

**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI *Electrical Conductivity* (EC)
OTOMATIS LIMBAH CAIR TAHU SEBAGAI LARUTAN NUTRISI
HIDROPONIK BERBASIS MIKROKONTROLER**

(Skripsi)

**OLEH
FINSHA ALFANY PUTRA**



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017**

ABSTRACT

DESIGN OF AUTOMATIC SYSTEM CONTROL OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY (EC) TOFU WASTE WATER AS A HYDROPONIC NUTRITION BASED BY MICROCONTROLLER

By

FINSHA ALFANY PUTRA

Most of tofu waste water contains organic matter such as protein, fat, and carbohydrate as well as inorganic materials like Ca, Fe, Cu, Na, N, P, K, Cl and Mg, so tofu waste water have the potential to be used as plant nutrition. Utilization of tofu waste water is more appropriate if applied to soil less gardening or so called hydroponic system. In hydroponics systems, nutrients was closely related to electrical conductivity (EC). So, controlling the EC was automatically controlling the concentration of nutrients. Objective of this reaseach is Therefore, we need an automatic control system that has a good performance in order to control the EC according to the needs of the plant.

This research was conducted on September 2016 until April 2017 at Agricultural Engineering Department of Lampung University. The instruments used in this

research are ATmega 328 Arduino Uno and shield, EC meter sensor module, DS18B20 temperature sensor, Real Time Clock (RTC) DS1307, Micro SD card module, 4 channel and 2 channel relay modules, 6 electric sockets, jumper cable, 20x4 LCD, notebook, power supply, regulator, transistor, resistor, PCB board, breadboard, EC meter by Jenway model 4510, 2 tubs of nutrients, tofu waste water bucket, water bucket, 6 pumps aquariums, aerators, and pipes. The material used in this research is AB mixed solution, water, and tofu waste water.

The first step in this research is arranging components into one whole piece. The second step is the calibration test of the sensor, the purpose is determining the sensor output value which compared to the standard measuring device (calibrator). Furthermore validation, the purpose is to prove that the sensor output value is in accordance with the output value of the calibrator. The last stage is to test the performance of the actuator in terms of accuracy, time of control, system response, and response stability.

Sensor calibration results generate equations for inclusion in the research program. The equation for temperature sensor is $T = (0,9446 * \text{sensor temperature}) + 2,2498$, and equation for EC sensor $(0.0015328 * \text{temperature}) + (0.0054178 * \text{mV}) + 0.024268$. Result of temperature sensor validation showed error value of 0,028 °C and EC sensor of 0.16 mS / cm obtained from RMSE test.

The result of this research shows that the control system works according to the design criteria that have been determined. Testing of this control system was

performed for 48 hours, and showed the performance test result of an accuracy value of 89.4%, average time control of EC returned at settle point is 4 minutes 25 seconds, and system response within 89 seconds to reach stability.

Keywords: Control System, Tofu Waste Water, Electrical Conductivity (EC), And Microcontroller Atmega328

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI *Electrical Conductivity* (EC) OTOMATIS LIMBAH CAIR TAHU SEBAGAI LARUTAN NUTRISI HIDROPONIK BERBASIS MIKROKONTROLER

Oleh

FINSHA ALFANY PUTRA

Limbah cair tahu sebagian besar mengandung bahan organik berupa protein, lemak, dan karbohidrat serta bahan anorganik seperti Ca, Fe, Cu, Na, N, P, K, Cl dan Mg, sehingga limbah cair tahu memiliki potensi untuk dijadikan nutrisi tanaman. Pemanfaatan limbah cair seperti ini lebih tepat jika diterapkan pada sistem budidaya tanpa tanah atau hidroponik. Pada sistem hidroponik, nutrisi sangat berhubungan dengan daya hantar listrik atau EC. Oleh karena itu, mengendalikan nilai EC secara otomatis dapat mengendalikan konsentrasi nutrisi

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2016 sampai dengan April 2017 di Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah mikrokontroler ATmega 328 jenis Arduino Uno, *shield* Arduino Uno, modul sensor EC meter, sensor suhu DS18B20, *Real Time Clock* (RTC) tipe

DS1307, *Micro SD card module*, *relay module 4 channel dan 2 channel*, 6 buah stop kontak *single*, kabel *jumper*, LCD 20 x 4, laptop, *power supply*, regulator, transistor, resistor, papan PCB, *breadboard*, EC meter merk Jenway model 4510, 2 bak penampung nutrisi, ember limbah, ember air, 6 buah pompa akuarium, aerator, dan pipa. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan AB mix, air, dan limbah cair tahu.

Tahap pertama pada penelitian ini adalah perakitan komponen menjadi satu bagian utuh. Tahap kedua, melakukan uji kalibrasi pada sensor, tujuannya untuk menentukan nilai keluaran sensor yang dibandingkan dengan alat ukur standar (kalibrator). Selanjutnya validasi, tujuannya membuktikan bahwa nilai keluaran sensor telah sesuai dengan nilai keluaran kalibrator. Tahap terakhir, yaitu menguji kinerja aktuator dalam hal akurasi, waktu pengendalian, respon sistem, dan stabilitas respon.

Hasil kalibrasi sensor menghasilkan persamaan untuk dimasukkan ke dalam program penelitian. Persamaan untuk sensor suhu didapat $T = (0,9446 * \text{suhu sensor}) + 2,2498$, dan persamaan untuk sensor EC = $(0.0015328 * \text{suhu}) + (0.0054178 * \text{mV}) + 0.024268$. Hasil validasi sensor suhu menunjukkan nilai error sebesar 0,028 °C dan sensor EC sebesar 0,16 mS/cm yang didapat dari uji RMSE.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem kendali bekerja sesuai kriteria desain yang telah ditentukan. Pengujian sistem kendali ini dilakukan selama 48 jam, dan menunjukkan hasil uji kinerja alat berupa nilai keakurasian sebesar 89,4%, rerata waktu pengendalian EC kembali pada *settle point* sebesar 4 menit 25 detik, dan respon sistem dengan waktu tempuh selama 89 detik untuk mencapai kestabilan.

Kata kunci: Sistem Kendali, Limbah cair tahu, daya hantar listrik (EC), dan Mikrokontroler ATmega328

**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI *Electrical Conductivity* (EC)
OTOMATIS LIMBAH CAIR TAHU SEBAGAI LARUTAN NUTRISI
HIDROPONIK BERBASIS MIKROKONTROLER**

Oleh

FINSHA ALFANY PUTRA

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI *electrical conductivity* (EC) OTOMATIS LIMBAH CAIR TAHU SEBAGAI LARUTAN NUTRISI HIDROPONIK BERBASIS MIKROKONTROLER**

Nama Mahasiswa : **Finsha Alfany Putra**

No. Pokok Mahasiswa : 1214071033

Jurusan : Teknik Pertanian

Fakultas : Pertanian



Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.
NIP 19611211 198703 1 004

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

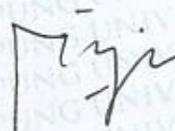
2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

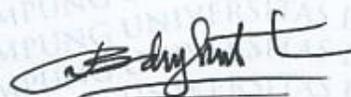
Ketua : **Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.**



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



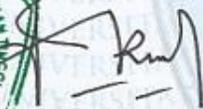
Penguji
Bukan Pembimbing : **Ir. Budianto Lanya, M.T.**



Dekan Fakultas Pertanian



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



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **09 Oktober 2017**

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Finsha Alfany Putra NPM 1214071033 Dengan ini menyatakan bahwa apa yang saya tulis dalam karya tulis ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh komisi pembimbing, 1) **Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.** dan 2) **Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (jurnal, buku, internet, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

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

Bandar Lampung, Oktober 2017

Yang membuat pernyataan



(Finsha Alfany Putra)

NPM 1214071033

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Metro pada tanggal 13 Februari 1994, sebagai anak pertama dari pasangan Bapak Sumarno dan Ibu Nani Kurniawati.

Penulis menempuh pendidikan taman kanak-kanak di TK Pertiwi Teladan Kota Metro dan lulus pada tahun 2000. Pendidikan dilanjutkan di SD Pertiwi Teladan

Kota Metro pada tahun 2000 dan lulus pada tahun 2006. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Metro pada tahun 2009 dan sekolah menengah atas diselesaikan di SMA Negeri 3 Metro pada tahun 2012.

Pada tahun 2012, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN Undangan. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten mata kuliah Instrumentasi.

Penulis pernah mendapatkan beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) selama 2 tahun dan penulis pernah menjadi anggota PKM-P yang didanai oleh DIKTI pada tahun 2014. Penulis pernah terdaftar sebagai Duta Mahasiswa Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2014.

Pada tahun 2015, penulis melaksanakan Praktik Umum di kebun buah naga Kusumo Wanadri, Kec. Temon, Kab. Kulon Progo, Yogyakarta dengan judul “Mempelajari Perawatan Tanaman Buah Naga Pada Fase Vegetatif di Kebun Agrowisata Kusumo Wanadri” selama 30 hari mulai tanggal 27 Juli 2015 sampai tanggal 27 Agustus 2015. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Panggung Mulya, Kec. Rawa Pitu, Kab. Tulang Bawang, selama 60 hari mulai tanggal 18 Januari 2016 sampai dengan 17 Maret 2016.

**Kupersembahkan Karya Kecil Ini
Untuk Papa, Mama, Dan Adikku
Tercinta, Serta Untuk
Almamaterku**

SANWACANA

Assalamualaikum Wr Wb,

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “*Rancang Bangun Sistem Kendali Electrical Conductivity (Ec) Otomatis Limbah Cair Tahu Sebagai Larutan Nutrisi Hidroponik Berbasis Mikrokontroler*” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian. Penulis menyadari bahwa terselesaikannya kuliah dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan motivasi, bimbingan, kritik, dan saran selama proses penelitian dan penulisan skripsi;
2. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, M.Sc., selaku dosen pembimbing kedua yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing, memotivasi, dan memberikan saran dalam proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Budianto Lanya, M.T., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan banyak masukan, bimbingan, saran, dan kritik yang membangun.

4. Bapak Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
6. Kedua orangtuaku, Bapak Sumarno dan Ibu Nani Kurniawati, serta adikku Diena Aulia Nabilah yang selalu menjadi tempat untuk menuangkan segala emosi, kalian adalah inspirasi dan motivasi terbesarku.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah berbagi ilmu dan pengalaman selama perkuliahan

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Bandar Lampung, Desember 2017

Penulis

Finsha Alfany Putra

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
1.1. Limbah Cair Tahu	5
2.2. EC Larutan Nutrisi	8
2.3. Sistem Hidroponik.....	10
2.4. Sistem Kendali	12
2.5. Mikrokontroler	14
2.6. Sensor dan Aktuator	17
2.6.1. Sensor Suhu	18
2.6.2. Sensor EC Meter	20
III. METODE PENELITIAN	21

3.1. Waktu dan Tempat	21
3.2. Alat dan Bahan	21
3.3. Kriteria Desain	22
3.4. Prosedur Penelitian.....	22
3.5. Perancangan Alat.....	24
3.5.1. Perancangan Struktural.....	28
3.5.2. Perancangan Fungsional.....	29
3.6. Mekanisme Kerja	33
3.7. Analisis Data	34
3.8. Uji Kinerja Alat	36
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1. Hasil Perancangan Sistem Kendali EC Otomatis.....	39
4.1.1. Bagian Alat Kendali	39
4.1.2. Bagian Instalasi Hidroponik.....	45
4.2. Kalibrasi dan Validasi Alat	46
4.2.1. Kalibrasi Sensor Suhu	47
4.2.2. Validasi Sensor Suhu	48
4.2.3. Kalibrasi Sensor EC	49
4.2.4. Validasi Sensor EC	53
4.3. Hasil Uji Kinerja	54
4.3.1. Akurasi.....	55
4.3.2. Rerata Waktu Pengendalian (RWP)	56
4.3.3. Stabilitas.....	57
4.3.4. Respon Sistem.....	58
4.3.5. Pemberian Aksi.....	59
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	61
5.1. Kesimpulan	61
5.2. Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63

