

BAB 1

USULAN GAGASAN

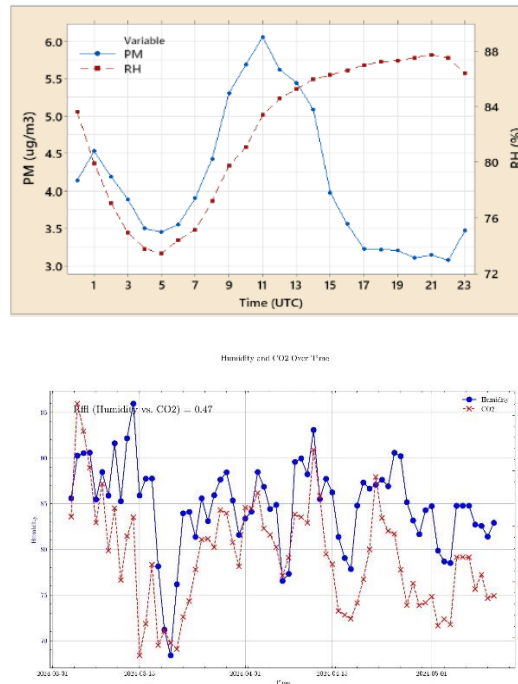
1.1 Deskripsi Umum Masalah

Polusi udara telah menjadi permasalahan lingkungan serius di seluruh dunia, dengan dampak negatif yang signifikan terhadap kesehatan manusia dan ekosistem. Di Indonesia, masalah ini menjadi semakin mendesak karena tingkat polusi yang terus meningkat. Berdasarkan laporan Indeks Kualitas Udara Kehidupan (AQLI) tahun 2023, Indonesia termasuk salah satu dari enam negara dengan kontribusi terbesar terhadap polusi global [1]. Beberapa polutan yang berbahaya adalah CO₂ dan PM_{2.5}. PM_{2.5} adalah partikel materi berukuran 2,5 mikrometer atau lebih kecil yang dapat dengan mudah terhirup dan masuk ke dalam sistem pernapasan manusia, menyebabkan gangguan kesehatan serius seperti penyakit pernapasan dan kardiovaskular [2]. Sedangkan CO₂ dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti sesak napas, peningkatan detak jantung, hingga kerusakan organ. Fenomena ini dapat mengakibatkan kenaikan permukaan air laut, pencairan gletser, dan perubahan cuaca ekstrem [3].

SKPU (Sistem Pemantauan Kualitas Udara) adalah sistem yang dibuat untuk memantau kualitas udara di suatu lokasi atau wilayah. SPKU menjadi salah satu solusi pemantauan CO₂ dan PM_{2.5} di udara. SPKU dapat berupa *chamber* ukur ataupun gabungan antara *chamber* ukur dan *shelter*. Berbagai jenis SPKU telah dibuat dan tersebar di berbagai tempat di Indonesia. Salah satu jenis SPKU yang telah banyak dikembangkan adalah SPKU berbasis *microsensor* yang relatif lebih murah dibandingkan dengan instrument utama pemantau kualitas udara. Penelitian yang telah dilakukan oleh Ashari Sya'bani [4] dan Andre Suwardana [5] menghasilkan SPKU berbasis *microsensor* yang mampu mengukur kualitas udara *ambien* di suatu lokasi secara *real-time*. *Chamber* ukur ditempatkan di dalam *shelter* agar terhindar dari curah hujan dan angin yang dapat merusak sistem. SPKU ini mengukur konsentrasi polutan di udara yang masuk melalui celah bagian atas *shelter*.

Kelemahan dari sistem ini adalah pengukuran pada *chamber* ukur masih terpengaruh oleh faktor meteorologi seperti kelembapan dan kecepatan angin.

Kondisi udara yang lembap membuat polutan berikatan dengan uap air, membentuk partikel yang lebih besar, dan lebih mudah mengendap. Hal ini menyebabkan pembacaan konsentrasi polutan pada sensor lebih tinggi dibanding dengan keadaan sebenarnya [6].



