

Rancang Bangun Sistem Monitoring Gas CO dan CO₂ Berbasis LoRa dengan Topologi Point to Point

Irgy Syahputra Pirnadi¹, Catur Suko Sarwono², Dedy Wahyu Herdiyanto³,
Widya Cahyadi⁴, Muh. Asnoer Laagu⁵, Immawan Wicaksono⁶

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember^{1,2,3,4,5,6}

irgysyahputra27@gmail.com¹, catur.suko@yahoo.com², dedy.wahyu@unej.ac.id³, cahyadi@unej.ac.id⁴, asnoer@unej.ac.id⁵,
immawanw@unej.ac.id⁶

Abstrak

Peningkatan kadar gas CO dan CO₂ akibat emisi industri, transportasi, dan aktivitas sehari-hari mendorong pengembangan sistem pemantauan berbasis teknologi nirkabel. Penelitian ini merancang sistem LoRa-based monitoring menggunakan sensor MQ-7 (deteksi CO) dan MQ-135 (deteksi CO₂), dengan arsitektur Sensor Node untuk pengukuran lokal dan Gateway Node untuk transmisi data jarak jauh. Pengujian dilakukan pada dua skenario: Line of Sight (LOS) dan Non-Line of Sight (NLOS), serta variasi bandwidth (62,5 kHz, 250 kHz, 500 kHz). Hasil eksperimen menunjukkan jarak transmisi maksimal 800 meter (LOS) dan 500 meter (NLOS), dengan penurunan RSSI (-97 dBm hingga -120 dBm) dan SNR (7 dB hingga -4 dB) yang lebih stabil pada kondisi LOS akibat minimnya hambatan. Variasi bandwidth menghasilkan hubungan kompleks: penggunaan bandwidth 500 kHz meningkatkan jarak transmisi hingga 700 meter (bandwidth 62,5/250 kHz: 500 meter) karena distribusi sinyal lebih merata, namun meningkatkan noise sehingga menurunkan SNR (rata-rata -1,2 dB pada 500 kHz vs. 4,8 dB pada 62,5 kHz). Simpulan utama menyatakan bahwa bandwidth lebih besar meningkatkan jangkauan dan stabilitas RSSI, tetapi berbanding terbalik dengan kualitas SNR akibat spektrum frekuensi yang lebih lebar. Temuan ini memberikan rekomendasi praktis untuk optimasi sistem LoRa dalam aplikasi pemantauan lingkungan berbasis Internet of Things (IoT)

Kata Kunci—LoRa, CO/CO₂ monitoring, bandwidth optimization, RSSI, SNR, LOS/NLOS.

Abstract

Air pollution resulting from industrial, transportation, and daily activities has led to increased concentrations of CO and CO₂ gases in the atmosphere. In response, this study presents the design of a LoRa-based monitoring system utilizing two sensors, MQ-7 and MQ-135, to measure CO and CO₂ levels, respectively. The system architecture consists of a Sensor Node for gas detection in specific areas and a Gateway Node for receiving data transmissions from the Sensor Node. LoRa technology enables long-range data communication between nodes. Experimental results demonstrate that under Line of Sight (LOS) conditions, the maximum transmission distance achieved is 800 meters, while under Non-Line of Sight (NLOS) conditions, the maximum distance is 500 meters. Bandwidth variation tests indicate that without encoding, the maximum range is 800 meters; with bandwidths of 62.5 kHz and 250 kHz, the range is 500 meters, and with 500 kHz bandwidth, the range extends to 700 meters. The results show that under LOS conditions, the decrease in RSSI and SNR values is more stable compared to NLOS conditions due to the absence of obstacles that could weaken the signal, allowing for greater transmission distances. Additionally, increasing the bandwidth

results in a more stable RSSI decrease, while a larger bandwidth produces lower SNR values and enables longer transmission distances. This occurs because a larger bandwidth distributes the signal more evenly but also increases the noise received at the Gateway Node, thus tending to reduce the SNR. These findings provide practical recommendations for optimizing LoRa-based environmental monitoring systems within Internet of Things (IoT) applications.

Keywords — LoRa, CO/CO₂ monitoring, bandwidth optimization, RSSI, SNR, LOS/NLOS.

I. PENDAHULUAN

Kondisi lingkungan dapat mempengaruhi kesehatan suatu makhluk hidup. Salah satu faktor yang penting dalam menunjang lingkungan yang sehat adalah kualitas udara yang memenuhi standar kesehatan. Udara memiliki kandungan oksigen yang sangat dibutuhkan untuk hidup, tetapi terdapat kandungan lain yang ada pada udara seperti karbon dioksida, karbon monoksida, hidrokarbon, debu, dan sebagainya. Oksigen yang ada di dalam ataupun di luar ruangan dapat bercampur dengan zat – zat yang berbahaya bagi makhluk hidup. Kadar zat – zat tersebut memiliki batas tertentu apabila diterima oleh suatu makhluk hidup, namun jika melampaui batas normal maka dapat mengganggu kesehatan. Zat – zat berbahaya ini berasal dari kepadatan lalu lintas, material konstruksi, proses pembakaran atau pemanasan yang dapat memicu masalah kesehatan [15].

