luas lahan 120.275 Ha. Kemudian pada tahun 2013 mengalami kenaikan sebesar 6,13 % dengan jumlah produksi 1.012.879 ton dengan luas lahan 124.110 Ha dan pada tahun 2014 produksi cabai besar mencapai 1.074.611 ton dengan luas lahan 128.734 Ha. Turunnya produktivitas cabai tersebut diduga disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain mutu benih yang kurang baik, tingkat kesuburan tanah yang semakin menurun, penerapan teknik budidaya yang kurang baik, serta adanya permasalahan hama dan penyakit tanaman (Warisno dan Dahana, 2010).

Produksi cabai yang kurang maksimal disebabkan karena kondisi lingkungan yang tidak sesuai untuk pertumbuhan tanaman cabai. Tanaman cabai beradaptasi dengan baik pada suhu 25°C-30°C (Harpenas dan Dermawan, 2010). Umumnya petani menanam cabai pada lahan yang terbuka sehingga faktor cuaca berpengaruh terhadap suhu lingkungan. Suhu lingkungan yang tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman cabai sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Penyerangan hama juga merupakan salah satu faktor resiko cukup besar dalam budidaya cabai. Pengendalian hama yang dilakukan petani ialah dengan menyemprotkan bahan-bahan kimiawi pada tanaman cabai. Pengendalian hama dilakukan guna meminimalisir kegagalan panen. Umumnya petani menggunakan rumah tanaman guna mengurangi serangan hama.

Rumah tanaman (*greenhouse*) merupakan tempat yang ideal untuk budidaya tanaman pangan, tanaman buahan, dan tanaman hortikultura (Opena dan Potter, 1999). Selain menjaga dari serangan hama, rumah tanaman mampu mengurangi dampak perubahan cuaca yang tidak menentu.

Kebutuhan unsur hara (nutrisi) di dalam tanah dan kondisi iklim mikro merupakan hal yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman (Telaumbanua, 2014). Unsur hara dan kondisi iklim mikro merupakan faktor pendukung terhadap pertumbuhan tanaman. Untuk itu pemenuhan unsur hara diperlukan dan diberikan secara tepat waktu dan dosis.

Pengendalian suhu, kelembaban dan perangkap hama yang tepat dalam rumah tanaman dinilai mampu meningkatkan proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman cabai. Pada penelitian Wahyono (2016), sistem kendali berhasil bekerja

sesuai kriteria desain yang ditentukan yakni mengendalikan suhu dengan rentang 25-30°C. Seiring perkembangan teknologi yang semakin canggih, maka pengendalian suhu, kelembaban, dan perangkat hama berpotensi untuk dilakukan secara otomatis.

Pengendalian lengas tanah, suhu lingkungan, dan perangkat hama serta pemenuhan unsur hara secara otomatis diharapkan dapat meningkatkan produktivitas cabai merah keriting dan mampu mengurangi dampak penyerangan hama pada tanaman.

1.2. Rumusan Masalah

Perubahan suhu yang fluktuatif pada *greenhouse* berpengaruh terhadap laju pertumbuhan tanaman cabai merah keriting. Tinggi rendahnya suhu di dalam *greenhouse* ditentukan oleh distribusi cahaya, dan kadar lengas tanah.

Peningkatan suhu di sekitar tanaman dan penurunan kadar lengas berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan. Jika pertumbuhan tanaman terganggu, maka tingkat produktivitas cabai merah akan terpengaruh.

Selain itu, pertumbuhan tanaman cabai merah dipengaruhi oleh pemenuhan unsur hara dan serangan hama. Pemberian unsur hara yang tidak sesuai dengan jumlah dan waktu yang tepat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman cabai.

Serangan hama terhadap tanaman cabai menjadi suatu permasalahan yang dihadapi petani. Penanggulangan terhadap serangan hama cabai menjadi kendala yang belum bisa dilakukan sehingga serangan hama memiliki pengaruh negatif terhadap pertumbuhan tanaman cabai.

Untuk itu pemanfaatan perkembangan teknologi di bidang pertanian perlu dilakukan sebagai contoh dengan memanfaatkan sistem kendali. Mengaplikasikan mikrokontroler sebagai sistem kendali untuk pengendalian kelengasan tanah, suhu lingkungan, dan perangkat hama serta pemenuhan unsur hara akan mampu dilakukan secara otomatis. Ketika pengendalian tersebut mampu dilakukan maka tercipta kondisi yang sesuai dan baik untuk pertumbuhan cabai merah keriting. Lalu bagaimana perancangan alat sistem kendali iklim mikro dan perangkat hama untuk budidaya tanaman cabai merah keriting ini bisa dilakukan? Hasil perancangan inilah yang akan peneliti lakukan.

1.3. Batasan Masalah

Sebagai ruang lingkup perancangan penelitian ini, peneliti mengambil batas cakupan pembahasan pada pengendalian kelengasan tanah, suhu lingkungan *greenhouse*, dan pemupukan, serta perangkat hama sebagai berikut.

1. Pengendalian suhu lingkungan *greenhouse* dilakukan selama 31 hari pada fase pertumbuhan dengan mengendalikan suhu di bawah 35°C dalam *greenhouse*.
2. Pengendalian kelengasan tanah pada kebutuhan kadar lengas tanaman cabai merah keriting selama 31 hari pada fase pertumbuhan. Kadar lengas yang dibutuhkan ialah kondisi kadar lengas tanah antara 30-50 % untuk tanaman cabai merah keriting.
3. Proses pemupukan dilakukan sebanyak 4 kali dari waktu pengendalian selama 31 hari fase pertumbuhan menggunakan *timer*.

4. Pada pengendalian perangkat hama dilakukan selama 31 hari dan mampu menjerat minimal satu jenis hama atau serangga.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini adalah merancang sebuah sistem kendali kelengasan tanah, suhu lingkungan, dan perangkat hama untuk budidaya tanaman cabai merah keriting dengan basis mikrokontroler.

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah :

1. Melakukan kalibrasi dan validasi sensor kelengasan tanah untuk nilai kadar lengas, sensor DHT22 untuk nilai suhu lingkungan *greenhouse*, dan sensor inframerah tipe E18-D80NK untuk pendeteksian pada perangkat hama.
2. Melakukan pengujian alat untuk mendapatkan nilai kinerja aktuator yang meliputi keakurasian, rerata waktu pengendalian, stabilitas, respon sistem, pemberian aksi, perangkat hama, dan timer pemupukan.
3. Mengetahui perbedaan pertumbuhan tanaman cabai merah keriting yang dikendalikan oleh alat dengan yang tidak dikendalikan.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat sebagai bahan referensi ilmiah dalam mengembangkan suatu sistem kendali iklim mikro dan perangkat hama dalam *greenhouse* secara otomatis terutama menggunakan perangkat elektronik mikrokontroler Arduino Mega 2560. Pada tahap penelitian lanjutan diharapkan akan bermanfaat untuk masyarakat secara luas.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Cabai Merah Keriting



(sumber : Anonim, 2016)

Gambar 1. Cabai merah keriting

Cabai merah keriting (*Capsicum annum* L.) adalah tanaman buah yang dapat digolongkan sebagai sayuran maupun bumbu. Cabai mengandung berbagai macam senyawa yang berguna bagi kesehatan manusia. Di dalam 100 gram cabai segar terkandung energy 40 Kcal, karbohidrat 8,81 g, protein 1,87 g, lemak 0,44 g, vitamin A 952 IU, vitamin V 143,7 mg, thiamin 0,72 mg, riboflavin 0,086 mg, pyridoxine 0,506 mg, vitamin E 0,69 mg, Selain itu cabai juga mengandung lasparaginase dan capsaicin yang berperan sebagai senyawa antikanker. Cabai

merah kaya akan flavonoid seperti beta karoten, alfa karoten, lutein, zeaxanthin dan cryptoxanthin. Selain itu cabai juga mengandung mineral penting seperti kalium, mangan, zat besi dan magnesium (Syukur dll., 2013). Sedangkan klasifikasi cabai merah adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae (Tumbuhan)
Subkingdom	: Tracheobionta (Tumbuhan berpembuluh)
Super Divisi	: Spermatophyta (Menghasilkan biji)
Divisi	: Magnoliophyta (Tumbuhan berbunga)
Kelas	: Magnoliopsida (berkeping dua / dikotil)
Sub Kelas	: Asteridae
Ordo	: Solanales
Famili	: Solanaceae(suku terung-terungan)
Genus	: Capsicum
Spesies	: Capsicum annumL (Arianto, 2010).

Menurut Harpenas dan Dermawan (2010), tanaman cabai dibedakan dalam beberapa golongan dan tiap golongan memiliki berbagai jenis yaitu cabai merah besar, cabai merah keriting, cabai rawit dan paprika. Selain itu, tanaman cabai memiliki bentuk perdu, berdiri tegak dan bertajuk lebar. Cabang yang banyak akan memunculkan bunga kemudian berkembang menjadi buah.

Cabai memiliki 1,00-1,25 m dan termasuk tanaman perdu tegak dengan lama tumbuh setahun atau menahun. Batang berkayu, berbuku-buku, percabangan lebar, penampang bersegi, batang muda berambut halus berwarna hijau. Daun tunggal, bertangkai (panjangnya 0,5-2,5 cm), dan letak bersebar. Helai daun

bentuknya bulat telur sampai elips, ujung runcing, pangkal meruncing, tepi rata, pertulangan menyirip, panjang 1,5-12,0 cm, lebar 1-5 cm dan berwarna hijau (Dalimartha, 2005).

2.2. Faktor Pertumbuhan Cabai Merah Keriting

2.2.1. Suhu

Suhu lingkungan mempunyai pengaruh terhadap respon pertumbuhan dan perkembangan tanaman cabai. Setiap tanaman memiliki kisaran suhu lingkungan yang berbeda-beda dalam memenuhi kebutuhan dan perkembangannya (Siregar, 2013). Pernyataan tersebut sejalan dengan Kunri (2010) bahwa cabai merah dapat tumbuh dengan baik pada daerah dengan suhu rata-rata 30 °C. Suhu ideal untuk perkecambahan benih cabai yaitu 25-30 °C, sedangkan suhu optimum pertumbuhannya adalah 24-32 °C.

Pada kondisi suhu tertentu seperti suhu 15 °C dan di atas suhu 32 °C akan menghasilkan buah cabai yang kurang baik. Beberapa pernyataan di atas diperkuat dengan pendapat Tjahjadi (1991) bahwa tanaman cabai dapat tumbuh pada musim kemarau (panas) apabila pengairan yang diberikan cukup dan dilakukan secara teratur.

2.2.2. Kelengasan Tanah

Lengas tanah adalah air yang terdapat dalam tanah yang terikat oleh berbagai gaya (matrik, osmosis, dan kapiler). Gaya ini meningkat sejalan dengan peningkatan permukaan jenis zarah (bobot) dan kerapatan muatan elektrostatik zarah tanah. Tegangan lengas tanah juga menentukan seberapa banyak air yang dapat diserap tumbuhan. Bagian lengas tanah yang tumbuhan mampu menyerap dinamakan air ketersediaan (Notohadiprabowo, 2006).

Gaya yang mengikat lengas tanah ada tiga yakni 1) Gaya ikat matrik berasal dari tarikan antar partikel tanah kemudian meningkat sesuai dengan peningkatan permukaan jenis dan kerapatan muatan elektrostatik partikel tanah. 2) Gaya osmosis dipengaruhi oleh zat terlarut dalam air. 3) Gaya kapiler dibangkitkan oleh pori-pori tanah berkaitan dengan tegangan. Menurut penelitian Manohara (2008), formulasi starter yang diinfestasikan ke dalam tanah dapat tumbuh dan berkembang dengan baik pada kelengasan tanah 70% kapasitas lapang.

Menurut Harpenas (2010) tanaman cabai dapat tumbuh dan beradaptasi pada segala jenis tanah, mulai dari tanah yang berpasir ataupun tanah liat. Senada dengan pendapat tersebut, Tjahjadi (1991) mengatakan bahwa tanaman cabai dapat tumbuh di segala jenis tanah, namun tanah yang cocok adalah tanah yang mengandung beberapa unsur hara. Unsur-unsur hara tersebut berupa unsur N dan K. Selain itu, tanaman cabai tidak suka dengan air yang menggenang.

2.2.3. Unsur Hara

Pemupukan merupakan proses untuk memperbaiki atau memberikan tambahan unsur-unsur hara pada tanah, baik secara langsung maupun tidak langsung agar dapat memenuhi kebutuhan bahan makanan tertentu. Tujuan pemupukan antara lain memperbaiki kondisi tanah, meningkatkan kesuburan tanah, memberikan nutrisi untuk tanaman, dan memperbaiki kualitas serta kuantitas tanaman (Anonim, 2017a). Hal ini sesuai dengan pendapat Poulton *et al.*, (1998) (dalam jurnal Alavan, 2015) bahwa unsur hara menjadi komponen penting bagi tanaman khususnya unsur hara makro seperti unsur hara N, P, dan K dalam jumlah cukup dan berimbang. Jumlah unsur hara yang cukup dan berimbang mampu mempengaruhi pertumbuhan tanaman pada fase pertumbuhan vegetatif maupun fase generatif.

Menurut anonim (2016), pemupukan dengan pupuk cair bisa dilakukan dengan perbandingan 5 liter pupuk phonska (NPK) dan 150 liter air. Kemudian untuk satu tanaman menggunakan pupuk cair sebanyak 250 ml atau satu gelas air. Penelitian Alvan (2016), membuktikan bahwa pemupukan organik (50%) dan anorganik (50%) berpengaruh baik terhadap tinggi tanaman 2-9 MST.

Pada penelitian Darmawan (2013), pengaturan suhu, kelembaban udara, dan pupuk otomatis pada *green house* mampu dilakukan. Pendapat tersebut didukung oleh penelitian Setiawan dan Ro'uf (2014) waktu penyiraman pupuk cair dapat dilakukan secara berkala dalam kurun waktu tertentu. Pengaturan waktu penyiraman pupuk cair menggunakan *Real Time Clock* (RTC).

2.3. Perangkap Hama

Definisi Pengendalian Hama Terpadu menurut Untung (1992) (dalam Nuryatiningsih, 2011) adalah teknologi pengelolaan ekosistem yang bertujuan untuk meningkatkan produksi pertanian dan kesejahteraan petani. Kemudian mempertahankan populasi hama dalam keadaan keseimbangan dengan musuh alaminya, serta mengurangi atau membatasi penggunaan pestisida.

Cahyono dan Nurmahaludin (2015) berpendapat Alat perangkap hama merupakan suatu alat untuk memerangkap hama menggunakan lampu pada malam hari.

Dengan memanfaatkan sifat ketertarikan serangga pada cahaya. Pernyataan ini didukung dalam penelitian Alim dan Ramza (2012) Salah satu sifat serangga adalah memiliki ketertarikan terhadap cahaya. Dalam praktik secara tradisional, misalnya menggunakan lampu petromak untuk menangkap laron (serangga) dan menangkap lalat buah dengan waran kuning. Dalam penelitian Cahyono dan Nurmahaludin (2015), penggunaan alat perangkap hama dapat membantu memonitoring keberadaan dan populasi hama disekitar lokasi yang dipasang.

Di antara beberapa jenis pengendalian, pengendalian secara mekanis mungkin kurang populer dibandingkan dengan pengendalian dengan nabati atau hayati.

Pengendalian mekanis dapat dilakukan dengan menggunakan tanaman perangkap, perangkap feromon, perangkap cahaya dan perangkap warna kuning (Andri, 2015).

