

Wireless Sensor Network menggunakan Radio Transceiver 2,4 Ghz pada Aplikasi Sistem Akuisisi Data

Firdaus Nurdiansyah¹, Rida Hudaya², Cucun Wida Nurhaeti³

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : ansyahfirdaus20@gmail.com

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : ridahudayarsearch@gmail.com

³Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : widanoor@gmail.com

ABSTRAK

Wireless Sensor Network (WSN) adalah teknologi yang menggabungkan beberapa *device* dengan komunikasi *wireless*. WSN biasa digunakan untuk memantau atau mengontrol jarak jauh yang banyak diaplikasikan di berbagai bidang. Salah satu penggunaan WSN pada bidang pertanian, pada umumnya digunakan petani untuk memantau pertumbuhan tanaman dan memerhatikan seluruh faktor yang memengaruhi pertumbuhan sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk memantau seluruh tanaman yang ditanam dan tidak setiap hari seluruh tanaman dapat di pantau secara cepat serta menyeluruh, terlebih daerah pertanian biasanya berada di daerah *rural* yang tidak terdapat jaringan.

Pada penelitian ini dirancang dan diimplementasikan, yaitu akuisisi data dengan sistem WSN menggunakan 2,4 GHz *transceiver* berbasis komunikasi radio untuk aplikasi sistem aplikasi akuisisi data. Sistem terdiri *sink node* dan *sensor node*. Kedua bagian menggunakan Arduino Uno sebagai pusat pengolah data, dengan bahasa C sebagai bahasa pemrograman yang digunakan. Radio yang digunakan menggunakan modul NRF24L01+ untuk mengirim data dari *sensor node* ke *sink node*. *Ethernet shield* digunakan untuk mengirimkan data melalui *ethernet* yang telah diterima oleh *sink node* dari *sensor node* menuju database pada komputer dan di tampilkan pada *Human Machine Interface* (HMI). Penggunaan metode *master/slave* dinilai cukup efektif dalam mengatur pengiriman data.

Kata Kunci

Wireless sensor network, NRF24L01+, radio 2,4 GHz, sistem akuisisi data

1. PENDAHULUAN

Pada perkembangan teknologi sekarang sudah banyak inovasi-inovasi yang sangat membantu dalam kehidupan manusia, salah satunya adalah teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN). WSN secara umum dapat digambarkan sebagai jaringan node yang kooperatif untuk memantau dan mengontrol lingkungan, yang memungkinkan interaksi antara orang atau komputer dan lingkungan sekitarnya. WSN banyak digunakan untuk monitoring atau pemantauan dalam bidang kesehatan, home automation, smart home, pertanian, industri, transportasi, dan lain-lain dikarenakan WSN memiliki jangkauan yang luas dan dapat dikembangkan secara mudah untuk memperluas jangkauannya.

Salah satu aplikasi WSN yaitu dalam bidang pertanian, dalam pertanian suatu tanaman untuk tumbuh pada media ditentukan oleh beberapa faktor yaitu faktor alam dan faktor yang dapat di kondisikan oleh manusia. Dari faktor-faktor itu harus dipantau secara bertahap sehingga tanaman dapat dipantau pertumbuhannya. Beberapa faktor tersebut adalah UV

intensity, suhu, kelembaban, curah hujan, konsentrasi unsur hara media tanam, ketinggian permukaan laut, arah angin, intensitas cahaya, dan lain-lain. Semua faktor tersebut akan mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman.

Pada umumnya petani secara langsung memantau pertumbuhan tanaman dan memerhatikan seluruh faktor yang memengaruhi pertumbuhan sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk memantau seluruh tanaman yang ditanam sehingga tidak setiap hari seluruh tanaman dapat di pantau secara cepat dan menyeluruh. Dengan adanya teknologi WSN dapat mempermudah dalam pemantauan pertumbuhan tanaman. Beberapa sensor juga sudah dapat mengukur faktor-faktor yang mempengaruhi tanaman. Akan tetapi daerah pertanian biasanya terletak di daerah relatif terpencil (*rural area*) yang tidak terdapatnya jaringan yang memadai sehingga pengaplikasian WSN menggunakan jaringan internet akan sulit dilakukan. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah tersebut perlu adanya perencanaan yang tepat, sehingga diajukan penelitian dengan topik WSN.

