

Implementasi NRF24L01 sebagai Perantara Komunikasi Protokol ShockBurst dan TCP-IP dalam Transmisi Basis Data IoT

Isa Albanna

¹Prodi Sistem Informasi, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Copresent Author : isaalbanna@itats.ac.id

Abstract — nRF24L01 is a microelectronic device that functions as a wireless data sender-receiver via the Enhanced ShockBurst protocol. The Enhanced ShockBurst protocol uses the 2.4-2.5 GHz ISM frequency as a communication path. The nRF24L01 device has a fairly long transmission distance, can connect two or more devices, and does not require internet data. In this research, nRF24L01 is used as a transceiver medium to connect sensor devices with a data-recording IoT system. The aim of this research is how to integrate data transmission via the nRF24L01 system which does not use the internet with the Raspberry Pi as an Internet of Things (IoT) system. The research method was carried out in three stages, namely design, data communication integration, and testing. DHT11 sensor data is sent via nRF24L01 and then received by a Raspberry Pi device that has Node-Red installed. The data received by the Raspberry Pi is then sent to the server via TCP-IP (internet) communication. The results of testing the data transmission rate with 300 data/second (at a distance of 25 meters) between the nRF24L01 and Raspberry Pi showed an accuracy of 95%. Data transmission between the Raspberry Pi and the database service server uses an optimal time lag in the range of 2-3 seconds (internet bandwidth up to 10 Mbps). From the results of data transmission speed measurements, it is necessary to record local data on the Raspberry Pi machine, and then synchronize the data on the main server.

Keyword — nRF24L01, Raspberry Pi, IoT, Node-Red, Transceiver

Abstrak — nRF24L01 merupakan sebuah perangkat mikroelektronik dengan fungsional sebagai pengirim-penerima (*transceiver*) data nirkabel melalui protokol *Enhanced ShockBurst*. Protokol *Enhanced ShockBurst* menggunakan frekuensi 2.4-2.5 GHz ISM sebagai jalur komunikasi. Perangkat nRF24L01 memiliki jarak transmisi yang cukup jauh, dapat menghubungkan dua atau lebih perangkat, dan tidak membutuhkan data internet. Pada penelitian ini nRF24L01 digunakan sebagai media *transceiver* untuk menghubungkan perangkat sensor dengan sistem IoT perekaman data. Tujuan dari penelitian ini adalah bagaimana mengintegrasikan pengiriman data melalui sistem nRF24L01 yang tidak menggunakan internet dengan Raspberry Pi sebagai sistem *Internet of Things* (IoT). Metode penelitian dilakukan dengan tiga tahap, yaitu rancang bangun, integrasi komunikasi data dan pengujian. Data sensor DHT11 dikirim melalui nRF24L01 kemudian diterima oleh perangkat Raspberry Pi yang sudah terpasang Node-Red. Data yang diterima oleh Raspberry Pi kemudian dikirim menuju server melalui komunikasi TCP-IP (internet). Hasil pengujian laju pengiriman data (*transmission rate*) dengan 300 data/detik (pada jarak 15 meter) antara nRF24L01 dan Raspberry Pi didapatkan akurasi 92%. Pengiriman data antara Raspberry Pi dengan server layanan basis data digunakan jeda waktu optimal pada rentang waktu 2-3 detik (internet bandwidth upto 10 mbps). Dari hasil pengukuran kecepatan transmisi data, diperlukan perekaman data lokal dalam

mesin Raspberry Pi, kemudian dilakukan sinkronisasi data pada server utama.

Kata kunci — nRF24L01, Raspberry Pi, IoT, Node-Red, Transceiver

I. PENDAHULUAN

Merujuk pada istilah Internet of Things (IoT) yang memiliki pengertian secara umum adalah suatu arsitektur yang terhubung dalam jaringan internet untuk menghubungkan antar perangkat, sistem dan perangkat mikro-elektronik lain agar dapat saling melengkapi dalam kinerja atau tujuan tertentu, maka dewasa ini banyak dikembangkan teknologi IoT sebagai fungsi perekaman data[1], monitoring[2], [3], dan kendali jarak jauh yang telah diimplementasikan dalam beberapa bidang [4], [5], [6]. Proses pengembangan perangkat IoT, pada umumnya melibatkan tiga aspek penting, yaitu perangkat pendukung IoT, komunikasi data dan layanan (server) sebagai unit broker yang mengatur penggunaan dan aliran data.