2.4. Sistem Kendali

Sistem kendali sendiri telah memegang peranan terhadap perkembangan ilmu dan teknologi. Perkembangan teknologi ini tentunya mendorong manusia untuk terus berinovasi guna mengendalikan pekerjaan secara mandiri. Menurut Ogata (2010), sistem kendali didefinisikan sebagai kumpulan beberapa metode yang muncul dari kebiasaan manusia dalam melakukan aktivitasnya. Sedangkan Putri (2016), sistem kendali adalah proses pengaturan/ pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (variabel, parameter) sehingga berada pada suatu nilai tertentu.

Penerapan sistem kendali dibagi menjadi dua jenis yaitu sistem kendali tertutup dan sistem kendali terbuka. Sistem kendali tertutup memiliki karakteristik perbedaan antara sinyal masuk dan sinyal umpan balik (luaran). Sedangkan sistem kendali terbuka memiliki karakteristik sinyal keluaran tidak diukur untuk perbandingan dengan input (Ogata, 2010). Pada penelitian Istiyanto dan Efendy (2004), sistem pengendali memberikan efisiensi kebutuhan perangkat keras yang sedikit dan kebutuhan sumber catu daya yang kecil.

Sistem kontrol terdiri dari serangkaian komponen yang saling bersinergi.

Komponen tersebut diberikan istilah tertentu untuk menjelaskan fungsinya dalam sebuah sistem. Beberapa istilah tersebut antara lain (Ogata, 2010):

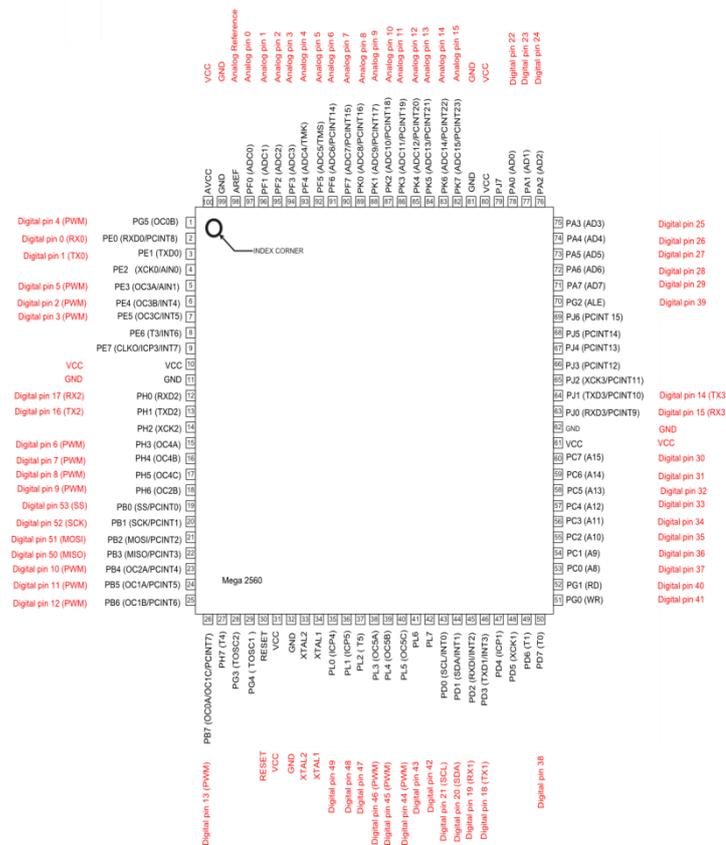
- a. kontroler (controller) adalah alat atau metode yang digunakan untuk memodifikasi sistem sehingga sesuai dengan tujuan sistem tersebut,
- b. aktuator (actuator) adalah alat yang akan menggerakkan plant,
- c. plant (plant) adalah objek fisik yang akan dikendalikan,

- d. sensor adalah alat yang digunakan untuk mengukur hasil luaran sistem dan memasukkan hasil pengukuran pada masukan sistem.

2.5. Mikrokontroler

Jenis mikrokontroler saat ini begitu beragam, salah satu mikrokontroler yang sering digunakan dalam bidang elektronika dan instrumentasi adalah mikrokontroler Atmel AVR yang memiliki arsitektur RISC 8 bit (16-bits word). Mikrokontroler Atmel AVR didukung oleh banyak perangkat yang dapat diprogram dengan bahasa manusia (humanoid) bukan menggunakan bahasa mesin (Dam, 2008).

ATmega2560 merupakan salah satu jenis mikrokontroler Atmel AVR yang memiliki 85 pin Input/ Output yang tersedia. Beberapa fitur yang dimiliki oleh mikrokontroler ATmega2560 yaitu ADC internal, EEPROM internal, timer, pulse width modulation (PWM), port Input/Output, komunikasi serial dan komparator.



(Sumber : Anonim, 2018c).

Gambar 2. Konfigurasi pin Atmega2560

Arduino Mega2560 R3 merupakan papan mikrokontroler generasi ke tiga yang dibuat oleh perusahaan Arduino berbasis chipset ATmega2560. Arduino Mega 2560 R3 memiliki jumlah pin sebanyak 54 pin digital input/ouput. 54 pin tersebut diantaranya 15 pin luaran PWM, 16 pin sebagai pin masukkan analog dan 4 pin sebagai UART. Selain itu Arduino Mega 2560 R3 juga memiliki beberapa elemen pendukung yaitu 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, jack power, header, ICSP, dan tombol reset. (Anonim, 2018c).



Gambar 3. Arduino Mega 2560

Tabel 1. Spesifikasi Arduino Mega2560.

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Mikrokontroler	ATmega 2560
2	Tegangan Operasi	5V
3	<i>Input Voltage</i> (disarankan)	7-12V
4	<i>Input Voltage</i> (limit)	6-20V
5	Pin Digital I/O	54 (yang 15 pin <i>output</i> PWM)
6	Pin Input Analog	16
7	Arus DC per pin I/O	40 mA
8	Arus DC untuk pin 3.3 V	50mA
9	<i>Flash Memory</i>	256 KB (8 KB <i>bootloader</i>)
10	SRAM	8 KB
11	EEPROM	4 KB
12	<i>Clock Speed</i>	16 MHz

Sumber : Hendriono (2014)

2.6. Sensor dan Aktuator

Sensor adalah alat yang digunakan untuk mengukur besaran luaran sistem dan mengonversinya menjadi sebuah sinyal masukan sehingga dapat dilakukan perhitungan antara masukan dan luaran. Sedangkan aktuator adalah sekumpulan alat yang berfungsi untuk memberikan aksi luaran untuk mempertahankan atau mengubah sebuah sistem (Ogata, 2010).

Aktuator dimanfaatkan dalam sistem kendali guna menjaga kestabilan atau mengubah sistem. Aktuator sendiri dikendalikan 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, yaitu relay AC dan relay DC (Setiawan, 2011).

Dalam penelitian Telaumbanua, dkk. (2014), kinerja aktuator dalam sistem kendali diukur berdasarkan kestabilan (*stability*), ketelitian/ akurasi (*accuracy*), dan kecepatan pengendalian aktuator (*speed of actuator control*).

2.6.1. Sensor Suhu DHT22

Sensor DHT22 adalah sensor digital yang mampu mengukur suhu dan kelembaban udara. Sensor ini tergolong mudah dalam pengaplikasiannya bersama arduino. Kemampuannya dalam tingkat stabilitas tergolong baik serta kemampuan kalibrasi yang akurat. Spesifikasi sensor DHT22 dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Sensor DHT22

(sumber : Anonim, 2018a)

Kemampuan	Spesifikasi
Tegangan Input	3,3-6 V
Pembacaan Kelembaban Udara	0-100 %
Pembacaan Suhu	-40 °C sampai 80 °C
Dimensi	27mm x 59mm x 13.5mm
Konsumsi Arus	1-1,5 mA
Berat	2.4 g

2.6.2. Sensor Kelengasan Tanah

Sensor kelengasan tanah yang digunakan berupa dua *probe* yang ditancapkan ke dalam tanah. Prinsip yang digunakan ialah prinsip konduktivitas. Kedua *probe* diberikan beda potensial listrik untuk menghasilkan hubungan konduktivitas dan resistansi.

2.6.3. Sensor Inframerah Tipe E18-D80NK

Sensor inframerah tipe E18-D80NK ini merupakan salah satu jenis sensor untuk mendeteksi keberadaan suatu objek. Sensor ini mampu mendeteksi suatu objek dengan jangkauan tertentu, apabila sensor mendeteksi keberadaan suatu objek maka output rangkaian sensor akan berlogika “1” atau “HIGH”. Begitu juga sebaliknya, ketika sensor tidak mendeteksi suatu objek maka output rangkaian sensor akan berlogika “0” atau “LOW”. Kemampuan mendeteksi sensor ini dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Spesifikasi sensor inframerah tipe E18-D80NK dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Sensor Inframerah Tipe E18-D80NK
(sumber : Anonim, 2018b)

Kemampuan	Spesifikasi
Jarak deteksi	3 cm – 80 cm
Sumber cahaya	Infrared
Dimensi	17mm (D) x 40mm (L)
Tegangan input	5V DC
Konsumsi arus	100mA
Supply current dc	<25mA
Material	Plastic
Respon time	<2ms

III. METODOLOGI

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Januari – Mei 2018. Penelitian ini dilaksanakan di *Greenhouse* dan di Laboratorium Komputer Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu perangkat computer, *green house*, solder, tang potong, tang jepit, gunting, bor PCB, gergaji, *breadboard*, multimeter, *glue gun*, thermometer, pompa air, bak air, dan kipas.

Bahan yang diperlukan dalam pembuatan alat kendali temperature dan pengendali hama otomatis yaitu tanah, bibit cabai merah, Arduino Mega 2560, kabel, sensor DHT22 (T=-40°C~+80°C; H=0-100%), sensor kelembapan tanah, sensor inframerah, *Liquid Crystal Display* (LCD), *Real Time Clock* (RTC), I²C DS1307, *SD Card Module*, *relay* modul, PCB, led indikator, resistor, kapasitor, saklar, aki/accu, selang, pipa, dan *nozzle*.

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.

3.3.1. Dasar Perancangan Kendali Suhu Lingkungan dan Kelengasan Tanah

Kondisi suhu lingkungan yang terlalu tinggi menyebabkan pompa selalu aktif pada siang hari, dan menyebabkan kondisi media tanah menjadi lebih basah, sehingga menaikkan kelengasan > 80 %. Kelengasan yang tinggi ini mampu mengganggu pertumbuhan tanaman cabai. Interval pemberian air sangat berpengaruh terhadap kelembaban tanah, baik untuk setiap jenis tanaman maupun fase pertumbuhannya (Kurnia *et al.* 2002). Pemberian air dengan interval 2-4 hari

memungkinkan tumbuh dengan baik, karena kelembaban tanah masih cukup tinggi antara 21,40%-23,10%.

Tabel 4. Penurunan Kelembaban tanah pada setiap interval pemberian air untuk fase pertumbuhan cabai

Fase pertumbuhan dan jenis tanaman	Interval pemberian air				
	Setiap hari	2 hari	3 hari	4 hari	5 hari
Fase inisiasi (0-10) hari	32,20 %	23,10 %	22,40 %	21,40 %	20,10 %
Fase vegetatif (11-45 hari)	32,20 %	23,10 %	21,40 %	19,50 %	18,60 %
Fase generatif	32,20 %	23,10 %	22,40 %	21,40 %	20 %

sumber : Kurnia *et al.* (2002)

Setiap fase memiliki perbedaan kelembaban tanah sehingga jumlah pemberian air setiap fase berbeda sesuai dengan kebutuhan tanaman. Semakin bertambah umur tanaman, tingkat kebutuhan tanaman pun bertambah untuk proses evapotranspirasi dan perkolasi. Hal ini menyebabkan kelembaban tanah pada fase generatif semakin renah, dikarenakan air dalam tanah digunakan untuk pembentukan buah/biji (Kurnia, 2004).

Menurut penelitian kurnia *et al* 2002, kelengasan tanah pada kisaran 23 %, pada budidaya cabai lahan kering mampu meningkatkan hasil 0,4 kali lebih besar atau 15,6 kg/12 m². Kelengasan 22 %, 21 %, dan 20% pada tanaman cabai, mampu menurunkan produksi menjadi 13 kg/ 12 m², 7 kg/12 m², dan 6 kg/12m².

Berdasarkan data tersebut, maka kelengasan tanah ideal adalah 23 persen. Akan tetapi, nilai seting point pada perancangan aktuator kelengasan adalah 33. Nilai ideal 23 % dinaikkan 10 % menjadi 33 %. Hasil ini diperoleh dari pertimbangan saat prapenelitian, agar saat sistem kendali tidak dapat bekerja karena gangguan, kelengasan tanah masih berada pada ambang kesesuaian tanaman cabai.

Pertimbangan terhadap sistem kendali tidak bekerja dapat diakibatkan oleh gangguan teknis seperti kerusakan sistem kendali dan padamnya aliran listrik.

Berdasarkan beberapa penelitian, suhu yang tinggi dalam waktu singkat tidak menyebabkan kerusakan pada tanaman, karena tanaman memiliki toleransi ketahanan terhadap suhu. Selain itu, Kunri (2010) berpendapat bahwa cabai merah dapat tumbuh dengan baik pada daerah dengan suhu rata-rata 32 °C. Hal ini telah dibuktikan oleh prapenelitian yang telah dilakukan, bahwa tanaman cabai tetap dapat bertumbuh dan berubah saat suhu mencapai 35-36 °C. Akan tetapi, kondisi suhu tinggi dalam waktu lama, mampu menyebabkan terganggunya secara signifikan pertumbuhan tanaman.

Untuk itu pada penelitian ini, nilai *setting point* suhu lingkungan ditetapkan pada suhu 35 °C dan padam pada suhu 34,5 °C. Nilai ini diambil untuk mencegah banyaknya uap air yang berada di dalam *greenhouse*. Dari hasil prapenelitian sebelumnya, suhu mampu turun setelah penyemprotan kisaran 32 °C. Nilai *setting point* pada kelengasan tanah ditetapkan pada nilai 33%. Penentuan *setting point* ini didukung dengan data yang didapat pada pra-penelitian.

3.3.2. Dasar Perancangan Pemupukan

Pemenuhan unsur hara tanaman merupakan hal yang harus dilakukan dalam melakukan budidaya tanaman. Pemenuhan kadar unsur hara tanaman cabai dilakukan dengan menggunakan pupuk NPK yang dilarutkan dalam air.

Pemenuhan unsur hara ini dilakukan sebagai pupuk susulan, dikarenakan pemupukan dasar sudah dilakukan pada awal penanaman. Menurut anonim (2017b), pemupukan dengan cara dikocor dilakukan dengan melarutkan 1 Kg

pupuk NPK Mutiara dengan 100 liter air. Takaran pada setiap tanaman sejumlah 250 ml per batang. Lalu pemberian pupuk dilakukan setiap 7-10 hari sekali. Timer pemupukan yang diaplikasikan pada alat yakni selama 9 hari sekali dengan jumlah tanaman sebanyak lima tanaman cabai.

3.3.3. Dasar Perancangan Perangkap Hama

Perangkap hama memiliki manfaat sebagai penanggulangan dari serangan hama terhadap tanaman. Perangkap hama yang dibuat berupa lampu perangkap hama yang dimodifikasi dengan tambahan kipas angin. Komponen utama dari lampu perangkap hama ini yaitu lampu, corong, kipas angin, sensor inframerah, dan wadah air.