LAMPIRAN	66
Tabel 9-10	67
Gambar 34.....	68
Gambar 35.....	69
Gambar 36-37.....	70
Gambar 38.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik air limbah industri tahu dan tempe.....	5
2. Kandungan hara pada limbah tahu dan pupuk komersil	7
3. Nilai optimal EC yang disarankan pada setiap tanaman.....	10
4. Spesifikasi Arduino Uno	17
5. Hasil analisis Regresi	52
6. Koefisien Regresi	52
7. Hasil Hitung Akurasi Aktuator	55
8. Hasil Hitung Waktu Pengendalian Aktuator.....	57
9. Nilai RMSE Sensor Suhu.....	67
10. Nilai RMSE Sensor EC.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pin Mapping Board Arduino Uno	16
2. Sensor suhu DS18B20	18
3. Perbandingan pembacaan suhu DS18B20 dengan LM35DZ	19
4. Rencana Kriteria Desain	22
5. Diagram Alir Penelitian	23
6. Diagram Perancangan Alat Kendali Otomatis	25
7. Diagram proses kalibrasi dan validasi	26
8. Diagram alir pemrograman	27
9. Diagram blok sistem kendali limbah cair tahu.....	28
10. Modul sensor EC.....	29
11. Mikrokontroler Jenis Arduino Uno.....	30
12. RTC DS1307	30
13. Micro SD card Module.....	31
14. LCD 20x4.....	31
15. Relay Module 4 Channel dan 2 Channel.....	32
16. Rancangan Alat	34

17. Rancangan Alat Tampak Isometri.....	34
18. Kurva Transien dan Steady State	38
19. Alat Kendali	39
20. Alat kendali dan penyangga.....	40
21. Komponen Alat Kendali EC Otomatis.....	41
22. Instalasi Hidroponik.....	45
23. Uji pendugaan sensor suhu terhadap kalibrator	47
24. Kalibrasi suhu	48
25. Validasi Sensor Suhu dengan Kalibrator	49
26. Hubungan antara suhu dan EC meter.....	50
27. Hubungan antara EC kalibrator dan EC sensor.....	51
28. Hubungan antara pH meter dan EC meter	51
29. Validasi hubungan EC kalibrator dan EC sensor.....	54
30. Stabilitas Aktuator.....	58
31. Respon Sistem Kenaikan EC	58
32. Respon Sistem Penurunan EC.....	59
33. Pemberian limbah cair tahu dan air.....	60
34. Skematik Rangkaian Alat Bagian 1	68
35. Skematik Rancangan Alat Bagian 2.....	69
36. Pembuatan larutan untuk proses kalibrasi.....	70
37. Kalibrasi Sensor Suhu dan EC	70
38. Validasi Sensor Suhu dan EC	71

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri tahu di Indonesia berkembang dengan pesat, baik skala rumah, skala kecil maupun skala besar. Industri tahu memberi dampak positif berupa keuntungan ekonomi dan menyerap tenaga kerja. Sebaliknya, industri tahu juga memberi dampak negatif berupa pencemaran lingkungan apabila limbah sisa produksi tidak diolah dengan baik. Pada dasarnya, limbah tahu dibagi ke dalam dua jenis, yakni limbah padat dan limbah cair. Pengolahan limbah padat dan cair masih belum optimum, sehingga menimbulkan permasalahan baru yang memerlukan pemikiran, tenaga, dan biaya yang banyak untuk pengelolaannya. Selain itu, produksi tahu umumnya masih dilakukan dengan teknologi yang sederhana, sehingga tingkat efisiensi penggunaan air dan bahan baku masih rendah dan tingkat produksi limbah juga relatif tinggi (Kaswinarni, 2007).

Limbah cair tahu sebagian besar mengandung bahan organik berupa protein, lemak, dan karbohidrat serta bahan anorganik seperti Ca, Fe, Cu, Na, N, P, K, Cl dan Mg (Rosalina, 2008). Protein dalam limbah cair tahu ketika terurai oleh mikroba tanah akan melepaskan senyawa N yang akhirnya akan diserap oleh akar tanaman (Asmoro, 2008). Hal ini menunjukkan limbah tahu memiliki potensi untuk dijadikan pupuk organik. Pemanfaatan berbagai limbah menjadi pupuk

organik merupakan salah satu upaya untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan, karena dengan bahan organiknya yang tinggi, limbah dapat bertindak sebagai sumber organik makanan oleh mikroba.

Penelitian Asmoro (2008) tentang pemanfaatan limbah cair tahu untuk peningkatan hasil tanaman petsai (*Brassica chinensis*) diperoleh kesimpulan bahwa pemberian limbah cair tahu 20% dari 1 kg tanah, dapat meningkatkan hasil tanaman Petsai (*Brassica chinensis*) sebesar tiga kali lipat. Penelitian tersebut dilakukan dengan media tanah, sedangkan pada media non-tanah atau lebih dikenal dengan hidroponik belum dilakukan.

Pada sistem hidroponik, nutrisi dilarutkan dalam air untuk pertumbuhan tanaman. Nutrisi hidroponik sangat bergantung pada ion-ion dan mineral yang terkandung di dalamnya. EC (*Electrical Conductivity*) atau daya hantar listrik menunjukkan konsentrasi ion didalam air, dimana ion – ion inilah yang diserap oleh akar tanaman. Semakin tinggi konsentrasi nutrisi biasanya semakin pekat larutannya. Kepekatan larutan nutrisi dipengaruhi oleh kandungan garam total serta akumulasi ion-ion yang ada dalam larutan nutrisi. Semakin pekat larutan nutrisi menyebabkan tanaman tidak mampu menyerap unsur hara dengan optimal. Konsentrasi EC dalam larutan mempengaruhi metabolisme tanaman, yaitu dalam hal kecepatan fotosintesis, aktivitas enzim dan potensi penyerapan ion-ion oleh akar (Subandi, 2015).

Parameter keberhasilan dalam penyerapan nutrisi oleh akar dapat dilihat dengan mengetahui selisih nilai EC pada awal pemberian dan setelah aplikasi. Jika nilai EC pada awal pemberian berkurang setelah aplikasi, maka penyerapan unsur hara

pada nutrisi berjalan dengan baik. Namun sebaliknya, jika nilai EC pada awal pemberian bertambah atau stagnan, maka penyerapan hara oleh akar terganggu. Selain itu, perubahan EC pada tanaman dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti intensitas cahaya matahari, angin, dan kelembaban (Subandi, 2015). Perubahan EC yang tidak terkendali dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, sehingga diperlukan suatu sistem kendali yang dapat mengontrol EC agar tetap sesuai dengan kebutuhan tanaman. Salah satu aplikasi sistem kendali untuk mengontrol EC adalah menggunakan mikrokontroler.

Mikrokontroler merupakan suatu alat elektronika digital yang berfungsi sebagai bagian pengolah informasi untuk sistem kendali. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler AVR tipe ATmega 328. Menurut Madhawirawan (2013) mikrokontroler jenis ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan mikrokontroler jenis lain, yaitu memiliki kecepatan eksekusi program yang lebih cepat karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus *clock*.

Mikrokontroler ATmega 328 inilah yang akan diprogram untuk mengontrol sensor dan aktuator sebagai pengendali EC.

Berdasarkan uraian sebelumnya, penelitian yang menggunakan limbah tahu sebagai nutrisi media tanam telah banyak digunakan pada media tanah, namun belum dilakukan pada media hidroponik. Penelitian ini bertujuan mengaplikasikan limbah cair tahu pada media hidroponik. Selain itu, diberikan pengendalian EC secara otomatis untuk nutrisi hidroponik, agar budidaya tanaman dapat tumbuh optimal sesuai kriteria tumbuh tanaman tersebut. Oleh karena itu, diperlukan sebuah rancang bangun sistem kendali untuk mengontrol nilai EC pada

nutrisi hidroponik secara kontinyu selama masa budidaya agar sesuai untuk pertumbuhan tanaman.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana rancang bangun yang sesuai untuk sistem kendali EC otomatis limbah cair tahu?
2. Bagaimana hasil kinerja sistem kendali tersebut?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini adalah:

1. Membuat rancang bangun sistem kendali *Electrical Conductivity* (EC) otomatis limbah cair tahu sebagai larutan nutrisi hidroponik

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

1. Menguji kinerja sistem kendali yang meliputi akurasi, rerata waktu pengendalian, stabilitas sistem, dan respon sistem.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Diperolehnya sistem kendali EC otomatis yang akurat, stabil, dan respon cepat sehingga cocok untuk skala penelitian maupun skala industri
2. Penelitian ini dapat menunjang pengembangan desain dan rekayasa teknologi otomatisasi pertanian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

1.1. Limbah Cair Tahu

Industri tahu-tempe umumnya merupakan suatu usaha rumah tangga yang mengolah kedelai menjadi dua jenis makanan yang bergizi tinggi yaitu tahu dan tempe. Proses pembuatan tahu berbeda dengan proses pembuatan tempe. Tahu dibuat melalui proses penggumpalan susu kedelai dengan bantuan asam cuka atau sering disebut laru/biang. Sedangkan tempe dibuat melalui proses fermentasi. Perbedaan proses pengolahan ini berdampak pada karakteristik air limbah yang dihasilkan, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik air limbah industri tahu dan tempe

Parameter	Air Limbah Tahu	Air Limbah Tempe
COD (mg/L)	6,374,55	14,459,95
BOD (mg/L)	3,912.27	6,218.42

Sumber: Said, dkk. (1999)

Data tersebut merupakan data rata-rata dari puluhan industri tahu-tempe, besar dan kecil di Jakarta. Data menunjukkan bahwa skala dan proses industri sangat menentukan variasi tingkat kepekatan air limbah. Dalam proses produksi tahu dan tempe, air baku yang tidak sedikit dibutuhkan untuk proses pencucian, perendaman, perebusan, dan penggumpalan. Menurut Sadzali (2010) setiap 1 kg bahan baku kedelai yang diolah akan menghasilkan 15 – 20 liter limbah cair

sehingga air limbahnya berpotensi menimbulkan permasalahan pencemaran lingkungan yang cukup serius karena pada umumnya industri kecil tersebut tidak memiliki kapasitas untuk mengolah air limbahnya.

2.1.1. Karakteristik Limbah Cair Tahu

Karakteristik limbah cair tahu sangat penting karena untuk menentukan teknologi apa yang harus dipilih dalam penanganan limbah. Metode penanganan limbah yang telah berhasil pada suatu industri belum tentu berhasil diaplikasikan untuk industri lainnya. Limbah cair tahu merupakan limbah agroindustri yang mengandung bahan organik dan nutrien tinggi. Karakteristik limbah cair tahu sebagai berikut:

1. Temperatur limbah cair tahu biasanya tinggi (60 – 80°C) karena proses pembuatan tahu butuh suhu tinggi sekitar 100°C pada saat penggumpalan dan penyaringan.
2. Warna air buangan transparan sampai kuning muda dan disertai adanya suspensi warna putih. Zat terlarut dan tersuspensi mengalami penguraian hayati maupun kimia sehingga berubah warna. Proses ini merugikan karena air buangan berubah menjadi warna hitam dan busuk yang memberi nilai estetika kurang baik.
3. Bau air buangan industri tahu dikarenakan proses pemecahan protein oleh mikroba alam sehingga timbul bau busuk dari gas H₂S.
4. Kekeruhan pada limbah disebabkan oleh adanya padatan tersuspensi dan terlarut dalam limbah cair pabrik tahu.

5. pH rendah. Limbah cair tahu mengandung asam cuka sisa proses penggumpalan tahu sehingga limbah cair tahu bersifat asam. Pada kondisi asam ini terlepas zat-zat yang mudah menjadi gas.
6. COD dan BOD tinggi. Pencemaran limbah cair organik pada suatu perairan diukur dengan uji COD dan BOD. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh bahan-bahan organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses biologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Angka COD biasanya lebih besar 2 sampai 3 kali angka BOD. Nilai COD menunjukkan banyaknya oksigen yang digunakan dalam proses oksidasi oleh zat-zat organik yang terkandung dalam limbah cair yang ekuivalen dengan nilai konsentrasi kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) (Said, 1999).