Pada perkembangan IoT istilah WSN (*Wireless Sensor Network*) merupakan sub-set IoT yang memiliki fokus pada pola komunikasi data dalam jaringan nir-kabel. Komunikasi WSN tidak memandang apakah data tersebut dilewatkan dalam jalur internet (TCP/IP) atau protokol lainnya[7]. Protokol Enhanced ShockBurst merupakan salah satu protokol komunikasi dalam sistem WSN yang digagas oleh Nordic semiconductor dan dieskapsulasi dalam chip nRF24L01[8]. Pola komunikasi tidak membutuhkan jalur data internet akan tetapi pola komunikasi dilakukan dalam metode pipa enkripsi antar jalur yang telah terpasang alamat khusus. Sisi positif dari komunikasi protokol Enhanced ShockBurst [9] adalah dalam komunikasi data tidak membutuhkan jalur data internet, akan tetapi hal tersebut akan membuat kesulitan apabila data dalam sistem ingin dialirkan dalam suatu jaringan internet untuk kebutuhan yang lebih kompleks.

Pada penelitian ini, dilakukan integrasi antara nRF24L01 dengan perangkat Raspberry Pi yang telah terintegrasi Node-Red sebagai *local server*. Peneliti memilih Raspberry Pi untuk membentuk penampungan basis data lokal yang nantinya akan dilakukan sinkronisasi dengan basis data lain yang terhubung dalam satu jaringan internet. Secara singkat, data sensor DHT11 sebagai penginderaan suhu dan kelembapan nantinya akan diolah dan ditransmisikan oleh arduino melalui nRF24L01 (yang bertindak sebagai unit

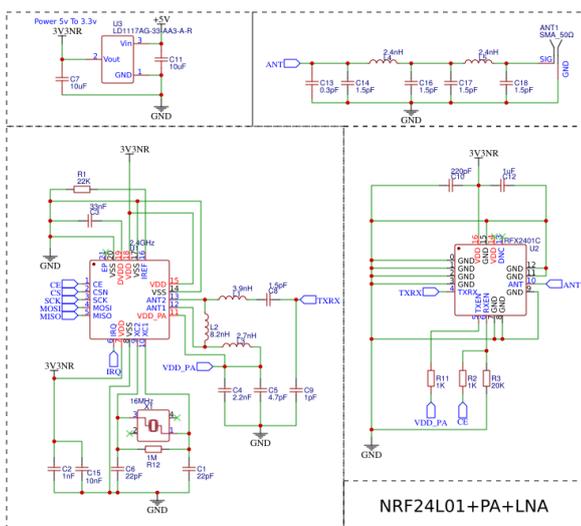
pemancar) dan di lain sisi, data akan ditangkap melalui nRF24L01 (yang bertindak sebagai penerima). Data nRF24L01 akan diolah oleh mikrokontroler arduino untuk disalurkan secara serial melalui port USB-Raspberry Pi. Data sensor akan ditampung dalam basis data MySQL dengan bantuan server Node-Red yang merupakan bagian dari *Run-Time JavaScript*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Literasi yang digunakan dalam penelitian disajikan dalam susunan tinjauan pustakan sebagai berikut:

A. Protokol ShockBurst dan nRF24L01PA

Protokol *ShockBurst* adalah salah satu teknologi yang dikembangkan oleh perusahaan Nordic Semiconductor yang digunakan dalam transmisi data nirkabel, khususnya dalam aplikasi jaringan sensor nirkabel (WSN) dan *Internet of Things* (IoT). Protokol *ShockBurst* juga disebut sebagai *Enhanced ShockBurst* (ESB), protokol dasar yang mendukung komunikasi paket data dua arah termasuk *buffering* paket, validasi paket, dan transmisi ulang otomatis paket yang hilang. ESB menyediakan komunikasi radio dengan konsumsi daya yang rendah, dan implementasinya memiliki ukuran kode yang kecil dan mudah digunakan. Protokol *ShockBurst* dirancang khusus untuk digunakan dengan serangkaian chip transceiver nirkabel Nordic Semiconductor, seperti NRF24L01. Ini membuatnya menjadi pilihan populer dalam pengembangan sistem WSN [10] dan IoT yang membutuhkan konektivitas nirkabel yang handal dan hemat daya. Pada Gambar 1 merupakan bentuk rangkaian nRF24L01 yang telah dilengkapi perangkat PA-LNA untuk penguat sinyal. Proses pemancaran dan penerimaan juga diperkuat dengan antenna 15db yang terpasang dalam papan[9].



