

## Analisis Kinerja Pengiriman Data Modul *Transceiver* NRF24L01, Xbee dan Wifi ESP8266 Pada *Wireless Sensor Network*

Upik Jamil Shobrina<sup>1</sup>, Rakhmadhany Primananda<sup>2</sup>, Rizal Maulana<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya  
Email: <sup>1</sup>upikjamil2@gmail.com, <sup>2</sup>rakhmadhany@ub.ac.id, <sup>3</sup>rizal\_lana@ub.ac.id

### Abstrak

Teknologi WSN merupakan teknologi terbaru yang masih memiliki banyak kendala terkait pemrograman ataupun kebutuhan komunikasi waktu nyata. Tantangan terkait komunikasi waktu nyata meliputi sistem harus dapat beradaptasi dengan lingkungan dan *noise* serta terhadap waktu tunda yang terjadi saat pengiriman data. Oleh karena itu penelitian ini melakukan analisis terhadap perangkat komunikasi (*transceiver*) yang merupakan inti dari node WSN dengan parameter uji delay, penggunaan memori RAM dan uji fungsional sistem. Modul *transceiver* yang digunakan adalah nRF24L01, Xbee S2 dan ESP8266. Penelitian ini dilakukan dengan merancang dua node sebagai pengirim dan satu node penerima. Pengiriman data berasal dari sensor akselerometer ADXL335. Pengiriman dan penerimaan data dilakukan secara simultan menggunakan modul RTC (*Real Time Clock*) dengan waktu kirim dan terima 0, 15, 30, dan 45 detik. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa modul nRF24L01 lebih unggul dalam hal pengiriman paket dan xbee memiliki sedikit *noise* dan tabrakan data, sedangkan esp8266 paket data yang diterima banyak terdapat *noise* dan tabrakan data. Pada parameter delay, xbee memiliki range terkecil yaitu 0.90 detik sampai 1.09 detik. Untuk rata-rata penggunaan memori pada nRF24L01 lebih dari 32.00% dari kapasitas RAM, xbee lebih dari 40.00% dari kapasitas RAM dan ESP8266 lebih dari 55.00% dari kapasitas RAM.

**Kata kunci:** Kinerja, nRF24L01, Xbee S2, ESP8266, wireless sensor network

### Abstract

WSN technology is the latest technology that still has many obstacles related to programming or real-time communication needs. Challenges related to real-time communication include the system must be able to adapt to the environment and noise as well as to the delay time that occurs when sending data. Therefore this research performs analysis of communication device (*transceiver*) which is the core of WSN node with delay test parameter, RAM memory usage and functional system test. The *transceiver* modules used are nRF24L01, Xbee S2 and ESP8266. This research is done by designing two nodes as sender and one receiving node. Data delivery is derived from the ADXL335 accelerometer sensor. The sending and receiving data is done simultaneously using RTC (*Real Time Clock*) module with send and receive time 0, 15, 30, and 45 seconds. From the test results show that nRF24L01 module is superior in terms of packet delivery and xbee has less noise and data collision, while esp8266 data packet received a lot of noise and data collision. In the delay parameter, xbee has the smallest range of 0.90 seconds to 1.09 seconds. For average memory usage on nRF24L01 over 32.00% of RAM capacity, xbee is more than 40.00% of RAM capacity and ESP8266 is more than 55.00% of RAM capacity.

**Keywords:** Performance, nRF24L01, Xbee S2, ESP8266, wireless sensor network

## 1. PENDAHULUAN

*Wireless Sensor Network* (WSN) merupakan teknologi terbaru yang memanfaatkan embedded sistem dan seperangkat node sensor untuk melakukan sistem *monitoring* ataupun pengiriman data secara *nirkabel*. Penerapan *wireless sensor*

*network* pada suatu sistem minimal harus terdiri dari dua node sensor network. Namun di dalam penerapannya, sebuah WSN dapat terdiri atas 10.000 sampai 100.000 buah sensor didalamnya. Node pada WSN terdiri dari sensor, sebuah ADC (*Analog to Digital Converter*) jika data yang dikirimkan masih berupa data analog, MCU (*Micro Controller Unit*), unit penyimpanan,

manajemen power dan RF (*Radio Frequency Transceiver*). Banyaknya node tersebut, WSN dituntut untuk dapat bekerja dengan baik di lapangan tanpa ada kendala. (Pratama & Sukanto, 2015)

