

## Analisis Performa Sistem Pemantauan Suhu Dan Kelembaban Berbasis Wireless Sensor Network

Da'imul Royan<sup>1</sup>, Rakhmadhany Primananda<sup>2</sup>, Wijaya Kurniawan<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya  
Email: <sup>1</sup>royan.daimul@gmail.com, <sup>2</sup>rakhmadhany@ub.ac.id, <sup>3</sup>wjaykurnia@ub.ac.id

### Abstrak

Pemanfaatan teknologi yang lebih memadai untuk menunjang sumber daya pertanian perlu dilakukan. Salah satu teknologi yang diperlukan adalah sistem pemantauan suhu dan kelembapan lingkungan berbasis *wireless sensor network* dengan performa yang baik guna memberi nilai yang sebanding dengan parameter yang diamati. Terdapat banyak piranti sensor yang berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembapan, akurasi merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk menentukannya. Setelah komponen terpilih dibutuhkan metode penjadwalan pengiriman dengan pembagian waktu agar terhindar dari kemungkinan tabrakan pengiriman data, diperlukan penyetaraan waktu antar untuk menunjang metode penjadwalan. Setelah fasilitas terbentuk, perlu diadakan uji performa untuk mengetahui kinerja dari sistem apakah sesuai dengan kondisi lapangan. Parameter dalam pengujian performa sistem adalah fungsionalitas sistem, respon sensor terhadap perubahan suhu dan kelembapan, perbandingan akurasi sensor dalam variasi jangka waktu penggunaan pada lahan pertanian, perbandingan *delay* pengiriman dalam variasi jarak antar *node* dan penggunaan RAM. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa semua fungsionalitas dari sistem dapat bekerja dengan baik dengan persentase keberhasilan 100%. DHT11 memiliki waktu respon 10,4 detik – 10,9 detik masing-masing untuk pengukuran suhu dan kelembapan, besar rentang nilai berpengaruh pada pembacaan suhu. DHT11 memiliki rentang galat relatif 1,2 – 1,5% dan 5,6 – 6,3% masing-masing untuk pengukuran suhu dan kelembapan, lama penggunaan tidak berpengaruh terhadap akurasi. Sistem memiliki *delay* pengiriman terbesar pada jarak *node* 70m yaitu 19 $\mu$ s, semakin jauh maka *delay* yang dihasilkan semakin besar. Penggunaan RAM terbesar mencapai 47% ketika proses pengiriman pesan pada *node sensor*.

**Kata kunci:** Performa, DHT11, arduino promini, nRf24L01, *wireless sensor network*

### Abstract

*Utilization of more adequate technology to support agricultural resources needs to be done. One of the technologies required is a temperature monitoring system and humidity based wireless sensor network environment with good performance to give a comparable value to the observed parameters premises. There are many sensor devices that serve to measure temperature and humidity, accuracy is one of the parameters that can be used to determine it. Once the selected component requires delivery scheduling method with time division to avoid the possibility of data transmission collision, time synchronization is required to support scheduling method. After the facility is formed, it is necessary to conduct performance tests to determine the performance of the system whether in accordance with field conditions. Parameters in system performance testing are system functionality, sensor response to temperature and humidity changes, sensor accuracy comparison in variations of time period of use on farmland, comparison of delivery delay in variation of distance between nodes and RAM usage. From the test results show that all the functionality of the system can work well with a 100% success percentage. DHT11 has a response time of 10.4 seconds - 10.9 seconds each for temperature and humidity measurements, the large range of values influences the temperature reader. DHT11 has a relative error range of 1.2 - 1.5% and 5.6 - 6.3% respectively for temperature and humidity measurements, duration of use has no effect on accuracy. The system has the largest delivery delay at a distance of 70m node is 19 $\mu$ s, the more distant the resulting delay the greater. The largest use of RAM reached 47% when sending messages on sensor nodes.*

**Keywords:** Performance, DHT11, arduino promini, nRf24L01, *wireless sensor network*

## 1. PENDAHULUAN

Pertanian adalah sektor yang memiliki peran penting dalam struktur pembangunan ekonomian nasional. Hal tersebut dikarenakan besarnya penduduk Indonesia yang menggantungkan hidup pada sektor ini dan potensi sumber daya yang besar dan beragam (Antara, 2009). Lahan pertanian yang memiliki karakteristik beragam tersebut dapat mempengaruhi tumbuh kembang tanaman, salah satu faktor yang mempengaruhi tumbuh kembang tanaman adalah suhu dan kelembapan.

Suhu dan kelembapan berpengaruh dalam proses pertumbuhan tanaman. Setiap jenis tanaman memiliki batas suhu minimum, optimum dan maksimum yang berbeda-beda. Suhu dan kelembapan merupakan faktor penting dalam menentukan waktu dan tempat tanam yang cocok. Bahkan suhu dan kelembapan juga dapat menjadi salah satu faktor penentu dari pusat-pusat produksi pertanian, misal kentang di daerah dengan suhu rendah dengan kelembapan yang tinggi sebaliknya padi di daerah dengan suhu tinggi dan kelembapan yang rendah (Gunarsih, 1993).

Masalah yang timbul adalah luasnya lahan pertanian dan belum adanya dokumentasi dari suhu dan kelembapan tersebut, sehingga diperlukannya pemantauan secara berkelanjutan dalam jangka waktu tertentu. Hal ini tentu sulit untuk dilakukannya petugas ataupun petani untuk terus menerus mengamati keadaan lingkungan selama 24 jam. Meninjau permasalahan yang ada maka perlu adanya sistem pemantauan parameter lingkungan berbasis *wireless sensor network* dengan performa yang baik guna memberi nilai yang sebanding dengan parameter yang diamati.