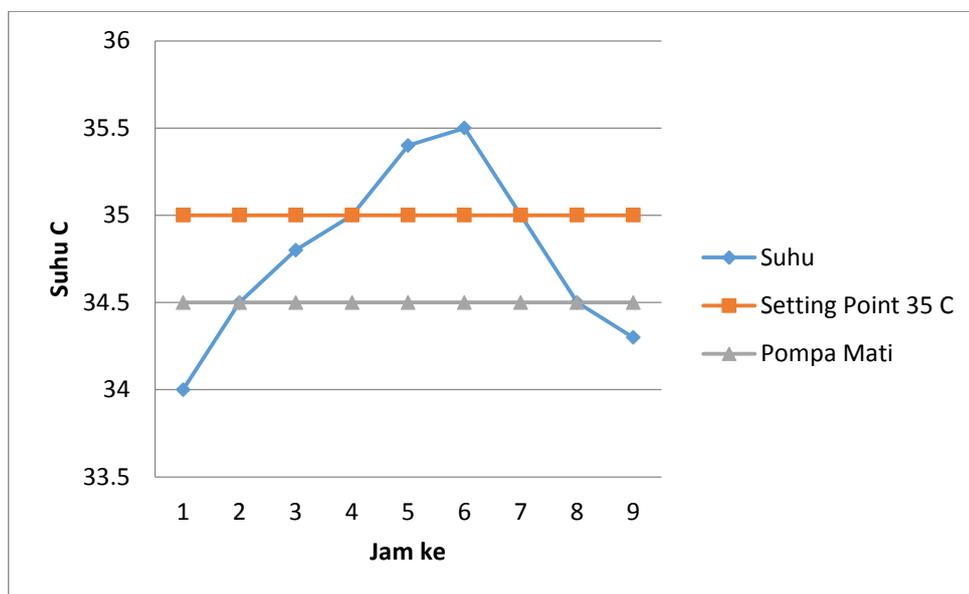
3.4. Kriteria Desain

Alat kendali otomatis ini dirancang untuk dapat bekerja secara kontinu mengendalikan suhu lingkungan dalam *greenhouse* pada rentang 32-35°C dan mengendalikan nilai kadar kelengasan tanah di atas 33%. Pemberian pupuk cair selama 63 detik menggunakan timer setiap sembilan hari sekali serta menerbangkan hama saat sensor inframerah hidup.

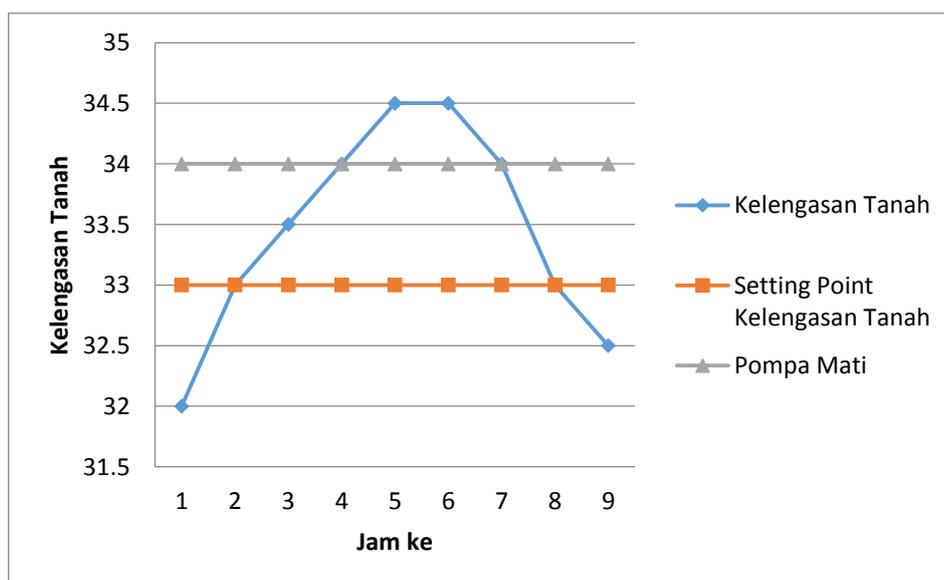
Saat suhu lingkungan dalam *greenhouse* melewati batas ketentuan, maka mikrokontroler mengaktifkan relay untuk menghidupkan pompa air pertama. Lalu pompa air pertama mengkabutkan air untuk menurunkan suhu lingkungan. Begitu juga sebaliknya, ketika nilai kadar lengas melewati batas ketentuan, maka mikrokontroler mengaktifkan relay untuk menghidupkan pompa air kedua. Kemudian pompa air kedua menyemprotkan air sebagai upaya meningkatkan

kadar lengas tanah. Pada alat perangkat hama, mikrokontroler mengaktifkan relay untuk menghidupkan kipas saat sensor inframerah mendeteksi keberadaan hama atau serangga.

Pengendalian aktuator suhu diharapkan mampu dikendalikan hingga keakurasian sebesar 90%. Begitu juga, pengendalian aktuator kelengasan tanah diharapkan mampu dikendalikan hingga keakurasian sebesar 90%.



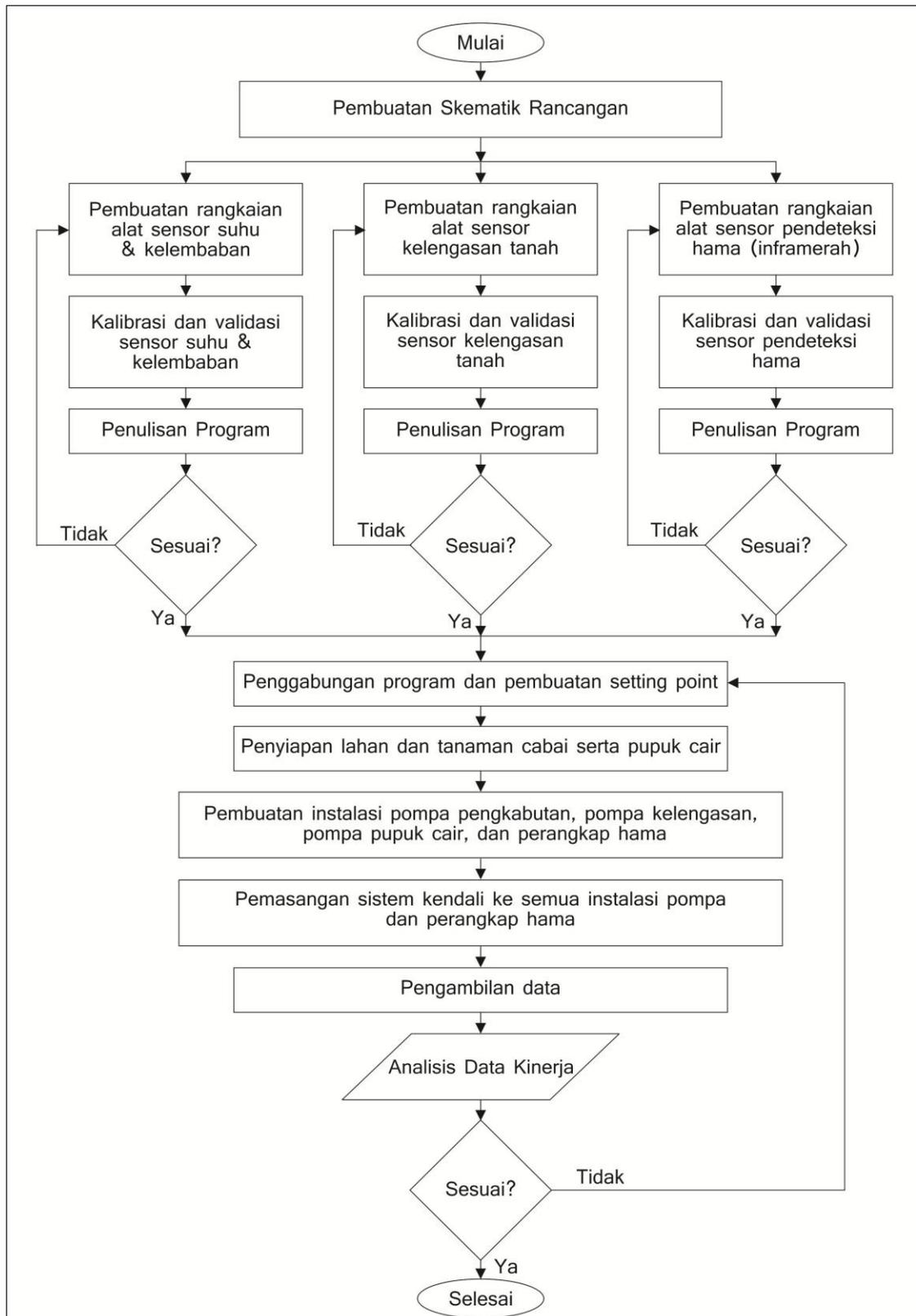
Gambar 4. *Setting point* sensor suhu DHT22 yang ditentukan.



Gambar 5. *Setting point* sensor kelengasan tanah yang Ditentukan.

3.5. Prosedur Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian yang mensinergikan rangkaian alat kendali kelengasan tanah, suhu lingkungan, pemupukan dan perangkat hama. Pembuatan alat ini dilakukan dalam beberapa tahap yakni, pembuatan skematik rancangan alat, pembuatan alat rangkaian, kalibrasi dan validasi, serta penulisan program, pemasangan instalasi alat, pemasangan sistem kendali, pengambilan data, dan analisis data. Berikut adalah diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir prosedur penelitian

3.6. Perancangan Alat

Perancangan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pembuatan skematik rangkaian, perakitan perangkat keras, pemrograman dan kalibrasi alat yang ditunjukkan pada gambar 7.

a. Skematik rangkaian

Arduino sebagai pusat kendali mengendalikan modul dan komponen yang ada.

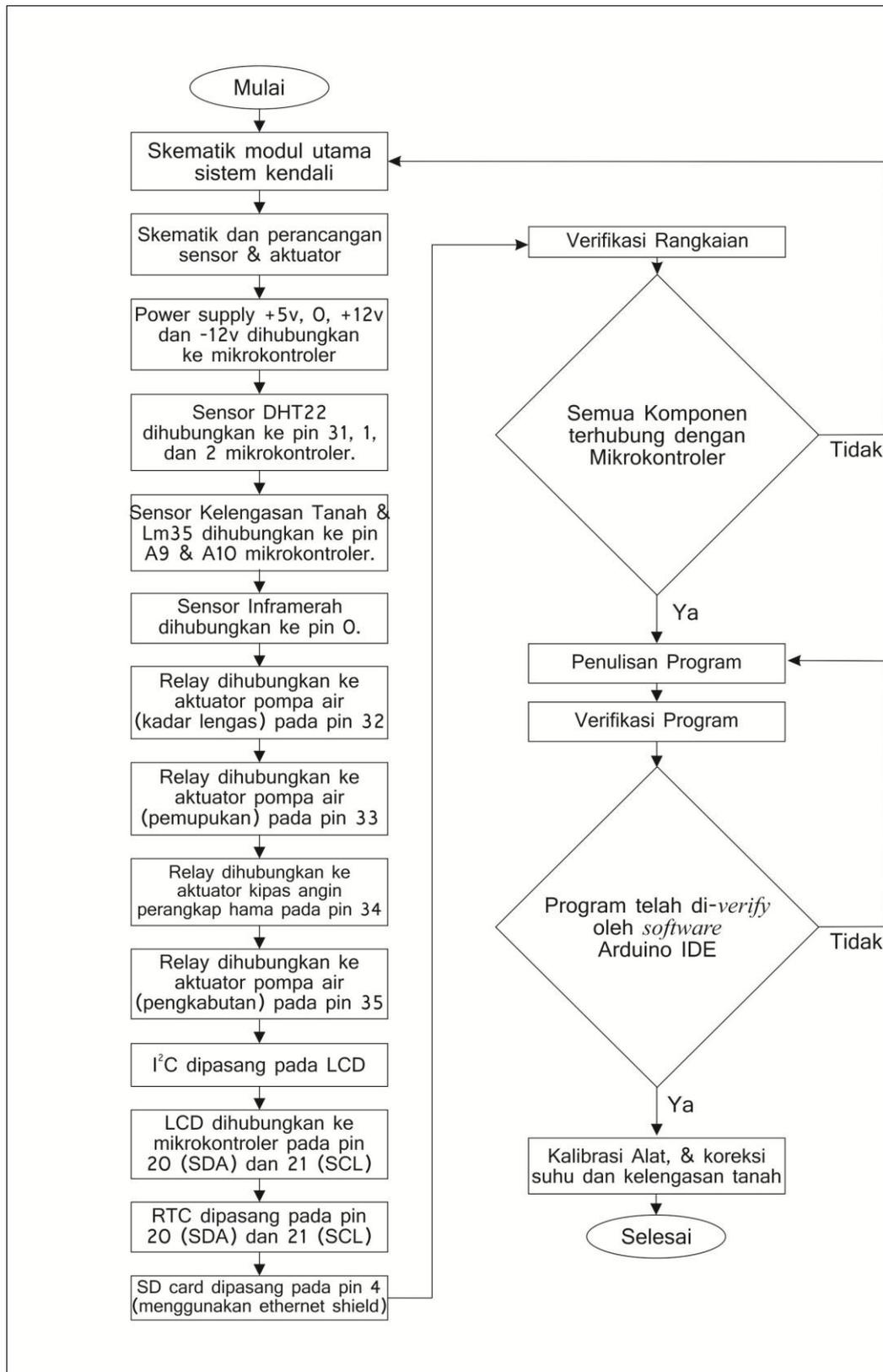
Pembuatan skematik rangkaian ditunjukkan pada gambar 8.

b. Perakitan Perangkat Keras

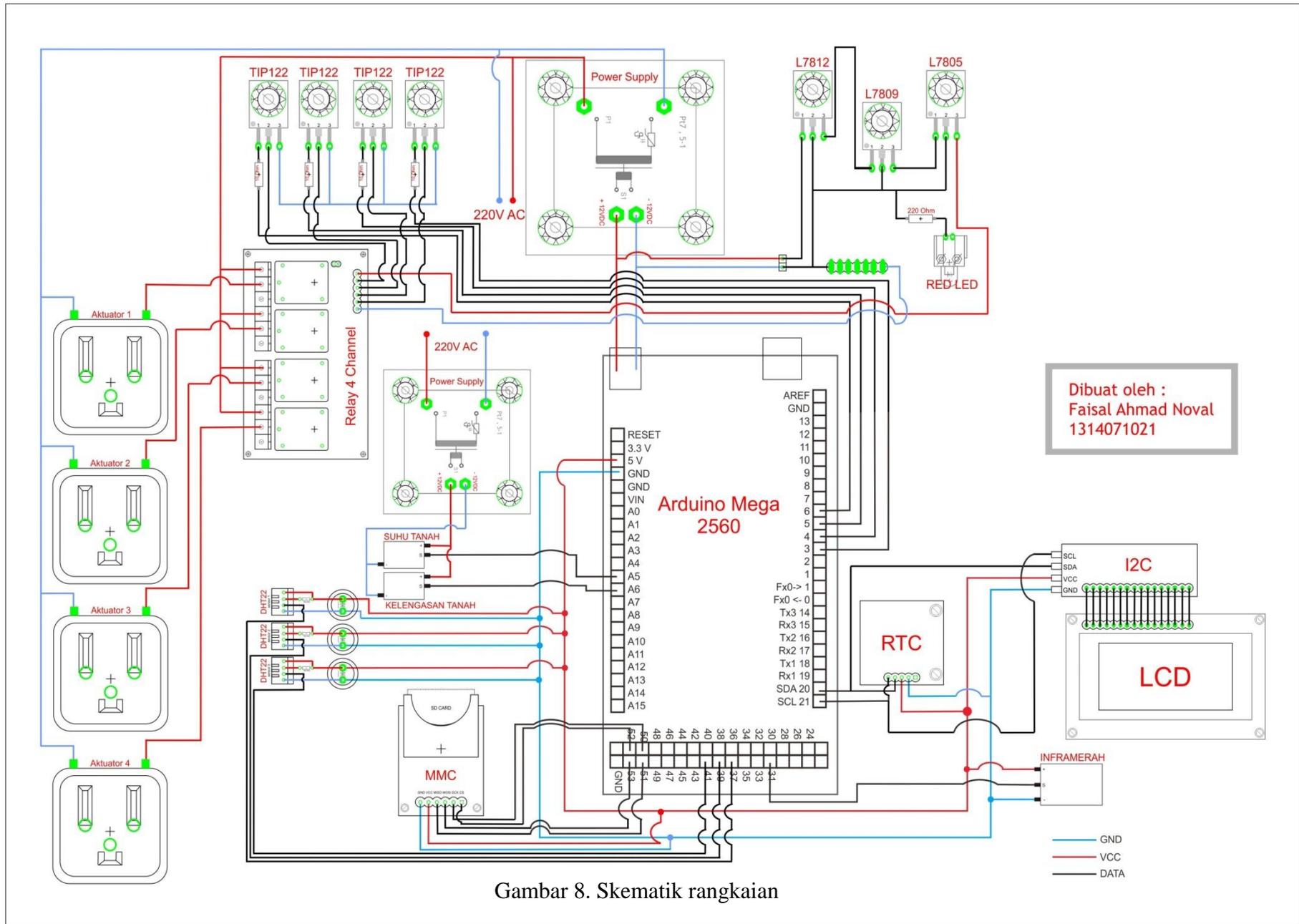
Proses awal yang dilakukan adalah pembuatan kotak dengan akrilik. Kemudian dilanjutkan dengan perakitan perangkat keras dengan cara mendefinisikan hasil skematik rangkaian yang kemudian dilakukan perangkaian komponen utama.

