

## APLIKASI WIRELESS SENSOR NETWORK UNTUK SISTEM MONITORING DAN KLASIFIKASI KUALITAS UDARA

<sup>1</sup>Tri Fidrian Arya, <sup>2</sup>Mahar Faiqurahman, <sup>3</sup>Yufis Azhar

<sup>1,2,3</sup>Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang

Jalan Raya Tlogomas No. 246, Tlogomas, Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65144

Email: [trifidrianarya@gmail.com](mailto:trifidrianarya@gmail.com), [mahar@umm.ac.id](mailto:mahar@umm.ac.id), [yufis@umm.ac.id](mailto:yufis@umm.ac.id)

### ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki perkembangan yang pesat pada sektor industri, hal tersebut tentunya berpengaruh pada lingkungan hidup termasuk kualitas udara. Polusi udara yang dikeluarkan dari cerobong asap kawasan industri apabila tidak dikelola dengan baik maka akan berdampak buruk pada kesehatan manusia. Diantaranya dapat berpengaruh terhadap status faal paru-paru, perubahan respon kekebalan tubuh, bahkan menyebabkan kematian pada makhluk hidup. monitoring tingkat polusi udara menjadi suatu hal yang urgent dilakukan. Pada penelitian ini dibuat aplikasi berbasis *Wireless Sensor Network* (WSN) untuk monitoring dan klasifikasi kualitas udara secara *online*, dengan menggunakan modul NRF24L01 untuk komunikasi antara sensor node dan *base station* yang biayanya relatif cukup terjangkau dan murah.

**Keywords:** *Wireless Sensor Network*, *Data Mining*, Klasifikasi, K-NN, Kualitas Udara.

## 1 PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki perkembangan yang pesat pada sektor industri, hal tersebut tentunya berpengaruh pada lingkungan hidup termasuk kualitas udara (Astuti, Parenta, and Paddu 2013). Menurut Supraptini (Supraptini 2002), polusi udara yang dikeluarkan dari cerobong asap kawasan industri apabila tidak dikelola dengan baik maka akan berdampak buruk pada kesehatan manusia. Diantaranya dapat berpengaruh terhadap status faal paru-paru, perubahan respon kekebalan tubuh, bahkan menyebabkan kematian pada makhluk hidup. Telah dijelaskan dalam peraturan pemerintah pentingnya udara bagi kehidupan, sehingga perlu dilestarikan serta dijaga fungsinya melalui pengendalian pencemaran udara (PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 41 TAHUN 1999 TENTANG PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA 1999).

Oleh karena itu, monitoring tingkat polusi udara menjadi suatu hal yang urgent dilakukan. Sistem monitoring kualitas udara yang ada saat ini di Indonesia, pemantauan kualitas udara secara umum pada suatu cakupan daerah, tidak pada titik-titik lokasi tertentu. Untuk menanggulangi hal tersebut, dapat mengaplikasikan *Wireless Sensor Network* (WSN). WSN adalah teknologi yang melakukan proses sensing, kontrol dan komunikasi untuk monitoring lingkungan secara pengukuran fisik (Sohraby, Minoli, and Znati 2007). WSN terdiri dari beberapa node sensor, serta base station yang diimplementasikan dan dapat saling mengirimkan data menggunakan jaringan nirkabel. Setiap Node Sensor terdiri dari sensor dan menggunakan modul jaringan nirkabel dalam komunikasinya, dan mudah diimplementasikan pada lingkungan (Pule, Yahya, and Chuma 2017).

Beberapa penelitian yang telah mengkaji pengaplikasian *Wireless Sensor Network* (WSN) diantaranya sebagai berikut. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Iwan et al (Muhammad, Sugiarto, and Sakti 2009), membangun sistem monitoring kualitas udara menggunakan WSN, dengan parameter yang digunakan yaitu suhu, kelembaban, karbondioksida, karbonmonoksida. Pada penelitian ini (Muhammad, Sugiarto, and Sakti 2009), data yang didapatkan tidak dilakukan pengolahan secara lebih lanjut untuk menghasilkan informasi klasifikasi kualitas udara. Penelitian yang dilakukan oleh Xu dan Liu (Xu and Liu 2017), yaitu melakukan monitoring kualitas air dengan menggunakan parameter kelarutan oksigen, tekanan air, PH, temperatur dengan mengaplikasikan WSN. Penelitian aplikasi WSN dengan judul “*Wireless Sensor Network System Design using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications*” (Ferdoush and Li 2014) mengaplikasikan modul arduino dan xbee untuk komunikasi nirkabelnya, hanya saja modul xbee tersebut memiliki biaya yang cukup tinggi

dalam pengadaannya. Penelitian lain yang mengaplikasikan wireless sensor network dan menerapkan konsep klasifikasi datamining diantaranya, Laksono et al (Budi et al. 2016) mengaplikasikan wireless sensor network untuk membuat prediksi cuaca dengan menggunakan paramter sensor angin, suhu dan kelembaban, dengan menggunakan metode C4.5. Pada penelitian Sugiarto dan Sustika(Sugiarto and Sustika 2016) yang dilakukan pengklasifikasian data kualitas udara dengan fitur yang digunakan yaitu suhu, kelembaban, karbondioksida, dan karbon monoksida, kemudian pengklasifikasian dilakukan menggunakan metode decision tree. Saoudi et al (Saoudi et al. 2016), melakukan penelitian mengaplikasikan WSN untuk mendeteksi kebakaran hutan. Sensor node pada penelitian ini (Saoudi et al. 2016), melakukan pemantauan suhu, kelembaban, intensitas cahaya, dan intensitas asap, kemudian dilakukan pengklasifikasian data pada server apakah terjadi kebakaran hutan atau tidak, dengan menggunakan metode klasifikasi Artificial Neural Network pada datamining.

