

Perancangan dan Pembangunan Sistem Monitoring dan Kendali pada Hidroponik dalam Ruang Berbasis Sistem Wick dengan IoT

Vitalis Emanuel Setiawan¹, Kemas Muslim Lhaksana²

^{1,2}Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung

¹nuelorio@students.telkomuniversity.ac.id

²kemasmuslim@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pengembangan hidroponik dan IoT (Internet of Things) menjadi dua hal yang cukup populer di dua studi yang berbeda, yaitu pertanian dan teknologi. Tugas akhir ini berkaitan dengan dua hal tersebut yaitu sebuah alat monitoring, kendali dan automaton pada hidroponik yang sudah terintegrasi dengan Internet. Banyak hal-hal yang telah diuji dan dikaji dalam pengembangan tugas akhir ini, seperti dua sensor yang tidak dapat bekerja bersama-sama dikarenakan salah satunya akan membatalkan pembacaan sensor yang satunya, sehingga dalam tugas akhir ini dipilih salah satu sensor diantara keduanya. Hasil akhir yang didapat adalah satu alat yang dapat memonitor, mengkontrol dan otomatis melakukan tindakan setelah pembacaan sensor. Alat sudah terhubung dengan Internet dan dikendalikan melalui website yang telah dibuat.

Kata kunci: IoT, Hidroponik, mikrokontroler, sensor.

Abstract

The development of hydroponic and IoT have become two of the popular projects from two different studies: agriculture and technology. This last assignment related to of those projects. We develop a device that monitors, controls and automates device on hydroponics that is connected to the Internet. A lot of things have been experimented and studied for this development of last assignment, such as two sensors that interfere with each together, and thus only one of those two were used for this last assignment. The final result is a device that can monitor, control and automate the job after reading the sensors. The device is already connected with the Internet and can be controlled from the website.

Keywords: IoT, Hydroponics, microcontroller, sensor.

1. Pendahuluan

Latar belakang

Perkembangan teknologi yang begitu cepat membuat banyak orang menciptakan banyak hal yang mempermudah kehidupan dan mengurangi biaya dalam pembuatan dan perawatan. Dua hal tersebut adalah Hidroponik dan IoT. Hidroponik adalah sistem penanaman tanpa tanah yang langsung berinteraksi terhadap air, banyak sistem pengairan yang digunakan, salah satunya adalah sistem wick. Sistem wick adalah salah satu sistem tersederhana dan termurah dibandingkan sistem pengairan yang lainnya. Kemudian IoT adalah sebuah sistem dari alat fisik yang dilengkapi dengan sensor, software dan terhubung ke Internet untuk melakukan pertukaran data dengan alat lainnya maupun hanya untuk dikendalikan dari jarak jauh.

Tugas akhir ini melakukan penggabungan dari kedua konsep diatas yang diharapkan dapat membantu para pengguna dalam memonitor dan mengendalikan alat. Adapun beberapa sensor yang melengkapi alat ini, yaitu sensor suhu dan kelembapan udara, suhu air, sensor intensitas cahaya, sensor kadar garam dan sensor ultrasonic untuk mengecek tinggi air. Alat ini menggunakan nodemcu yang sudah dilengkapi dengan modul WiFi sebagai mikrokontrolernya. Pompa air dan LED strip juga digunakan sebagai kendali, LED strip bertindak sebagai sumber cahaya. Digunakan juga beberapa persamaan yang melengkapi sensor dan kendali dalam penggunaannya.

Tugas akhir ini juga agak berbeda dengan yang ada di proposal, dikarenakan adanya sensor yang tidak dapat bekerja berdampingan satu sama lain, penggunaan mikrokontroler yang berbeda dan skema dari tugas akhirnya sendiri yang akan dibahas pada evaluasi.

Topik dan batasan

Adapun beberapa masalah yaitu; bagaimana penyesuaian sensor-sensor yang tidak dapat bekerja berdampingan, bagaimana mengoptimalkan pembacaan sensor-sensor, apa saja kendali yang digunakan dan bagaimana mengoptimalkannya.