Tabel 2. Kandungan hara pada limbah tahu dan pupuk komersil

Parameter	Limbah Tahu Padat	Kompos Padat <i>Green Valley</i>	Limbah Tahu Cair	Pupuk Cair Komersil Tristan
N (%)	1,24	1,44	0,27	0,42
P ₂ O ₅ (ppm)	5,54	2,37	2,85	0,28
K ₂ O (%)	1,34	3,03	0,29	0,08
Protein (%)	7,72	-	1,68	-

Sumber: Asmoro, dkk. (2008)

Penelitian yang dilakukan (Asmoro, dkk, 2008) yaitu membandingkan kandungan hara pada limbah tahu dengan pupuk komersil. Kandungan hara pada limbah padat maupun cair tidak berbeda jauh, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Kandungan hara limbah padat lebih tinggi dibandingkan limbah cair, akan tetapi

masih sebanding dengan pupuk komersil, sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pupuk cair atau larutan nutrisi tanaman.

Pemanfaatan limbah cair tahu telah dilakukan Fadilah (2015), hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penyiraman air limbah tahu dengan perlakuan terbaik untuk tinggi batang adalah pada konsentrasi limbah cair tahu 15% dengan frekuensi penyiraman 2 hari, yaitu 42,2 cm. Perlakuan terbaik untuk jumlah daun adalah pada konsentrasi limbah cair tahu 25% dengan frekuensi penyiraman 7 hari, yaitu 10 daun. Perlakuan terbaik untuk lebar daun adalah pada konsentrasi limbah cair tahu 25% dengan frekuensi penyiraman 5 hari, yaitu 5 cm..

2.2. EC Larutan Nutrisi

Pada sistem hidroponik, air dan nutrisi diberikan secara terkontrol dan dalam jumlah yang tepat. Hal ini dilakukan dengan cara mensirkulasikan nutrisi yang terlarut dalam air. Pada tanaman, 80 - 90% bagian tanaman tersebut terdiri atas air. Sehingga ketersediaan air yang berkualitas sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Kualitas air yang buruk dapat menyebabkan masalah toksisitas, penyakit, masalah pH, dll.

Larutan nutrisi sebagai pasokan air dan mineral yang penting bagi pertumbuhan tanaman, sehingga harus tepat dalam penakaran jumlah, komposisi nutrisi, dan suhu. Pada umumnya kualitas larutan nutrisi ini diketahui dengan mengukur EC larutan tersebut. *Electrical Conductivity* (EC) atau daya hantar listrik adalah kemampuan untuk menghantarkan ion-ion listrik yang terkandung di dalam larutan nutrisi ke akar tanaman. EC merupakan parameter yang menunjukkan

konsentrasi ion-ion yang terlarut dalam larutan nutrisi. Jika ion yang terlarut semakin banyak, maka semakin tinggi EC larutan nutrisi tersebut. Tinggi rendahnya EC dalam larutan nutrisi mempengaruhi metabolisme tanaman, yaitu kecepatan fotosintesis tanaman, aktivitas enzim dan potensi penyerapan ion-ion larutan oleh akar tanaman (Irwan, 2016).

Dalam pemberian larutan nutrisi untuk tanaman hidroponik dianjurkan untuk mengambil angka EC yang tinggi, meskipun biaya pupuknya akan meningkat, namun dampaknya tanaman akan mencapai ukuran yang layak panen dalam waktu yang lebih singkat. Selain itu, bobotnya juga akan meningkat, penampilan semakin menarik, *self-life* di supermarket lebih panjang, meningkatkan kadar gula, dan kesegaran lebih terasa. EC juga berpengaruh pada daya tahan tanaman terhadap serangan penyakit. Tidak hanya kelangsungan sirkulasi larutan yang memegang peranan penting tetapi juga konsentrasi larutan dapat diketahui dengan mengukur nilai EC menggunakan alat ukur EC meter. Pada EC meter nilai satuan yang sering digunakan adalah mS/cm atau $\mu\text{S/cm}$ (Susila, 2013). Tabel 3 menyajikan nilai optimal EC yang disarankan pada setiap tanaman.

Tabel 3. Nilai optimal EC yang disarankan pada setiap tanaman

Tanaman	EC (mS/cm)
Bawang	1,8 – 2,2
Bawang putih	1,4 – 1,8
Bayam	1,8 – 3,5
Blueberry	1,8 – 2,0
Brokoli	1,4 – 2,4
Carrot	1,4 – 2,2
Daun bawang	1,2 – 2,2
Jagung manis	1,6 – 2,4
Kacang	1,8 – 2,5
Kacang polong	1,4 – 1,8
Kembang kol	1,4 - 2,4
Kemangi	1,0 – 1,4
Kubis	1,4 – 2,4
Labu	1,4 – 2,4
Lobak	1,2 - 2,2
Melon	1,0 – 2,2
Timun	1,6 – 2,4
Daun Mint	1,0 – 1,4
Tomat	1,8 – 2,8
Lada	1,8 – 2,8
Seledri	1,5 – 2,4
Strawberry	1,8 – 2,5
Terong	1,8 – 2,2
Ubi	1,4 – 2,2

Sumber :<http://www.suburbanvegetablegardening.com>

2.3. Sistem Hidroponik

Hidroponik adalah istilah yang digunakan untuk menjelaskan tentang cara bercocok tanam tanpa menggunakan tanah sebagai media tanam (*soiless culture*).

Media tanam yang digunakan adalah media yang dapat menyerap nutrisi, air, dan oksigen serta mendukung akar tanaman. Menurut Sudarmi (2013), hidroponik adalah proses budidaya tanaman dengan memberikan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman langsung ke dalam pasokan airnya. Larutan nutrisi yang diberikan mengandung semua unsur makro dan mikro yang dibutuhkan oleh tanaman.

Unsur makro yang terdiri dari Nitrogen (N), Phospor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg) dan Sulfur (S), serta unsur mikro yang terdiri dari unsur Mangan (Mn), Cuprum (Cu), Molibdenum (Mo), Zincum (Zn) dan Ferrum (Fe).

Keuntungan yang ingin dicapai dalam bertanam secara hidroponik adalah keberhasilan tanaman untuk tumbuh dan berproduksi lebih terjamin. Selain itu, keuntungan lainnya yaitu:

1. pertumbuhan tanaman dapat di kontrol,
2. tanaman dapat berproduksi dengan kualitas dan kuantitas yang tinggi,
3. tanaman jarang terserang hama penyakit karena terlindungi,
4. pemberian air irigasi dan larutan hara lebih efisien dan efektif,
5. dapat diusahakan terus menerus tanpa tergantung oleh musim, dan
6. dapat diterapkan pada lahan yang sempit (Susila, 2013)

Penelitian tentang hidroponik telah dilakukan oleh (Rakhman, 2015) membandingkan hasil pertumbuhan tanaman sawi pada tiga perlakuan, yaitu L1 (hidroponik), L2 (akuaponik menggunakan ikan komet), dan L3 (akuaponik menggunakan ikan nila). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman sawi pada sistem hidroponik lebih baik dari pada akuaponik. Tinggi tanaman rata-rata pada minggu ke empat untuk L1, L2, dan L3 adalah 24,6 cm; 9,1 cm; 14,0 cm; secara berturut-turut. Jumlah daun rata-rata pada minggu ke empat untuk L1, L2, dan L3 adalah 10,2; 7,2; 7,7; secara berturut-turut. Panjang akar rata-rata pada minggu ke empat untuk L1, L2, dan L3 adalah 27,3 cm; 10,6 cm; 15,0 cm; secara berturut-turut. Berat total tanaman sawi untuk L1, L2, dan L3 adalah 77,08 gr; 9,7 gr; 28,6 gr; secara berturut-turut.

Hasil panen merupakan tujuan dari setiap pelaku pertanian, sehingga untuk mendapatkan hasil panen yang optimal, larutan nutrisi hidroponik (pH, EC, dan suhu) perlu dikontrol secara otomatis, seperti yang dilakukan oleh Telaumbanua (2015). Selama pengoperasian hidroponik, biasanya suhu larutan nutrisi berfluktuasi dan mempengaruhi nilai EC dan pH larutan nutrisi yang berdampak buruk terhadap pertumbuhan tanaman (Mansyur, dkk. 2013). Oleh karena itu, sistem hidroponik yang baik adalah yang dilengkapi dengan alat kontrol sehingga pertumbuhan tanaman terpantau dan terkontrol secara otomatis.

Pengontrolan secara otomatis memiliki kelebihan dibanding pengontrolan secara manual antara lain minim tenaga kerja, efisiensi waktu, efektifitas nutrisi, dan keseragaman tumbuh. Pada kontrol otomatis ini, tahapan kontrol seperti mengukur, menghitung dan mengkondisikan objek dilakukan oleh instrumen secara berulang. Oleh karena itu, dengan kontrol otomatis dapat dicapai kelancaran operasi, pengendalian keamanan, dan mutu produk.

2.4. Sistem Kendali

Sistem kendali atau sistem kontrol terdiri atas sekumpulan piranti-piranti dan peralatan-peralatan elektronik yang mampu menangani kestabilan, akurasi, dan mengeliminasi transisi status yang berbahaya dalam proses produksi. Masing-masing komponen dalam sistem kontrol proses tersebut memegang peranan pentingnya masing-masing, tidak peduli ukurannya. Misalnya, jika sensor tidak ada atau rusak atau tidak bekerja, maka sistem kontrol proses tidak akan tahu apa yang terjadi dalam proses yang sedang berjalan (Ogata, 1991.).

Berikut ini beberapa istilah yang sering digunakan dalam sistem kontrol :

1. Sistem (system) adalah kombinasi dari elemen-elemen yang bekerja bersamasama membentuk suatu objek tertentu.
2. Variabel terukur (measured variable) adalah suatu besaran (quantity) atau kondisi yang terukur oleh transmitter
3. *Set value/set point* (SP), adalah besaran proses variabel yang dikehendaki dan digunakan sebagai acuan pada kegiatan pengendalian.
4. Variabel termanipulasi (manipulated variable) adalah suatu besaran atau kondisi yang divariasikan oleh *controller* sehingga mempengaruhi nilai dari variabel terkontrol.
5. *Error* adalah merupakan selisih antara set point dengan variabel terukur.
6. Gangguan (disturbance) adalah sinyal yang tidak dikehendaki dan mempengaruhi nilai keluaran sistem.
7. Variabel terkontrol merupakan variabel hasil yang merupakan output proses.
8. Plant adalah sesuatu objek fisik yang dikontrol.
9. Aksi kontrol (control action) adalah besaran atau nilai yang dihasilkan oleh perhitungan controller untuk diberikan pada plant (pada dasarnya sama dengan variabel termanipulasi).
10. Aktuator (actuator) adalah suatu peralatan atau kumpulan elemen yang menggerakkan plant.

Penelitian mengenai sistem kendali telah banyak dilakukan, salah satunya penelitian yang dilakukan oleh Telaumbanua (2015). Penelitiannya yaitu merancang suatu model sistem kendali untuk mengendalikan iklim mikro dan

nutrisi secara otomatis pada tanaman sawi. Nilai akurasi, kecepatan respon pengendalian, dan stabilitas alat merupakan parameter keberhasilan suatu rancangan sistem kendali. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa aktuator lampu pijar menunjukkan nilai keakurasian sebesar 98,98 %, waktu pengendalian melalui pengukuran langsung adalah 1 menit 32 detik dengan kinerja alat yang stabil. Aktuator pompa nutrisi menunjukkan keakurasian sebesar 96,12 %, waktu pengendalian melalui pengukuran langsung terhadap nutrisi 2,3 mS/cm dengan *setting point* 2,1 mS/cm adalah 14 detik dengan kinerja alat yang stabil.