Dalam menilai performa pendeteksian suhu dan kelembapan secara *wireless* pada suatu lingkungan maka tidak dapat dilepaskan dari pemilihan sensor dan komponen komunikasi gelombang radio yang digunakan. Selain persyaratan umum seperti linearitas, sensitivitas, akurasi, presisi dan tanggapan waktu, perlu juga diperkirakan ruang lingkup pendeteksian, hingga tanggapan terhadap dinamika proses pengukuran serta pengaruh komponen komunikasi gelombang radio yang digunakan. Ketepatan dalam pemilihan ini, dapat mempengaruhi keandalan dari sistem pendeteksian yang baik.

Penelitian sebelumnya tentang

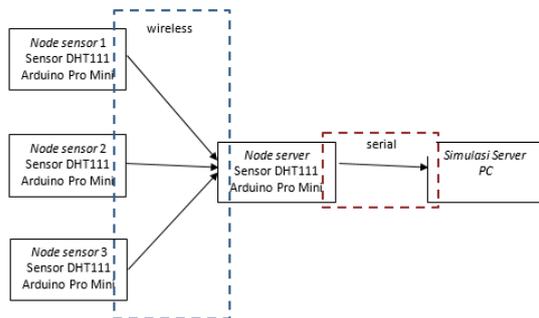
Implementasi Sistem Pemantauan Kandang Peternakan Ayam Menggunakan Jaringan Sensor Nirkabel Zigbee yang pernah dilakukan Angga Fatih Alim pada 2013 lalu. Pada penelitiannya dilakukan implementasi sistem pemantauan suhu dan kelembapan menggunakan sensor DHT11. Hasilnya sensor DHT11 dapat digunakan dan bekerja sesuai dengan yang diinginkan (Alim, 2013). Penelitian kedua, oleh Ardiansyah tentang perancangan rumah cerdas sederhana menggunakan modul *wireless* pada 2015 lalu. Penelitian dilakukan dengan menggunakan nRF24L01 sebagai modul *wireless*. Hasilnya nRF24L01 dapat digunakan dan bekerja dengan baik dalam kondisi di dalam ruangan maupun di ruang terbuka dengan jarak penggunaan mencapai 70 meter (Ardiansyah, 2015).

Berdasarkan permasalahan yang ada di atas, maka penulis melakukan penelitian yang berjudul “ANALISIS PERFORMA SISTEM PEMANTAUAN SUHU DAN KELEMBABAN BERBASIS *WIRELESS SENSOR NETWORK*”, dalam menentukan penggunaan sensor yang tepat sangatlah penting agar perangkat dapat bekerja sesuai yang diinginkan. Salah satu sensor yang dapat diimplementasikan yaitu DHT11. Sensor DHT11 adalah sensor digital yang berfungsi sebagai pengukur suhu dan kelembapan secara bersamaan. Transmisi data dilakukan dengan cara memanfaatkan gelombang radio pada nRF24L01. Modul ini dilengkapi dengan tambahan PA (*Power Amplifier*) dan LNA (*Low Noise Amplifier*) sehingga jarak transfer data dapat semakin jauh dan lebih stabil (Sparkfun, 2016). Ruang lingkup yang mungkin untuk dijangkau oleh modul ini mencapai radius 100 m pada lapangan terbuka. Untuk mengetahui kinerja dan optimalitas penggunaannya dalam WSN, maka dirancang sebuah sistem pendeteksian suhu dimana hasil pembacaan dari sensor akan diterjemahkan dalam sistem digital lalu hasilnya akan dikirimkan melalui komunikasi gelombang radio ke *node server* dengan metode penyetaraan waktu dampengiriman berdasarkan jadwal, kemudian akan di simpan dan disajikan dalam bentuk web.

## 2. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Tahap perancangan sistem ini bertujuan agar perancangan sistem penelitian yang dilakukan menjadi terstruktur. Perancangan

sistem pada penelitian ini seperti Gambar 1 berikut :



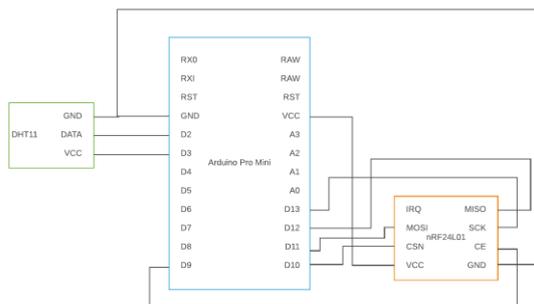
Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Berdasarkan Gambar 1. perancangan sistem penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Masing-masing *node sensor* mengoleksi data suhu dan kelembapan kemudian data akan dikirim ke *server* menggunakan komunikasi gelombang radio.
2. *Node server* akan menerima pesan berisi data dari *node sensor* dan meneruskannya ke *server* PC secara serial.
3. *Server* PC akan mengolah pesan data tersebut dan menampilkannya melalui web.

**2.1 Perancangan Node sensor**

Perangkat keras pada *node sensor* yang berperan sebagai perangkat yang mengakuisisi data ini terdiri mikrokontroler sebagai modul pemroses data hasil ukur, sensor sebagai media pengukur suhu dan kelembapan, dan modul *wireless*. sistem menggunakan Arduino Pro Mini sebagai mikrokontroler, DHT11 sebagai sensor suhu dan kelembapan dan Selain bertugas sebagai pengakuisisi data, *node sensor* memiliki tugas lain yaitu mengirim hasil akuisisi data menuju ke *node server*. Pengiriman data dan komunikasi antar *node* menggunakan modul komunikasi *wireless* NRF24L01. Rangkaian *node sensor* dapat dilihat pada Gambar 2.