Kualitas udara yang buruk memiliki dampak terhadap lingkungan dan juga kesehatan manusia, terutama melalui peningkatan kadar gas karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂). Peningkatan kadar CO dapat menyebabkan keracunan yang akan menghambat kemampuan darah untuk membawa oksigen tidak maksimal yang menyebabkan gejala ringan seperti sakit kepala dan mual – mual. Di sisi lain, peningkatan kadar CO₂ yang berlebihan dapat menyebabkan meningkatnya tekanan darah, penurunan daya dengar, dan kesulitan pernapasan yang ditandai dengan sakit kepala dan sesak napas. Dengan adanya teknologi untuk memonitoring kualitas udara diharapkan munculnya respon yang cepat terhadap perubahan kondisi udara dan bisa menambah upaya mitigasi atau penanggulangan untuk menjaga kesehatan manusia dan lingkungan sekitar [8].

Pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan modul LoRa dengan dua buah sensor dalam melakukan pemantauan kualitas udara secara langsung. Sensor yang digunakan adalah

MQ-7 dan MQ-135 yang masing masing memiliki fungsi sebagai alat pendeteksi kadar karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) pada suatu area dengan topologi point to point.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Wireless Sensor Network

Wireless Sensor Network (WSN) adalah suatu jaringan tanpa kabel yang saling berkomunikasi untuk memantau suatu kondisi tertentu pada suatu area. WSN terdiri atas dua atau lebih node yang saling berkomunikasi untuk mendapatkan data atau informasi dari lingkungan sekitar, seperti adanya node sensor dan node gateway [1].

B. LoRa SX1278 RA02

LoRa atau *Long Range* merupakan teknologi tanpa kabel yang dapat melakukan pengiriman data jarak jauh, daya yang rendah, dan aman. LoRa menggunakan sistem komunikasi data *Low Power Area Network* (LPWAN) yang akan mengirimkan data dengan daya yang rendah untuk jarak yang jauh dengan keandalan yang tinggi [5].

C. Arduino Nano

Arduino Nano adalah sebuah perangkat elektronik yang bisa digunakan yang dibuat oleh Arduino. Pada Arduino Nano terdapat 22 pin input maupun output yang bisa digunakan untuk terkoneksi ke sensor, aktuator, maupun perangkat lainnya. Penggunaan bahasa pemrograman C++ pada board Arduino Nano dan memiliki *Integrated Development Environment* (IDE) yang mudah digunakan untuk pengguna menulis, mengedit, dan mengunggah suatu kode ke board Arduino.

D. Sensor MQ-7

Sensor MQ-7 adalah sensor yang dapat mendeteksi konsentrasi gas karbon monoksida (CO) dalam suatu area. Sensor ini mempunyai kelebihan yaitu sensitivitas yang baik terhadap gas karbon monoksida (CO), usia pakai yang cukup lama, dan juga stabil. Keluaran sensor ini menghasilkan data analog, yang dimana tegangan atau arus yang akan berubah sesuai dengan konsentrasi karbon monoksida (CO) yang ada di area tersebut [5].

E. Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 merupakan jenis sensor yang dapat mendeteksi kadar gas karbon dioksida (CO₂), amonia (NH₃), dan alkohol. Sensor ini memiliki prinsip kerja dengan menerima perubahan nilai resistansi apabila terkena gas yang terdeteksi. Sensor MQ-135 memiliki daya tahan yang baik untuk digunakan sebagai penanda adanya bahaya polusi pada suatu area karena sangat praktik dan menggunakan daya yang kecil [7].

F. Topologi Point to Point

Topologi point to point merupakan salah satu jenis topologi yang menggunakan dua perangkat atau node yang terhubung

secara langsung tanpa adanya perangkat lain di antara kedua node tersebut. Topologi ini memiliki efisiensi yang tinggi karena tidak adanya perangkat lain diantaranya dan memiliki keamanan yang baik karena dapat berkomunikasi secara langsung.

G. Received Signal Strength Indicator

Received Signal Strength Indicator (RSSI) merupakan pengukuran seberapa kuat kekuatan suatu sinyal saat diterima [4]. RSSI menjadi parameter untuk mengukur suatu kekuatan sinyal yang diterima oleh penerima dalam jaringan nirkabel. Seberapa kuat atau lemahnya sinyal yang diterima oleh penerima dari pengirim dapat diketahui dari parameter RSSI.

H. Signal to Noise Ratio

Signal to Noise Ratio adalah ukuran yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas sinyal pada suatu sistem nirkabel. SNR juga disebut sebagai parameter yang mengukur kualitas sinyal yang terganggu oleh derau. SNR akan melakukan perbandingan antara kekuatan sinyal yang diinginkan dengan kekuatan derau atau gangguan yang ada dalam sistem transmisi. SNR bertugas untuk batas ambang untuk suatu sinyal yang masih dapat diterima dengan baik oleh perangkat penerima (Yuliandoko H., 2018).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat Penelitian

Lokasi yang digunakan untuk Sistem Monitoring Gas CO dan CO₂ Berbasis LoRa WSN dilakukan di Kecamatan Kedopok, Kelurahan Jrebeng Wetan, Kota Probolinggo.

