

Sistem Kendali dan *Monitoring* Parameter Limbah Cair Tahu sebagai Larutan Nutrisi Tanaman Hidroponik Bebas *Internet of Things*

Control and Monitoring System of Tofu Liquid Waste Parameters as a Hydroponic Plant Nutrient Solution free of Internet of Things

Tri Rahajoeningroem^{*}, Asgia Setya Mardika

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer

Universitas Komputer Indonesia Jl. Dipati ukur No 112, Bandung

*Email : tri.rahajoeningroem@email.unikom.ac.id

Abstrak - Pada proses pembuatan tahu, tahu menghasilkan dua macam limbah yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah cair tahu dapat dimanfaatkan menjadi pupuk organik cair. Salah satu cara pengolahan limbah cair tahu dengan menjadikannya pupuk organik cair yaitu melalui pencampuran limbah cair tahu dengan air baku, larutan asam dan juga larutan basa. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem *monitoring* dan kendali yang mampu menghasilkan pupuk organik cair bagi tanaman selada yang dibudidayakan secara hidroponik dengan menggunakan mikrokontroler ATmega 2560 dan bantuan rekayasa teknologi berupa *Internet of Things (IoT)* menggunakan bahan dasar limbah cair tahu. Penerapan teknologi ini, pada proses pembuatan pupuk organik cair dan juga proses pemupukan salah satunya yakni dengan penerapan teknologi berbasis *IoT*. sistem ini dapat memberikan informasi penting berupa tingkat kebutuhan nutrisi, suhu serta pH sebagai acuan keberhasilan pemupukan yang dapat di *monitoring* dan dikendalikan batas kebutuhannya setiap saat. Pupuk organik cair yang dihasilkan dengan bantuan sistem yang dirancang telah memenuhi standarisasi kualitas pupuk organik cair yang memiliki tingkat kepekatan nutrisi dengan kisaran nilai 810,14 ppm sampai 839,81 ppm, kisaran nilai suhu 26,28°C sampai 27,18°C dan pH dengan kisaran nilai 6,11 sampai 6,99 dimana hal ini dapat dibuktikan dengan mengacu kepada aturan Surat Keputusan Menteri Pertanian No: 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang persyaratan teknis minimal pupuk organik dan PERMEN LH RI No.5 tahun 2004 tentang nilai standar baku mutu limbah. Hasil dari penerapan perancangan sistem ini menghasilkan sayuran selada yang memiliki bobot 25 gram dan tinggi 20 cm. Sistem monitoring jarak jauh ini juga dapat mengirim data informasi mengenai larutan hidroponik berupa nilai TDS, suhu, pH juga kondisi dari pompa yang menyala maupun mati dengan delay waktu kurang dari 8 detik.

Kata kunci : Limbah Tahu, Pupuk Organik Cair, *Internet of Things*, Hidroponik, Mikrokontroler Atmega 2560.

Abstract - In the manufacturing process of tofu, tofu produces two kinds of waste, namely solid waste and liquid waste. Tofu liquid waste can be used as liquid organic fertilizer. One way to treat tofu liquid waste is to make liquid organic fertilizer, namely by mixing tofu liquid waste with raw water, acid solution and also alkaline solution so that it can be used as liquid organic fertilizer. This study aims to design and produce a monitoring and control system that is able to produce liquid organic fertilizer for lettuce plants that are cultivated hydroponically with the help of technological engineering. The application of technology in the process of making liquid organic fertilizer and also the fertilization process, one of which is the application of technology based on the *Internet of Things (IoT)* which can provide important information such as the level of nutritional needs, temperature and pH as a reference for the success of fertilization which can be monitored and controlled for the limits of its needs. at all times. Liquid organic fertilizer produced with the help of a system designed has met the quality standard of liquid organic fertilizer which has a nutrient concentration level with a value range of 810.14 ppm to 839.81 ppm, a temperature value range of 26.28°C to 27.18°C and a pH with the range of values is 6.11 to 6.99 where this can be proven by referring to the Decree of the Minister of Agriculture No: 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 concerning the minimum technical requirements for organic fertilizer and the regulation of the Minister of the Environment of the Republic of Indonesia No. .5 of 2004 concerning the value of waste quality standards. The result of this system produce lettuce wich has a weight 25 grams and a height of 20 cm. This remote monitoring system can also send information data about hydroponic solutions in the form of TDS values, temperature, pH as well as the condition of the pump that is on or off with a time delay of less than 8 seconds.

Keywords : *Tofu Liquid Waste, Liquid Organic Fertilizer, Internet of Things, Hydroponics, Microcontroller Atmega 2560.*

I. PENDAHULUAN

Salah satu metode pengolahan limbah cair tahu adalah dengan membuat pupuk organik cair, yaitu proses mencampur cairan limbah tahu dengan air baku, larutan asam dan larutan alkali untuk membuat pupuk organik cair. Penerapan teknologi dalam proses pembuatan pupuk organik cair dan proses pemupukan, salah satunya adalah penerapan teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat memberikan informasi penting seperti kebutuhan nutrisi, suhu dan pH sebagai acuan untuk pemupukan yang berhasil, yang dapat digunakan setiap saat. Pantau dan kendalikan batas yang diperlukan.

Pupuk organik cair yang dihasilkan melalui rancangan sistem telah memenuhi baku mutu pembuatan pupuk organik cair. Dimana rancangan sistem ini memiliki tingkat konsentrasi hara berkisar antara 810,14 ppm sampai dengan 839,81 ppm, nilai suhu berkisar antara 26,28°C sampai dengan 27,18°C, dan nilai pH berkisar antara 6,11 sampai dengan 6,99 pH. Hal ini dapat dibuktikan dengan mengacu kepada Peraturan Menteri Pertanian No: 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang persyaratan teknis minimal pupuk organik dan PERMEN LH RI No.5 tahun 2004 tentang nilai standar baku mutu limbah.

A. Latar Belakang

Tahu merupakan salah satu makanan tradisional yang paling terkenal dan banyak digemari oleh masyarakat Indonesia. Tahu terbuat dari endapan perasan kacang kedelai. Proses produksi pada tahu menghasilkan produk lain berupa limbah padat dan juga limbah cair. Cairan limbah tahu memiliki sifat tereduksi seperti *Total Suspended Solid* (TSS) sebagai zat yang tersuspensi, *Total Dissolved Solid* (TDS) sebagai zat padatan terlarut, *Biological Oxygen Demand* (BOD) sebagai parameter oksigen yang dibutuhkan bakteri dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebagai jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik. Dilihat dari sisi negatifnya kandungan yang terdapat pada air limbah tahu tersebut memiliki zat pencemar yang tinggi sehingga kadar oksigen dalam air tersebut akan menurun. Akan tetapi dalam sisi positifnya kandungan limbah cair tahu dapat diolah menjadi pupuk organik cair bagi tanaman. TSS, TDS, BOD dan COD yang sudah melalui proses pengolahan dapat digunakan sebagai larutan nutrisi tanaman hidroponik. Pengontrolan pemupukan/penutrisian,

suhu dan pH secara manual dapat menyebabkan risiko kurangnya nutrisi yang dibutuhkan bagi tanaman. Pengontrolan penutrisian, suhu dan pH sendiri merupakan faktor penting dalam sistem hidroponik. Salah satu upaya yang dapat dilakukan agar tidak ada risiko kekurangan nutrisi yaitu dengan cara memonitoring dan mengendalikan pemberian nutrisi, suhu dan pH secara otomatis menggunakan *mikrokontroler* [1].

