

RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAU KUALITAS UDARA MENGUNAKAN ARDUINO DAN LORA BERBASIS JARINGAN SENSOR NIRKABEL

M Ihaab Munabbih^{*)}, Eko Didik Widiyanto, Yudi Eko Windarto, Erwan Yudi Indrasto

Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: ihaabmunabbih@gmail.com

Abstrak

Pencemaran udara telah terjadi sejak masa sebelum-sebelumnya, terutama pada kota-kota besar yang dipenuhi dengan pabrik dan kendaraan bermesin. Hal tersebut dapat berdampak buruk bagi kesehatan masyarakat sehingga pencemaran udara harus dicegah dan dikurangi, salah satunya dengan melakukan pemantauan kualitas udara pada suatu tempat. Rancang bangun sistem pemantau kualitas udara berbasis jaringan sensor nirkabel ini adalah sistem yang dibuat untuk melakukan pemantauan kualitas udara jarak jauh yang akan ditampilkan pada aplikasi web dalam bentuk nilai ISPU. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini terdapat 4 tahap yaitu identifikasi kebutuhan sistem, perancangan sistem, implementasi sistem, pengujian dan analisis sistem. Sistem menggunakan Arduino Uno sebagai pusat kendali sistem. Sistem ini juga menggunakan sensor TGS 2600 untuk mengukur kadar CO, TGS 2201 untuk mengukur kadar NO₂, GP2Y1010AU0F untuk mengukur kepadatan partikel debu, SHT11 untuk mengukur suhu dan kelembapan, serta LoRa sebagai metode komunikasi perangkat keras dengan aplikasi web. Sistem ini memudahkan pengguna untuk mengetahui apabila terjadi peningkatan polusi udara pada suatu tempat. Dari hasil pengujian, sistem ini mampu melakukan pembacaan sensor sesuai dengan *datasheet* dan mampu mengirimkan data menuju aplikasi web menggunakan komunikasi LoRa hingga jarak 300 meter dan *packet loss ratio* sebesar 0%

Kata kunci: arduino, GP2Y1010AU0F, jaringan sensor nirkabel, LoRa, SHT11, TGS 2201, TGS 2600, web

Abstract

Air pollution is an environmental problem that often occurs lately, especially in big cities that are filled with factories and motorized vehicles. This brings out negative impacts on public health so that air pollution must be prevented and reduced, one of which is by monitoring air quality in a certain area. The design of an air quality monitoring system based on wireless sensor networks is a system built for monitoring air quality that will be displayed on web applications in the form of ISPU values. There are four stages of the methodology which is used in this research that is the identification of requirements system, design system, implementation system, test and system analysis. The system uses Arduino Uno as the central system control. This system also uses TGS 2600 sensor to measure CO, TGS 2201 levels to measure NO₂ levels, GP2Y1010AU0F to measure dust particle density, SHT11 to measure temperature and humidity, and LoRa as a method of communication hardware with web applications. This system allow users to know when increased air pollution in a place. From the test results, this system able to perform reading sensors in accordance with *datasheet* and able to send data to application web use communication lora to get to 300 meters and *packet loss ratio* of 0%.

Keywords: arduino, GP2Y1010AU0F, LoRa, SHT11, TGS 2201, TGS 2600, web, wireless sensor network

1. Pendahuluan

Pencemaran udara sendiri diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing didalam udara yang menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara dari keadaan normalnya. Kehadiran bahan atau zat asing didalam udara dalam jumlah tertentu serta berada diudara dalam waktu yang cukup lama, akan dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan. Bila keadaan itu terjadi, maka udara telah tercemar[1]. Udara di daerah perkotaan

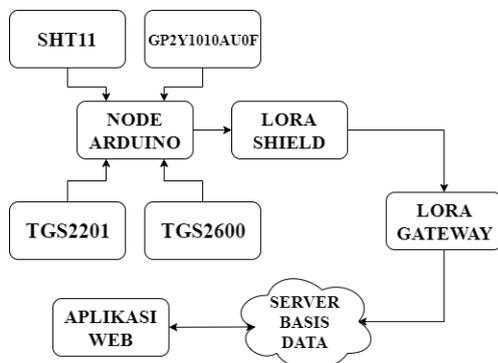
yang mempunyai banyak kegiatan industri dan teknologi serta lalu lintas yang padat, udaranya relatif sudah tidak bersih lagi. Udara di daerah industri kotor terkena bermacam-macam pencemar. Beberapa komponen pencemar udara yang paling banyak berpengaruh dalam pencemaran udara adalah CO, NO_x, SO_x, dan partikulat[1].

Dengan kemajuan teknologi yang sangat pesat saat ini, memungkinkan untuk melakukan komunikasi jarak jauh tanpa menggunakan kabel atau biasa disebut dengan

nirkabel, salah satu penerapannya adalah jaringan sensor nirkabel. Jaringan Sensor Nirkabel (JSN) merupakan sebuah jaringan yang disusun oleh sensor-sensor yang terdistribusi dalam suatu cakupan area tertentu yang dihubungkan melalui kanal komunikasi nirkabel untuk saling bekerja sama melakukan pengukuran dan pemantauan fenomena fisik seperti temperature, suara, getaran, tekanan atau kondisi – kondisi fisik tertentu[2]. Berdasarkan bahaya dari pencemaran udara dan juga adanya JSN maka dirancang sistem pemantauan kualitas udara yang berbasis jaringan sensor nirkabel sehingga tanpa harus ke lokasi, pemantauan pencemaran udara bisa dilakukan.

Pada penelitian sebelumnya, pemantauan kualitas udara berbasis JSN menggunakan komunikasi nRF905[3][4], menggunakan komunikasi Xbee[5], dan pada aplikasi informasi hanya menampilkan nilai satuan dari zat-zat yang dipantau[6] sehingga hal itu tidak memberikan informasi yang bermanfaat untuk orang awam. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini dirancang sistem pemantauan kualitas udara berbasis web yang akan menampilkan nilai ISPU dan level pencemaran udara berdasarkan skala dari ISPU[7]. Selain itu, sistem ini dibuat menggunakan modul komunikasi LoRa yang dapat mencakup wilayah luas[8] dan memang dirancang untuk bidang *Internet of Things*(IoT)[9].

