

PERANCANGAN SISTEM KOMUNIKASI DAN PENGOLAHAN DATA PADA MONITORING KUALITAS UDARA

Design of Communication System and Data Processing on Air Quality Monitoring

Bagus Yoga Permana Putra¹, Andrian Rakhmatsyah, ST., MT.², Sidik Prabowo, ST., MT.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Informatika, Fakultas Informatika, Universitas Telkom
yogapermana1994@gmail.com¹, kangandrian@telkomuniversity.ac.id²,
pakwowo@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Di Indonesia terdapat Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) yang memberi informasi tentang kualitas udara yang ada. Beberapa partikel yang menjadi sumber polusi yaitu Karbon Monoksida (CO), Sulfur Dioksida (SO₂), Nitrogen Dioksida (NO₂), Ozon Permukaan (O₃), Partikel Debu (PM₁₀). Untuk dapat memonitoring kualitas udara tersebut, dibangun prototipe monitoring kualitas udara. Implementasi prototipe monitoring kualitas udara dengan membuat 2 buah station yang berisi sensor MQ-7 sebagai pendeteksi karbon monoksida (CO), sensor MQ-135 pendeteksi karbon dioksida (CO₂), sensor SHARP GP2Y1010AU0F sebagai pendeteksi debu, mikrokontroler arduino, dan modul radio NRF24L01 sebagai perangkat komunikasi yang merepresentasikan setiap id station yang ada. Untuk gateway menggunakan Raspberry pi 3 model B. Data yang diperoleh dari sensing sensor dikirim via Wi-fi dan ditampilkan ke dalam dashboard domoticz sebagai dashboard dan database lokal dan freeboard.io sebagai web dashboard yang dapat diakses semua orang. Dari hasil pengujian sistem komunikasi, modul NRF24L01 hanya dapat menerima data maksimal pada jarak 6 meter pada kondisi tak berpenghalang dan 3 meter pada kondisi berpenghalang, hal tersebut dikarenakan sinyal NRF24L01 terganggu oleh jaringan dan sinyal lain yang ada di lokasi. Hasil pengujian nilai kualitas udara rata-rata selama 2 jam di kantin teknik yaitu : CO = 44,28 masuk dalam kategori ISPU BAIK, CO₂ = 671,68 masuk dalam kategori pekat dan berbau. Sedangkan di tempat parkir sepeda motor adalah : CO = 51,72 masuk dalam kategori ISPU SEDANG, PM₁₀ = 18,68 masuk dalam kategori ISPU BAIK.

Kata kunci : ISPU, sensor, NRF24L01, freeboard.io, domoticz.

Abstract

In Indonesia there is a Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) that provides information about the air quality that exists. Some of the particles that are the source of pollution are Carbon Monoxide (CO), Sulfur Dioxide (SO₂), Nitrogen Dioxide (NO₂), Ozone Surface (O₃), Dust Particle (PM₁₀). To be able to monitor the air quality, built a prototype of air quality monitoring. Implementation of air quality monitoring prototype by making 2 stations containing MQ-7 sensor as carbon monoxide (CO) detector, MQ-135 detector carbon dioxide (CO₂) detector, SHARP GP2Y1010AU0F sensor as dust detector, arduino microcontroller and radio communication module NRF24L01 that representaion of station id. For the gateway using Raspberry pi 3 model B. Data obtained from sensing sensor, sent via Wi-fi and displayed into dashboard domoticz as dashboard and local database and freeboard.io as web dashboard that can be accessed by everyone. From the communication system test results, the NRF24L01 module can only receive maximum data at a distance of 6 meters under unavoidable conditions and 3 meters under hindered conditions because of interferemce from other signals. The test results of the average air quality value for 2 hours in the cafeteria technique are: CO = 44.28 included in the GOOD category , CO₂ = 671.68 entered in stiffness and odors category. While in the parking lot of motorcycles are: CO = 51,72 enter in MODERATE category, PM₁₀ = 18,68 enter in GOOD category.

Keywords: ISPU, sensor, NRF24L01, freeboard.io, domoticz.

1. Pendahuluan

Lingkungan universitas adalah salah satu tempat yang harus dijaga kebersihan dan kenyamanannya karena di situlah tempat proses belajar mengajar untuk suatu pendidikan tertentu. Salah satu faktor yang mempengaruhi kenyamanan adalah kualitas udara di lingkungan tersebut. Di Universitas Telkom belum terdapat suatu sistem yang dapat memonitor kualitas dan menyajikan data indeks ISPU dan tingkat kualitas udara. Hal ini diperlukan untuk menambah kenyamanan orang yang berada di lingkungan Universitas Telkom karena dapat mengetahui kualitas udaranya secara *real time*.