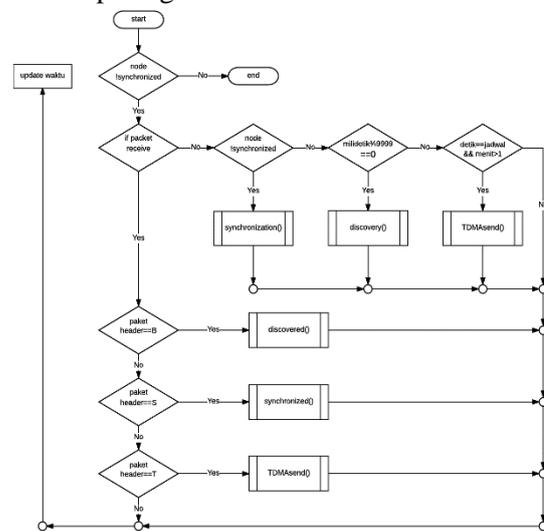


Gambar 2. Rangkaian Node sensor

Perancangan perangkat lunak pada *node sensor* mencakup fungsionalitas kebutuhan perangkat lunak yang diperlukan untuk menulis dan melakukan kompilasi program. Pemrograman pada perangkat ini menggunakan IDE bawaan Arduino yang berbasis bahasa pemrograman C yang telah dikostumisasi oleh Arduino. Arduino IDE dapat digunakan untuk menulis program untuk Arduino maupun untuk melakukan kompilasi program dan injeksi program ke Arduino.

Adapun beberapa library khusus digunakan pada program yang akan dijalankan pada *node sensor* ini selain library standar Arduino. Beberapa library yang digunakan yaitu library SPI yang digunakan untuk mengaktifkan fungsi komunikasi serial, library DHT digunakan untuk mengaktifkan fungsi sensor DHT11 dan library *mirf* serta NRF24L01 untuk mengaktifkan fungsi yang ada pada modul *wireless* NRF24L01.

*Node sensor* berfungsi sebagai *wireless sensor node* yang melakukan tugas berupa akuisisi data nilai suhu dan kelembapan suatu lingkungan. Alur kerja dari *node sensor* dapat dilihat pada gambar 3.

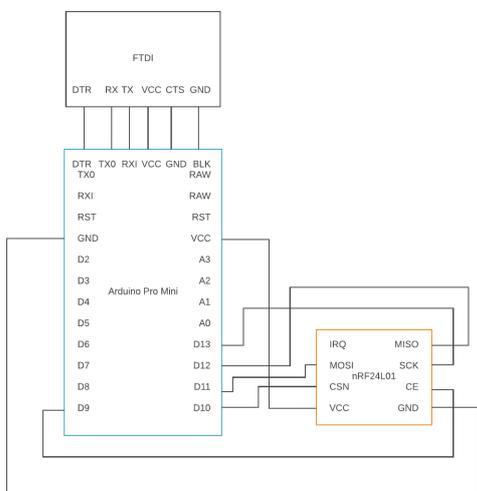


Gambar 3. Diagram Alir Utama Node sensor

**2.2 Perancangan Node Server**

Pada sistem ini, *node server* bertugas untuk menerima data yang dikirim dari semua *node sensor* yang ada. *Node sensor* terdiri dari Arduino Pro Mini sebagai mikrokontroler, Modul *wireless* NRF24L01 dan FTDI sebagai serial connector ke komputer. Spesifikasi Mikrokontroler dan modul *wireless* yang digunakan serupa dengan yang digunakan pada *node sensor*. Selain itu dibutuhkan pula FTDI

yang mempunyai fungsi sebagai serial communication modul Arduino dengan komputer sehingga program yang sudah dirancang dapat diterapkan pada Arduino. Selain itu FTDI berguna menghubungkan modul Arduino untuk mengirimkan data ke komputer *server*. Agar kedua modul tersebut dapat membentuk sistem *server*, maka diperlukan perancangan rangkaian mikrokontroler dengan modul wireless. Rangkaian tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.

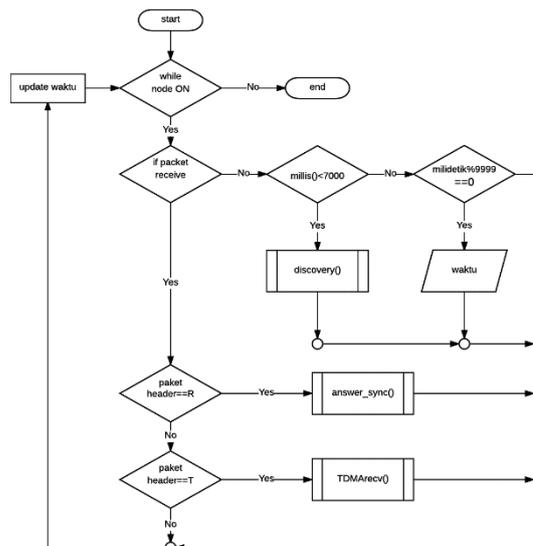


Gambar 4. Rancangan Rangkaian *node server*

Perancangan perangkat lunak pada *node server* mencakup fungsionalitas kebutuhan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis dan melakukan kompilasi program. Pemrograman pada perangkat ini menggunakan IDE bawaan Arduino yang berbasis bahasa pemrograman C yang telah dikostumisasi oleh Arduino. Arduino IDE dapat digunakan untuk menulis program untuk Arduino maupun untuk melakukan kompilasi program dan injeksi program ke Arduino.

Adapun beberapa library khusus digunakan pada program yang akan dijalankan pada *node server* ini selain library standar Arduino. Beberapa library yang digunakan yaitu library SPI yang digunakan untuk mengaktifkan fungsi komunikasi serial, dan library mirf serta NRF24L01 untuk mengaktifkan fungsi yang ada pada modul wireless NRF24L01.