Komponen-komponen utama yang dirangaki ialah mikrokontroler, *Data Logger*, RTC, dan relay module. Sensor kelengasan tanah, Sensor DHT22, sensor inframerah 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, kipas angin, dan lampu pijar diletakkan di dalam *greenhouse*.



Gambar 7. Diagram alir perancangan alat



Gambar 8. Skematik rangkaian

c. 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.

c.1. Sensor kelengasan tanah

Pada penelitian ini dilakukan kalibrasi dengan menggunakan perbandingan antara variasi suhu tiap kadar lengas yang ditentukan dengan nilai keluaran pembacaan sensor dan termometer pada tiap variasi suhu dan kadar lengas yang ditentukan. Nilai yang ditampilkan oleh sensor dan hasil perhitungan kadar lengas tersebut dibandingkan untuk mendapatkan rumus yang diaplikasikan pada pemrograman. Data tersebut dilakukan uji 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 dan nilai ADC yang tepat sehingga alat mampu bekerja secara optimal.

Kalibrasi sensor kelengasan tanah dilakukan dengan merendam tanah (sampel) selama 1 hari. Kemudian tiriskan tanah tersebut hingga jumlah air berkurang dan tidak menggenang. Kadar air pada tanah diasumsikan adalah 100 %. Tahap selanjutnya adalah pemanasan tanah hingga perkiraan kadar air 60 %. Kemudian dilakukan pemasangan sensor kelengasan tanah, sensor suhu, dan termometer dengan memasukkannya ke dalam tanah.

Proses kalibrasi selanjutnya yakni, merangkai alat secara sederhana dengan menghubungkan sensor kelengasan tanah, sensor suhu, dan LCD ke mikrokontroler. Lakukan pengambilan data berupa nilai keluaran sensor kelengasan, sensor suhu dan termometer, serta nilai keluaran pembacaan kedua sensor pada penurunan suhu 40, 38, 36, 34, 32, dan 30°C yang terbaca oleh termometer. Proses berikutnya dilakukan penurunan kadar air tanah dengan pemanasan pada suhu tertentu hingga kadar air perkiraan $\pm 50\%$. Dilakukan pencatatan kembali nilai keluaran sensor kelengasan, sensor suhu, dan termometer, serta nilai keluaran pembacaan kedua sensor pada penurunan suhu 40, 38, 36, 34, 32, dan 30 °C yang terbaca oleh termometer. Dilakukan tahap tersebut secara berturut-turut dari asumsi kadar air tanah sebesar 40%, 35%, 30%, hingga 25%. Proses kalibrasi sensor kelengasan tanah bertujuan untuk menyamakan nilai keluaran sensor dengan keadaan *real* nilai kadar lengas pada tanah.

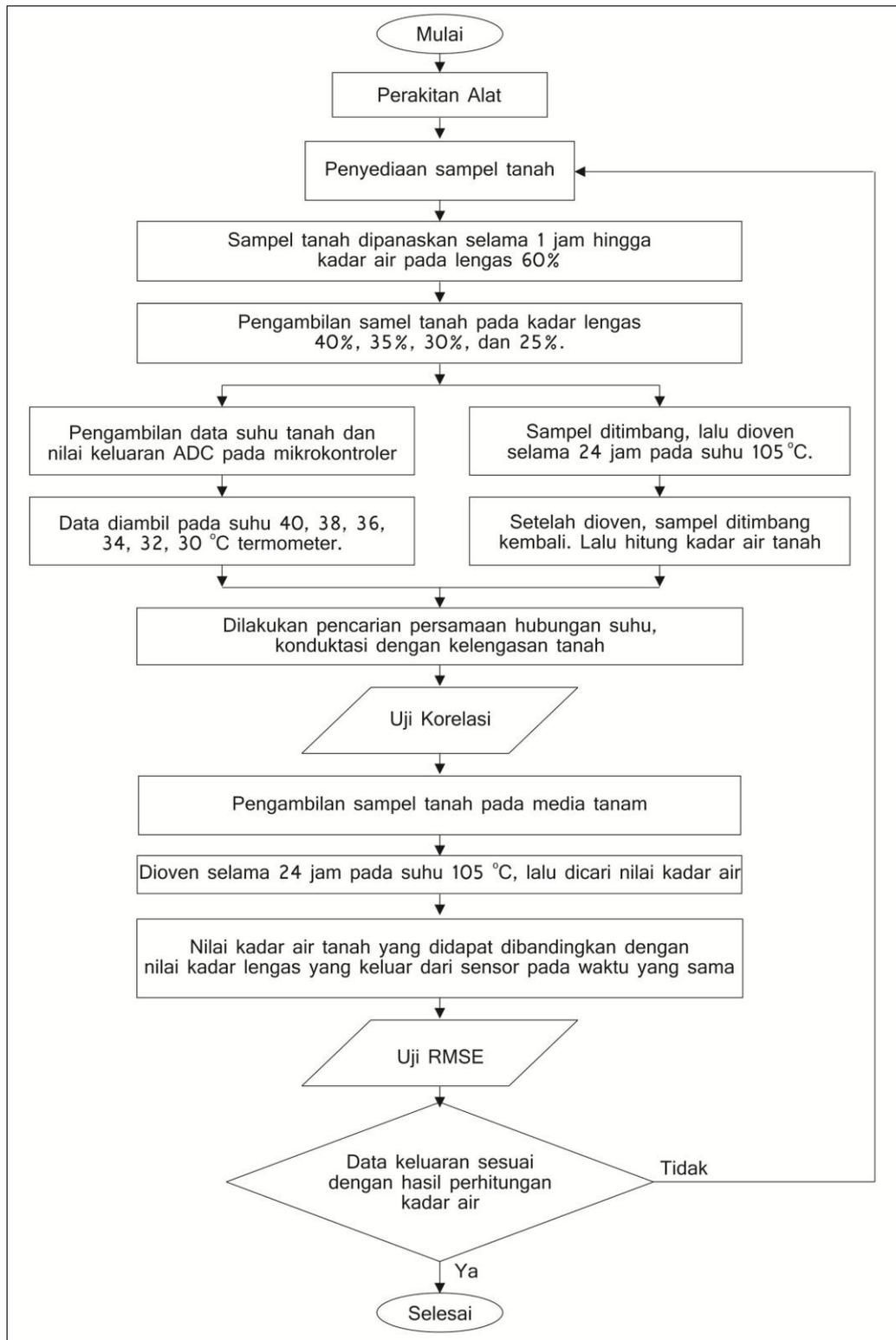
Setelah mendapatkan data kalibrasi sensor kelengasan tanah, data kadar air diolah menggunakan rumus kadar air basis kering. Penggunaan rumus kadar air basis kering didasari oleh proses pengambilan data yang dilakukan dengan menguapkan air pada tanah (pengeringan). Berikut rumus kadar air basis kering yang digunakan (3.1).

$$KAT = \frac{(Berat\ tanah\ awal + cawan) - (Berat\ tanah\ Kering + cawan)}{Berat\ tanah\ kering + cawan} \times 100\% \dots\dots(3.1)$$

Tahapan selanjutnya adalah validasi, validasi ini bertujuan untuk memastikan nilai yang keluar dari sensor sudah sesuai dengan nilai kadar lengas secara aktual.

Proses validasi sensor kelengasan dan suhu tanah dilakukan dengan menyamakan

nilai keluaran sensor dengan nilai kadar lengas secara real di lapangan pada waktu yang sama. Sampel tanah diambil pada media tanam di sekitar peletakkan sensor kadar lengas dan suhu tanah. Sampel tanah yang sudah diambil, selanjutnya dioven selama 24 jam pada suhu 105°C untuk mengetahui nilai kadar air tanah. Nilai kadar ari tanah yang didapatkan dibandingkan dengan nilai pembacaan yang dikeluarkan oleh sensor kelengasan tanah. Diagram alir kalibrasi dan validasi sensor kelengasan tanah dapat dilihat pada gambar 9. Dalam menentukan nilai persamaan yang diaplikasikan pada program Arduino, penelitian ini menggunakan bantuan aplikasi Microsoft Excel dengan *tool box data analysis*.



Gambar 9. Diagram alir kalibrasi dan validasi kelengasan tanah

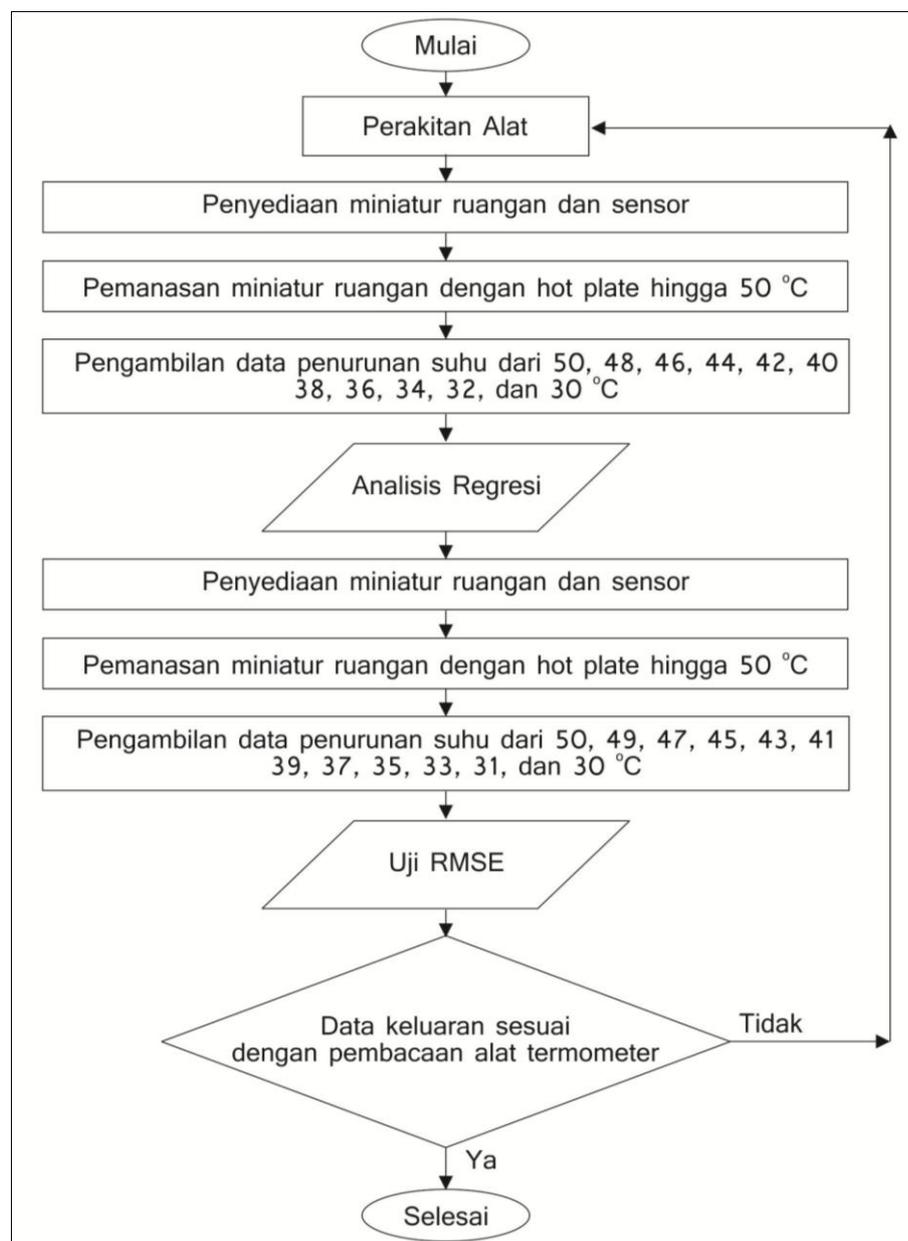
c.2. Sensor suhu (DHT22)

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. Letakkan minatur ruangan ini di atas *hot plate* dengan tujuan menaikkan suhu lingkungan. Pengambilan data yang dilakukan pada suhu

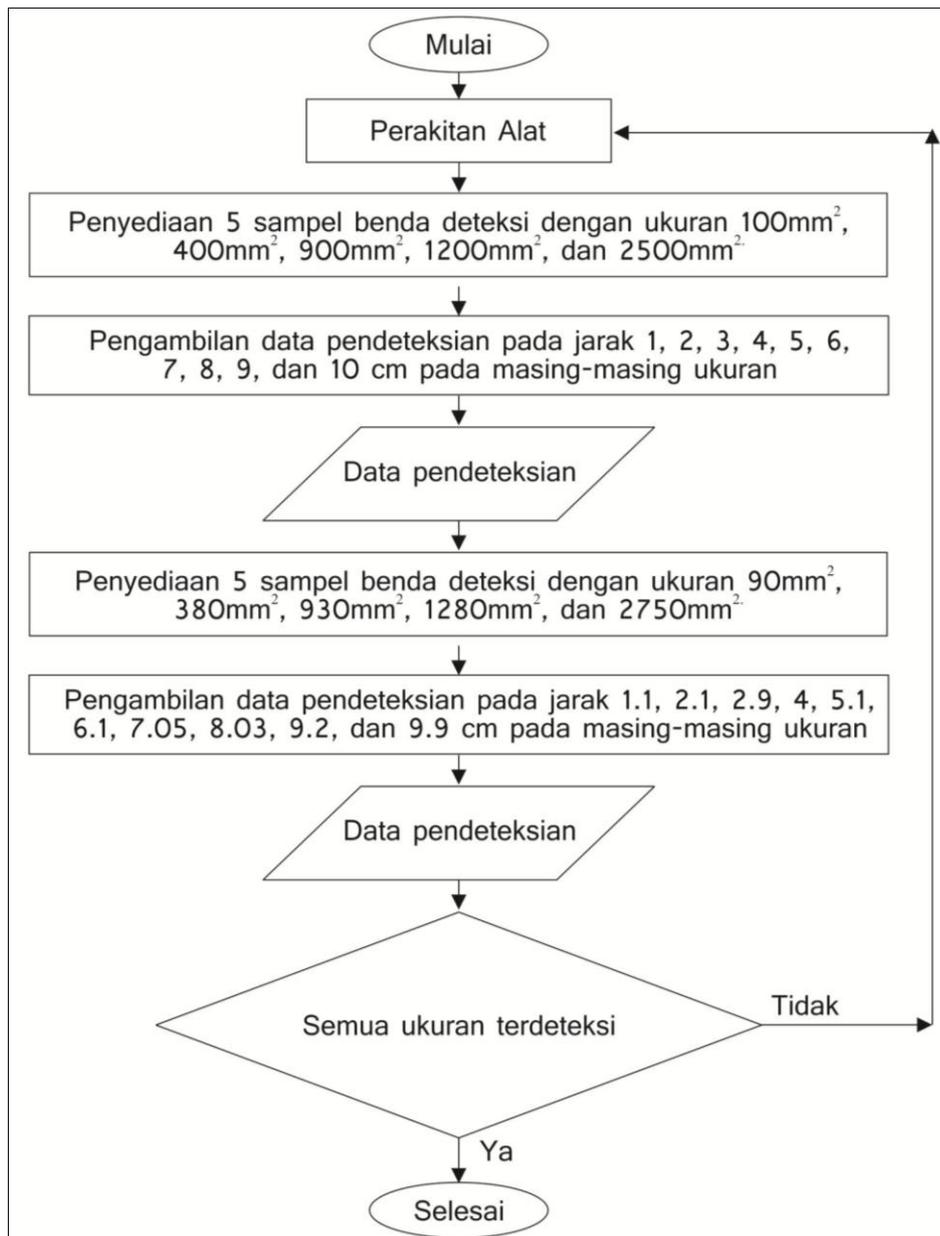
50, 49, 47, 45, 43, 41, dan 40 °C. Data yang diambil merupakan nilai keluaran dari sensor yang dihasilkan dari perhitungan persamaan proses kalibrasi. Diagram alir kalibrasi dan validasi sensor suhu lingkungan (Sensor DHT22) dapat dilihat gambar 10. Dalam menentukan nilai persamaan yang diaplikasikan pada program Arduino, penelitian ini menggunakan bantuan aplikasi Microsoft Excel dengan *tool box data analysis*.