Pada tugas akhir ini dibuat sebuah sistem *monitoring* udara berbasis *Wireless Sensor Network* yang terdiri dari sensor, *gateway*, *server* dan aplikasi. Sistem komunikasi dari beberapa komponen tersebut juga telah dibangun agar data dapat diolah dan terkoneksi satu sama lain, sampai akhirnya dapat ditampilkan kepada *end-*

user. Perancangan ini diharapkan menjadi solusi karena para pengguna dapat dengan mudah mengakses dengan *website* dan *smartphone* mereka dan mengetahui tingkat kualitas udara di sekitar mereka.

2. Dasar Teori

2.1 Wireless Sensor Network

Wireless Sensor Network (WSN) adalah salah satu jenis jaringan nirkabel terdistribusi yang memanfaatkan teknologi *embedded system* (sistem tanam) dan sekumpulan node sensor untuk melakukan proses *sensing*, *monitoring*, pengiriman data dan penyajian informasi ke pengguna melalui komunikasi jaringan internet. Sensor memiliki banyak jenis antara lain sensor udara, sensor temperatur, sensor gerak, sensor tekanan, sensor radiasi, sensor posisi, dan lain-lain. Setiap sensor juga memiliki perangkat lunak (aplikasi, sistem operasi) dan perangkat keras masing-masing yang akan dijalankan menjadi sebuah sistem *Wireless Sensor Network* [1].

2.2. Karbon Monoksida (CO)

Karbon Monoksida (CO) adalah gas yang tak berwarna, tak berbau, dan tak berasa. Ia terdiri dari satu atom karbon yang secara kovalen berikatan dengan satu atom oksigen. Dalam ikatan ini, terdapat dua ikatan kovalen dan satu ikatan kovalen koordinasi antara atom karbon dan oksigen [2]. Gas CO sebagian besar berasal dari sisa pembakaran dan emisi dan kendaraan bermotor. Gas CO sangat berbahaya apabila terhirup oleh manusia, terutama masalah pernapasan bahkan dapat menyebabkan kematian. Sensor CO yang digunakan pada sistem ini adalah sensor MQ-7.

2.3. Particulate Matter (PM)

Particulate matter (PM) adalah istilah untuk partikel padat atau cair yang ditemukan di udara [3]. Partikel dengan ukuran besar atau cukup gelap dapat dilihat sebagai jelaga atau asap. Sedangkan partikel yang sangat kecil dapat dilihat dengan mikroskop *electron*. Partikel berasal dari berbagai sumber baik *mobile* dan stasioner (diesel truk, *woodstoves*, pembangkit listrik, dan lain lain). Sensor PM yang digunakan pada sistem ini adalah sensor Sharp GP2Y1010AU0F.

2.4. Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon Dioksida (CO₂) adalah gas tak berwarna dengan kerapatan sekitar 60% lebih tinggi dari pada udara (1,225 g / L) yang tidak berbau pada konsentrasi yang biasanya ditemui. Karbon dioksida terdiri dari karbon atom kovalen ganda terikat ke dua oksigen atom. Ini terjadi secara alami di atmosfer bumi sebagai gas jejak dengan konsentrasi sekitar 0,04 persen (400 ppm) menurut volume. Untuk deteksi CO₂ pada sistem ini menggunakan sensor MQ-135. Berikut adalah tingkat normal kada CO₂ pada ruangan terbuka :

- Tingkat luar normal: 350 - 450 ppm
- Tingkat yang dapat diterima: <600 ppm
- Keluhan kekakuan dan bau: 600 - 1000 ppm
- Standar ASHRAE dan OSHA: 1000 ppm
- Kantuk umum: 1000 - 2500 ppm
- Efek kesehatan yang merugikan mungkin diharapkan: 2500 - 5000 ppm
- Konsentrasi maksimum yang diizinkan dalam jangka waktu 8 jam kerja: 5000 - 10000 ppm
- Konsentrasi maksimum yang diizinkan dalam jangka waktu 15 menit : 30000 ppm

Tingkat di atas cukup normal dan tingkat maksimum kadang kala terjadi dari waktu ke waktu. Secara umum - tingkat ventilasi harus menjaga konsentrasi karbon dioksida di bawah 1000 ppm untuk menciptakan kondisi kualitas udara dalam ruangan yang dapat diterima oleh kebanyakan individu [4].