*Node server* berfungsi sebagai penerima data yang dikirim dari *node sensor* untuk ditampilkan pada serial monitor dan dimasukkan ke dalam data base. Berikut akan dijelaskan melalui fLowchart yang terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Utama *Node server*

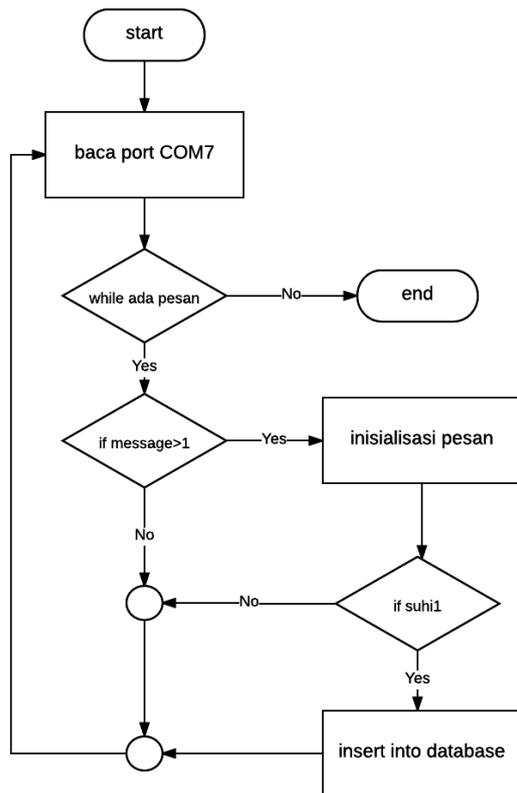
### 2.3 Perancangan Simulasi *Server*

Simulasi *server* terdiri dari aplikasi python dan data base MySQL. Simulasi dilakukan pada PC/laptop dengan alamat jaringan lokal dan port USB yang telah ditentukan yang terhubung dengan FTDI. Untuk menjalankan simulasi program python, port serial yang sedang digunakan untuk simulasi tidak dapat digunakan untuk menjalankan aplikasi lain. Sehingga sebelum memulai simulasi pastikan agar port tidak sedang digunakan untuk program lain.

Perancangan perangkat lunak untuk simulasi *server* mencakup fungsionalitas aplikasi yang berperan sebagai jembatan antara FTDI pada *node server* dan data base pada simulasi ini. Untuk membaca data dari *node server* melalui ftdi simulasi *server* ini menggunakan library pySerial.

Pemrograman yang digunakan dalam aplikasi simulasi *server* ini adalah python. Selain library pySerial, library lain yang digunakan adalah library MySQLdb berfungsi untuk memasukkan data yang didapatkan dari *node server* ke dalam data base MySQL. Kemudian dengan bahasa pemrograman HTML dan javascript yang berfungsi menampilkan hasil akuisisi data dalam bentuk grafik pada halaman web.

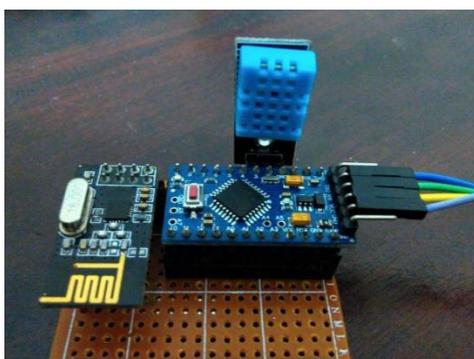
Perancangan algoritma simulasi *server* mencakup alur pembacaan data serial dari *node server* yang kemudian data akan dilakukan insert data base. Alur insert data base ada pada Gambar 6.



Gambar 6. Alur Insert Data Base

**2.4 Implementasi Node sensor**

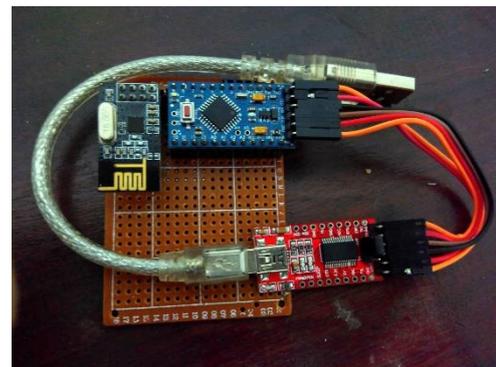
Sesuai dengan perancangan perangkat keras *node sensor*, implementasi *node sensor* terdiri dari input/sensor module yaitu sensor suhu dan kelembapan DHT11, mikrokontroler jenis arduino pro mini dan transmitter module. Pin-pin pada perangkat tersebut dihubungkan sesuai dengan rancangan pada Gambar di atas. Sistem ini menggunakan modul komunikasi *wireless* jenis NRF24L01. Spesifikasi masing-masing perangkat telah disebutkan pada sub bab sebelumnya. Gambar 7. Merupakan implementasi dari perancangan perangkat keras *node sensor*.



Gambar 7. Perangkat Keras Node sensor

**2.5 Implementasi Node Server**

Sesuai dengan perangkat keras *node server* yang telah dirancang, implementasi *node server* terdiri dari perangkat komunikasi serial FTDI, mikrokontroler jenis arduino pro mini dan transmitter module. Pin-pin pada perangkat tersebut dihubungkan sesuai dengan rancangan pada Gambar sebelumnya. Sistem ini menggunakan modul komunikasi *wireless* jenis NRF24L01. Spesifikasi masing-masing perangkat telah disebutkan pada sub bab sebelumnya. Gambar 8. merupakan implementasi dari perancangan perangkat keras *node server*.



Gambar 8. Perangkat Keras Node Server

**3. PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Pengujian akan dilakukan menggunakan 4 buah *node* yang masing-masing terdiri dari 1 buah *node server* yang langsung terhubung dengan komputer *server* menggunakan FTDI dan 3 buah *node sensor*, 2 *node sensor* berada pada level 1 terhubung dengan *node server*, 1 *node sensor* berada pada level 2 terhubung dengan *node sensor* yang lain.

