BAB 1
USULAN GAGASAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Saat ini, perubahan dalam desain bangunan yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi energi pada kantor modern yang seringkali lebih kedap udara daripada bangunan lama. Kemajuan teknologi konstruksi telah menyebabkan penggunaan bahan bangunan sintetik yang jauh lebih besar, sehingga konsentrasi polutan di dalam ruangan jauh lebih tinggi daripada yang ditemukan di luar [1]. Perkantoran merupakan salah satu tempat yang tidak terlepas dari berbagai potensi bahaya lingkungan kerja yang dapat mempengaruhi keselamatan dan kesehatan para karyawan di dalamnya. Sumber polutan di dalam ruangan juga beragam. Selain berasal dari luar ruangan, sumber polutan juga dapat berasal dari dalam ruangan yang bisa dikelompokan menjadi polutan biologis, polutan kimia, serta polutan lainya [2]. Selain itu proses infiltrasi dari ventilasi alami melalui jendela dan pintu yang terbuka dan ventilasi mekanis pada kipas dalam ruangan bisa menjadi faktor yang menyebabkan buruknya kualitas udara didalam ruangan. Ketika ada sedikit infiltrasi, ventilasi alami, atau ventilasi mekanis, dapat meningkat polutan di udara karena terbatasnya sirkulasi udara untuk mengurangi tingkat konsentrasi polutan tersebut [3]. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia kualitas udara di dalam ruangan meliputi kualitas fisik dan kualitas kimia. Kualitas fisik melibatkan konsentrasi $PM_{2.5}$, suhu, kelembapan, dan faktor lainnya. Kualitas kimia mencakup karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), dan faktor lainnya. Batas persyaratan kualitas udara di dalam ruangan untuk konsentrasi $PM_{2.5}$ yaitu 35 $\mu g/m^3$ dalam 24 jam. Untuk konsentrasi CO yaitu 9,00 ppm dalam 8 jam sedangkan CO_2 yaitu 1000 ppm dalam waktu 8 jam [4].

Usia bangunan dan jumlah aktivitas juga dapat mempengaruhi kualitas udara di dalam ruangan. Apabila kualitas udara di dalam ruangan buruk akan menyebabkan *Sick Building Syndrom* dengan gejala, diantaranya sakit kepala, kelelahan, iritasi mata, iritasi tenggorokan, iritasi hidung, iritasi kulit, batuk kering, sukar konsentrasi, perasaan mual, mengantuk, atau adanya hipersensitivitas terhadap bau [5]. Tidak hanya itu, pengaruh dari buruknya kualitas udara di dalam ruangan juga menyebabkan penyakit *Building Related Disease* yang teridentifikasi yang terkait langsung dengan paparan kualitas udara yang buruk di gedung yang sumber khas emisi dalam ruangan dari kontaminan biologis adalah *air conditioner* (AC)**,**

humidifier, ventilasi, tempat sampah, dan bahan bangunan yang rusak karena air. Gejala yang dirasakan dari penyakit ini yaitu flu, termasuk demam, menggigil, sesak dada, nyeri otot, dan batuk. Selain itu, masalah paru-paru dan pernapasan yang serius kemungkinan besar akan terjadi. Penyakit *Building Related Disease* yang umum termasuk penyakit legiuner, *pneumonitis hipersensitivitas*, dan demam [6]. Sehingga hal tersebut bisa berdampak pada produktivitas perusahaan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, telah dilakukan asesmen kualitas udara didalam ruangan menggunakan instrumen yang direkomendasikan oleh IAQ *Code of Practice, Department of Occupational Safety and Health*, Malaysia [7]. Pada asesmen tersebut dilakukan dengan mengukur konsentrasi $PM_{2.5}$, CO, CO_2, kelembapan dan temperatur berdasarkan standar yang ada. Akan tetapi pada penelitian tersebut belum cukup akurat dikarenakan hanya mengandalkan standar ventilasi ASHRAE. Tidak hanya itu, penggunaan instrumen utama bisa menjadi hambatan karena harganya yang mahal sehingga asesmen ini tidak bisa dilakukan oleh perkantoran dalam cakupan yang luas. Prosedur pengujian kualitas udara di dalam ruangan yang berstandar internasional sudah dilakukan oleh US EPA dan ASHRAE. Prosedur yang dilakukan tersebut sebagai implementasi investigasi pada gedung berskala besar dengan cara memilih bangunan, mengidentifikasi karakteristik bangunan, memilih lokasi pemantauan di dalam area, melakukan pemantauan di lokasi yang telah di pilih, *profiling* area pengukuran, melakukan survei penghuni, dan melakukan validasi data [8]. ASHRAE menerbitkan standar *Performance Measurement Protocols* (PMP) sebagai upaya untuk mendokumentasikan pendekatan pengukuran standar elemen teknis penilaian kerja bangunan yang salah satunya adalah kualitas udara di dalam ruangan yang dilakukan dengan cara melakukan studi kasus untuk berbagai jenis bangunan di tiga iklim yang berbeda. Penilaian komprehensif pada PMP ada enam kategori di tiga level, lalu membuat rekomendasi untuk edisi PMP mendatang berdasarkan pengalaman melalui studi kasus ekstensif ini [9].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh laboratorium *Atmospheric Environment* pada awal tahun 2022, telah dilakukan pengaplikasian prosedur pengujian kualitas udara di dalam ruangan berdasarkan standar yang dikembangkan oleh US EPA, akan tetapi telah ada penyesuaian untuk mengukur ruangan dalam skala kecil seperti gedung-gedung sekolah. Pengukuran kualitas udara di dalam ruangan menggunakan mikrosensor dengan parameter konsentrasi polutan yang akan diukur yaitu CO2, PM2.5, CO, RH, dan T menggunakan komponen pengukuran seperti mikrokontroler, sensor, dan juga *platform* IoT mikrosensor merupakan inovasi terbaru yang berfungsi mengukur kualitas udara dengan hargayang