2.5. Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)

Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) adalah standar untuk laporan kualitas udara kepada masyarakat. Dalam ISPU terdapat skala untuk menerangkan tingkat kualitas udara dan dampaknya bagi kesehatan bagi makhluk hidup. ISPU ditetapkan berdasarkan 5 pencemar yaitu Karbon Monoksida (CO), Sulfur Dioksida (SO₂), Nitrogen Dioksida (NO₂), Ozon Permukaan (O₃), Partikel Debu (PM₁₀). Di Indonesia ISPU diatur berdasarkan Keputusan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal) Nomor KEP-107/Kabapedal/11/1997 [5]. Berikut adalah tabel skala dan kategori kualitas udara dalam ISPU :

Tabel 1. Indeks Standar Pencemaran Udara^[5]

Indeks ISPU	Kategori
0 – 50	BAIK
51 – 100	SEDANG
101 – 199	TIDAK SEHAT
200 – 299	SANGAT TIDAK SEHAT
300 – 500	BERBAHAYA

Rumus untuk melakukan penghitungan ISPU adalah sebagai berikut [5] :

$$I = \frac{Ia - Ib}{Xa - Xb} (Xx - Xb) + Ib \tag{2.1}$$

- I = ISPU terhitung
- Ia = ISPU batas atas
- Ib = Ispu batas bawah
- Xa = Ambien batas atas
- Xb = Ambien batas bawah
- Xx = Kadar ambien nyata hasil pengukuran

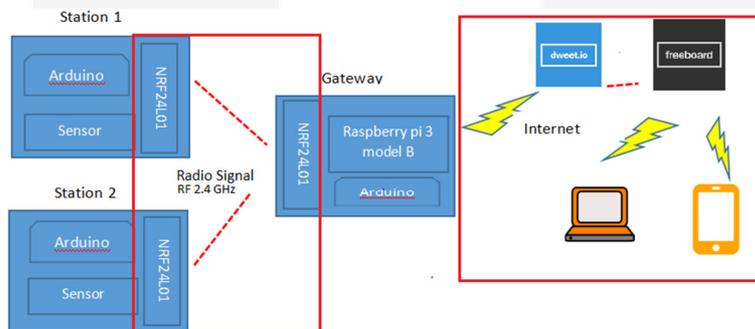
3. Pembahasan

3.1. Perancangan Sistem

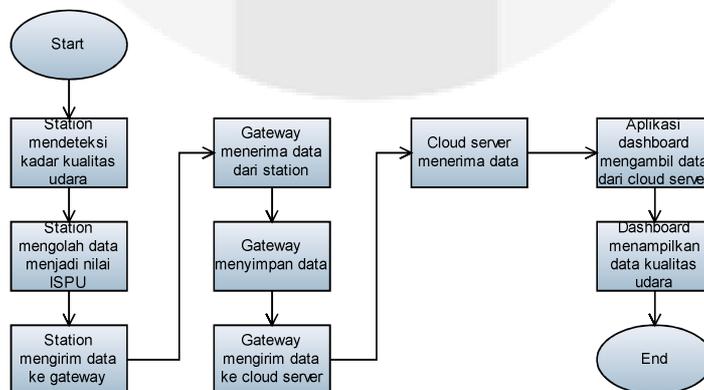
Perancangan sistem ini yaitu dengan membuat 2 buah prototype *station* untuk *monitoring* kualitas udara. Station 1 berisi sensor MQ-7, sensor MQ-135, Arduino Nano, dan NRF24L01. Untuk station 2 berisi sensor MQ-7, sensor *dust* Sharp GP2Y1010AU0F, Arduino Nano, dan NRF24L01. Pembuatan 2 buah station dilakukan dengan tujuan untuk membuktikan bahwa sistem dapat berjalan secara multi-station dan multi-node sensor. Penambahan node sensor dan station juga dapat dilakukan apabila dibutuhkan, dengan cara me-replikasi framework dari station yang ada dan mengganti Id station dengan yang baru. Dua *station* tersebut melakukan *sensing* untuk mendapatkan data kualitas udara dan mengkonversinya ke dalam satuan ISPU. Setelah mendapatkan data, data tersebut dikirim melalui jaringan *radio frequency* menggunakan perangkat NRF24L01 ke dalam sebuah *box gateway* yang berisi Raspberry pi 3 Model B, Arduino Nano, NRF24L01. Gateway ini berfungsi sebagai perantara untuk meneruskan transmisi data sebelum ke *cloud server*, gateway juga dapat digunakan sebagai tempat menyimpan log data. Di dalam Raspberry pi 3 diinstall sebuah *interface* yang bernama Domoticz yang berfungsi sebagai visualisasi data dan penyimpanan log data. Data yang didapat di gateway akan diteruskan ke *cloud server* bernama dweet.io menggunakan jaringan Internet melalui modul Wi-Fi yang ada pada Raspberry pi 3 Model B. Visualisasi data untuk user menggunakan aplikasi dashboard bernama Freeboard.io. Freeboard.io berfungsi untuk mengambil data dari dweet.io dan menampilkannya pada dashboard.