Kendala yang dihadapi biasanya terjadi saat melakukan pemrograman pada WSN. Kendala pertama, pemrograman WSN dituntut untuk dapat menghasilkan perangkat lunak yang mampu berinteraksi dengan baik terhadap lingkungannya. Kedua, kemampuan untuk dapat bekerja pada perangkat yang memiliki keterbatasan memori dan sumber daya energi, kehandalan aplikasi untuk dapat berjalan terus menerus dalam waktu yang cukup lama tanpa campur tangan pengguna, serta mendukung sistem berbasis waktu nyata (*real time*). Selain kendala, WSN juga memiliki kelemahan terkait dengan mobilitas, media komunikasi dan kelakuan dari lingkungan tempat *wireless sensor network*. (Pratama & Sukanto, 2015)

Pada sebagian sistem memerlukan komunikasi yang *real time*. Ada banyak tantangan yang harus dihadapi saat melakukan komunikasi *real time*. Pertama *wireless* rentang terhadap adaptasi lingkungan dan *noise*, sehingga komunikasi delay sulit diperkirakan. Kedua, banyak aplikasi WSN yang dibutuhkan untuk bekerja dalam rentang waktu yang lama dengan menggunakan daya baterai, sehingga memerlukan pertimbangan bagaimana mengurangi energi yang berlebihan. Ketiga, paket yang berbeda memiliki kebutuhan delay yang berbeda juga. (Chen, 2012)

Terkait kelemahan tentang media komunikasi, maka para pengembang (*programmer* atau perancang) dituntut untuk dapat memilih perangkat komunikasi yang cocok untuk rancangan sistem WSN yang dibuat. Alasannya karena *transceiver* ini merupakan inti dari node WSN, yang akan melakukan proses pengiriman dan penerimaan data dari node.

Perangkat yang digunakan sebagai media transmisi secara nirkabel yang ada pada *wireless sensor network* dapat dikatakan sebagai modul *transceiver*. Modul *transceiver* memanfaatkan radio frekuensi dalam transmisi data digital. Contoh modul *transceiver* diantaranya nRF24L01, Xbee dan Modul Wifi ESP2866. Modul *transceiver* tersebut harus dipilih sesuai dengan sistem yang akan dibuat agar pengiriman dan penerimaan data dapat akurat dan dioperasikan pada berbagai lingkungan. (Faludi, 2012)

Pemilihan modul *transceiver* untuk sistem harus berdasarkan spesifikasi dan kinerja yang dihasilkan oleh model *transceiver*. Oleh sebab itu, ada beberapa penelitian yang membahas tentang analisis modul *transceiver*. Penelitian dengan judul "*Performance Analysis of Xbee ZB Module Based Wireless Sensor Network*" meneliti tentang protocol komunikasi Xbee ZB seri 2. Penelitian tersebut menyatakan bahwa *data rate* Xbee ZB pada mode 250 Kbps hanyalah 44 Kbps dengan menggunakan protocol komunikasi serial RS232/UART (Piyare. 2013). Penelitian yang lain adalah "*Evaluasi Karakteristik Xbee Pro dan nRF24L01 + sebagai Transceiver Nirkabel* (Fajriansyah, Ichwan dan Susana. 2016)". Penelitian tersebut melakukan pengiriman data dalam bentuk karakter ASCII/ bytes secara kontinyu maupun sekuensial melalui komunikasi serial UART. Hasil analisisnya adalah pada pengaturan mode *data rate* 250 Kbps, Xbee Pro memiliki *data rate* 27 Kbps dan nR24L01+ 16 Kbps untuk protokol komunikasi serial UART.

Berdasarkan permasalahan yang telah disampaikan, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai "*Analisis Pengiriman Data Sensor Accelerometer Menggunakan Modul Transceiver nRF24L01, Xbee dan Modul Wifi ESP2866*". Parameter yang akan diuji adalah *delay*, *memory usage*, dan uji fungsionalitas. Input pada node sensor akan fokus pada monitoring suatu pergerakan yaitu menggunakan sensor akselerometer. Adanya penelitian ini diharapkan bagi peneliti selanjutnya ataupun pengembang WSN dapat memilih modul *transceiver* sesuai kebutuhan sistemnya.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1. Arduino Uno

Arduino Uno merupakan sebuah board mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino UNO mempunyai 14 pin digital input/output (6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino UNO memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkannya ke sebuah computer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya.