terjangkau dibandingkan dengan instrumen utama [10]. Penggunaan mikrosensor dalam asesmen kualitas udara di dalam ruangan dapat dirasakan oleh semua lingkungan perkantoran yang ada di Indonesia sebagai instrumen awal sebelum menggunakan instrument utama. Namun kualitas data hasil pengukuran mikrosensor ini memiliki kekurangan karena tidak seandal instrumen utama dikarenakan adanya penyimpangan jangka panjang dalam beberapa kasus seperti adanya *fault* dan menghasilkan kualitas data yang buruk [10]. Penggunaan mikrosensor tidak bisa menjadi alternatif instrumen yang sesuai jika hasil pengukurannya tidak divalidasi. Selain itu pengembangan prosedur penelitian sebelumnya masih memiliki beberapa kekurangan. Dalam segi durasi waktu pengujian yang dilakukan dianggap kurang mewakili data keseluruhan dikarenakan pengukuran tersebut ada kemungkinan dilakukan pada *event* tertentu dimana kondisi ruangan pada *event* tersebut tidak seperti kondisi normal sehingga hasil data tersebut tidak bisa dilihat *trend* datanya. Lalu survey penghuni ruangan yang masih kurang efektif mengakibatkan data hasil survey dinilai kurang akurat. Proses pengumpulan data yang dilakukan oleh sensor juga masih lambat yang disebabkan banyaknya titik pengukuran yang belum terintegrasi secara *real-time*. Pada setiap pembacaan sensor juga harus menggunakan modem pada masing-masing stasiun titik pengukuran yang mengakibatkan ketidakefektifan dalam hal budget dan penggunaan internet. Selain itu untuk penempatan titik-titik stasiun pengukuran, masih belum dijelaskan lebih lanjut.

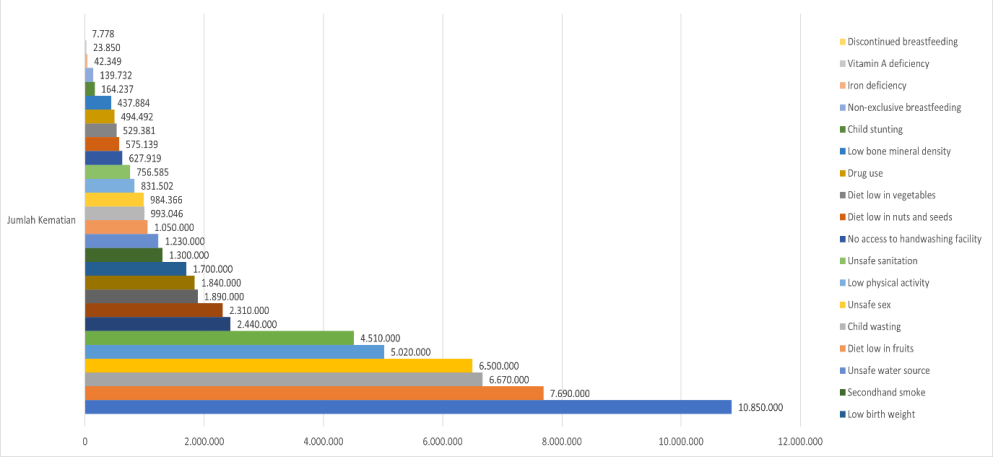
Berdasarkan hal tersebut, dilakukan pengembangan yang berfokus pada sistem pengukuran dari penelitian sebelumnya yaitu "Sistem pengukuran untuk asesmen Kualitas Udara di Dalam Ruangan" sesuai dengan *Standard Operational Procedure* (SOP) Asesmen yang akan dilakukan yaitu *profiling, sensing, survey* dan *analysis* serta modifikasi yang telah ditingkatkan di alat pengukuran, sehingga penggunaan mikrosensor dalam pengujian dapat menjadi alternatif instrumen awal yang sesuai dengan instrumen utama dan menjadi bahan prastudi kondisi kualitas udara dalam ruangan yang diuji pengembangan sistem pengukuran dari penelitian sebelumnya yang akan dikerjakan. Pada bagian sensor ditambahkan sistem *Wireless Sensor Network* (WSN) agar pengiriman data bisa dilakukan secara *real-time* dengan perwakilan sensor sebagai *base station* untuk mempermudah pengolahan data dan lebih efektif dalam segi waktu. Karena menggunakan mikrosensor, sistem yang digunakan memiliki keterbatasan yang berakibat tidak stabilnya hasil pengukuran yang akan dilakukan, sehingga dalam penelitian ini karakterisasi kinerja sensor ditambahkan dengan melakukan kalibrasi sistem mikrosensor dengan instrumen referensi. Untuk meningkatkan kinerja mikrosensor, maka diperlukan proses validasi data secara *real-time* untuk mencegah kesalahan pembacaan / *error* pada saat