Dalam penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan, yaitu akuisisi data dengan sistem

WSN menggunakan 2,4 GHz *transceiver* berbasis komunikasi radio.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sebuah *greenhouse* (rumah kaca) adalah struktur bangunan yang terdiri dari atap berupa kaca ataupun plastik dan dinding yang digunakan untuk menghasilkan tanaman hias dan tanaman sayuran maupun buah-buahan yang dapat digunakan selama musim atau sepanjang tahun. Pada *greenhouse* yang mempunyai lingkungan tertutup memiliki kebutuhan tertentu untuk tanaman dibandingkan dengan memproduksi tanaman di lingkungan luar yang terbuka. Hama dan penyakit, suhu dan kelembaban semuanya harus dikontrol serta irigasi yang dibutuhkan untuk menyediakan air untuk setiap tanaman [1]. Banyaknya panas dan intensitas cahaya juga diperlukan, terutama jika memproduksi di musim dingin [1]. Sehingga faktor-faktor kebutuhan tersebut harus di pantau secara terus menerus.

Beberapa faktor eksternal yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman pada *greenhouse* adalah faktor lingkungan, beberapa faktor lingkungan yang sangat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman diantaranya lain kelembaban, suhu, dan intensitas cahaya. Kelembaban ada kaitannya dengan laju transpirasi melalui daun karena transpirasi akan terkait dengan laju pengangkutan air dan unsur hara terlarut. Bila kondisi lembap dapat dipertahankan, maka banyak air yang diserap tumbuhan dan lebih sedikit yang diuapkan. Kondisi ini mendukung aktivitas pemanjangan sel sehingga sel-sel lebih cepat mencapai ukuran maksimum dan tumbuh bertambah besar. Pada kondisi ini, faktor kehilangan air sangat kecil karena transpirasi yang kurang. Adapun untuk mengatasi kelebihan air, tumbuhan beradaptasi dengan memiliki permukaan helaian daun yang lebar [2].

Kelembaban udara pada tanaman merupakan faktor eksternal lainnya bagi tanaman untuk tumbuh optimum. Kelembaban normal pada *greenhouse* adalah 60-85 %RH [2].

Suhu sangat berpengaruh dalam pertumbuhan fisiologi. Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah akan menghambat pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Pertumbuhan tanaman dapat tumbuh dengan baik jika memiliki suhu minimum $\pm 10^{\circ}\text{C}$ dan suhu maksimum 30°C sampai 38°C , sedangkan suhu yang paling baik dalam pertumbuhan tanaman yang optimum adalah 15°C sampai 30°C [2]. Suhu dalam *greenhouse* akan dijaga bergantung dari tanaman yang ditanam. Contohnya beberapa jenis tanaman tropis tidak akan tumbuh dengan baik pada suhu dibawah 20°C – 30°C . Pada *greenhouse*, suhu minimum pada ruangan adalah 20°C [2].

Cahaya merupakan faktor eksternal lainnya pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Dimana cahaya memegang peran penting dalam proses fisiologi tanaman, terutama pada fotosintesis, respirasi, dan transpirasi. Cahaya tampak merupakan cahaya yang menjadi sumber energi bagi

tanaman yaitu matahari. Namun sumber cahaya pada tanaman dapat memanfaatkan cahaya buatan. Terkait dengan pertumbuhan dan perkembangan tanaman, setiap tanaman membutuhkan jumlah cahaya yang berbeda-beda dimana kekurangan dan kelebihan cahaya akan mengganggu pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang akhirnya mempengaruhi kualitas dan kuantitas. Tetapi prinsipnya semakin besar jumlah cahaya yang ditanggap persatuan luas daun, maka semakin besar hasil tanaman, begitu pula dengan lamanya penyinaran cahaya dimana pada daerah tropis panjang malam dan siang hari adalah sama yaitu 12 jam. Secara umum, kebanyakan tanaman membutuhkan intensitas cahaya maksimum untuk tercapainya fotosintesis maksimum adalah ± 1000 flux. Dengan intensitas cahaya yang cukup tinggi akan merusak pewarnaan pada daun tanaman dan menjadi kering [3].

