

Implementasi Sistem Kontrol dan *Monitoring* pH pada Tanaman Kentang Aeroponik secara *Wireless*

Andrika Wahyu Wicaksono¹, Edita Rosana Widasari², Fitri Utamingrum³

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹andwahyu22@gmail.com, ²editarosanaw@ub.ac.id, ³f3_ningrum@ub.ac.id

Abstrak

Kebutuhan kentang yang setiap tahun mengalami peningkatan, namun tidak diimbangi dengan peningkatan produksi dan luas lahan untuk komoditas tanaman kentang. Untuk meningkatkan produksi pada lahan yang semakin terbatas, teknik aeroponik menjadi salah satu solusi bagi petani yang tidak memiliki ketersediaan lahan yang luas. Dengan teknik aeroponik produksi kentang memiliki hasil panen lebih banyak dan bagus daripada teknik konvensional dengan tanah. PH merupakan salah satu unsur yang sangat mempengaruhi tumbuh kembang tanaman aeroponik dan perlu diperhatikan. Rentang pH ideal untuk sistem aeroponik berkisar antara 5,5-6,5. Maka sistem kontrol dan *monitoring* diperlukan dalam teknik aeroponik. Pada penelitian ini untuk mengontrol dan *monitoring* keadaan pH menggunakan pengiriman secara *wireless*. Terdapat enam node buah dalam penelitian ini yaitu dua buah node sensor, satu node koordinator, dan tiga node actuator. Dari hasil pengujian didapatkan pembacaan data oleh sensor pH memiliki nilai error sebesar 1 % dengan selisih kesalahan pembacaan sebesar 0,08 derajat pH. Pengiriman data sensor secara *wireless* pada pengiriman data tanpa halangan memiliki keakuratan pengiriman data sebesar 99,98% dengan satu node sensor dan sebesar 96,13% dengan dua node sensor. Pada pengiriman dengan adanya halangan memiliki tingkat keakuratan pengiriman data sebesar 99,93 % dengan satu node sensor dan sebesar 92,99% dengan dua node sensor.

Kata kunci: *tanaman aeroponik, sistem kontrol, sistem monitoring, sensor pH, wireless*

Abstract

The needs of potato each year has increased, but not offset by increased production and land area for commodity crops of potatoes. To boost production in an increasingly limited land, aeroponics techniques into one solution for farmers who have no land availability. Aeroponics potato production techniques have yields more good than conventional techniques and with the land. PH is one of the elements that greatly affect the growth of aeroponic plant. The ideal pH range for an aeroponics system ranges between 5.5-6.5. Then the system control and monitoring is required in an aeroponics techniques. In this research for controlling and monitoring the State of a pH using wireless transmission. There are six nodes that is two nodes, one node sensor Coordinator, and three nodes of the actuators. From the test results obtained by the sensor data reading of pH value of 1% error within an error reading of 0.08 degree pH. Sensor data transmission using wireless data on delivery without hitch has the accuracy of data delivery of 99.98% with one node of the sensors and 96.13% with two sensor nodes. On delivery with the hitch has the level of accuracy of the data delivery of 99.93% with one sensor nodes and of 92.99% with two sensor nodes.

Keywords: *aeroponic plants, control system, monitoring system, sensor pH, wireless*

1. PENDAHULUAN

Kentang merupakan makanan sumber karbohidrat yang dapat digunakan sebagai alternatif pengganti nasi. Kentang juga salah satu komoditas hortikultura yang berpotensi dan mendapatkan prioritas untuk dikembangkan di

Indonesia. Disamping itu makin banyaknya perkembangan industri makanan ringan dan restoran cepat saji yang menggunakan kentang sebagai salah satu bahan bakunya, mengakibatkan meningkatnya permintaan produk kentang yang baik dalam segi jumlah maupun mutu yang berkualitas untuk

dikonsumsi. Jumlah permintaan kentang dari data rata-rata konsumsi per kapita cenderung mengalami peningkatan pada beberapa tahun terakhir dari tahun 2011 sampai dengan tahun 2015. Peningkatan yang sangat menonjol terlihat pada tahun 2014 ke tahun 2015 sebesar 50 persen, dari 1.476 Kg per kapita per tahun ke 2.294 Kg per kapita per tahun (Kementerian Pertanian, 2015). Peningkatan tersebut seharusnya perlu diimbangi juga dengan peningkatan produksi dan luas lahan pertanian. Ketersediaan lahan adalah salah satu kendala yang menjadi permasalahan di pertanian hortikultura Indonesia. Sampai saat ini ketersediaan lahan untuk pertanian hortikultura masih sangat kecil jika dibandingkan dengan lahan pertanian lainnya (Dirjen Hortikultura, 2015).

Aeroponik adalah cara menanam tanaman yang digantung di udara dan tumbuh di lingkungan lembap tanpa tanah. Karena akar digantungkan di udara memungkinkan untuk menanamnya hampir di mana saja pada ruang kubik yang dapat digunakan (Reyes, et al., 2012). Teknik aeroponik pernah diterapkan pada produksi kentang dengan hasil yang diperoleh bahwa jika menanam kentang dengan menggunakan teknik konvensional (media tanah), hasil produksi rata-rata adalah 3-5 umbi kentang per tanaman. Sedangkan dengan menggunakan teknik aeroponik (media udara), hasil produksi yang bisa diperoleh rata-rata menghasilkan 30 umbi kentang per tanaman (Rosdiana, 2014). Hasil produksi sayuran dengan menggunakan teknologi aeroponik sekarang sudah mulai banyak ditemukan di berbagai pasar swalayan di kota-kota besar. Meskipun harganya tinggi, namun sayuran ini selalu habis dibeli konsumen. Konsumen biasanya dari kalangan menengah ke atas. Alasan konsumen tetap memburu produk ini karena kualitas baik, higienis, sehat, segar, renyah, beraroma, dan cita rasa tinggi (Sutiyo, 2003). Jenis tanaman yang sering dibudidayakan dengan teknik aeroponik ini pada umumnya berupa sayuran daun yang panennya sekitar satu bulan setelah pindah tanam. Seperti contohnya sayuran bayam, kangkung, kentang, dan lain-lain. Di sisi lain, pada penerapannya sendiri teknik aeroponik membutuhkan perawatan yang lebih yaitu perlu dilakukannya pengecekan dan pengontrolan pada tanaman serta larutan nutrisi supaya sesuai dengan kebutuhan tanaman agar mendapat hasil tanaman yang berkualitas dengan harga jual tinggi. Hal tersebut yang menjadi latar

belakang untuk menerapkan sistem kontrol dan monitoring pada tanaman kentang dengan teknik aeroponik ini.