pengukuran akibat ketidakstabilan sistem seperti munculnya *outlier*. Sehingga, penggunaan mikrosensor bisa bekerja secara maksimal.

1.2 Informasi Pendukung Masalah

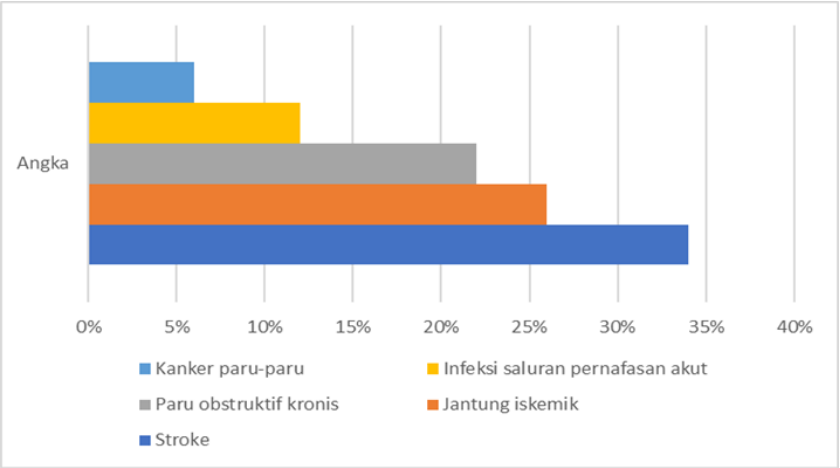
1.2.1 Kesehatan

Polusi udara dalam ruangan merupakan salah satu faktor resiko yang mempengaruhi penyebab kematian yang ada di dunia seperti penyakit jantung, pneumonia, stroke, diabetes dan kanker paru-paru. **Gambar 1.1** menunjukan bahwa polusi udara di dalam ruangan menempati urutan bagian atas penyebab kematian secara global. Menurut studi *Global Burden Of Disease* sebanyak 2.310.000 kematian tersebut berkaitan dengan faktor yang disebabkan oleh polusi dalam ruangan pada tahun 2019. Dengan kata lain, polusi udara dalam ruangan memiliki pengaruh 4,1% kematian global [11].



Gambar 1.1 Data faktor penyebab tingkat kematian pada tahun 2019 [11]