Beberapa batasanpun ditekankan agar pembahasan tugas akhir ini tidak terlalu jauh, seperti; pembahasan yang digunakan hanya pada alat dan program, keefektifan tanaman dalam berfotosintesis tidak dibahas, dan error pada jaringan juga tidak dibahas.

Tujuan

Tugas akhir ini memiliki tujuan yaitu membuat alat yang efektif dalam melakukan monitoring, kendali dan automaton dengan memilih sensor yang tepat dan sesuai dengan mengoptimalkan pembacaan sensor-sensor dengan beberapa metode yang ada, dan juga mengoptimalkan kendali agar mudah dikendalikan.

2. Studi Terkait

Hidroponik dalam Ruangan

Di sebuah artikel dengan judul Hidroponik dalam Ruangan pada majalah Trubus tahun 2014 membahas tentang Hidroponik yang menggunakan sistem *Nutrition Film Technique (NFT)* berlokasi di lantai 6 dan 7 di gedung utama Universitas Tarumanagara. Ada beberapa parameter yang digunakan dalam sistem ini yaitu; sistem hanya disinari matahari dalam enam jam, cahaya berasal dari LED setinggi 30 cm dari guli cahaya merah dan cahaya biru yang dinyalakan 24 jam. Air dan nutrisi dipompa dengan kekuatan 5500 liter perjam. Kelembapan berada di angka 40%. Penggunaan generator ozon sepanjang hari untuk mengatasi penyakit dan lumut. [1]

Cornell CEA Lettuce Handbook

Untuk melengkapi beberapa parameter yang akan digunakan maka, maka salah satu penelitian yang dilakukan oleh Dr. Melissa Brechner, Dr. A.J. Both, dan CEA Staff diambil sebagai sumber referensi. Berikut adalah parameter yang digunakan; temperatur air tidak melebihi 25°C didinginkan pada saat 26°C, dihangatkan pada saat 24°C. Kelembapan relatif minimum 50% dan tidak melebihi 70%. Kadar karbon dioksida yaitu 1500 ppm jika ada cahaya matahari, 390 ppm pada cahaya ambient. intensitas cahaya 17mol m⁻² d⁻¹ kombinasi antara cahaya matahari dan sumber cahaya disekitar lingkungan. Kadar oksigen 7mg/L atau ppm. Kadar pH pada rentang 5.6-6. [2]

Sistem Wick

Dalam tugas akhir ini digunakan sistem wick sebagai metode penanaman yang diteliti, selain mudah dan sederhana, sistem wick juga cukup murah dan cukup mudah untuk melakukan penelitian dan bereksperimen. Sistem Wick mirip dengan mekanisme kompor dimana sumbu menyerap air dan tanaman terdapat diatasnya.

Photosynthetically Active Radiation (PAR)

Pada dasarnya tugas akhir ini adalah memasang sistem IoT pada hidroponik dalam ruangan [1]. Dalam penggunaannya LED digunakan sebagai sumber cahaya. Untuk mengefektifkan penggunaan LED maka digunakan PAR sebagai standar penyinaran pada tanaman. PAR adalah gelombang dari radiasi cahaya yang digunakan untuk melakukan proses fotosintesis berukuran 400-700 nanometers. [3]

NodeMCU

NodeMCU adalah mikrokontroler yang digunakan pada tugas akhir ini. NodeMCU menggunakan Bahasa pemrograman LUA namun dalam tugas akhir ini masih menggunakan Arduino IDE. NodeMCU sudah dilengkapi dengan ESP8266, yaitu modul WiFi untuk mengirim dan menerima data. [4]

Sensor Konduktivitas / TDS / Kadar Garam

Untuk mengukur kadar garam, digunakan sensor ini. Sensor berada di dalam pipa PVC 1/2" dengan menggunakan elektroda stainless steel, koefisien linearitas data konduktivitas sebesar 0.9639, koefisien linearitas data TDS sebesar 0.983, memiliki sensitivitas pada bahan yang bersifat konduktif, kedalaman cairan pada saat pengukuran sebesar 5.5 cm dari ujung sensor. [5]

DHT 22

DHT22 atau juga dikenal sebagai AM2302 adalah sensor yang dapat mengukur suhu dan kelembaban udara di sekitarnya. Memiliki supply voltage 5-volt, pengukuran suhu dari -40 - 80 °C / resolution 0.1°C / error < ± 0.5°C, Pengukuran Kelembapan: 0-100% RH / resolution 0.1%RH / error ± 2%RH, Waktu pemindaian 2 detik. [6]