Penentuan skenario pengujian pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa dari sistem, indikator dalam pengujian ini adalah fungsionalitas *node sensor*, *node server* dan *server*, pengaruh lama penggunaan terhadap akurasi, waktu respon sensor, delay pengiriman pesan dan penggunaan RAM mikrokontroler.

Masing-masing indikator akan di uji dengan skenario yang berbeda. Uji fungsionalitas dilakukan dengan Prosedur dari pengujian ini adalah dengan menguji keberhasilan dari setiap fungsi dari sistem. Uji pengaruh lama penggunaan terhadap akurasi dilakukan perlakuan sensor dengan 3 variasi yaitu perlakuan 24 jam, 48 jam

dan 72 jam penggunaan pada lahan pertanian. Uji waktu respon sensor dilakukan dengan mengukur waktu respon sensor dari suhu 25 oC ke 8 oC dan kelembaban 67 %RH ke 87 %RH. Uji delay dilakukan dengan 3 variasi yaitu perlakuan jarak 1 m, jarak 10 m dan jarak 70 m *node sensor* dengan *node server*. Uji RAM dilakukan dengan melakukan pengecekan penggunaan RAM dan 3 fase yaitu sebelum sinkronisasi, setelah sinkronisasi dan pada saat melakukan pengiriman data.

### 3.1 Pengujian dan Analisis *Node sensor*

#### 3.1.1 Akuisisi Data

Pengujian Akuisisi data nilai suhu dan kelembapan bertujuan untuk mengamati keberhasilan setiap *node sensor* dalam mengakuisisi data. Akuisisi data dilakukan sesuai jadwal pengiriman dari *node* tersebut setelah *node sensor* tersinkron dengan *node server*.

Dari 5 kali percobaan yang dilakukan menunjukkan hasil pengujian dengan keberhasilan 100% maka dapat disimpulkan, bahwa masing *node sensor* dapat melakukan akuisisi data nilai suhu dan kelembapan. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor DHT11 telah berhasil aktif dan dapat melakukan pembacaan suhu dan kelembapan dan dapat bekerja dengan baik pada mikrokontroler arduino pro mini.

#### 3.1.2 Sinkronisasi Waktu

Pengujian sinkronisasi waktu memiliki tujuan untuk mengamati keberhasilan setiap *node sensor* yang aktif dapat melakukan penyetaraan waktu.

Dari 5 kali percobaan yang dilakukan menunjukkan hasil pengujian dengan keberhasilan 100% maka dapat disimpulkan, proses sinkronisasi *node sensor* dengan *node server* yang berada satu level di atasnya berjalan lancar. Salah satu kelemahan dari protokol TPSN adalah kemungkinan terjadinya interferensi data pada proses permintaan sinkronisasi akibat waktu tunggu acak yang mendekati waktu permintaan *node* lainnya.

### 3.1.3 Pengiriman Pesan

Pada penelitian ini pengiriman pesan menggunakan metode TDMA dengan pembagian rentang waktu 10 detik. Pengiriman dimulai dari menit pertama. Pengujian fungsionalitas TDMA dengan bertujuan untuk membuktikan keberhasilan setiap *node sensor* dapat mengirimkan pesan pada rentang waktu yang telah ditentukan.

Dari 5 kali pengujian semua pesan dapat terkirim sesuai dengan slot waktu yang telah ditentukan. Menunjukkan bahwa TDMA dapat melakukan proses pengiriman data suhu dan kelembapan dengan baik

### 3.2 Pengujian dan Analisis *Node Server*

#### 3.2.1 Penerimaan Pesan

Pengujian penerimaan pesan bertujuan untuk mengamati keberhasilan setiap *node server* dalam menerima pesan dari 3 *node sensor*.

Penerimaan *node server* memperlihatkan bahwa dari 5 kali pengujian semua pesan dapat diterima sesuai dengan slot waktu yang telah ditentukan. Menunjukkan bahwa TDMA dapat melakukan proses penerimaan data suhu dan kelembapan dengan baik.

### 3.3 Pengujian dan Analisis Simulasi *Server*

#### 3.3.1 Penerimaan Pesan

Pengujian dilakukan dengan menaktifkan komputer *server* yang terhubung dengan *node server* menggunakan FTDI pada port serial COM7. Kebutuhan fungsionalitas yang harus dipenuhi komputer adalah komputer dapat menyimpan dan menampilkan data suhu dan kelembapan dalam bentuk grafik. Pada pengujian ini sistem berjalan dalam jangka waktu 72 jam.

komputer dapat menyimpan data dari keseluruhan data yang dikirim oleh *node sensor* dan diterima oleh *node server* sebanyak 77.760 data dan komputer dapat mengelompokkan data suhu dan kelembapan sesuai *node* pengirim.

Pada komputer *server* juga dilakukan pengujian terhadap kemampuan fungsional komputer dalam menampilkan data. Aplikasi web dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman HTML. Sehingga luaran yang dihasilkan berupa halaman web. Halaman web berisi grafik dengan satu sumbu x dan 2 sumbu y, sumbu x dengan label waktu dan sumbu y dengan label suhu dan kelembapan. Tampilan

web ditunjukkan pada Gambar 9.

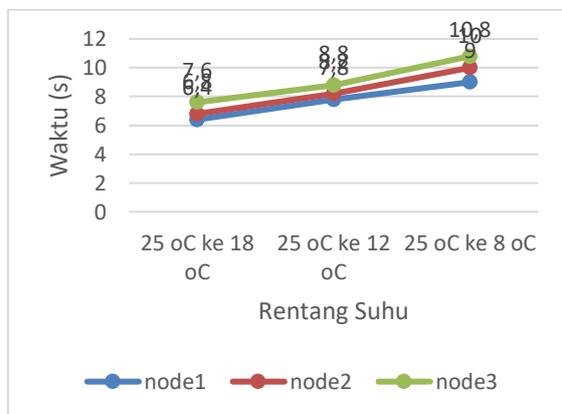


Gambar 9. Tampilan Web

### 3.3 Pengujian dan Analisis Waktu Respon Sensor

Berdasarkan hasil pengujian suhu dan kelembapan dari 3 sensor yang diuji menghasilkan waktu yang beda setiap percobaannya dengan rentang perbedaan 1-2 detik.