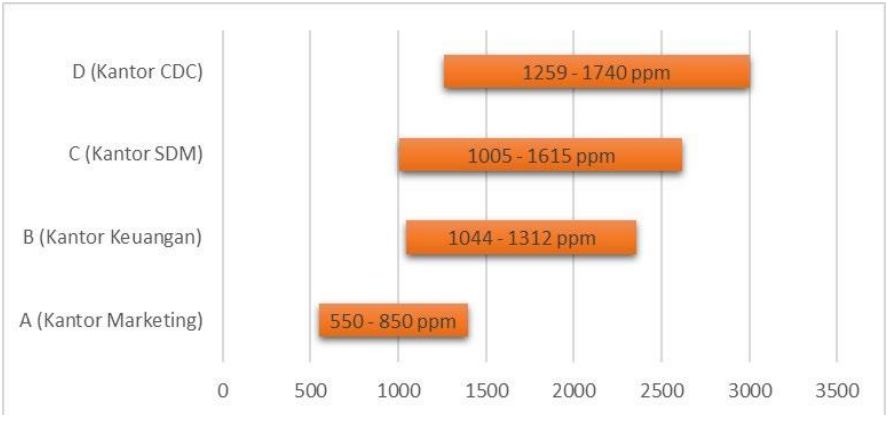
Data WHO menyatakan bahwa polusi udara di dalam ruangan memiliki hubungan yang lebih kuat terhadap penyakit kardiovaskular seperti **Gambar 1.2** yaitu 34% stroke, 26%, penyakit jantung iskemik, 22 % penyakit paru obstruktif kronis, 12% infeksi saluran pernafasan akut dan 6% kanker paru-paru [12]. Hal tersebut juga dilaporkan dalam penelitian yang dilakukan oleh *American College of Allergies* bahwa sebanyak 50% penyakit yang disebabkan oleh buruknya kualitas udara di dalam ruangan. Tidak hanya itu, adanya hubungan positif antara angka kematian terhadap polusi udara di dalam ruangan yang ditemukan oleh pada penelitian Dockeryet al pada tahun 1993 dan Popeet al [13].



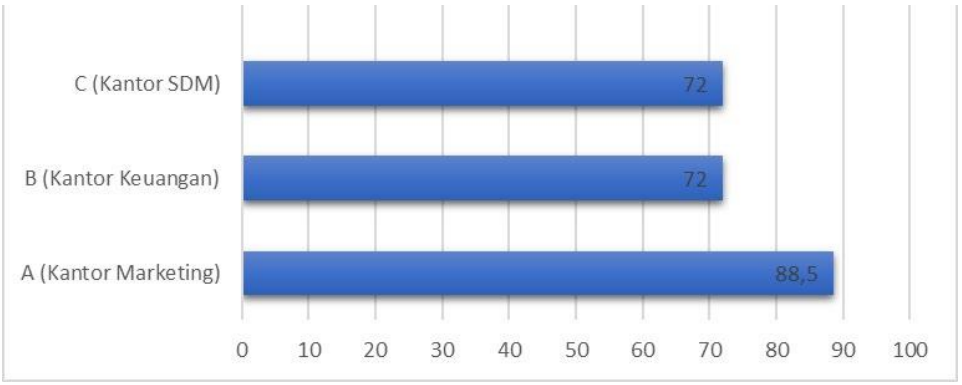
Gambar 1.2 Penyakit kardiovaskular yang disebabkan oleh buruknya kualitas udara di dalam ruangan [12]

1.2.2 Konsentrasi Polutan

Pada tahun 2020, telah dilakukan penelitian mengenai kualitas udara didalam ruangan pada kantor terbuka Telkom University. Penelitian ini dilakukan untuk mengukur kualitas udara pada empat ruangan yang berbeda menggunakan parameter non-biologi selama 24 jam. Parameter non-biologi yang diukur yaitu $PM_{2.5}$ dan CO_2. **Gambar 1.3** dan **1.4** menunjukan bahwa konsentrasi rata-rata selama 24 jam pada $PM_{2.5}$ dan CO_2 dalam setiap ruangan berbeda-beda. Hal ini dikarenakan perancangan ventilasi pada setiap ruangan berbeda-beda sehingga pertukaran udara pada ruangan tersebut tidak terkontrol. Karena pertukaran udara tidak terkontrol, terjadilah penumpukan CO_2 dan $PM_{2.5}$ yang diakibatkan oleh stagnasi udara ruangan [14].



Gambar 1.3 Konsentrasi CO_2 di kantor terbuka Telkom University



Gambar 1.4 Konsentrasi polutan $PM_{2.5}$ di kantor terbuka Telkom University

1.2.3 Mikrosensor

Mikrosensor dapat digunakan untuk mengukur kualitas udara di dalam ruangan dengan parameter $PM_{2.5,}$ CO, dan CO_2, indeks kenyamanan dalam ruangan, dan pengoptimalan energi di gedung. Karena biayanya yang rendah, kemudahan pemasangan, dankonsumsi daya yang rendah, mikrosensor semakin banyak digunakan dalam jaringan sistem untuk memberikan kepadatan pengukuran spasial yang meningkat dari konsentrasi waktu nyata. Namun demikian, mikrosensor menunjukkan keterbatasan karena tidak memberikan ukuran absolut yang dapat diandalkan, yang tidak dapat digunakan sebagai pengganti instrumen referensi untuk tujuan pemantauan. **Tabel 1.1** menunjukkan daftar keuntungan dan keterbatasan teknis utama dalam penggunaan mikrosensor di dalam ruangan [10].