DS18B20

DS18B20 merupakan thermometer digital yang menyediakan 9-bit sampai 12-bit pengukuran suhu celsius dan memiliki fungsi alarm. Pada rentang suhu -10°C sampai 85°C , sensor ini memiliki akurasi $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Sensor ini bekerja menggunakan protokol komunikasi 1-wire. Kemampuan yang dimiliki oleh sensor ini antara lain dapat mengukur suhu dari -55°C ke 125°C pendeteksi suhu yang disederhanakan. [7]

Addressable RGB 60-LED Strip (WS2812B)

LED Strip adalah kumpulan banyak LED yang dikumpulkan menjadi satu sehingga terlihat seperti tali. Setiap LED yang ada dapat di atur secara individual, memiliki 24 bit warna 16.8 juta warna per pixel, fleksibel, waterproof, setiap LED nya mengonsumsi daya sebesar 50 mA. [8]

Effect of Light Colour on the Rate of Photosynthesis

Cahaya dapat diserap oleh pigmen, pigmen yang berbeda menyerap panjang gelombang cahaya yang berbeda. Warna hijau pada daun disebabkan karena daun memantulkan cahaya berwarna hijau dan menyerap cahaya yang berwarna lain. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh salah satu siswa biologi bahwa cahaya berwarna violet dan merah dapat meningkatkan proses fotosintesis lebih baik dibandingkan warna lainnya. [9]

Light Dependent Resistor (LDR)

LDR adalah jenis resistor yang berubah hambatannya bergantung pada cahaya. Bila cahaya gelap nilai tahanannya semakin besar, sedangkan cahayanya terang nilainya menjadi semakin kecil. Biasa digunakan sebagai pendeteksi intensitas cahaya atau pengukur besaran konversi cahaya. [10]

One Channel Relay

Relay bekerja seperti saklar yang dapat hidup dan mati, penggunaannya pada tugas akhir ini cukup banyak, dari mengontrol dua sensor analog sekaligus sampai mendukung automaton dari pompa air. Relay yang digunakan adalah relay satu channel, dengan tegangan maksimal 250 volt, yang dilengkapi dengan LED pendukung. [11]

HC-SR04

HC-SR04 adalah sensor ultrasonic yang menggunakan empat pin, yaitu pin vcc, gnd, trigger, dan echo pin. Memiliki jangkauan deteksi: 2cm sampai kisaran 400 -500cm, tegangan kerja 5V DC, Frekuensi Ultrasonik 40 kHz.

Colour Rendering of Spectra

Untuk melakukan perubahan panjang gelombang menjadi format red green blue (RGB) pada mesin. Walaupun dikatakan konversi, sebetulnya masih banyak hal yang perlu diperhatikan dan masih sulit dikonversikan agar bisa sesuai dengan persepsi mata manusia. Standarnya manusia dapat melihat dari panjang gelombang 380-780 nanometer (nm). Meskipun tidak menggunakan metode ini dalam tugas akhir ini, namun ada beberapa poin penting yang tercatat, seperti warna yang diproduksi oleh mesin sedikit lebih kecil dibandingkan yang manusia normal lihat, sehingga dibutuhkan pendekatan seperti desaturasi agar mencapai warna yang tersedia oleh mesin. Konsep pendekatan ini cukup sederhana, dengan mengkonversi panjang gelombang ke persamaan Commission internationale de l'éclairage (CIE) yang sudah tersedia, kemudian mengubahnya menjadi CIE XYZ. X dan Z akan menghasilkan kualitas dari warna dan Y menunjukkan silau dari warna tersebut. [13]

SPECTRA

Salah satu metode yang menggunakan pendekatan linear untuk koefisien warna RGB dari panjang gelombang 380 – 780 nm. Berikut adalah persamaan linearnya (2.1):

$$\text{koefisien warna} = \frac{W - W_{min}}{W_{max} - W_{min}} \quad (2.1a)$$

$$\text{koefisien warna} = - \frac{W - W_{max}}{W_{max} - W_{min}} \quad (2.1b)$$