2. Metode



Gambar 1. Diagram blok cara kerja sistem

Prinsip kerja dari sistem yang dirancang adalah sistem dapat melakukan monitoring atau pemantauan kualitas udara pada suatu tempat tanpa harus melakukannya langsung di tempat tersebut. Pengguna nantinya cukup memantau melalui aplikasi web yang telah terkoneksi dengan pemantau atau node menggunakan komunikasi LoRa atau biasanya disebut dengan istilah Jaringan Sensor Nirkabel. Sistem juga dapat melakukan pemantauan lebih dari 1 tempat karena telah mendukung sistem multinode. Cara kerja sistem adalah node akan melakukan pengambilan data-data dari sensor lalu data tersebut dikirimkan ke LoRa gateway. Kemudian LoRa gateway mengirimkan data tadi ke aplikasi web lalu diolah menjadi

nilai ISPU dan disimpan di dalam basisdata aplikasi web. Data dari dalam basisdata itulah yang akan ditampilkan di aplikasi web (Gambar 1).

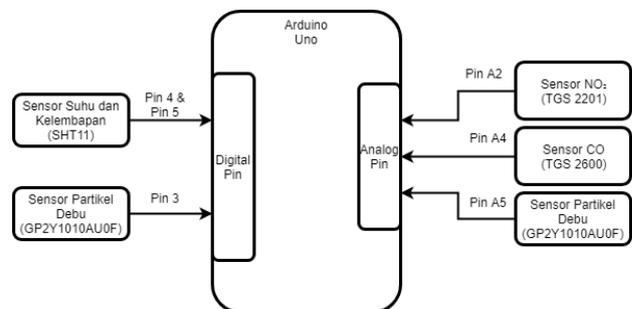
2.1. Identifikasi Kebutuhan Sistem

Identifikasi kebutuhan sistem meliputi kebutuhan sistem secara fungsional dan non fungsional. Kebutuhan fungsional dalam perancangan sistem adalah sistem mampu melakukan pemantauan pada lingkungan di mana node ditempatkan. Sistem mampu menampilkan hasil pembacaan sensor suhu, kelembapan, partikel debu, CO, dan NO₂. Sistem juga mampu menampilkan hasil ISPU dan level pencemaran udaranya.

Kebutuhan non-fungsional dalam perancangan sistem adalah sistem bekerja menggunakan perangkat board Arduino Uno dengan mikrokontroler berbasis ATmega 328P. Sistem menggunakan sensor-sensor yang disebutkan pada perancangan perangkat keras. Sistem menggunakan bahasa pemrograman C untuk mikrokontroler dan PHP, HTML, Javascript untuk aplikasi web.

2.2. Perancangan Perangkat Keras

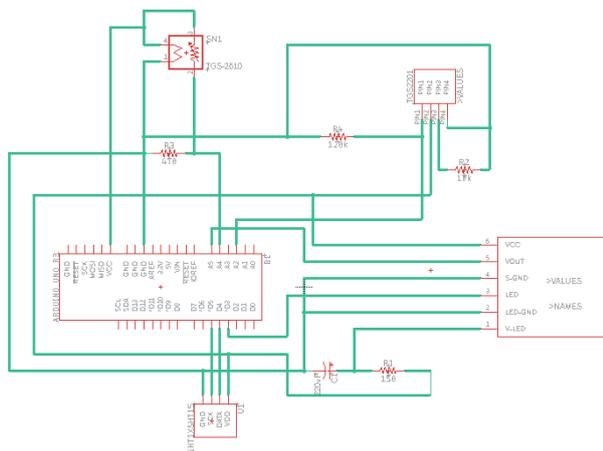
Pada perancangan perangkat keras menjelaskan rancangan perangkat keras yang digunakan untuk membangun sistem. Bagian perangkat keras masukan menjadi yang pertama untuk diproses oleh perangkat keras utama dan ditampilkan oleh perangkat keras keluaran atau pendukung sistem (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram blok perangkat keras sistem

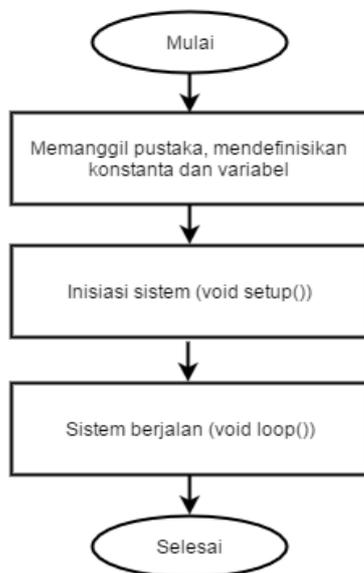
Pusat kendali sistem menggunakan papan Arduino Uno dengan mikrokontroler ATmega 328[10][11]. Komponen yang terhubung dengan sistem adalah Sensor SHT11 pada pin digital 4 dan 5 sebagai sensor suhu dan kelembapan[12], Sensor TGS 2600 pada pin analog A4 sebagai sensor karbon monoksida[13], sensor TGS 2201 pada pin analog A2 sebagai sensor nitrogen dioksida[14][15], sensor GP2Y1010AU0F pada pin analog A4 dan pin digital 3 sebagai sensor kepadatan partikel debu[16][17]. Sistem menggunakan modul komunikasi LoRa *Shield* dan Dragino LG01-S Gateway[18]. LoRa *Shield* memiliki bentuk *shield* arduino uno sehingga bisa langsung ditumpuk di atas arduino uno.

Berdasarkan perancangan perangkat keras pada *datasheet*, berikut adalah skema perangkat keras menjelaskan gambar koneksi fisik dari komponen perangkat keras yang ada. Tiap sensor diberi tegangan 5V kecuali sensor TGS 2201 yang memerlukan tegangan 7V sehingga diberikan rangkaian penaik tegangan sebelum menuju sensor. Rangkaian skema perangkat keras terlihat pada Gambar 3.