Pada penelitian ini dibuat aplikasi berbasis Wireless Sensor Network (WSN) untuk monitoring dan klasifikasi kualitas udara secara online, dengan menggunakan modul NRF24L01 untuk komunikasi antara sensor node dan base station yang biayanya cukup terjangkau dibandingkan Xbee. Penyebaran Node Sensor pada titik-titik lokasi tertentu, misalnya di dekat jalan raya, perumahan, kawasan industri, dan sebagainya. dengan parameter yang digunakan diantaranya karbonmonoksida, Ozon, dan kadar partikulat di udara. Nilai dari parameter tersebut didapatkan dari proses sensing oleh sensor secara berkala.

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Indeks Standar Pencemaran Udara

Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) merupakan standar pedoman yang digunakan untuk mengetahui kualitas udara yang ada pada suatu lokasi dan waktu tertentu. Parameter yang digunakan untuk mengukur ISPU diantaranya tingkat karbonmonoksida (CO), ozon (O3), partikulat (PM10), sulfur dioksida (SO2), dan nitorgen dioksida (NO2). Di bawah ini tabel batas ISPU dalam satuan sistem internasional.

**Tabel 1. Batas ISPU dalam satuan SI**

ISPU	24 jam PM10 µg/m <sup>3</sup>	24 jam SO2 µg/m <sup>3</sup>	24 jam CO µg/m <sup>3</sup>	24 jam O3 µg/m <sup>3</sup>	24 jam NO2 µg/m <sup>3</sup>
50	50	80	5	120	(2)
100	150	365	10	235	(2)
200	350	800	17	400	1130
300	420	1600	34	800	2260
400	500	2100	46	1000	3000
500	600	2620	57.5	1200	3750

### 2.2 Wireless Sensor Network

*Wireless Sensor Network* (WSN) merupakan teknologi yang mengkolaborasikan jaringan tanpa kabel (*wireless*) dan teknologi sensor untuk melakukan pemantauan kondisi fisik lingkungan. WSN dapat diaplikasikan untuk berbagai objek, diantaranya pada bidang industri, kesehatan, militer, dsb. WSN terdiri dari node sensor, base station. Dimana node sensor melakukan pengukuran (*sensing*) lingkungan fisik, diantaranya suhu, kelembaban, kadar tingkat gas, dsb. Base station melakukan pengumpulan data dari hasil sensing oleh sensor node. Topologi jaringan yang dapat dimanfaatkan untuk pada WSN yaitu star dan mesh.

### 2.3 Data Mining

*Datamining* adalah proses yang digunakan untuk menemukan pengetahuan, pola baru seperti mendeskripsikan yang belum dimengerti dan memprediksikan model dari data yang berskala besar. Data mining meliputi algoritma-algoritma yang digunakan untuk mendapatkan pengetahuan atau pola dari data yang besar. Ini menggabungkan dari beberapa konsep seperti sistem basis data, statistika, machine learning, dan pengenalan pola. Pada kenyataannya, data mining adalah ilmu pengetahuan yang

besar, diantaranya meliputi pra proses data seperti data extraction, data cleaning, data transformation, data reduction, kemudian tahapan post-processing yaitu pola dan interpretasi model.

## 2.4 K-Nearest Neighbor

*K-Nearest Neighbor* (K-NN) ada metode yang digunakan untuk klasifikasi dan regresi dalam data mining. Dalam kedua kasus tersebut yang perlu dilakukan yaitu menginputkan nilai k untuk mengambil label dari data-data yang terdekat dengan data training. Data dikelompokan berdasarkan label data yang terbanyak terdekat dengan data tetangga lainnya. Nilai dari k berupa bilangan bulat positif. K-NN untuk menghasilkan prediksi tanpa melakukan pembentukan model terlebih dahulu (*lazy learning*).

## 3 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini mengaplikan *wireless sensor network* untuk sistem *monitoring* kualitas udara. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan terdiri dari beberapa tahapan. Yang dilakukan pertama kali yaitu analisa kebutuhan, kemudian perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, kemudian implementasi dan pengujian.