Gambar 1. 1 Grafik Perbandingan Kelembapan, $\text{PM}_{2.5}$, dan CO_2

Hubungan kelembapan terhadap $\text{PM}_{2.5}$ adalah ketika kelembapan naik maka nilai konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ cenderung turun dan sebaliknya jika kelembapan turun maka nilai konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ akan naik. Berdasarkan penelitian dengan judul “Identifikasi Sumber *Particulate Matter* () di Sorong Berdasarkan READY Hysplit Backward Trajectory” peningkatan $\text{PM}_{2.5}$ di Kota Sorong terjadi pada pagi hari dan malam hari. Pada pagi hari pukul 10:00 WIT terjadi peningkatan $\text{PM}_{2.5}$ sebesar $4,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan kelembapan sebesar 82%, kemudian terjadi penurunan konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ sebesar $3,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan nilai kelembapan 70% pada pukul 14:00 WIT. Sedangkan pada malam hari peningkatan konsentrasi mulai terjadi pada pukul 16:00 WIT dan pada pukul 20:00 WIT terjadi peningkatan nilai konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ sebesar $6,0\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan nilai temperatur yang cenderung turun yaitu berada pada kelembapan 82%. Hubungan kelembapan masih sangat kecil terlihat dari nilai koefisien determinasi yang kecil. Hal ini membuktikan bahwa kelembapan tidak berpengaruh besar terhadap konsentrasi CO_2 .

Kecepatan angin memiliki pengaruh signifikan terhadap pengukuran polutan di udara. Angin yang kuat dapat menyebarkan polutan lebih cepat dan lebih luas, sehingga mengurangi konsentrasi polutan di satu area tertentu. Sebaliknya, kecepatan angin yang rendah cenderung menyebabkan penumpukan polutan di satu lokasi, meningkatkan konsentrasi lokal dan membuat pengukuran polutan menunjukkan nilai yang lebih tinggi [7]. Selain itu, perubahan kelembapan yang ekstrem dapat mempengaruhi kinerja suatu sensor yang berdampak pada hasil pengukuran. Berdasarkan hal tersebut diperlukan peningkatan kualitas SPKU sehingga dapat mengurangi pengaruh dari faktor-faktor meterologi tersebut.

Untuk menguji kinerja sistem yang sudah dirancang, maka dilakukan kegiatan kolokasi lapangan. Pengujian kinerja sistem ini dilakukan dengan tujuan memastikan hasil pengukuran konsentrasi $PM_{2.5}$ sesuai dengan standar SNI (Standar Nasional Indonesia). Tujuan dari Standardisasi Nasional adalah untuk meningkatkan perlindungan konsumen, mengatur perilaku bisnis, mendukung kesejahteraan tenaga kerja, serta mengedepankan kepentingan masyarakat secara keseluruhan, terutama dalam aspek keselamatan, keamanan, kesehatan, dan pelestarian lingkungan hidup. Pengujian sistem berdasarkan acuan dokumen SNI 9178:2023 [8] dengan judul “Udara ambien – Uji kinerja alat pemantauan kualitas udara yang menggunakan sensor berbiaya rendah”. Pada dokumen ini terdapat beberapa parameter yang perlu diuji yaitu tingkat kepresisian, bias dan linearitas, dan *error*. Kepresisian diuji dengan menghitung standar deviasi dan koefisien variansi hasil kolokasi sesuai dengan persamaan yang tertera pada dokumen SNI. Begitu juga dengan bias dan linearitas, serta *error* yang dihitung sesuai pedoman SNI 9178:2023. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga *microsensor* yang identik dan ditempatkan ditempat yang sama. Nilai konsentrasi yang terbaca oleh ketiga sensor kemudian dibandingkan dengan alat referensi yaitu SUPER SASS.

Kegiatan kolokasi ini telah dilakukan oleh tim penelitian sebelumnya. Dari data hasil kolokasi tersebut terdapat parameter yang tidak *complied* dengan SNI. Parameter tersebut adalah presisi. Presisi terdiri dari beberapa parameter yaitu standar deviasi dan koefisien variansi. Standar deviasi memiliki parameter *not-complied* terbanyak dibanding parameter lainnya. Nilai ini dihitung untuk mengetahui tingkat kepresisian sensor berbarengan dengan koefisien variansi. Nilai

maksimum standar deviasi sebagai syarat keberterimaan adalah kurang dari atau sama dengan $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Jika standar deviasi bernilai di atas $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, maka standar deviasi pada hari tersebut tidak memenuhi syarat keberterimaan. Sedangkan parameter koefisien variansi memiliki syarat keberterimaan adalah kurang dari atau sama dengan 30%. Berikut adalah data hasil kolokasi untuk parameter presisi.