Proses produksi tahu pada dasarnya menghasilkan dua macam limbah, antara lain limbah padat dan limbah cair. Selama ini dampak dari limbah padat belum begitu terasa karena masih bisa dimanfaatkan dengan cara digunakan untuk pakan hewan ternak, namun dampak pada limbah cair tahu akan menimbulkan bau yang tidak sedap dan juga adanya pencemaran apabila limbah cair tersebut langsung dibuang ke sungai. Limbah cair yang dibuang ke sungai akan menimbulkan pencemaran pada sungai yang menyebabkan ekosistem dalam sungai tersebut terganggu. Limbah cair tahu didapatkan dari buangan sisa-sisa proses perendaman, pencucian, penggilingan, perebusan, dan penyaringan. Setiap 1 kg bahan baku kedelai mampu menghasilkan limbah cair tahu sebanyak 15-20 liter [2].

Limbah cair tahu memiliki kandungan BOD 6000-8000 mg/l dan COD 7500-14000 mg/l, jika dibandingkan dengan PERMEN LH Nomor 15 Tahun 2008 tentang baku mutu air limbah bagi usaha atau kegiatan pengolahan kedelai. Dengan batas kandungan BOD 100 mg/l, COD 300 mg/l maka perlu adanya pengolahan limbah cair karena air limbah tahu sudah melampaui baku mutu yang telah ditetapkan [3].

Banyak industri penghasil tahu yang masih kesulitan dalam membuang limbah produksinya, sehingga banyak limbah cair tahu yang terbuang dan berujung pada pencemaran air, akar penyakit, bau tak sedap, tumbuhnya nyamuk dan merusak keindahan lingkungan sekitarnya. Banyak industri yang mencoba memanfaatkan ampas tahu ini sebagai pakan ternak, namun karena nilai jualnya yang rendah dan tidak sebanding dengan biaya pengangkutannya, sebagian besar industri tahu cenderung membuangnya [4].

Saat ini telah ada teknologi yang mampu menurunkan karakteristik TSS, BOD, dan COD seperti yang dilakukan oleh Said dan Wahjono [5]. Cara pengolahannya memfilter air limbah industri tahu dengan filter anaerob-aerob. Hasil yang didapat mampu menurunkan kandungan TSS,

BOD, dan COD berturut-turut sebesar 94%, 89,4%, dan 88,2%. Limbah cair tahu yang sudah mengalami penurunan karakteristiknya mampu dimanfaatkan sebagai larutan nutrisi hidroponik. Sutrisno melakukan fermentasi limbah cair tahu dengan bantuan *Effective Microorganisms 4* (EM4) [6]. Hasil dari fermentasi tersebut mampu memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan sawi hijau yang ditinjau dari parameter tinggi tanaman dan biomassa basah tanaman. Pada akhir pengamatan nilai pH nya masih tergolong rendah yaitu dengan nilai pH sebesar 5, sehingga perlu penanganan lebih lanjut untuk menaikkan pH.

Beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam proses pembuatan pupuk organik cair tahu adalah kualitas dari limbah cair tahu yang meliputi TSS, TDS, BOD, COD, suhu dan pH limbah. Dimana TDS dikategorikan sebagai padatan terlarut dalam limbah yang memiliki nilai daripada kebutuhan nutrisi. Adapun kebutuhan nutrisi tanaman selada yaitu berkisar antara 560ppm sampai 840ppm [7]. Adapun nilai suhu, ketika nilai suhu limbah cair tahu mendekati pada nilai kebutuhan nutrisi tanaman selada maka tanaman akan semakin banyak mengkonsumsi oksigen dan akan semakin baik bagi pertumbuhan tanaman. Kebutuhan suhu air yang dibutuhkan tanaman selada pada limbah cair tahu berkisar antara 25°C-28°C. Suhu yang lebih rendah dari 25°C dan lebih tinggi dari 28°C maka tanaman selada tersebut akan mengalami penghambatan dalam masa pertumbuhannya.

Selain nilai TDS dan nilai suhu ada juga nilai pH atau tingkat keasaman yang perlu diperhatikan pada saat proses penutrisian, pengendalian pH yang baik harus dilakukan setiap hari, karena nilai pH dapat berubah sewaktu-waktu. Pada sistem hidroponik nilai pH yang optimum berkisar antara 5,5 sampai 6,8 karena unsur hara pada larutan nutrisi dapat terserap dengan baik oleh tanaman [8]. Tingkat pH disebabkan oleh konsentrasi gas di dalam air seperti CO₂, konsentrasi karbonat dan bikarbonat, serta proses penguraian bahan organik. Saat ini, kontrol pH masih dapat dilakukan secara manual menggunakan pengukur pH. Diperlukan banyak waktu untuk mengontrol pH secara manual, sehingga dapat menyebabkan risiko keterlambatan dalam memeriksa pH. Jika terjadi keterlambatan dalam pelaksanaan kontrol tersebut, dapat mempengaruhi kondisi tanaman. Untuk mengurangi risiko tersebut, salah satu tugasnya adalah menggunakan mikrokontroler untuk mengontrol nilai pH secara otomatis [1].

B. Tinjauan *State of Art*

Sistem ini sudah pernah dibuat pada beberapa penelitian sebelumnya. Pada penelitian González Linch, E., Medina Moreira, J., Alarcón Salvatierra, A., Medina Anchundia, S., dan Lagos Ortiz, K, mereka membuat media tanam hidroponik yang sudah menggunakan pengendalian pH air secara otomatis pada penelitian dengan judul “*Automated Hydroponic Modular System*” [9]. Pada penelitian yang kedua yaitu dilakukan oleh Crisnapati, P. N., Wardana, I. N. K., Aryanto, I. K. A. A., dan Hermawan, A. tentang pengendalian nutrisi otomatis dengan judul “*Hydroponic Management and Monitoring System for an IOT Based NFT Farm Using Web Technology*” [10]. Pada penelitian tersebut telah menghasilkan sebuah alat untuk mengendalikan pH air tanaman hidroponik yang hanya dapat memonitoring pH, nutrisi dan suhu. Namun pada penelitian pertama proses kontrolnya sebatas mengendalikan pH air tanaman hidroponik, sedangkan pada penelitian yang kedua sebatas memonitoring pH, suhu, dan ketinggian air nutrisi hidroponik tanpa adanya pengontrolan [11]. Adapun penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh penulis adalah penelitian yang dilakukan Wiranto, Rahajoeningroem, dan Fernanda yang berjudul “*Monitoring Water Quality Using Turbidity Sensor Metode Nephelometric Base on Raspberry PI 3*” [12].

C. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sebuah sistem yang dapat memanfaatkan limbah cair tahu menjadi larutan nutrisi untuk tanaman hidroponik dengan parameter bacaan nilai TDS, suhu dan pH yang dapat memberikan sebuah informasi secara *real time*. Parameter larutan hidroponik tersebut dapat diakses melalui *website* dan dapat mengendalikan nilai TDS, nilai suhu dan nilai pH limbah cair tahu secara otomatis sesuai dengan kebutuhan larutan nutrisi pada tanaman selada.