Gambar 1. Alur Penelitian

### 3.1 Analisa Kebutuhan

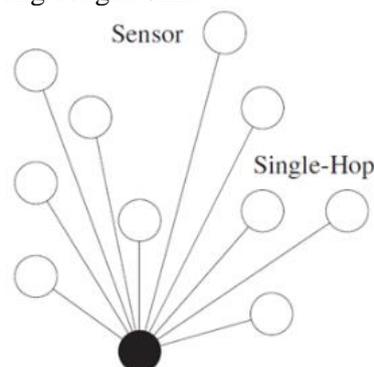
Dilakukan kebutuhan dari *wireless sensor network*. Perancangan arsitektur sistem, terdiri dari perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Terakhir melakukan implementasi dan pengujian. Penelitian ini akan mengaplikasikan konsep *wireless sensor network* untuk sistem *monitoring* dan klasifikasi kualitas udara, yang dimana terdapat perangkat yang dibangun untuk melakukan pemantauan tingkat kadar karbonmonoksida (CO), ozon (O3), dan partikulat di udara (PM10). Kemudian dari hasil pemantauan (sensing) tersebut akan dilakukan klasifikasi kualitas udara lingkungan tersebut, apakah baik, sedang, atau tidak sehat. Pengkalsifikasian yang diterapkan yaitu menggunakan konsep klasifikasi pada data mining menggunakan metode *K-Nearest Neighbor*. Pengujian yang dilakukan diantaranya analisis penggunaan SRAM dan *flash memory* pada node sensor, jarak pengiriman data NRF24L01, penanganan terhadap kehilangan data ketika node sensor tidak dapat mengakses sink untuk mengirimkan data hasil sensing, dan pengujian tingkat akurasi sistem klasifikasi yang dihasilkan oleh sistem. Dibawah ini contoh data yang digunakan untuk menjadi data latih pada proses klasifikasi.

**Tabel 2. Beberapa sample data train kualitas udara**

Data ke-	CO	O3	PM.10	Label
1	809.71	17.41	57.10	sedang
2	854.31	17.28	45.05	baik
3	1029.92	17.28	67.78	sedang
4	868.14	25.54	43.70	baik
5	912.83	24.70	18.46	baik
6	1537.37	24.64	65.64	sedang
7	920.86	29.69	48.48	baik
8	663.59	30.42	85.59	sedang
9	1775.97	16.98	26.42	baik
10	1789.44	18.05	108.25	sedang
11	1629.17	25.55	20.78	baik
12	641.74	19.10	50.99	sedang
13	12742.86	267.43	193.64	tidak sehat
14	14559.46	289.31	186.20	tidak sehat
15	11911.13	240.64	160.85	tidak sehat
16	7846.54	80.19	142.21	sedang
17	5671.38	116.26	120.32	sedang
18	5832.42	52.30	145.37	sedang
19	3744.72	260.52	172.53	tidak sehat
20	1692.54	282.80	179.20	tidak sehat
21	1800.27	217.74	57.28	sedang
22	3499.22	197.66	36.43	sedang
23	11391.79	144.11	195.23	tidak sehat
24	12618.64	166.40	214.82	tidak sehat
25	6608.48	193.24	24.16	sedang
26	9962.64	156.38	36.21	sedang
27	2033.20	144.13	158.52	tidak sehat
28	1041.42	75.69	148.23	sedang
29	3904.67	66.90	27.43	baik
30	3487.27	41.39	43.80	baik
31	2175.58	40.68	48.69	baik

**3.2 Perancangan arsitektur**

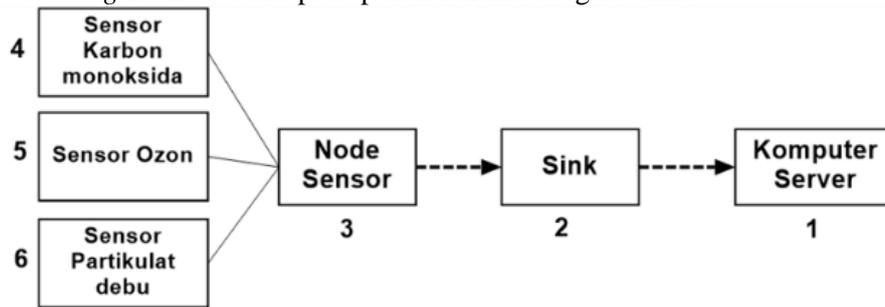
Pada sistem *wireless sensor network* ini yang diterapkan menggunakan topologi star. Topologi star, hanya memiliki satu base station (sink) yang akan mengumpulkan data hasil sensing oleh beberapa node sensor yang terhubung langsung dengan sink.



**Gambar 2. Topologi Star**

### 3.3 Perancangan arsitektur

Sistem *monitoring* kualitas udara pada penelitian ini sebagai berikut.



**Gambar 3. Arsitektur perancangan perangkat keras.**

Perancangan perangkat keras yang dibutuhkan dari setiap komponen utama pada sistem WSN penelitian ini. Dari arsitektur diatas terlihat 3 perangkat utama dalam sistem WSN, dibawah ini, yaitu

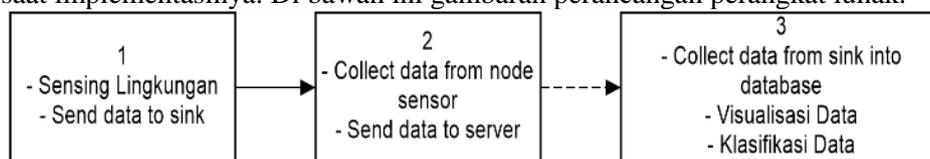
**Node Sensor**, perancangan perangkat keras pada node sensor berupa perangkat mikrokontroler yang akan melakukan pemantauan atau sensing berupa tingkat kadar gas karbon monoksida (CO), ozon (O3), dan partikulat (PM10) di udara. Komponen yang digunakan pada node sensor yaitu papan arduino untuk menyimpan kode sumber program, sensor MQ-7 untuk melakukan sensing CO, sensor MQ-131 untuk melakukan sensing O3, sensor sharp GP2Y1010AU0F untuk melakukan *sensing* PM10, dan modul NRF24L01 digunakan untuk berkomunikasi dengan *base station*.