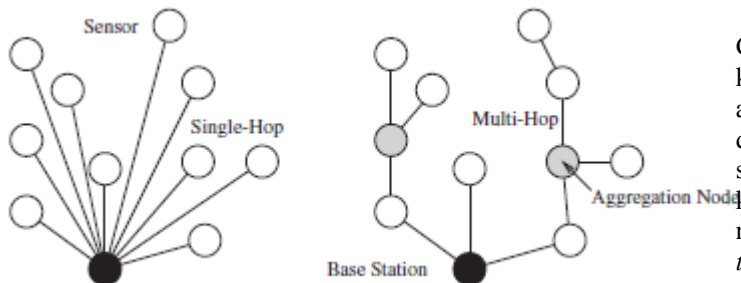
WSN merupakan jaringan yang dibentuk oleh banyaknya *sensor node* di mana setiap node dilengkapi dengan sensor untuk mendeteksi fenomena fisik seperti cahaya, panas, tekanan, dan lain-lain [8] [9]. Pada setiap node juga terdapat pengolahan data, kemampuan berkomunikasi, dan penyimpanan data [9]. Dimana setiap node akan saling berkomunikasi satu sama lain begitu pula dengan *sink node* atau *base station* yang merupakan node pengumpul data dari setiap node menggunakan komunikasi *wireless* [9]. *Sink node* merupakan tempat untuk mengontrol aliran data, memvisualisasi data, menganalisis data, dan menyimpan data dari setiap node [9]. Sebuah WSN secara umum dapat digambarkan sebagai jaringan node yang saling terhubung satu sama lain untuk memantau dan mengontrol lingkungan, yang memungkinkan interaksi antara orang atau komputer dan lingkungan sekitarnya [8].

WSN dipandang sebagai teknologi yang revolusioner untuk untuk membangun sistem informasi dan komunikasi yang akan meningkatkan keandalan dan efisiensi dari sistem infrastruktur. Dibandingkan dengan menggunakan kabel, WSN memiliki penyebaran yang mudah dan fleksibilitas yang lebih baik [8] [9]. Kemampuan *sensor node* di WSN dapat bervariasi, tergantung dari banyaknya sensor yang digunakan. Sebuah *sensor node* yang sederhana dapat memantau satu fenomena fisik sedangkan *sensor node* yang rumit dapat menggabungkan beberapa sensor [9]. Komunikasi yang digunakan bisa ultrasonik, *infrared*, dan frekuensi radio dengan kecepatan data dan waktu yang bervariasi. Sementara sensor yang sederhana hanya dapat mengumpulkan dan mengkomunikasikan informasi tentang lingkungan yang pantau [9]. Dengan perkembangan teknologi yang cepat dari sensor, WSN akan menjadi kunci teknologi untuk IoT (*Internet of Things*) [8].

Standar komunikasi internasional diperkenalkan pada tahun 1997 yaitu IEEE 802.11 yang banyak digunakan untuk teknologi jaringan *wireless* pada sistem perangkat seluler.

Dengan menggunakan pita frekuensi yang berbeda-beda contohnya, pita 2,4 GHz digunakan oleh IEEE 802.11b dan IEEE 802.11g, IEEE 802.11a diperuntukkan untuk pita 5 GHz [9]. Standar IEEE 802.11 sudah banyak digunakan untuk WSN dikarenakan memiliki *bandwidth* yang tinggi. Kebutuhan WSN untuk kecepatan data dan *bandwidth* sebanding dengan *modem dial-up* sehingga menggunakan komunikasi standar IEEE 802.11 terlalu tinggi dari kebutuhan WSN dan membuat tidak cocok untuk membuat jaringan sensor berdaya rendah [9].

Komunikasi standar IEEE 802.15.4 yang diperkenalkan tahun 2012 didesain untuk jangkauan komunikasi yang rendah dan berdaya rendah sehingga cocok untuk penggunaan WSN [9] [8].



Gambar 1 Komunikasi *single-hop* dan *multi-hop* [9]