Dengan adanya permasalahan tentang diatas, maka penulis merancang sebuah sistem yang berjudul “Implementasi Sistem Kontrol dan *Monitoring* pH pada Tanaman Kentang Aeroponik secara *Wireless*”. Sistem ini dapat *me-monitoring* suhu dan pH pada tanaman kentang aeroponik secara *wireless*. Sistem juga dapat mengontrol nilai pH pada larutan agar kondisi pH tersebut tetap terjaga sesuai batas tumbuh tanaman kentang serta dilakukan penyemprotan larutan secara berkala pada akar tanaman. Sistem ini akan mengolah dan memberikan informasi terkait keadaan parameter tanaman melalui LCD dan akan memberikan tanda berupa bunyi dari buzzer apabila parameter tersebut tidak sesuai dengan syarat tumbuh pada tanaman aeroponik..

2. DASAR TEORI

2.1. Aeroponik

Aeroponik adalah cara menanam tanaman yang digantung di udara dan tumbuh dalam lingkungan lembap tanpa tanah. Karena akar digantungkan di udara memungkinkan untuk menanamnya hampir di mana saja pada ruang kubik yang dapat digunakan (Reyes, et al., 2012). Aeroponik berasal dari kata *aero* yang berarti udara dan *ponus* yang berarti daya. Jadi aeroponik adalah memberdayakan udara. Sebenarnya aeroponik merupakan suatu tipe hidroponik (memberdayakan air) namun air yang berisi nutrisi dan larutan hara yang dibutuhkan tanaman disemurkan dalam bentuk kabut hingga mengenai akar tanaman.

Ada dua sistem aeroponik yaitu aeroponik bertekanan rendah (*Low Pressure Aeroponic*, LPA) dan aeroponik bertekanan tinggi (*High Pressure Aeroponic*, HPA). Yang membedakan dari kedua sistem aeroponik ini adalah ukuran partikel penyemprotan air dan teknik penyemprotannya.

2.2. Nutrisi

Sistem aeroponik merupakan salah satu tipe dari hidroponik yaitu memberdayakan air, akan tetapi dalam kasus sistem aeroponik memberdayakan air tersebut dengan melalui udara (pengkabutan) karenanya air pada sistem aeroponik berisi larutan nutrisi (hara) yang disemprotkan atau disemurkan dalam bentuk

kabut hingga mengenai akar tanaman yang menggantung.

Pada tanaman hidroponik atau sejenisnya apabila pH tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman bisa diartikan tanaman tersebut akan kehilangan kemampuan untuk menyerap unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Rentang pH ideal untuk tanaman hidroponik atau dengan sistem aeroponik berkisar antara 5,5 - 6,5 dan optimal 6,0. (Ulfa, 2013).

2.3. Arduino Nano

Arduino Nano adalah sebuah board mikrokontroler yang berbentuk kecil yang didasarkan pada ATmega328 (Arduino Nano 3.x) atau ATmega168 (Arduino Nano 2.x) dan lengkap dengan 14 pin digital yang dapat dipergunakan sebagai *input* dan *output*, dimana 6 diantaranya memberikan *output* PWM serta memiliki 8 input *analog* (Arduino, 2016).

2.4. Modul nRF24101

Modul nRF24L01 adalah sebuah chip komunikasi jarak jauh yang memanfaatkan pita gelombang RF 2.4GHz ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Modul ini menggunakan antarmuka *Serial Peripheral Interface* (SPI) untuk berkomunikasi dan dengan rentang tegangan antara 1,9 sampai 3,6 volt. Modul nRF24101 memiliki *true ULP solution* yang memungkinkan daya tahan baterai berbulan-bulan hingga bertahun-tahun (Nordic Semiconductor, 2007).

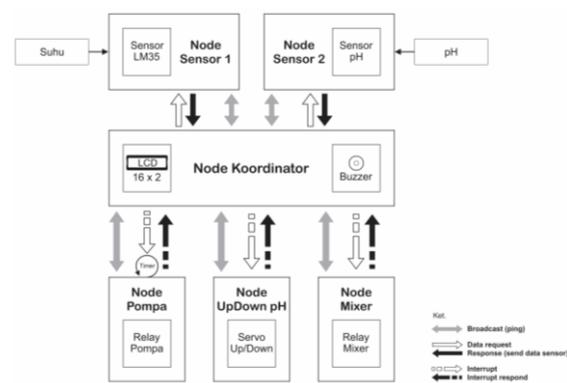
2.5. Sensor pH

Sensor pH adalah sensor yang dapat mengukur derajat keasaman (pH) pada suatu larutan. Prinsip kerja sensor pH ini terletak pada elektrode referensi dan elektrode kaca yang memiliki ujung berbentuk bulat (*bulb*) yang berfungsi sebagai tempat terjadinya pertukaran ion positif (H⁺), pertukaran ion menyebabkan adanya beda potensial antara dua elektrode sehingga pembacaan potensiometer akan menghasilkan positif atau negatif (Onny, 2014).

PH sensor module sangat diperlukan pada sensor pH untuk meng-konversikan nilai keluaran dari sensor (beda potensial antara kedua elektrode) menjadi nilai analog berbentuk sinyal voltage. Nilai analog tersebut yang akan diolah oleh mikrokontroler untuk menentukan derajat keasamaan (pH) suatu larutan termasuk dalam kondisi normal, asam, atau basa.

3. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

3.1. Gambaran Umum Sistem



Gambar 1. Gambaran Umum Kerja Sistem

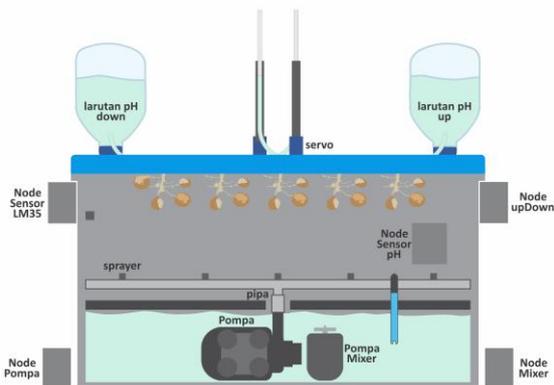
Gambar 1 diatas merupakan gambaran umum dari kerja sistem, dimana tiap nodenya akan berkomunikasi secara *wireless* dengan menggunakan modul nRF24101.

Sistem ini akan bekerja apabila semua node dalam keadaan aktif yang ditandai dengan bunyi *buzzer* pada node koordinator yang sebelumnya telah melakukan pengecekan status pada node sensor dan node aktuator dengan cara melakukan pengiriman paket *broadcast*. Setelah semua node dalam keadaan aktif, node koordinator akan melakukan *request* data ke node sensor dan node sensor akan memberikan *response* dengan mengirimkan data yang berisi data sensor. Apabila data sensor yang diterima oleh node koordinator tidak sesuai dengan batas yang telah ditentukan maka node koordinator selanjutnya akan melakukan *interrupt* atau mengirimkan perintah terhadap node aktuator dan node aktuator akan mengirimkan *interrupt response* sebagai penanda bahwa node aktuator menjalankan perintah dari node koordinator.