Gambar 1. Rangkaian nRF24L01 dan PA-LNA.

B. Raspberry Pi

Raspberry pi merupakan papan SBC (single-board computers) yang dikeluarkan oleh Raspberry pi foundation UK. Raspberry Pi juga memiliki singkatan yaitu RPi. SBC ini dilengkapi dengan arsitektur mikroprosesor, memori, GPU, IO dan GPIO sebagai jembatan antar muka antar perangkat. RPi memiliki beberapa model, akan tetapi dalam penelitian ini digunakan Raspberry Pi Model 3B+ yang mana memiliki spesifikasi RAM 1G dan CPU-BCM2837B0 dengan 4 inti 1.4Ghz yang ditunjukkan seperti pada Gambar 2, yaitu tampilan SBC-Raspberry Pi Model 3B+. Raspberry Pi juga memiliki beberapa jalur USB yang juga dapat difungsikan sebagai port-COM untuk jalur komunikasi serial saat berinteraksi dengan mikrokontroler[11].



Gambar 2. Raspberry Pi 3 Model B+ [11].

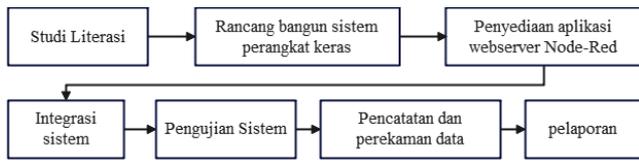
C. Server Node-Red

Node-red merupakan aplikasi dengan dasar *Flow-based programming* (FBP) yang mendukung dalam rancang bangun website, API, IoT dan layanan lainnya. Pada Node-Red aliran logika dan data akan terhubung menjadi satu kesatuan. Node-red memiliki fitur yang memberikan keluasaan pengguna untuk menyusun fungsi melalui blok yang ditulis secara mandiri melalui bahasa JavaScript. Selain itu pada modular-modular lainnya Node-Red memberikan enkapsulasi fungsi untuk fitur fungsi khusus, seperti fungsi koneksi basis data, penerimaan data dari com-port serial dan fitur visualisasi dashboard [12].

III. METODE PENELITIAN

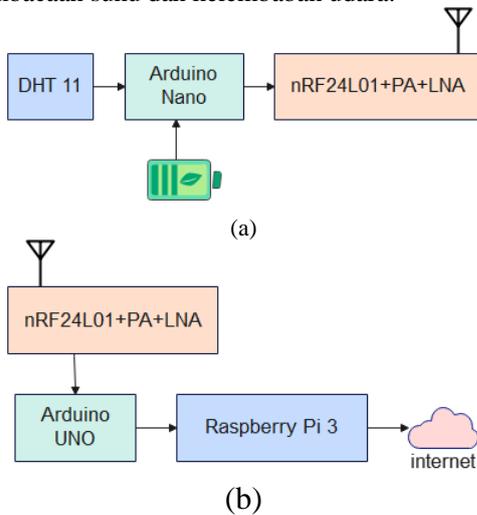
Penelitian terkait implementasi nRF24L01 sebagai untuk membantu komunikasi protokol *ShockBurst* (tanpa internet) menuju jalur data internet untuk mentransmisikan paket basis data dalam IoT dilakukan dengan beberapa tahap. Adapun tahap yang dilakukan dilukiskan seperti pada Gambar 3 yaitu diagram alir penelitian. Pertamakali adalah dilaksanakan studi literasi terkait karakteristik perangkat nRF24L01, proses komunikasi dan aliran data dalam node-red. Langkah berikutnya adalah tahap perancangan