D. Sistematika Pembahasan

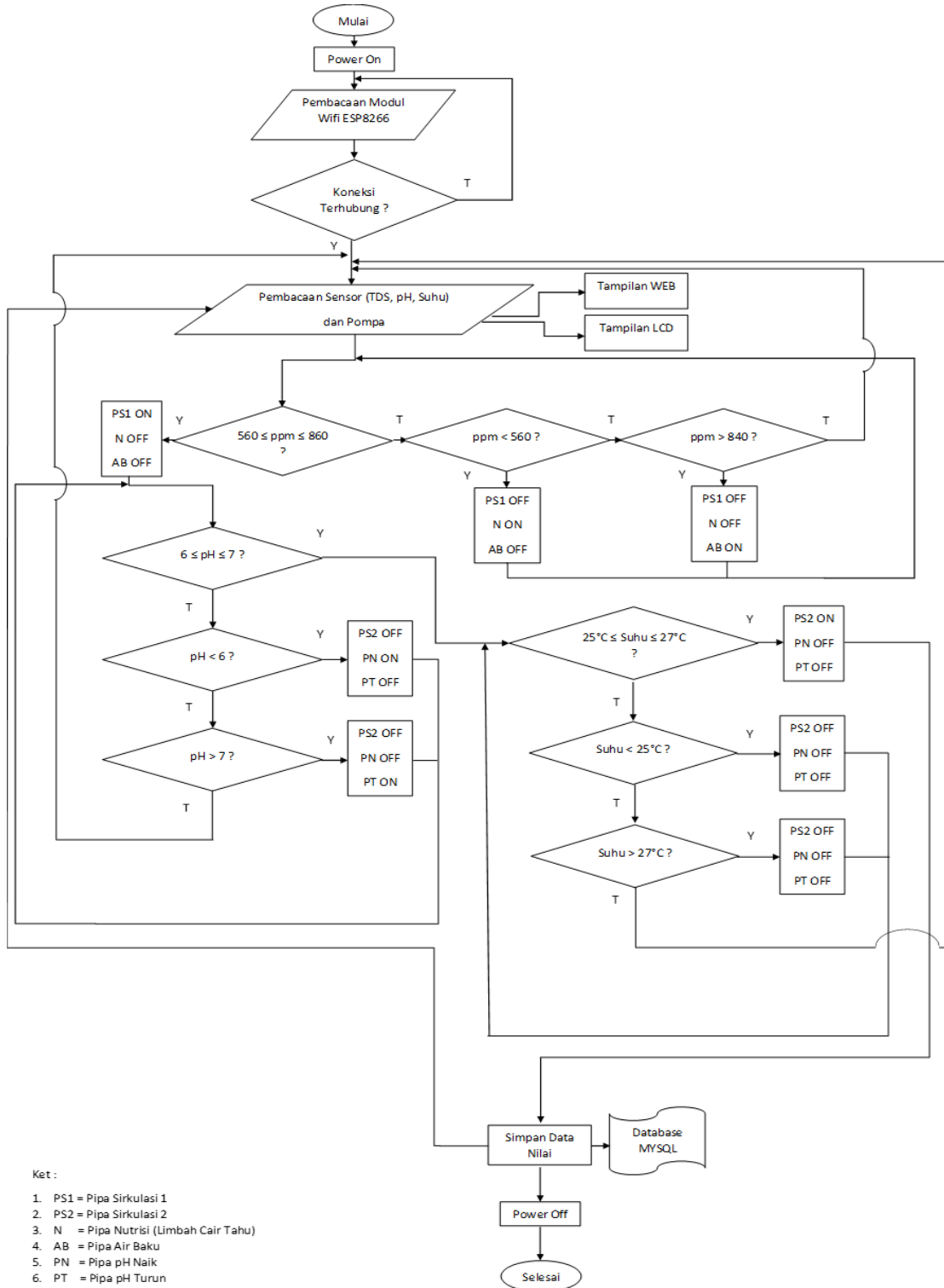
Jurnal ini diorganisasikan sebagai berikut. Bagian metodologi akan membahas mengenai blok diagram serta algoritma perancangan sistem monitoring dan kendali parameter limbah cair industri tahu sebagai larutan hidroponik berbasis IoT. Bagian hasil dan pembahasan akan membahas mengenai hasil dari pengujian. Bagian kesimpulan akan membahas kesimpulan dan saran dari penelitian.

II. METODOLOGI

A. Perancangan Sistem Keseluruhan

Pada perancangan ini dibuat sebuah sistem kendali berupa alat yang dapat mengendalikan nilai TDS, suhu dan pH pupuk organik cair/ larutan nutrisi secara otomatis dengan memanfaatkan limbah cair tahu sebagai bahan baku nutrisi. Alat ini memiliki beberapa komponen fokus utama

yaitu seperti sensor TDS Meter v1.0 sebagai pembaca nilai nutrisi, DS18B20 sebagai sensor pembaca nilai suhu, sensor pH 4052-C sebagai pembaca nilai pH, Arduino ATmega 2560 sebagai mikrokontroler, LCD sebagai display, dan driver mosfet sebagai pengatur tegangan dan arus pada pompa. Adapun alur proses dari sistem yang dirancang dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Alur Proses Keseluruhan Alat

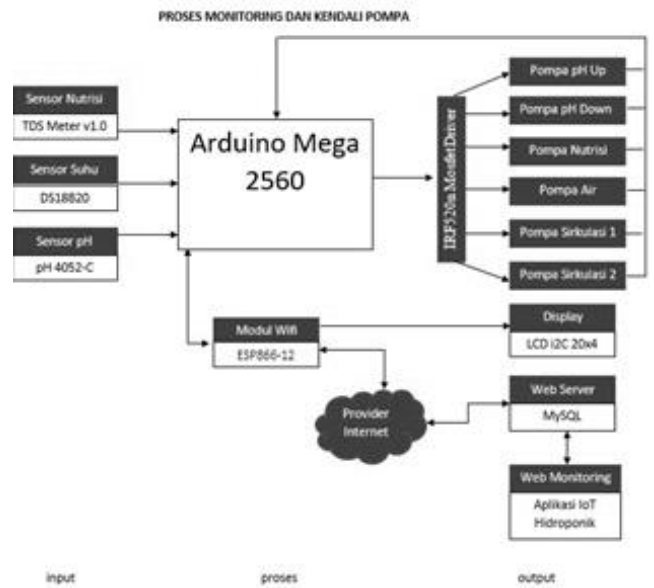
Alur proses diatas merupakan gambaran dari alur proses daripada perancangan alat yang akan digunakan untuk membuat alat *monitoring* tanaman hidroponik berbasis IoT yang juga dapat mengendalikan unsur kandungan dari limbah tahu untuk dijadikan pupuk organik secara otomatis. Sistem kendali ini dibuat untuk dapat bekerja secara berkelanjutan dengan sistem pelaporan secara *realtime*. Pertama, wadah sirkulasi 1 akan diisi oleh air dan juga limbah tahu kemudian dicek kadar *ppm* nya oleh sensor TDS. Ketika kadar *ppm* limbah belum sesuai dengan kadar standar *ppm* pupuk, maka pompa pada air baku dan limbah tahu akan menyala dalam waktu 5 detik. Kemudian jika sudah sesuai kadar *ppm* nya, maka pompa pada wadah sirkulasi 1 akan menyala untuk dialirkan pada wadah sirkulasi 2 dimana sensor suhu dan sensor pH dipasang. Ketika sensor suhu dan sensor pH membaca nilai dari air bakal calon nutrisi yang berasal dari wadah sirkulasi 1 dan memenuhi *set point*, maka pompa yang terdapat pada wadah sirkulasi 2 akan menyala untuk dialirkan langsung pada instalasi hidroponik. Ketika sensor membaca nilai pH pada bahan baku nutrisi yang terdapat pada wadah sirkulasi 2 tidak sesuai dengan target *set point*, maka kendali akan mengaktifkan mosfet *driver* untuk menyalakan pompa pada cairan asam (pH Down) ketika nutrisi terlalu basa dan juga pompa pada cairan basa (pH Up) ketika nutrisi terlalu asam sampai pembacaan dari sensor pH memenuhi nilai *set point* nilai pH. Ketika nilai *set point ppm* dan pH sesuai maka pompa pada sirkulasi 2 akan menyala jika nilai suhu memenuhi *set point* dan tidak akan menyala ketika nilai suhu tidak memenuhi *set point*.