2.5. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah sistem mikroprosesor yang di dalamnya sudah terdapat CPU, RAM, ROM, I/O, Clock dan peralatan internal lainnya yang saling terhubung dan terorganisasi dengan baik oleh pabrik pembuatnya dan dikemas dalam satu *chip* yang siap pakai. Secara harfiahnya bisa disebut "pengendali kecil" dimana sebuah sistem elektronik yang sebelumnya banyak memerlukan komponen-komponen pendukung seperti IC TTL dan CMOS dapat diperkecil dan akhirnya terpusat serta dikendalikan oleh mikrokontroler ini (Mitescu, 2005). Pada umumnya terdapat 3 jenis mikrokontroler yang paling banyak digunakan, salah satunya adalah mikrokontroler jenis AVR.

Advanset Versatile Rich (AVR) adalah salah satu jenis mikrokontroler yang memiliki keunggulan dibandingkan mikrokontroler lain, keunggulan mikrokontroler AVR yaitu memiliki kecepatan eksekusi program yang lebih cepat karena sebagian instruksi dieksekusi dalam satu siklus clock, lebih cepat

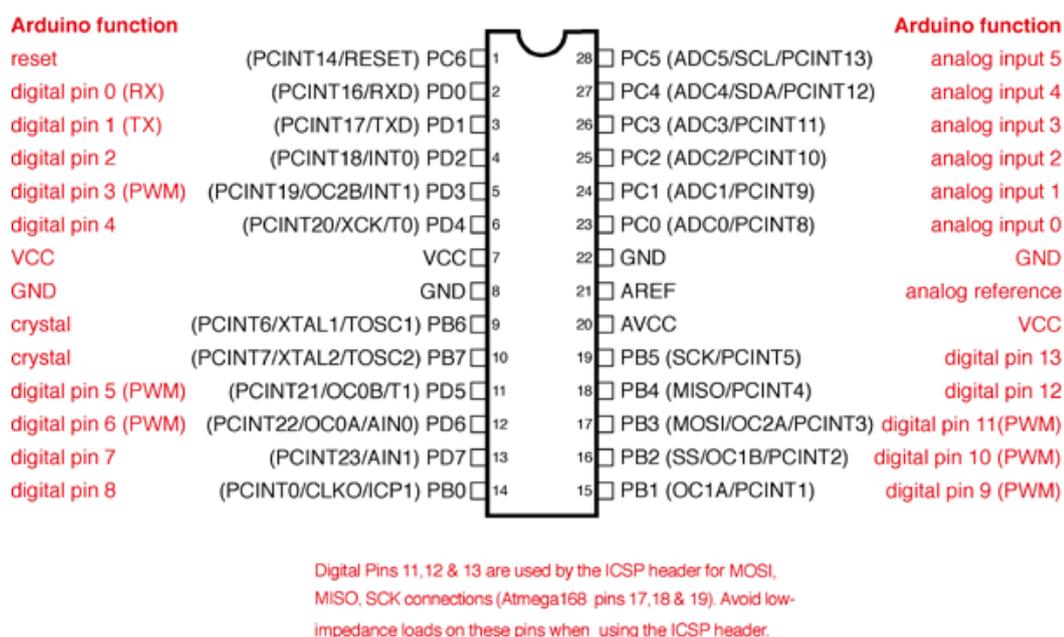
dibandingkan dengan mikrokontroler MSC51. Mikrokontroler AVR memiliki memori program yang disusun menjadi 16 bit, yang membuat kecepatan akses dalam memori program lebih mudah, dan lebih cepat dari mikroprosesor 8-bit (Mitescu, 2005).

Franata (2014) menggunakan mikrokontroler jenis AVR tipe ATmega328 sebagai sistem kendali otomatis pengatur pemberian irigasi tetes yang bekerja berdasarkan perubahan kadar air tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kendali otomatis mampu bekerja dengan baik, yaitu menyalakan pompa pada saat kadar air tanah turun melewati nilai titik kritis dan mematikan pompa pada saat kadar air tanah naik melewati nilai kapasitas lapang.

2.5.1. Mikrokontroler Arduino ATmega328

ATmega 328 atau sering dikenal dengan Arduino Uno, merupakan salah satu jenis mikrokontroler AVR yang banyak digunakan. Menurut (Djuandi, 2011), arduino adalah sebuah *board minimum system* mikrokontroler yang bersifat *open source*. Dalam rangkaian board arduino terdapat mikrokontroler AVR seri ATmega328 yang merupakan produk dari Atmel. Arduino dapat mengenali lingkungan sekitarnya melalui berbagai jenis sensor dan dapat mengendalikan lampu, motor, dan berbagai jenis aktuator lainnya. Mikrokontroler jenis ATmega 328 ini memiliki 14 pin input/output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset. Board Arduino Uno dapat diaktifkan dengan daya yang diperoleh dari koneksi kabel USB, atau dari *power supply* eksternal. Pada penggunaan daya dari *power supply* eksternal yang disarankan untuk

mikrokontroler ini adalah 7 sampai dengan 12 volt, jika diberi daya kurang dari 7 volt kemungkinan pin 5v tetap dapat beroperasi namun tidak stabil dan jika diberi daya lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan dapat merusak board Uno.



(<http://www.arduino.cc>)

Gambar 1. Pin Mapping Board Arduino Uno

Arduino memiliki kelebihan tersendiri dibanding board mikrokontroler yang lain, yaitu: 1) lebih murah, 2) sangat mudah dipelajari dan digunakan, dan 3) bersifat *open source* baik dari *hardware* maupun *software*. Arduino dikatakan *open source* karena memiliki sebuah *platform* dari *physical computing*. Platform di sini adalah sebuah alat kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman, dan IDE (*Integrated Development Environment*) yang canggih. IDE adalah sebuah software yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* ke dalam *memory microcontroller* Arduino, selain itu juga ada banyak modul-modul pendukung (sensor, tampilan, penggerak dan sebagainya) untuk bisa disambungkan dengan Arduino (Djuandi, 2011).

Spesifikasi dari Arduino Uno dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Spesifikasi Arduino Uno

Deskripsi	Spesifikasi
Mikrokontroler	ATmega 328
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Input yang disarankan	7-12 V
Batas Tegangan Input	6-20 V
Jumlah pin I/O digital	14 pin digital (6 diantaranya menyediakan keluaran PWM)
Jumlah pin Input analog	6 pin
Arus DC tiap pin I/O	20 mA
Memory Flash	32 KB, 0,5 KB-nya digunakan untuk bootloader
SRAM	2 KB
EPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

(Sumber: <http://www.arduino.cc>)

Penelitian mengenai penggunaan mikrokontroler sebagai perangkat sistem kontrol otomatis telah banyak digunakan, salah satunya pada penelitian Delya (2014) yang menggunakan mikrokontroler arduino uno pada sistem hidroponik pasang surut untuk budidaya tanaman cabai. Dari penelitiannya didapatkan hasil uji tanaman menunjukkan pertumbuhan tanaman lebih baik pada sistem hidroponik pasang surut otomatis dengan tinggi tanaman dan jumlah daun maksimum yaitu 59,5 cm dan 64 helai. Sedangkan pada tanaman dengan penyiraman manual, tinggi tanaman dan jumlah daun maksimum yaitu 21,7 cm dan 9 helai.

2.6. Sensor dan Aktuator

Sensor adalah piranti yang mengubah suatu nilai berupa isyarat atau energi fisik ke nilai fisik yang lain menjadi satuan analog sehingga dapat dibaca oleh suatu rangkaian elektronik. Fenomena fisik yang mampu menstimulus sensor untuk menghasilkan sinyal elektrik meliputi temperatur, tekanan, gaya, medan magnet,

cahaya, pergerakan, dan sebagainya. Dalam lingkungan sistem pengendali dan robotika, sensor memberikan kesamaan yang menyerupai mata, pendengaran, hidung, lidah yang kemudian akan diolah oleh kontroler sebagai otaknya.

Sedangkan aktuator adalah sekumpulan alat yang berfungsi untuk memberikan aksi luaran untuk mempertahankan atau mengubah sebuah sistem (Ogata, 1991).

2.6.1. Sensor Suhu

Sensor DS18B20 merupakan komponen sensor suhu yang memiliki kemampuan tahan air (*waterproof*). Sensor ini sangat cocok digunakan untuk mengukur temperatur pada tempat yang basah dan sulit untuk dijangkau. Sensor keluaran *Dallas Semiconductor* ini memiliki keluaran digital sehingga tidak membutuhkan rangkaian ADC, serta akurasi nilai suhu dan kecepatan pengukuran memiliki kestabilan yang jauh lebih baik dari sensor LM35DZ. Pembacaan suhu pada sensor ini menggunakan *protocol 1 wire communication*.



Gambar 2. Sensor suhu DS18B20

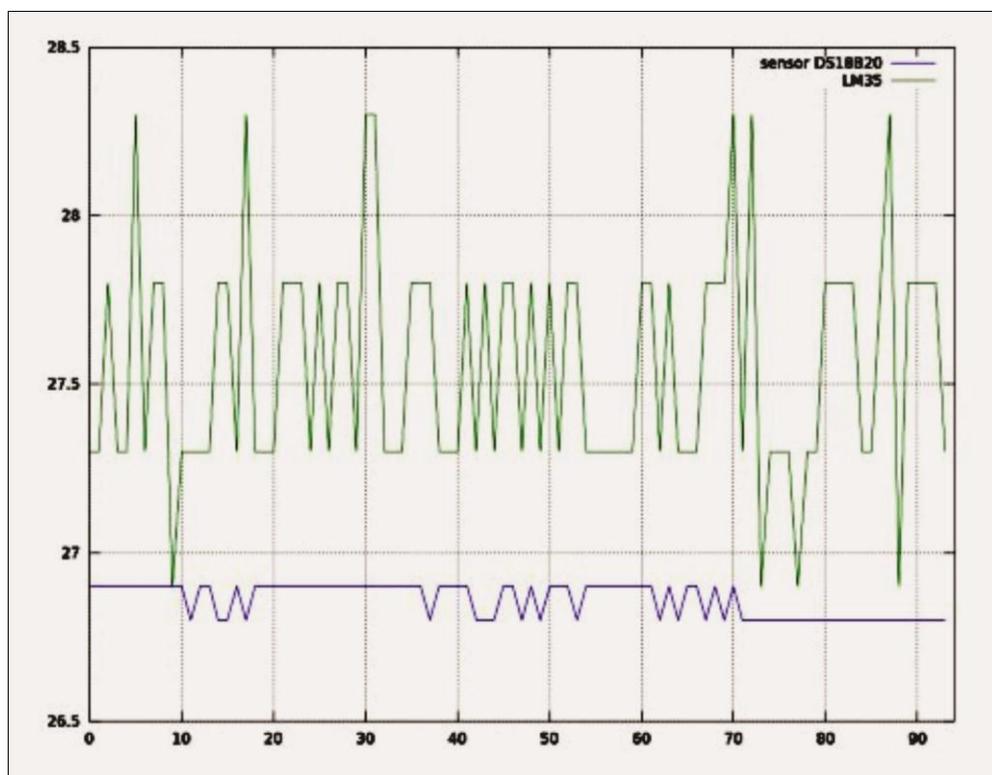
DS18B20 memiliki 3 pin yang terdiri dari +5V, *Ground* dan *Data Input/Output*.

Sensor ini merupakan sensor yang sangat praktis karena hanya membutuhkan satu

pin I/O saja untuk bisa bekerja dengan mikrokontroler. Berikut adalah spesifikasi sensor suhu DS18B20

- a. Tegangan operasi 3V sampai 5V *power/data*
- b. Suhu terukur -55°C sampai 125°C
- c. Tingkat akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada suhu -10°C sampai 85°C
- d. Kecepatan pengukuran 750ms
- e. Bahan stainless steel dengan diameter 6mm dan panjang 35mm
- f. Kaki *interface* VCC, GND, dan DATA

Penelitian mengenai sensor suhu DS18B20 telah dilakukan oleh Darmawan dkk (2013) yang digunakan untuk mengukur temperatur pada inkubator bayi. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa sensor suhu DS18B20 lebih baik dari sensor suhu LM35DZ dari segi fluktuasi pembacaan dan nilai ukur yang lebih stabil.