3.2. Perancangan Sistem

3.3.1. Perancangan Prototype Ruang Perakaran Aeroponik

Dalam perancangan *prototype* ruang perakaran aeroponik ini menggambarkan *prototype* dari box plastik. Perancangan *prototype* ruang perakaran dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



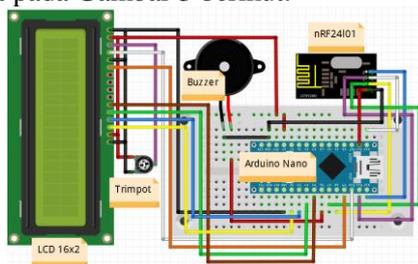
Gambar 2. Perancangan Prototype Ruang Perakaran Aeroponik

Pada perancangan *prototype* ruang perakaran aeroponik tersebut sekaligus merancang tata letak perangkat keras yang digunakan pada *prototype* sistem.

3.3.2. Perancangan Perangkat Keras

3.3.2.1. Perancangan Rangkaian Elektronik Node Koordinator

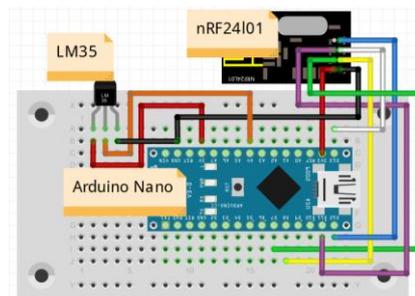
Perancangan perangkat keras pada node koordinator yang terfokus pada rangkaian elektronik ini terdiri dari beberapa komponen yaitu Arduino Nano, modul nRF24I01, buzzer, LCD 16x2 dan variabel resistor (trimpot). Perancangan rangkaian elektronik dan keterangan pin pada node koordinator dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Rancangan Rangkaian Elektronik Node Koordinator

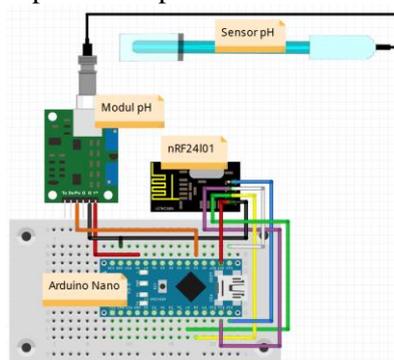
3.3.2.2. Perancangan Rangkaian Elektronik Node Sensor

Pada perancangan ini terdapat dua rancangan rangkaian node sensor yaitu node sensor 1 dengan sensor LM35 dan node sensor 2 dengan sensor PH. Perbedaan antara kedua rangkaian node tersebut hanyalah sensor yang digunakan. Adapun perancangan rangkaian elektronik pada node sensor 1 dengan menggunakan sensor LM35 dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Rancangan Rangkaian Elektronik Node Sensor 1 (Sensor LM35)

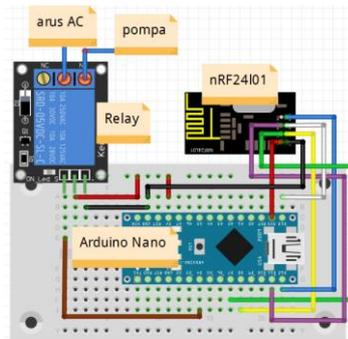
Untuk perancangan rangkaian elektronik pada node sensor 2 dengan menggunakan sensor LM35 dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Rancangan Rangkaian Elektronik Node Sensor 2 (Sensor pH)

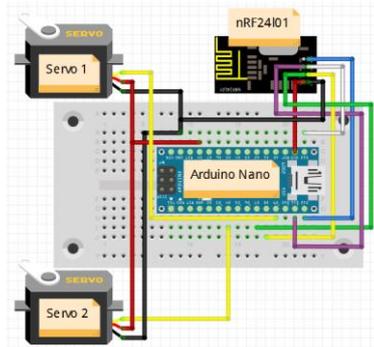
3.3.2.3. Perancangan Rangkaian Elektronik Node Aktuator

Pada perancangan ini terdapat tiga rancangan rangkaian node aktuator yaitu rancangan node pompa, node mixer, dan node upDown. Pada node pompa dan node mixer menggunakan aktuator yang sama yaitu pompa yang dikendalikan dengan modul relay. Adapun perancangan rangkaian elektronik pada node pompa dan node mixer dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.

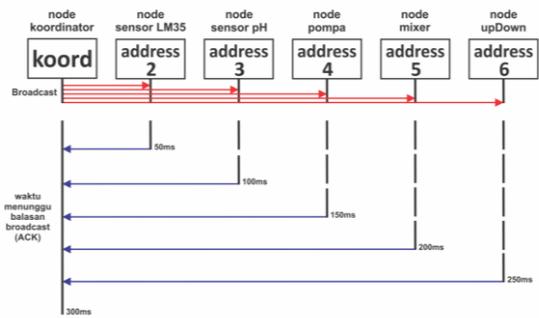


Gambar 6. Rancangan Rangkaian Elektronik Node Pompa dan Node Mixer

Untuk perancangan rangkaian elektronik pada node upDown dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Rancangan Rangkaian Elektronik Node UpDown



Gambar 8. Gambaran Rancangan Fungsi Broadcast

3.3.3. Perancangan Perangkat Lunak

3.2.3.1. Perancangan Paket Data

Pada perancangan ini paket data berasal dari beberapa variabel dengan tipe data yang berbeda terbungkus dalam format paket data dengan tipe data struct. Berikut rancangan format paket data yang digunakan pada sistem ini.

Tabel 1. Rancangan format paket data

Panjang	3 byte	1 byte	1 byte	4 byte	2 byte	4 byte	4 byte
Variabel	typeBU[3]	sender	receiver	Ping	temp	pH	upDown
Tipe data	boolean array	byte	byte	unsigned long	int	float	float

3.2.3.2. Perancangan Komunikasi Data

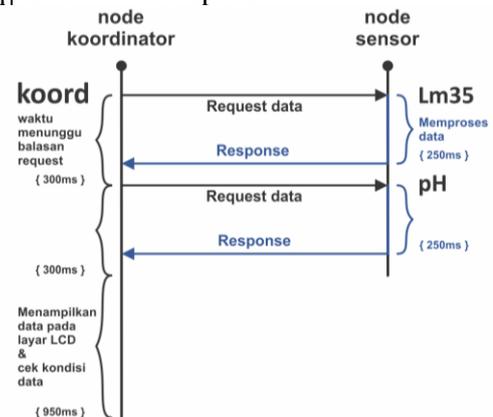
Komunikasi data pada sistem ini berpusat pada node koordinator yang berperan melakukan broadcast terhadap semua node, melakukan request data terhadap node sensor dan melakukan perintah atau suatu interrupt terhadap node aktuator. Berikut beberapa perancangan komunikasi data yang dibuat.