B. Perancangan Kendali Hidroponik

Sebagai komponen utama, Arduino ATmega 2560 juga merupakan pusat kontrol dari semua komponen yang ada. Pada proses kontrol pompa, pompa akan terus menyala secara bergantian ketika nilai sensor belum sesuai dengan *set point*. Pompa yang akan menyala hanya pompa yang dibutuhkan untuk mendapatkan nilai *set point*. Kecuali pompa yang terdapat pada wadah sirkulasi 2. Pompa akan menyala ketika nilai *set point* sudah tercapai untuk diteruskan pada instalasi hidroponik. Mosfet driver akan membuka arus dan tegangannya pada setiap pompa yang telah ditentukan sesuai dengan program.

Pada proses *monitoring* inputan akan diambil dari beberapa sensor yang telah dipasang. Mulai dari sensor suhu yang membaca nilai suhu bakal nutrisi pada wadah sirkulasi 2, sensor TDS yang membaca nilai kepekatan air limbah tahu pada

wadah sirkulasi 1 dan sensor pH yang membaca nilai pH bakal nutrisi pada wadah sirkulasi 2. Arduino ATmega 2560 sebagai kendali akan mengolah data dari semua sensor yang kemudian akan dikirimkan datanya pada tampilan LCD ataupun secara *wireless* menggunakan modul wifi ESP866. Data yang sudah diolah dan dikirim secara *wireless* akan ditampilkan melalui tampilan *Web Monitoring* dan disimpan oleh server secara *realtime* dan dapat dilihat dari perangkat PC maupun *smartphone*. Adapun diagram blok dari sistem yang dirancang terdapat di **Gambar 2** dan kendali hidroponik terdapat di **Gambar 3**.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Monitoring dan Kendali Hidroponik



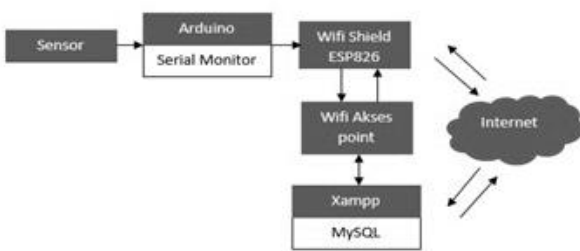
Gambar 3. Kendali Monitoring dan Kendali Hidroponik

C. Perancangan Sistem Utama

Perancangan sistem monitoring dan kendali ini memiliki perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Pada perancangan perangkat lunak terdapat tiga pembahasan yaitu pembahasan yang pertama membahas tentang arduino, kemudian *Web Monitoring* yang akan digunakan sebagai tampilan daripada nilai-nilai yang telah

diperoleh dari alat dan yang ketiga merupakan pembahasan tentang web server yang dimana digunakan sebagai penyimpan data-data dari nilai alat tersebut.

Tahap pertama pada perancangan perangkat lunak ini adalah memastikan alat sudah terhubung dengan server *Web Monitoring*. Setelah terhubung dengan web, kemudian alat akan membaca data dari semua hasil nilai pembacaan sensor. Setelah terbaca oleh sensor alat akan mengirimkan datanya pada *Web Monitoring* untuk menampilkan nilai daripada pembacaan sensor. Perancangan web ini menggunakan bahasa pemrograman PHP. Alasan memakai bahasa pemrograman PHP yaitu agar lebih mudah pada saat pembuatan web. Pada perancangan web ini terdapat panel tampilan yang diantaranya panel *Home*, Tabel, Grafik dan panel *Setting*. Setiap panel memiliki tampilan dan fungsinya masing-masing. Seperti pada panel *home* yang memiliki tampilan data dari nilai yang diperoleh alat oleh bacaan sensor dan juga informasi kondisi alat. Panel tabel yang memiliki tampilan informasi mengenai data dari nilai-nilai yang telah diperoleh sebelumnya. Web server yang digunakan pada alat ini adalah *platform server My SQL* yang bersifat *open source* dengan model *client server*. Server ini dapat membuat database untuk menyimpan data dan juga dapat dimodifikasi dengan mudah. Alasan menggunakan server ini selain mudah web server ini dapat mengirimkan data secara *realtime* dengan delay yang seminimal mungkin. Adapun diagram blok dari sistem pengiriman data melalui web terdapat di **Gambar 4** dan alur proses melalui web terdapat di **Gambar 5**.

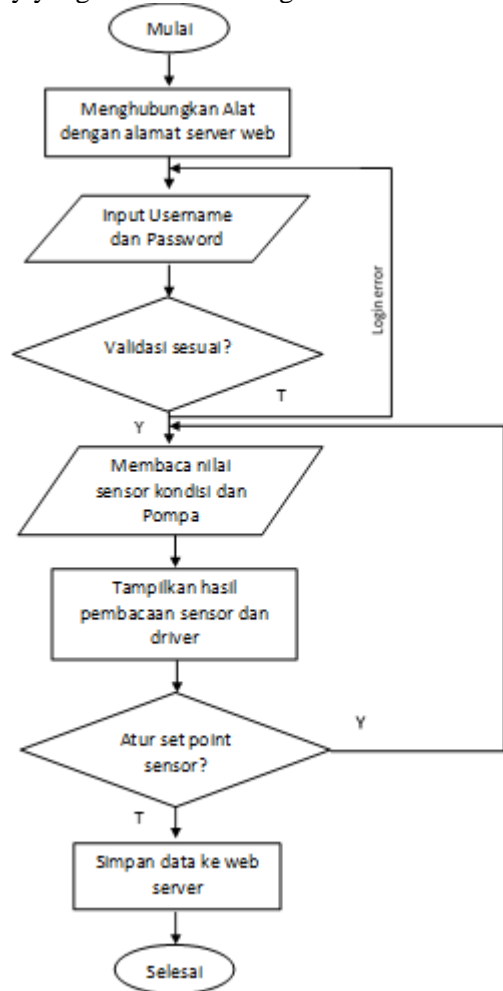


Gambar 4. Diagram Blok Sistem Pengiriman Data Melalui Web

D. Perancangan Server

Dalam perancangan sistem monitoring dan Kendali. Dibutuhkan sebuah sistem yang dapat menerima informasi terkait data yang dikirim. Oleh karena itu, dibangun server. Server akan digunakan untuk menerima informasi berupa sensor TDS, suhu dan pH serta kondisi daripada pompa. Web server yang digunakan pada alat ini adalah *platform server My SQL* yang bersifat *open source*

dengan model *client server*. Server ini dapat membuat database untuk menyimpan data dan juga dapat dimodifikasi dengan mudah. Alasan menggunakan server ini selain mudah web server ini dapat mengirimkan data secara *realtime* dengan delay yang seminimal mungkin.