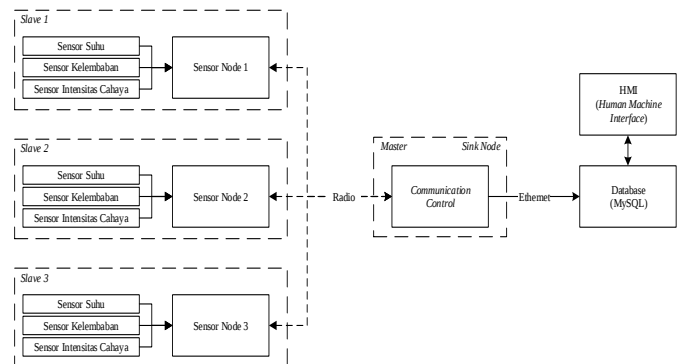
Jika suatu WSN memiliki jangkauan transmisi yang cukup jauh dan data yang ditransfer langsung menuju *sink node* maka dapat berbentuk topologi star seperti pada Gambar II.2 sebelah kiri. Pada topologi star ini setiap *sensor node* terhubung langsung dengan *sink node* menggunakan komunikasi *single-hop*, sedangkan *sensor node* yang mencangkup beberapa tempat dan membutuhkan daya yang rendah dapat menggunakan komunikasi *multi-hop* dengan menggunakan topologi mesh dimana *sensor node* tidak hanya mengukur fenomena fisik tetapi bertugas juga sebagai penghubung antar node lainnya [9].

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam memecahkan masalah yaitu dengan metode *quantitatif experimental*, yaitu dengan melakukan pengambilan data berdasarkan hasil uji coba sistem. Selanjutnya data tersebut diolah dan didapat kesimpulan berdasarkan hasil analisis tersebut. Prinsip kerja dari sistem yang dibuat adalah mengakuisisi data pada setiap sensor node dengan metode *master/slave* menggunakan radio 2,4 GHz transceiver untuk sistem *wireless sensor network*. Oleh sebab itu, berikut ini adalah penjelasan sistem secara keseluruhan:

3.1 Blok Diagram Sistem

Berikut Gambar 2 menunjukkan blok diagram sistem secara umum.



Gambar 2 Diagram blok sistem

Gambar 2 diatas merupakan diagram blok dari sistem secara keseluruhan. Blok diagram diatas menjelaskan bahwa sensor akan mengukur besaran fisis suhu udara, kelembaban udara, dan intensitas cahaya dari masing-masing node sensor sebanyak tiga buah yang kemudian data tersebut akan di kirim dari masing-masing mikrokontroler Arduino Uno pada node sensor ke *communication control* melalui radio 2,4 GHz *transceiver* NRF24L01+. Setelah data sudah diterima oleh *communication control*, data tersebut selanjutnya dikirim ke dan disimpan oleh database melalui *ethernet* dan ditampilkan oleh HMI.

3.2 Spesifikasi Sistem

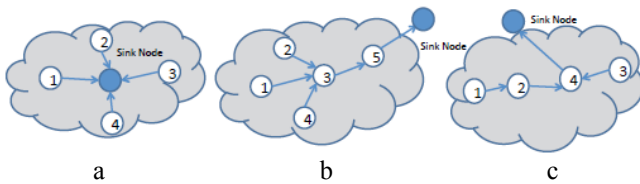
Spesifikasi alat memiliki tujuan agar alat yang dibuat sesuai dengan batasan masalah yang telah dikemukakan sebelumnya. Spesifikasi merupakan sekumpulan syarat supaya sistem dapat berjalan dengan baik. Berikut adalah spesifikasi sistem yang dibuat.

- 1) Powersupply menggunakan Powerbank 5 V;
- 2) Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno;
- 3) Gateway yang berfungsi sebagai *communication control* adalah *Ethernet Shield*;
- 4) Sensor yang digunakan untuk mengukur suhu udara dan kelembaban udara adalah modul DHT22;
- 5) Sensor yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya adalah modul BH1750
- 6) Suhu udara yang dapat dibaca sistem berada dalam rentang
25 – 40 ° C
- 7) Kelembaban udara yang dapat dibaca sistem berada dalam rentang
50 – 70 %RH
- 8) Intensitas cahaya yang dapat dibaca sistem berada dalam rentang
0 – 65000 lx

- 9) Komunikasi antara node sensor dengan *communication control* adalah radio NRF24L01+;
- 10) *Database* yang digunakan adalah MySQL;

3.3 Kontrol Komunikasi Master/Slave

Dalam jaringan komputer, *master/slave* merupakan model untuk protokol komunikasi di mana satu perangkat atau proses (dikenal sebagai *master*) mengontrol satu atau lebih perangkat atau proses lainnya (dikenal sebagai *slave*). Setelah protokol komunikasi *master/slave* dibuat, arah kontrol komunikasi selalu dari *slave* ke *master*[7]. Salah satu contoh topologi yang dapat di gunakan untuk penerapan *master/slave* adalah sebagai berikut.