Pembahasan pada tugas akhir ini hanya yang diberi tanda kotak berwarna merah yaitu sistem komunikasi, pengolahan data menjadi ISPU dan visualisasi pada aplikasi *dashboard*.

Berikut adalah rangkaian sistem :



Gambar 1. Rangkaian Sistem



Gambar 2. Flowchart Sistem

3.2. Skenario Pengujian

3.2.1. Pengujian Sistem Komunikasi

Pengujian yang pertama dilakukan hanya untuk memastikan koneksi antar NRF24L01 sudah terkoneksi atau belum. *Station* dan *gateway* diletakkan dalam jarak dekat yaitu 3 meter. Untuk pengujian komunikasi dari *gateway* ke *cloud server* hanya meng-koneksikan modul Wi-Fi di Raspberry pi 3 model B dengan jaringan Wi-Fi yang *SSID* dan *password* nya telah ditentukan. Dalam pengujian ini jaringan Wi-Fi tersebut menggunakan *tethering* via *smartphone*. Pengujian kedua adalah pengujian untuk mengetahui jarak maksimal dari modul NRF24L01 dengan 2 kondisi yaitu kondisi berpenghalang dan tidak berpenghalang.

3.2.2. Perhitungan Nilai ISPU Di Tempat Parkir Sepeda Motor Dan Kantin Teknik

Pengujian dilakukan secara bergantian di tempat parkir sepeda motor dan kantin teknik selama 2 jam. Pengujian dilakukan bertujuan untuk mengetahui kadar kualitas udara yang ada di tempat parkir sepeda motor dan kantin teknik.

3.2.3. Visualisasi Data

Pengujian dilakukan untuk mengetahui bahwa sistem sudah dapat mengirim data hingga ke *dashboard* dan dimonitor oleh user menggunakan *dashboard* dan aplikasi android. Data yang ditampilkan adalah nilai kadar kualitas dalam ISPU dan keterangan kualitas udara. Untuk mendapatkan nilai ISPU, data *raw* hasil sensing dari station diolah menggunakan rumus ISPU pada persamaan 2.1. Untuk menampilkan hasil tersebut, menggunakan sebuah aplikasi dashboard bernama Freeboard.io dan aplikasi berbasis android.

3.2.4. Pengujian Algoritma Untuk Rumus ISPU

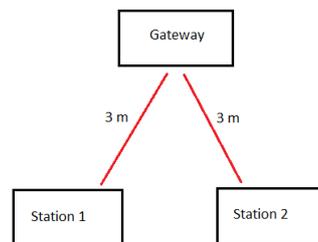
Pengujian dilakukan untuk mengetahui algoritma yang dibuat pada sistem sudah dapat menangani keseluruhan parameter ISPU yaitu BAIK, SEDANG, TIDAK SEHAT, SANGAT TIDAK SEHAT, dan BERBAHAYA. Pengujian dilakukan dengan memberikan konsentrasi zat polutan menggunakan korek api, asap rokok, dan debu dari pembakaran kertas pada sensor dengan takaran yang disesuaikan mulai dari sedikit hingga banyak.

3.3. Pengujian

3.3.1. Pengujian Sistem Komunikasi Data

1. Pengujian koneksi antara station dan gateway

Pengujian yang pertama dilakukan hanya untuk memastikan koneksi antar NRF24L01 sudah terkoneksi atau belum. *Station* dan *gateway* diletakkan dalam jarak dekat yaitu 3 meter. Pengujian tersebut berhasil, menandakan antara station dan gateway sudah dapat terkoneksi dengan benar dan sistem sudah dapat berjalan secara *multi-station*. Berikut adalah mapping pengujian pertama:



Gambar 3. Mapping pengujian pertama

Berikut adalah hasil *debug* yang dapat dilihat dari Arduino IDE, koneksi berhasil dengan ditandai status “ok”:

COM3	COM5
send: 6-6-0-0 s=255,c=3,t=15,pt=2,l=2,sg=0,st=ok:0	send: 3-3-0-0 s=255,c=3,t=15,pt=2,l=2,sg=0,st=ok:0
send: 6-6-0-0 s=255,c=0,t=17,pt=0,l=5,sg=0,st=ok:1.5.4	send: 3-3-0-0 s=255,c=0,t=17,pt=0,l=5,sg=0,st=ok:1.5.4
send: 6-6-0-0 s=255,c=3,t=6,pt=1,l=1,sg=0,st=ok:0	send: 3-3-0-0 s=255,c=3,t=6,pt=1,l=1,sg=0,st=ok:0
read: 0-0-6 s=255,c=3,t=6,pt=0,l=1,sg=0:M	read: 0-0-3 s=255,c=3,t=6,pt=0,l=1,sg=0:M
sensor started, id=6, parent=0, distance=1	sensor started, id=3, parent=0, distance=1
send: 6-6-0-0 s=255,c=3,t=11,pt=0,l=25,sg=0,st=ok:Station 2 MQ7_Dust Sensor	send: 3-3-0-0 s=255,c=3,t=11,pt=0,l=19,sg=0,st=ok:Station 1 MQ7_MQ135
send: 6-6-0-0 s=255,c=3,t=12,pt=0,l=3,sg=0,st=ok:1.0	send: 3-3-0-0 s=255,c=3,t=12,pt=0,l=3,sg=0,st=ok:1.0
send: 6-6-0-0 s=1,c=0,t=24,pt=0,l=0,sg=0,st=ok:	send: 3-3-0-0 s=0,c=0,t=22,pt=0,l=0,sg=0,st=ok:
send: 6-6-0-0 s=0,c=0,t=22,pt=0,l=0,sg=0,st=ok:	send: 3-3-0-0 s=1,c=0,t=22,pt=0,l=0,sg=0,st=ok:
Dust : 16.73	CO : 110.08
send: 6-6-0-0 s=1,c=1,t=37,pt=2,l=2,sg=0,st=ok:23	send: 3-3-0-0 s=0,c=1,t=37,pt=2,l=2,sg=0,st=ok:54
CO : 29.69	CO2 : 210.33
	send: 3-3-0-0 s=1,c=1,t=37,pt=2,l=2,sg=0,st=ok:211

Gambar 4. Debug Arduino IDE

2. Pengujian Dengan Kondisi Luar Tidak Berpenghalang

Pengujian dilakukan di lapangan depan Gedung Serbaguna Universitas Telkom. Pengujian dilakukan untuk mengetahui jarak maksimal yang dapat ditangkap antar NRF24L01. Berdasarkan *datasheet* dan referensi yang didapat pada tinjauan pustaka, jarak maksimal yang dapat ditangkap NRF24L01 adalah 60 meter. Pada pengujian ini jarak yang dapat ditangkap hanya sekitar 6 meter, pada jarak 7 meter koneksi terputus yang ditandai status “fail” pada *debug* Arduino IDE.

Hasil debug pada Arduino IDE dapat dilihat pada Gambar 5, koneksi terputus dengan ditandai status “fail”.

3. Pengujian Dengan Kondisi Luar Berpenghalang

Pengujian dilakukan di tempat parkir sepeda motor Universitas Telkom. Pengujian dilakukan untuk mengetahui jarak maksimal yang dapat ditangkap antar NRF24L01. Pada pengujian ini jarak yang dapat ditangkap hanya sekitar 3 meter, pada jarak 4 meter koneksi terputus yang ditandai status “fail” pada debug Arduino IDE.

Hasil debug pada Arduino IDE dapat dilihat pada Gambar 6, koneksi terputus dengan ditandai status “fail”.

```
send: 6-6-0-0 s=1,c=1,t=37,pt=2,l=2,sg=0,st=fail:14
CO : 28.03
Dust : 30.84
send: 6-6-0-0 s=1,c=1,t=37,pt=2,l=2,sg=0,st=fail:35
CO : 28.03
Dust : 2.62
send: 6-6-0-0 s=1,c=1,t=37,pt=2,l=2,sg=0,st=fail:12
find parent
```

Gambar 5. Debug Arduino IDE pada pengujian kedua ketiga

```
send: 6-6-0-0 s=1,c=1,t=37,pt=2,l=2,sg=0,st=fail:18
CO : 30.03
Dust : 0.96
send: 6-6-0-0 s=1,c=1,t=37,pt=2,l=2,sg=0,st=fail:10
CO : 30.03
Dust : 10.09
send: 6-6-0-0 s=1,c=1,t=37,pt=2,l=2,sg=0,st=fail:18
CO : 30.03
```