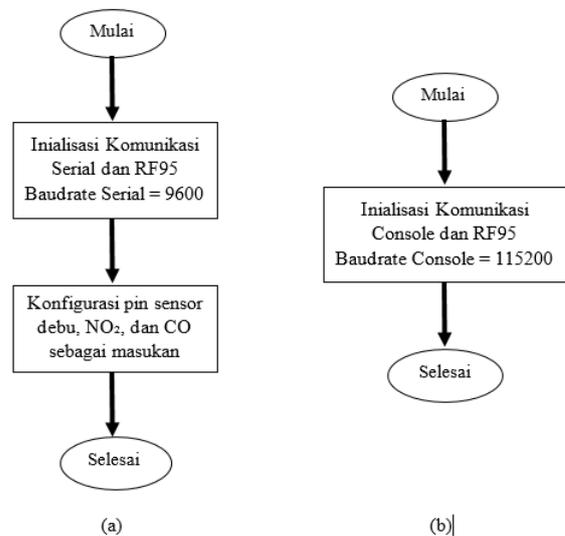
Gambar 3. Rangkaian Skematik Sistem

2.3. Perancangan Perangkat Lunak Mikrokontroler



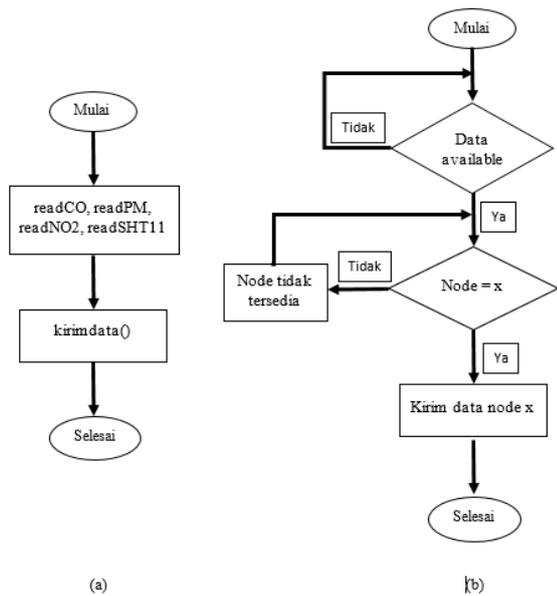
Gambar 4. Diagram alir perancangan perangkat lunak

Pada diagram alir perancangan perangkat lunak untuk node, hal pertama yang dilakukan adalah pemanggilan pustaka yang dibutuhkan dalam program, yaitu pustaka sensor SHT11, komunikasi RF95, SPI. Sedangkan untuk gateway, dilakukan adalah pemanggilan pustaka SPI, komunikasi RF95, Console, dan HttpClient. Selanjutnya adalah mendefinisikan variabel dan konstanta yang digunakan pada program. Proses berikutnya adalah proses `setup()` dimana perintah-perintah dalam proses ini hanya diproses sekali. Proses terakhir adalah `loop()`, dimana perintah di dalam proses ini akan dijalankan secara berulang kali (Gambar.4).



Gambar 5. Diagram alir `setup()` (a) Node (b) Gateway

Pada `setup()`, yang dieksekusi pertama adalah perintah untuk konfigurasi sensor. Pada proses ini dideklarasikan pin-pin sensor yang digunakan sehingga dapat diidentifikasi oleh mikrokontroler. Proses selanjutnya adalah proses inisialisasi komunikasi serial. Komunikasi serial adalah komunikasi antara mikrokontroler dengan komputer dengan port serial dengan baudrate 9600. Baudrate merupakan kecepatan transmisi data serial dengan satuan bit per detik. Berikutnya merupakan proses inisialisasi komunikasi RF95 untuk mendukung komunikasi LoRa. Selanjutnya adalah inisialisasi komunikasi RF95 untuk mendukung komunikasi LoRa pada gateway dan inisialisasi komunikasi console dengan baudrate 115200 (Gambar 5).



Gambar 6. Diagram alir loop() (a) Node (b) Gateway

Pada gambar 6 (a), yang pertama dieksekusi adalah pembacaan tiap sensor masing-masing. Kemudian yang dieksekusi adalah kirimdata, yaitu proses kirim data menggunakan LoRa Shield for Arduino. Lalu pada gambar 6(b), yang pertama dilakukan adalah mengecek apakah ada data yang dikirimkan dari LoRa node. Selanjutnya apabila ada data yang diterima, gateway mengecek apakah node yang mengirim itu terdaftar, apabila tidak terdaftar maka data akan ditolak dan apabila terdaftar maka data tersebut akan dikirimkan ke web server sesuai dengan nodenya.

2.4. Perancangan Perangkat Lunak Aplikasi Web

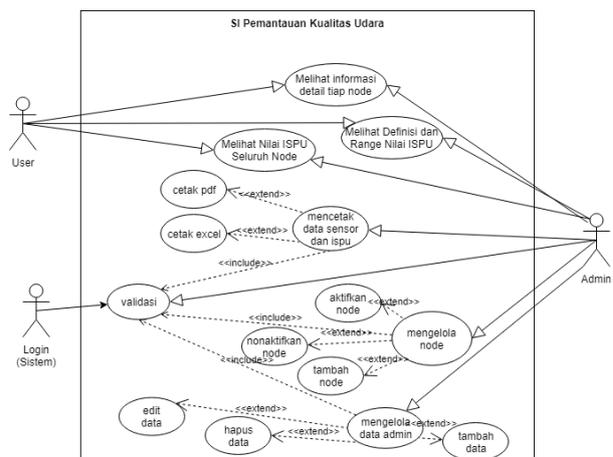
Pada perancangan sistem aplikasi sistem informasi pemantauan kualitas udara ini digunakan pemodelan UML atau Unified Modeling Language, UML adalah Bahasa pemodelan visual yang digunakan untuk menentukan, memvisualisasikan, membangun, dan mendokumentasikan komponen-komponen dari sistem perangkat lunak.