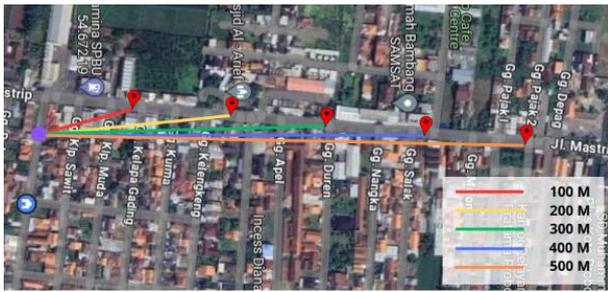
TABEL 1
 KLASIFIKASI RENTANG SINYAL RSSI STANDART TIPHON

Level RSSI (dB)	Keterangan
> -70	Sangat Baik
-71 s/d -85	Baik
-86 s/d -100	Cukup Baik
< -100	Buruk

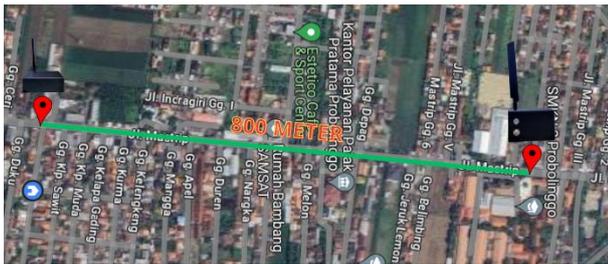
TABEL 2
 KLASIFIKASI RENTANG SINYAL SNR STANDART TIPHON

Level SNR (dB)	Keterangan
> 29	Sangat Baik
20 s/d 28	Baik
11 s/d 19.9	Cukup Baik
7 s/d 10.9	Buruk
< 6.9	Sangat Buruk



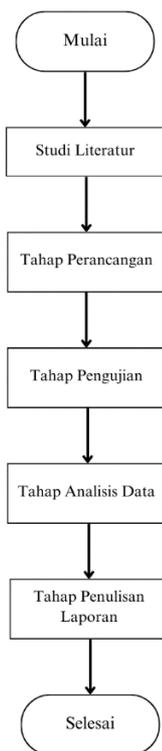


GAMBAR 1
 SKEMA PENGUJIAN NLOS



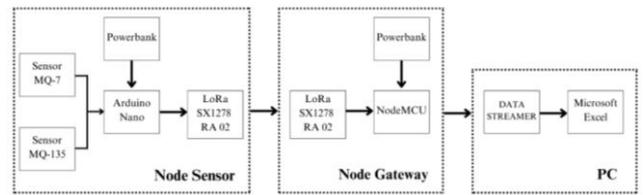
GAMBAR 2
 SKEMA PENGUJIAN LOS DAN PERUBAHAN NILAI BANDWIDTH

B. Tahapan Penelitian



GAMBAR 3
 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

C. Blok Diagram Sistem



GAMBAR 4
 TOPOLOGI PADA GNS3

Pada Gambar 4 terlihat blok diagram sistem secara keseluruhan. Secara umum, sistem terdiri dari node sensor dan node gateway yang saling terhubung. Terdapat node sensor sebagai pemancar sinyal yang memiliki dua sensor, yaitu sensor MQ-7 dan MQ-135. Juga terdapat Arduino Nano dan LoRa SX 1278 RA 02. Selain itu terdapat node gateway yang digunakan sebagai penerima sinyal dari node sensor. Pada node gateway terdapat ESP8266 dan LoRa SX 1278 RA 02. Node gateway akan berfungsi sebagai penghubung kepada PC yang bisa menampilkan data yang ditangkap node sensor untuk pengguna.

D. Skenario Pengujian

1. Pengujian Sensor MQ-7

Sensor MQ-7 adalah sensor yang dapat mendeteksi gas karbon monoksida (CO) di suatu area. Ketika gas tersebut terdeteksi, resistansi sensor berubah, dan nilai tersebut dapat diukur untuk menentukan konsentrasi gas yang hadir. Skema pada pengujian sensor MQ-7 dilakukan dengan menghidupkan sensor selama 6 jam untuk mengetahui nilai resistansi sensor stabil saat di udara bersih di dalam ruangan. Setelah didapatkan nilai resistansi yang stabil, nilai tersebut bisa dimasukkan ke dalam program node sensor.

2. Pengujian Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 adalah sensor yang dapat mendeteksi gas karbon dioksida (CO₂) di udara. Skema pada pengujian sensor MQ-135 dilakukan dengan menghidupkan sensor selama 6 jam untuk mengetahui nilai resistansi sensor stabil saat di udara bersih di dalam ruangan. Setelah didapatkan nilai resistansi yang stabil, nilai tersebut bisa dimasukkan ke dalam program node sensor.

3. Pengujian Pengiriman Data LoRa

Node sensor sebagai node yang akan memancarkan sinyal (transmitter). Pengujian yang dilakukan dengan cara mengetahui apakah data dapat terikirim pada node gateway atau tidak. Node sensor akan melakukan pengiriman data, data yang terkirim akan tampil pada PC.