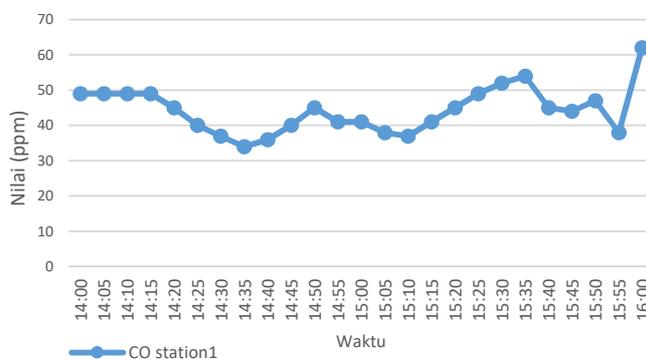
Gambar 6. Debug Arduino pada pengujian

Berdasarkan pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa jarak maksimal koneksi NRF24L01 tidak sesuai dengan *datasheet* dan referensi yang ada. Hal tersebut dapat disebabkan oleh interferensi dari sinyal lain yang ada di sekitar lokasi pengujian.

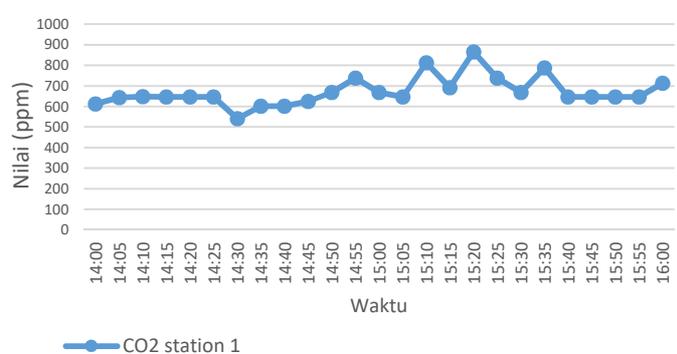
3.3.2. Perhitungan Nilai ISPU Di Tempat Parkir Sepeda Motor Dan Kantin Teknik

Pengujian pembacaan sensor dilakukan di 2 lokasi yaitu tempat parkir sepeda motor dan kantin teknik. *log* data dapat di download melalui domoticz. Data yang diakuisisi dan disimpan dalam *log* oleh domoticz adalah data yang masuk pada menit ke 5, menit ke 10, menit ke 15, dan seterusnya kelipatan 5, ini adalah rules default dari platform domoticz. Data yang terdapat pada *log* data sensor CO dan PM10 adalah angka dalam nilai ISPU, sedangkan untuk sensor CO2 adalah nilai ppm asli.

1. *Station 1* yang berisi sensor CO dan CO2 diletakkan di kantin teknik pada tanggal 25 April 2017 pukul 13.00 sampai pukul 15.00. Waktu tersebut dipilih karena pada jam tersebut lokasi sedang ramai dan banyak aktivitas memasak. *Log* data hasil pengujian hasil dari pengujian dapat dilihat pada lampiran Tabel 1 dan Tabel 2. Berikut adalah grafik dari monitoring pada *Station 1* di kantin teknik :



Gambar 7. Grafik CO pada *Station 1*

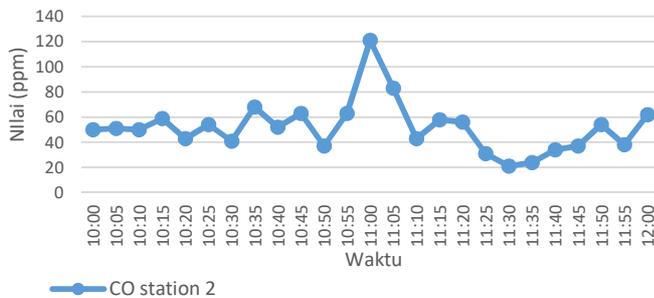


Gambar 8. Grafik CO2 pada *Station 1*

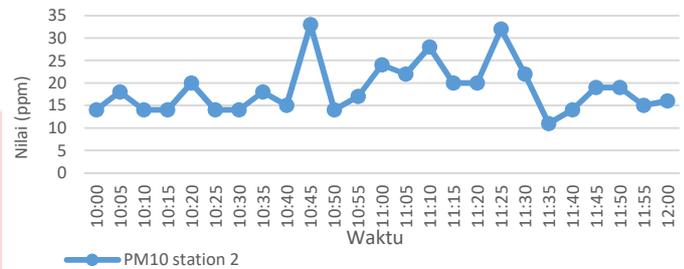
Hasil pada pengujian di kantin teknik selama 2 jam menunjukkan rata-rata nilai ISPU sensor CO adalah 44,28 dan berdasarkan parameter nilai ISPU dalam kategori BAIK. Pada sensor CO2 menunjukkan rata-rata nilai konsentrasi CO2 adalah 671,68 ppm. Data tersebut tidak dikonversi dalam satuan ISPU karena tidak terdapat