2.4.1. Use Case

Use case diagram aplikasi sistem informasi pemantauan kualitas udara (Gambar 7) digunakan untuk menggambarkan secara ringkas siapa yang menggunakan sistem dan apa saja yang bisa dilakukannya. Diagram use case tidak menjelaskan secara detail tentang penggunaan use case, namun hanya memberi gambaran singkat hubungan antara use case, aktor, dan sistem. Pada tabel di bawah (Tabel 1) menunjukkan aktor yang terdapat dalam aplikasi Sistem Informasi Pemantauan Kualitas Udara.

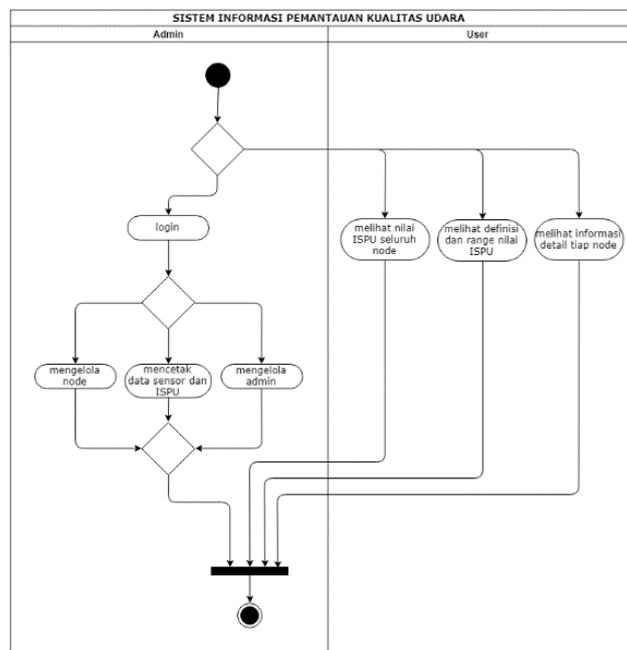
Tabel 1. Definisi aktor use case diagram Sistem Pemantauan Kualitas Udara

Aktor	Definisi
User	Berperan melihat informasi data yang terdapat dalam aplikasi web Sistem Informasi Pemantauan Kualitas Udara yang meliputi melihat data dalam bentuk grafik, dan melihat informasi tentang ISPU secara detail
Admin	Berperan seperti User tetapi dapat mengelola keseluruhan data yang ada di dalam aplikasi Sistem Informasi Pemantauan Kualitas Udara melalui halaman web yang meliputi mengelola data sensor, node, dan admin dan juga mencetak data



Gambar 7. Diagram Use Case

2.4.2. Activity Diagram



Gambar 8. Diagram Aktivitas

Activity Diagram menggambarkan *workflow* (aliran kerja) atau aktivitas dari sebuah sistem atau proses tugas. Activity diagram menggambarkan aktivitas yang dapat dilakukan oleh sistem bukan apa yang dilakukan aktor. Dalam beberapa hal, *activity diagram* memainkan peran mirip diagram alir, tetapi perbedaan prinsip antara notasi diagram alir adalah *activity diagram* mendukung kelakuan (behavior) paralel. Berikut adalah *activity diagram* dari Aplikasi Sistem Informasi Pemantauan Kualitas Udara (Gambar 8).

3. Hasil dan Analisis

Implementasi sistem merupakan hasil dari bagian perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah sistem mampu bekerja sesuai dengan hasil perancangan yang telah dibuat dengan memberikan perilaku-perilaku keluaran yang sesuai kebutuhan.

3.1. Implementasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Implementasi perangkat keras terdiri dari keseluruhan pembuatan perangkat keras sistem. Sistem ini menggunakan papan Arduino UNO sebagai pusat kontrol dari sistem. Pada sistem utama terdapat sebuah papan sirkuit elektronik sebagai tempat komponen-komponen sistem saling terhubung untuk menjadi sebuah sistem perangkat keras yang dapat secara mudah dihubungkan dengan papan Arduino Uno.

Rancangan *printed circuit board* dibuat menggunakan perangkat lunak ExpressPCB version 7.5. Dimensi papan yang dibuat sama seperti ukuran panjang dan lebar dari mikrokontroler Arduino Uno karena pada penelitian ini mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno. Sedangkan lebar untuk setiap jalurnya yaitu 1,02 mm. Papan sirkuit dicetak menggunakan lapisan tunggal dan dipasangkan sesuai dengan perancangan sistem yang telah dibuat. Gambar 9 menunjukkan implementasi dari rancangan yang telah dibuat dan telah dipasang komponen-komponen yang dibutuhkan serta digabungkan dengan arduino uno dan LoRa *shield*. Gambar 10 menunjukkan bentuk akhir dari node di mana perangkat diletakkan di dalam kotak hitam akan tetapi sensor-sensor yang dimiliki tetap diletakkan diluar dan menempel dengan kotak hitam tersebut.



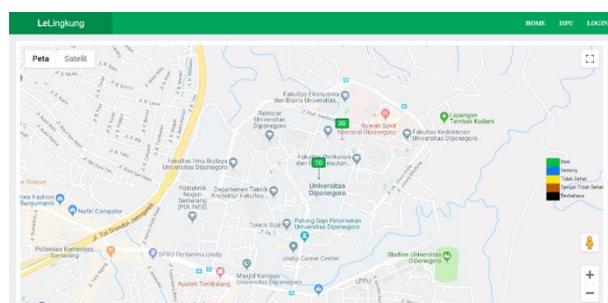
Gambar 9. Papan elektronik sistem yang sudah disusun



Gambar 10. Purwarupa sistem

Implementasi perangkat lunak meliputi penulisan program pada mikrokontroler dan juga pada aplikasi web. Dalam penggunaannya, pengguna dalam aplikasi web dibagi menjadi 2 jenis, yaitu pengguna biasa dan admin. Pembagian ini diatur berdasarkan fungsi yang diperbolehkan untuk dilakukan. Seorang pengguna biasa hanya dapat melihat informasi dari aplikasi web sedangkan admin dapat mengelola serta mencetak data yang ada pada aplikasi web.