Berdasarkan hasil analisis dari waktu respon sensor DHT11 pada skenario pengujian pada skenario yang telah dilakukan, semakin panjang rentang suhu awal dengan suhu akhir maka semakin lama waktu yang dibutuhkan sensor untuk merespon, selain panjang rentang nilai suhu juga berpengaruh terhadap lama waktu respon. Dari tiga variasi rentang suhu 25 oC ke 8 oC ketiga *node* memiliki rata-rata waktu respon paling tinggi yaitu *node3* 9s, *node2* 10s dan *node1* 10,8s, selanjutnya rentang suhu 25 oC ke 12 oC dengan rata-rata waktu respon *node1* 7,8s, *node2* 8,2s dan *node3* 8,8s, selanjutnya rentang suhu 25 oC ke 18 oC dengan rata-rata waktu respon *node1* 6,4s, *node2* 6,8s dan *node3* 7,6s. Pada pengujian ini ketiga sensor dapat dikatakan bekerja dengan baik karena waktu terlama pada pengujian yaitu *node3* pada rentang suhu 25 oC ke 8 oC dengan waktu 10,8s masih dalam batas wajar.

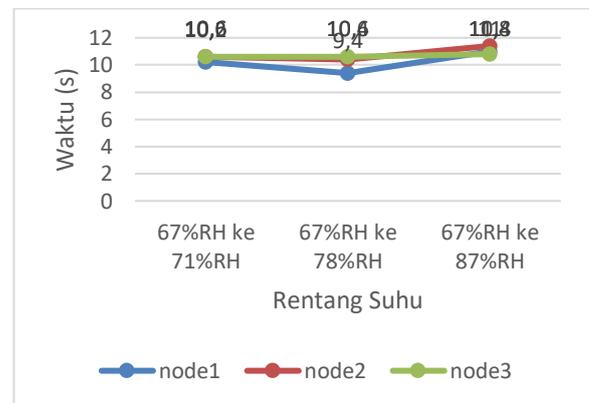


Gambar 10. Rata-rata Waktu Respon Suhu Sensor DHT11

Pada Gambar 10. tentang grafik rata-rata Waktu Respon Suhu Sensor DHT11, grafik

meningkat secara linear yang mengindikasikan semakin jauh rentang suhu awal dan suhu akhir maka akan semakin lama respon sensor.

Berdasarkan hasil analisis dari waktu respon sensor DHT11 pada skenario pengujian yg dilakukan pada skenario yang telah dilakukan, semakin panjang rentang kelembapan awal dengan kelembapan akhir maka semakin lama waktu yang dibutuhkan sensor untuk merespon, dari tiga variasi rentang kelembapan 67%RH ke 87%RH ketiga *node* memiliki rata-rata waktu respon paling tinggi yaitu *node1* 11s, *node2* 11,4s dan *node3* 15,6s, selanjutnya rentang kelembapan 67%RH ke 78%RH dengan rata-rata waktu respon *node1* 9,4s, *node2* 10,4s dan *node3* 10,6, selanjutnya rentang kelembapan 67%RH ke 71%RH dengan rata-rata waktu respon *node1* 10,2s, *node2* 10,6s dan *node3* 11,6s. waktu terlama pada pengujian yaitu *node3* pada rentang kelembapan 67%RH ke 87%RH melebihi batas waktu spesifikasi yaitu dengan waktu 15,6s. Akan tetapi, waktu respon 2 sensor lain masih dalam batas normal.



Gambar 11. Rata-rata Waktu Respon Kelembapan Sensor DHT11

Pada Gambar 10 tentang grafik rata-rata Waktu Respon Kelembapan Sensor DHT11, berbeda dengan hasil nilai pembacaan suhu pada pembacaan kelembapan tidak menunjukkan pola tertentu di dalamnya, hal tersebut dikarenakan waktu respon terhadap kelembapan juga dipengaruhi oleh suhu.

### 3.3 Pengujian dan Analisis Jarak Antar Node

Hasil performa *node sensor* dan *node server* dengan indikator delay pada skenario yang telah ditentukan Pada jarak 1m, 10m dan 70m memperlihatkan bahwa dengan jarak yang sama, delay yang dialami dalam proses

pengiriman data memiliki perbedaan meskipun tidak terlalu signifikan.

Hasil analisis dari delay yang didapat dengan variasi jarak antar node sensor dengan node server pada saat melakukan sinkronisasi memiliki rata-rata delay terendah yaitu 5,6 pada jarak 1m dan tertinggi yaitu 18,4 pada jarak 70m.



Gambar 12. Rata-rata Delay Pada jarak 1m, 10m dan 70m

Pada Gambar 6.7 tentang grafik rata-rata Delay Pada jarak 1m, 10m dan 70m, grafik meningkat secara linear yang mengindikasikan semakin jauh jarak antara node sensor dengan node server mengakibatkan delay yang lebih tinggi. Selisih delay antara jarak 1m dengan 10m tidak jauh yaitu 0,6μs, akan tetapi pada jarak 70m delay mengalami peningkatan lebih dari 2 kali lipat.