parameter CO₂ pada standar nilai ISPU. Berdasarkan referensi [4] tingkat CO₂ di lokasi kantin teknik termasuk dalam kategori pekat dan berbau.

2. *Station 2* yang berisi sensor CO dan PM₁₀ diletakkan di tempat parkir sepeda motor pada tanggal 25 April 2017 pukul 10.00 sampai pukul 12.00. Waktu tersebut dipilih karena pada jam tersebut lokasi sedang ramai keluar dan masuk sepeda motor. Log data hasil pengujian hasil dari pengujian dapat dilihat pada lampiran Tabel 3 dan Tabel 4. Berikut adalah grafik dari monitoring pada *Station 2* di tempat parkir sepeda motor:



Gambar 9. Grafik CO pada *Station 2*



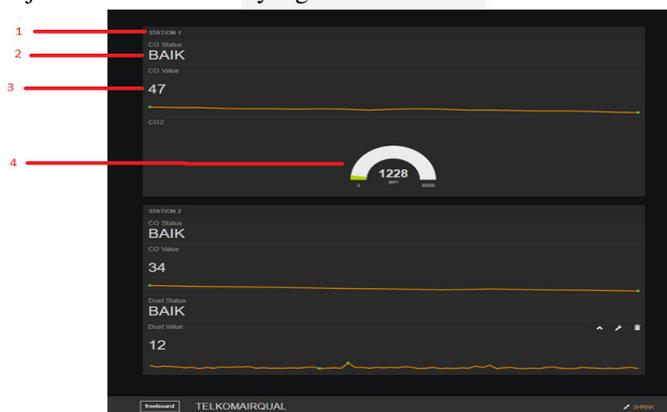
Gambar 10. Grafik PM₁₀ pada *Station 2*

Hasil pada pengujian di tempat parkir sepeda motor selama 2 jam menunjukkan rata-rata nilai ISPU sensor CO adalah 51,72 dan berdasarkan parameter nilai ISPU dalam kategori SEDANG. Nilai CO di tempat parkir sepeda motor sedikit lebih tinggi daripada di kantin teknik karena CO lebih banyak dihasilkan dari emisi kendaraan bermotor di tempat parkir. Pada sensor PM₁₀ menunjukkan rata-rata nilai ISPU sensor PM₁₀ sebesar 18,68 dan berdasarkan parameter nilai ISPU dalam kategori BAIK.

3.3.3. Visualisasi Data

1. Freeboard.io

Freeboard.io hanya akan menampilkan informasi data dan status yang ada pada waktu pengaksesan. Freeboard.io dapat diakses melalui *web browser* pada PC atau laptop menggunakan jaringan Internet dimana saja. Berikut informasi yang ada di freeboard.io :



Gambar 11. Tampilan Freeboard.io

Keterangan :

1. Nama *station*.
2. Status kualitas udara sesuai dengan parameter ISPU.
3. Nilai konsentrasi ISPU.
4. Nilai ppm pada konsentrasi CO₂. Khusus konsentrasi CO₂ tidak diubah ke satuan ISPU karena tidak terdapat parameter CO₂ untuk standar ISPU.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dari tugas akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Prototipe sistem komunikasi monitoring kualitas udara sudah dapat berjalan dengan benar. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian yang dilakukan
2. Kondisi jarak mempengaruhi transmisi data, terutama untuk perangkat komunikasi yang digunakan yaitu NRF24L01 yang tidak memadai untuk transmisi *long range*.
3. Nilai pengukuran kualitas udara di kantin teknik adalah : CO = masuk dalam kategori ISPU BAIK, CO₂ = masuk dalam kategori pekat dan berbau. Sedangkan di tempat parkir sepeda motor adalah : CO = masuk dalam kategori ISPU SEDANG, PM₁₀ = masuk dalam kategori ISPU BAIK.
4. Aplikasi *dashboard* Freeboard.io dapat menampilkan kualitas udara.