4. Pengujian Penerimaan Data oleh Node Gateway

Pada pengujian ini, node gateway digunakan sebagai node penerima sinyal (receiver). Pengujian dilakukan dengan mengirimkan data dari node sensor. Data yang berhasil diterima oleh node gateway akan tampil pada PC.

5. *Pengujian Penampilan Data di Microsoft Excel*

Pada pengujian ini, dilakukan dengan cara menampilkan data yang diterima pada node gateway untuk bisa ditampilkan pada Microsoft Excel. Penampilan data pada Microsoft Excel menggunakan fitur yang bernama Data Streamer, yang akan memindahkan data dari serial monitor ke dalam Microsoft Excel.

6. *Pengujian Kualitas Pengiriman Data*

Pengujian ini dilakukan di lingkungan outdoor, yang menggunakan beberapa parameter fisik yaitu nilai RSSI dan SNR. Pada pengujian ini dilakukan percobaan pengiriman data saat keadaan LOS dan NLOS untuk mengetahui perbedaan RSSI dan SNR yang dihasilkan. Selain itu juga dengan mengubah nilai bandwidth yang digunakan selama proses pengiriman data untuk mengetahui perubahan nilai RSSI dan SNR. Proses pengiriman data akan dilakukan dengan variasi jarak berdasarkan jarak dimana tempat node gateway dan node sensor berada.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Hasil Perancangan*

Pada Gambar 5 adalah bentuk dari node sensor untuk melakukan monitoring gas Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida (CO₂). Di dalam node sensor terdapat dua buah sensor yaitu sensor MQ-7 dan MQ-135. Untuk sensor MQ-7 digunakan untuk mendeteksi kadar Karbon Monoksida (CO), sedangkan sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi kadar Karbon Dioksida (CO₂). Untuk mengontrol kedua sensor tersebut, digunakan mikrokontroler Arduino Nano. Pada mikrokontroler juga terhubung modul komunikasi LoRa SX-1278 yang berfungsi untuk melakukan pengiriman data menuju node gateway.



GAMBAR 5
 NODE SENSOR



GAMBAR 6
 NODE GATEWAY

Pada Gambar 6 adalah bentuk dari node gateway untuk melakukan monitoring gas Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida (CO₂). Di dalam node sensor terdapat mikrokontroler NodeMCU yang terhubung dengan modul komunikasi LoRa. Setelah menerima data dari node sensor, node gateway akan menerima data yang kemudian dikirimkan menuju Microsoft Excel dengan menggunakan fitur Data Streamer dan data akan tertampil otomatis pada Microsoft Excel.

B. *Pengujian Sensor MQ-7 dan MQ-135*

Pada pengujian sensor MQ-7 dan MQ-135, sensor dilakukan kalibrasi lebih dahulu sebelum digunakan. Pengkalibrasian dilakukan dengan menghidupkan selama 6 jam untuk mengetahui nilai resistansi sensor stabil saat di udara bersih di dalam ruangan. Dengan menunggu selama 6 jam, didapatkan hasil resistansi saat udara bersih yang dapat langsung dimasukkan ke dalam program untuk melakukan perhitungan PPM gas CO dan CO₂.

Dapat dilihat pada Tabel 3 adalah hasil kalibrasi dari sensor MQ-7 dan MQ-135 untuk mendeteksi gas CO dan CO₂. Dapat dilihat bahwa nilai CO stabil pada udara bersih di dalam ruangan sebesar 1,13 PPM dan nilai CO₂ diantara 403,17 PPM dan 387,94 PPM. Dari pengujian yang telah didapatkan, dapat diketahui bahwa sensor MQ-7 dan MQ-135 dapat mendeteksi gas CO dan CO₂ dengan baik.

C. *Pengujian Pengiriman Data LoRa*

Pada pengujian Node Sensor yang berisikan mikrokontroler yang terhubung dengan modul komunikasi LoRa SX-1278, dan juga dua buah sensor yaitu sensor MQ-7 dan MQ-135 untuk mendeteksi gas Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida (CO₂) yang telah dihidupkan selama 6 jam untuk mendapatkan nilai PPM yang tepat. Pengujian yang dilakukan dengan mengirim data yang berasal dari node sensor menuju node gateway.

TABEL 3
 Hasil Pengujian Sensor MQ-7 dan MQ-135

Waktu (jj:mm:dd)	Pembacaan Sensor MQ-7 (PPM)	Pembacaan Sensor MQ-135 (PPM)
13:00:27.680	1.13	387.94
13:00:28.663	1.07	387.94
13:00:29.690	1.13	387.94
13:00:30.666	1.13	403.17
13:00:31.706	1.13	403.17
13:00:32.698	1.13	387.94
13:00:33.686	1.13	403.17
13:00:34.700	1.13	387.94
13:00:35.680	1.13	387.94
13:00:36.715	1.13	403.17

TABEL 4
 Hasil Pengujian Node Sensor

Waktu (jj:mm:dd)	Data Terkirim (PPM)		Keterangan
	MQ-7	MQ-135	
13:07:33.839	1.13	403.17	Berhasil Terkirim
13:07:34.833	1.13	403.17	Berhasil Terkirim
13:07:35.874	1.19	403.17	Berhasil Terkirim
13:07:36.866	1.13	403.17	Berhasil Terkirim
13:07:37.855	1.13	403.17	Berhasil Terkirim
13:07:38.847	1.13	403.17	Berhasil Terkirim
13:07:39.881	1.07	403.17	Berhasil Terkirim
13:07:40.870	1.13	387.94	Berhasil Terkirim
13:07:41.866	1.13	403.17	Berhasil Terkirim