A. Perancangan Algoritma Fungsi Broadcast

Pada perancangan ini akan menjelaskan mengenai algoritma fungsi broadcast yang terdapat pada node koordinator untuk mengetahui status dari semua node dalam keadaan aktif ataupun masih dalam keadaan non-aktif. Berikut adalah gambaran rancangan fungsi broadcast.

B. Perancangan Algoritma Fungsi Request Data dan Response

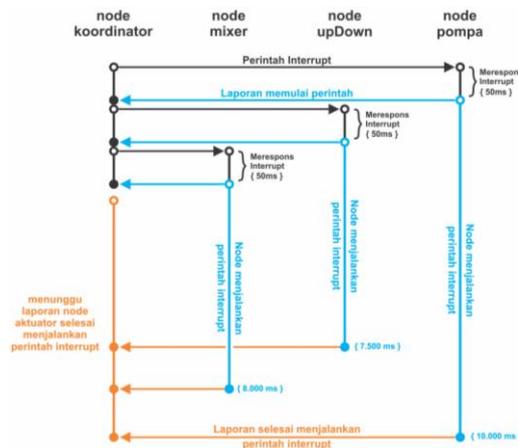
Pada perancangan ini akan menjelaskan mengenai algoritma fungsi request data yang terdapat pada node koordinator dan response yang terdapat pada node sensor. Dimana hal tersebut merupakan perintah request data yang dilakukan oleh node koordinator terhadap node sensor. Sementara pada node sensor akan menanggapi dengan mengirimkan response yang berisi nilai sensor dari data yang telah diolah. Berikut adalah gambaran rancangan fungsi request data dan response.



Gambar 9. Gambaran Rancangan Fungsi Request Data dan Response

C. Perancangan Algoritma Fungsi Interrupt dan Interrupt Response

Pada perancangan ini akan menjelaskan mengenai algoritma fungsi interrupt yang terdapat pada node koordinator dan interrupt response yang terdapat pada node aktuator. Dimana hal tersebut merupakan perintah interrupt yang dilakukan oleh node koordinator terhadap node aktuator. Berikut gambaran rancangan fungsi interrupt dan interrupt response.

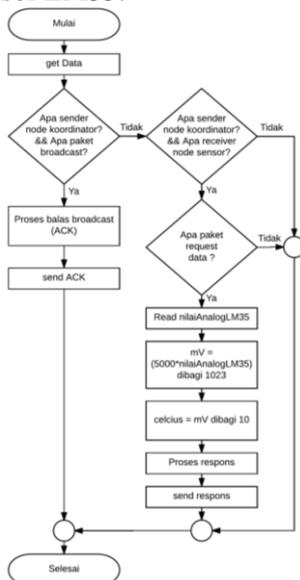


Gambar 10. Gambaran Rancangan Fungsi Interrupt dan Interrupt Response

3.2.3.3. Perancangan Algoritma Node Sensor

Perancangan ini akan menjelaskan mengenai algoritma yang terdapat pada node sensor untuk mengolah nilai analog sensor menjadi sebuah data sensor. Ada dua jenis sensor yang digunakan pada penelitian ini yaitu sensor suhu LM35 dan sensor pH.

Berikut algoritma node sensor 1 yaitu node dengan sensor LM35.

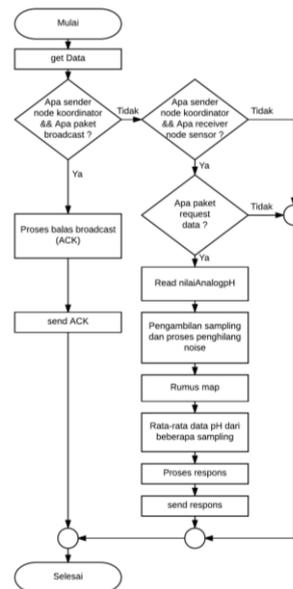


Gambar 11. Flowchart Algoritma Node Sensor 1 (Sensor LM35)

Node sensor 1 akan memproses data suhu dengan membaca nilai analog dari sensor LM35 dan diolah dengan perhitungan dari persamaan berikut:

$$Celsius = \frac{(5000 \times \text{nilaiAnalog LM35})}{1023}$$

Untuk perancangan algoritma node sensor 2 yaitu node dengan sensor pH. Berikut adalah perancangan algoritma pada node sensor pH.



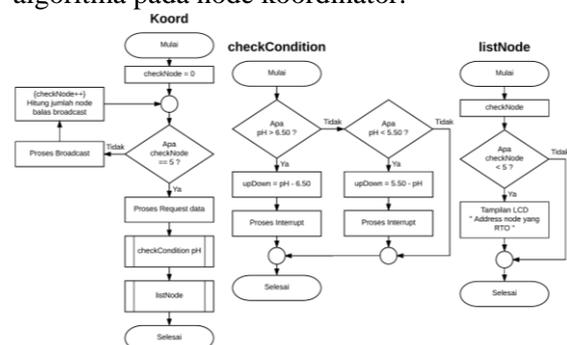
Gambar 12. Flowchart Algoritma Node Sensor 2 (Sensor pH)

Node sensor 2 akan memproses data pH dengan membaca nilai analog dari sensor pH dan diolah dengan perhitungan menggunakan rumus maps sebagai berikut :

$$pH = ((\text{nilaiAnalog} - \text{adcmin}) * (\text{pHmax} - \text{pHmin}) / (\text{adcmax} - \text{adcmin})) + \text{pHmin}$$

3.2.3.4. Perancangan Algoritma Node Koordinator

Pada perancangan ini akan menjelaskan mengenai algoritma yang terdapat pada node koordinator. Pada rancangan algoritma ini bertujuan semua aktivitas atau proses dapat ditanganin secara berurutan oleh node koordinator. Berikut adalah rancangan algoritma pada node koordinator.

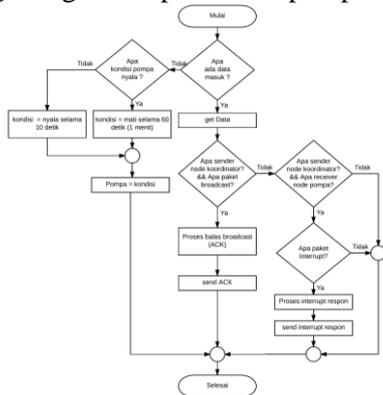


Gambar 13. Flowchart Algoritma Node Koordinator

3.2.3.5. Perancangan Algoritma Node Aktuator

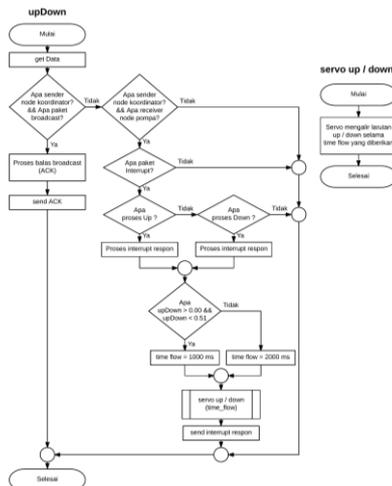
Pada perancangan ini akan menjelaskan mengenai algoritma yang terdapat pada node aktuator. Ada tiga node aktuator yang digunakan

pada penelitian ini yaitu node pompa, node mixer, dan node upDown. Berikut adalah rancangan algoritma pada node pompa.