Gambar 10. Diagram alir kalibrasi dan validasi suhu lingkungan

c.3. Sensor inframerah

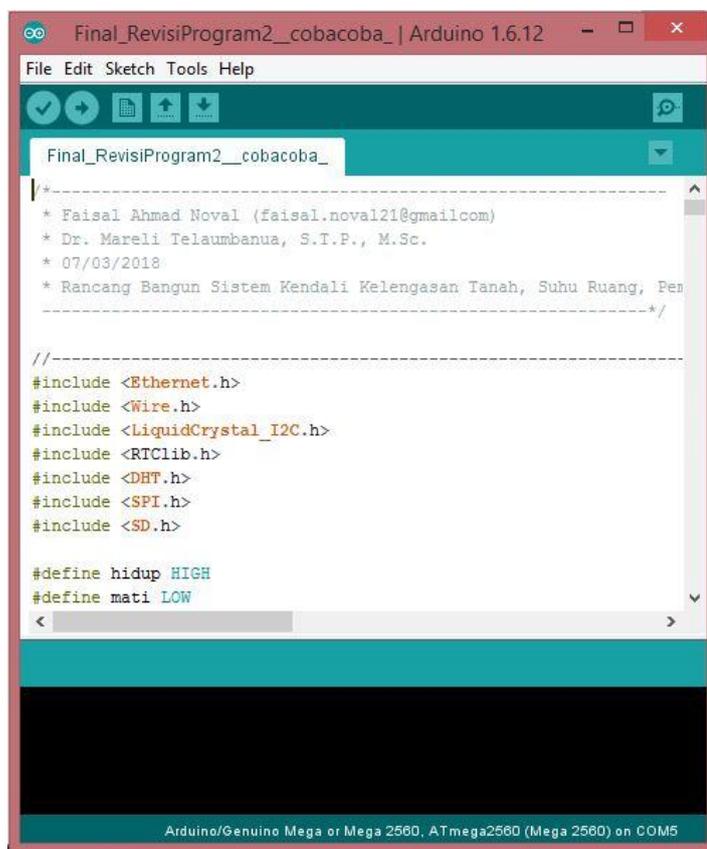
Kalibrasi dan validasi pada sensor inframerah dilakukan dengan uji coba pendeteksian menggunakan benda deteksi yang dipadukan dengan jarak. Diagram alir kalibrasi dan validasi sensor inframerah dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir kalibrasi dan validasi sensor inframerah

d. Pemrograman

Perangkat lunak yang digunakan dalam pemrograman mikrokontroler adalah *software* Arduino IDE (Gambar). 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 12. 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*.



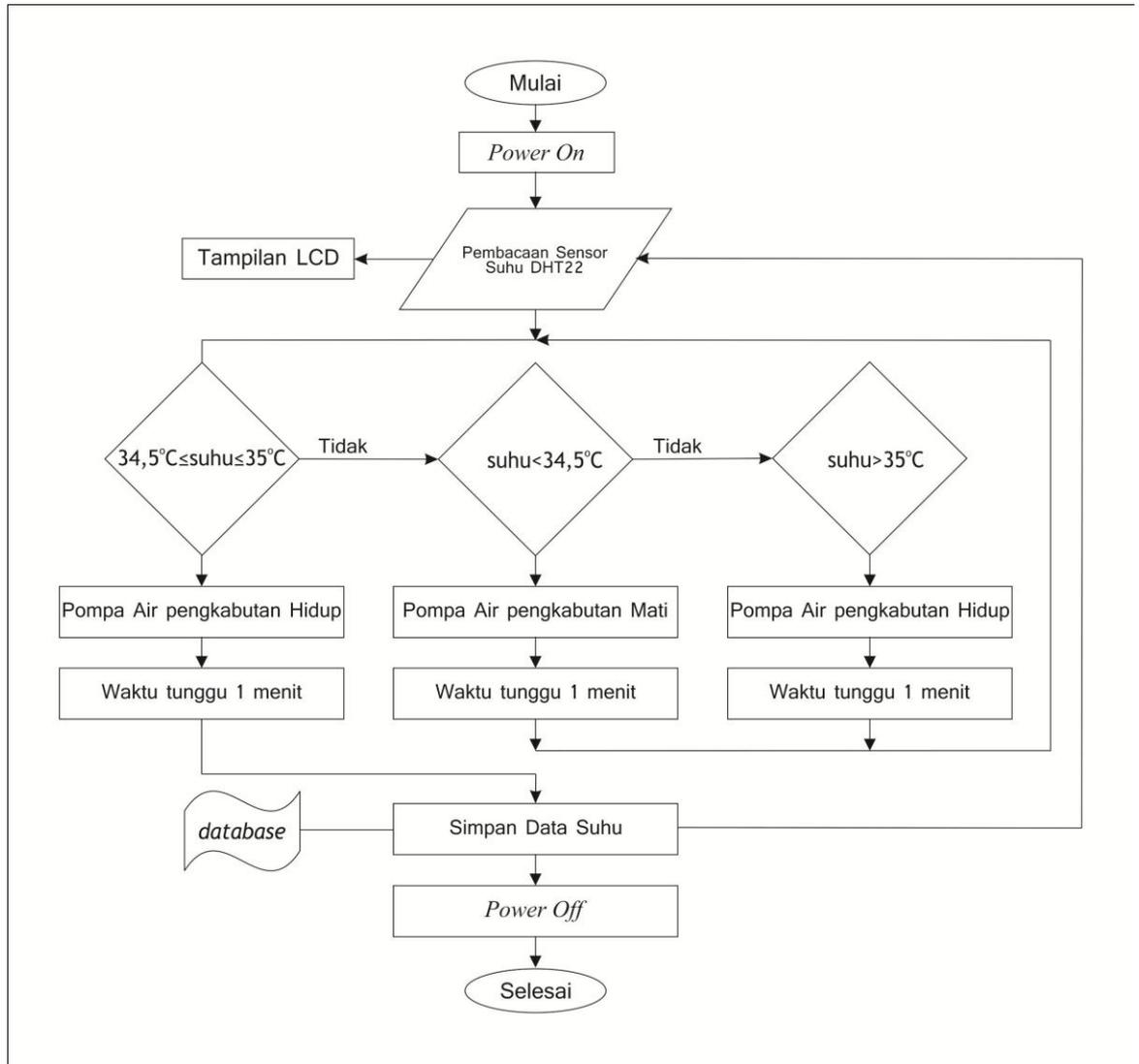
```
File Edit Sketch Tools Help
Final_RevisiProgram2_cobacoba_
/*-----*/
* Faisal Ahmad Noval (faisal.noval21@gmail.com)
* Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.
* 07/03/2018
* Rancang Bangun Sistem Kendali Kelengasan Tanah, Suhu Ruang, Pen
*-----*/

//-----
#include <Ethernet.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <RTClib.h>
#include <DHT.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

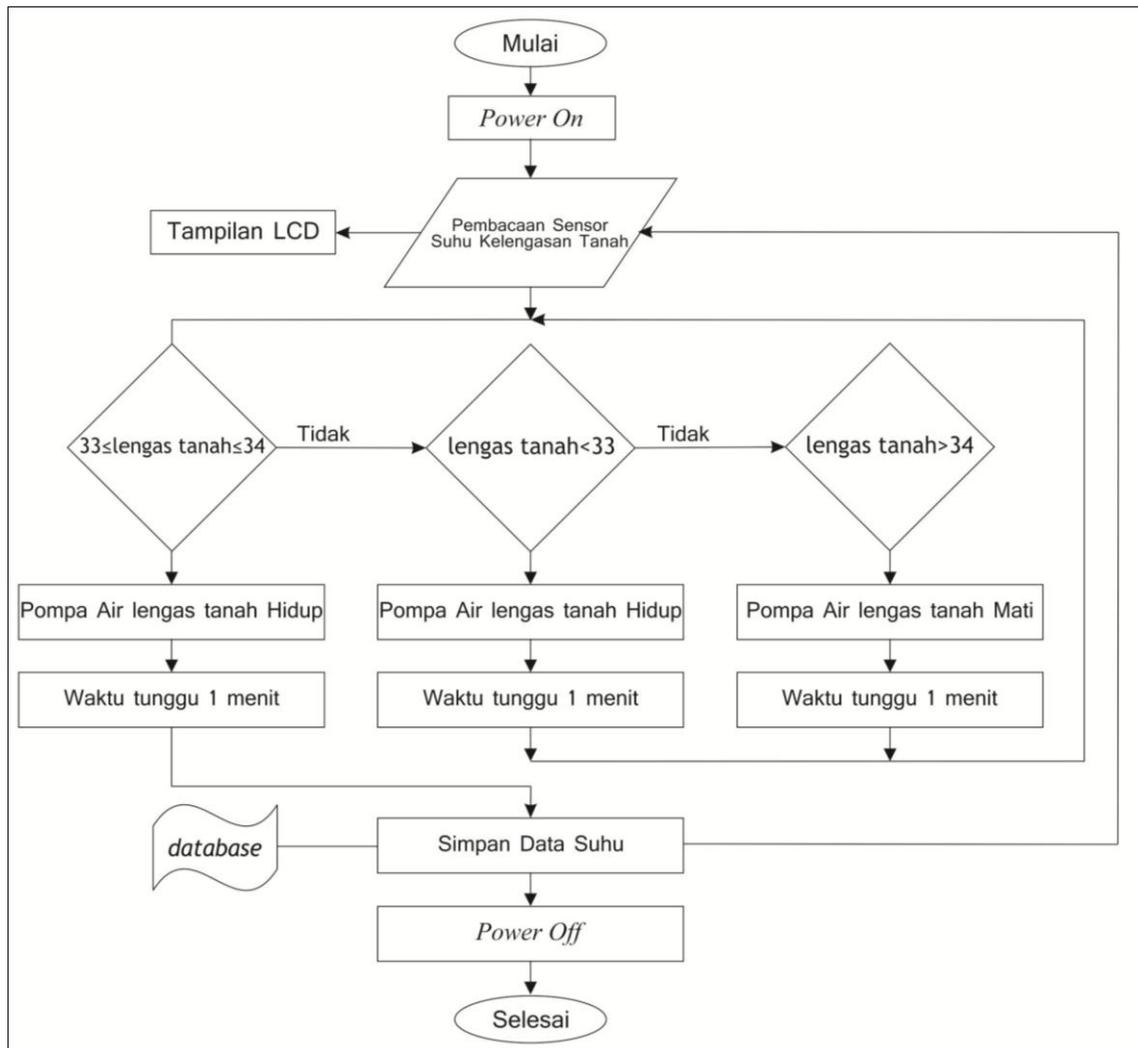
#define hidup HIGH
#define mati LOW

Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM5
```

Gambar 12. Penampilan program arduino menggunakan bahasa pemrograman C



Gambar 13. Diagram alir pemrograman pompa pengkabutan kendali suhu lingkungan *greenhouse*



Gambar 14. Diagram alir pemrograman pompa air kendali kelengasan tanah

3.6.1. Perancangan Struktural

Alat pengendali kelengasan tanah dan temperatur ini dirancang secara otomatis untuk mengendalikan kelengasan tanah dan temperatur pada rumah tanaman sesuai kriteria desain yang ditetapkan. 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.

a. Bagian Penginderaan

Bagian penginderaan ialah bagian pertama yang bersinggungan atau bersentuhan secara langsung dengan objek penelitian. Pada bagian penginderaan ini terdapat beberapa perangkat keras yakni sensor DHT22, sensor kelengasan tanah, dan sensor inframerah.

Tiga sensor DHT22 (DHT22a, DHT22b dan DHT22c) mengukur suhu dan kelembaban yang ada di dekat media tanam. Lalu sensor kelengasan tanah ditempatkan pada media tanam (tanah). Data yang didapatkan dari hasil pengukuran akan dikirimkan ke mikrokontroler. Nilai besaran temperatur dan kelembaban serta kelengasan tanah berupa sinyal digital. Untuk sensor inframerah diletakkan pada alat perangkap hama.

Sensor DHT22 diletakan pada media tanam sesuai titik koordinat yang telah ditentukan. Titik koordinat sensor diatur dengan titik pusat (0,0,0) yang terletak pada bagian ujung depan kanan bawah rumah tanaman (lihat gambar 16). Titik kordinat peletakan sensor DHT22 dapat dilihat pada tabel 4, sedangkan sensor kelengasan tanah dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Koordinat peletakan sensor DHT22 pada rumah tanaman.

Titik	Sensor	<i>x</i> (cm)	<i>y</i> (cm)	<i>z</i> (cm)
1	T1	30	10	50
2	T2	30	10	150
3	T3	30	10	100

Tabel 6. Koordinat peletakan sensor kelengasan tanah pada media tanam.