TABEL 5
 HASIL PENGUJIAN PENERIMAAN DATA NODE GATEWAY

Waktu	Pembacaan Sensor (PPM)		RSSI (dB)	SNR (dB)
	CO	CO		
13:07:43.887	0.41	430.06	-56	9.50
13:07:44.870	0.41	430.06	-55	9.25
13:07:45.860	0.41	430.06	-55	9.75
13:07:46.898	0.41	430.06	-56	9.50
13:07:47.886	0.41	430.06	-55	9.50
13:07:48.870	0.41	430.06	-55	9.50
13:07:49.903	0.41	430.06	-55	9.50
13:07:50.892	0.41	430.06	-55	9.50
13:07:51.885	0.41	430.06	-55	9.25
13:07:52.915	0.41	430.06	-55	9.75
13:07:53.896	0.41	430.06	-55	9.75
13:07:54.886	0.41	430.06	-55	9.75
13:07:55.924	0.41	430.06	-55	9.75

TABEL 6
 HASIL PENGUJIAN PENAMPILAN DATA DI MICROSOFT EXCEL

Waktu	CO (PPM)	CO ₂ (PPM)	RSSI (dB)	SNR (dB)	Keterangan
13:08:32,12	0,41	430,06	-56	9,50	Diterima
13:08:33,18	0,41	430,06	-55	9,25	Diterima
13:08:34,18	0,41	430,06	-55	9,75	Diterima
13:08:35,18	0,41	430,06	-55	9,50	Diterima
13:08:36,19	0,41	430,06	-56	9,50	Diterima
13:08:37,19	0,41	430,06	-55	9,50	Diterima
13:08:38,19	0,41	430,06	-55	9,25	Diterima
13:08:39,19	0,41	430,06	-55	9,75	Diterima
13:08:40,25	0,41	430,06	-55	9,75	Diterima
13:08:41,25	0,41	430,06	-55	9,75	Diterima
13:08:42,25	0,41	430,06	-55	9,75	Diterima
13:08:43,26	0,41	430,06	-55	9,50	Diterima
13:08:44,31	0,41	430,06	-55	9,75	Diterima

Pada pengujian pengiriman data oleh LoRa pada Tabel 4 digunakan untuk mengetahui pengiriman oleh node Sensor dapat berjalan dengan baik atau tidak. Dapat diketahui bahwa LoRa dapat melakukan pengiriman data secara baik menuju node gateway dan node sensor dapat digunakan untuk melakukan pengiriman data kadar gas CO dan CO₂ dengan baik menuju node gateway.

D. Pengujian Penerimaan Data Node Gateway

Pada pengujian penerimaan data pada Node Gateway, yang dimana Node Gateway terdiri dari NodeMCU sebagai mikrokontroler dan modul komunikasi LoRa SX-1278. Pada

awalnya menghidupkan node sensor selama 6 jam untuk mendapatkan nilai PPM yang tepat dan pengujian pengiriman menuju node gateway dilakukan. Pengujian dilakukan dengan cara node sensor mengirimkan data dan melihat tertampil atau tidaknya data pada node gateway.

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah data dapat diterima di node gateway atau tidak oleh pengirim yaitu node sensor. Dapat dilihat bahwa hasil dari pengujian penerimaan data pada node gateway dapat menerima secara baik dan dapat digunakan untuk melakukan sistem monitoring gas Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida (CO₂).

E. Pengujian Penampilan Data di Microsoft Excel

Pada pengujian penampilan data di Microsoft Excel dilakukan untuk mengetahui apakah data yang diterima di Node Gateway dari Node Sensor akan tertampil pada Microsoft Excel. Untuk menampilkan data yang ada pada serial monitor yang dimiliki Node Gateway, dilakukan dengan fitur yang dimiliki Microsoft Excel 360 yaitu Data Streamer, sehingga tidak memerlukan aplikasi lain untuk membantu menampilkan data pada Microsoft Excel.

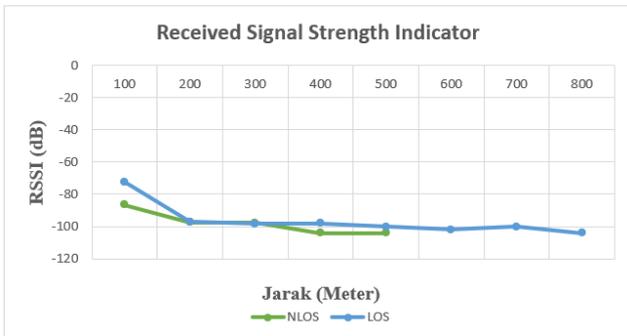
Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa data yang diterima oleh Node Gateway diterima dari Node Sensor, dapat tertampil pada Microsoft Excel. Dalam 50 data yang dikirim dari Node Sensor, 50 data juga diterima pada Node Gateway. Dengan bantuan fitur Data Streamer yang dimiliki Microsoft Excel, maka data dapat dimonitoring secara realtime sesuai dengan data diterima di Node Gateway. Oleh karena itu, fitur Data Streamer dapat digunakan untuk melakukan pemindahan data yang ada di serial monitor menuju Microsoft Excel secara langsung dan realtime.