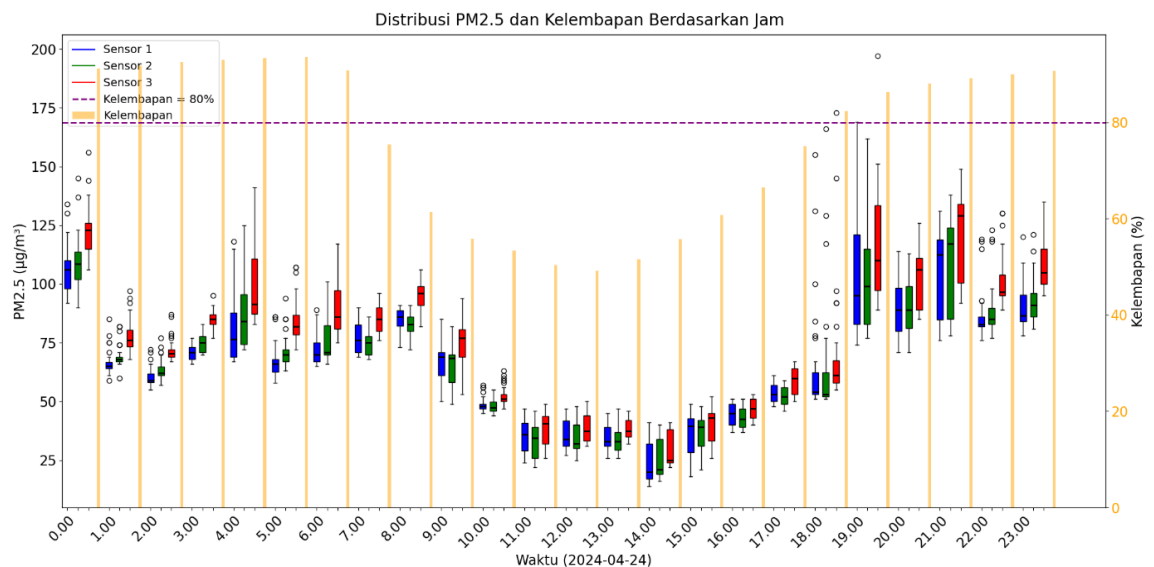
Tabel 1. 1 Standar Deviasi Data Kolokasi PM_{2.5}

	Sampling Day													
Tanggal	01 March 2024	04 March 2024	07 March 2024	10 March 2024	13 March 2024	16 March 2024	19 March 2024	22 March 2024	25 March 2024	28 March 2024	31 March 2024	09 April 2024	12 April 2024	24 April 2024
Data Ke-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Standard Deviation	2,1	3,8	2,9	3,5	2,1	2,0	2,5	3,9	3,7	5,9	5,8	3,5	3,8	5,4
Status	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	NC	C	C	NC

	Sampling Day													
Tanggal	27 April 2024	30 April 2024	03 May 2024	06 May 2024	09 May 2024	12 May 2024	15 May 2024	18 May 2024	21 May 2024	24 May 2024	27 May 2024	30 May 2024	2-Jun-2024	5-Jun-2024
Data Ke-	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Standard Deviation	4,2	3,4	4,2	3,4	7,2	5,6	6,2	5,5	4,7	3,1	5,5	2,7	4,6	3,7
Status	C	C	C	C	NC	NC	NC	NC	C	C	NC	C	C	NC

	Sampling Day													
Tanggal	11-Jun-2024	14-Jun-2024	17-Jun-2024	20-Jun-2024	23-Jun-2024	26-Jun-2024	29-Jun-2024	3-Jul-2024	6-Jul-2024	17-Jul-2024	23-Jul-2024	29-Jul-2024	4-Aug-2024	10-Aug-2024
Data Ke-	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Standard Deviation	4,5	3,8	3,1	3,3	5,6	3,7	3,6	4,9	4,0	5,7	3,4	3,9	3,2	4,4
Status	C	C	C	C	NC	C	C	C	C	NC	C	C	C	C