Pada persamaan diatas koefisien warna adalah salah satu koefisien RGB yang digunakan, w adalah panjang gelombang. Pada setiap panjang gelombang dan koefisien warna yang digunakan tidak selalu sama, hal tersebut dibedakan dengan jarak panjang gelombang yang digunakan yaitu w_{min} dan w_{max} . Dalam penggunaannya persamaan 2.1a digunakan jika koefisien warna dari jarak panjang gelombang semakin naik, jika semakin turun maka persamaan 2.1b digunakan. [14]

Pengembangan SPECTRA

Salah satu pengguna stackoverflow bernama Spektre mengembangkan algoritma spectra untuk membuat pelangi berdasarkan panjang gelombang. Pengguna tersebut menyediakan grafik untuk warna dan menambahkan sin untuk pendekatannya. Berikut adalah persamaannya:

$$\text{koefisien warna} = \mu_{max} * \sin \left(\pi * \left(\frac{w - w_{min}}{w_{max} - w_{min}} \right) \right) \quad (2.2a)$$

$$\text{koefisien warna} = \mu_{max} - \mu_{max} * \sin \left(\pi * \left(\frac{w - w_{min}}{w_{max} - w_{min}} \right) \right) \quad (2.2b)$$

Perbedaan dari metode sebelumnya, metode ini lebih banyak mencakup range gelombang yang digunakan. μ_{max} adalah nilai tertinggi dari grafik yang tersedia pada jarak panjang tertentu. Persamaan 2.2b digunakan jika kurva yang dibentuk merupakan kurva parabolik, sedangkan persamaan 2.2a digunakan jika kurva yang dihasilkan semakin naik maupun semakin turun. Pada umumnya kurva yang dihasilkan persamaan 2.2a terdapat pada awal pembentukan kurva. [15]

Pengembangan SPECTRA versi 2

Spektre kembali memperbaiki algoritmanya dengan cara melinearkan persamaan yang ia miliki dan memperbaiki range nya berdasarkan data yang ia peroleh, dengan persamaan:

$$\text{koefisien warna} = a + bt + ct^2 \quad (2.3a)$$

Variabel a, b dan c adalah nilai yang berbeda-beda pada setiap panjang gelombang yang berbeda, untuk membuat grafik yang sesuai dengan data yang diambil dari spektrum cahaya matahari dan grafik cahaya yang didapat dari renderannya. Untuk t sendiri didapat dari persamaan:

$$t = \frac{w - w_{min}}{w_{max} - w_{min}} \quad (2.3b)$$

[16]

Axel Benz Formula

Dalam mengukur resistor terkadang hasil yang tertera pada multimeter tidak selalu sama dengan yang tertulis pada resistor itu sendiri. Hasil dari multimeter tersebut juga selalu berbeda-beda, maka untuk menghasilkan nilai yang cukup akurat, maka digunakan formula ini, berikut adalah formulanya:

$$R_{ref} = \sqrt{R_{min} * R_{max}} \quad (2.4)$$

Pada persamaan 2.4 R adalah nilai hambatan, ref untuk nilai hambatan yang sebenarnya dari nilai hambatan terkecil (R_{min}) dan hambatan terbesar (R_{max}). [17]

Voltage Divider

Voltage divider memiliki persamaan untuk mengukur berapa tegangan yang keluar dari tegangan yang masuk dan resistor yang digunakan, berikut adalah persamaannya:

$$V_{out} = \frac{V_{in} * R_{ldr}}{R + R_{ldr}} \quad (2.5)$$

R mewakili hambatan, R_{ldr} mewakili nilai hambatan dari sensor intensitas cahaya, V_{out} mewakili tegangan yang sudah melewati kedua resistor dan V_{in} adalah nilai tegangan yang masuk dari sumber tegangan. [18]