perangkat keras. Pada tahap ini dilakukan perakitan arduino uno dan nRF24L01+PA LNA. Perakitan ini memanfaatkan jalur komunikasi ISP dengan menggunakan kaki-kaki pin SCK, MISO, MOSI, RST dan dua pin kendali CE-SS. Perangkaian nRF24L01 dilakukan untuk menghasilkan dua perangkat dengan fungsi masing-masing sebagai pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Pada penelitian digunakan Arduino uno sebagai unit penerima yang nantinya akan terhubung dengan Raspberry Pi 3 dan sisi pengirim digunakan arduino nano yang terhubung dengan DHT11. Seluruh perangkat nRF24L01 memiliki perangkat penguat sinyal berupa chip PA+LNA dan dilengkapi dengan antenna 15dB standar komunikasi RF 2.4Ghz.



Gambar 3. Alur penelitian komunikasi protokol ShockBurst dan TCP/IP dalam IoT.

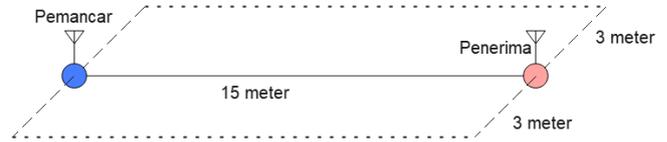
Rancang bangun perangkat keras dilukiskan dalam Gambar 4.a, yaitu diagram blok perangkat keras sistem pemancar nRF24L01. Pemancar didesain portable dan terhubung dengan sensor DHT 11 yang nantinya sebagai alat pembacaan suhu dan kelembaban udara.



Gambar 4. a) Perangkat pemancar yang terhubung dengan DHT 11, b) Perangkat penerima yang terhubung dengan Arduino UNO dan Raspberry Pi 3 B+.

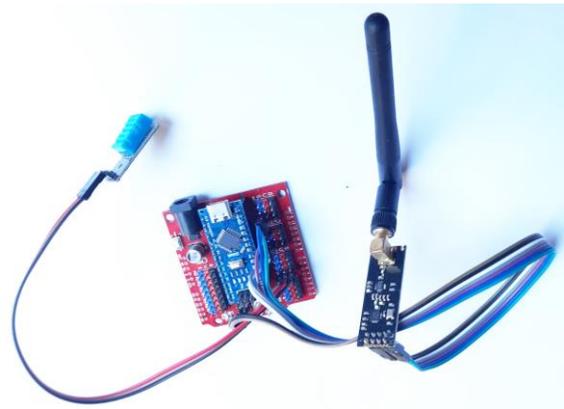
Pada tiap rangkaian nRF24L01 baik pada sisi penerima maupun pengirim selalu digunakan arduino dikarenakan pada perangkat nRF24L01 belum dilengkapi kontroler untuk pengaturan data *transceiver*. Pengaturan nRF24L01 supaya bisa melakukan pengiriman data dalam gelombang RF dibutuhkan trigger dari komunikasi SPI. Aktivasi SPI oleh mikrokontroler akan memberikan paket data yang nantinya akan mengaktifkan bit-bit pada protokol ShockBurst. Pengiriman data melalui RF dalam penelitian ini, digunakan

jarak 15 meter tanpa halangan dan lokasi terbuka (*open air*) samping kanan-kiri adalah 3 meter. Ilustrasi pemasangan perangkat pemancar dan penerima nRF24L01 dilukiskan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Pemasangan sistem pemancar dan penerima pada ruang terbuka dengan jarak konstan

Realisasi perangkat pemancar nRF24L01 yang telah terhubung dengan DHT 11 dan Arduino Nano ditunjukkan seperti pada Gambar 6, yaitu kesatuan sistem pemancar. Penggunaan DHT 11 pada unit pemancar adalah untuk memberikan pembacaan lingkungan dengan panjang 32bit. Luaran suhu dan kelembaban cukup untuk memberikan nilai-nilai perubahan yang nantinya dapat dideteksi oleh unit penerima.



Gambar 6. Sistem pemancar nRF24L01 dengan DHT11 dan Arduino Nano.