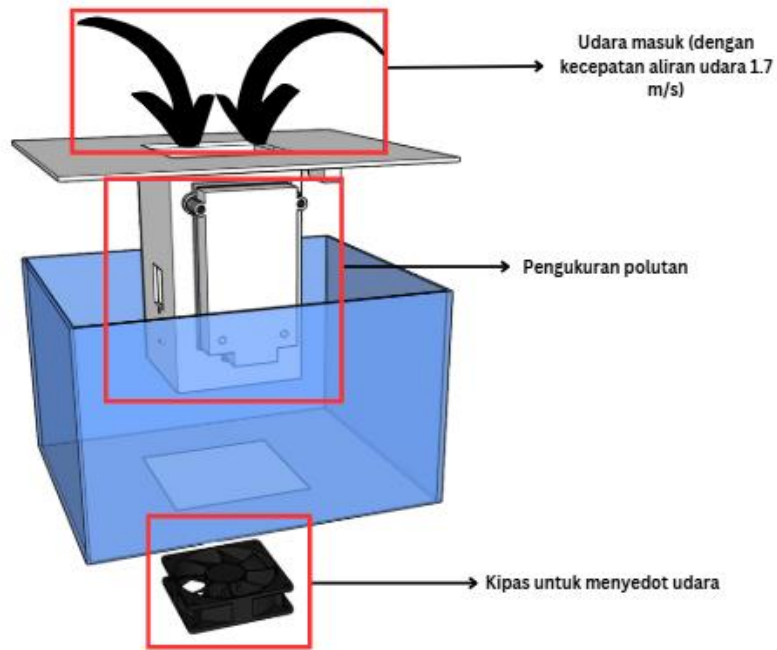
Tabel 1. 2 Persebaran Data Kolokasi PM_{2.5} (2024-04-24)



Terlihat bahwa data standar deviasi kolokasi terdapat hari yang tidak memenuhi (*Not Complied*). Keadaan tersebut dipengaruhi oleh meteorologi kelembapan dan kecepatan aliran udara. Kolokasi dilakukan selama 24 hari sampel dengan merata – ratakan nilai PM_{2.5} dalam satu hari. Dalam pengambilan sampel menggunakan tiga sensor identik sesuai dengan dokumen (SNI) 9178:2023. Dalam dokumen tersebut terdapat standar mencakup kalibrasi, kolokasi lapangan, dan validasi data. Data standar deviasi yang *not complied* berjumlah duabelas hari.

Pada **Tabel 1.2** menunjukkan analisis kolokasi data kualitas udara berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 9178:2023, yang mencakup distribusi data $PM_{2.5}$ dan kelembapan relatif (RH) yang diukur oleh beberapa sensor pada berbagai waktu sepanjang hari, ditampilkan dalam bentuk box plot. Box plot ini memperlihatkan variasi nilai $PM_{2.5}$ dan RH, termasuk median, kuartil pertama (Q1), kuartil ketiga (Q3), serta data outlier yang teridentifikasi. Rentang Antar Kuartil (IQR) yang besar terlihat pada malam hari dan pagi hari, menunjukkan variasi yang signifikan dalam data. Dalam analisis ini, terdapat banyak data outlier pada $RH > 80\%$ untuk kadar $PM_{2.5}$, yang menunjukkan bahwa kelembapan tinggi dapat mempengaruhi pengukuran $PM_{2.5}$ secara signifikan melalui efek higroskopis, di mana partikel $PM_{2.5}$ menyerap kelembapan dari udara. Pengaruh higroskopis adalah fenomena ketika partikel menyerap uap air udara secara berlebih membuat partikel berkumpul akibat uap air udara yang tidak dapat ditampung lagi. Higroskopis terjadi ketika kelembapan melebihi 80% dan mulai terjadi pada kelembapan 60% s/d 80%. Selain itu, untuk AQI ketika $RH > 80\%$, nilai AQI menunjukkan rentang yang besar, yang merupakan analisis dari data yang bervariasi dan menunjukkan fluktuasi yang lebih besar dalam kualitas udara yang diukur.