**2.2. Modul nRF24L01**

NRF24L01 merupakan modul komunikasi jarak jauh yang menggunakan frekuensi pita gelombang radio 2.4-2.5 GHz ISM (*Industrial Scientific and Medical*). nRF24L01 memiliki kecepatan sampai 2Mbps dengan pilihan opsi *data rate* 250 Kbps, 1 Mbps, dan 2 Mbps. *Transceiver* terdiri dari synthesizer frekuensi terintegrasi, kekuatan amplifier, osilator kristal, demodulator, modulator dan Enhanced ShockBurst™ mesin protokol. output daya, saluran frekuensi, dan setup protokol yang mudah diprogram melalui antarmuka SPI. Konsumsi arus yang digunakan sangat rendah, hanya 9.0mA pada daya output -6dBm dan 12.3mA dalam mode RX. Built-in Power Down dan mode standby membuat penghematan daya dengan mudah realisasi. (Nordic Semiconductor ASA., 2006).

**2.3. Modul Xbee**

Xbee merupakan sebuah modul RF *transceiver* menggunakan standart protocol zigbee dan bekerja dalam jangkauan frekuensi 2.4 GHz. Antarmuka komunikasi xbee menggunakan serial komunikasi UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*). Modul tersebut memberi solusi konektivitas end-point nirkabel untuk perangkat embedded. Xbee memiliki daya pancar 2dBm dengan sensitivitas minimum -96 dBm.

**2.4. Modul ESP8266**

Modul ESP8266 merupakan modul low cost wifi yang didukung penuh untuk penggunaan TCP/IP ataupun UDP. Esp8266 dikembangkan oleh pengembang asal tiongkok yaitu “Espreffif”. Produk ESP866 memiliki banyak varian. Pada penelitian ini digunakan ESP8266 seri ESP-01. Modul wifi ini bersifat SoC (Sytem on Chip), sehingga bisa melakukan programming langsung ke ESP8266 tanpa memerlukan mikrokontroler tambahan. Modul Esp8266 juga menyediakan kemampuan tak tertandingi untuk menanamkan kemampuan wifi dalam sistem yang lain, atau berfungsi sebagai aplikasi standalone dengan biaya yang rendah dan kebutuhan ruang yang minimal.

**2.5. Sensor ADXL335**

ADXL335 merupakan sensor accelerometer yang memiliki sistem berbasis MEMS (*Micro Electronic Mechanical System*)

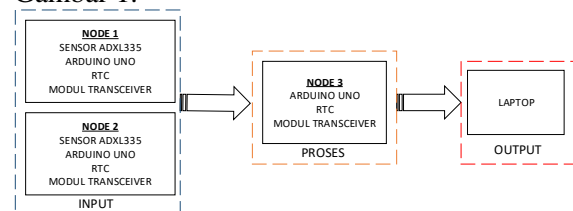
yang bermanfaat untuk mengukur percepatan suatu sistem yang bergerak. Pemanfaatan sensor ini adalah untuk mengetahui perubahan posisi suatu benda terhadap titik acuan pusat grafik. Sensor ADXL335 berbentuk kecil, low power dan memiliki 3 axis dengan sinyal output AC. Skala pengukuran percepatan minimal ± 3g. Hal ini dapat mengukur percepatan statis gravitasi dalam sensing berupa pergeseran atau pun getaran. Pengguna dapat memilih bandwidth dari accelerometer menggunakan pin CX,CY dan CZ kapasitor pada pin XOUT, YOUT, dan ZOUT. Bandwidth dapat dipilih sesuai aplikasi, dengan range 0.5 – 1600 Hz untuk X dan Y, range 0.5 – 550 Hz untuk sumbu Z. (Analog Devices, Inc. All rights reserved, 2009)

**2.6. Real Time Clock (RTC)**

RTC (*Real Time Clock*) merupakan sebuah IC yang memiliki fungsi untuk menghitung waktu seperti sebuah jam, mulai dari detik, menit, jam, tanggal, bulan, dan tahun. Jam pada RTC akan beroperasi dalam format 24 jam atau 12 jam dengan indikator AM/PM. Jenis RTC yang dipakai pada penelitian ini yaitu RTC DS1307. RTC DS1307 memiliki *crystal* sebagai sumber clock dan battery eksternal sebagai sumber energy cadangan supaya fungsi penghitung waktu tetap berjalan. Selain itu RTC DS1307 juga memiliki akurasi sampai tahun 2100.