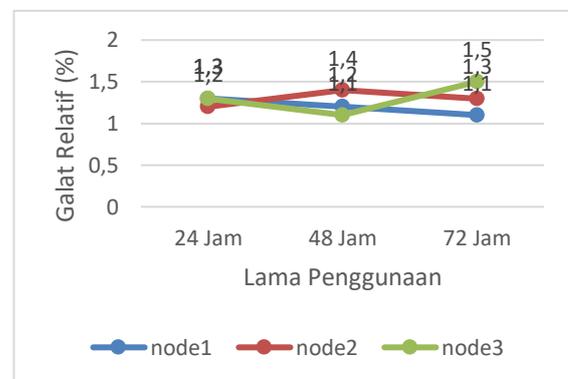
### 3.3 Pengujian dan Analisis Jangka Waktu Penggunaan

Hasil performa node sensor dengan indikator akurasi pada skenario yang telah ditentukan dilakukan perhitungan galat relatif pada data yang diperoleh. Dari 3 variasi jangka waktu penggunaan yaitu 24 jam, 48 jam dan 72 jam dilakukan 3 sampling selama satu jam pada pagi siang dan sore hari selama 1 jam. Masing-masing sampling menghasilkan 360 data yang akan dibandingkan dengan nilai dari termometer dan higrometer.

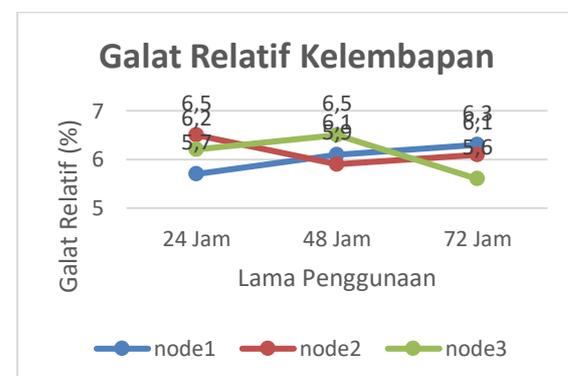
Berdasarkan hasil pengujian tentang galatrelatif suhu dari 1080 data tiap node sensor, dari 3 sensor yang diuji menghasilkan galat relatif yang beda setiap node, hal tersebut menunjukkan bahwa akurasi tiap sensor berbeda.

Berdasarkan hasil analisis dari galat relatif sensor DHT11 pada skenario pengujian yg dilakukan pada skenario yang telah dilakukan, perbedaan jangka waktu penggunaan 24 jam, 48 jam dan 72 jam tidak berpengaruh karena hasil galat relatif tidak memiliki pola tertentu. Dari

tiga variasi jangka waktu penggunaan, pembacaan suhu sensor dari node 3 dengan lama penggunaan 48 jam memiliki akurasi terbaik yaitu dengan galat relatif 1,1%, dalam jangka waktu penggunaan 24 jam sensor node 2 memiliki akurasi terbaik yaitu dengan galat relatif 1,2% dan dalam jangka waktu penggunaan 72 jam sensor node 1 memiliki akurasi terbaik yaitu dengan galat relatif 1,2%. Dari tiga variasi jangka waktu penggunaan, pembacaan kelembapan sensor dari node 3 dengan lama penggunaan 72 jam memiliki akurasi terbaik yaitu dengan galat relatif 5,6%, dalam jangka waktu penggunaan 24 jam sensor node 1 memiliki akurasi terbaik yaitu dengan galat relatif 5,7% dan dalam jangka waktu penggunaan 48 jam sensor node 2 memiliki akurasi terbaik yaitu dengan galat relatif 5,9%. Pada pengujian ini ketiga sensor dapat dikatakan bekerja dengan baik karena galat relatif pada pengujian yaitu node3 pada jangka waktu penggunaan 72 jam dengan galat relatif 1,5% untuk pembacaan suhu dan node2 pada jangka waktu penggunaan 48 jam masih untuk pembacaan kelembapan masih dalam batas wajar.



Gambar 13. Rata-rata Galat Relatif Suhu



Gambar 14. Rara-rata Galat Relatif Kelembaban

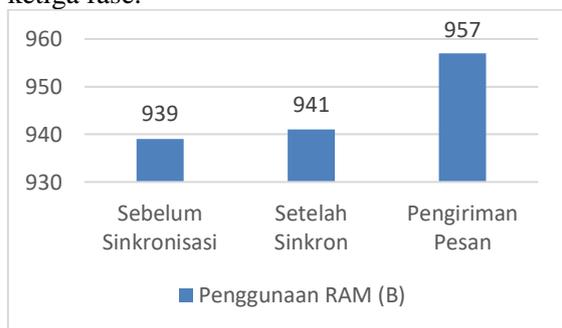
Pada Gambar 13 dan 14 tentang grafikgalat relatif suhu dan kelembaban di atas,

grafik menunjukkan bahwa 3 variasi jangka waktu penggunaan tidak berpengaruh terhadap akurasi sensor dalam membaca nilai kelembapan hal tersebut terjadi karena menurut spesifikasi sensor perubahan akurasi sensor akan berkurang  $\pm 1\text{oC}$  setelah 1 tahun penggunaan.

Pada pengujian dengan jangka waktu penggunaan 72 jam diketahui pula bahwa sinkronisasi waktu antara *node sensor* dengan *node server* mengalami pergeseran kurang dari 1 detik.

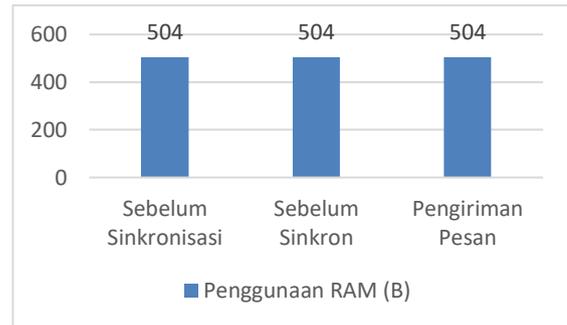
### 3.3 Pengujian dan Analisis Penggunaan RAM

Hasil performa *node sensor* dengan indikator penggunaan RAM dari mikrokontroler arduino pro mini pada skenario yang telah di tentukan menunjukkan hasil penggunaan 939B pada fase sebelum Sinkronisasi, 941B pada fase setelah sinkronisasi dan 957B pada fase pengiriman pada *node sensor*. Sedangkan pada *node server* menunjukkan hasil penggunaan 504B pada ketiga fase.