F. Pengujian Kualitas LoRa pada Kondisi LOS dan NLOS

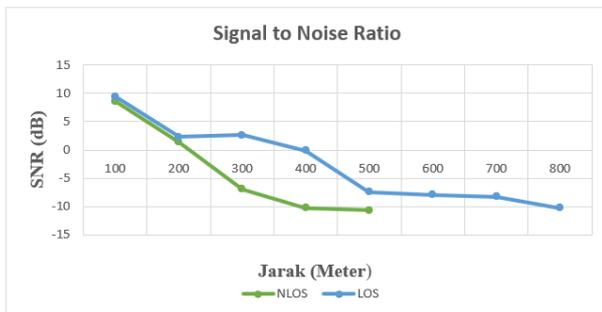
Pada pengujian kualitas LoRa dengan perbedaan kondisi lingkungan digunakan untuk melihat performa jaringan terutama pada nilai RSSI dan SNR pada komunikasi LoRa dalam berbagai situasi lingkungan yang ada yaitu dalam keadaan Line of Sight dan Non-Line of Sight. Pada kondisi LOS dilakukan di jalan raya yang lurus dengan jarak maksimal 800 meter. Pengambilan data kondisi LOS dilakukan dengan kelipatan jarak 100 meter. Untuk kondisi NLOS dilakukan dengan memberi halangan berupa bangunan rumah yang menutupi antara Node Sensor dengan Node Gateway. Pada kondisi NLOS dilakukan percobaan dengan kelipatan 100 meter untuk melihat perubahan dari nilai RSSI dan SNR yang dihasilkan. Dari pengujian perbedaan kondisi lingkungan dalam mengukur nilai RSSI dan SNR, didapatkan data seperti tabel 7.

TABEL 7
 HASIL PENGUJIAN KUALITAS LoRa TERHADAP RSSI DAN SNR

Jarak	RSSI (dB)		SNR	
	N-LOS	LOS	N-LOS	LOS
100	-86,4	-72,3	8,6	9,4
200	-97,4	-97,1	1,4	2,3
300	-97,7	-98,4	-6,9	2,6
400	-104,0	-98,0	-10,3	-0,1
500	-104,2	-100,2	-10,7	-7,4
600		-102,0		-7,9
700		-100,0		-8,3
800		-104,0		-10,3



GAMBAR 7
 GRAFIK PENGUJIAN KONDISI LOS DAN NLOS PADA RSSI



GAMBAR 8
 GRAFIK PENGUJIAN KONDISI LOS DAN NLOS PADA SNR

Tabel 7 adalah Tabel hasil dari pengujian kualitas LoRa dengan dua kondisi lingkungan. Data tersebut diperoleh selama 90 detik untuk mendapatkan rata – rata dari 50 data untuk setiap nilai RSSI maupun SNR dengan jarak yang bervariasi yaitu 100 m hingga 800 m. Dapat dilihat bahwa perbedaan kondisi lingkungan yang digunakan mempengaruhi batas jarak yang bisa digunakan dan penurunan nilai RSSI dan SNR yang lebih drastis pada keadaan NLOS. Dari Tabel 7 didapatkan hasil grafik sebagai berikut:

Gambar 7 dan 8 adalah grafik yang didapat dari pengujian kondisi LOS dan NLOS terhadap nilai RSSI dan SNR saat melakukan pengiriman data. Dapat dilihat bahwa perubahan kondisi LOS dan NLOS mengurangi batas jarak menjadi 500 meter saja untuk keadaan NLOS, sedangkan saat kondisi LOS menjadi 800 meter. Pengaruh perbedaan kondisi lingkungan juga berpengaruh terhadap nilai RSSI dan SNR yang dihasilkan.

Dapat dilihat pada kondisi NLOS penurunan nilai RSSI dan SNR terlihat cukup drastis. Dari kondisi tersebut menyebabkan batas jarak yang dihasilkan hanya 500 meter. Hal ini dikarenakan pada saat keadaan NLOS, sinyal melewati hambatan fisik, seperti bangunan, pohon, dan lain sebagainya yang menyebabkan atenuasi sinyal atau melemahnya suatu sinyal saat melewati hambatan fisik tersebut. Dengan ini kekuatan sinyal yang diterima pada Node Gateway penurunannya lebih drastis saat Node Sensor menjauhi Node Gateway.

G. Pengujian Kualitas LoRa pada Perubahan Nilai Bandwidth

Pada pengujian kualitas LoRa dengan melakukan perubahan nilai bandwidth untuk melihat kualitas jaringan terutama pada nilai RSSI dan SNR yang dihasilkan. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan empat jenis data, antara lain bandwidth tanpa dilakukan pengkodean, nilai bandwidth sebesar 62.6 kHz, 250 kHz, dan 500 kHz, perubahan nilai bandwidth dilakukan pada listing program.