Gambar 5. Alur Proses Sistem Melalui Web

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan menjelaskan tentang pengujian alat yang dilakukan. Pengujian sistem ini akan dilakukan dengan cara mengambil data dari semua parameter ukur yang terbaca oleh sensor pada proses berlangsungnya penutrisian, data yang diperoleh selama 25 hari pada jam-jam tertentu untuk melihat perbedaan naik turunnya kondisi nilai *ppm TDS*, nilai suhu dan nilai pH. Hal ini dilakukan untuk mengukur keberhasilan proses pembuatan pupuk organik cair hingga pemupukan/penutrisian pada budidaya tanaman selada dengan bantuan sistem yang telah dirancang serta memenuhi nilai-nilai parameter yang ideal yang telah ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan dan juga Kementerian Pertanian tentang pengolahan limbah cair tahu menjadi pupuk organik cair [13].

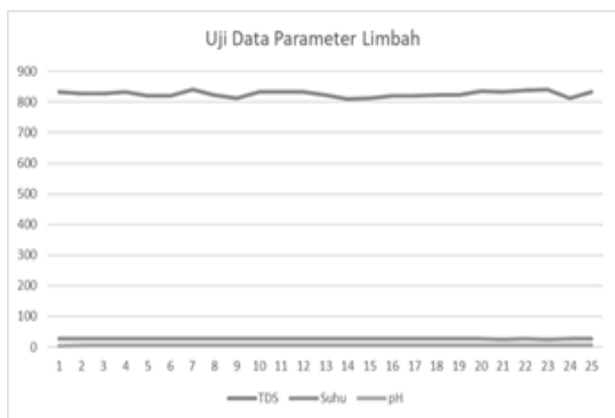
Data pada pengujian keseluruhan sistem diambil berdasarkan jam-jam tertentu berdasarkan nilai yang tertera pada display aplikasi web, dimana data diambil 1 HST tanaman selada selama 25 HST atau hari setelah tanam. Data keseluruhan saat proses pemupukan/penutrisian berlangsung dapat dilihat pada **Tabel I**.

Data pada pengujian keseluruhan sistem diambil berdasarkan jam-jam tertentu berdasarkan nilai yang tertera pada display aplikasi web, dimana data diambil 1 hari setelah tanam (HST) tanaman selada selama 25 HST atau hari setelah tanam. Pada proses penutrisian berlangsung alat yang dirancang mengalami gangguan pada sinyal yang diterima selama beberapa detik. Hal ini mengakibatkan alat yang tidak stabil pada masukan daya pompa sehingga air nutrisi tidak mengalir dengan rata. Berdasarkan hasil pengujian selama 25 HST tanaman selada berada pada kondisi tingkat pH yang masuk kedalam kategori normal

yaitu pada nilai 6,11 sampai 6,99 sehingga daya serap tanaman selada pada nutrisi pupuk organik cair/larutan hidroponik dapat berjalan dengan baik. Untuk nilai TDS nutrisi yaitu berada pada nilai 810,14 *ppm* sampai 839,81 *ppm* dalam artian nilai tersebut masih termasuk kedalam nilai kadar *ppm* yang dibutuhkan tanaman selada sehingga tanaman tersebut dapat tumbuh dengan baik. Kemudian nilai suhu berada pada nilai 26,28°C sampai 27,18°C sehingga laju metabolisme dan juga fotosintesis tanaman dapat berjalan dengan baik [14]. Dengan artian data ini dapat disimpulkan bahwa sistem yang dirancang berkerja dengan baik dan mampu menjaga kondisi parameter penting untuk keberhasilan pemupukan/penutrisian yang mengacu pada peraturan Kementerian Lingkungan dan juga Kementerian Pertanian tentang pengolahan limbah cair tahu menjadi pupuk organik cair. Adapun grafik pengujian terdapat di **Gambar 6**.

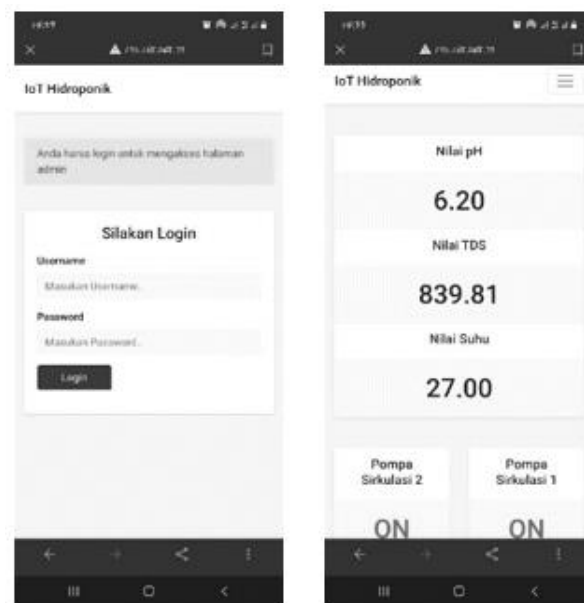
Tabel I. Data Keseluruhan

Hari Ke-	Input Sensor			Output Aktuator Pompa					
	pH	TDS (<i>ppm</i>)	Suhu (°C)	Pompa Sirkulasi 1	Pompa Sirkulasi 2	Pompa pH Naik	Pompa pH Turun	Pompa Nutrisi	Pompa Air Baku
1	6,11	833,66	26,67	On	On	Off	Off	Off	Off
2	6,58	828,43	26,54	On	On	Off	Off	Off	Off
3	6,51	827,52	26,77	On	On	Off	Off	Off	Off
4	6,24	832,34	27,12	On	On	Off	Off	Off	Off
5	6,24	821,34	26,83	On	On	Off	Off	Off	Off
6	6,22	819,34	26,59	On	On	Off	Off	Off	Off
7	6,20	839,81	27,00	On	On	Off	Off	Off	Off
8	6,24	823,63	26,89	On	On	Off	Off	Off	Off
9	6,22	813,66	26,91	On	On	Off	Off	Off	Off
10	6,43	833,34	26,42	On	On	Off	Off	Off	Off
11	6,54	832,84	26,32	On	On	Off	Off	Off	Off
12	6,83	832,34	26,98	On	On	Off	Off	Off	Off
13	6,96	823,36	26,83	On	On	Off	Off	Off	Off
14	6,68	810,14	27,00	On	On	Off	Off	Off	Off
15	6,51	812,34	27,12	On	On	Off	Off	Off	Off
16	6,99	819,56	27,02	On	On	Off	Off	Off	Off
17	6,42	819,74	26,77	On	On	Off	Off	Off	Off
18	6,79	823,76	26,90	On	On	Off	Off	Off	Off
19	6,63	823,67	26,56	On	On	Off	Off	Off	Off
20	6,52	834,34	26,54	On	On	Off	Off	Off	Off
21	6,72	833,51	26,23	On	On	Off	Off	Off	Off
22	6,66	839,23	27,18	On	On	Off	Off	Off	Off
23	6,88	839,56	26,23	On	On	Off	Off	Off	Off
24	6,68	813,47	26,44	On	On	Off	Off	Off	Off
25	6,73	833,11	26,32	On	On	Off	Off	Off	Off