Unit pengirim akan mentransmisikan data dengan format kombinasi *string* dan angka. *Mapping* besar memori pengiriman tidak boleh lebih dari 32 byte yang telah diberikan sebagai ukuran maksimum transmisi data perdetik dalam komunikasi nRF24L01. Pola pengaturan byte dinyatakan dalam bentuk *struct* seperti pada Gambar 7 a dan b, melalui arduino IDE 2.3.2 pengguna dengan mudah untuk memvalidasi besar byte dalam sebuah paket data.

```

struct paket_data {
  float a = 31.20;
  float b = 65.50;
  String c = "data suhu";
  String d = "data lembab";
  String e = "Device ID-1";
  String f = "Sistem IoT";
};
  
```

(a)

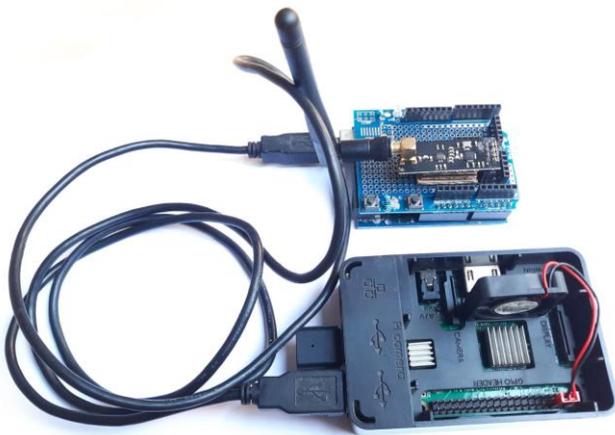
```

struct paket_data {
    struct paket_data ;
    Size: 32 bytes b";
    struct paket_data {} 1";
};
    
```

(b)

Gambar 7. a) Bentuk paket data dalam struct, b) Validasi IDE Arduino untuk perhitungan besar paket dalam byte.

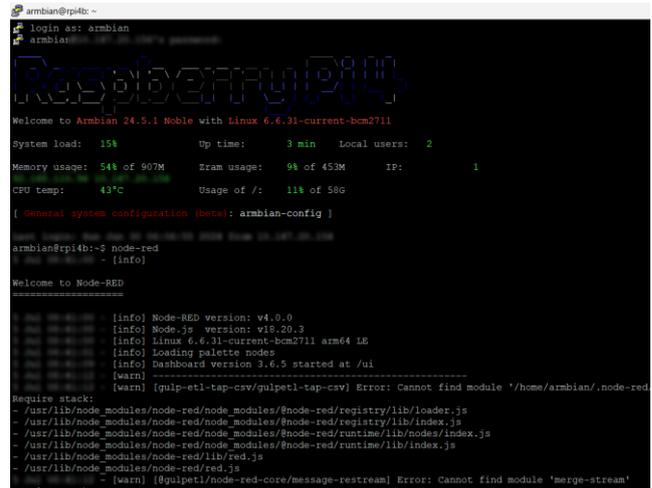
Pada rangkaian penerima sinyal atau data, nRF24L01 terhubung dengan arduino Uno dan Raspberry Pi 3. Pemasangan modul nRF24L01 dilakukan dengan menghubungkan modul pada sebuah *external shield*. Hal tersebut digunakan untuk meminimalisir penggunaan kabel secara panjang untuk menghubungkan antara nRF24L01 dengan GPIO-Arduino kaki komunikasi SPI. Komunikasi SPI antara nRF24L01 (yang bertindak sebagai *slave*) dan Arduino sebagai Master merupakan bentuk komunikasi asinkron dan terdapat pemisahan antara jalur detak sinyal (*clock*) dengan sinyal data. Pada kaki kontrol nRF24L01 yaitu pin CE dan CS akan diaktifkan sebagai mode penerima. Adapun rangkaian penerima ditunjukkan seperti pada Gambar 8, dalam sistem tersebut komunikasi arduino dan Raspberry Pi adalah melalui jalur serial port. Luaran serial dari arduino sebagai input yang nantinya ditangkap oleh USB Raspberry Pi.



Gambar 8. Perangkat penerima nRF24L01 yang terintegrasi dengan Arduino Uno dan Raspberry Pi.