Gambar 3 a) Topologi *Star*, b) Topologi *Tree*, dan c) Topologi *Chain*

3.4 Prasyarat Sistem

Prasyarat sistem adalah sesuatu yang mutlak harus tersedia atau terpenuhi untuk melakukan sesuatu agar berhasil sebelum syarat-syarat ditetapkan. Berikut beberapa prasyarat sistem yang harus dipenuhi yaitu sebagai berikut:

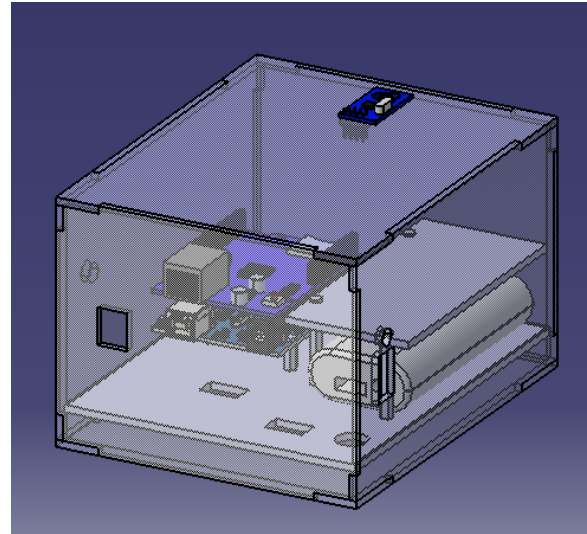
- a) Sistem harus mampu mengukur besaran fisis suhu udara, kelembaban udara, dan intensitas cahaya;
- b) Sistem harus dapat mengirimkan data sensor dari setiap *sensor node* ke *sink node* dengan metode *master/slave* yang kemudian disimpan pada database melalui *ethernet*;
- c) Sistem ini harus dapat menampilkan data yang telah diakuisisi di *database* pada HMI;

3.5 Perancangan dan Realisasi Sistem

Perancangan dan realisasi sistem dibagi kedalam 4 bagian, yaitu desain mekanik, sistem elektronika, dan perangkat lunak.

3.5.1 Desain Mekanik

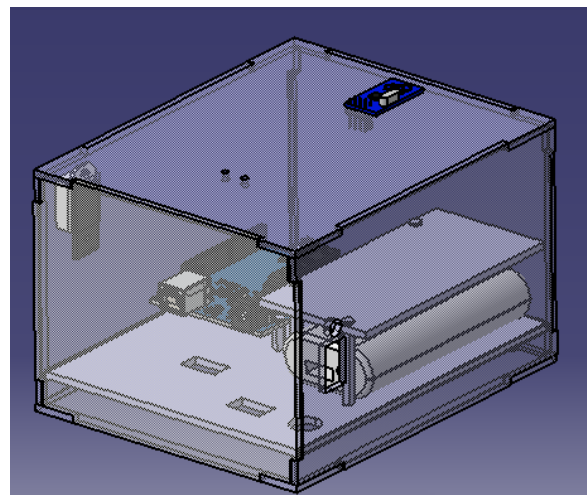
Dilakukan pembuatan 2 desain mekanik, yaitu desain untuk mekanik *sink node* dan desain mekanik *sensor node*.



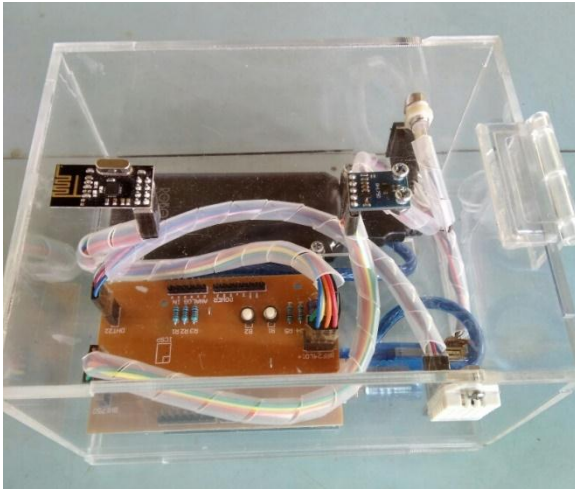
Gambar 4 Desain Mekanik *Sink Node*



Gambar 5 Realisasi Mekanik *Sink Node*



Gambar 6 Desain Mekanik *Sensor Node*



Gambar 7 Realisasi Mekanik Sink Node

3.5.2 Sistem Elektronik

Pada alat bagian *sink node*, digunakan Arduino Uno sebagai pengolah data, *Ethernet shield* digunakan untuk mengirim data dari *sink node* ke *database* PC, modul radio NRF24L01+ sebagai komunikasi antara *sink node* dan *sensor node*.