Gambar 6. Grafik Pengujian Data Keseluruhan

Data tersebut kemudian akan dikirimkan dan disimpan pada server. Pengujian sistem web dilakukan untuk melihat apakah data yang dikirim dari alat yang dirancang terkirim pada aplikasi web menggunakan *web browser* laptop atau pada *smarthphone*. Untuk penyimpanan aplikasi web yang dibuat menggunakan pemrograman php, yaitu file *autohidroponik4* yang disimpan pada lokasi file *htdocs xampp* yang berada pada lokal data Sistem (C). Jika sudah disimpan pada file *htdocs*, maka aplikasi web sudah bisa diakses dengan syarat menjalankan kontrol panel *xampp* lalu menjalankan modul Apache dan MySQL terlebih dahulu. Halaman pada aplikasi web akan muncul ketika alamat web pada browser sesuai dengan format alamat *localhost/nama file* dari file tersebut yaitu *localhost/autoHidroponik4*. Data yang akan disimpan pada server MySQL harus memiliki nama database yang sesuai dengan nama yang diprogram pada pemrograman php agar dapat saling terhubung. Halaman server MySQL akan muncul ketika alamat server pada browser ditulis dengan format alamat *localhost/phpmyadmin*, maka file database dari semua data yang disimpan dapat dilihat sesuai dengan data yang dikirim oleh rancangan alat. Data yang akan disimpan pada server MySQL juga dapat dibuka melalui browser *smarthphone* dengan alamat web sesuai dengan *ip address* yang tercantum pada *command prompt*. Kemudian buka browser pada *smartphone* dan tulis alamat *ip address/nama file* seperti *192.168.248.73/autoHidroponik4*. Jika alamat *ip address* yang ditulis pada *browser* sudah sesuai dengan yang terdapat pada *command prompt*. Adapun gambar aplikasi web terdapat di Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan Aplikasi Web

Adapun pengujian dan analisis kandungan limbah cair tahu dilakukan agar dapat mengetahui kandungan apa saja yang diperoleh dari limbah cair tahu tersebut secara umum [15]. Pengujian dan analisis ini juga berguna untuk mendapatkan nilai yang sesuai agar limbah cair tersebut dapat digunakan untuk kebutuhan pupuk organik cair tanaman hidroponik, khususnya pada tanaman selada. Limbah cair tahu tersebut diambil dari pabrik tahu Pak Endang yang berada di daerah Pasar Cipanas, Kabupaten Cianjur. Untuk pengujian dan analisis daripada kandungan limbah cair tahu dilakukan di Laboratorium Biocontrol Balithi yang beralamat di Jl. Raya Ciherang, Segunung Pacet – Cianjur. Hasil dari pengujian dan analisis tersebut mendapatkan beberapa nilai daripada parameter kandungan limbah cair tahu tersebut dapat dilihat di Tabel II.

Tabel II. Kandungan Limbah Cair Tahu

Parameter	Hasil	Satuan	Baku mutu* (Kadar Maks)
BOD	145,88	mg/L	150 mg/L
COD	470,57	mg/L	300 mg/L
TSS	1560	mg/L	200 mg/L
TDS	5700	ppm	2000 ppm
pH	5,0	pH	6,0-9,0
Suhu	33	°C	38

Keterangan *Standar baku mutu limbah cair tahu sesuai dengan PERMEN LH No.5 tahun 2014 dan PERDA Jawa Tengah No.5 tahun 2012

Hasil yang didapatkan dari pengujian tersebut memperoleh nilai yang belum sesuai dengan nilai baku mutu untuk pengolahan limbah cair sepenuhnya hanya pada parameter nilai tertentu saja seperti nilai kadar BOD, TSS, TDS dan Suhu. Untuk memenuhi nilai baku mutu maka perlu diberlakukan fermentasi secara alami dengan mendiamkan limbah tahu +/-10 Hari. Hasil fermentasi secara alami mendapatkan penurunan nilai secara signifikan yang dapat dilihat di **Tabel III**.

Tabel III. Kandungan hasil setelah fermentasi

Parameter	Hasil	Satuan	Baku mutu* (Kadar Maks)
BOD	278,88	mg/L	150 mg/L
COD	610,57	mg/L	300 mg/L
TSS	100,2	mg/L	200 mg/L
TDS	1530	ppm	2000 ppm
pH	4,2	pH	6,0-9,0
Suhu	27,5	°C	38

Keterangan *Standar baku mutu limbah cair tahu sesuai dengan PERMEN LH No.5 tahun 2014 dan PERDA Jawa Tengah No.5 tahun 2012

Hasil fermentasi tersebut membuktikan mampu mengurangi parameter kualitas limbah cair tahu meskipun masih dibawah batas nilai standar maksimum [16]. Seperti nilai pH pada limbah cair tahu semakin menurun yang menyebabkan kadar dari BOD dan COD menjadi meningkat. Maka dari itu pada saat proses pembuatan pupuk organik cair/larutan nutrisi diperlukan penambahan dan pengurangan nilai pH agar kadar BOD dan COD tidak meningkat terlalu tinggi ataupun terlalu rendah dengan kata lain limbah cair tahu ini sudah bisa digunakan sebagai bahan pupuk akan tetapi memerlukan pengendalian untuk beberapa parameter tertentu seperti parameter nilai TDS, suhu dan juga pH limbah untuk disesuaikan dengan kebutuhan tanaman selada [17].

Untuk pengujian dan analisis pada tanaman selada dilakukan agar dapat dilihat sejauh mana pengaruh keberhasilan alat yang digunakan terhadap pertumbuhan kembangan tanaman selada. Tanaman selada dibudidaya dengan dua cara sebagai pembanding. Tanaman selada yang pertama dihidropinik secara NFT dengan bantuan otomatisasi menggunakan alat dan penutrisian menggunakan pupuk organik cair limbah cair tahu, sedangkan tanaman selada yang kedua menggunakan hidroponik secara wick dengan penutrisian menggunakan nutrisi AB *mix* [18].

Pengujian ini bertujuan untuk dapat melihat perbandingan daripada hasil kedua selada yang dibudidaya dengan dua teknik yang berbeda. Hasil perbandingan yang dapat dilihat dari kedua tanaman ini antara lain seperti tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, dan biomassa tanaman [18][19]. Pengujian akan dilakukan berdasarkan satuan usia tanaman atau lebih sering disebut Hari Setelah Tanam (HST). Langkah pertama yang dilakukan untuk pembudidayaan tanaman selada secara hidroponik ialah melakukan penyemaian pada bibit selada sampai tanaman selada dapat dipindah tanamkan ketika selada berdaun 3-4 atau pada umur +/-12 hari. Pada saat proses penyemaian berlangsung bibit selada akan ditempatkan pada tempat yang terbuka dan cukup untuk terkena sinar matahari. Setelah 12 hari tanaman selada sudah dapat dipindah tanamkan pada media selanjutnya. Untuk media yang akan digunakan selanjutnya tanaman selada akan dibudidaya secara hidroponik dengan dua teknik yang berbeda yang bertujuan sebagai pembanding. Untuk teknik yang pertama tanaman selada akan dipindah tanamkan menggunakan teknik hidroponik *Nutrient Film Technique* (NFT) dan yang kedua menggunakan teknik hidroponik Wick [20].