**3. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI**

Proses perancangan ini bertujuan untuk menghasilkan sistem yang utuh dan dapat diimplementasikan sesuai tujuan awal sistem dibuat. Perancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Blog Diagram Sistem

Pada perancangan sistem terdiri dari input, proses dan *output*. Pada *input* memiliki dua node sensor (node 1 dan node 2) yang berperan sebagai *transmitter*. Data input akan diperoleh dari sensor ADXL335, kemudian dari dua node sensor ini, data akan dikirim ke node *gateway* (node 3) secara simultan dan dengan waktu yang

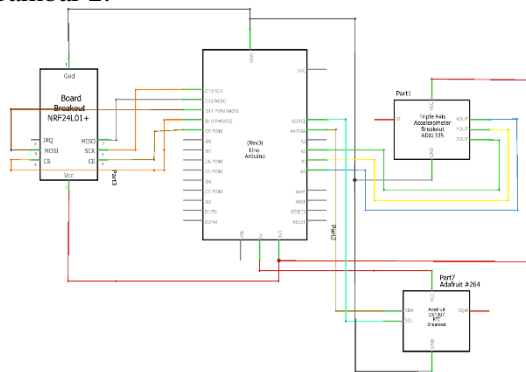
ditentukan yaitu detik ke 0, 15, 30, dan 45. Setelah itu, data diproses dan dilakukanlah analisa parameter uji oleh mikrokontroler dan akan ditampilkan pada serial monitor. Tiap mikrokontroler akan dihubungkan ke PC melalui USB. Modul *transceiver* yang digunakan adalah nRF24L01, Xbee S2 dan ESP8266.

### 3.1. Perancangan Node Pada Transmitter

Perancangan sistem pada node *transmitter* akan dibagi lagi menjadi tiga bagian yaitu sistem untuk modul wireless nRF24L01, Xbee S2 dan ESP8266.

#### 1. Sistem menggunakan modul nRF24L01

Node sensor 1 dan node 2 memiliki perancangan sistem yang sama. Komponen yang digunakan untuk masing-masing node yaitu satu modul nRF24L01, arduino uno, sensor ADXL335 dan RTC. Perancangan akan dilakukan dengan cara menghubungkan pin modul nRF24L01, sensor dan RTC dengan pin arduino uno. Rancangan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skematik node transmitter dengan nRF24L01

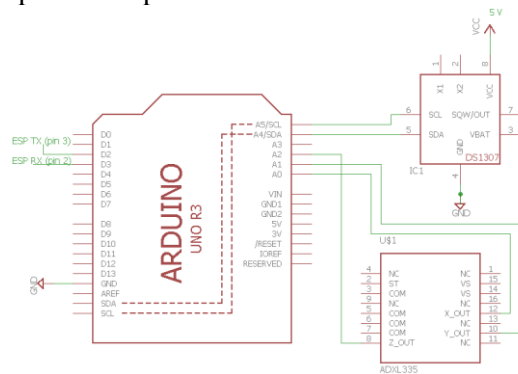
#### 2. Sistem menggunakan modul Xbee S2

Perancangan akan dilakukan dengan cara menghubungkan xbee S2 ke xbee shield. Modul xbee shield sudah berisi antar muka RS232 dan USB yang menggunakan 20 pin untuk menerima modul xbee. Modul xbee yang terdiri dari 20 pin ditancapkan diatas perangkat shield yang telah disediakan di *deviceny*, kemudian pin xbee shield ini akan dihubungkan pada pin mikrokontroler arduino uno.

#### 3. Sistem menggunakan modul ESP8266

Komponen yang dibutuhkan adalah dua modul ESP8266 sebagai media pengirim data sensor untuk node 1 dan 2, dua sensor ADXL335, dan dua mikrokontroler arduino uno. Masing-masing *transmitter* akan

menggunakan 3 resistor yang bernilai 10KΩ. 3 resistor tersebut sudah tergabung didalam PCB. Koneksi antara modul esp8266 dan arduino uno dapat dilihat pada Gambar 3.



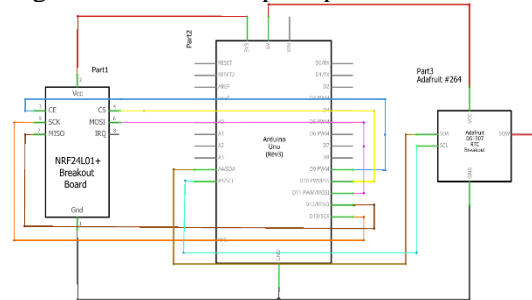
Gambar 3. Skematik node transmitter dengan ESP8266

### 3.2. Perancangan Node Pada Receiver

Perancangan sistem pada node *receiver* akan dibagi lagi menjadi tiga bagian yaitu sistem untuk modul wireless nRF24L01, Xbee S2 dan ESP8266.