Tabel 1.1 Kelebihan dan kekurangan mikrosensor

NO	KEUNTUNGAN	KEKURANGAN
1	Biaya rendah.	Sering dipengaruhi oleh sensitivitas silang dengan senyawa dan variabel atmosfer.
2	Portabel.	Diperlukan kalibrasi yang sering.
3	Mengizinkan cakupan temporal dan spasial yang tinggi dan real-time (kemungkinan memasang jaringan sensor).	Masa pakai yang relatif singkat (1–2 tahun).
4	Pasar yang sedang berkembang, dengan semakin banyak perusahaan yang sekarang mengkomersialkan.	Penyimpangan jangka panjang dan, dalam beberapa kasus, kualitas data yang buruk.

5	Meningkatnya literatur ilmiah pelaporan evaluasi kinerja mikrosensor dengan pengukuran referensi.	Kurangnya standarisasi prosedur untuk kalibrasi dan analisis data.
6	Data yang dapat diakses secara online dan real-time (IoT, aplikasi seluler).	Banyak penelitian tidak melaporkan metode analisis yang digunakan.
7	Cocok untuk proyek sains.	Kekhawatiran tentang akses data dan perlindungan data.

1.3 Analisis Umum

1.3.1 Aspek Ekonomi

Sistem pengukuran untuk asesmen kualitas udara di dalam ruangan yang sudah ada saat ini memiliki hargayang relatif mahal, karena menggunakan instrumen utama. Pada **Tabel 1.2** menunjukkan perbandingan harga instrumen utama yang digunakan pada standar US EPA dengan mikrosensor.

Tabel 1.2 Perbandingan harga instrumen utama dengan mikrosensor

Sensor CO2		
Standar USEPA	Model ZFP-5-2050	Rp. 405.000.000
Mikrosensor	SKU SEN0219	Rp. 1.150.000
Sensor CO		
Standar USEPA	MODEL AQ-501/502	$288/Rp. 4.480.502
Mikrosensor	SKU SEN0466	Rp. 1.045.000
Sensor PM 2,5		
Standar USEPA	RR 1 Box 445	$1949,99/Rp. 30.336.579
Mikrosensor	SKU SEN0460	Rp. 830.926
Sensor Kelembapan dan Suhu		
Standar USEPA	Solomat Model 455	$149,99/Rp.29.914.844
Mikrosensor	DHTT 22	Rp. 124.000

Perbedaan harga yang cukup signifikan dapat membuat mikrosensor lebih unggul. Mikrosensor memang memiliki keunggulan jika dilihat dari harga. Namun, terdapat juga kelemahan yang dimiliki mikrosensor seperti pada **Tabel 1.2** yang menunjukkan kekurangan dan kelebihan mikrosensor. Walaupun kinerja dari mikrosensor memiliki keterbatasan, hal tersebut dapat dimaksimalkan dengan adanya proses validasi data dan juga kalibrasi sistem, sehingga data yang dimiliki bisa *reliable* mewakili kondisi ruangan sebagai instrumen awal kualitas udara didalam ruangan sebelum menggunakan instrument utama.

1.3.2 Aspek Manufakturabilitas

Pada proses pengukuran pada asesmen menggunakan sistem *Indoor Air Quality Monitoring System* (IAQMS). IAQMS yang akan diproduksi sejumlah lima sistem untuk mendapatkan titik-titik pengukuran yang baik. Berdasarkan alat yang telah dibuat sebelumnya pada sistem pengukuran yang mengukur parameter PM2.5, CO, CO2, RH, dan T yang dikendalikan seluruhnya oleh mikrokontroler lalu dikirim ke *cloud*. Pada *capstone design* ini dilakukan pengembangan sistem pengukuran pada asesmen kualitas udara di dalam ruangan menggunakan *Wireless Sensor Network* dirancang dengan menggunakan arduino, *XBee*, sensor PM2.5, sensor CO, dan sensor CO2 yang dibeli dan diintegrasi dalam PCB oleh tim penelitian. Pada sistem asesmen kualitas udara di dalam ruangan juga terdapat chamber yang dirancang dan memiliki *design* untuk meletakkan sensor-sensor yang mendukung keberhasilan sistem, pada chamber juga terdapat kipas yang berfungsi agar pengukuran udara tetap kontinyu. Terdapat alat pendukung lainnya yaitu tripod sebagai tempat peletakkan stasiun pengukuran. Dengan alat sebelumnya yang masih berfungsi dengan baik, pengembangan sistem alat pengukuran dapat dengan mudah dilakukan.