Kemudian pada bagian *sensor node*, digunakan Arduino Uno sebagai pengolah data, radio NRF24L01+ sebagai komunikasi antara *sink node* dan *sensor node*, sensor DHT22, dan sensor BH1750.

3.5.3 Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada bagian *sensor node* sebagai *slave* terdapat algoritma untuk menerima perintah dari *master*, algoritma untuk mengakuisisi data dari tiga sensor pada setiap *node sensor*, dan algoritma untuk mengirim data melalui radio. Kemudian bagian *sink node* sebagai *master* terdapat algoritma untuk mengirim perintah ke *slave*, algoritma untuk menerima data dari *slave*, dan algoritma untuk mengirim data yang diterima dari *slave* ke *database* di PC.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian WSN dilakukan dengan mencatat jarak pengiriman data yang dapat dijangkau, penerimaan data, dan akuisisi data pada *database* di PC atau pengujian keseluruhan sistem.

4.1 Pengujian Jarak Pengiriman

Data yang di kirim sebesar 12 byte sesuai format data yang telah di rancangan. Dimana Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian untuk jarak yang dapat di jangkau dari masing-masing *sensor node* dan *sink node* dalam ruangan dan Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian pada *line of sight* (*los*).

Tabel 1. Hasil Pengujian Jarak dalam Ruangan

No	Jarak (m)	Paket data yang dikirim slave (byte)	Paket data yang diterima master (byte)	Keterangan
1	1	12	12	Berhasil
2	2	12	12	Berhasil
3	5	12	12	Berhasil
4	10	12	12	Berhasil
5	15	12	12	Berhasil
6	20	12	12	Berhasil
7	25	-	-	-
8	50	-	-	-
9	75	-	-	-
10	100	-	-	-

Tabel 2. Hasil Pengujian Jarak dalam Line of Sight

No	Jarak (m)	Paket data yang dikirim slave (byte)	Paket data yang diterima master (byte)	Keterangan
1	1	12	12	Berhasil
2	2	12	12	Berhasil
3	5	12	12	Berhasil
4	10	12	12	Berhasil
5	15	12	12	Berhasil
6	20	12	12	Berhasil
7	25	12	12	Berhasil
8	50	12	12	Berhasil
9	75	-	-	-
10	100	-	-	-

4.2 Pengujian Penerimaan Data

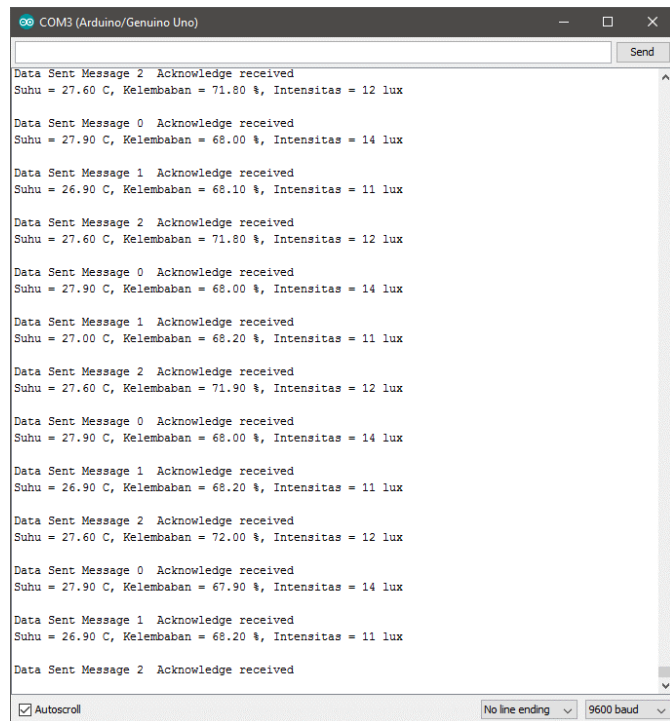
Data yang di kirim sebesar 14 byte sesuai format data yang telah di rancangan. Dimana Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian untuk penerimaan data.