Berikut adalah tampilan dari program Sistem Pemantauan Kualitas Udara beserta menu-menu yang terdapat pada sistem.



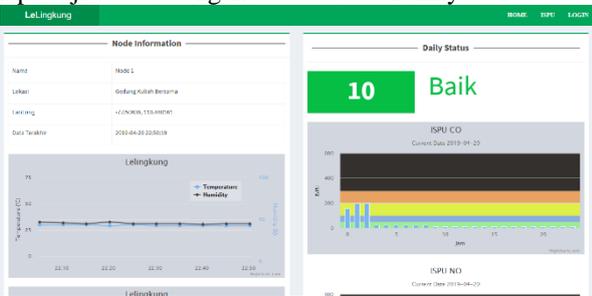
Gambar 11. Tampilan Halaman Index

Gambar 11 merupakan halaman *index* yang menunjukkan nilai ispu keseluruhan node. Halaman *index* ini bisa diakses oleh siapa saja sesuai dengan *usecase* sebelumnya.



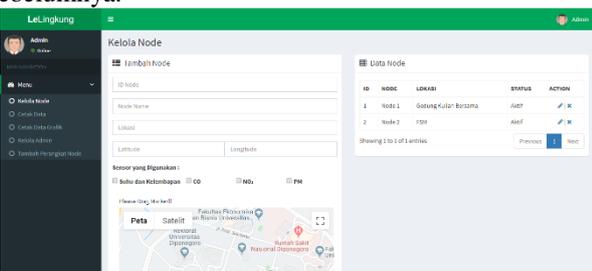
Gambar 12. Tampilan Halaman ISPU

Gambar 12 merupakan halaman ISPU yang menunjukkan informasi seputar ispu. Halaman ini juga bisa diakses oleh siapa saja sesuai dengan *usecase* sebelumnya.

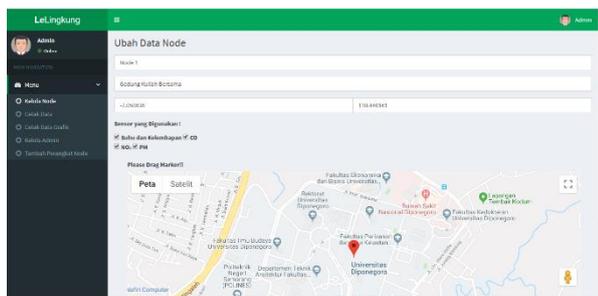


Gambar 13. Tampilan Halaman Detail Node

Gambar 13 merupakan halaman Detail Node yang menunjukkan nilai detail ispu satu node. Halaman ini juga bisa diakses oleh siapa saja sesuai dengan *usecase* sebelumnya.

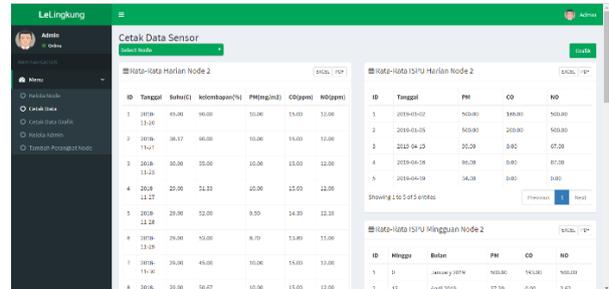


Gambar 14. Tampilan Halaman Kelola Node



Gambar 15. Tampilan Halaman Ubah Node

Gambar 14 dan 15 merupakan halaman Kelola dan Ubah Node yang berfungsi untuk menambah node dan mengelola node yang ada. Halaman ini hanya bisa diakses oleh user admin saja sesuai dengan *usecase* sebelumnya.



Gambar 16. Tampilan Halaman Cetak Data Tabel



Gambar 17. Tampilan Halaman Export Grafik

Gambar 16 dan 17 merupakan halaman yang berfungsi untuk mencetak data dalam bentuk tabel dan grafik. Halaman ini hanya bisa diakses oleh user admin saja sesuai dengan *usecase* sebelumnya.

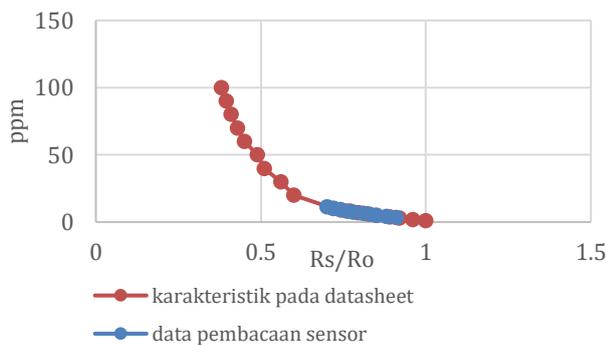
3.2. Pengujian Perangkat Keras

Pengujian dilakukan pada tiap sensor yang digunakan pada sistem. Pengujian TGS2600 dilakukan berdasarkan karakteristik dari datasheet sensor tersebut. Nilai keluaran diubah menjadi $R_s[13]$ yaitu hambatan sensor ketika dihidupkan dan $R_o[13]$ yaitu hambatan sensor ketika di udara bersih lalu pada program dimasukkan persamaan 1. Persamaan 1 merupakan persamaan yang didapatkan berdasarkan grafik karakteristik TGS2600[13]. Gambar 18 menunjukkan perbandingan hasil pembacaan sensor TGS2600 dengan datasheet sensor.