1.3.3 Aspek Sosial dan Budaya

Dengan adanya sistem pengukuran untuk asesmen kualitas udara di dalam ruangan bisa menjadi solusi untuk meningkatkan kesadaran para pekerja akan pentingnya kualitas udara di dalam ruangan. Hasil analisis berdasarkan data hasil pengukuran yang dikaitkan dari berbagai aspek seperti *profiling* dan data survey bisa disampaikan dengan merancang komunikasi secara persuasif untuk memajukan peningkatan kualitas udara dalam ruangan dalam hal menumbuhkan kesadaran sosial baru dan perubahan perilaku serta memperkuat ikatan sosial untuk mendorong upaya kolaboratif di seluruh jaringan sosial sehingga meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan manusia. Tidak hanya itu, asesmen kualitas udara di dalam ruangan bisa menjadi peran penting dalam peningkatan pengetahuan

akan pemahaman kualitas udara di dalam ruangan terhadap kesehatan para pekerja. Hasil dari analisis disampaikan dalam bentuk visualisasi agar mudah dimengerti sehingga hal tersebut bisa himbauan yang efektif bagi para pekerja [15].

1.3.4 Aspek Keberlanjutan

Sistem pengukuran asesmen kualitas udara di dalam ruangan ini bisa menjadi diagnosis awal baik atau buruknya kualitas udara dalam ruangan yang diukur. Jika pada pengukuran mendapatkan hasil yang baik, maka ruangan tersebut layak pakai atau tidak perlu ditindak lanjuti. Jika pada pengukuran mendapatkan hasil yang buruk, maka ruangan tersebut tidak layak pakai dan harus ditindak lanjuti dengan cara memberikan rekomendasi bagaimana cara meningkatkan kualitas udara dalam ruangan berdasarkan hasil penelitian yang telah didapatkan. Selain itu, dapat ditindak lanjuti dengan cara mengukur ruangan tersebut dengan instrumen utama untuk memastikan lebih lanjut terkait kualitas udara dalam ruangan tersebut. Sistem asesmen kualitas udara di dalam ruangan ini juga dapat menjadi monitoring kualitas udara dalam suatu ruangan.

1.4 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Dari analisis yang telah dilakukan sistem pengukuran asesmen kualitas udara di dalam ruangan berbasis mikrosensor membutuhkan kalibrasi pada setiap sensor, pada sistem juga dibutuhkan validasi data yang bertujuan agar walaupun sistem memiliki harga yang lebih murah daripada instrumen utama yang sudah ada tetapi sistem memiliki data yang benar sudah tervalidasi. Pada **Tabel 1.3** menunjukkan komponen yang dibutuhkan untuk mendukung pembuatan sistem.

Tabel 1.3 Komponen yang dibutuhkan

NO	Komponen	Fungsi
1	Arduino	Arduino berfungsi sebagai mikrokontroler
2	Arduino Wi-Fi	Berfungsi sebagai mikrokontroler dan IoT
3	SKU SEN0466	Berfungsi untuk mengukur konsentrasi polutan CO
4	SKU SEN0460	Berfungsi untuk mengukur konsentrasi polutan PM2.5

5	SKU SEN0219	Berfungsi untuk mengukur konsentrasi CO2
6	nrf24l01	Komunikasi jarak jauh atau nirkabel
7	CO_2 Analyzer	Mengukur kadar gas CO_2
8	*Raspberry Pi* 3 Model B	Raspberry Pi dapat digunakan sebagai otak (*controller*) untuk berbagai proyek elektronik dan IoT
9	ESP32	ESP32 sering digunakan dalam *proyek Internet of Things* (IoT) karena kemampuannya untuk terhubung dengan internet melalui Wi-Fi atau Bluetooth.

1.5 Solusi Sistem yang Diusulkan

Solusi sistem yang ditawarkan untuk sistem asesmen kualitas udara di dalam ruangan berdasarkan penelitian sebelumnya, yaitu :

1. Pengaplikasian *wireless sensor network* pada pengukuran polutan dalam pengujian kualitas udara di dalam ruangan.
2. Pendeteksian *outlier* dan validasi data polutan yang dilakukan secara *real-time*.