3. Skema Sistem yang Dirancang

3.1. Penempatan dan kalibrasi sensor dan kendali

Pada gambar 1.1 dapat dilihat alat ini memiliki beberapa sensor, seperti sensor cahaya dan TDS yang merupakan sensor analog. Berhubung nodemcu hanya memiliki satu pin analog, maka kedua sensor dihubungkan pada relay agar dan nilai dibaca bergantian. Terdapat juga pompa air untuk menambahkan air ketika air yang berada dalam kotak habis. Sisanya adalah sensor digital. Untuk LED strip diletakkan diatas netpot. LED strip bisa diatur dari web, digunakan metode Pengembangan SPECTRA versi 2 [16] untuk melakukan konversi dari panjang gelombang ke format RGB. Untuk sensor LDR digunakan unit lux sebagai unit cahaya, berikut adalah persamaan kasar untuk R_{ldr} :

$$R_{ldr} = \frac{500}{Lux} \quad (3.1a)$$

Untuk mendapatkan lux maka persamaan 3.1a diubah bentuknya menjadi:

$$Lux = \frac{500}{R_{ldr}} \quad (3.1b)$$

R_{ldr} memiliki unit kOhm, dengan menggunakan persamaan voltage divider (2.5) maka didapatkan R_{ldr} :

$$R_{ldr} = \frac{R * V_{out}}{V_{in} - V_{out}} \quad (3.1c)$$

Dalam penggunaannya data yang masuk kedalam sensor berupa bilangan bulat 0 – 1023, jadi untuk menghitung V_{out} didapat dari persamaan:

$$V_{out} = analogReading * \frac{V_{in}}{1024} \quad (3.1d)$$

Analog reading adalah nilai yang didapat dari sensor intensitas cahaya.

Untuk pengaturan ultrasonic digunakan persamaan kecepatan berikut:

$$v = \frac{s}{t} \quad (3.2a)$$

Dikarenakan ultrasonic menggunakan suara untuk mengukur tinggi atau panjang dari target, maka digunakan kecepatan suara, berikut adalah kecepatannya:

$$v_{suara} = 340 \text{ m/s} \quad (3.2b)$$

Kecepatan suara diubah kedalam bentuk cm / μ s karena unit yang digunakan adalah cm dan waktu yang didapat dari ultrasonic dalam unit mikrosekond (μ s).

$$v_{suara} = 0.034 \text{ cm}/\mu\text{s} \quad (3.2c)$$

Dikarenakan suara yang keluar akan kembali maka jarak yang dihasilkan adalah dua kali lipat dibandingkan jarak yang sebenarnya, maka dari itu persamaannya menjadi:

$$s = t * \frac{0.034}{2} \quad (3.2d)$$

t adalah nilai yang didapat dari sensor dalam unit μ s (mikro detik).

3.2. Alur kerja alat

Pada gambar 1.2 dapat dilihat alur pengerjaan data, dari menjalankan algoritma sampai pengaksesan url yang ada. Pengaksesan data ini menggunakan metode get seperti pada php, metode get ini adalah pengaksesan url dengan ditambahkan beberapa variabel setelahnya, server kemudian akan melakukan pembacaan url dan membagi-bagikan masing-masing get dan menyimpannya pada database yang sesuai. Untuk mengambil data, mikrokontroler menggunakan metode http.get() yang bertujuan mengambil semua tampilan. Tampilan tersebut ada dalam format JSON, kemudian Parsing JSON juga dilakukan, hal tersebut dilakukan untuk mempermudah pembagian data yang diambil untuk melakukan kendali pada alat yang bersangkutan.

Perlu dicatat bahwa nodemcu tidak bisa bekerja secara parallel, jadi pengefektifan algoritma sangatlah penting dengan menghitung waktu baca rata-rata sensor dan memprioritaskan pembacaan sensor yang lebih cepat berulang kali bila perlu. Kontroler dilakukan sebelum pengiriman, agar aksi kontroler dipercepat.

4. Evaluasi

Bagian ini menjelaskan tentang hasil pengujian dan analisis hasil pengujian untuk mengetahui kinerja dari prototip yang telah dibuat, pengujian berupa pengolahan data yang dihasilkan oleh sensor dan software.

4.1. Hasil Pengujian

4.1.1. Pengujian data yang diunggah ke web server dari mikrokontroler

Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui apakah data yang sudah diolah terupload pada database server yang diolah dari nodemcu dan pembacaan sensor dari hardware. Waktu tunggu dari pemrosesan sensor sampai penguploadan data adalah sebesar empat sampai lima detik. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 1.3.