Pada Tabel 8 dan 9 adalah hasil yang didapat saat pengujian dengan perubahan nilai bandwidth yang digunakan. Tiap data tersebut didapatkan selama 90 detik untuk mendapatkan rata – rata dari 50 data untuk setiap nilai RSSI dan SNR dengan jarak yang bervariasi, yaitu saat bandwidth tanpa pengkodean, bandwidth bernilai 62,5 kHz, 250 kHz, dan 500 kHz. Dapat dilihat bahwa penambahan nilai bandwidth memiliki pengaruh pada nilai RSSI dan SNR saat melakukan pengiriman data. Nilai RSSI dan SNR saat bandwidth ditambahkan memang perubahan tidak berubah signifikan, tetapi memiliki ciri yang tersendiri pada setiap penambahan nilai bandwidth. Dari Tabel data diatas, didapatkan grafik sebagai berikut:

TABEL 8
 HASIL PENGUJIAN NILAI BANDWIDTH TERHADAP RSSI

Jarak (Meter)	RSSI (dB)			
	Tanpa Pengkodean	Bandwidth (kHz)		
		62.5	250	500
100	-72,3	-89,1	-81,7	-81,3
200	-97,1	-93,5	-90,6	-90,1
300	-98,4	-92,5	-91,9	-90,6
400	-98,0	-100,5	-97,4	-92,2
500	-100,2	-101,6	-97,2	-93,4
600	-102,0	-100,8	-99,7	-96,9
700	-100,0			-93,8
800	-104,0			

TABEL 9
 HASIL PENGUJIAN NILAI BANDWIDTH TERHADAP SNR

Jarak (Meter)	SNR (dB)			
	Tanpa Pengkodean	Bandwidth (kHz)		
		62.5	250	500
100	9,5	8,2	6,6	5,0
200	2,3	6,6	-2,0	-0,6
300	2,6	7,3	4,4	0,5
400	-0,2	-0,5	-5,1	-8,3
500	-7,4	-0,5	-5,2	-6,1
600	-7,9	-3,2	-5,4	-8,7
700	-8,3			-10,9
800	-10,3			

V. KESIMPULAN DAN SARAN

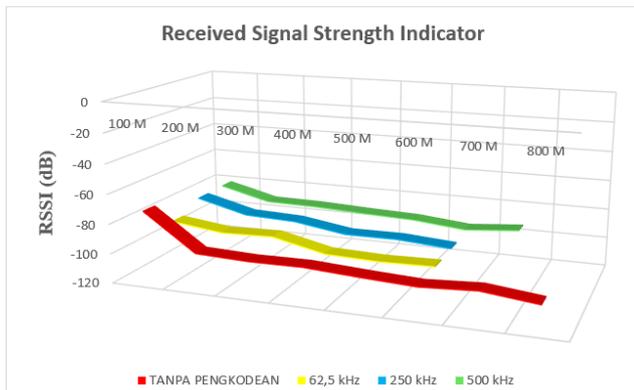
A. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yaitu berdasarkan dari pengujian yang telah dilakukan, pada kedua sensor menghasilkan 50 data yang dikirim dari Node Sensor dan 50 data juga tertampil pada tabel, dengan rata – rata gas CO bernilai 0,41 PPM dan gas CO₂ bernilai 430,6 PPM. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem yang telah dibuat telah memenuhi kriteria. Sedangkan pada pengujian yang telah diimplementasikan, dapat diketahui bahwa kondisi LOS, NLOS dan perubahan nilai bandwidth berpengaruh terhadap nilai RSSI dan SNR dari node sensor menuju node gateway. Dengan pengaruh perbedaan kondisi LOS dan NLOS yang menyebabkan penurunan nilai RSSI dan SNR pada kondisi Non Line of Sight dikarenakan adanya penghalang berupa bangunan rumah. Sedangkan pengaruh penambahan nilai bandwidth dapat memperbaiki nilai RSSI yang dihasilkan, tetapi nilai SNR yang semakin menurun karena noise mudah masuk pada nilai bandwidth yang lebih tinggi.

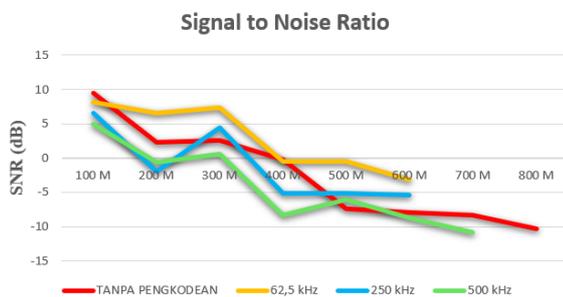
Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu, penerapan sistem pada skala lebih besar atau pengujian dengan sensor tambahan untuk polutan lain