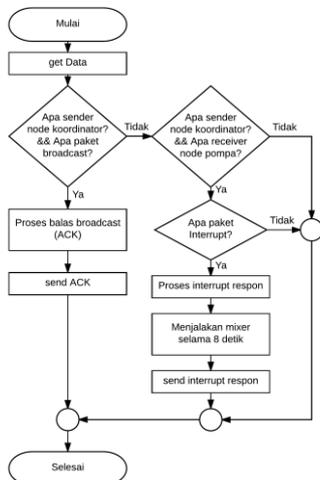
Gambar 14. Flowchart Algoritma Node Pompa

Berikut adalah flowchart dari rancangan algoritma node aktuator yang kedua yaitu node upDown.



Gambar 15. Flowchart Algoritma Node UpDown

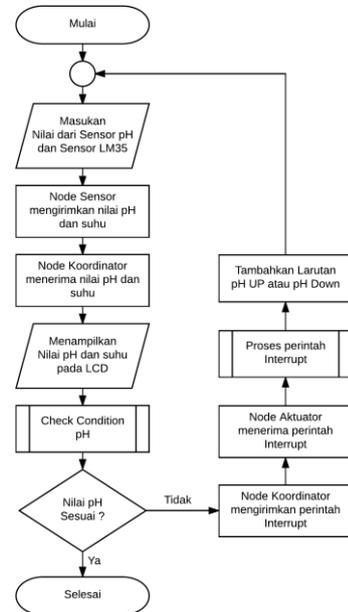
Berikut adalah flowchart dari rancangan algoritma node aktuator yang ketiga yaitu node mixer.



Gambar 16. Flowchart Algoritma Node Mixer

3.2.3.6. Sistem Keseluruhan

Pada perancangan ini akan menjelaskan mengenai gambaran sistem secara keseluruhan mulai dari pembacaan nilai sensor hingga pengontrol pada aktuator. Berikut adalah rancangan sistem secara keseluruhan.



Gambar 17. Flowchart Sistem Keseluruhan

3.3. Implementasi Sistem

3.3.1. Implementasi Prototype Ruang Perakaran Aeroponik

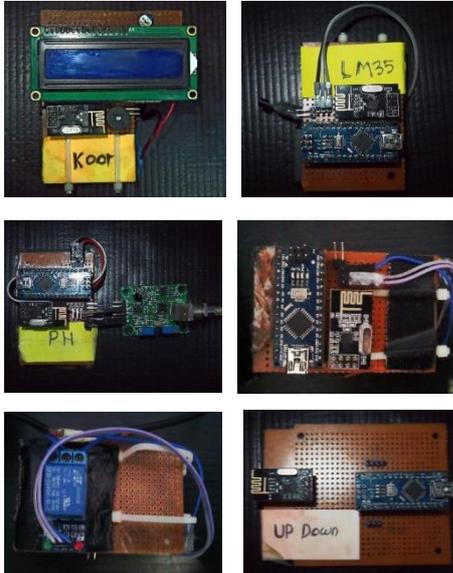
Pada tahap implementasi prototype ruang perakaran aeroponik ini disesuaikan dengan perancangan yang telah dilakukan sebelumnya. Seperti yang telah disebutkan pada perancangan sistem, prototype ini dibuat menggunakan box plastik dengan panjang 48cm, lebar 32cm, dan tinggi 30cm. Implementasi prototype ruang perakaran ini dapat dilihat pada berikut.



Gambar 18. Implementasi Prototype Ruang Perakaran Aeroponik

3.3.2. Implementasi Perangkat Keras

Pada implementasi ini akan mengimplementasikan perancangan perangkat keras yang mencakup rangkaian elektronik pada node koordinator, node sensor, dan node aktuator.



Gambar 19. Implementasi Rangkaian Elektronik Node

3.3.3. Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat lunak merupakan tahap pembuatan atau pemberian logika melalui kode program (source code) pada perangkat keras agar dapat dioperasikan sesuai dengan perintah yang diinginkan. Pada pembuatan source code digunakan software Arduino IDE. Pada Arduino Nano digunakan juga kabel USB to Mini-B USB untuk menghubungkan antara komputer dengan perangkat keras. Dalam implementasi ini dibuat berdasarkan perancangan sistem yang telah dirancang sebelumnya seperti paket data, komunikasi data, algoritma node sensor, algoritma node koordinator, dan algoritma node aktuator.

4. PENGUJIAN

4.1. Pengujian Fungsional Hardware

4.1.1. Pengujian Sensor pH

Pada pengujian ini sensor pH akan digunakan untuk menguji nilai pH pada 10 liter air mulai dari nilai pH 5 hingga pH 7 dengan tiap kenaikan pH 0,5 serta akan dilakukan sebanyak 10× setiap nilai pH yang di uji. Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor pH dengan membandingkan nilai yang dibaca oleh sensor dan nilai dari alat ukur pH meter. Berikut adalah hasil pengujian sensor pH pada 10 liter air dengan nilai pH antara ± 5

sampai ± 7.

Tabel 2. Hasil pengujian sensor pH pada nilai pH ± 5

No	Alat uji pH (pH meter)	Sensor pH	Selisih	%error
1	4,92	4,98	0,06	1,20%
2	4,96	5,01	0,05	1,00%
3	5,00	5,05	0,05	0,99%
4	5,05	5,13	0,08	1,56%
5	5,12	5,17	0,05	0,97%
6	5,16	5,21	0,05	0,96%
7	5,19	5,25	0,06	1,14%
8	5,20	5,31	0,11	2,07%
9	5,22	5,35	0,13	2,43%
10	5,25	5,40	0,15	2,78%
Rata-rata			0,08	1,51%

Tabel 3. Hasil pengujian sensor pH pada nilai pH ± 5,5

No	Alat uji pH (pH meter)	Sensor pH	Selisih	%error
1	5,32	5,48	0,16	2,92%
2	5,40	5,55	0,15	2,70%
3	5,45	5,35	0,10	1,87%
4	5,47	5,63	0,16	2,84%
5	5,50	5,40	0,10	1,85%
6	5,50	5,65	0,15	2,65%
7	5,53	5,68	0,15	2,64%
8	5,62	5,77	0,15	2,60%
9	5,70	5,85	0,15	2,56%
10	5,79	5,92	0,13	2,20%
Rata-rata			0,14	2,48%