**Sink**, perangkat keras pada *sink* menggunakan mini komputer yang akan menerima dan mengumpulkan data sementara dari setiap node sensor yang mengirimkan data berupa nilai CO, O3, dan PM10 sebelum dikirim ke komputer *server*. Komponen yang digunakan pada sink yaitu papan Raspberry pi 3 model B yang telah dilengkapi modul wifi pada boardnya. Modul wifi tersebut akan digunakan untuk berkomunikasi dengan komputer server guna mengirimkan data kualitas udara. Kemudian pada sink terdapat modul NRF24L01 yang digunakan untuk berkomunikasi untuk menerima data dari node sensor.

**Server**, server pada sistem WSN ini digunakan untuk menampilkan visualisasi data hasil *monitoring* pada sistem WSN dan menampilkan hasil klasifikasi berdasarkan data yang diterima dari sink.

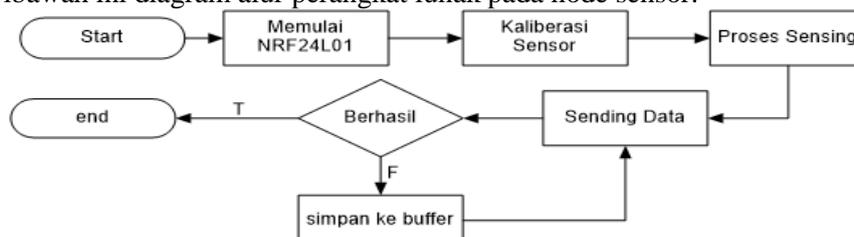
### 3.4 Perancangan perangkat lunak

Perancangan perangkat lunak yang akan digunakan sebagai acuan yang disesuaikan dengan kebutuhan saat implementasinya. Di bawah ini gambaran perancangan perangkat lunak.



**Gambar 4. Perancangan perangkat lunak**

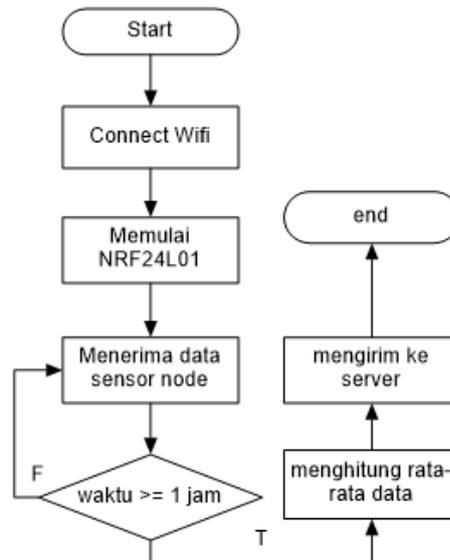
**Node sensor**, perangkat lunak pada node sensor yaitu untuk melakukan sensing nilai dari parameter CO, O3, dan PM10. Setelah melakukan sensing data, kemudian data tersebut akan dikirimkan ke sink untuk dikumpulkan sementara di sink dengan menggunakan radio frekuensi via modul NRF24L01. Dibawah ini diagram alur perangkat lunak pada node sensor.



**Gambar 5. Flowchart program sensor node**

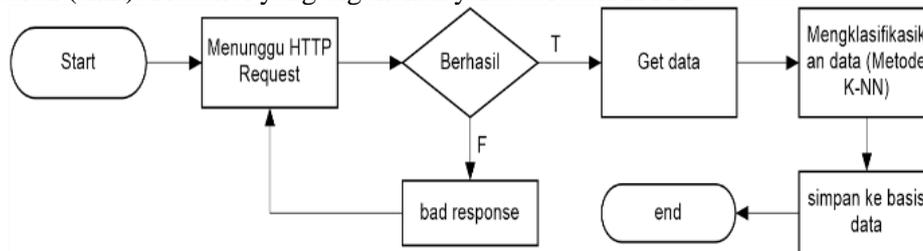
**Sink**, perangkat lunak pada sink akan menerima data yang dikirimkan oleh node sensor, kemudian mengumpulkannya dalam jangka waktu tertentu (dalam penelitian ini jangka waktunya 1 jam) sebelum

dikirimkan ke *server* menggunakan jaringan TCP/IP. Dibawah ini diagram alur perangkat lunak pada sink.