1.5.1 Karakteristik Produk

1.5.1.1 Sensor

Terdapat beberapa sensor yang akan digunakan dalam sistem pengukuran kualitas udara dalam ruangan. Ada beberapa tahap dalam pengujiannya yaitu perancangan alat ukur, kalibrasi sensor, dan validasi data. Stasiun ukur adalah sistem pengukuran berbasis sensor untuk pengukuran kualitas udara dalam ruangan, yang di dalamnya meliputi sensor CO, CO2, dan PM2,5. Sistemnya berbasis IoT dengan mikrokontroler ESP32 yang dikemas dalam *box* pengukuran yang terdiri dari chamber, dan tripod. Selain integrasi antara mikrokontroler dan sensor sensor, ada tambahan komponen berupa raspberry pi yang berfungsi untuk validasi data secara *real-time* setelah data tervalidasi lalu data akan dikirimkan melalui sistem *wireless sensor network*. Dimana *wireless sensor network* ini berfungsi untuk mengirimkan data data dari stasiun *slave* menuju stasiun *master* dengan skenario pengiriman data yang telah dibuat. Sebelum pengukuran, akan dilakukan kalibrasi untuk sensor-sensor yang akan dipakai. Hal ini bertujuan agar saat dilakukannya asesmen kualitas udara di dalam ruangan yang akan diuji, stasiun bekerja dengan optimal dan untuk meminimalisir adanya *error* pada sensor-sensor yang digunakan dalam asesmen sehingga data yang didapatkan akan lebih optimal.

Pengiriman hasil dari pengukuran data akan dikirimkan secara *wireless* atau nirkabel dengan sistem *Wireless Sensor Network*. *Wireless Sensor Network* merupakan suatu jaringan nirkabel sistem yang terdapat satu atau lebih node sensor. Dalam sistem ini terdapat dua komponen yaitu *node sensor* dan *node sink*. *Node sensor* merupakan kumpulan beberapa perangkat untuk pemrosesan data seperti mikrokontroler, sensor yang digunakan untuk *monitoring*, sumber energi seperti baterai, dan *transceiver* yang memiliki kegunaan sebagai pengirim sinyal atau data dari node satu ke node yang lainnya atau dapat disebut sebagai stasiun *slave*. *Node sink* berfungsi sebagai penerima sinyal atau data yang dikirimkan oleh *node sensor*, sehingga hasil yang dikirimkan dapat dikumpulkan pada *node sink* selanjutnya hasil pengiriman data dapat diolah lebih lanjut atau dapat disebut sebagai stasiun *master*

[16].

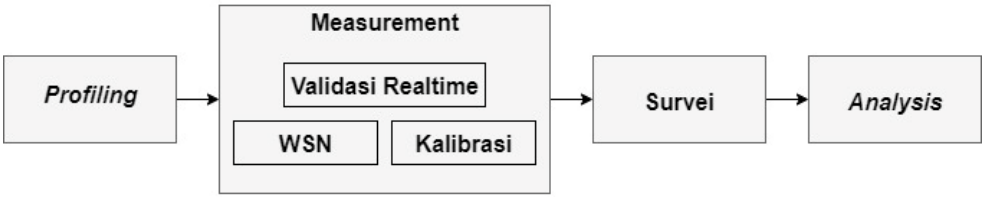
1.5.1.2 Validasi Data

Penggunaan mikrosensor memiliki kekurangan dari segi hasil pengukuran dikarenakan munculnya beberapa data *fault* yang bisa diakibatkan oleh adanya fluktuasi tegangan Vcc yang diterima oleh sensor, sehingga adanya penyimpangan dan menghasilkan kualitas data yang buruk [17]. Dengan data yang dihasilkan memiliki kualitas yang buruk, kinerja mikrosensor masih belum bisa bekerja secara maksimal sehingga dibutuhkan proses validasi data. Dalam penelitian sebelumnya, proses validasi data masih dilakukan secara manual dari dataset excel sehingga perlu adanya peningkatan sistem yaitu secara *real-time* dengan cara mendeteksi *outlier* pada data hasil pengukuran.Validasi data secara *real-time* dilakukan setelah masing- masing stasiun sensor telah mengirim data hasil pengukuran ke dalam master yaitu *raspberry pi*. Di dalam komponen *raspberry pi* sebagai komputer mini dijalankan proses validasi data dengan cara memasukkan algoritma pemograman dengan bahasa *python, s*ehingga hasil data pengukuran yang keluar telah valid sebelum dikirim ke platform IoT.