Tabel 3. Hasil Pengujian Penerimaan Data

No	Data			Uji coba	Keterangan
	Suhu	Kelembaban	Intensitas		
1	28.0 °C	71.6 %	0 lx	v	Berhasil
2	28.0 °C	71.6 %	8 lx	v	Berhasil
3	28.0 °C	71.6 %	8 lx	v	Berhasil
4	28.0 °C	71.6 %	9 lx	v	Berhasil

5	27.9 °C	72.2 %	10 lx	v	Berhasil
6	27.9 °C	72.1 %	10 lx	v	Berhasil
7	27.9 °C	72.0 %	10 lx	v	Berhasil
8	27.9 °C	72.0 %	10 lx	v	Berhasil
9	27.9 °C	71.9 %	10 lx	v	Berhasil
10	27.9 °C	71.9 %	10 lx	v	Berhasil
Error Rate					0%

4.3 Pengujian Mengakuisisi Data



Gambar 7 Pengujian Mengakuisisi Data

5. DISKUSI

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut, dimana *sensor node* dapat ditambah kemudian dilakukan kombinasi topologi lain serta menggunakan metode lain yang lebih mumpuni, selain itu, jenis sensor dapat ditambah untuk setiap node-node sensornya. Aplikasi lanjutan dari penelitian ini yaitu dapat dikembangkan menjadi *wireless network sensor* dalam kendali setiap nodenya.

6. PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Sistem yang dibuat dapat bekerja dengan baik dan mengakuisisi secara baik. Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan metode *master/slave* untuk mengatur jalur data dari masing-masing *sensor node* ke *sink node*
2. Keberhasilan dalam pengiriman data melalui *node sensor* menuju *sink node*, adalah 100%
3. Jarak yang dapat di jangkau oleh radio NRF24L01+ adalah 20 meter yang dilakukan di ruangan dan 50 meter yang dilakukan di ruang terbuka (*line of sight*)
4. Pengujian *error-rate* dalam mengakuisisi data sebesar 0%

6.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, dapat dilakukan hal berikut ini:

1. Penggunaan modul radio NRF24L01+ menggunakan antena dapat memperluas jangkauan radio
2. Penambahan sensor di *sensor node* untuk memanfaatkan pin Arduino Uno masih bisa dapat digunakan
3. Hasil pembacaan sensor-sensor hendaknya dikalibrasi atau dibandingkan dengan alat ukur yang telah distandarkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada bapak Rida Hudaya, DUTech., ST., DEA. selaku pembimbing 1 serta Cucun Wida Nurhaeti, ST., M.Eng. selaku pembimbing 2 yang senantiasa telah membimbing penulis menyelesaikan penelitian ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak lainnya yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Smith dan P. Lopes, Greenhouse BMPs, Juni: University of Massachusetts, 2010.
- [2] Y. S. Defriyadi, Pengendali Intensitas Cahaya, Suhu, dan Kelembapan Pada Rumah Kaca dengan Metode PID, Bengkulu: Universitas Bengkulu, 2014.
- [3] B. B. Santoso, FAKTOR-FAKTOR PERTUMBUHAN DAN PENGGOLONGAN TANAMAN HIAS, 2010.
- [4] D. S. Yinbiao, D. K. Lee, M. P. Lancot, D. F. Jianbin, D. H. Hao, D. B. Chow dan M. J.-P. Desbenoit, Internet of Things: Wireless Sensor Networks, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2014.
- [5] W. Dargie dan C. Poellabauer, Fundamentals of Wireless Sensor Networks, D. X. (Shen dan D. Y. Pan, Penyunt., United Kingdom: A John Wiley and Sons, Ltd., 2010.
- [6] Z. Fu, F. Sanling, L. Yong, X. Kunpeng dan Z. Yakun, "The Control System Design of The Whell Legged Robot," IOSR Journal of Engineering, vol. 2, no. 9, pp. 15-19, 2008.
- [7] Y. Ju, W. Paik dan M. Shin, "Design of Time Synchronization Protocol based on Master-Slave Topology for Heterogeneous USN," International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering, vol. 9, no. 2, pp. 373-384, 2014.
- [8] R. Hudaya, "Pengembangan Perangkat Lunak HMI/Scada Mandiri pada Lingkungan Networked Control Systems," IRWNS, 2015.