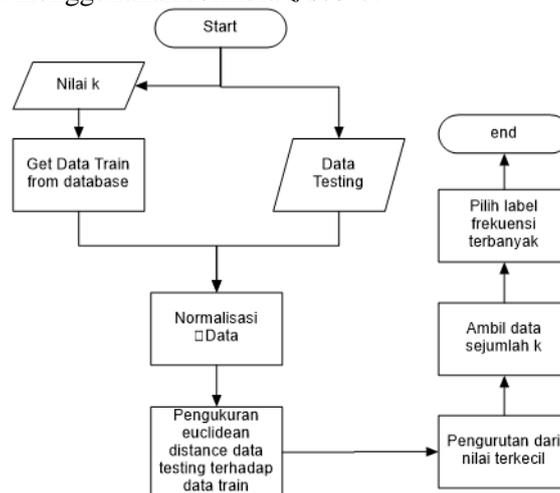
**Gambar 6. Flowchart instruksi program pada sink**

**Server**, perangkat lunak pada server yaitu menerima data dari kualitas udara dari sink. Setelah menerima data dari sink, server akan langsung melakukan klasifikasi data yang diterima, kemudian memasukan data dan hasil klasifikasinya ke dalam basis data yang tersedia di server. Pada komputer server akan menampilkan visualisasi kualitas udara. Klasifikasi yang dilakukan menggunakan metode K-Nearest Neighbor (K-NN). Dibawah ini diagram alur proses penerimaan data oleh komputer server dari base station (sink). Protokol yang digunakan yaitu berbasis HTTP.



**Gambar 7. Flowchart penerimaan data pada server**

Setelah menerima data pada server, kemudian dilakukan pengklasifikasian data menggunakan algoritma K-NN (*K-Nearest Neighbor*). Dibawah ini diagram alur proses klasifikasi yang dilakukan. Untuk pengukuran jarak pada algoritma K-NN dalam penelitian ini menggunakan *euclidean distance*. Sebelum data dilakukan perhitungan jarak, data train dan data yang akan diklasifikasikan dilakukan normalisasi terlebih dahulu menggunakan formula *z-score*.

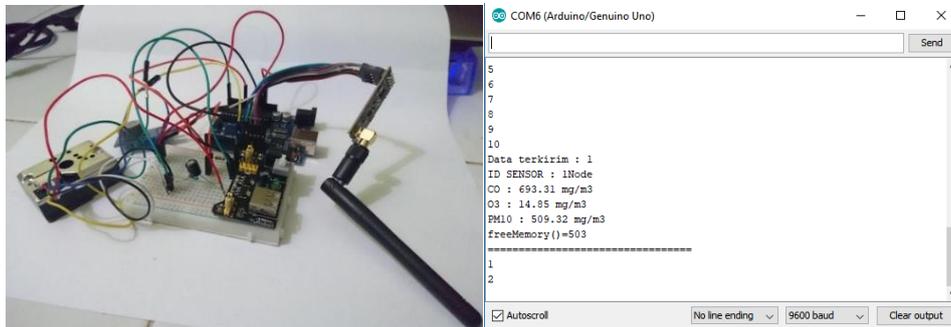


**Gambar 8. Flowchart klasifikasi data pada server menggunakan K-NN**

Normalisasi digunakan untuk melakukan standarisasi skala terhadap data nilai dari setiap parameter. Pemilihan normalisasi menggunakan *Z-Score*, *Min-max*, *decimal scaling* digunakan untuk mengurangi pengaruh dari skala jangka data yang berbeda dari setiap parameter. Dari hasil ketiga normalisasi tersebut dilakukan perhitungan nilai akurasi recall dan presisi dari hasil klasifikasi yang dihasilkan.

#### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

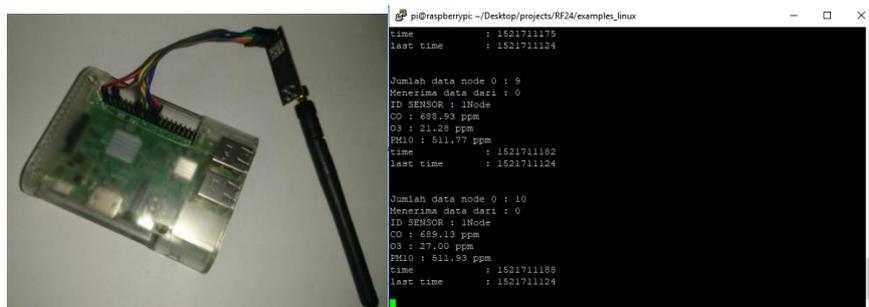
##### 4.1 Rangkaian Node Sensor



**Gambar 9. Rangkaian Node Sensor dan log pada node sensor**

Rangkaian pada *node sensor* menggunakan arduino, yang mana NRF24L01 terhubung dengan daya 3.3V, sensor MQ-7, MQ-131, dan GP2Y1010AU0F terhubung dengan daya 5V. MQ-7 terhubung dengan pin A0, MQ-131 terhubung dengan pin A3, dan GP2Y1010AU0F terhubung dengan pin A5 pada GPIO arduino uno.