Tabel 4. Hasil pengujian sensor pH pada nilai pH ± 6

No	Alat uji pH (pH meter)	Sensor pH	Selisih	%error
1	5,87	5,95	0,08	1,34%
2	5,90	6,05	0,15	2,48%
3	5,95	6,05	0,10	1,65%
4	6,01	6,12	0,11	1,80%
5	6,07	6,18	0,11	1,78%
6	6,08	6,17	0,09	1,46%
7	6,15	6,23	0,08	1,28%
8	6,19	6,27	0,08	1,28%
9	6,20	6,30	0,10	1,59%
10	6,25	6,33	0,08	1,26%
Rata-rata			0,10	1,59%

Tabel 5. Hasil pengujian sensor pH pada nilai pH ± 6,5

No	Alat uji pH (pH meter)	Sensor pH	Selisih	%error
1	6,47	6,53	0,06	0,92%
2	6,50	6,58	0,08	1,22%
3	6,45	6,48	0,03	0,46%
4	6,54	6,60	0,06	0,91%
5	6,57	6,64	0,07	1,05%
6	6,63	6,71	0,08	1,19%
7	6,60	6,61	0,01	0,15%
8	6,63	6,71	0,08	1,19%
9	6,70	6,75	0,05	0,74%
10	6,75	6,77	0,02	0,30%
Rata-rata			0,05	0,81%

Tabel 6. Hasil pengujian sensor pH pada nilai pH ± 7

No	Alat uji pH (pH meter)	Sensor pH	Selisih	%error
1	6,80	6,80	0	0,00%
2	6,92	6,88	0,04	0,58%
3	6,95	6,92	0,03	0,43%
4	6,98	6,97	0,01	0,14%
5	7,00	7,02	0,02	0,28%
6	7,02	6,95	0,07	1,01%
7	7,04	7,00	0,04	0,57%
8	7,04	6,99	0,05	0,72%
9	7,12	7,07	0,05	0,71%
10	7,17	7,12	0,05	0,70%
Rata-rata			0,04	0,51%

Dari pengujian sensor pH didapatkan rata-rata selisih kesalahan nilai antara sensor pH dan pH meter sebesar 0,08 serta rata-rata error sebesar 1 % . Persentase terkecil 0,51 % pada pengujian dengan nilai pH ± 7 dan persentase error terbesar 2,48 % pada pengujian dengan nilai pH ± 5,5. Dapat rata-rata keseluruhan tersebut dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Analisa Pengujian sensor pH

No	Nilai pH	Rata-rata selisih	Rata-rata %error
1	± 5	0,08	1,51 %
2	± 5,5	0,14	2,48 %
3	± 6	0,10	1,59 %
4	± 6,5	0,05	0,81 %
5	± 7	0,04	0,51 %
Rata-rata total		0,08	1 %

4.1.2. Pengujian Layar 16x2

Pada pengujian ini LCD 16x2 menampilkan data sensor dan kegiatan proses pada layar LCD16x2 yang terdapat pada node koordinator. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah proses monitoring pH dan kondisi sistem pada layar LCD sesuai dengan yang sudah ditentukan pada *source code*.

Tabel 8. Hasil Pengujian Tampilan LCD 16x2

No	Kondisi	Keterangan	Gambar
1	Broadcast	Semua node (5 node) termasuk node sensor dalam keadaan mati atau tidak aktif	
		4 node dalam keadaan tidak aktif dengan alamat 3, 4, 5, dan 6	
2	Proses monitoring	Melakukan monitoring pada nilai pH 6.05 dan suhu 27 C	
		Melakukan monitoring pada nilai pH 5.95 dan suhu 29 C	
3	Proses perintah Interrupt (pH Up dan pH Down)	Dengan pH 5.34 harus dilakukan penambahan larutan pH Up sebesar 4ml	
		Dengan pH 6.79 harus dilakukan penambahan larutan pH Down sebesar 6ml	
4	Kegagalan sistem	Proses interrupt gagal ketika node pompa mati	
		Tiada respon balasan dari node alamat 5 setelah melakukan interrupt	
5	Sistem sukses	Broadcast sukses dan semua node aktif	
		Proses pH Up dan pH Down selesai dan semua node dalam keadaan aktif	

Dari pengujian LCD 16x2 didapatkan lihat tampilan LCD 16x2 telah bekerja dengan baik, terbukti dari tampilan yang ditunjukkan layar LCD sesuai dengan setiap proses yang ada pada sistem.

4.2. Pengujian Pengiriman Data Menggunakan Komunikasi Wireless

4.2.1. Pengujian Pengiriman dengan Satu Node Sensor

Pengujian pengiriman data dengan satu node sensor ini dilakukan untuk mengetahui akurasi pengiriman data dari satu node sensor ke node koordinator dalam waktu pemakaian tertentu dan kondisi tertentu. Pada pengujian ini dilakukan sebanyak 10x dan setiap pengujian kedua node akan diaktifkan selama 1 jam untuk melakukan pengiriman data.

Tabel 9. Hasil Pengiriman Data dengan Satu Node tanpa Halangan

No	Jumlah packet data yang dikirim	Jumlah packet data yang diterima	Request time out (RTO)	Persentasi akurasi data
1	8641	8641	0	100 %
2	8641	8641	0	100 %
3	8641	8641	0	100 %
4	8641	8641	0	100 %
5	8638	8637	1	99,99 %
6	8641	8641	0	100 %
7	8629	8625	3	99,95 %
8	8638	8637	1	99,99 %
9	8641	8641	0	100 %
10	8626	8622	4	99,95 %
Rata-rata			0,9	99,98 %

Tabel 10. Hasil Pengiriman Data dengan Satu Node terdapat Halangan

No	Jumlah packet data yang dikirim	Jumlah packet data yang diterima	Request time out (RTO)	Persentasi akurasi data
1	8638	8637	1	99,99 %
2	8641	8641	0	100 %
3	8638	8637	1	99,99 %
4	8629	8625	3	99,95 %
5	8641	8641	0	100 %
6	8626	8622	4	99,95 %
7	8635	8633	2	99,98 %
8	8479	8459	20	99,76 %
9	8610	8600	10	99,88 %
10	8598	8586	12	99,86 %
Rata-rata			5,4	99,93 %

Dari hasil pengujian pengiriman data dengan satu node sensor pada waktu tertentu dan tanpa halangan didapatkan hasil data RTO per jam sekitar 1 data serta memiliki keakuratan pengiriman data sebesar 99,98%. Sedangkan hasil pengujian pengirim data dengan satu node sensor pada waktu tertentu dan dengan halangan didapatkan hasil data RTO per jam sekitar 5 data serta memiliki keakuratan pengiriman data sebesar 99,93 %. Dari hasil tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa halangan berupa dinding tembok dapat mempengaruhi pengiriman data antara node koordinator dengan satu node sensor.

4.2.2. Pengujian Pengiriman dengan Dua Node Sensor

Pengujian pengiriman data dengan dua node sensor ini dilakukan untuk mengetahui akurasi pengiriman data dari dua node sensor ke node koordinator dalam waktu pemakaian tertentu dan kondisi tertentu. Pada pengujian ini dilakukan sebanyak 10× dan setiap pengujian

ketiga node akan diaktifkan selama 1 jam untuk melakukan pengiriman data.