1.5.2 Skenario Pengukuran

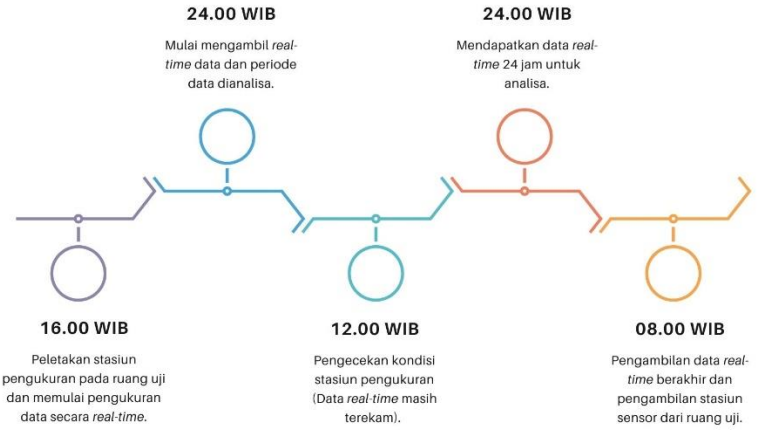
Skenario pengukuran ini dilakukan dalam beberapa tahapan seperti pada **Gambar 1.5**, pertama melakukan perancangan stasiun ukur dan pengintegrasian mikrokontroler, sensor-sensor, raspberry pi, dan modul Nrf24L01. Kedua, setelah integrasi selesai lalu dilakukan kalibrasi pada sensor-sensor untuk mengetahui keandalan sensor dalam mengukur. Ketiga, melakukan *profiling* pada ruangan yang akan diuji dengan nilai-nilai *profiling* yang sudah ditentukan sesuai dengan

standard asesmen kualitas udara di dalam ruangan. Keempat, melakukan pengujian dengan skenario penempatan dan jumlah stasiun yang telah di optimalisasi dilanjut dengan validasi data secara *real-time.* Kelima, melakukan survey pada responden terkait, lalu terakhir melakukan analisis dari data yang telah didapatkan.



Gambar 1.5 Diagram alir skenario pengukuran

Dalam penelitian sebelumnya, terdapat masalah terkait waktu dalam pengukuran yang mengakibatkan data yang diperoleh kurang optimal. Maka, dalam penelitian ini dibuat skenario waktu dalam pengukuran yaitu waktu dalam kondisi normal di hari kerja seperti pada **Gambar 1.6** agar data yang didapatkan menjadi lebih optimal sehingga dalam proses analisis dan pengolahan data menjadi lebih baik.



Gambar 1.6 Alur waktu dalam pengukuran

Dari alur waktu ini menjadikan pengambilan data pada satu ruangan dilakukan selama 3 hari dengan data yang diambil tepat 24 jam dalam satu pengukuran. Selain dari aspek waktu dilakukan juga pengambilan kuesioner kepada responden yang terkait dalam pengukuran ini bertujuan untuk

mengetahui apakah kualitas udara dalam ruangan memberikan efek yang baik atau buruk kepada penghuni ruangan tersebut setelah itu baru bisa ditarik kesimpulan apakah tindak lanjut yang harus dilakukan

1.6 Kesimpulan dan Ringkasan CD-1

Kualitas udara dalam perkantoran khususnya di perkantoran memiliki potensi bahaya sehingga dapat mempengaruhi kinerja para pekerja yang menghabiskan waktunya di dalam ruangan. Selain mempengaruhi kinerja karena dapat memicu gejala *Sick Building Syndrom* dan *Building Related Disease*. Pengujian untuk menilai kualitas udara di dalam ruangan berdasarkan standar yang sudah ada seperti BASE-USEPA dan PMP-ASHRAE sangat diperlukan agar menjadi tolak ukur awal untuk meningkatkan kualitas udara dalam ruangan kedepannya. Penelitian yang dilakukan sebelumnya yang melakukan prosedur penilaian kualitas udara menggunakan mikrosensor masih memiliki kekurangan dari segi pengukuran sehingga kinerja dari mikrosensor masih belum maksimal. Peningkatan sistem pengukuran perlu dilakukan yang telah ditinjau dari berbagai aspek agar penggunaan mikrosensor dapat menjadi instrumen awal yang sesuai sebelum observasi lebih lanjut menggunakan instrumen utama. Dengan *Standard Operational Procedure* (SOP) asesmen yang akan dilakukan yaitu *profiling*, *sensing*, *survey* dan *analysis*, sistem yang akan ditingkatkan pada penelitian berfokus pada sistem pengukuran yaitu pengaplikasian *Wireless Sensor Network* (WSN), optimalisasi jumlah sensor, optimalisasi sistem kalibrasi sensor dan validasi data secara *real-time* menggunakan *raspberry pi* dimana semua sistem tersebut akan diintegrasi di dalam sebuah sistem pengukuran dan dilakukan pengkalibrasian sensor agar hasil pembacaan sensor-sensor tersebut bisa optimal. Sebelum dilakukan pengukuran, perlu dilakukan profiling ruangan yang telah dipilih dengan prosedur dan standar asesmen kualitas udara di dalam ruangan. Tidak hanya itu, dibutuhkan juga survey penghuni agar bisa menjadi data pendukung dari hasil asesmen kualitas udara di dalam ruangan. Proses pengambilan data akan dilakukan sesuai dengan prosedur asesmen yang telah ditetapkan dan data hasil pengukuran akan langsung tervalidasi secara *real-time* dan akan langsung terkirim ke platform IoT.