Pada gambar 18, keluaran yang didapatkan dari sensor diubah menjadi tegangan dan kemudian diubah lagi menjadi nilai R_s sehingga nilai ppm bisa didapatkan dari persamaan 1 di mana y adalah ppm dan x adalah R_s/R_o . Pada gambar 18 dapat dilihat bahwa perbandingan nilai R_s/R_o dengan ppm pada alat sudah seesuai dengan datasheet. Pengujian TGS2201 dilakukan berdasarkan karakteristik dari sensor tersebut (Gambar 23). Nilai keluaran diubah menjadi $R_s[14]$ yaitu hambatan sensor ketika dihidupkan dan $R_o[14]$ yaitu hambatan sensor

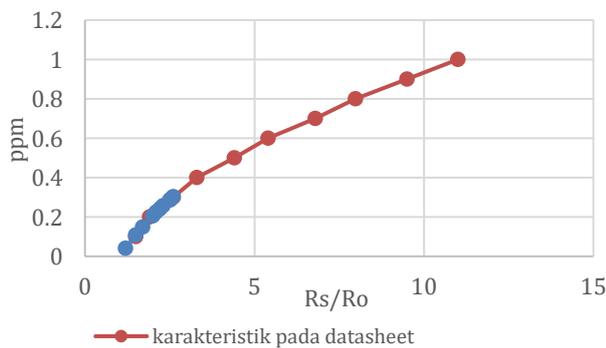
ketika di udara bersih lalu pada program dimasukkan persamaan 2. Persamaan 2 merupakan persamaan yang didapatkan berdasarkan grafik karakteristik TGS2201[14]. Gambar 19 menunjukkan perbandingan hasil pembacaan sensor TGS2201 dengan datasheet sensor.

$$y = 1158.1x^4 - 4094.7x^3 + 5450.1x^2 - 3265.8x - 753.46 \quad (1)$$



Gambar 18. Perbandingan Datasheet dengan Pembacaan pada Alat

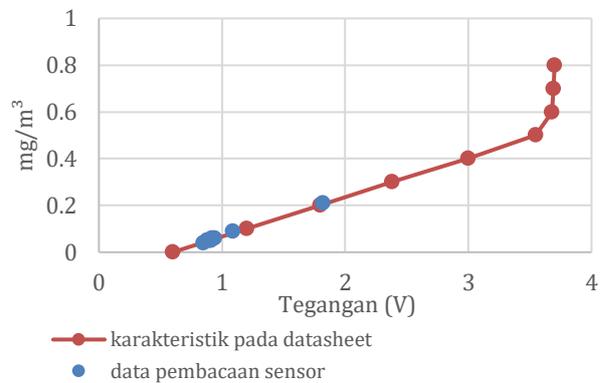
$$y = -0.0002x^4 + 0.0051x^3 - 0.0559x^2 + 0.3469x - 0.3023 \quad (2)$$



Gambar 19. Perbandingan Datasheet dengan Pembacaan pada Alat

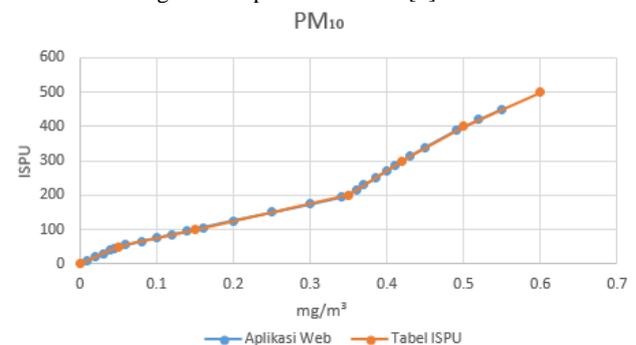
Pada gambar 19, keluaran yang didapatkan dari sensor diubah menjadi tegangan dan kemudian diubah lagi menjadi nilai Rs sehingga nilai ppm bisa didapatkan dari persamaan 1 di mana y adalah ppm dan x adalah Rs/Ro. Pada gambar 19 dapat dilihat bahwa perbandingan nilai RS/Ro dengan ppm pada alat sudah sesuai dengan datasheet. Pengujian GP2Y1010AU0F dilakukan berdasarkan grafik karakteristik dari sensor tersebut[17]. Nilai keluaran diubah menjadi nilai tegangan lalu pada program dimasukkan persamaan 3. Persamaan 3 merupakan persamaan yang didapatkan berdasarkan grafik karakteristik GP2Y1010AU0F. Gambar 19 menunjukkan perbandingan hasil pembacaan sensor GP2Y1010AU0F dengan datasheet sensor..

$$y = (-0.1)+0.17x \quad (3)$$



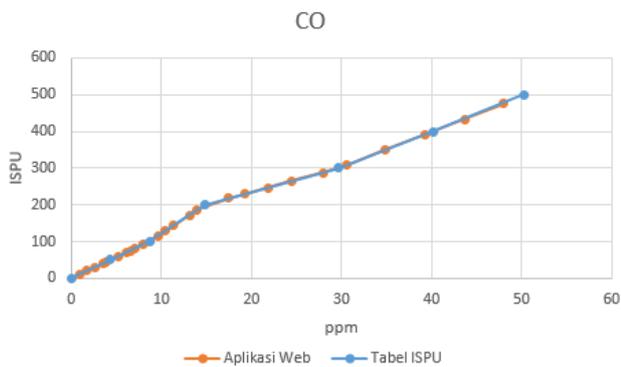
Gambar 20. Perbandingan Datasheet dengan Pembacaan pada Alat

Pada gambar 20, keluaran yang didapatkan dari sensor diubah menjadi tegangan sehingga nilai mg/m³ bisa didapatkan dari persamaan 3 di mana y adalah mg/m³ dan x adalah tegangan. Pada gambar 19 dapat dilihat bahwa perbandingan nilai tegangan dengan mg/m³ pada alat sudah sesuai dengan datasheet. Pengujian keakuratan nilai ISPU pada aplikasi web dilakukan dengan menggunakan data dummy tiap zat yang dimasukkan ke aplikasi web sehingga didapat nilai ISPU dari zat tersebut. Data yang digunakan juga sudah mewakili tiap level pencemaran udara pada ISPU. Pertama adalah pengujian nilai ISPU pada partikel debu atau PM. Gambar 21 menunjukkan perbandingan nilai aplikasi web dengan nilai pada tabel ISPU sehingga bisa dilihat kesesuaian dengan skala parameter ISPU[7].