#### 1. Sistem menggunakan modul nRF24L01

Komponen yang digunakan yaitu satu modul nRF24L01, arduino uno dan RTC. Perancangan akan dilakukan dengan cara menghubungkan pin modul nRF24L01 dan RTC dengan arduino uno, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Skematik Node Receiver dengan modul nRF24L01

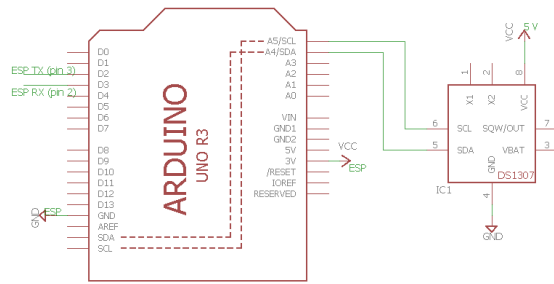
#### 2. Sistem menggunakan modul Xbee S2

Komponen yang dibutuhkan yaitu satu xbee S2, satu xbee shield, RTC dan arduino uno. Xbee shield akan ditancapkan dengan pin mikrokontroler sedangkan xbee akan di tancapkan pada shield.

#### 3. Sistem menggunakan modul ESP8266

Komponen yang dibutuhkan meliputi satu modul ESP8266, satu arduino uno dan satu RTC. Modul ESP8266 dan RTC akan dihubungkan dengan arduino uno. Gambar 5 merupakan skematik keseluruhan dari node *receiver* menggunakan esp8266.

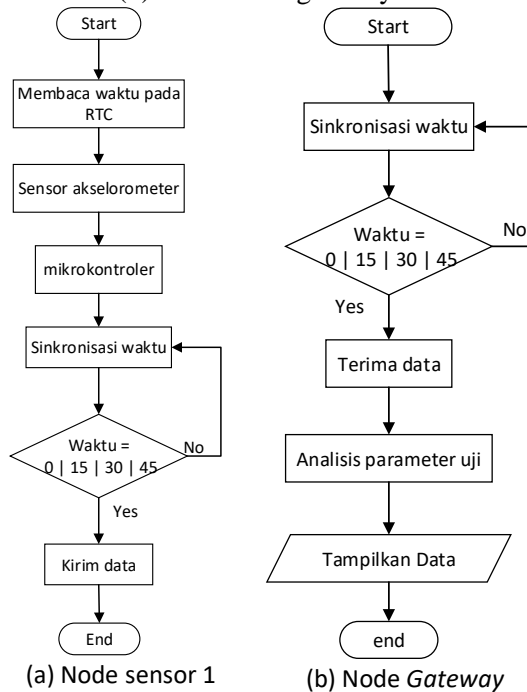




Gambar 5. Skematik node receiver dengan modul ESP8266

### 3.3. Perancangan Keseluruhan Sistem

Perancangan keseluruhan sistem akan menjelaskan sistem kerja dari awal sampai akhir. Perancangan dijelaskan dengan diagram alir pada Gambar 6 (a) untuk node sensor 1 dan 2 dan Gambar 6 (b) untuk node gateway.



Gambar 6. Diagram alir keseluruhan sistem

Diagram alir yang terdapat pada Gambar 6 dimulai dengan jalannya sistem pada node sensor 1 dan 2. Node sensor akan membaca waktu pada modul RTC, waktu tersebut akan digunakan untuk meyamakan waktu node sensor dengan node gateway. Setelah itu sensor akan melakukan sensing. Hasil sensing akan diproses oleh mikrokontroller. Setelah hasil sensing didapat, maka data tersebut akan dikirim ke node gateway pada detik ke 0, 15, 30, dan 45. Pada sisi node gateway akan melakukan pengecekan waktu juga. Ketika waktu menunjukkan detik ke 0, 15, 30 dan 45 maka node akan menerima data dari node sensor. Setelah paket data diterima, node gateway juga akan melakukan analisis

terhadap delay transmisi dan *memory usage*. Setelah proses perhitungan parameter uji selesai, maka semua data akan ditampilkan pada serial monitor.

### 3.4. Implementasi Node Pada Transmitter

Implementasi node pada transmitter akan menggabungkan seluruh rancangan yang ada pada node transmitter. Rancangan node transmitter terdiri dari sensor ADXL335, modul RTC, modul nRF24L01, modul xbee dan modul ESP8266. Pada Gambar 7 dan 8 merupakan gambar implementasi dari node sensor (transmitter) 2 dan 1.



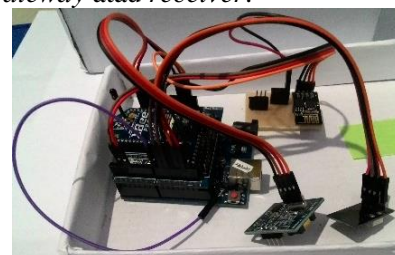
Gambar 7. Perangkat keras node sensor 2



Gambar 8. Perangkat keras node sensor 1

### 3.5. Implementasi Node Pada Receiver

Implementasi node pada receiver akan menggabungkan seluruh rancangan yang ada pada node receiver. Rancangan node receiver terdiri dari rancangan modul RTC modul nRF24L0, modul xbee dan modul ESP8266. Pada Gambar 9 terlihat gambar keseluruhan dari node gateway atau receiver.