4.1.2. Tampilan web dengan data yang diambil dari database

Pada tahap ini, data yang didapat akan langsung diambil dari database untuk ditampilkan pada web. Data yang diambil sebanyak 200 data yang akan ditampilkan pada tiga menu yang berbeda, yaitu menu TDS, menu DHT22 dan menu etc untuk sensor-sensor lain. Untuk melakukan real-time monitoring, data yang diambil dari database pertama-tama harus dipanggil terus menerus pada page lain setiap detiknya, data yang tertampil pada page tersebut dalam format Javascript Object Notation (JSON). Kemudian objek-objek tersebut dipisahkan menurut variabelnya dan ditampilkan pada grafik yang bersangkutan. Tampilan web dapat dilihat di gambar 1.4.

4.1.3. Kendali untuk data yang ditampilkan

Pada tahap ini mengakses page yang sudah tertera, page tersebut menampilkan data berupa data kontroler dalam format JSON. Data diambil dari database kontroler yang terdapat pada webserver. Data tersebut hanya perlu ditampilkan dan dibaca dengan metode `http.get()` dari mikrokontrolernya. Objek yang didapat akan dipisahkan menurut variabelnya masing-masing, dan akan dilakukan aksi sesuai dengan nilai yang tertera pada data yang didapat. Tampilan kendali dapat dilihat di gambar 1.5.

4.2. Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil uji yang didapat setiap sensor dapat bekerja dengan baik, pompa dan LED strip menyala sesuai dengan perintah yang diberikan dari kendali web. Data yang terunggah pun dapat tersimpan pada web dengan baik dan benar.

Meskipun begitu setiap sensor yang digunakan memiliki waktu baca yang berbeda, dan sering memiliki error perhitungan yang cukup besar. Berhubung tugas akhir ini menggunakan banyak sensor, error tersebut sangatlah jelas. Error pembacaan sensor, terutama pembacaan sensor analog sangat besar, bisa sampai delapan angka jauh dari angka normalnya. Banyak parameter yang mempengaruhi, dari alat yang sudah terlalu sering dipakai, tegangan keluar yang kurang dapat memenuhi pembacaan sensor, dan keterbatasan nodemcu nya sendiri. Upload data yang memakan waktu hingga tiga detik juga dapat memberikan error pada kendali alat.

Terdapat satu alat yang tidak digunakan, karena cara kerjanya tidak sesuai untuk tugas akhir ini, yaitu sensor pH. Sensor pH ini tidak bisa digunakan bersamaan dengan TDS meter, karena sensor pH bekerja dengan cara menghasilkan potensi elektrokimia dari kedua cairan (cairan dari ph meter dan cairan yang diamati), sehingga ketika digunakan bersamaan dengan TDS meter, sensor pH menghasilkan angka pembacaan analog nol. Sensor pH juga tidak cocok untuk tugas akhir ini karena ketika sudah menganalisa salah satu cairan, sensor pH harus dicuci terlebih dahulu. Belum lagi sensor ini adalah sensor analog, sedangkan nodemcu hanya menyediakan satu pin analog. Alat ini dilengkapi LED strip, namun tentu saja tidak bisa menggantikan sinar matahari sepenuhnya untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

5. Kesimpulan

Pada tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan seperti kurangnya automaton yang bisa mengatur suhu dan kelembapan, karena pin yang tersedia pada nodemcu sangat tidak memungkinkan jika ingin menaruh banyak kontroler kecuali dengan beberapa trik, namun itu tetap tidak mungkin karena alat yang ada sangatlah minim. Resiko terjadinya error pun cukup besar jika hanya menggunakan satu mikrokontroler, belum lagi maintenance berkala yang dilakukan. sangat memungkinkan alat yang sudah jadi namun karena satu dan dua hal tidak bekerja. Sangatlah dianjurkan untuk memisahkan sensor dan kontroler pada dua mikrokontroler, jadi pembacaan sensor dan kontroler tidak terganggu.