Titik	Sensor	x (cm)	y (cm)	Z (cm)
1	Kelengasan Tanah	30	50	100

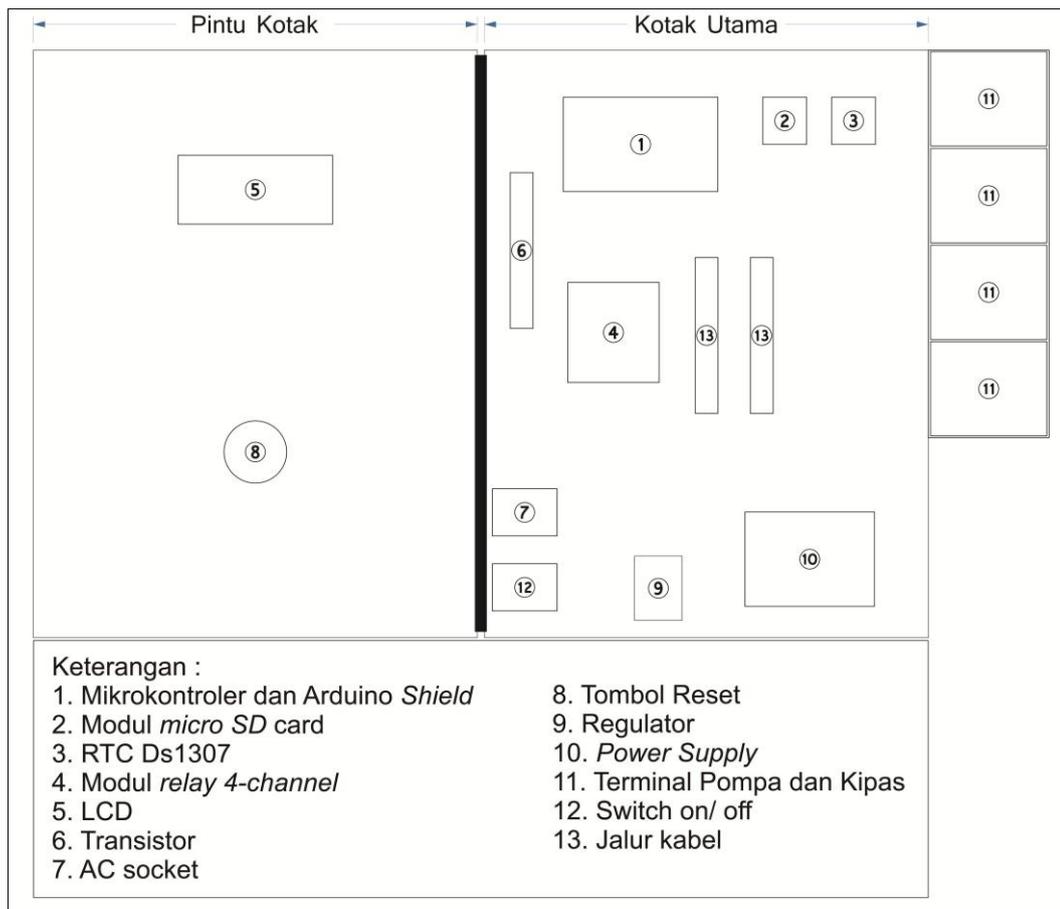
Sensor inframerah diletakkan pada alat perangkap hama di dekat lampu pemikat hama atau serangga. Sensor inframerah yang digunakan sebanyak 1 sensor.

Peletakan sensor inframerah dapat dilihat pada gambar 26.

b. Bagian Pengolah Data

Bagian pengolah data merupakan bagian yang mengolah hasil penginderaan yang dilakukan oleh sensor pada bagian penginderaan. Pada bagian ini terdapat beberapa komponen perangkat keras, yaitu mikrokontroler, *Real Time Clock (RTC)*, dan *SD card module*.

Perangkat keras pada bagian pengolah data dirangkai dan disusun pada *mainboard*. *Mainboard* memiliki tugas sebagai pengolah dan penyimpan data yang didapatkan dari proses pengumpulan data. Salah satu rangkaiannya ialah mikrokontroler yang berfungsi sebagai prosesor yang mengolah data yang dikirimkan oleh sensor. *Mainboard* disimpan dalam sebuah kotak yang terbuat dari akrilik guna menghindari kontak langsung dengan debu dan air. Tata letak penempatan kotak *mainboard* dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Skema peletakan komponen pengolah data

c. Bagian Aktuator dan Luaran

Bagian aktuator dan luaran merupakan bagian terakhir dari rangkaian alat kendali kelengkapan tanah dan suhu rumah tanaman. Bagian ini berfungsi memberikan respon atau tanggapan hasil pengolahan data dari *mainboard*. Bagian ini terdiri dari *relay module* dan *Liquid Crystal Display (LCD)*. Kedua komponen tersebut dirangkai menjadi satu dengan *mainboard*. *Relay Module* dihubungkan dengan dua pompa air, kipas angin, dan lampu dengan kabel. Tata letak aktuator berupa dua pompa air, kipas angin, dan lampu dapat dilihat pada gambar 16.



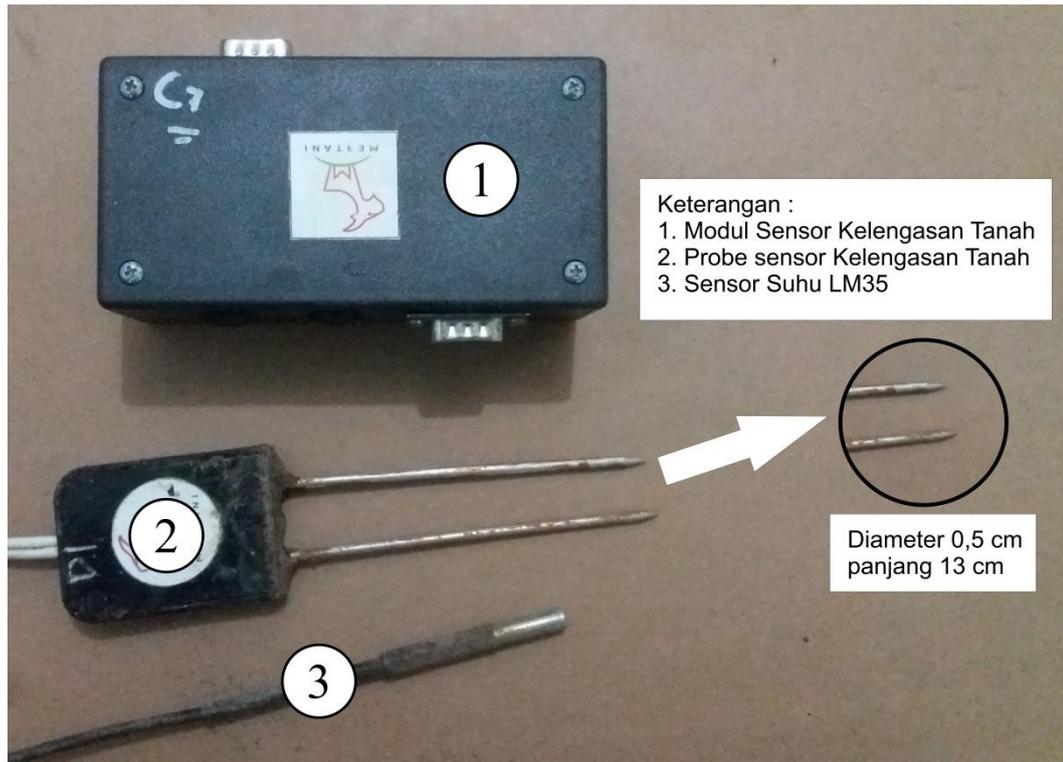
Gambar 16. Peletakkan alat-alat penelitian

3.6.2. Perancangan Fungsional

Penelitian ini dirancang sebuah sistem kendali berupa alat yang memiliki fungsi untuk mengendalikan suhu, kelembaban dan kelengasan tanah dalam media tanam dengan cara menyemprotkan air secara real time. Penangkapan hama secara *on or off* dan pemupukan yang dilakukan dengan *timer* (berkala). Alat ini memiliki beberapa komponen yaitu Sensor Kelengasan Tanah, Sensor DHT22, Sensor Inframerah, Mikrokontroler, Real Time Clock (RTC) dan SD card modul, Liquid Crystal Display (LCD), serta Relay modul.

a. Sensor Kelengasan Tanah

Sensor ini bekerja dengan cara mengukur konduksi tanah. Konduksi tanah diperkuat melalui OPAM 074 sebelum dikirim ke mikrokontroler. Sensor kelengasan tanah dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17. Modul sensor kelengasan tanah

Cara menggunakan *probe* ini dengan memasukkan sensor lengas dan suhu ke dalam tanah. Masukkan sensor lengas tanah dengan kedalaman 10 cm, sedangkan sensor suhu tanah sebesar 3 cm. Kemudian pasang konektor sensor pada modul dan konektor modul pada pin arduino, serta berikan tegangan pada daya melalui *power supply* (+12 volt dan -12 volt). Modul ini memiliki 6 kaki pin, dua diantaranya pin VCC, dua diantaranya pin GND, pin data lengas tanah, dan pin data suhu tanah. Pin VCC, GND, pin lengas tanah, dan pin suhu pada modul dihubungkan ke pin VCC dan GND Arduino, sedangkan pin pin lengas tanah pada pin A5 dan pin suhu pada pin A6.

b. Sensor DHT22

Sensor DHT22 berfungsi sebagai penangkap besaran suhu dan kelembaban yang akan diteruskan ke mikrokontroler. Besaran yang telah diukur oleh sensor DHT22

akan langsung diubah menjadi sinyal digital sebelum dikirim ke mikrokontroler.

Sensor DHT22 dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 18 . Sensor DHT22

Pada penelitian ini menggunakan sensor DHT22 sebanyak 3 buah, yang penempatannya pada lokasi berbeda (lihat pada gambar 24). Jumlah kaki pin yang dimiliki oleh 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. Pada pin data sensor dihubungkan berturut-turut pada pin *digital* 37, 39, dan 41.

c. Sensor Inframerah E18-D80NK

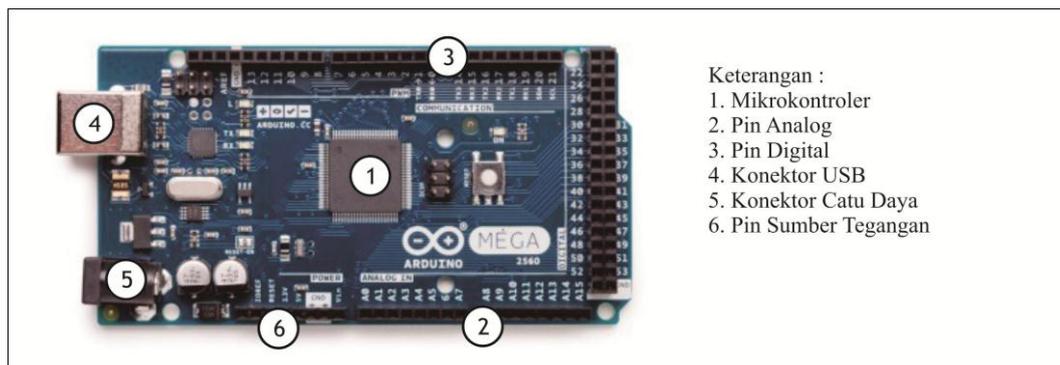
Sensor inframerah berfungsi sebagai pendeteksi kehadiran hama. Pengiriman sinyal ke mikrokontroler terjadi setelah adanya pantulan cahaya dan diterima oleh receiver. Jumlah kaki pin yang dimiliki oleh sensor ini sebanyak 3 pin berupa, VCC, GND, dan data. Kaki pin VCC dan GND sensor dihubungkan pada pin VCC dan GND Arduino. Pin data sensor dihubungkan pada pin *digital* 31 Arduino. Sensor inframerah E18-D80NK dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 19. Sensor Inframerah E18-D80NK

d. Mikrokontroler Arduino Mega 2560

Mikrokontroler berfungsi untuk menerima sinyal data yang dikirimkan oleh sensor. Selanjutnya mikrokontroler akan mengolah data tersebut. Data yang telah diolah akan diteruskan ke komponen selanjutnya untuk disimpan, ditampilkan dan dieksekusi oleh aktuator. Mikrokontroler ini dalam pengoperasiannya membutuhkan tegangan sebesar 5 volt dengan *input* tegangan 12 volt dari *power supply*. *Board* ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, jumlahnya mencapai 54 pin buah digital I/O (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog input, 4 pin UART (serial port *hardware*). Namun dalam merangkai alat kendali, pin yang terdapat pada produk ini tidak mencukupi dengan jumlah pin yang dibutuhkan. Penggunaan produk ini memerlukan komponen tambahan yakni Arduino sensor shield v4.0. Komponen tambahan ini berfungsi sebagai tambahan jumlah konektor pin arduino. Bentuk mikrokontroler dan bagian-bagiannya ditunjukkan pada gambar 20.



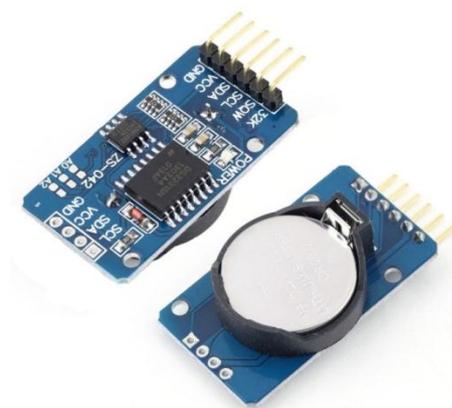
- Keterangan :
1. Mikrokontroler
 2. Pin Analog
 3. Pin Digital
 4. Konektor USB
 5. Konektor Catu Daya
 6. Pin Sumber Tegangan

Gambar 20. Mikrokontroler jenis Arduino Mega 2560

e. *Real Time Clock (RTC) DS1307 I²C*

Real Time Clock (RTC) berfungsi untuk memberikan informasi waktu dari setiap data yang telah diolah oleh mikrokontroler yang akan disimpan oleh *data logger*.

Data yang telah dicatat oleh data logger dapat disimpan pada SD Card dalam bentuk file *.txt



Gambar 21. *Real time clock.*

Komponen elektronika ini sudah berbasis I²C, sehingga jumlah kaki pin yang dihubungkan ke pin mikrokontroler Arduino hanya empat kaki pin. Keempat kaki tersebut yakni, VCC, GND, SDA, dan SCL. Kaki pin GND dan VCC pada RTC dihubungkan pada pin GND dan VCC Arduino, sedangkan kaki pin SDA dan SCL secara berurutan dihubungkan ke pin *digital* 20 dan 21.

f. *Liquid Crystal Display (LCD) 20x4 I²C*

Liquid Crystal Display (LCD) berfungsi untuk menampilkan informasi temperatur dan kelembaban yang telah diolah oleh mikrokontroler secara real time. Data yang ditampilkan akan diperbarui setiap 5 detik. Bentuk LCD dan I²C dapat dilihat pada gambar 22.

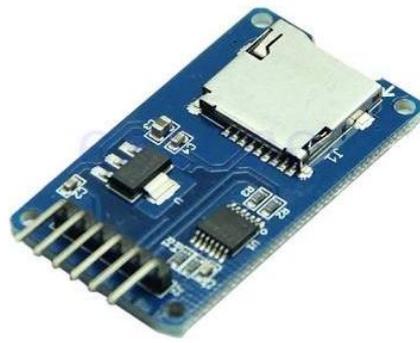


Gambar 22. *Liquid crystal display* dan modul I²C.

LCD memiliki jumlah pin sebanyak 16 yang harus dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino. Namun pada penelitian ini menggunakan modul I²C untuk mengurangi jumlah kaki pin yang dihubungkan pada mikrokontroler Arduino. Modul I²C ini berupa papan PCB berukuran kecil yang didalamnya mencakup seluruh kaki pin (16 pin) pada LCD, kemudian mengubahnya menjadi 4 kaki pin yakni, GND, VCC, SDA, dan SCL. Kaki pin GND dan VCC pada modul I²C dihubungkan pada pin GND dan VCC Arduino, sedangkan kaki pin SDA dan SCL secara berurutan dihubungkan ke pin *digital* 20 dan 21.

g. Modul *micro SD card*

Komponen ini berfungsi untuk menyimpan data setelah diolah oleh mikrokontroler. Data yang telah dicatat oleh data logger akan disimpan pada SD Card dalam bentuk file *.txt. Bentuk komponen ini dapat dilihat pada gambar 23.