Pada saat kolokasi, sistem *sampling* yang digunakan kurang memadai. Sistem *sampling* pada saat kolokasi tidak dapat memiliki pengondisian kelembapan sehingga sering terjadi fenomena higroskopis. Disisi lain, kecepatan aliran udara pada saat *sampling* diatur secara konstan yaitu 1.7 m/s sehingga masih dipengaruhi perubahan kecepatan angin. Adapun gambaran sistem *sampling* yang digunakan seperti berikut.



Gambar 1. 2 Sistem Sampling Saat Kolokasi

Berikut adalah jumlah data kelembapan selama *sampling* (pengukuran yang dilakukan sensor) yang berstatus *not-complied*.

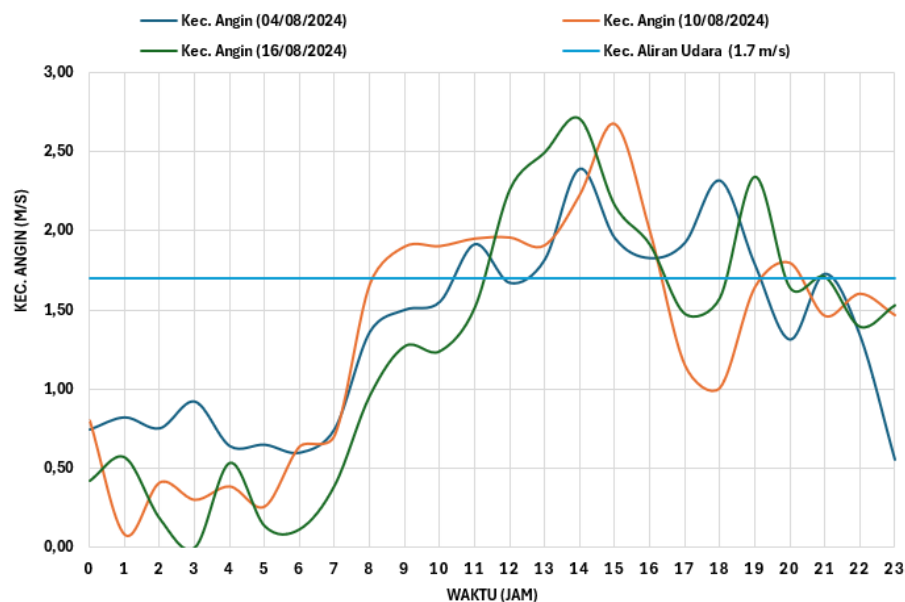
Tabel 1. 3 Jumlah Data Pada Range Kelembapan 40% hingga 100%

Tanggal	Jumlah Data Pada Range Kelembapan			Total Jumlah Data
	40%-60%	60%-80%	80%-100%	
28/03/2024	134	79	498	711
31/03/2024	251	119	342	712
24/04/2024	113	70	528	711
09/05/2024	185	85	442	712
12/05/2024	261	146	304	711
15/05/2024	75	83	484	642
27/05/2024	217	84	403	704
Total	1236	666	3001	4903

Persentase	25%	14%	61%	100%
------------	-----	-----	-----	------

Tabel diatas merupakan jumlah data dengan rentang kelembapan tertentu dari *sampling* yang memiliki status *not-complied*. Terlihat bahwa mayoritas kelembapan berada pada tentang 80% s/d 100% (tempat terjadinya fenomena higroskopis dan kemungkinan terjadinya kondensasi). Sedangkan pengukuran pada kelembapan optimal yaitu 40% s/d 60% tidak banyak terjadi. Hal ini membuat pengukuran menjadi tidak stabil dan meningkatkan parameter statistik standar deviasi dan koefisien variansi. Oleh sebab itu, diperlukan sebuah solusi untuk mengatasi hal tersebut sehingga pengukuran lebih berkualitas dan sesuai SNI.