Gambar 9. Perangkat keras gateway

#### 4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Proses pengujian dan analisis yang terdapat pada penelitian ini meliputi pengujian akuisisi data sensor akselerometer, pengujian RTC, pengujian uji fungsional pada sistem, pengujian delay pada sistem, dan pengujian *memory usage* pada sistem. Pengujian dilakukan pada ruangan tertutup dengan skenario tanpa dan dengan penghalang. Jarak masing-masing pengujian pada sistem yaitu 0 meter, 8 meter, 16 meter dan 24 meter.

##### 4.1. Pengujian dan Analisis Akuisisi Data Sensor Akselerometer

*Output* yang dihasilkan sensor ADXL335 berupa nilai analog. Hasil output sensor akan terus berubah-ubah meskipun sensor dalam keadaan diam, karena sensor akselerometer memiliki kelemahan dalam hal menentukan nilai yang konstan. Penentuan posisi pergerakan sensor didapat dengan cara mengambil nilai maksimal dan minimal output sensor ADXL335. Nilai maksimal dan minimal akan digunakan untuk menentukan titik 0 (nilai offset) dari sensor. Tabel 1 merupakan nilai minimal dan maksimal dari output sensor.

Tabel 1. Nilai minimal dan maksimal ADXL335

	Maksimal	Minimal	Nilai offset
X (node 1)	443	290	373
Y (node 2)	434	303	362

##### 4.2. Pengujian dan Analisis RTC

Pengujian dilakukan untuk menguji ketepatan waktu antar masing-masing node. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu pada RTC terkadang berbeda-beda untuk masing-masing node. Oleh karena itu dilakukanlah kalibrasi untuk mendapatkan waktu yang sama pada masing-masing node.

##### 4.3. Pengujian dan Analisis Uji Fungsional

Dari hasil pengujian, menunjukkan bahwa sistem dapat mengirimkan paket data secara simultan dan waktu pengiriman sesuai dengan waktu yang telah dirancang. Pada bagian node sensor, sistem dengan modul nRF24L01 dalam interval 15 detik dapat mengirimkan paket data sebanyak 1 kali untuk masing-masing node. Sistem dengan modul xbee dan esp8266 dalam interval 15 detik dapat mengirimkan paket data sebanyak 2 kali. Hal ini disebabkan karena kecepatan transfer data pada xbee dan esp8266 lebih cepat dari pada nRF24L01. Hanya saja

pada sistem dengan modul esp8266 pengiriman dua kali pada tiap node sensor terjadi hanya beberapakali saja dan penerimaan paket datanya tidak sempurna seperti xbee, karena paket data banyak yang mengalami bentrok/tabrakan sehingga paket data hilang ataupun tumpang tindih.

Node sensor akan melakukan pengiriman data sebanyak 21 kali, kemudian node *gateway* akan menerima data tersebut. Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4 merupakan data keberhasilan penerimaan paket data pada sistem.

Tabel 2. Penerimaan Data pada nRF24L01

Jarak (m)	Data Yang Dikirim Transmitter		Data Yang Diterima Receiver	
	node 1	node 2	Non Penghalang	Penghalang
0	21	21	42	42
8	21	21	42	21
16	21	21	41	39
24	21	21	26	21

Tabel 3. Penerimaan data pada xbee

Jarak (m)	Data Yang Dikirim Transmitter		Data Yang Diterima Receiver	
	node 1	node 2	Non Penghalang	Penghalang
0	21	21	42	42
8	21	21	40	22
16	21	21	36	31
24	21	21	18	16

Tabel 4. Penerimaan data pada esp8266

Jarak (m)	Data Yang Dikirim Transmitter		Data Yang Diterima Receiver	
	node 1	node 2	Non Penghalang	Penghalang
0	21	21	37	28
8	21	21	37	21
16	21	21	32	27
24	21	21	27	26

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa nRF24L01 lebih unggul dalam hal pengiriman data, karena paket data yang diterima lebih banyak dari pada sistem dengan modul xbee dan esp8266.

Selain itu hasil uji fungsionalitas yang lain adalah sistem dengan xbee memiliki tabrakan data dan *noise* yang lebih sedikit dibandingkan dengan nRF24L01 dan esp8266.