Gambar 15. Rara-rata Penggunaan *Node sensor*

Berdasarkan Gambar 15 diatas, Hasil analisis dari penggunaan RAM Berdasarkan grafik hasil pengujian diatas, dari ketiga fase kerja sistem semua penggunaan RAM kurang dari 50%. Sebelum sinkronisasi program menggunakan 45% dari kapasitas RAM, Setelah sinkronisasi program menggunakan 46% dari kapasitas RAM dan fase pengiriman pesan program menggunakan 47% dari kapasitas RAM.



Gambar 16. Rata-rata Penggunaan *Node Server*

Berdasarkan Gambar 16 diatas, Hasil analisis dari penggunaan RAM Berdasarkan grafik hasil pengujian diatas, dari ketiga fase kerja sistem semua penggunaan RAM kurang dari 50%. Berbeda dengan *node sensor*, penggunaan RAM pada *node server* sama disetiap fasenya hal tersebut terjadi karena seluruh variabel pada program telah digunakan sejak program pertama kali berjalan.

### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembacaan nilai suhu dan kelembapan oleh sensor DHT11 dapat dilakukan, Persentase keberhasilan pembacaan nilai suhu dan kelembapan mencapai 100%. Protokol TDMA pada pengiriman pesan pada semua *node sensor* dan penerimaan pesan pada *node server* dapat dijalankan. Persentase keberhasilan pengiriman dan penerimaan pesan dari *node sensor* ke *node server* mencapai 100%. Sinkronisasi semua *node sensor* dengan dengan *node server* menggunakan TPSN dapat dilakukan dengan baik. Sinkronisasi dapat dijalankan dengan rata-rata waktu sinkronisasi kurang dari 30 detik. Persentase keberhasilan sinkronisasi *node sensor* dengan *node server* mencapai 100%. Terjadi pergeseran sinkronisasi waktu antara *node sensor* dengan *node server* kurang dari 1 detik dalam pengujian penggunaan dalam jangka waktu 72 jam.
2. Penggunaan program pembacaan sensor, TPSN dan TDMA pada *node sensor* menggunakan kapasitas RAM terbanyak pada proses mengirim pesan yaitu sebesar 47%, sedangkan pada *node server*

- penggunaan kapasitas RAM sama pada semua proses yaitu sebesar 24,6%.
3. Perubahan 3 variasi perubahan jarak 1m diperoleh rata-rata delay 5,6, jarak 10m diperoleh rata-rata delay 6,2 dan jarak 70m diperoleh rata-rata delay 18,4. Dapat disimpulkan bahwa jarak mempengaruhi besar delay pengiriman, semakin jauh jarak *node sensor* dengan *node server* maka delay yang terbentuk akan semakin besar.
  4. Sensor suhu dan kelembapan DHT11 dapat bekerja dengan baik pada mikrokontroler arduino pro mini. Pada pengujian kecepatan respon sensor pembacaan suhu, diperoleh rata-rata respon sensor antara 6,9 detik – 9,9 detik dan kecepatan respon sensor terhadap pembacaan kelembapan, diperoleh rata-rata respon sensor antara 10,4 detik – 10,9 detik, dari pengujian tersebut diperoleh bahwa semakin besar perubahan nilai suhu maka dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk sensor merespon, sedangkan pada kelembapan waktu respon selain dipengaruhi oleh besar perubahan nilai kelembapan waktu respon dipengaruhi pula oleh suhu saat pengujian. Pada pengujian akurasi sensor diperoleh rata-rata galat relatif antara 1,3 % - 1,4% pada akurasi nilai suhu dan diperoleh rata-rata galat relatif antara 6 % - 6,5% pada akurasi nilai kelembapan. Dapat disimpulkan bahwa sensor suhu dan kelembapan dapat bekerja dengan baik pada mikro kontroler arduino promini.
- Elson, J. (n.d.). *Time Synchronization for Wireless Sensor Networks*. Los Angeles: University of California.
- Ganeriwal, Saurabh. Et al., (2003). *Timing-sync Protocol for Sensor Network*. Los Angeles : University of California
- Ian F. Akyildiz, Mehmet Can Vuran. 2011. *Wireless Sensor Networks*. 2nd. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Kartasapoetra, Ance Gunarsih, Ir., Nacer Khalil, Mohamed Riduan Abid, Driss Benhaddou, Michael Gerndt. 2014. "Wireless Sensors Networks for Internet of Things." Singapore: IEEE Ninth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP).
- Semiconductor, NORDIC. n.d. *nRF24L01 Ultra low power 2.4GHz RF Transceiver IC*. Accessed Oktober 1, 2016.  
<http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01>.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Adafruit. n.d. *DHT11 BASIC TEMPERATURE-HUMIDITY SENSOR + EXTRAS*. Accessed Oktober 1, 2016.  
<https://www.adafruit.com/product/386>.
- Ángel Asensio, Álvaro Marco, Rubén Blasco, Roberto Casas. 2014. "Protocol and Architecture to Bring Things into Internet of Things." *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 13 April: 19.
- Arduino. n.d. *Arduino Board Pro Mini*. Accessed Oktober 1, 2016.  
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardProMini>.
- Darmawan, A. A. (2016). Implementasi Refernce Broadcast Time Synchronization dengan Time Division Multiple Access pada Wireless Sensor Network.