REFERENSI

- [1] D. T. Adin, A. Bhawiyuga, and W. Yahya, "Sistem monitoring parameter fisik air kolam ikan menggunakan jaringan sensor nirkabel berbasis protokol LoRa," *J. PTIIK*, vol. 3, no. 6, 2019. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [2] F. Azhiman and R. N. Dasmen, "Sosialisasi performansi antena omnidirectional di LRT Kota Palembang PT. LEN REKAPRIMA SEMESTA," in *Proc. Progress*, vol. 5, no. 2, p. 359, 2022. [Online]. Available: <http://proceedings.itbwigalumajang.ac.id/index.php/rogress>
- [3] A. A. Zackiansyah, *Easy and Practice PPPoE Server, VPN PPTP, Bandwidth Management, Mikrotik Hotspot with Mikrotik RouterBoard*. Surabaya, Indonesia: XP Solution, 2022.
- [4] Elex Media Komputindo, *Tips & Trik Jaringan Wireless*. Jakarta, Indonesia: Elex Media Komputindo, 2014
- [5] F. Faizah, K. Kustori, I. W. Wiguna, S. Suhanto, and A. Abdillah, "Implementasi teknologi LoRa dan NodeMCU ESP8266 pada alat early warning system untuk pemantauan kualitas udara," *J. Penelitian Politeknik Penerbangan Surabaya*, vol. 8, no. 1, pp. 42–55, 2023.
- [6] F. Fachrizal, J. Julham, and A. Antoni, "Sistem monitoring polusi udara menggunakan sensor nitrogen carbon berbasis Internet of Thing," *J. Sistem Komputer dan Informatika (JSON)*, vol. 4, no. 1, p. 199, 2022. doi: 10.30865/json.v4i1.4903
- [7] H. Yuliandoko, *Jaringan Komputer Wire dan Wireless Beserta Penerapannya*. Yogyakarta, Indonesia: Deepublish, 2018.
- [8] E. Nebath, D. Pang, and J. O. Wuwung, "Rancang bangun alat pengukur gas berbahaya CO dan CO₂ di lingkungan industri," 2014.
- [9] T. Rachman, I. I. Purnomo, and I. I. Ridho, "Sistem monitoring kualitas udara pada lingkungan perumahan berbasis IoT dengan NodeMCU," 2021.



GAMBAR 9
GRAFIK PENGUJIAN NILAI BANDWIDTH PADA RSSI



GAMBAR 10
GRAFIK PENGUJIAN NILAI BANDWIDTH PADA SNR

Pada Gambar 9 dan 10 adalah grafik yang menunjukkan pengaruh dari perubahan nilai bandwidth yang digunakan terhadap RSSI dan SNR yang dihasilkan. Dapat dilihat bahwa penambahan nilai bandwidth yang digunakan mempengaruhi perubahan nilai RSSI dan SNR. Pengaruh nilai bandwidth pada nilai RSSI pada saat menggunakan 62,5 kHz dan 250 kHz menghasilkan nilai RSSI yang lebih kecil, dan penurunan nilainya cukup drastis. Sedangkan nilai SNR yang dihasilkan lebih besar daripada saat menggunakan nilai bandwidth yang lebih besar, tetapi memiliki batas jarak yang lebih pendek.

Sedangkan pada nilai bandwidth 500 kHz, nilai RSSI yang dihasilkan lebih besar daripada saat menggunakan nilai bandwidth yang lebih kecil. Dapat dilihat juga bahwa penurunan nilai RSSI yang lebih stabil saat menggunakan bandwidth yang lebih besar. Selain itu, semakin besar nilai bandwidth yang digunakan, maka nilai SNR yang dihasilkan akan lebih kecil dan batas jarak yang bisa digunakan semakin bertambah. Hal ini dapat terjadi karena saat menggunakan nilai bandwidth yang lebih besar, sinyal yang didistribusikan lebih merata. Dengan penggunaan bandwidth yang lebih besar juga membuat jumlah noise yang diterima pada Node Gateway juga meningkat, karena spektrum yang digunakan lebih luas sehingga nilai SNR saat menggunakan nilai bandwidth yang lebih besar cenderung menurun.

- [10] A. A. Rosa, B. A. Simon, and K. S. Lieanto, "Sistem pendeteksi pencemar udara portabel menggunakan sensor MQ-7 dan MQ-135," *ULTIMA Computing*, vol. XII, no. 1, 2020.
- [11] M. Sadali, Y. K. Putra, L. Kertawijaya, and I. Gunawan, "Sistem monitoring dan notifikasi kualitas udara di jalan raya dengan platform IoT," *J. Informatika dan Teknologi*, vol. 5, no. 1, 2022. doi: 10.29408/jit.v5i1.4384
- [12] A. Saputra, "Rancang bangun sistem monitoring kualitas udara berbasis web memanfaatkan MQ-135 dan Arduino," *Positif: J. Sistem dan Teknologi Informasi*, 2023.
- [13] I. Sumadikarta, T. Andraeni, and Mahasiswa Fakultas Teknik, "Rancang bangun sistem peringatan dini kualitas udara menggunakan mikrokontroler," *J. Satya Informatika*, vol. 7, no. 1, 2022.
- [14] K. Trianisa, E. P. Purnomo, and A. N. Kasiwi, "Pengaruh industri batubara terhadap polusi udara dalam keseimbangan World Air Quality Index in India," *J. Sains Teknologi & Lingkungan*, vol. 6, no. 2, pp. 156–168, 2020.
- [15] J. Waworundeng and O. Lengkong, "Sistem monitoring dan notifikasi kualitas udara dalam ruangan dengan platform IoT," 2018.