Tanaman selada yang dibudidaya menggunakan teknik hidroponik NFT memiliki diameter lubang 5 cm x 5 cm dengan jarak tanam 20 cm dan tinggi lubang sebesar 6,5 cm, proses budidaya akan dibantu menggunakan alat otomatis yang sudah dirancang. Pada saat pembudidayaan berlangsung tanaman selada tersebut akan dipupuk/nutrisi menggunakan bahan baku limbah cair tahu yang mengandung TDS sebesar 1.530 ppm, suhu 27,5°C dan pH 4,5. Sebelum limbah cair tahu dialirkan pada instalasi hidroponik NFT, limbah cair tahu yang sudah ditampung dalam satu wadah akan diproses melewati beberapa wadah yang akan menjadi pengendali parameter kandungan limbah cair tahu tersebut secara otomatis. Ketika parameter kandungan limbah cair tahu sesuai dengan kebutuhan tanaman selada yaitu dengan kandungan TDS sekitar 560-840, nilai suhu sekitar 25°-28°C dan pH 6-7, maka pupuk yang sudah diolah tersebut akan dialirkan pada instalasi hidroponik tanaman selada tersebut dengan sendirinya sampai tanaman selada dapat dipanen pada 30-40 HST.

Untuk tanaman selada yang dibudidaya menggunakan teknik hidroponik Wick, proses budidaya menggunakan wadah persegi berukuran 30 cm x 30 cm dan tinggi wadah berukuran 12 cm.

wadah ini memiliki 9 lubang dengan diameter lubang 4,5 cm x 4,5 cm dengan jarak tanam 6,5 cm. Pada saat pembudidayaan berlangsung tanaman selada tersebut diberi pupuk menggunakan pencampuran formula nutrisi A dan nutrisi B yang mengandung TDS sebesar 883 ppm, suhu 27,1°C dan pH 5,6. Tanaman selada tersebut akan dapat dipanen pada 30-40 HST [21].

Pembudidayaan tanaman selada menggunakan hidroponik wick harus memerhatikan air yang dipakai untuk menutrisinya, apabila air pada wadah tersebut ada kotoran atau keruh maka harus mengganti air tersebut secepatnya [22]. Hal ini penting dilakukan karena akan berpengaruh terhadap penyerapan nutrisi oleh akar yang akan membantu pertumbuhan tanaman selada. Tanaman selada yang dibudidayakan dengan menggunakan pupuk organik cair dari larutan nutrisi limbah tahu dan teknik hidroponik NFT dengan tanaman selada yang dibudidayakan menggunakan pupuk organik cair larutan AB mix dan teknik hidroponik wick menghasilkan produk tanaman selada dengan hasil yang berbeda. Adapun perbandingan pertumbuhan tanaman selada dapat dilihat di **Tabel IV**.

Tabel IV. Perbandingan pertumbuhan tanaman selada

Perlakuan	Hari ke	Tinggi Tanaman	Jumlah Daun	Panjang Akar	Berat
Larutan nutrisi Limbah cair tahu	7	3,16 cm	3	3 cm	5 gram
	14	7 cm	5	5 cm	12 gram
	25	20 cm	8	11 cm	25 gram
Larutan nutrisi AB mix	7	3,31 cm	2	2 cm	5 gram
	14	6,36	4	5 cm	10 gram
	25	21,5 cm	9	6 cm	26 gram

Hasil perbandingan perbedaan perlakuan pada tanaman selada yang dibudidayakan tersebut menghasilkan pertumbuhan pada tanaman terlihat signifikan. Pertumbuhan tanaman selada yang menggunakan rancangan alat mengalami penurunan dari segi semua parameter, hal ini disebabkan karena adanya gangguan stabilitas sinyal pada alat yang dirancang. Akan tetapi, karena adanya antisipasi perlakuan berupa penggunaan sumbu pada *netpot* tanaman selada tersebut dapat mencegah dari kekurangan nutrisi dan gagalnya pertumbuhan. Sehingga hasilnya pun tidak begitu jauh berbeda dengan tanaman selada yang menggunakan hidroponik teknik *wick*. Adapun hasil perbandingan fisik dari segi tinggi tanaman selada terdapat di **Gambar 8**, jumlah daun dan panjang akar tanaman selada terdapat di

Gambar 9 dan berat tanaman selada terdapat di **Gambar 10**.



Gambar 8. Perbandingan ukuran tanaman selada umur 25 HST



Gambar 9. Perbandingan jumlah daun dan Panjang akar tanaman selada umur 25 HST



Gambar 10. Perbandingan berat tanaman selada umur 25 HST

Adapun batasan masalah pada metoda penelitian adalah tanaman yang digunakan pada penelitian ini merupakan tanaman sayuran selada (*Lettuce*). Alat ini menggunakan sensor Sensor pH 4502-C untuk pembacaan nilai pH air limbah tahu, sensor TDS untuk pembacaan nilai kepekatan nutrisi (*ppm*) air limbah tahu dan menggunakan DS18B20 untuk pembacaan nilai suhu air limbah tahu. Alat yang digunakan untuk pengontrolan sensor yaitu menggunakan kontroler Arduino ATmega 2560 dengan modul wifi ESP8266 sebagai pengakses pada internet. Perancangan IoT dibangun secara aplikasi web dengan memanfaatkan bahasa pemrograman PHP dan juga MySQL sebagai *platform* untuk menyimpan data yang sudah diolah pada aplikasi web. Representasi

data atau pusat kontrol dapat di akses pada komputer atau *smartphone* melalui web yang disediakan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian mengenai pengujian dan analisa yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan yaitu berdasarkan data Tabel I, pada hari ke 25 olahan pupuk organik cair/larutan nutrisi hidroponik memiliki kandungan TDS sebesar 833 ppm, suhu 26°C dan kandungan pH 6 serta berwarna putih pudar dengan sedikit buih dan berbau khas tahu. Hal ini menunjukkan bahwasanya pembuatan pupuk organik berhasil dengan memenuhi standar baku mutu yang mengacu pada aturan Surat Keputusan Menteri Pertanian No: 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang persyaratan teknis minimal pupuk organik dan PERMEN LH RI No.5 tahun 2004 tentang nilai standar baku mutu limbah. Sistem monitoring jarak jauh dengan memanfaatkan konsep *Internet of Things* (IoT) yang dapat megirimkan data informasi mengenai larutan hidroponik berupa nilai TDS, suhu, pH juga kondisi dari pompa yang menyala maupun mati dengan delay waktu kurang dari 8 detik. Selain itu aplikasi web dapat mengatur *set point* agar dapat menyesuaikan kebutuhan tanaman yang akan dibudidaya menggunakan rancangan alat ini. Alat yang dirancang dapat mengendalikan stabilitas parameter yang diukur berupa nilai TDS, nilai suhu dan nilai pH sesuai dengan inputan *set point* yang terdapat pada aplikasi web agar dapat menyesuaikan kebutuhan tanaman yang akan dibudidaya. Berdasarkan uji coba dan analisis pada perlakuan teknik hidroponik dan pemberian pupuk cair yang berbeda mendapatkan hasil perbandingan tanaman selada dengan nilai yang berbeda. Perbedaan tersebut dapat dilihat dari hasil tanaman, dimana untuk umur selada 25 HST tinggi tanaman selada teknik NFT dengan pupuk organik memiliki tinggi 20 cm sedangkan tinggi tanaman selada teknik wick dengan pupuk larutan AB mix memiliki tinggi 21 cm. Dengan artian pupuk yang diolah secara otomatis dengan bahan baku limbah cair tahu dapat dijadikan pupuk organik cair yang layak untuk tanaman selada. Selain itu alat yang dirancang dapat mengendalikan stabilitas parameter yang diukur berupa nilai TDS, nilai suhu dan nilai pH sesuai dengan inputan *set point* yang terdapat pada aplikasi web agar dapat menyesuaikan kebutuhan tanaman yang akan dibudidaya. Sistem ini dapat dikembangkan dengan menambahkan beberapa parameter ukur seperti sensor yang dapat