Daftar Pustaka

- [1] Raharjo, A. A. (2014, Juni). *Hidroponik dalam Ruang*. (R. Fadhilah, Ed.) *Trubus*(535), 36-40.
- [2] Dr. Melissa Brechner, and Dr. A.J. Both, *Hydroponics Lettuce Handbook*, Cornell University
- [3] Ptushenko, V.V.; Avercheva, O.V.; Bassarskaya, E.M. (2015-08-09). Possible reasons of a decline in growth of Chinese cabbage under a combined narrowband red and blue light in comparison with illumination by high-pressure sodium lamp. *Scientia Horticulturae*. elsevier. [4] Ptushenko, V.V.; Avercheva, O.V.; Bassarskaya, E.M. (2015-08-09). Possible reasons of a decline in growth of Chinese cabbage under a combined narrowband red and blue light in comparison with illumination by high-pressure sodium lamp. *Scientia Horticulturae*. elsevier.
- [4] NodeMCU, NodeMCU documentation. [Online] Tersedia di: <https://nodemcu.readthedocs.io/en/master/> [diakses 15 Mei 2018]
- [5] Inovasi, Depo. Datasheet Sensor Konduktivitas TDS Kadar Garam. [Online] Tersedia di: <http://www.depinovasi.com/produk-510-sensor-konduktivitas--tds-kadar-garam.html#> [Diakses 26 Oktober 2017]
- [6] Elektronika, Lab, DHT22 SENSOR SUHU DAN KELEMBAPAN MENGGUNAKAN ARDUINO [Online] Tersedia di: <http://www.labelektronika.com/2016/09/dht22-sensor-suhu-dan-kelembaban-arduino.html> [diakses 15 Mei 2018]
- [7] Integrated, Maxim. (2015). Datasheet DS18B20. [Online] Tersedia di <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> [Diakses 3 November 2017]
- [8] Pololu. Addressable RGB 60-LED Strip, 5V, 2m (WS2812B). [Online] Tersedia di <https://www.pololu.com/product/2547> [Diakses 3 November 2017]
- [9] Essays, UK. (November 2013). The Effect Of Light Colour On The. [Online] Tersedia di <https://www.ukessays.com/essays/biology/the-effect-of-light-colour-on-the.php?cref=1> [Diakses 3 November 2017]
- [10] Nugraha, Rivanna. LDR (Light Dependent Resistor) (03 Maret 2013) [Online] Tersedia di: <http://ilmuinstrumentasi.blogspot.co.id/2013/03/ldr-light-dependent-resistor.html> [diakses 15 Mei 2018]

- [11] Elecfreaks. 1 Channel 5V Relay Module Arduino Compatible BK008 [Online] Tersedia di: <http://www.elecfreaks.com/store/1-channel-5v-relay-module-arduino-compatible-bk008-p-259.html> [diakses 15 Mei 2018]
- [12] Digi-bytes. SENSOR JARAK ULTRASONIK HC-SR04 [Online] Tersedia di: http://www.digi-bytes.com/index.php?route=product/product&product_id=96 [diakses 15 Mei 2018]
- [13] Walker, John. Colour Rendering of Spectra (25 April 1996) [Online] Tersedia di: <http://www.fourmilab.ch/documents/specrend/> [diakses 27 April 2018]
- [14] Bruton, Dan. Color Science. [Online] Tersedia di: <http://www.midnightkite.com/color.html> [diakses 27 April 2018]
- [15] Spektre. How do I draw a rainbow in Freeglut?. [Online] Tersedia di: <https://stackoverflow.com/questions/22141206/how-do-i-draw-a-rainbow-in-freeglut?answertab=votes#tab-top> [diakses 27 April 2018]
- [16] Spektre. RGB values of visible spectrum. [Online] Tersedia di: https://stackoverflow.com/questions/3407942/rgb-values-of-visible-spectrum/22681410#comment38488327_22681410 [diakses 27 April 2018]
- [17] arduinodiy. Chosing a pull down resistor for an LDR: Axel Benz formula [Online] Tersedia di: <https://arduinodiy.wordpress.com/2014/07/07/chosing-a-pull-down-resistor-for-an-ldr-axel-benz-formula/> [diakses 12 Mei 2018]
- [18] jimb0. Voltage Dividers [Online] Tersedia di: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/voltage-dividers> [diakses 12 Mei 2018]