Gambar 3. Perbandingan pembacaan suhu DS18B20 dengan LM35DZ

2.6.2. Sensor EC Meter

Sensor EC merupakan komponen yang berfungsi untuk mengetahui kadar EC suatu larutan. Terdapat elektroda di bagian batang sensor yang berfungsi mengukur banyaknya ion yang terkandung pada larutan tersebut. Kandungan ion di dalam larutan berbanding lurus dengan konsentrasi EC, semakin banyak ion mineral yang terlarut, maka akan semakin besar kemampuan larutan tersebut untuk menghantarkan listrik. Sensor EC ini dihubungkan ke mikrokontroler melalui pin konektor, kemudian akan diselaraskan dengan *software* Arduino IDE menggunakan bahasa program arduino agar alat bekerja sesuai dengan perintah yang kita masukkan.

Sensor EC meter yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi berikut:

- a. Tegangan operasi 5V
- b. Rentan pengukuran 1mS/cm – 20 mS/cm
- c. Suhu operasi 5 – 40 °C
- d. panjang kabel 60cm
- e. konektor BNC

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan September 2016 sampai dengan April 2017 di *Greenhouse* dan Laboratorium Rekayasa Sumber Daya Air dan Lahan (LRSDAL), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

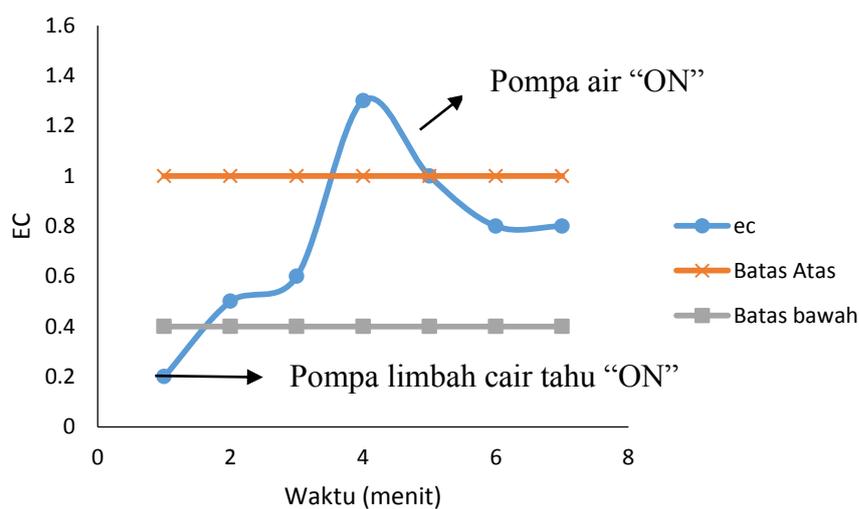
3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah mikrokontroler ATmega 328 jenis Arduino Uno, *shield* Arduino Uno, modul sensor EC meter, sensor suhu DS18B20, *Real Time Clock* (RTC) tipe DS1307, *Micro SD card module*, *relay module 4 channel* dan *2 channel*, 6 buah stop kontak *single*, kabel *jumper*, LCD 20 x 4, laptop, *power supply*, regulator, transistor, resistor, papan PCB, *breadboard*, EC meter merk Jenway model 4510, 2 bak penampung nutrisi, ember limbah, ember air, 6 buah pompa akuarium, aerator, dan pipa.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan AB *mix*, air, dan limbah cair tahu yang didapat dari industri tahu skala rumahan di daerah Jagabaya, Bandar Lampung.

3.3. Kriteria Desain

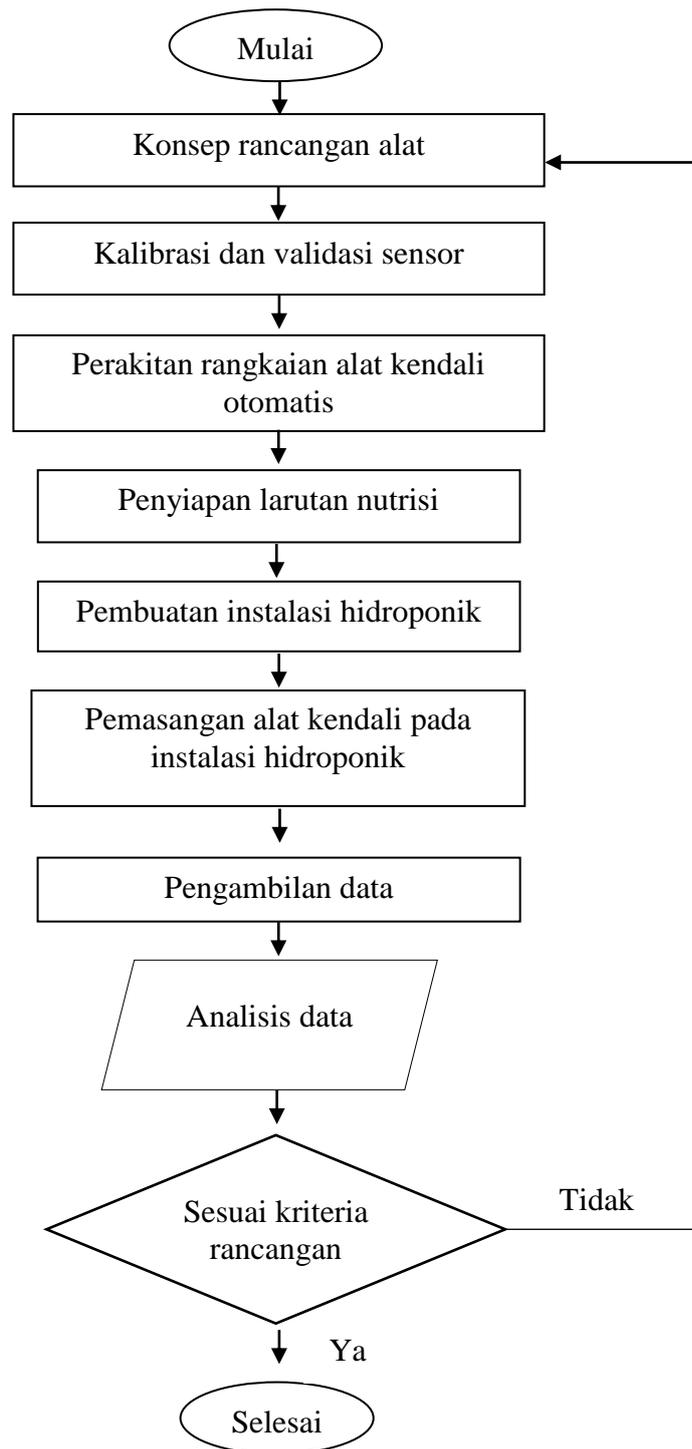
Penelitian ini mengenai rancang bangun alat kendali EC otomatis. Alat kendali ini dirancang untuk dapat bekerja secara kontinyu mengendalikan EC nutrisi hidroponik pada rentang 0,4 – 1 mS/cm. Nilai EC diperoleh dari pembacaan sensor EC yang diletakkan pada bak penampung nutrisi, ketika nilai pembacaan berada di luar nilai rentang, mikrokontroler memberi perintah pada aktuator (pompa) untuk mengembalikan nilai EC kembali pada nilai rentang, kemudian data perubahan EC direkam dan disimpan setiap satu menit sekali.



Gambar 4. Rencana Kriteria Desain

3.4. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dimulai dengan mengonsep rancangan alat, kalibrasi dan validasi sensor, perakitan alat kendali otomatis, penyiapan larutan nutrisi, pembuatan instalasi hidroponik, pemasangan alat kendali otomatis ke instalasi hidroponik, pengambilan data, dan analisis data. Prosedur penelitian dapat dilihat pada gambar 5.