Daftar Pustaka

- [1] I. P. A. E. Pratama and S. Suakanto, *Wireless Sensor Network*, 1st ed. Bandung: Informatika Bandung, 2015.
- [2] D. Maryanto, S. A. Mulasari, and D. Suryani, "Penurunan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) Dengan Penambahan Arang Aktif," pp. 37–44, 1978.
- [3] M. Fierro, "Particulate Matter," *Air Info Now*, 2000.
- [4] www.engineeringtoolbox.com, "Carbon Dioxide Concentration - Comfort Levels" [Online]. Available:http://www.engineeringtoolbox.com/co2-comfort-level-d_1024.html
- [5] Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, "Pedoman Teknis Perhitungan Dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara," 1999.



LAMPIRAN

Tabel 1		Tabel 2		Tabel 3		Tabel 4	
4/25/2017 14:00	49	4/25/2017 14:00	613	4/25/2017 10:00	50	4/25/2017 10:00	14
4/25/2017 14:05	49	4/25/2017 14:05	643	4/25/2017 10:05	51	4/25/2017 10:05	18
4/25/2017 14:10	49	4/25/2017 14:10	648	4/25/2017 10:10	50	4/25/2017 10:10	14
4/25/2017 14:15	49	4/25/2017 14:15	646	4/25/2017 10:15	59	4/25/2017 10:15	14
4/25/2017 14:20	45	4/25/2017 14:20	646	4/25/2017 10:20	43	4/25/2017 10:20	20
4/25/2017 14:25	40	4/25/2017 14:25	646	4/25/2017 10:25	54	4/25/2017 10:25	14
4/25/2017 14:30	37	4/25/2017 14:30	541	4/25/2017 10:30	41	4/25/2017 10:30	14
4/25/2017 14:35	34	4/25/2017 14:35	602	4/25/2017 10:35	68	4/25/2017 10:35	18
4/25/2017 14:40	36	4/25/2017 14:40	602	4/25/2017 10:40	52	4/25/2017 10:40	15
4/25/2017 14:45	40	4/25/2017 14:45	624	4/25/2017 10:45	63	4/25/2017 10:45	33
4/25/2017 14:50	45	4/25/2017 14:50	668	4/25/2017 10:50	37	4/25/2017 10:50	14
4/25/2017 14:55	41	4/25/2017 14:55	738	4/25/2017 10:55	63	4/25/2017 10:55	17
4/25/2017 15:00	41	4/25/2017 15:00	668	4/25/2017 11:00	121	4/25/2017 11:00	24
4/25/2017 15:05	38	4/25/2017 15:05	646	4/25/2017 11:05	83	4/25/2017 11:05	22
4/25/2017 15:10	37	4/25/2017 15:10	813	4/25/2017 11:10	43	4/25/2017 11:10	28
4/25/2017 15:15	41	4/25/2017 15:15	691	4/25/2017 11:15	58	4/25/2017 11:15	20
4/25/2017 15:20	45	4/25/2017 15:20	865	4/25/2017 11:20	56	4/25/2017 11:20	20
4/25/2017 15:25	49	4/25/2017 15:25	738	4/25/2017 11:25	31	4/25/2017 11:25	32
4/25/2017 15:30	52	4/25/2017 15:30	668	4/25/2017 11:30	21	4/25/2017 11:30	22
4/25/2017 15:35	54	4/25/2017 15:35	788	4/25/2017 11:35	24	4/25/2017 11:35	11
4/25/2017 15:40	45	4/25/2017 15:40	646	4/25/2017 11:40	34	4/25/2017 11:40	14
4/25/2017 15:45	44	4/25/2017 15:45	646	4/25/2017 11:45	37	4/25/2017 11:45	19
4/25/2017 15:50	47	4/25/2017 15:50	646	4/25/2017 11:50	54	4/25/2017 11:50	19
4/25/2017 15:55	38	4/25/2017 15:55	646	4/25/2017 11:55	38	4/25/2017 11:55	15
4/25/2017 16:00	62	4/25/2017 16:00	714	4/25/2017 12:00	62	4/25/2017 12:00	16
Rata-rata	44.28	Rata-rata	671.68	Rata-rata	51.72	Rata-rata	18.68

Keterangan:

Tabel 1. Log Data CO Station 1**Tabel 2.** Log Data CO2 Station 1**Tabel 3.** Log Data CO Station 2**Tabel 4.** Log Data PM10 Station 2