Parameter lain yang dapat mempengaruhi pengukuran adalah kecepatan angin. Angin merupakan pembawa polutan dari satu tempat ke tempat lain. Jika kecepatan angin lebih cepat dari pada kecepatan aliran udara di dalam saluran *sampling*, maka akan terjadi *under-sampling*. Sebaliknya jika kecepatan angin lebih lambat dari pada kecepatan aliran udara *sampling*, maka akan terjadi *over-sampling* [9]. Fenomena ini terjadi pada saat periode *sampling* bulan agustus.



Gambar 1. 3 Kurva Kecepatan Angin Saat Periode Kolokasi Bulan Agustus

Berdasarkan gambar di atas, terjadi dua keadaan yaitu keadaan ketika kecepatan angin lebih tinggi dari kecepatan aliran udara ketika *sampling* (1.7 m/s)

dan keadaan ketika kecepatan angin lebih rendah dari kecepatan aliran udara ketika *sampling*. Keadaan ini menyebabkan terjadinya fluktuasi pada pengukuran sehingga keadaan sampel cenderung tidak merepresentasikan keadaan sebenarnya.

Tabel 1. 4 Konsentrasi $PM_{2.5}$ dan Kecepatan Angin Saat Kolokasi Agustus

Tanggal Kolokasi	Konsentrasi $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)					Kec. Angin Rata-Rata (m/s)
	Mikrosensor 1	Mikrosensor 2	Mikrosensor 3	Rata-rata	SuperSaas	
4-Aug-2024	34,89		39,40	37,15	26,20	1,37
10-Aug-2024	50,57		56,73	53,65	41,95	1,31
16-Aug-2024	45,87		49,73	47,80	39,39	1,3

Pada tabel tersebut terlihat jika kecepatan aliran udara ketika *sampling* (1.7 m/s) lebih besar nilainya dibandingkan kecepatan angin rata-rata yang terukur ketika kolokasi. Hal ini menyebabkan terjadinya *over-sampling* pada pengukuran oleh mikrosensor. Tabel 1.4 menunjukkan konsentrasi $PM_{2.5}$ yang terbaca oleh mikrosensor lebih besar dari SuperSaas yang merupakan instrumen utama akibat terjadinya *over-sampling*.

1.2 Analisis Masalah

Untuk mengurangi pengaruh faktor-faktor meterologi sudah disebutkan sebelumnya, pengaturan kelembapan pada SPKU perlu dioptimalkan. SPKU dikondisikan pada kelembapan yang optimal dengan tujuan mengurangi pengaruh dari faktor meterologi. Kelembapan ekstrem yang dapat mempengaruhi sensor dan instrumen [10]. Selain itu, kecepatan angin yang masuk ke dalam *chamber* perlu diatur untuk memastikan akurasi dan konsistensi dalam pengukuran polutan. Angin yang terlalu kencang dapat menyebabkan distribusi yang tidak merata dari partikel polutan dan gas, sehingga mengurangi keandalan data yang diperoleh. Sebaliknya, angin yang terlalu lambat tidak mencukupi untuk mengalirkan udara sampel secara efektif ke sensor, yang juga dapat mengakibatkan data yang tidak akurat. Pengaturan kecepatan angin yang optimal memastikan bahwa sampel udara yang diukur representatif dari kondisi udara di lingkungan sekitar, sehingga memberikan hasil pengukuran yang lebih tepat dan dapat diandalkan.

1.2.1 Aspek Lingkungan

Pengembangan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *microsensors* yang dilengkapi dengan penggondisi kelembapan dan kecepatan udara memiliki dampak positif yang signifikan pada lingkungan. Dengan kemampuan untuk

memberikan pengukuran yang lebih optimal, sistem ini memungkinkan deteksi dini terhadap polusi udara, memungkinkan tindakan yang cepat dan tepat dalam mengurangi dampaknya terhadap lingkungan. Selain itu, sistem ini juga memungkinkan untuk memantau perubahan pola polusi udara seiring waktu, memberikan data yang diperlukan untuk pengembangan kebijakan lingkungan yang lebih efektif dan berkelanjutan. Keuntungan utama dari penerapan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *microsensors* adalah kemampuannya untuk mengidentifikasi sumber-sumber polusi udara dengan akurat. Dengan mengetahui asal polutan, langkah-langkah pengurangan dan pencegahan dapat dilakukan secara lebih efisien, mengurangi dampak negatifnya pada kesehatan manusia dan ekosistem. Selain itu, sistem ini juga dapat meningkatkan kesadaran masyarakat akan kualitas udara dan dampaknya terhadap kesehatan, mendorong tindakan individu dan kolektif untuk mengurangi polusi udara