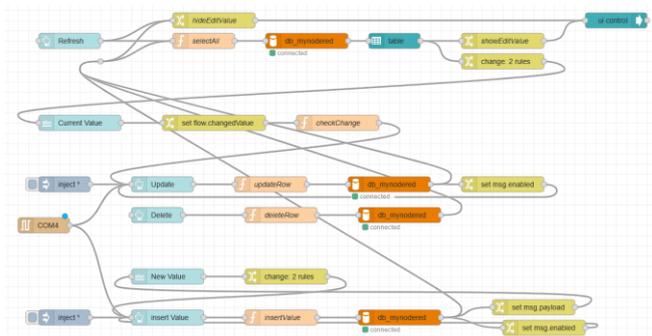
Pada pemenuhan kebutuhan server yang mampu melayani adanya aktivitas pertukaran data secara realtime, peneliti menggunakan Node-Red yang merupakan bagian dari NodeJS. Aplikasi Node-Red diinstal pada linux Armbian untuk pepadanan tipe Raspberry Pi 4. Hasil instalasi dan tampilan Ketika Node-Red dijalankan ditunjukkan seperti pada Gambar 9, dengan base linux Armbian 24.5.1 yang

meruakan verian terbaru untuk OS Raspberry Pi (Produk Armbian). Pada raspberry pi juga telah terinstal mesin basis data yang nantinya digunakann untuk penyimpanan basis data lokal atau *localhost*. Basis data lokal ini digunakan sistem perekaman data sementara dan ketika pengguna inginn melakukan proses sinkronisasi dengan basis data lainnya, maka sistem akan mengkonversi file basis data menjadi file berformat csv.



Gambar 9. Node-Red yang terinstal dalam Armbian 24.5.1 Noble

Sistem Raspberry Pi yang sudah terpasang Node-Red sebagai pengolah data sekaligus unit perekaman basis data MySQL, dalam menjalankan fungsional *monitoring* dan perekaman digunakan alur *Data-Flow* ditunjukkan seperti pada Gambar 10. Diagram tersebut merupakan logika yang terembedded dalam Node-Red untuk menjalankan peran sebagai agregasi data ketika data melewati Port COM serial. Ketika data serial yang dikirim Arduino UNO dari hasil pembacaan data sensor yang dilewatkan jalur RF nRF24L01 ada, maka sinyal akan dikirim dari komunikasi *ShochBurst* menuju komunikasi SPI. Kemudian komunikasi dilanjutkan dengan metode serial menuju ke Raspberry Pi.



Gambar 10. Komputasi Node-Red untuk manajemen data serial dan penyimpanan pada basis data MySQL.

Sistem penerimaan data pada jalur USB-serial bersifat asinkron dan proses *trigger* untuk penulisan data dalam basis data MySQL adalah memanfaatkan *trigger* yang

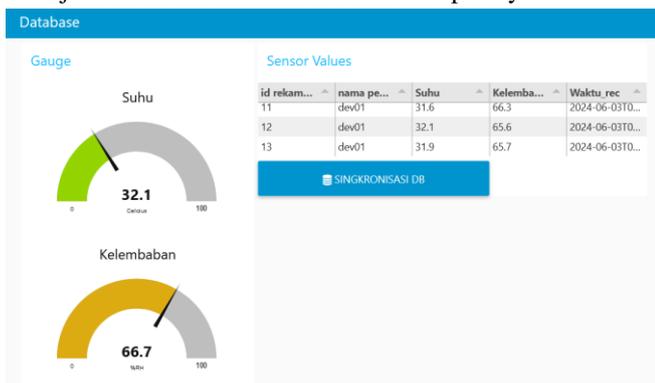
berasal dari COM-Port. Ketika COM-Port tidak menerima data, maka sistem akan berada dalam kondisi menunggu (*standby*).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil pengujian sebagai berikut:

A. Luaran Dashboard Monitoring dan Perekaman

Proses monitoring dan perekaman basis data dari hasil transmisi ditampilkan dalam web lokal-server (*localhost*) dengan port standar Node-Red yaitu 1880 dihasilkan tampilan seperti pada Gambar 11, dalam gambar tersebut terdapat tampilan gauge yang memiliki nilai besaran suhu dan kelembaban. Data dikirim secara real time perdetik oleh arduino-nRF24L01 (*transmitter*). Data terkirim dalam interval waktu satu detik oleh *transmitter*. Data akan secara cepat diterima oleh unit receiver nRF24L01 dan data dilanjutkan untuk dikirim ke arduino-Raspberry Pi.