##### 4.2 Rangkaian Sink (Base Station)



**Gambar 10. Rangkaian Sink dan print screen perangkat lunak pada sink**

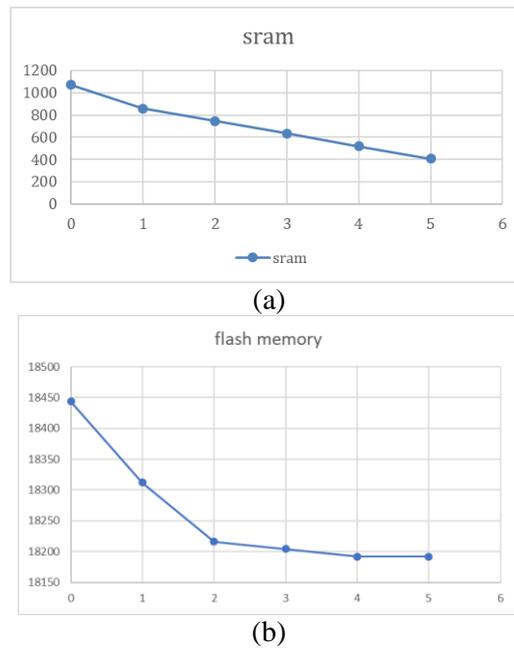
Rangkaian pada *sink* menggunakan raspberry pi 3 model 3 yang telah dilengkapi modul wifi. NRF24L01 digunakan untuk terhubung dengan *node sensor*. NRF24L01 terhubung dengan daya tegangan 3.3V pada pin raspberry pi.

##### 4.3 Pengujian penggunaan SRAM dan flash memory pada node sensor

Pengujian ini dilakukan dengan skenario, untuk mengetahui sisa penggunaan SRAM dan *flash memory* pada arduino (*node sensor*) terhadap variasi jumlah array buffer yang digunakan untuk menyimpan data ketika *node sensor* tidak dapat menjangkau atau mengirimkan data ke sink. Pengujian ini dilakukan untuk memaksimalkan penggunaan *resource* pada arduino. SRAM pada arduino UNO sebesar 2K byte dan flash memory sebesar 32K byte.

**Tabel 3. Penggunaan SRAM dan flash memory**

Jumlah array buffer	Sisa	
	sram	flash memory
0	1069	18444
1	857	18312
2	745	18216
3	633	18204
4	521	18192



**Gambar 11. (a) Grafik sisa SRAM pada arduino berbanding dengan jumlah array *buffer*; (b) Grafik sisa *flash memory* pada arduino berbanding dengan jumlah array *buffer***

Dari tabel dan grafik diatas, dapat dilihat penggunaan jumlah array buffer berpengaruh pada SRAM dan flash memory pada arduino, jumlah array *buffer* yang dapat ditampung oleh arduino yaitu maksimal 4 array, apabila mencapai atau bahkan lebih dari 4 array maka akan dapat terjadi ketidakstabilan pemrosesan intruksi pada arduino yang diakibatkan penggunaan SRAM pada arduino yang lebih dari 70%.

#### 4.4 Pengujian jarak komunikasi NRF24L01

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui jarak jangkauan modul NRF24L01 untuk melakukan pengiriman data dari *node sensor* ke *sink*. Pengujian ini dilakukan dengan skenario memvariasikan jarak antara *node sensor* dan *sink*, dan buffer array yang terisi, jumlah array buffer yang diinisialisasi berjumlah 3 (d disesuaikan dengan pengujian sebelumnya pada tabel. penggunaan SRAM dan *flash memory*). Dengan asumsi apabila buffer terisi dan kemudian dikirim setelah beberapa saat maka pengiriman dinyatakan tidak stabil, apabila buffer tidak terisi sama sekali maka jaringan dinyatakan stabil, dan apabila semua dari *buffer* terisi dan tetap tidak melakukan pengiriman maka dinyatakan gagal terkirim.

**Tabel 4. pengukuran jarak NRF24L01**

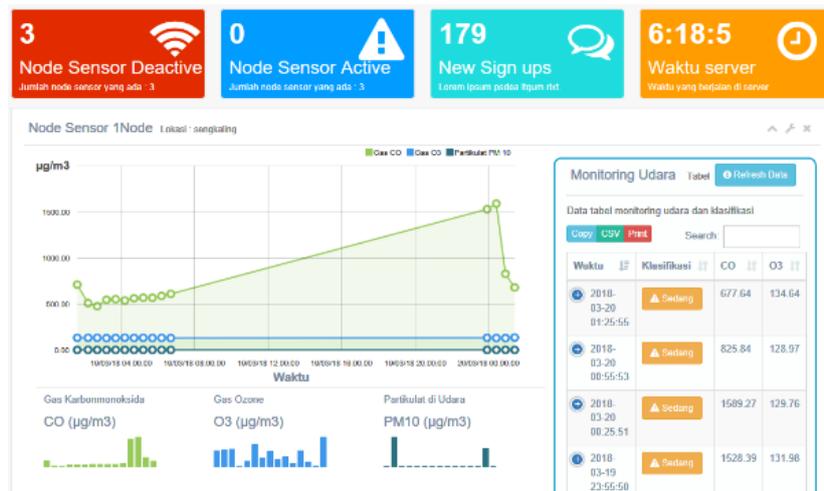
Jarak (m)	maksimal buffer yang terisi	keterangan
5	0	terkirim
10	0	terkirim
15	0	terkirim
20	0	terkirim
25	0	terkirim
30	1	tidak stabil
35	2	tidak stabil
40	2	tidak stabil
45	3	gagal terkirim

Pada tabel diatas dapat dilihat pada jarak kurang dari 30 meter, pengiriman data dari *node sensor* ke *sink* berhasil. Kemudian pengujian dari jarak 30 sampai kurang dari 40 meter pengiriman data tidak stabil. Kemudian pada saat jarak lebih dari atau sama dengan 45 meter pengiriman data tidak dapat dilakukan.