1.2.2 Aspek Kesehatan

Buruknya kualitas udara akan membuat dampak negatif bagi kehidupan makhluk hidup karena partikel buruk yang ada di udara tidak tampak, Hal tersebut membuat tidak diketahuinya keberadaan dari partikel buruk yang terhirup. Kualitas udara yang baik sangat dibutuhkan oleh semua makhluk hidup untuk keberlangsungan hidupnya. Kualitas udara di Indonesia sudah termasuk kategori buruk untuk kehidupan sehari – hari. Pencemaran udara menjadi faktor dari buruknya kualitas udara di Indonesia. Namun, berjalannya waktu pencemaran udara semakin meningkat dikarenakan faktor seperti industri pabrik, kendaraan bermotor, dan pemukiman yang semakin padat. Untuk menghindari itu pengendalian pencemaran udara sangat penting dilakukan untuk mengubah kualitas udara menjadi lebih baik. Pengendalian udara tak luput dari pemantauan udara yang dilakukan untuk memberikan informasi bagaimana pencemaran udara yang sudah terjadi. Oleh sebab itu, diperlukan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *microsensors* yang tidak hanya murah tetapi juga memberikan data yang berkualitas. Pengembangan sistem ini dapat membantu masyarakat mengetahui untuk tingkat polusi udara sehingga dapat dilakukan langkah selanjutnya untuk proteksi diri dari paparan polusi udara yang memperburuk kesehatan manusia.

Tabel 1. 5 Kategori Indeks Standar Pencemaran Udara

Rentan	Kategori	Penjelasan
1 - 50	Baik	Tingkat mutu udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan, dan tumbuhan
51 - 100	Sedang	Tingkat mutu udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan
101 - 200	Tidak Sehat	Tingkat mutu udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan, dan tumbuhan
201 - 300	Sangat Tidak Sehat	Tingkat mutu udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar
301+	Berbahaya	Tingkat mutu udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat

1.2.3 Aspek Ekonomi

Sistem yang dirancang dapat memberikan data yang lebih akurat dan andal, yang sangat penting untuk analisis kualitas udara. Keakuratan data ini memungkinkan pemerintah dan industri untuk mengambil tindakan yang lebih efektif dalam mengurangi polusi udara, yang pada gilirannya dapat menghemat biaya terkait dengan kesehatan publik dan penegakan regulasi lingkungan. Selain itu, sistem ini juga dapat membantu perusahaan dalam memenuhi standar lingkungan, menghindari denda, dan meningkatkan citra mereka sebagai entitas yang bertanggung jawab terhadap lingkungan. Dengan investasi awal yang rendah dibandingkan dengan instrumen utama dan manfaat jangka panjang yang signifikan, SPKU berbasis *microsensors* dengan pengondisi lingkungan ini merupakan pilihan yang ekonomis dan efisien untuk pemantauan kualitas udara yang lebih optimal.

1.2.4 Aspek Teknis

Sistem yang dirancang memiliki kelebihan dibanding dengan sistem sebelumnya. Sistem sebelumnya belum memiliki sub sistem yang mampu meminimalisir pengaruh dari kelembapan dan kecepatan angin yang dapat memicu terjadinya kesalahan pengukuran. Diperlukan sistem *sampling* yang memadai agar gas dan partikulat terukur secara optimal. Untuk mencapai hal tersebut, kelembapan dan kecepatan angin perlu dikondisikan. Kelembapan dikondisikan agar mencapai keadaan optimal pengukuran. Sedangkan kecepatan angin dapat dimanfaatkan

untuk pengambilan sampel gas dan polutan di udara. Dengan perpaduan sistem pengukuran yang sudah ada dan penambahan sistem *sampling*, diharapkan mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat dibandingkan sistem sebelumnya.