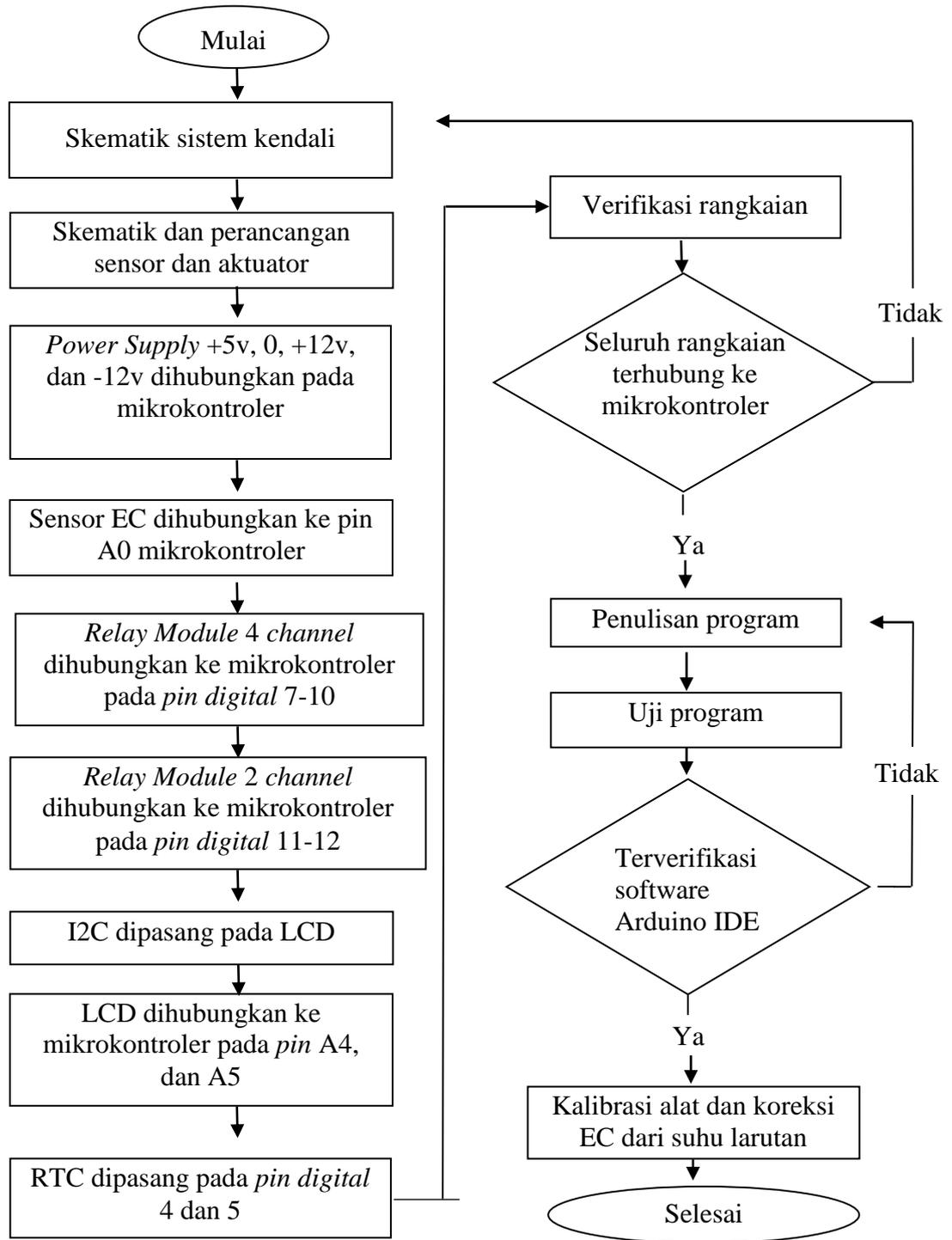


Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

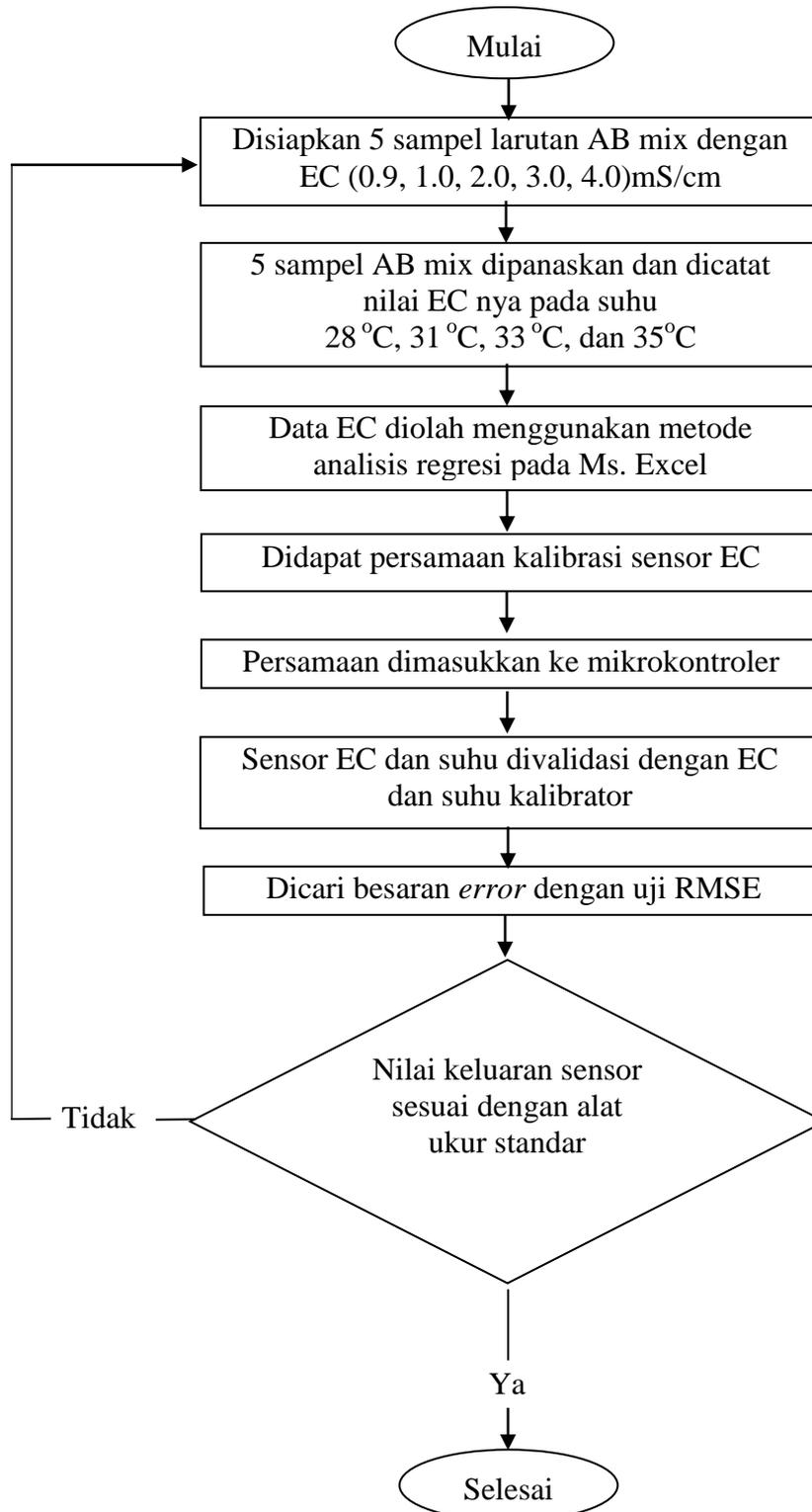
3.5. Perancangan Alat

Pada penelitian ini perancangan alat meliputi pembuatan skematik sistem kendali, skematik sensor dan aktuator, pemasangan *power supply*, dan pemasangan seluruh komponen hingga menjadi satu rangkaian alat kendali yang utuh. Setelah itu dilakukan verifikasi rangkaian, jika terdapat kesalahan atau komponen yang tidak terhubung, maka dilakukan perbaikan dari tahap skematik sistem kendali, namun jika rangkaian terverifikasi dengan baik, maka dilanjutkan pada tahap kalibrasi alat.

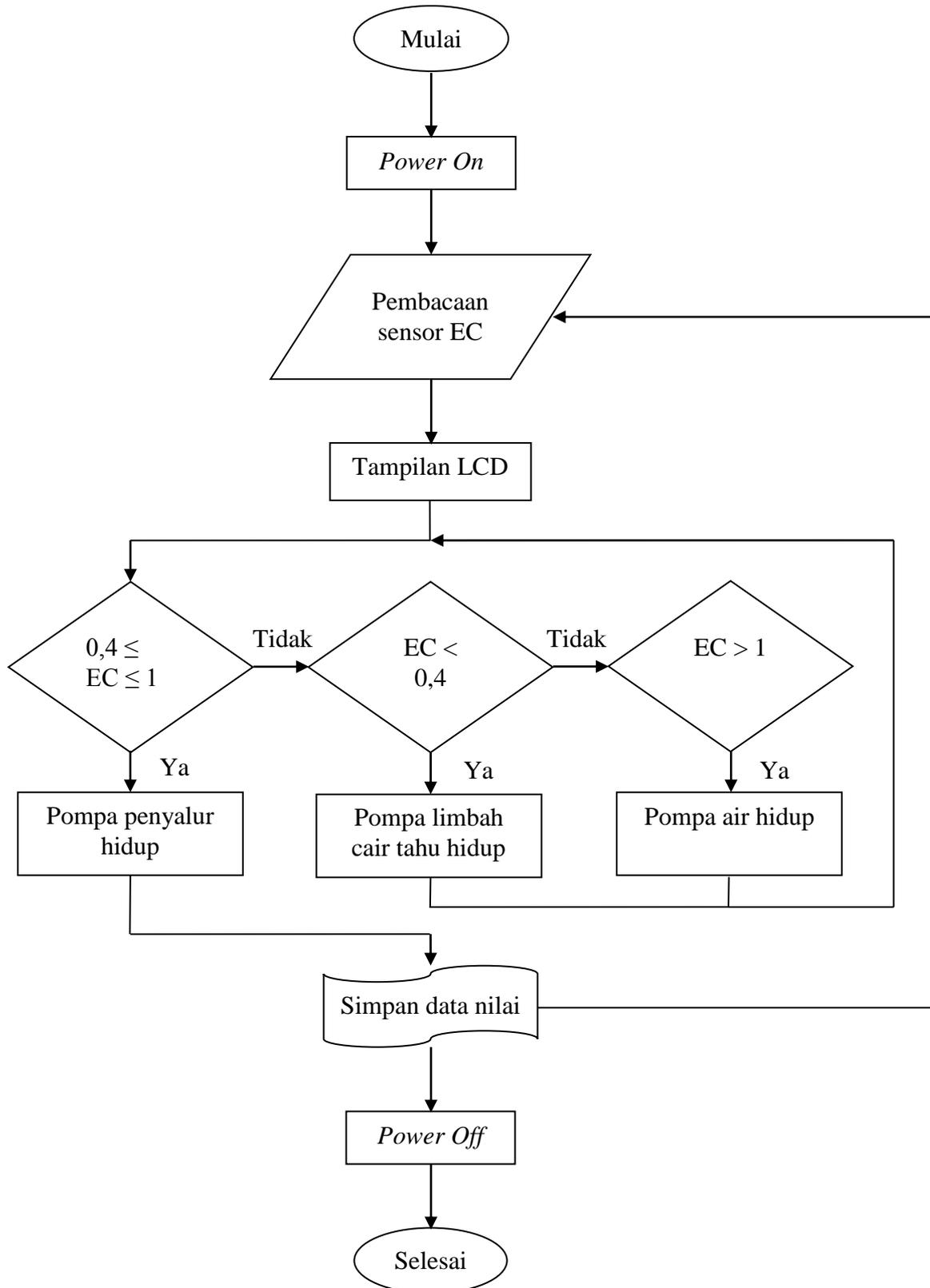
Tahap kalibrasi merupakan tahap penentuan nilai yang dikeluarkan oleh alat baru dengan cara membandingkan dengan nilai keluaran dari alat ukur standar dan tersertifikat. Pada tahap ini, sensor EC dibandingkan dengan alat EC standar, yaitu EC meter merk Jenway model 4510. Nilai yang ditunjukkan pada kedua alat dicatat dan dibandingkan, kemudian data diuji dengan analisis regresi linear sehingga didapat kekuatan hubungan antara sensor EC dengan alat EC meter standar. Analisis regresi bertujuan untuk mendapatkan angka kalibrasi EC yang tepat agar dapat bekerja secara optimal, kemudian dituliskan angka hasil analisis pada *software* Arduino IDE. Setelah tahap kalibrasi selesai, dilanjutkan dengan tahap validasi sensor. Tahap validasi bertujuan sebagai pembuktian bahwa nilai yang dikeluarkan oleh sensor sudah sesuai dengan alat standar.



Gambar 6. Diagram Perancangan Alat Kendali Otomatis



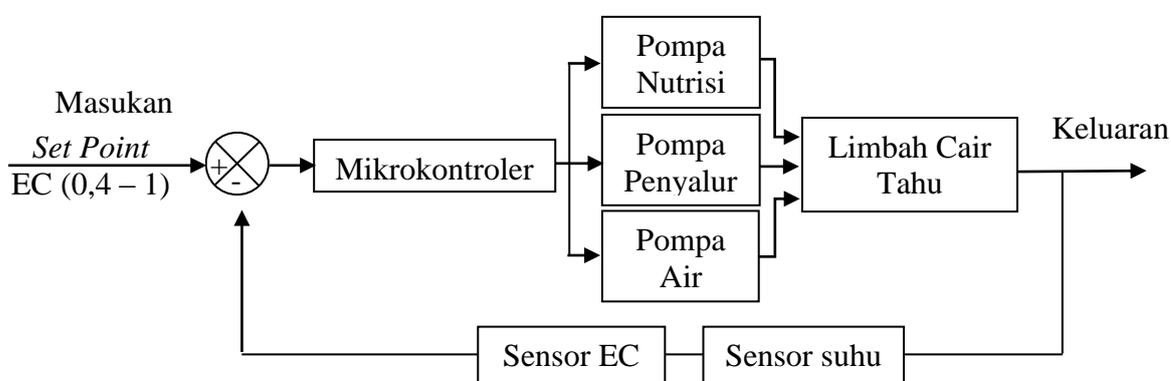
Gambar 7. Diagram proses kalibrasi dan validasi



Gambar 8. Diagram alir pemrograman

3.5.1. Perancangan Struktural

Alat kendali EC larutan nutrisi limbah cair tahu dirancang secara otomatis untuk mengendalikan EC limbah cair tahu agar sesuai dengan kriteria desain yang diharapkan. Proses perancangan ini meliputi tiga bagian, yaitu perangkat keras bagian sensor atau penginderaan, perangkat keras bagian pengolahan data hasil penginderaan, dan perlakuan aksi atau aktuator terhadap data hasil keluaran.



Gambar 9. Diagram blok sistem kendali limbah cair tahu

Pada perakitan bagian perangkat keras penginderaan, modul sensor EC dan suhu dihubungkan ke mikrokontroler, kemudian kedua probe sensor diletakkan pada permukaan limbah cair tahu. Pada bagian pengolahan data terdiri dari perangkat keras mikrokontroler, RTC, dan *Micro SD card*. Setelah semua perangkat terhubung, rangkaian dimasukkan ke sebuah kotak agar terlindung dari debu maupun air yang dapat merusak komponen. Pada bagian perlakuan aksi terdiri dari perangkat keras LCD, *relay*, dan aktuator yang dihubungkan ke mikrokontroler. Layar LCD menampilkan nilai pembacaan suhu dalam °C dan sensor EC dalam mS/cm, ketika nilai EC berada di luar kriteria, maka *relay* akan aktif dan memberi perintah ke aktuator untuk melakukan aksi sesuai kriteria yang telah ditentukan.