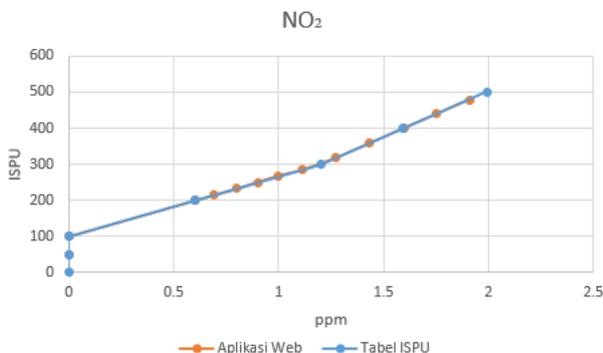
Gambar 21. Perbandingan Keluaran Nilai GP2Y1010AU0F dengan Nilai ISPU

Pada gambar 21 dapat dilihat terdapat sumbu y untuk nilai ISPU dan sumbu x untuk nilai mg/m³ dan terdapat 25 data di mana 5 data untuk tiap-tiap level pencemaran dari level pencemaran baik hingga berbahaya. Dari perbandingan 2 grafik dapat disimpulkan bahwa perhitungan aplikasi web sudah sesuai dengan tabel ISPU dari BAPEDAL. Kedua adalah pengujian nilai ISPU pada CO atau karbonmonoksida. Gambar 22 menunjukkan perbandingan nilai ppm pada aplikasi web dengan nilai pada tabel ISPU.



Gambar 22. Perbandingan Keluaran Nilai TGS2600 dengan Nilai ISPU

Pada gambar 22 dapat dilihat terdapat sumbu y untuk nilai ISPU dan sumbu x untuk nilai ppm dan terdapat 25 data di mana 5 data untuk tiap-tiap level pencemaran dari level pencemaran baik hingga berbahaya. Dari perbandingan 2 grafik dapat disimpulkan bahwa perhitungan aplikasi web sudah sesuai dengan tabel ISPU dari BAPEDAL. Tiap titik data pada sumbu x mewakili masing untuk nilai ISPU dan nilai ppm. Terakhir adalah pengujian nilai ISPU pada NO₂ atau nitrogendioksida. Gambar 23 menunjukkan perbandingan nilai ppm pada aplikasi web dengan nilai pada tabel ISPU.



Gambar 23. Perbandingan Keluaran Nilai TGS2201 dengan Nilai ISPU

Pada gambar 23 dapat dilihat terdapat sumbu y untuk nilai ISPU dan sumbu x untuk nilai ppm dan terdapat 25 data di mana 5 data untuk tiap-tiap level pencemaran dari level pencemaran baik hingga berbahaya. Dari perbandingan 2 grafik dapat disimpulkan bahwa perhitungan aplikasi web sudah sesuai dengan tabel ISPU dari BAPEDAL. Pada pengujian NO₂ dilakukan dari tidak sehat karena pada tabel karakteristik ISPU untuk level pencemaran baik dan sedang tidak memiliki rentang nilai. Dengan kata lain zat NO₂ sangat berbahaya jika berada pada lingkungan manusia.

Proses pengiriman data dari node menuju aplikasi web dilakukan dengan menggunakan teknologi LoRa. Node yang menggunakan LoRa shield mengirimkan data sensor yang didapat menuju gateway LoRa Dragino. Pengujian pengiriman dilakukan dengan mengirimkan 100 paket dari node menuju gateway dan dilihat dan juga *packet loss ratio* yang terjadi pada saat pengiriman. Pada pengujian tidak menghitung delay pengiriman karena alat tidak menggunakan RTC Tabel 2 menunjukkan hasil pengiriman data dan juga *packet loss ratio* yang didapat pada saat pengiriman.

Tabel 2. Hasil pembacaan pada serial monitor

No.	Jarak (meter)	Paket Dikirim	Paket Diterima	Packet Loss Ratio (%)
1	50	100	100	0
2	100	100	100	0
3	150	100	100	0
4	200	100	100	0
5	300	100	100	0

Tabel 2 menunjukkan jarak pengiriman menggunakan komunikasi LoRa. Pada tabel dapat dilihat pada jarak terakhir dari penelitian ini adalah 300 meter dan *packet loss ratio* sebesar 0%. Berdasarkan penelitian ini LoRa memang sangat cocok digunakan untuk IoT karena mencakup wilayah yang luas. LoRa sendiri sebenarnya bisa mengirim lebih dari itu akan tetapi keterbatasan tempat yang luas untuk melakukan pengiriman dan juga power supply menjadi kendala. Selain itu LoRa Dragino LG01-S dan Shield memiliki antena yang kecil sehingga kurang maksimal dalam pengirimannya.

3.3. Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian perangkat lunak pada aplikasi web dilakukan dengan 2 jenis, yaitu pengujian *black box* dan pengujian performansi pada laman webpagetest.org. Dari hasil pengujian sistem dengan menggunakan *blackbox* dapat dilihat bahwa sistem secara garis besar sudah dapat berjalan sesuai dengan spesifikasi kebutuhan dan skenario aplikasi. Berdasarkan hal tersebut secara fungsional sistem telah berjalan sebagaimana mestinya dan menghasilkan keluaran yang sesuai seperti yang diharapkan.

Pengujian performansi berisi serangkaian pengujian performa pada aplikasi web yang telah dibangun. Pengujian ini dilakukan pada laman webpagetest.org dengan menguji performa tiap halaman yang ada pada sistem. Setelah dilakukan pengujian tiap laman aplikasi web, maka didapatkan hasil dari setiap halaman memiliki performa yang baik berdasarkan penilaian dari laman webpagetest.org. dalam pengujian performansi terdapat beberapa parameter pengujian, untuk pengertian parameter-parameter pengujian bisa dilihat langsung pada webpagetest.org. Contohnya seperti hasil dari pengujian halaman index (Gambar 24).