Gambar 11. Tampilan dashboard monitoring dan perekaman basis data suhu-kelembaban.

Pada perancangan dashboard tombol sinkronisasi digunakan untuk memindahkan basis data menuju lokasi server lain untuk pengiriman data dalam bentuk CSV. Server Node-Red pada studi kasus penelitian ini digunakan sebagai server sementara untuk menampung data dari hasil perekaman yang dilakukan secara otomatis. Alasan mengapa menggunakan Node-Red dalam sistem otomatisasi perekaman adalah Node-Red memiliki dasar pemrograman JavaScript yang terhubung dengan sistem *web-socket*. Proses *update* data dilakukan secara realtime mengikuti pola detik atau input yang berasal dari port USB-Serial.

Ketika data ada atau ada injeksi data masuk, maka server Node-Red akan sigap dan responsif untuk menangani data tersebut. Data yang telah masuk akan segera diolah dan dilakukan penyimpanan dalam tabel-DB yang telah disiapkan oleh pengguna. Kecepatan Node-Red sebagai unit server sangat memiliki nilai plus jika dibandingkan pada sisi server yang dikembangkan melalui basis pemrograman PHP.

Sisi server lain yang digunakan untuk menampung hasil sinkronisasi adalah server yang dibangun dari base-PHP. Untuk menjalankan digunakan aplikasi laragon yang terhubung pada NGROK dan ZeroTier. Peran dari kedua layanan adalah untuk membentuk server yang memiliki IP-Public. Proses sinkronisasi atau konversi data per 300 rekaman dilakukan kurang dari 1 detik waktu komputasi untuk proses sinkronisasi antar mesin basis data. Memori yang tidak terlalu kompleks atau sederhana dalam hasil perekaman, membuat proses sinkronisasi basis data memiliki waktu yang singkat.

B. Analisis Pengiriman Paket Data melalui nRF24L01

Paket data yang terkirim melalui komunikasi antar nRF24L01 dilakukan pengujian dengan mengirimkan batas maksimum paket yaitu 32 Byte dalam satuan waktu. Paket data yang berbentuk struct dengan isi data adalah tipe *float* dan *string* diperoleh hasil uji transmisi perdetiknya ditunjukkan seperti pada Tabel 1, dalam pengujian terdapat hasil keberhasilan paket data diterima adalah sekitar 276 kali keberhasilan dari total keseluruhan uji adalah 300 kali pengiriman data.

TABEL I
RANGKUMAN PENGATURAN FORMAT PENULISAN

No	Ragam kerusakan data	Banyak kejadian
1	String terpotong	15
2	Data float rusak	6
3	Noise koma float	3

Dari hasil pengujian yang dilakukan dengan 300 kali transmisi paket data 32 Byte, didapatkan akurasi adalah 92% dengan 276 kali menunjukkan paket data benar dan 24 paket data rusak. Beberapa ragam kerusakan data diatas, adanya ketidak lengkapan string dari hasil pengiriman disebabkan oleh error akibat tegangan yang dihasilkan baterai 3.2volt yang fluktuatif. Saat dilakukan transmisi data melalui nRF24L01 sebaiknya pada jalur VCC dan GND ditambah kapasitor 10uF untuk menghindari derau. Hasil data float rusak dan noise koma disebabkan terdapat noise dari luaran sensor DHT 11 ketika digunakan besar jeda waktu 1 detik. Hal tersebut perlu menjadi perhatian karena proses respon time sensor dan pola modulasi pengiriman data harus memiliki relasi waktu yang sinkron.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari keseluruhan penelitian terkait implementasi nRF24L01 sebagai transceiver data dalam protokol ShockBurst adalah sebagai berikut:

1. Akurasi pengiriman data nRF24L01 didapatkan sekitar 92% dengan paket data perdetik adalah 32 byte;

2. Node-Red mampu untuk menangani *trigger* yang dihasilkan oleh unit receiver nRF24L01 untuk ditransmisikan pada jalur TCP-IP atau internet
3. Proses sinkronisasi sistem basis data dalam jalur internet didapatkan 300 data rekaman dalam satu detik.