Gambar 23. Modul *micro SD card*.

Modul SD card memiliki jumlah kaki pin sebanyak enam pin yang dihubungkan ke Arduino. Kaki pin tersebut yakni GND, VCC, CS, MOSI, MISO, dan SCK. Kaki pin VCC dan GND pada modul SD Card dihubungkan pada pin VCC dan GND mikrokontroler Arduino. Sedangkan kaki pin CS, MOSI, MISO, dan SCK dihubungkan secara berurutan pada pin *digital* Arduino 52, 53, 51, dan 50.

h. Modul relay 4-Channel

Modul relay berfungsi untuk menyambung atau memutus arus AC listrik bertegangan tinggi (220/110 volt). Proses pemutusan dan penyambungan arus listrik diatur oleh mikrokontroler. Modul Relay terhubung langsung dengan perangkat aktuator yaitu dua pompa air, kipas angin dan lampu pijar.



Gambar 24. Modul relay 4-channel.

Modul relay 4-channel yang digunakan dan dihubungkan dengan Arduino memiliki jumlah pin sebanyak 6 pin. Pada kaki pin GND dan VCC dihubungkan

ke regulator, sedangkan yang lainnya dihubungkan pada pin *input* digital. Ke-empat pin lainnya bersimbolkan secara berturut-turut yakni IN1, IN2, IN3, dan IN4. Ke-empat pin tersebut dihubungkan secara berurutan ke pin *digital* 3, 4, 5, dan 6.

h.1. Pompa Air

Pompa air yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah tiga buah pompa. Berdasarkan fungsinya yaitu pompa air penurun suhu *greenhouse*, pompa air pemenuhan kondisi kelengasan tanah dan pompa air pemupukan. Pompa air penurun suhu lingkungan berfungsi memenuhi kondisi suhu lingkungan dalam *greenhouse* berkisar 32-35°C (akurasi $\pm 1^\circ\text{C}$), pompa air pemenuhan kondisi kelengasan tanah berkisar 31-33 pada pembacaan ADC, dan pompa air untuk pemupukan dilakukan menggunakan pupuk cair secara berkala.

h.2. Kipas Angin

Kipas angin yang digunakan dalam penelitian ini untuk menerbangkan hama pada alat perangkap hama. Setelah mikrokontroler menerima sinyal dari sensor inframerah, maka mikrokontroler akan mengirimkan perintah pada kipas angin untuk hidup dan menerbangkan hama atau serangga ke wadah penampungan.

3.7. Mekanisme Kerja

Sistem kendali kelengasan tanah, pemupukan dan perangkap hama ini didesain untuk bekerja secara terus-menerus dan berkelanjutan. Tahap awal disiapkan empat bak yang digunakan untuk wadah air pompa kabut, wadah air pompa pemupukan, wadah air pompa kelengasan tanah dan wadah air untuk perangkap hama. Pada pengendalian suhu lingkungan, sensor DHT22 diletakkan di tiga

lokasi yang berbeda. Ketiga lokasi tersebut diletakkan di dalam *greenhouse* pada bagian depan, tengah, dan belakang. Untuk pengendalian kelengasan tanah dilakukan pemasangan probe sensor kelengasan dan sensor suhu LM35 ke dalam tanah di dekat tanaman cabai. Perangkat hama menggunakan sensor inframerah yang diletakkan di dekat lampu pematik serangga atau hama. Hasil pembacaan sensor-sensor tersebut menjadi acuan mikrokontroler untuk memberikan aksi ke *relay* yang terhubung ke masing-masing pompa dan kipas angin. Ketika nilai suhu lingkungan $>35^{\circ}\text{C}$, maka pompa air pengkabutan akan hidup. Lalu pompa air mati ketika suhu lingkungan berada pada $\leq 32^{\circ}\text{C}$. Ketika nilai kadar lengas >33 , maka pompa air lengas tanah akan hidup. Lalu pompa air mati pada nilai kadar lengas ≤ 31 . Pompa air pemupukan hidup setiap 9 hari sekali selama 63 detik. Sedangkan kipas angin hidup selama 5 detik saat sensor inframerah mendeteksi keberadaan serangga atau hama. Setelah beberapa perintah telah dilaksanakan, maka mikrokontroler mengulang proses dari awal hingga alat dimatikan.

3.8. Uji Kinerja Alat

Alat akan diuji pada *green house* dengan ukuran 6 m x 3 m x 4 m dan tempat peletakan media tanam (tanah) yang telah dibuat dengan dimensi 200 cm x 60 cm x 50 cm. Pengujian dilakukan berupa analisis kinerja dari aktuator pada sistem kendali. Analisisnya berupa nilai keakurasian, rerata waktu pengendalian, stabilitas, respon sistem, dan pemberian aksi.

3.8.1. Keakurasian/ Keakuratan

Keakurasian/ keakuratan menunjukkan ketepatan kinerja alat ketika melewati *setting point* yang ditentukan. Untuk menentukan nilai keakurasian, sebelumnya

harus diketahui terlebih dahulu nilai ketidakakurasian alat. Cara perhitungannya menggunakan persamaan (3.2) (Telaumbanua, 2015).

$$\text{Keakurasian} = \left(1 - \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^n |SP - NA_1|}{n} \right)}{SP} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan :

SP = Nilai *setting point*

NA₁ = Nilai Aktual ke-i

N = jumlah data

3.8.2. Waktu Pengendalian

Rerata waktu pengendalian menunjukkan kecepatan kinerja alat dalam mengendalikan suatu nilai untuk mencapai *setting point*. Cara perhitungannya dengan menggunakan persamaan (3.3) (Telaumbanua, 2015).

$$RWP = \frac{\sum_{i=1}^n (A_{on\ i})}{n} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterenagan :

RWP = Rerata waktu pengendalian (menit)

A_{on i} = Aktuatot Hidup ke-i (menit)

N = Jumlah data

3.8.3. Stabilitas

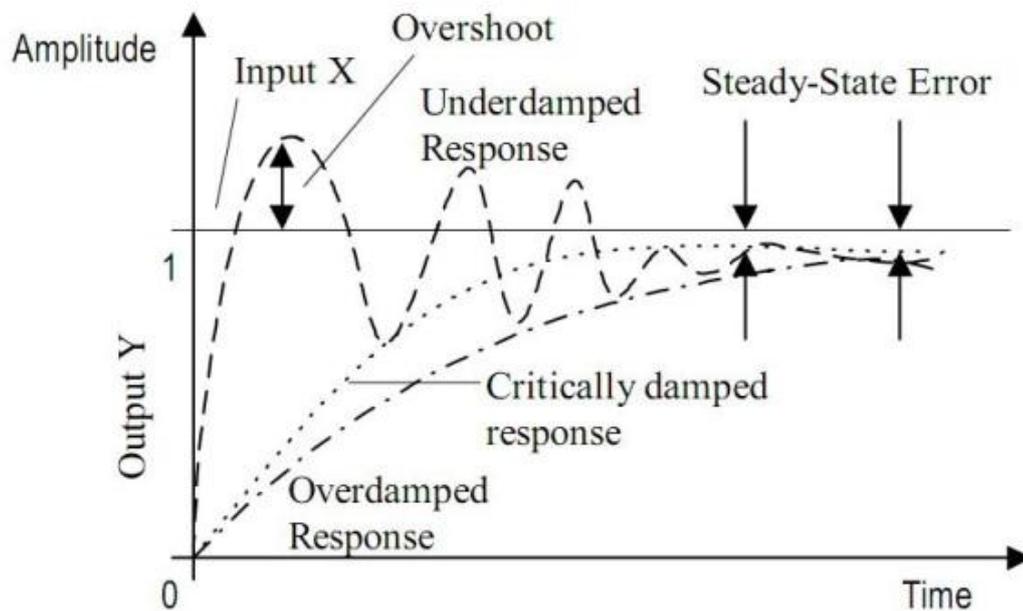
Stabilitas menunjukkan kemampuan alat kendali dalam menghasilkan kinerja yang tetap atau tidak (Prasetyo, 2017). Ketidakstabilan pada sistem kendali berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman cabai. Jika keadaan kelengasan tanah

dan iklim mikro yang dikendalikan menyimpang jauh dari batas yang ditentukan, maka keadaan ini akan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman cabai.

3.8.4. Respon Sistem

Respon sistem memperlihatkan kecepatan kinerja atau tanggapan alat kendali terhadap ada atau tidaknya gangguan dan waktu. Respon sistem berbentuk kurva ini menjadi dasar dalam menganalisa karakteristik sistem selain penggunaan persamaan matematika. Respon sistem dibagi menjadi dua domain yakni domain waktu (*time response*) dan domain frekuensi (*frequency response*).

Dalam klasifikasinya domain waktu (*time response*) merupakan karakteristik respon yang spesifikasi performansinya didasarkan pada pengamatan bentuk respon output terhadap perubahan waktu. Secara umum spesifikasi performansi respon waktu dibagi menjadi dua tahapan yakni spesifikasi respon *transient* dan spesifikasi respon *steady state*. Respon *transient* digunakan untuk mengukur waktu saat sistem dimulai hingga terjadi perubahan atau gangguan yang masuk dalam keadaan *steady state*. Respon *steady state* digunakan untuk mengukur waktu saat sistem atau respon dalam keadaan stabil sampai waktu yang tak terbatas.



(Sumber : Anonim, 2012)

Gambar 25. Sinyal respon transien dan steady state

3.8.5. Pemberian Aksi

Pemberian aksi ditunjukkan dengan banyaknya jumlah air yang dikeluarkan dan udara yang dihembuskan ketika aktuator dihidupkan. Jumlah air yang dikeluarkan berdasarkan besar atau kecilnya perubahan nilai sensor yang terjadi. Air yang diberikan terdapat tiga fungsi yakni, sebagai penurun suhu lingkungan, pemenuhan kadar lengas tanah dan pemupukan. Sedangkan aktuator kipas menghembuskan udara untuk menerbangkan serangga atau hama.

Untuk menghitung jumlah rata-rata air yang keluar tiap menit digunakan rumus :

$$EU = 100 \left(1,0 - \frac{1,27}{\sqrt{Ne}} cv \right) \frac{Q_{min}}{Q_{mean}} \dots\dots\dots (3.3)$$

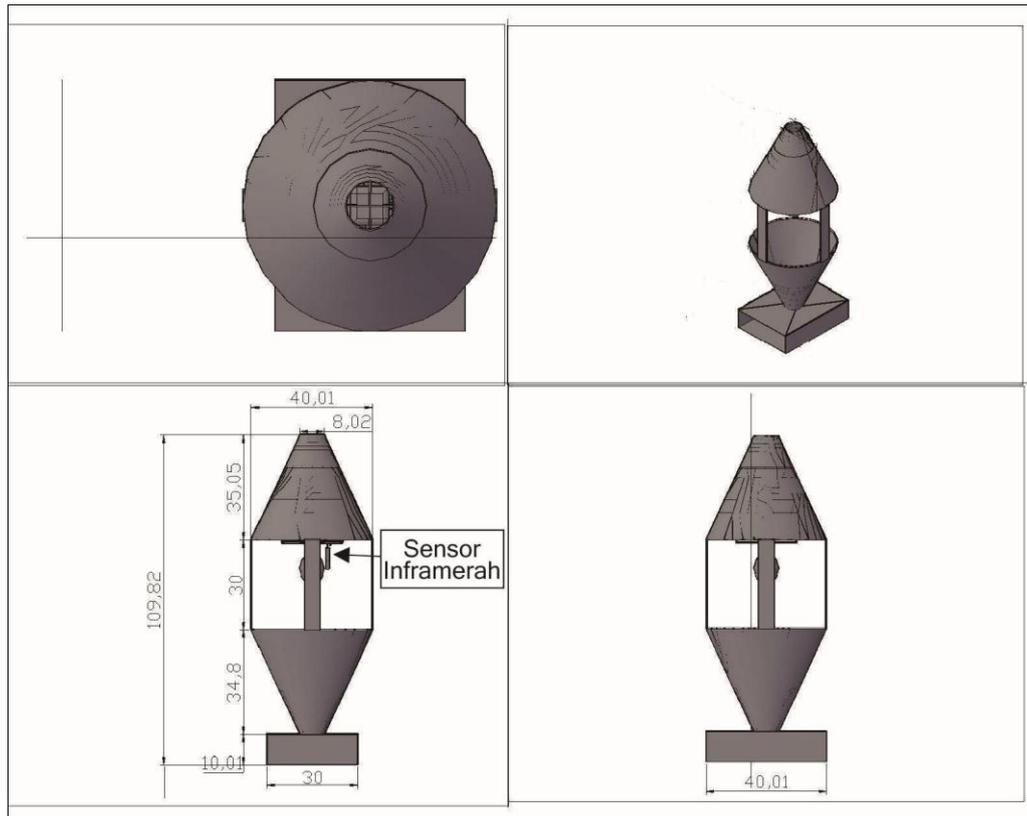
Keterangan :

EU = Kecerlangan Pancar

- N_e = Jumlah lubang
- C_v = Koefisien variasi (gunakan 90%)
- Q_{min} = Nilai terkecil air keluar per menit
- Q_{mean} = Jumlah rata-rata air keluar per menit

3.8.6. Perangkap Hama

Perangkap hama yang dikendalikan menggunakan sistem kendali bekerja saat hama atau serangga terdeteksi oleh sensor inframerah. Sensor inframerah yang mendeteksi keberadaan hama atau serangga mengirimkan sinyal ke mikrokontroler. Mikrokontroler mengolah dan mengirimkan perintah untuk menghidupkan kipas. Kipas tersebut mampu menerbangkan hama atau serangga menuju genangan air yang diletakkan di dalam perangkap. Desain perangkap hama dapat dilihat pada gambar 26. Pengambilan data perangkap hama dilakukan dengan menghitung jumlah hama atau serangga yang tertangkap. Jumlah hama atau serangga yang tertangkap diklasifikasikan berdasarkan ukuran (panjang).



Gambar 26. Perangkap hama

3.8.7. Timer Pemupukan

Pemupukan yang diberikan pada tanaman cabai berupa pupuk NPK yang dilarutkan dalam air. Pupuk yang sudah dilarutkan tersebut akan disemprotkan ke tanaman menggunakan pompa air. Penyemprotan pupuk cair dilakukan berdasarkan waktu yang telah ditentukan dengan pemrograman timer pada Arduino IDE. Jumlah pupuk yang digunakan sebanyak 12.5 gram yang dilarutkan pada 1250 ml air dengan jumlah tanaman sebanyak 5 buah. Pupuk disemprotkan selama 63 detik berdasarkan spesifikasi jumlah air yang mampu dikeluarkan pompa air sebanyak 1,2 liter per menitnya.

3.8.8. Parameter Pertumbuhan Cabai Merah Keriting

Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah tinggi tanaman, jumlah daun, dan keliling kanopi tanaman. Tanaman cabai yang diamati berjumlah 12 tanaman, dengan rincian 6 tanaman yang dikendalikan oleh alat dan 6 tanaman tidak dikendalikan oleh alat. Pengamatan dilakukan selama 31 hari dengan pengamatan tiap 4 hari sekali.