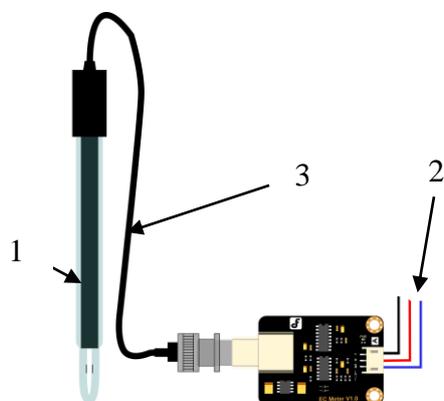
3.5.2. Perancangan Fungsional

Dalam penelitian ini dirancang sebuah sistem kendali berupa alat yang berfungsi untuk mengendalikan EC larutan nutrisi dengan cara meletakkan sensor pembacaan EC pada bak penampung nutrisi, kemudian mikrokontroler memberi perintah ke aktuator untuk menambah limbah cair tahu atau air ke bak penampung nutrisi secara *real time*.

Alat ini memiliki beberapa komponen yang memiliki fungsi kerja masing-masing, yaitu modul sensor EC meter, mikrokontroler Arduino Uno, modul *Real Time Clock* (RTC), modul *Micro SD card*, *Liquid Crystal Display* (LCD), modul *relay 4 channel* dan *2 channel*, dan pompa

a. Modul Sensor EC meter

Alat ini memiliki kaki elektroda yang berfungsi membaca nilai *Electrical Conductivity* (EC) atau daya hantar listrik pada larutan nutrisi. Alat ini terhubung pada mikrokontroler yang menerima sinyal data dari modul EC meter dan diteruskan ke komponen aktuator.



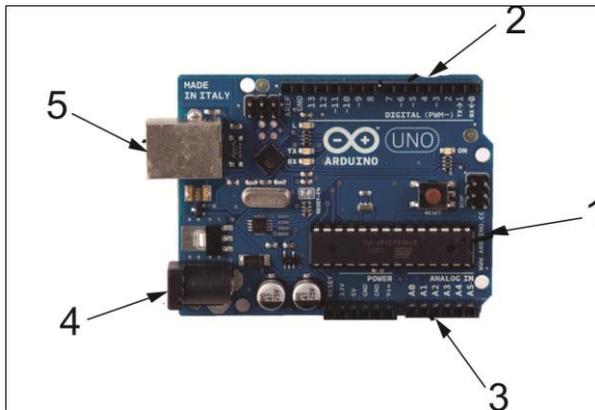
Keterangan :

1. Probe
2. Pengolah sinyal
3. Kabel penghubung / connector

Gambar 10. Modul sensor EC

b. Mikrokontroler

Komponen ini berfungsi untuk menerima dan mengolah sinyal data yang dikirimkan oleh sensor. Data yang telah diolah akan diteruskan ke komponen lain untuk disimpan, ditampilkan, dan dieksekusi oleh aktuator.



Keterangan :

1. Mikrokontroler
ATmega328
2. *Pin Digital*
3. *Pin Analog*
4. *Power Port*
5. *USB Port*
6. *Pin Power*

(Sumber: <http://www.arduino.cc>)

Gambar 11. Mikrokontroler Jenis Arduino Uno

c. *Real Time Clock (RTC)*

Real Time Clock (RTC) berfungsi memberikan informasi waktu selama pengoperasian alat, kemudian diolah oleh mikrokontroler dan disimpan pada *micro SDcard*.



(Sumber: <http://www.arduino.cc>)

Gambar 12. RTC DS1307

d. *Micro SD card Module*

Micro SDcard berfungsi sebagai *data logger* yang merekam seluruh aktifitas data yang berlangsung selama pengoperasian alat. Data yang terekam oleh *micro SD card* disimpan dalam format file *.txt.



(Sumber: <http://www.arduino.cc>)
Gambar 13. *Micro SD card Module*

e. *Liquid Crystal Display (LCD)*

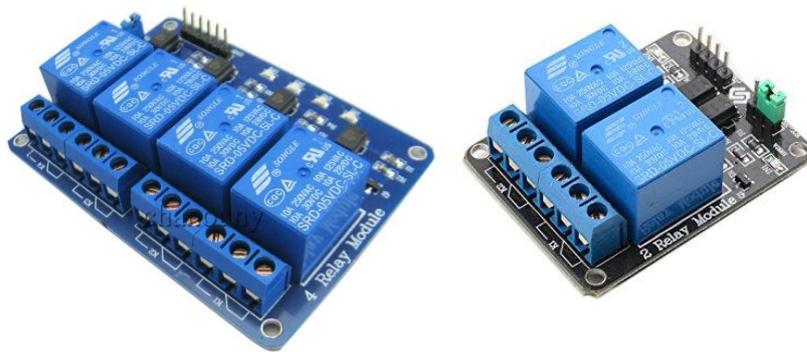
Liquid Crystal Display (LCD) berfungsi untuk menampilkan informasi waktu dan nilai EC yang telah diolah oleh mikrokontroler secara *real time*. Data yang ditampilkan dapat diperbarui setiap satu menit.



(Sumber: <http://www.arduino.cc>)
Gambar 14. LCD 20x4

f. *Relay Module*

Relay module berfungsi untuk menyambung atau memutus arus AC listrik bertegangan tinggi (220/110 volt). Proses pemutusan dan penyambungan arus listrik diatur oleh mikrokontroler. *Relay module* yang digunakan adalah jenis *4 channel* dan *2 channel*, karena akan menghubungkan 6 pompa secara langsung..



(Sumber: <http://www.sainsmart.com>)

Gambar 15. *Relay Module 4 Channel* dan *2 Channel*

g. Pompa Nutrisi dan Air

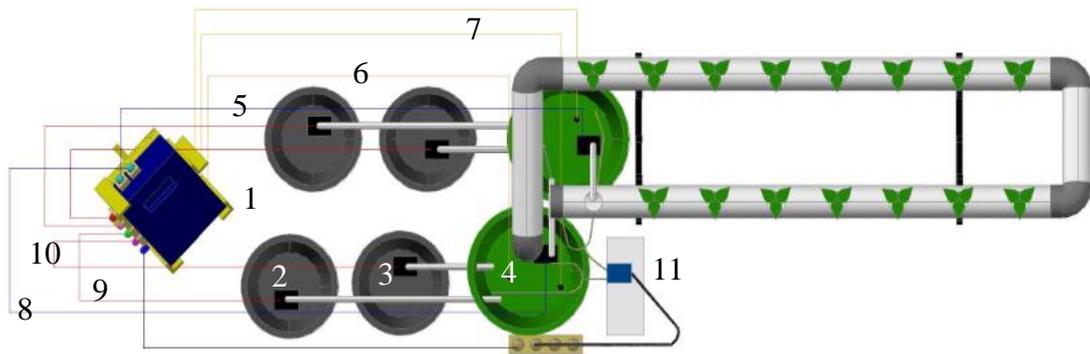
Komponen ini berfungsi sebagai aktuator untuk mengalirkan limbah tahu atau air ke dalam bak penampung nutrisi agar mencapai kondisi EC 0,4 - 1 mS/cm.

h. Pompa Penyalur Nutrisi

Pompa penyalur nutrisi berfungsi mengalirkan nutrisi dari bak penampung ke instalasi hidroponik. Pompa ini bekerja sesuai program yang sebelumnya telah di *input* ke mikrokontroler.

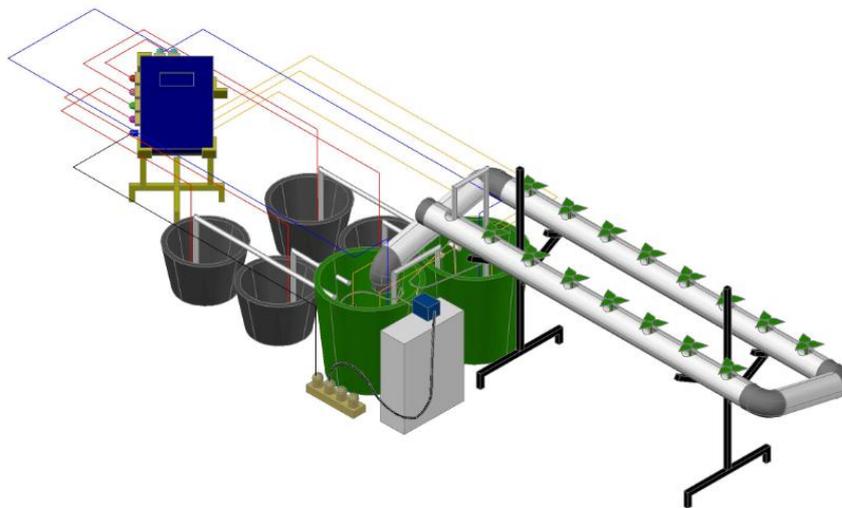
3.6. Mekanisme Kerja

Sistem kendali EC ini dibuat untuk dapat bekerja secara kontinyu. Terdapat dua sensor yang diletakkan di dalam bak penampung nutrisi, yaitu sensor suhu DS18B20 dan sensor EC. Masing-masing sensor akan mengindera besaran temperatur dan EC nutrisi. Hasil pembacaan sensor dikirimkan ke mikrokontroler kemudian ditampilkan pada LCD dan disimpan pada *Micro SD card*. Nilai hasil pembacaan EC ini akan dijadikan faktor utama untuk pemberian aksi dari mikrokontroler ke *relay* agar pompa “aktif” atau “padam”. Saat sensor mengukur nilai EC $< 0,4$ mS/cm, maka pompa limbah tahu akan aktif, jika EC > 1 mS/cm maka pompa air akan aktif, kemudian jika nilai EC telah berada pada $0,4-1$ mS/cm atau nilai rentang, maka pompa nutrisi akan aktif untuk kemudian dikirim ke bak pengendali pH. Setelah pH dikontrol, pompa pada bak penampung pH akan mengirim nutrisi ke instalasi hidroponik. Setelah melalui instalasi hidroponik, nutrisi dialiri kembali ke bak penampung EC, dan mikrokontroler akan mengulangi proses dari awal hingga selesai.



- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 6. Tempat mikrokontroler | 1. Pipa hidponik |
| 7. ember penampung air | 2. Kabel pompa nutrisi |
| 8. ember penampung limbah cair tahu | 3. Kabel pompa air |
| 9. ember penampung nutrisi | 4. Kabel pompa limbah cair tahu |
| 10. Kabel sensor EC | 5. Aerator |
| 11. Kabel sensor suhu | |

Gambar 16. Rancangan Alat



Gambar 17. Rancangan Alat Tampak Isometri

3.7. Analisis Data

Pada tahap ini data direkam oleh mikrokontroler setiap 1 menit dan dilakukan selama 48 jam pengujian alat. Setelah direkam, data disimpan ke dalam *Micro SD card* dengan format file *.txt. Selanjutnya data dipindahkan ke Microsoft Excel

untuk dilakukan analisis. Data analisis diperoleh dari pengujian alat berupa kalibrasi, validasi, serta uji kinerja, kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

Pada proses kalibrasi dan validasi akan dicari koefisien korelasi (r), koefisien determinasi (R^2), dan koefisien *root mean square error* (RMSE).

1. Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi (r) digunakan untuk mencari hubungan dan membuktikan hipotesis hubungan dua variabel bebas (suhu dan pH) dan terikat (EC). Nilai koefisien nantinya akan terletak antara $-1 \leq r \leq 1$. Nilai r yang diperoleh bertanda positif menunjukkan korelasi antara nilai x dan y positif. Dan sebaliknya jika nilai r yang bertanda negatif, menunjukkan korelasi antara x dan y negatif.

2. Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk menentukan besarnya kontribusi variabel bebas terhadap variabel terikat. Nilai dari koefisiensi determinasi (R^2) mempunyai interval antara 0 sampai 1 ($0 \leq R^2 \leq 1$) (Sugiyono, 2007).