mendeteksi unsur makro dan mikro pada limbah cair tahu dan juga tanaman, serta penambahan sistem sistem pengaduk secara otomatis agar olahan limbah cair tahu ketika ditambahkan air atau larutan pH yang akan dijadikan pupuk organik cair dapat cepat merata. Menggunakan rancangan alat dengan provider jaringan sinyal yang stabil agar proses penutrisian tidak terganggu oleh sinyal yang kurang baik. Membuat sistem notifikasi pada *smartphone* yang bisa memberikan pemberitahuan kondisi nutrisi tanaman walaupun tidak sedang membuka aplikasi web agar kondisi nutrisi tanaman tetap terpantau *smartphone* meskipun tidak sedang dalam keadaan aktif. Membuat login beda hak akses antara admin dan user. Dimana admin mendapatkan hak akses penuh untuk dapat mengendalikan dan juga memonitoring akan tetapi hak akses untuk user hanya dapat akses untuk memonitoring saja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abhijit Khadatar, S.M. Mathur, K. Dubey, V. BhusanaBabu, "Development of embedded automatic transplanting system in seedling transplanters for precision agriculture," *Artificial Intelligence in Agriculture*, vol.5, hal. 175 – 184, Januari 2021.
- [2] Sadzali, Imam. "Potensi limbah tahu sebagai biogas." *Jurnal UI Untuk Bangsa Seri Kesehatan, Sains, dan Teknologi*, vol 1, no 12, hal. 62-69, 2010.
- [3] Alimsyah, Angelica, dan Alia Damayanti. "Penggunaan Arang Tempurung Kelapa dan Eceng Gondok untuk Pengolahan Air Limbah Tahu dengan Variasi Konsentrasi." *Jurnal Teknik ITS*, vol 2, no. 1, hal. 6-9, 2013.
- [4] Loppies, Justus Elisa, dan Medan Yumas. "Pemanfaatan Limbah Cair Industri Rumput Laut Sebagai Pupuk Organik Cair Untuk Tanaman Pertanian.(Utilization of Liquid Waste from Seaweed Industry as Organic Liquid Fertilizer for Crops)." *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, vol. 12, no. 2, hal. 66-75, 2017.
- [5] Adeko, R., Widada, A. "Efektifitas Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Metode Aerasi Untuk Menurunkan Kadar BOD." *Journal of Nursing and Public Health*, vol. 6, no. 1, hal. 255-261, 2018.
- [6] Sutrisno, Aris. "Fermentasi Limbah Cair Tahu Menggunakan EM4 Sebagai Alternatif Nutrisi Hidroponik dan Aplikasinya pada Sawi Hijau (Brassica juncea var. Tosakan)." *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi* vol. 4, no.1, hal. 56.63, 2015.
- [7] Herman, H., Adidrana, D., Surantha, N., & Suharjo, S. "Hydroponic nutrient control system based on internet of things." *CommIT (Communication and Information Technology) Journal*, vol. 13, hal.105-111, 2019.
- [8] Sunardi, S., Istikowati, W. T., & Pujawati, E. D. "Pelatihan Budidaya Sayur dengan Metode Hidroponik di Desa Guntung Payung, Banjarbaru." *PengabdianMu: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 4, no. 1, hal. 40-45, 2019.
- [9] González-Linch, E., Medina-Moreira, J., Alarcón-Salvatierra, A., Medina-Anchundia, S., & Lagos-Ortiz, K, "Automated Hydroponic Modular System." *In 2nd International Conference on ICTs in Agronomy and Environment*, hal. 59-67, Januari 2019.
- [10] Crisnapati, P. N., Wardana, I. N. K., Aryanto, I. K. A. A., & Hermawan, A. "Hommons: Hydroponic management and monitoring system for an IOT based NFT farm using web technology." *In 2017 5th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, hal. 1-6. Agustus 2017.

- [11] Waluyo, S., Lanya, B., & Telaumbanua, M. "Pengendalian Temperatur dan Kelembaban dalam Kumbung Jamur Tiram (*Pleurotus sp*) Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler." *Pengendalian Temperatur dan Kelembaban dalam Kumbung Jamur Tiram (Pleurotus sp) Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler*, vol. 3, no. 38, hal. 282-288, 2018.
- [12] Wiranto, G., Rahajoeningroem, T., & Fernanda, A. F. "Monitoring Water Quality Using Turbidity Sensor Metode Nephelometric Base on Raspberry PI 3." *TELEKONTRAN* vol. 8, No. 1, hal. 23-29, April 2020.
- [13] Amalia, S. N., Prihastanti, E., & Hastuti, E. D. "Effect of the combination of tofu liquid waste and plant media of sago waste on the growth of cayenne (*Capsicum frutescens L.*)." *In Journal of Physics: Conference Series* vol. 1217, No. 1, hal. 012157, Mei 2019.
- [14] Anggarini, S., Hidayat, N., Sunyoto, N. M. S., & Wulandari, P. S. "Optimization of hydraulic retention time (HRT) and inoculums addition in wastewater treatment using anaerobic digestion system." *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, vol.3, hal. 95-101, 2015.
- [15] Kaswinarni, F. "Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu." *Majalah Lontar*, vol. 22, no. 2, hal. 1-19, 2010.
- [16] Hadiwidodo, M., & Oktiawan, W. "Pengolahan air lindi dengan proses kombinasi biofilter anaerob-aerob dan wetland." *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, vol. 9, no. 2, hal. 84-95, 2012.
- [17] Novita, E., Hermawan, A. A. G., & Wahyuningsih, S. "Komparasi proses fitoremediasi limbah cair pembuatan tempe menggunakan tiga jenis tanaman air." *Jurnal Agroteknologi*, vol. 13, no. 1, hal. 16-24, 2019.
- [18] Rahmina, W., Nurlaelah, I., & Handayani, H. "Pengaruh Perbedaan Komposisi Limbah Ampas Tahu Terhadap Pertumbuhan Tanaman Pak Choi (*Brassica rapa L. ssp. chinensis*)." *Quagga: Jurnal Pendidikan dan Biologi*, vol. 9, no. 2, hal. 32-38, 2017.
- [19] Wati, D. R., & Sholihah, W. "Pengontrol pH dan Nutrisi Tanaman Selada pada Hidroponik Sistem NFT Berbasis Arduino." *MULTINETICS*, vol. 7, no. 1, hal. 12-20, 2021.
- [20] Haryanto, Agus. "Filtrasi Limbah Cair Industri Tahu dengan Media Partikel Batuan Fosfat." *Prosiding Seminar Agroindustri dan Lokakarya Nasional FKPT-TPI*, hal. 258-263, September 2015.
- [21] Mas'ud, H. "Sistem hidroponik dengan nutrisi dan media tanam berbeda terhadap pertumbuhan dan hasil selada." *Media Litbang Sulteng*, vol. 2, no. 2, hal. 131-136, Desember 2010.
- [22] Rahmazia, R., & Wildian, W. "Sistem Telemetri Pemantauan Kekeruhan, Keasaman dan Temperatur Air Danau Maninjau Sumatera Barat." *Jurnal Fisika Unand*, vol. 10, no. 1, hal. 70-75, 2021.