#### 4.5 Pengujian kehilangan data (missing data handling)

Pengujian ini dilakukan untuk menangani data yang tidak dapat dikirimkan untuk dikumpulkan ke *sink* saat *sink* tidak dapat dijangkau atau diakses oleh node sensor, yang dapat diakibatkan karena ketidak stabilan jaringan antara *node sensor* dan *sink* menggunakan modul nRF24L01. Skenario pengujiannya, node sensor akan melakukan proses *sensing* sampai jumlah *record* data tertentu (dalam penelitian ini dibuat sampai 10 data). Kemudian 10 data tersebut akan dicari nilai rata-ratanya (hal ini dilakukan untuk memaksimalkan pemrosesan intruksi pada arduino), kemudian dikirimkan ke *sink*, apabila *sink* tidak dapat diakses oleh *node sensor*, maka data tersebut akan disimpan ke dalam array *buffer*, hal tersebut dimaksudkan agar data tidak hilang saat *sink* tidak dapat diakses oleh *node sensor*. Jumlah array yang digunakan sejumlah 3 array (d disesuaikan dengan pengujian sebelumnya pada tabel 4.1. penggunaan SRAM dan *flash memory*). Apabila data yang terdapat pada array buffer telah mencapai 4 data, dan data *sensing* oleh node sensor selanjutnya *sink* masih tidak dapat diakses, maka data pada array buffer yang lama akan diganti dengan data *sensing* yang baru. Saat *node sensor* dapat mengakses sink, maka semua array pada buffer akan langsung dikirimkan oleh *node sensor* ke *sink*. Pengujian fungsi dari buffer dapat dilihat pada tabel 4.2. pengukuran jarak NRF24L01.

#### 4.6 Visualisasi data



Gambar 12. visualisasi data pada server.

Gambar diatas merupakan visualiasi data pemantauan kualitas udara dengan parameter nilai karbonmonoksida(CO), ozon(O<sub>3</sub>), partikulat debu (PM10), dan hasil klasifikasi kualitas udaranya yang merupakan hasil pemantauan yang didapatkan oleh *node sensor*.

#### 4.7 Pengujian klasifikasi kualitas udara

Tabel 5. Akurasi, presisi, dan recall yang dihasilkan sistem dengan normalisasi z-score

		true			Precision
		baik	sedang	tidak sehat	
Prediksi	baik	25	2	0	92,59%
	sedang	0	22	0	100,00%
	tidak sehat	0	0	18	100,00%
recall		100,00%	91,67%	100,00%	

Tabel diatas merupakan hasil klasifikasi kualitas udara oleh sistem, data didapatkan dari dinas lingkungan hidup beberapa daerah di indonesia dengan jumlah 367 data. Data tersebut dibagi menjadi 300 data latih (*training*) dan 67 data pengujian (*testing*) dengan menggunakan metode klasifikasi K-Nearest Neighbor (K-NN). Kemudian uji hasil klasifikasinya dengan mengetahui tingkat akurasi, presisi (*precision*), dan *recall*nya. Didapatkan tingkat akurasinya sebesar 97,01% antara hasil prediksi oleh sistem dan hasil klasifikasi sebenarnya. Tingkat *precision* yang dihasilkan oleh sistem untuk “baik” sebesar 92,59%, “sedang” sebesar 100%, dan “tidak sehat” sebaesar 100%. Dan untuk keberhasilan menemukan informasi (*recall*) untuk “baik” sebesar 100%, “sedang” sebesar 91,67%, dan “tidak sehat” sebesar 100%.

**Tabel 6. Akurasi, presisi, dan recall yang dihasilkan sistem dengan normalisasi *min-max***

Akurasi = 95,52%		true			Precision
		baik	sedang	tidak sehat	
Prediksi	baik	25	3	0	89,29%
	sedang	0	21	0	100,00%
	tidak sehat	0	0	18	100,00%
recall		100,00%	87,50%	100,00%	

Tabel diatas merupakan hasil klasifikasi kualitas udara oleh sistem, Kemudian mengetahui tingkat akurasi, presisi (*precision*), dan *recall*nya. Didapatkan tingkat akurasinya sebesar 95,52% antara hasil prediksi oleh sistem dan hasil klasifikasi sebenarnya. Tingkat *precision* yang dihasilkan oleh sistem untuk “baik” sebesar 89,29%, “sedang” sebesar 100%, dan “tidak sehat” sebaesar 100%. Dan untuk keberhasilan menemukan informasi (*recall*) untuk “baik” sebesar 100%, “sedang” sebesar 87,50%, dan “tidak sehat” sebesar 100%.

**Tabel 7. Akurasi, presisi, dan recall yang dihasilkan sistem dengan normalisasi *decimal scaling***

Akurasi = 95,52%		true			Precision
		baik	sedang	tidak sehat	
Prediksi	baik	25	3	0	89,29%
	sedang	0	21	0	100,00%
	tidak sehat	0	0	18	100,00%
recall		100,00%	87,50%	100,00%	100,00%

Tabel diatas merupakan hasil klasifikasi kualitas udara oleh sistem. Didapatkan tingkat akurasinya sebesar 95,52% antara hasil prediksi oleh sistem dan hasil klasifikasi sebenarnya. Tingkat *precision* yang dihasilkan oleh sistem untuk “baik” sebesar 89,29%, “sedang” sebesar 100%, dan “tidak sehat” sebaesar 100%. Dan untuk keberhasilan menemukan informasi (*recall*) untuk “baik” sebesar 100%, “sedang” sebesar 87,50%, dan “tidak sehat” sebesar 100%.