Tabel 11. Hasil Pengiriman Data dengan Dua Node tanpa Halangan

No	Total packet data yang dikirim	Total packet data yang diterima	Request time out (RTO)	Persentasi akurasi data
1	6976	6916	60	99,14%
2	6912	6784	128	98,15%
3	6820	6617	203	97,02%
4	6908	6718	190	97,25%
5	6514	6116	398	93,89%
6	6398	5978	420	93,44%
7	6918	6790	128	98,15%
8	6538	6154	384	94,13%
9	6712	6435	277	95,87%
10	6452	6080	372	94,23%
Rata-rata			256	96,13%

Tabel 12. Hasil Pengiriman Data dengan Dua Node terdapat Halangan

No	Total packet data yang dikirim	Total packet data yang diterima	Request time out (RTO)	Persentasi akurasi data
1	6784	6508	276	95,93%
2	6648	6363	285	95,71%
3	6648	6346	302	95,46%
4	6770	6490	280	95,86%
5	6482	5939	543	91,62%
6	6338	5738	600	90,53%
7	6420	5851	569	91,14%
8	6432	5854	578	91,01%
9	6460	5923	537	91,69%
10	6378	5800	578	90,94%
Rata-rata			454	92,99%

Dari hasil pengujian pengiriman data dengan dua node sensor pada waktu tertentu dan tanpa halangan didapatkan hasil data RTO per jam sekitar 256 data serta memiliki keakuratan pengiriman data sebesar 96,13%. Sedangkan hasil pengujian pengirim data dengan dua node sensor pada waktu tertentu dan dengan halangan didapatkan hasil data RTO per jam sekitar 454 data serta memiliki keakuratan pengiriman data sebesar 92,99%. Dari hasil tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa halangan berupa dinding tembok dapat mempengaruhi pengiriman data antara node koordinator dengan dua node sensor. Dengan adanya halangan akan banyak pengiriman data sensor yang hilang atau *request time out (RTO)*.

4.3. Pengujian Sistem Kontrol pada Node Aktuator

4.3.1. Pengujian Node Pompa

Pada pengujian ini node pompa memiliki waktu nyala pompa selama 10 detik sedangkan waktu mati pompa 60 detik. Node pompa juga akan di-interrupt 10 detik untuk mematikan pompa pada waktu tertentu dengan perintah interrupt dari node koordinator. Pengujian sistem kontrol pada node pompa ini dilakukan untuk mengetahui seberapa tingkat keberhasilan sesuai dengan yang telah dijelaskan pada perancangan.

Tabel 13. Hasil Pengujian Node Pompa pada Kondisi Normal dengan Stopwatch

No	Waktu hidup	Waktu mati	Keterangan
1	9,90 detik	60,12 detik	Sukses
2	10,10 detik	59,98 detik	Sukses
3	10,02 detik	60,01 detik	Sukses
4	9,95 detik	60,11 detik	Sukses
5	9,93 detik	60,08 detik	Sukses
6	9,91 detik	60,00 detik	Sukses
7	10,04 detik	60,15 detik	Sukses
8	9,93 detik	60,03 detik	Sukses
9	10,07 detik	60,04 detik	Sukses
10	10,04 detik	60,06 detik	Sukses

Tabel 14. Hasil Pengujian Node Pompa pada Kondisi Interrupt dengan Stopwatch

No	Waktu hidup sebelum interrupt	Waktu interrupt	Waktu hidup setelah interrupt	Keterangan
1	2,90 detik	11,11 detik	6,23 detik	Sukses
2	4,43 detik	11,08 detik	5,52 detik	Sukses
3	6,72 detik	10,50 detik	3,33 detik	Sukses
4	5,87 detik	10,52 detik	4,13 detik	Sukses
5	6,14 detik	10,60 detik	3,90 detik	Sukses
6	2,91 detik	10,96 detik	7,15 detik	Sukses
7	4,06 detik	10,99 detik	6,03 detik	Sukses
8	3,21 detik	10,89 detik	6,82 detik	Sukses
9	4,61 detik	10,73 detik	5,45 detik	Sukses
10	4,25 detik	10,83 detik	5,80 detik	Sukses

Dari hasil pengujian node pompa didapatkan rata-rata waktu hidup pada kondisi normal sebesar 9,98 detik dan waktu mati pada kondisi normal sebesar 60,05 detik. Sedangkan pada kondisi interrupt pompa memiliki waktu interrupt sebesar 10,82 detik. Dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem pada node pompa telah bekerja dengan baik sesuai dengan perancangan dan kode program yang telah dibuat.

4.3.2. Pengujian Node UpDown

Pada pengujian ini node upDown memiliki dua micro servo sebagai aktuator yang mengalir larutan pH Up dan larutan pH Down, kedua micro servo tersebut digerak oleh node upDown dengan menunggu intruksi atau perintah dari node koordinator. Pengujian dilakukan untuk mengetahui seberapa tingkat keberhasilan sesuai dengan yang telah dijelaskan pada perancangan.

Tabel 15. Hasil Pengujian Node UpDown dengan Micro Servo A

No	Perintah Node Koordinator	Mengalirkan larutan pada micro servo A	Keterangan
1	A1000	3 ml	Sukses
2	A2000	5 ml	Sukses
3	A3000	6 ml	Sukses
4	A4000	8 ml	Sukses
5	A5000	10 ml	Sukses

Tabel 16. Hasil Pengujian Node UpDown dengan Micro Servo B

No	Perintah Node Koordinator	Mengalirkan larutan pada micro servo B	Keterangan
1	B1000	2 ml	Sukses
2	B2000	4 ml	Sukses
3	B3000	6 ml	Sukses
4	B4000	8 ml	Sukses
5	B5000	10 ml	Sukses

Dari hasil pengujian node upDown telah bekerja dengan baik sesuai dengan kode program yang telah dibuat yakni node koordinator memberi perintah untuk mengalirkan larutan dari kedua micro servo dengan waktu selisih 1 detik dapat mengalirkan 2 ml dan berlaku kelipatannya.

4.3.3. Pengujian Node Mixer

Pada pengujian ini node mixer akan menunggu perintah dari node koordinator dalam melakukan pencampuran larutan dan air dengan aktuator pompa selama 7 detik. Pengujian dilakukan untuk mengetahui seberapa tingkat keberhasilan sesuai dengan yang telah dijelaskan pada perancangan.