#### 4.4. Pengujian dan Analisis Delay

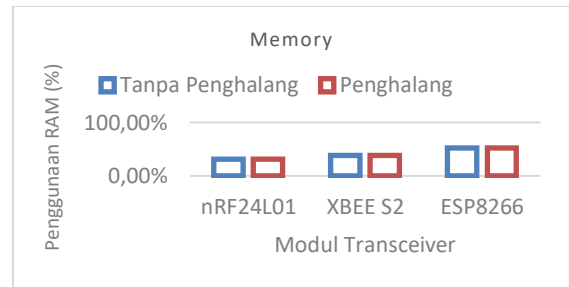
Dari hasil pengujian diketahui bahwa jumlah panjang paket data yang utuh pada sistem nRF24L01 sebesar 26 byte untuk node 1 dan 27 byte untuk node 2. Pada sistem dengan xbee jumlah panjang paket data ketika utuh dan tidak ada *noise* yaitu 28 byte untuk node 1 dan 29 byte untuk node 2. Pada sistem xbee jumlah panjang paket data utuh tidak sama dengan sistem nRF24L01 karena terdapat tambahan 2 byte yang berasal dari komunikasi software serial (pin 4 dan 5). Pada sistem dengan esp8266 jumlah panjang paket data yang utuh sebesar 61 byte untuk node 1 dan 63 byte untuk node 2. Panjang paket data pada sistem esp8266 lebih banyak dari pada sistem yang lain, karena pada sistem esp8266 juga menghitung *AT command* yang dikirimkan oleh node sensor. Jumlah panjang paket data tersebut akan dijadikan acuan untuk menghitung Delay transmisi sistem yaitu panjang paket dibagi *bandwidth*.

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis diketahui sistem dengan modul nRF24L01 memiliki range delay dari 0.64 detik sampai 1.12 detik untuk pengujian tanpa penghalang sedangkan pengujian dengan penghalang range dari 0.35 detik sampai 1.73 detik. Sistem dengan xbee memiliki range delay dari 0.90 detik sampai 0.93 detik untuk pengujian tanpa penghalang, sedangkan pengujian dengan penghalang dari 0.90 detik sampai 1.09 detik. Sistem dengan esp8266 memiliki range delay dari 0.90 detik sampai 3.97 detik, sedangkan pada pengujian dengan penghalang dari 0.70 detik sampai 4.67 detik. Sistem yang memiliki selisih range delay terkecil terdapat pada xbee dan selisih range delay terbesar pada modul esp8266. Semakin kecil selisih range delay maka nilai delay akan mendekati nilai konstan. Dan semakin konstan nilai delay pada sistem maka semakin baik delay pada sistem.

#### 4.5. Pengujian dan Analisis Memory Usage

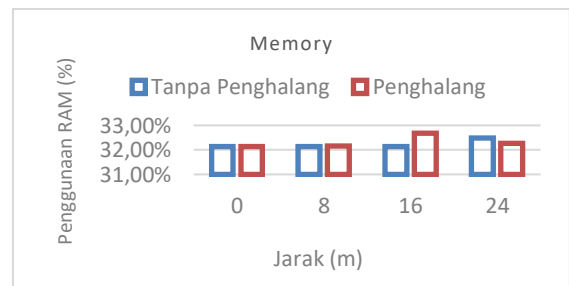
Berdasarkan Gambar 10 diketahui bahwa *memory usage* pada sistem dengan modul nRF24L01 menggunakan 30.86% dari kapasitas RAM. Pada sistem dengan modul xbee, menggunakan 38.57% dari kapasitas RAM. Sedangkan sistem dengan modul esp8266, menggunakan 51.95% dari kapasitas RAM. Tingginya penggunaan memori RAM dipengaruhi oleh banyaknya penggunaan variabel atau program yang ditulis pada mikrokontroler. Sistem dengan modul ESP8266

merupakan sistem yang menggunakan memori RAM paling besar yaitu setengah dari memori terpakai, hal ini disebabkan karena pada sistem tersebut banyak intruksi atau variabel yang berupa *AT command* yang digunakan (seperti yang terlihat pada perancangan perangkat lunak sistem).