3.9. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan mengukur suhu lingkungan, suhu tanah, kelengasan tanah, dan perangkat hama berdasarkan keakuratan sensor, kecepatan respon, stabilitas dan *respon system* (tanggapan sistem). Data hasil pengukuran yang didapat akan disimpan dalam *SD Card* berformat **txt*, dengan interval penyimpanan data selama 1 jam atau 60 menit. Perekaman data saat uji kinerja dilakukan selama 720 jam atau 30 hari. Data yang telah disimpan akan dianalisis menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

3.9.1. *Root Mean Square Error (RMSE)*

Root Mean Square Error (RMSE) adalah sebuah metode untuk mengetahui besarnya nilai kesalahan pendugaan dari model yang dikembangkan. RMSE merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan dari hasil model pendugaan. Selain RMSE, terdapat metode lain yang digunakan dalam pengujian untuk mengetahui besarnya kesalahan pendugaan, metode tersebut adalah *Mean Absolute Error (MAE)*. Nilai yang dihasilkan dari persamaan MAE kurang sensitif

terhadap nilai kesalahan yang besar dibandingkan metode RSME. Hal ini sejalan dengan pendapat Qodari (2015), RMSE merupakan pilihan terbaik untuk mengetahui besar nilai kesalahan pendugaan 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 dari semua variabel bebas yang di-*input* pada rumus perhitungan. Rumus perhitungan nilai RMSE dapat dilihat pada persamaan (3.4) (Saputra, 2016).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan :

n = jumlah data

O_i = nilai observasi ke - i

P_i = nilai prediksi ke -i

3.9.2. Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi (R^2) diterapkan untuk mengukur tingkat besar kecil kemampuan variabel bebas dalam menerangkan variabel terikat. Angka 1 merupakan nilai koefisien determinasi terbesar, sedangkan nilai koefisien terkecil adalah 0. Nilai koefisien determinasi (R^2) ini menunjukkan seberapa besar variasi dari variable terikat (Y) dapat diterangkan oleh variable bebas (X). Apabila nilai $R^2 = 1$ atau $R^2 \approx 1$, maka hasil prediksi model dikatakan baik. Sedangkan untuk nilai regresi yang tidak dapat digunakan dalam pembuatan perkiraan variabel bebas (x) adalah nilai $R^2 = 0$ atau $R^2 \approx 0$.

3.9.3. Koefisien Korelasi (KK)

Koefisien korelasi merupakan bilangan yang digunakan untuk mengukur keeratan hubungan antara dua variabel. Nilai koefisien korelasi ini berkisar antara -1 s.d. +1 ($-1 \leq KK \leq +1$). Koefisien korelasi menampilkan kekuatan dari hubungan linear dan arah hubungan dua variabel acak. Jika koefisien korelasi bernilai positif, maka kedua variabel tersebut berkorelasi positif dan mempunyai hubungan searah. Dengan begitu, jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan tinggi pula. Ketika koefisien korelasi bernilai negatif, maka kedua variabel tersebut berkorelasi negatif dan mempunyai hubungan terbalik. Dengan begitu, jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan menjadi rendah (dan sebaliknya). Interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara dua variabel dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 7. Interpretasi koefisien korelasi

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

(sumber : Sugiyono, 2007)

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Sistem kendali kelengasan dan suhu tanah, pemupukan dan perangkat hama berbasis mikrokontroler Arudino ATmega 2560 telah dirancang berdasarkan *setting point* dan sensitifitas yang diberikan sesuai kinerja pada masing-masing sensor. Simpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah

1. Hasil dari proses kalibrasi dan validasi sensor sebagai berikut :
 - a. Kalibrasi sensor kelengasan dan suhu tanah mendapatkan sebuah persamaan untuk mencari nilai kelengasan dan suhu tanah aktual, persamaan tersebut yaitu $T4 = (\text{nilai suhu tanah sensor} - 13.23)/1.3389$ dan $ADC = (\text{nilai kelengasan tanah sensor} * 0.0289982501416989) + (T4 * 0.0714773371302777) + 22.19934$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9911.
 - b. Kalibrasi sensor suhu lingkungan mendapatkan sebuah persamaan untuk mencari nilai suhu lingkungan aktual, persamaan tersebut yaitu $T1 = (\text{nilai suhu sensor} + 0.8697)/0.9985$, $T2 = (\text{nilai suhu sensor} + 0.8)/1.0082$, dan $T3 = (\text{nilai suhu sensor} + 0.6727)/0.9882$ dengan nilai R^2 berturut-turut sebesar 0.9981, 0.9994, dan 0.9991.

- c. Kalibrasi sensor inframerah mendapatkan nilai jarak maksimal sebesar 10 cm dan luas penampang benda terdeteksi sebesar 2500mm^2 .
 - d. Validasi sensor kelengasan dan suhu tanah menghasilkan pembacaan kelengasan dan suhu tanah yang mendekati alat standar dengan nilai *error* berdasarkan hasil uji RMSE sebesar 6.04.
 - e. Validasi sensor suhu lingkungan menghasilkan pembacaan kelengasan dan suhu tanah yang mendekati alat standar dengan nilai *error* berdasarkan hasil uji RMSE sebesar 0.16, 0.14, dan 0.16.
 - f. Validasi sensor inframerah menghasilkan pendeteksian dengan nilai jarak maksimal sebesar 10 cm dan luas penampang benda terdeteksi sebesar 2500mm^2 .
2. Hasil pengujian alat sebagai berikut :
- a. Tingkat keakurasian pengendalian suhu lingkungan sebesar 98,61% dan pengendalian kelengasan tanah sebesar 88,77%.
 - b. Waktu pengendalian suhu lingkungan sebesar 47 menit 44,4 detik dan pengendalian kelengasan tanah sebesar 41 menit 51,6 detik.
 - c. Stabilitas alat menghasilkan kinerja yang stabil. Alat yang dinyatakan stabil dalam pengerjaannya ialah alat kendali suhu lingkungan dan lengas tanah.
 - d. Respon sistem saat menurunkan suhu lingkungan dari kondisi awal hingga akhir membutuhkan waktu selama 7 menit 10 detik, sedangkan untuk menurunkan kadar lengas dari kondisi awal hingga akhir membutuhkan waktu selama 10 menit 10 detik

- e. Pemberian aksi dilakukan selama 1 menit setiap keadaan aktual melewati batas yang ditentukan dalam pengendalian kelengasan dan suhu tanah, serta suhu lingkungan. Pada pemupukan diberikan waktu 2 menit pada waktu yang ditentukan. Pemberian aksi perangkap hama melakukan penghidupan kipas selama 5 detik.
 - f. Jumlah hama yang terperangkap paling banyak pada ukuran 0-1 mm, sedangkan yang paling sedikit pada ukuran 7,1-9 mm.
 - g. Pemupukan dilakukan sebanyak 4 kali setiap 9 hari sekali dengan jumlah air-pupuk yang disemprotkan sebanyak 5000 ml dari total keseluruhan.
3. Pertumbuhan tanaman cabai yang dikendalikan lebih baik daripada yang tidak dikendalikan.
- a. Tinggi tanaman rata-rata pada tanaman yang dikendalikan sebesar 54,50 cm, sedangkan tanaman yang tidak dikendalikan sebesar 41,33 cm.
 - b. Jumlah daun rata-rata pada tanaman yang dikendalikan sebanyak 148 helai, sedangkan tanaman yang tidak dikendalikan sebanyak 40 helai.
 - c. Panjang keliling kanopi rata-rata pada tanaman yang dikendalikan sebesar 122,58 cm, sedangkan tanaman yang tidak dikendalikan sebesar 57,83 cm.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan penelitian selanjutnya adalah

1. Pencampuran dosis air dan pupuk dilakukan sehari sebelum jadwal penyemprotan untuk menjaga agar air-pupuk tersebut tidak berlumut sehingga tidak menghambat aliran pompa.
2. Penggunaan sensor inframerah dinilai kurang optimal karena dalam pendeteksian hanya mampu secara tegak lurus, sehingga dibutuhkan komponen pengganti yang mampu mendeteksi hama secara luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alavan, A., Hayati, R., dan Hayati, E. 2015. *Pengaruh Pemupukan Terhadap Pertumbuhan Beberapa Varietas Pagi Gogo (Oryza Sativa L.)*. Universitas Syiah Kuala. Aceh.
- Alim, E.S., dan Ramza, H. 2012. *Perancangan Piranti Perangkap Serangga (Hama) dengan Intensitas Cahaya*. Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA. Jakarta.
- Andri, L.T. 2015. Penangkap Hama dipetik pada 10 Januari 2018
<http://bbppketindan.bppsdp.pertanian.go.id/blog/perangkap-hama#>
(Untung. 1992 dan Nusyatiningsih.2011).
- Anonim. 2012. Teknik Kendali : Tanggapan-tanggapan kendali.
<https://bagaskawarasan.wordpress.com/2012/11/21/teknik-kendali-tanggapan-tanggapan-sistem/> dipetik tanggal 15 Mei 2018
- Anonim. 2016. Agrikultur Budidaya Tanaman. <https://agritani.id/sukses-budidaya-cabe-keriting-berbuah-lebat/> dipetik pada 10 Januari 2018
- Anonim. 2017a. Penjelasan Mengenai Pemupukan dan Fungsinya Bagi Tanaman.
www.agroteknologi.web.id/penjelasan-mengenai-pemupukan-dan-fungsinya-bagi-tanaman/ dipetik pada 20 Januari 2018
- Anonim. 2017b. Cara Pemberian Pupuk NPK Mutiara pada Cabai, Terong, Tomat, Brokoli, Kubis, dan Tanaman lainnya. <http://cipanasfarm.com/cara-pemberian-pupuk-npk-mutiara-pada-cabai-terong-tomat-brokoli-kubis-dan-tanaman-lainnya/> dipetik pada 25 Mei 2018
- Anonim. 2018a. DHT22 Sensor module. www.jogjarobotika.com/sensor-temperatur/613-dht22-sensor-module.html?search_query=DHT22&results=1 dipetik pada 20 Januari 2018
- Anonim. 2018b. E18-D80NK Infrared sensor. www.jogjarobotika.com/ultrasonic-sensor-jarak-proximity-sensor/146-e18-d80nk-infrared-sensor.html dipetik pada 20 Januari 2018

- Anonim. 2018c. Atmega2560-Arduino Pin Mapping. <https://www.arduino.cc/en/hacking/pinmapping2560> dipetik pada 10 Januari 2018
- Badan Pusat Statistik. 2015. Produksi Cabai Besar, Cabai Rawit, dan Bawang Merah Tahun 2014.
- Cahyono, G.R., dan Nurmaludin. 2015. *Rancang Bangun Alat Perangkap Hama Tanaman Padi Menggunakan Arduino Mega 2560*. Politeknik Negeri Banjarmasin. Kalimantan Selatan
- Dam, B. V. 2008. *Microcontroller System Engineering (45 Project for PIC, AVR and ARM)*. Elector International Media BV. United Kingdom. 328 hlm.
- Dalimartha, S. 2005. *Tanaman Obat di Lingkungan Sekitar*. Jakarta : Penerbit Puspa Swara.
- Darmawan, M. I. (2013). Pengaturan Suhu, Kelembaban Udara, dan Pupuk Otomatis pada Green House Berbasis Smart Relay. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektronika-Fakultas Teknik UM.
- Handiri. 2011. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. <https://handiri.wordpress.com/dasar-dasar-ilmu-tanah/>. dipetik 10 Januari 2018
- Harpenas, A dan Dermawan, R. 2010. *Budidaya Cabai Unggul (Cabai Besar, Cabai Keriting, Cabai Rawit, dan Paprika)*. Penebar Swadaya. Jakarta, 108 hlm.
- Hendriono, D. 2014. Hendriono Online. <http://www.hendriono.com/blog/post/mengenai-Arduino-mega2560>. Dipetik 12 Januari 2018
- Kunri, S. 2010. *Red Chili De-Hydration Plant*. Karachi (PK): Sindh Board of Investment.
- Kurnia, U., Djunaedi, M.S., dan Irianto, G. 2002. Irigasi hemat air pada lahan kering di daerah perbukitan kritis Imogiri, DI Yogyakarta. Makalah disampaikan dalam Seminar Nasional Sumberdaya Lahan, Cisarua-Bogor 6-7 Agustus 2002. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat.
- Kurnia, U. 2004. *Prospek Pengairan Pertanian Tanaman Semusim Lahan Kering*. Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Istiyanto, J. E., dan Efendy, Y. 2004. *Rancangan dan Implementasi Prototipe Sistem Kendali Jarak Jauh Berbasis AT89C52 dan Layanan SMS GSM*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Manohara, D. 2008. Pengaruh Kelengasan Tanah Terhadap Daya Bertahan Hidup *Trichoderma harzianum* dan Efikasinya Terhadap *Phytophthora capsici* L. Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik.

- Moekasan, TK., dan Prabaningrum, L. 2012. *Penggunaan Rumah Kasa untuk Mengatasi Serangan Organisme Pengganggu Tumbuhan Pada Tanaman Cabai Merah di Daratan Rendah*. Balai Penelitian Tanaman Sayuran. Lembang.66-76 hlm.
- Notohadiprawiro, T. 2006. Pendayagunaan Pengelolaan Tanah untuk Proteksi Lingkungan. *Jurnal Ilmiah STTL* 4:11-26.
- Ogata, K. 2010. *Modern Control Engineering (Fifth Edition)*. Pearson Education. New Jersey. 905 hlm.
- Opena, G. B. & Porte, G. A. 1999. *Soil Management and Supplemental Irrigation Effect On Plants*. Root Growth. II. *Agronomy Journal* **91**:426-431.
- Patty, J.A. 2012. *Efektivitas Metil Eugenol Terhadap Penangkapan Lalat Buah (Bactrocera dorsalis) Pada Tanaman Cabai*. Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura. Ambon. 69-75 hlm.
- Prasetyo, B. D. 2017. *Rancang Bangun Sistem Kendali Otomatis pH Limbah Cair Industri Tahu Sebagai Larutan Nutrisi Hidroponik Berbasis Mikrokontroler*. (Skripsi). Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Lampung
- Putri, A. 2016. <http://www.diptakencana.co.id/pengertian-sistem-kontrol-sistem-kendali/>. Dipetik 07 Januari 2018, dari PT. Dipta Kencana Online:
- Setiawan, A. 2011. *Aplikasi Mikrokontroler ATMEGA8535 & ATMEGA16 Menggunakan BASCOM-AVR*. Penerbit Andi. Yogyakarta. 118 hlm.
- Setiawan, A., & Ro'uf, A. (2014). *Sistem Penyiraman Dan Pemupukan Otomatis Menggunakan Rtc (Real Time Clock) Dan Sensor Kelembababan Tanah Berbasis Arduino Uno R3* (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Siregar, N.A. 2013. *Profil Vertikal Suhu Udara dan Akumulasi Panas Tanaman Cabai Merah Pada Kondisi Ternaung dan Tidak Ternaungi*. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor. Bogor. 51 hlm.
- Sugiyono. 2007. *Statika Untuk Penelitian*. ALFABETA. Bandung. 389 hlm.
- Syukur, M., Yuniarti, dan Dermawan. 2013. *Sukses Panen Cabai Tiap Hari*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Telaumbanua, M., Purwantana, B., dan Sutiarmo, L. 2014. *Rancang Bangun Aktuator Pengendali Iklim Mikro di dalam Greenhouse untuk Pertumbuhan Tanaman Sawi (Brassica rapa var.parachinensis L)*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- Telaumbanua, M. 2015. Model Pengendalian Iklim Mikro dan Nutrisi Otomatis Pada Pertumbuhan Sawi (*Brassica rappa* var. *Parachinensis* L.) Secara Hidroponik. (Disertasi). Program Pascasarjana, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 264 hlm.
- Tjahjadi, N. 1991. *Bertanam Cabai*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Wahyono, R.E. 2016. Rancang Bangun Sistem Kendali Otomatis Temperatur dan Kelembaban Kumbung Jamur Tiram (*Pleurotus sp*) Berbasis Mikrokontroler. (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung.
- Warisno & Dahana, K. 2010. *Peluang Usaha dan Budidaya Cabai*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 24 hlm.