Tabel 17. Hasil Pengujian Node Mixer

No	Kondisi Mixer	Waktu ON	Keterangan
1	ON	7,10 detik	Sukses
2	ON	7,04 detik	Sukses
3	ON	7,08 detik	Sukses
4	ON	7,09 detik	Sukses
5	ON	7,04 detik	Sukses
6	ON	7,05 detik	Sukses
7	ON	7,02 detik	Sukses
8	ON	7,06 detik	Sukses
9	ON	7,00 detik	Sukses
10	ON	7,03 detik	Sukses

Dari hasil pengujian node mixer telah bekerja dengan baik sesuai dengan kode program yang telah dibuat yakni node koordinator memberi perintah kepada node mixer untuk mencampur atau mengaduk air menghidupkan aktuatur berupa pompa selama 7 detik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah yang sudah dibuat maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan sistem kontrol dan *monitoring* pH pada tanaman kentang aeroponik dengan menggunakan Arduino Nano sebagai kontroler dan modul nRF24101 sebagai perangkat komunikasi *wireless*.
2. Pembacaan data oleh sensor pH memiliki rata-rata nilai error sebesar 1 % dengan rata-rata selisih kesalahan pembacaan sebesar 0,08 derajat pH. Nilai error terbesar pada pembacaan pH ± 5,5 dengan nilai error sebesar 2,48 % . Sedangkan nilai error terkecil pada pembacaan pH ± 7 denan nilai error sebesar 0,51 %.
3. Performa pengiriman data sensor secara *wireless* pada pengiriman data tanpa halangan (satu ruangan) memiliki keakuratan pengiriman data sebesar 99,98% dengan satu node sensor dan sebesar 96,13% dengan dua node sensor. Pada pengiriman dengan adanya halangan memiliki tingkat keakuratan pengiriman data sebesar 99,93 % dengan satu node sensor dan sebesar 92,99% dengan dua node sensor.

5.2. Saran

Beberapa saran yang bagi para peneliti yang ingin melakukan pengembangan pada penelitian

ini, antara lain :

1. Sistem *monitoring* dan kontrol lebih berfokus dilakukan dalam satu ruangan (*green house*) dengan media tanam aeroponik, sehingga diharapkan dapat menghindari terjadi banyak pengiriman data sensor yang hilang atau *request time out* (RTO).
2. Untuk pengembangan lebih lanjut, dapat dilakukan penambahan sistem kontrol dan *monitoring* pada parameter pengukuran yang lain seperti EC(*Electical Conductivity*), kelembapan, dan sebagainya yang dibutuhkan tanaman aeroponik sehingga dapat digunakan untuk *me-monitor* dan mengontrol tanaman aeroponik dengan lebih lengkap.

6. DAFTAR PUSTAKA

Adafruit, 2013. Buzzer 5V - Breadboard friendly. [Online] Tersedia di: <<https://www.adafruit.com/product/153>> [Diakses 10 Februari 2016].

Adiyoga, W. et al., 2004. Profil Komoditas Kentang, Bandung: Balai Penelilitian Tanaman Sayuran.

Arduino, 2016. Products - Arduino Nano. [Online] Tersedia di: <<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardNano>> [Diakses 10 Februari 2016].

Direktorat Jendral Hortikultura (Dirjen Hortikultura) - Kementerian Pertanian, 2015. BAB II POTENSI, PERMASALAHAN DAN TANTANGAN PEMBANGUNAN HORTIKULTURA. [pdf] Tersedia di: <<http://hortikultura.pertanian.go.id/wp-content/uploads/2015/06/Bab-II.pdf>> [Diakses 10 Februari 2016].

ElecFreaks, 2011. 1 Channel 5V Relay Module Arduino Compatible BK008. [Online] Tersedia di: <<http://www.electfreaks.com/estore/1-channel-5v-relay-module-arduino-compatible-bk008.html>> [Diakses 10 Februari 2016].

EngineersGarage, 2012. LCD. [Online] Tersedia di: <<https://www.engineersgarage.com/electronic-components/16x2-lcd-module-datasheet>> [Diakses 10 Februari 2016].

Farm, A., 2014. Market Distribution. [Online]

- Tersedia di: <<http://amazingfarm.com/market-distribution/?lang=en>> [Diakses 10 Februari 2016].
- Firdaus, M. E., 2015. Sistem Pendukung Keputusan Pemberian Larutan pH UP/DOWN dan Pemberian Pupuk AB MIX pada Tanaman Sawi Hidroponik DFT dengan Metode Fuzzy Sugeno, Malang: Teknik Informatika, Universitas Brawijaya.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2015. Produksi Sayuran di Indonesia, 2010-2014. [pdf] Tersedia di: <<http://www.pertanian.go.id/ATAP2014-HORTI-pdf/200-ProdSayuran.pdf>> [Diakses 7 Februari 2016].
- Muhammad, A., 2015. Pembuatan Sistem Aeroponik yang Efisien dan Hemat Daya. [Online] Tersedia di: <<http://taman-berkebun.blogspot.com/2015/09/sistem-aeroponik-hidroponik.html>> [Diakses 10 Februari 2016].
- Nordic Semiconductor, 2007. nRF24L01 Product Specification. [pdf] Tersedia di: <http://www.nordicsemi.com/eng/nordic/content_download/2730/34105/file/nRF24L01_Product_Specification_v2_0.pdf> [Diakses 10 Februari 2016].
- Onny, 2014. Komponen pH Meter. [Online] Tersedia di: <<http://artikel-teknologi.com/komponen-ph-meter/>> [Diakses 10 Februari 2016].
- Onny, 2014. Prinsip Kerja pH Meter. [Online] Tersedia di: <<http://artikel-teknologi.com/prinsip-kerja-ph-meter/>> [Diakses 10 Februari 2016].
- Prasadianata, M. R., 2013. Budidaya Sayuran dengan Sistem Aeroponik. [Online] Tersedia di: <<http://redyprasadianata.blogspot.co.id/2013/04/budidaya-sayuran-dengan-sistem-aeroponik.html>> [Diakses 10 Februari 2016].
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian (PUSTADIN Pertanian) - Kementerian Pertanian, 2015. STATISTIK KONSUMSI PANGAN 2015. Jakarta: PUSTADIN Pertanian.
- Reyes, J., Montoya, R., Ledesma, C. & Ramírez, R., 2012. Development of an Aeroponic System for Vegetable Production, Meksiko: ISHS Acta Horticulturae 947.
- Rosdiana, N., 2014. Studi Pengaruh Nutrien Aeroponik terhadap Pertumbuhan Tajuk Kentang Kultivar Granola, Purwokerto: Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman.
- Siregar, G., 2010. Perancangan dan Implementasi Sistem Pemantauan Ruang Tumbuh dan Kendali Pemberian Air dan Nutrisi pada Pembenihan Kentang Aeroponik, Bandung: Program Studi Teknik Elektrok, Institut Teknologi Bandung.
- Sutiyoso, Y., 2003. Aeroponik: Sayuran Budi Daya Dengan Sistem Pengabutan. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Ulfa, F., 2013. Peran Senyawa Bioaktif Tanaman sebagai Zat Pengatur Tumbuh dalam Memacu Produksi Umbi Mini Kentang, Makassar: Program Studi Ilmu Pertanian Program Pasca Sarjana, Universitas Hasanuddin.