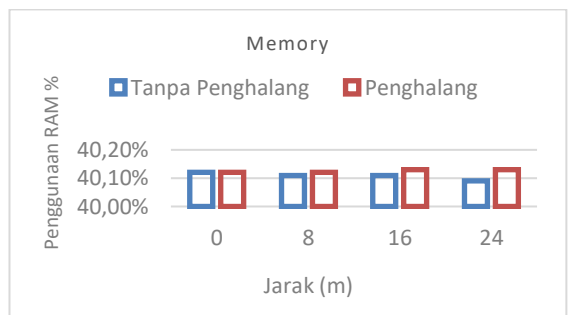


Gambar 10. Penggunaan RAM sebelum method loop

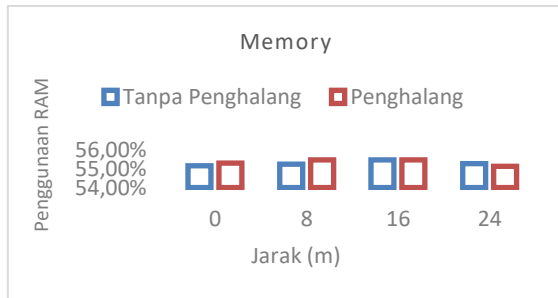
Setelah sistem mengeksekusi program void setup, selanjutnya akan mengeksekusi void loop dan penggunaan memori RAM akan dihitung kembali. Pada Gambar 11, Gambar 12 dan Gambar 13 adalah hasil dari rata-rata penggunaan memori RAM pada tiap sistem.



Gambar 11. Rata-rata penggunaan memori RAM (nRF24L01)



Gambar 12. Rata-rata penggunaan memori RAM (Xbee S2)



Gambar 13. Rata-rata penggunaan memori RAM (ESP8266)

Rata-rata penggunaan memori pada sistem dengan modul nRF24L01 lebih dari 32.13% dari penggunaan RAM. Penggunaan RAM setelah mengeksekusi loop mengalami peningkatan lebih dari 2% dari sebelum loop. Pada sistem dengan xbee juga mengalami peningkatan lebih dari 2% sehingga rata-rata penggunaan memori menjadi 40% dan pada sistem dengan esp8266 meningkat lebih dari 4% sehingga rata-rata penggunaan RAM lebih dari 55% dari kapasitas RAM.

### 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. a. Sistem pada masing-masing modul *transceiver* mampu melakukan pengiriman dan penerimaan paket data secara bersamaan dengan waktu yang sudah ditentukan yaitu 0, 15, 30 dan 45 detik.  
 b. Sistem dengan modul nRF24L01 lebih unggul dalam hal penerimaan paket data dibandingkan dengan modul xbee dan esp8266.  
 c. Sistem dengan xbee memiliki sedikit tabrakan data ataupun *noise*. Dan sistem yang memiliki tabrakan dan *noise* tinggi terdapat pada modul esp8266.
2. Nilai delay pada sistem akan bervariasi menurut perubahan jumlah panjang paket data yang diterima. Pada penelitian ini, nilai delay yang baik ditentukan oleh *range* delay. Semakin kecil selisih *range* delay maka *range* delay akan mendekati nilai konstan. Sistem yang memiliki *range* terkecil adalah sistem dengan xbee yaitu 0.90 sampai 1.09 detik.
3. Pada pengujian tanpa dan dengan nrf24L01, program pada sistem dengan modul nRF24L01 menggunakan memori lebih dari 32.00% dari kapasitas RAM, sistem dengan modul xbee penggunaan memorinya lebih

dari 40.00% dari kapasitas RAM dan untuk sistem dengan esp8266 menggunakan memori lebih dari 50.00% dari kapasitas RAM. Penggunaan memory yang lebih sedikit terdapat pada sistem dengan nRF24L01.

### 6. DAFTAR PUSTAKA

Analog Devices, Inc. All rights reserved, 2009. *Small, Low Power, 3-Axis ±3 g Accelerometer*. [Online] Available at: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL335.pdf>[Accessed 25 Juni 2017].

Chen, H., 2012. *End-to-end Delay Analysis and Measurements in Wireless Sensor Networks*. [Online] Available at: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:550719/FULLTEXT01.pdf>[Diakses 9 Juni 2017].

Faludi, R., 2012. *Building Wireless Sensor Network*. United States of Amerika: BeijingO'Reilly.

Nordic Semiconductor ASA., 2006. *Single Chip 2.4 GHz Transceiver*. [Online] Available at: [http://data.mecheng.adelaide.edu.au/robotics/WWW\\_Devs/Dragon12/rtmc9S12Target/nRF24L01\\_prelim\\_prod\\_spec\\_1\\_2.pdf](http://data.mecheng.adelaide.edu.au/robotics/WWW_Devs/Dragon12/rtmc9S12Target/nRF24L01_prelim_prod_spec_1_2.pdf)[Diakses 26 Oktober 2016].

Pratama, I. P. A. E. & Sukanto, S., 2015. *Wireless Sensor Network*. Dalam: *Wireless Sensor Network (Teori dan Praktik Berbasis Open Source)*. Bandung: Informatika Bandung, pp. 443-445.