3. Koefisien *Root Mean Square Error* (RMSE)

RMSE digunakan untuk mengetahui besaran *error* alat sensor terhadap kalibrator. RMSE merupakan akar dari total kuadratis rata-rata simpangan antara data observasi (keluaran kalibrator) dengan hasil prediksi model (keluaran sensor). Jika simpangan dari seluruh data semakin kecil maka nilai RMSE juga semakin kecil sehingga dapat dikatakan hasil prediksi semakin akurat (Saputra, 2016). Uji RMSE menggunakan rumus :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (K_i - S_i)^2}$$

n = jumlah data

O_i = nilai keluaran kalibrator

P_i = nilai keluaran sensor

3.8. Uji Kinerja Alat

Pengujian alat berupa keakurasian aktuator, rerata waktu pengendalian, respon system, dan kestabilan aktuator. Keakurasian menunjukkan bahwa seberapa dekat nilai keluaran dari suatu alat dengan *setting point* yang diinginkan. Nilai keakurasian dapat dihitung menggunakan selisih dari nilai akurasi dan nilai ketidakakurasian. Dapat dilihat pada persamaan (3.1) dan (3.2)

$$\text{Ketidakakurasian} = \frac{\bar{X}}{SP} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n |SP - NA_i|}{n} \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan :

\bar{X} = nilai rata-rata

SP = nilai *setting point*

NA = nilai aktual

n = jumlah data

$$\text{Keakurasian} = 100\% - \text{Ketidakakurasian (dalam bentuk \%)} \dots\dots\dots (3.3)$$

Waktu pengendalian menunjukkan seberapa cepat suatu alat agar mampu mengendalikan suatu nilai untuk mencapai *setting point* yang ditentukan. Cara perhitungannya dengan menggunakan persamaan (3.4).

$$RWP = \frac{WP1 + WP2 + WP3 + \dots + WPn}{JO} \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan:

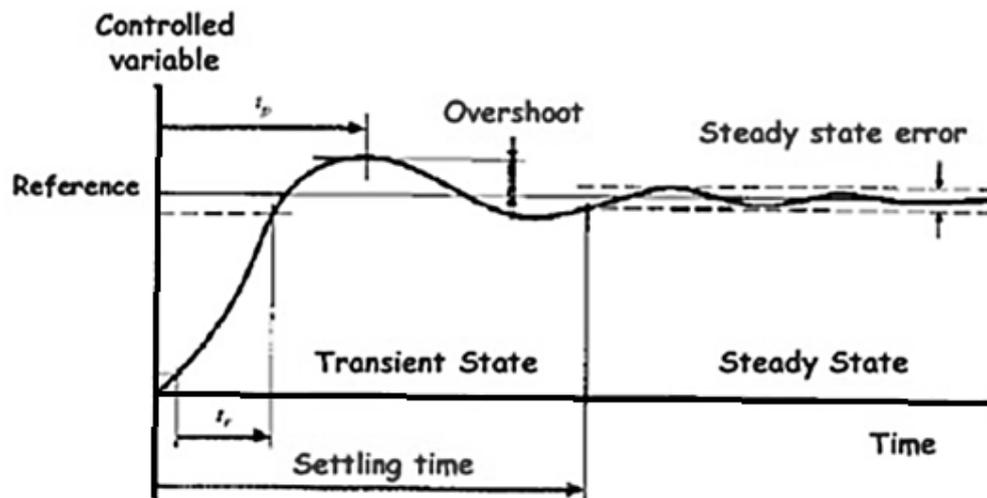
RWP = Rerata waktu pengendalian (menit)

WP = Waktu pengendalian (menit)

JO = Jumlah aktuator ON

Respon sistem menunjukkan kecepatan alat dalam mengembalikan nilai terhadap sinyal gangguan yang masuk. Respon sistem dibedakan menjadi dua, yaitu respon *transient* dan respon *steady state*. Respon transient mengukur waktu yang diperlukan sistem dari awal dihidupkan (titik 0) hingga mencapai nilai yang diinginkan, semakin kecil waktu, maka sistem akan semakin cepat. Respon *steady state*, mengukur waktu saat sistem telah berada pada keadaan stabil hingga waktu tidak terhingga (Ogata, 1991).

Selain itu, respon sistem juga digunakan untuk menganalisa jenis sinyal masukan terhadap karakteristik sistem berdasarkan kurva. Jenis sinyal masukan ini dapat dilihat dari bentuk masukan yang sering terjadi pada sistem. Jika masukan merupakan fungsi waktu yang tidak ditentukan, maka termasuk dalam fungsi “*ramp*”. Jika sistem dikenai gangguan secara bertahap, maka termasuk dalam fungsi tangga (*step*), dan untuk sistem yang dikenai gangguan kejut yang cukup besar, maka termasuk dalam fungsi impuls (Ogata, 1991).



(Sumber : Ogata, 1991)

Gambar 18. Kurva *Transien* dan *Steady State*

Uji kinerja selanjutnya, yaitu stabilitas. Stabilitas menunjukkan kemampuan suatu alat menghasilkan kinerja yang tetap atau tidak mengalami perubahan yang signifikan. Ketidakstabilan pada sistem kendali ini berpengaruh terhadap pengendalian nilai EC limbah cair tahu untuk dijadikan nutrisi hidroponik. Jika EC yang dikendalikan melewati batas, maka syarat untuk digunakan sebagai larutan nutrisi hidroponik tidak terpenuhi.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem kendali EC otomatis bekerja dengan baik karena sesuai dengan kriteria desain yang ditentukan
 - a. Hasil kalibrasi sensor suhu terhadap kalibrator menunjukkan hubungan kuat dengan nilai $r = 99,92\%$, sehingga didapat persamaan suhu,
$$T = (0,9446 * \text{suhu sensor}) + 2,2498$$
 - b. Hasil validasi sensor suhu dengan kalibrator menghasilkan nilai *error* dengan uji RMSE sebesar 0,16
 - c. Kalibrasi EC dengan sensor suhu menunjukkan hubungan kuat dengan nilai $r = 99,22\%$, kalibrasi sensor EC dengan kalibrator juga menunjukkan hubungan kuat dengan nilai $r = 99,83\%$, namun kalibrasi sensor EC dengan sensor pH menunjukkan hubungan yang lemah dengan nilai $r = 14,63\%$. Sehingga fungsi yang digunakan untuk membuat persamaan ke dalam sensor EC, yaitu dari suhu dan mV
$$EC = ((0.0015328 * \text{suhu}) + (0.0054178 * \text{mV}) + 0.024268$$
 - d. Hasil validasi sensor EC dengan kalibrator menghasilkan nilai *error* dengan uji RMSE sebesar 0,028

2. Hasil uji kinerja aktuator menunjukkan :
 - a. keakurasian sebesar 89,4%,
 - b. rerata waktu pengendalian sebesar 4 menit 25 detik,
 - c. respon sistem jenis transient dengan waktu 89 detik hingga mencapai kestabilan, dan membentuk kurva fungsi tangga (*step*)
 - d. stabilitas yang baik karena pembacaan sensor tidak menunjukkan perubahan nilai EC yang signifikan.

5.2. Saran

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

1. Penggunaan aerator pada bak nutrisi dirasa kurang efektif, karena masih banyak flok yang terendap di dasar bak, sehingga diperlukan komponen yang mampu melakukan pengadukan sehingga tidak ada lagi yang terendap.
2. Perlunya uji coba alat kendali EC untuk menguji pertumbuhan tanaman

DAFTAR PUSTAKA

- Arduino, 2016. <http://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>, diakses pada tanggal 21 Mei 2016
- Asmoro, Y., Suranto, dan Sutoyo, D. 2008. Pemanfaatan Limbah Tahu Untuk Peningkatan Hasil Tanaman Petsai (*Brassica Chinensis*). *Jurnal Bioteknologi*. 5 (2) : 51-55.
- Darmawan, D., Katriani, L., dan Setiawan, A. 2013. Rancang Bangun Pototype Sistem Kontrol Temperatur Menggunakan Sensor DS18B20 Pada Inkubator Bayi. Laporan Penelitian. Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Delya, B., Tusi, A., Lanya, B., dan Kadir, M, Z. 2014. Rancang Bangun Sistem Hidroponik Pasang Surut Otomatis Untuk Budidaya Tanama Cabai. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* 3 (3): 205-212
- Djuandi, F. 2011. *Pengenalan Arduino*, www.tobuku.com. Diakses pada tanggal 21 Mei 2016
- Fadilah, N. 2015. Pengaruh Konsentrasi Dan Frekuensi Penyiraman Limbah Cair Tahu Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Rosella (*Hibiscus Sabdariffa*). Naskah Publikasi. Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan Universitas, Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Franata, R. 2014. Rancang Bangun Sistem Irigasi Tetes Otomatis Berbasis Perubahan Kadr Air Tanah Menggunakan Mikrokontroller Arduino Nano. *Skripsi*. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Lampung.
- Ghozali, I. 2011. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 19 (Edisi 5)*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang.
- Irwan, F. dan Afdal. 2016. Analisis Hubungan Konduktivitas Listrik dengan Total Dissolved Solid (TDS) dan Temperatur pada Beberapa Jenis Air. *Jurnal Fisika Unand* 5 (1): 37-44

- Kaswinarni, F. 2007. “*Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu*”. Thesis. Semarang: Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro
- Mitescu, M. dan Susnea, I. 2005. “*Sringer Series, Advanced Microelectronics, Microcontrollers in practice*”. Springer,
- Madhawirawa, A., F. 2013. Trainer Mikrokontroler Atmega32 Sebagai Media Pembelajaran Pada Kelas Xi Program Keahlian Audio Video Di SMK Negeri 3 Yogyakarta. Jurusan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta
- Mansyur, A. N., Triyono, S., Tusi, A., dan Kadir, M, Z. 2013. Pengaruh Jumlah Baris Naungan Terhadap Pertumbuhan Sawi (*brassica juncea l.*) pada sistem DFT (*Deep Flow Technique*). *J. Teknik Pertanian Lampung* 3 (2): 103-110.
- Ogata, K. 1991. *Modern Control Engineering (Fifth Edition)*. Pearson Education. New Jersey.
- Rakhman, A. 2015. Pertumbuhan Tanaman Sawi Menggunakan Sistem Hidroponik dan Akuaponik. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 4 (4): 245-254
- Rosalina, R. 2008. Pengaruh Konsentrasi dan Frekuensi Penyiraman Air Limbah Tempe sebagai Pupuk Organik terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *skripsi*. Malang: Jurusan Biologi, Universitas Islam Negeri Malang. Malang.
- Sadzali, I. 2010. Potensi limbah tahu sebagai biogas. *J. Universitas Indonesia untuk Bangsa Seri Kesehatan, Sains, dan Teknologi* 1(1): 64–65.
- Said, N, I., dan Wahyono, D, H. 1999. Teknologi Pengolahan Limbah Tahu-Tempe Dengan Proses Biofilter Anaerob dan Aerob. BPPT. Jakarta.
- Sainsmart, 2016. <https://www.sainsmart.com/products/4-channel-5v-relay-module>, diakses pada 23 Mei 2016.
- Sudarmi. 2013. Pentingnya Unsur Hara Mikro Bagi Pertumbuhan Tanaman. *Widyatama*, 2(22): 178-183.
- Sugiyono. 2007. *Statistika untuk Penelitian*. Alfabeta. Bandung.
- Susila, A., D. 2013. *Sistem Hidroponik Modul V*. Departemen Agronomi Dan Hortukultura Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor

- Telaumbanua, M., Purwantana, B., dan Sutiarmo, L. 2015. Rancang bangun Aktuator Pengendalian Iklim Mikro di *Greenhouse* Untuk Budidaya Tanaman Sawi (*Brassica rappa* Var. *Parachinensis* L.). *J. Agritech* 34 (2): 213-222.
- Subandi, M. N., Salam, P., dan Frasetya, B. 2015. Pengaruh Berbagai Nilai EC (Electrical Conductivity) Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Bayam (*Amaranthus* Sp.) Pada Hidroponik Sistem Rakit Apung (Floating Hydroponics System). *Jurnal Istek* 9 (2): 11