Performance Results (Median Run)													
	Load Time	First Byte	Start Render	Soled Index	Last Painted Hero	First Interactive (beta)	Document Complete			Fully Loaded			
	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Requests	Bytes In	Time	Requests	Bytes In	Cost
First View (Run 3)	4.274s	0.848s	2.300s	3.920s	4.300s	> 5.126s	4.274s	60	843 KB	5.486s	69	1,001 KB	\$52

Gambar 24. Hasil Pengujian Halaman Index

Pada halaman index dilakukan test run sebanyak 3 kali dan bersifat first view atau pengujian dilakukan saat cookies dan cache telah dibersihkan untuk merepresentasikan pengalaman pertama pengguna saat mengakses halaman ini. Skor penilaian halaman ini mendapatkan A untuk First Byte Time, Compress Transfer, Keep Alive Enabled, Compress Image, lalu Cache static content mendapat F. Sedangkan Effective use of CDN tidak mendapatkan nilai dan diberi simbol X.

Pada tabel hasil performa dapat dilihat bahwa kecepatan load time, first byte, dan start render masing-masing adalah 4,274 detik, 0,848 detik, dan 2,300 detik, sedangkan peristiwa Document Complete membutuhkan 4,274 detik berisi 60 permintaan dari server sebanyak 843 KB. Peristiwa Fully Loaded sendiri membutuhkan 5,486 detik berisi sebanyak 69 permintaan dari server sebanyak 1001 KB

4. Kesimpulan

Sistem Pemantau Kualitas Udara Menggunakan Arduino dan Lora Berbasis Jaringan Sensor Nirkabel telah berhasil dirancang. Berdasarkan pengujian sistem, perbandingan keluaran sensor Rs/Ro dengan nilai ppm sensor TGS2600 dan TGS2201 sudah sama dengan karakteristik yang diberikan oleh datasheet tiap sensor serta perbandingan tegangan keluaran sensor dengan nilai mg/m³ sensor GP2Y1010AU0F sudah sama dengan karakteristik yang diberikan oleh datasheet sensor. Berdasarkan pengujian sistem, LoRa yang digunakan untuk mengirim data sensor berhasil mengirim data sensor ke basisdata dengan dan packet loss ratio sebesar 0% kemudian LoRa pada penelitian ini bisa mengirim sampai 300 meter. Berarti LoRa memang sangat cocok digunakan untuk IoT karena mencakup wilayah yang luas. Aplikasi web mampu mengolah data sensor yang didapat menjadi nilai ISPU dan nilai ISPU yang didapat sudah sama dengan nilai ISPU yang dihitung secara manual. Berdasarkan pengujian sistem dengan menggunakan metode blackbox didapatkan hasil berupa berjalannya seluruh fungsi yang ada dalam sistem sesuai dengan fungsinya. Berdasarkan pengujian performansi pada laman <https://webpagetest.org>, setiap halaman yang telah diuji memiliki nilai performa yang

baik. Dalam pengembangan penelitian sistem kedepannya, dapat menambahkan media penampil informasi seperti led dot matrix di sekitar node. Sistem juga masih dalam bentuk web sehingga bisa dikembangkan menjadi aplikasi mobile.

Referensi

- [1]. Pohan, Nurhasmawaty. 2002. *Pencemaran udara dan hujan asam*. USU Digital Library. , 1-14.
- [2]. Arifin, Ahmad Surya. 2015. Quality Of Service (Qos) Jaringan Sensor Nirkabel Berbasis Zigbee. Teknik Elektro, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [3]. Nurazizah, Nurhayati DO, Widiyanto DE. 2016. Perancangan Protokol Komunikasi untuk JSN (Jaringan Sensor Nirkabel) pada Kampus Hijau. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*. 2016; 4(2): 344-352.
- [4]. Fajar M, Wijaya M, Munir SA, Halid A. *Jaringan Sensor Nirkabel menggunakan Modul Komunikasi nRF905 Pada Platform Arduino*. Seminar Nasional Teknologi Informasi 2017. Makasar. 2016; C4: 21-25.
- [5]. Fajar M, Halid A, Rahman S. Desain dan Evaluasi Prototipe Jaringan Sensor Nirkabel untuk Monitoring Lahan Persawahan di Kabupaten Gowa. *Open Access Journal Information Systems*. 2016; 06(03): 319-330.
- [6]. Ramadhan AM, Nurhayati DO, Widiyanto DE. Rancang Bangun Sistem Informasi Kampus Hijau Berbasis Web Pada JSN(Jaringan Sensor Nirkabel). *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*. 2016; 4(2): 361-368.
- [7]. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan. Keputusan Kepala Bapedal No. 107. *Perhitungan Dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara*. Jakarta: 1997.
- [8]. R. Seye, Madoune & Gueye, Bamba & Diallo, Moussa. (2017). *An evaluation of LoRa coverage in Dakar Peninsula*. 478-482. 10.1109/IEMCON.2017.8117211
- [9]. LoRaWAN What is it? A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™. 2015. LoRa Alliance.
- [10]. Artanto, Dian. Merakit PLC dengan Mikrokontroler. Jakarta : PT Elex Media Komputindo. 2009: 9.
- [11]. Dharmawan, Hari Arief. MIKROKONTROLER Konsep Dasar dan Praktis. Malang : UB Press. 2017: 1.
- [12]. Datasheet SHT1x. 2008. Sensirion The Sensor Company.
- [13]. TGS 2600 Datasheet. Figaro USA, INC.
- [14]. TGS 2201 Datasheet. Figaro USA, INC.
- [15]. Silalahi, Aripin. Penentuan Kadar Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) menggunakan Sensor Gas Semikonduktor TGS 2201. Medan: Program Pasca Sarjana FMIPA, Universitas Sumatera Utara; 2011.
- [16]. Hasibuan, Wirda Harisa. Alat Ukur Densitas Debu di Udara Berbasis Mikrokontroler. Medan: Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi, Departemen Fisika , Universitas Sumatera Utara; 2014.
- [17]. GP2Y1010AU0F datasheet. 2006. SHARP Corporation.
- [18]. Open Source LoRa WiFi Gateway. China: Dragino Technology Co., Limited.