DAFTAR ACUAN

- [1] A. S. Bahari, R. Primananda, M. H. H. Ichsan, dan M. T. Ananta, "Implementasi Internet Of Things Pada Sistem Ketersediaan Ruang Parkir Gedung Bertingkat Menggunakan NRF24L01 dan HC-SR04," *J. Teknol. Inf. Dan Ilmu Komput.*, vol. 10, no. 3, Art. no. 3, Jul 2023, doi: 10.25126/jtiik.20231036073.
- [2] I. G. M. N. Desnanjaya, A. A. G. B. Ariana, I. M. A. Nugraha, I. K. A. G. Wiguna, dan I. M. U. Sumaharja, "Room Monitoring Uses ESP-12E Based DHT22 and BH1750 Sensors," *J. Robot. Control JRC*, vol. 3, no. 2, Art. no. 2, Feb 2022, doi: 10.18196/jrc.v3i2.11023.
- [3] B. Budiono, I. B. Sulistiawati, dan N. P. Agustini, "Penggunaan NRF24L01 Untuk Monitoring Data Pada PLTS Kapasitas 309 WP," *J. FORTECH*, vol. 4, no. 1, hlm. 1–6, Jan 2023, doi: 10.56795/fortech.v4i1.4101.
- [4] I. Albanna dan H. Nugroho, "Fungsi Ganda Perangkat IoT-Client Sebagai Kendali Aktuator dan Basis Layanan Melalui Komunikasi Paket Data JSON," *J. Teknol. Dan Manaj.*, vol. 4, no. 2, Art. no. 2, Jul 2023, doi: 10.31284/j.jtm.2023.v4i2.4699.
- [5] R. A. Aristyo, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Kendaraan Bermotor Berbasis Iot Dengan Menggunakan Modul Nodemcu dan Aplikasi Android Blynk," *J. DISPROTEK*, vol. 12, no. 1, Art. no. 1, Jun 2021, doi: 10.34001/jdpt.v12i1.1700.
- [6] A. Kurnianto, J. D. Irawan, dan F. X. Ariwibisono, "Penerapan Iot (Internet Of Things) Untuk Controlling Lampu Menggunakan Protokol Mqtt Berbasis Web," *JATI J. Mhs. Tek. Inform.*, vol. 6, no. 2, Art. no. 2, 2022, doi: 10.36040/jati.v6i2.5393.
- [7] S. Ferdoush dan X. Li, "Wireless Sensor Network System Design Using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 34, hlm. 103–110, Jan 2014, doi: 10.1016/j.procs.2014.07.059.
- [8] N. F. R. Hutabarat, R. Sirait, dan D. H. S. Napitu, "Analisa Unjuk Kerja nRF2401 Pada Komunikasi Multi Hop Dengan Database Lokal," *Teknol. Rekayasa Jar. Telekomun.*, vol. 1, no. 2, hlm. 97–106, Okt 2021.
- [9] N. Semiconductor, "nRF24L01 Single Chip 2.4GHz Transceiver Preliminary Product Specification v1.0." Nordic Semiconductor, 2015. [Daring]. Tersedia pada: https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Plus_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf
- [10] N. A. A. Rahman dan A. B. Jambek, "Wireless sensor node design," dalam *2016 3rd International Conference on Electronic Design (ICED)*, Agu 2016, hlm. 332–336. doi: 10.1109/ICED.2016.7804662.
- [11] G. Halfacree, *The Official Raspberry Pi Beginner's Guide: How to use your new computer*, 1 ed. Raspberry Pi Trading Ltd, 2020. Diakses: 8 Juli 2024. [Daring]. Tersedia pada: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=0AFF4CDAB15427839FB48FD7C6F677D3>
- [12] T. Hagino, *Practical Node-RED Programming: Learn powerful visual programming techniques and best practices for the web and IoT*. Birmingham: Packt Publishing, 2021.