## 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan implementasi pada penelitian ini tentang aplikasi *wireless sensor network* untuk sistem *monitoring* dan klasifikasi kualitas udara, dapat disimpulkan beberapa pernyataan seperti dibawah ini, diantaranya :

1. Aplikasi *wireless sensor network* yang diterapkan sebagai sistem monitoring dan klasifikasi kualitas udara dirancang dengan menggunakan sensor MQ-7 untuk mengetahui tingkat kadar CO, MQ-131 untuk mengetahui tingkat kadar O<sub>3</sub> dan GP2Y1010AUOF untuk mengetahui tingkat partikulat debu, modul NRF24L01 untuk komunikasi *wireless node sensor* ke sink, dan menggunakan protokol HTTP untuk sink mengirimkan data ke server.
2. Pengujian jarak pengiriman NRF24L01 dilakukan untuk mengetahui jarak maksimal pengiriman data, pada penelitian ini didapatkan jarak jangkauan maksimal yaitu 40 meter, hasil ini berbeda dengan yang tertera dalam *datasheet*nya jarak jangkauannya dapat sampai 1000 meter. Untuk menangani *missing data* menggunakan *buffer* untuk menyimpan data sementara saat node sensor tidak dapat mengakses sink untuk mengirimkan data hasil *sensing*.
3. Sistem klasifikasi yang diterapkan untuk menetapkan label kualitas udara pada penelitian ini menggunakan metode K-Nearest Neighbor (K-NN). Hasil akurasi klasifikasi oleh sistem didapatkan dengan variasi normalisasi yang dilakukan. Dengan normalisasi *z-score* memiliki tingkat akurasi, presisi, dan recall yang tinggi dibandingkan normalisasi *min-max* dan *decimal scaling*. Akurasi yang didapatkan *z-score* 97.01%, presisinya 97.53%, dan nilai *recall* 97.22%.

## REFERENSI

- Astuti, Tri, Tadjudin Parenta, and Hamid Paddu. 2013. “Peranan Kegiatan Industri Pengolahan Terhadap Pencemaran Lingkungan Di Sulawesi Selatan.” *Universitas Hasanudin, Makasar* 3(1): 49–56.
- Budi, Herry et al. 2016. “APLIKASI WIRELESS SENSOR NETWORK ( WSN ) SEBAGAI SISTEM.” 1(1): 101–10.

- Ferdoush, Sheikh, and Xinrong Li. 2014. “Wireless Sensor Network System Design Using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications.” *Procedia Computer Science* 34: 103–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2014.07.059>.
- Muhammad, Iwan, Bambang Sugiarto, and Indra Sakti. 2009. “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Teknologi Wireless Sensor Network ( WSN ).” *Inkom III*(1): 90–96.
- PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 41 TAHUN 1999 TENTANG PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA*. 1999. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1999 Nomor 86.
- Pule, Mompoloki, Abid Yahya, and Joseph Chuma. 2017. “Wireless Sensor Networks: A Survey on Monitoring Water Quality.” *Journal of Applied Research and Technology* 15(6): 562–70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jart.2017.07.004>.
- Saoudi, Massinissa, Reinhardt Euler, Tahar Kechadi, and Alfredo Cuzzocrea. 2016. “Energy-Efficient Data Mining Techniques for Emergency Detection in Wireless Sensor Networks.” *2016 Intl IEEE Conferences on Ubiquitous Intelligence Computing, Advanced and Trusted Computing, Scalable Computing and Communications, Cloud and Big Data Computing, Internet of People, and Smart World Congress (UIC/ATC/ScalCom/CBDCOM/IoP/SmartWorld)*: 766–71.
- Sohraby, Kazem, Daniel Minoli, and Taieb Znati. 2007. Books.google.com *Wireless Sensor Networks*. <http://www.amazon.com/Wireless-Sensor-Networks-Technology-Applications/dp/0471743003%5Cnhttp://doi.wiley.com/10.1002/047011276X>.
- Sugiarto, Bambang, and Rika Sustika. 2016. “Data Classification for Air Quality on Wireless Sensor Network Monitoring System Using Decision Tree Algorithm.” *2016 2nd International Conference on Science and Technology-Computer (ICST)*: 172–76.
- Supraptini, Supraptini. 2002. “Pengaruh Limbah Industri Terhadap Lingkungan Di Indonesia.” *Media Penelitian dan Pengembangan Kesehatan* 12(2 Jun): 10–19. <http://ejournal.litbang.depkes.go.id/index.php/MPK/article/view/1063%5Cnhttp://ejournal.litbang.depkes.go.id/index.php/MPK/article/viewFile/1063/563>.
- Xu, Yang, and Fugui Liu. 2017. “Application of Wireless Sensor Network in Water Quality Monitoring.” *22017 IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC)*: 368–71. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8006031/>.