1.3 Analisis Solusi yang Ada

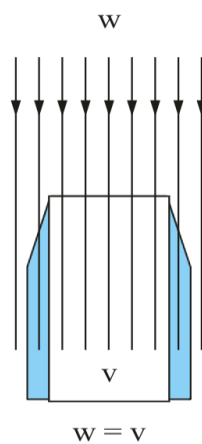
Berdasarkan permasalahan di atas, diperlukan sebuah sistem yang dapat meningkatkan keakuratan pengukuran. Keakuratan pengukuran adalah tingkat kedekatan pengukuran kuantitas terhadap nilai yang sebenarnya. Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat keakuratan pengukuran adalah *sampling* yang memadai pada sistem pemantauan kualitas udara. Tujuan dari *sampling* ini adalah mengurangi pengaruh negatif yang merugikan dari faktor – faktor meteorologi terhadap pengukuran konsentrasi PM_{2.5} dan CO₂. Faktor-faktor meteorologi tersebut diantaranya-Nya kelembapan dan kecepatan angin. Untuk mengurangi faktor-faktor tersebut, diperlukan pengondisian parameter meteorologi sehingga meningkatkan keakuratan pengukuran konsentrasi PM_{2.5} dan CO₂.

1.3.1 Pengondisian Aliran Udara

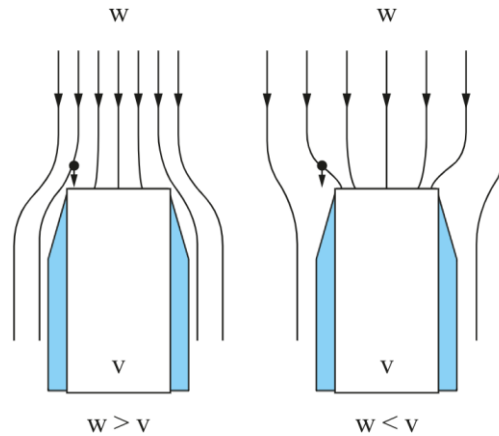
Pergerakan polutan di udara sangat dipengaruhi oleh aliran udara. Aliran udara yang cepat menyebabkan perpindahan polutan dari suatu lokasi menjadi lebih cepat. Sedangkan aliran udara yang lambat membuat polutan cenderung berkumpul pada satu tempat sehingga meningkatkan konsentrasi polutan di lokasi tersebut. Oleh karena itu, aliran udara cenderung berubah-ubah sehingga persebaran polutan menjadi tidak stabil. Hal ini mempengaruhi *sampling* pengukuran yang menyebabkan terjadi kesalahan pengukuran konsentrasi polutan. Persebaran polutan yang tidak stabil dapat menyebabkan pengukuran konsentrasi polutan menjadi tidak representatif. Oleh sebab itu diperlukan *sampling* yang mampu mengurangi pengaruh dari perubahan aliran udara yang dinamis. Di sisi lain, terdapat sebuah metode *sampling* yang mampu merepresentasikan konsentrasi polutan di udara secara *real-time*. *Isokinetic sampling* adalah metode pengambilan sampel dimana kecepatan udara yang masuk ke dalam saluran *sampling* sama dengan kecepatan udara *ambien* [9]. *Isokinetic sampling* memungkinkan kita untuk mendapatkan sampel yang representatif pada pengukuran polutan karena metode ini memastikan bahwa kecepatan aliran udara yang masuk ke alat pengukur sama dengan kecepatan aliran udara di lingkungan sekitar. Hal ini penting karena polutan

di udara, seperti partikel debu, aerosol, atau gas, bergerak dengan aliran udara. Jika kecepatan aliran udara di dalam alat pengukur tidak sesuai dengan kecepatan aliran udara di luar, ada risiko bahwa partikel-partikel tersebut akan dipisahkan atau dipengaruhi oleh perubahan kecepatan, sehingga hasil pengukuran menjadi tidak akurat atau tidak representatif.

Dengan *isokinetic* sampling, partikel-partikel polutan ditangkap dengan proporsi yang sama seperti yang ada di udara sekitarnya, tanpa adanya pengaruh dari perubahan kecepatan udara yang bisa menyebabkan *under-* atau *over-sampling* dari partikel tertentu. Ini memastikan bahwa sampel yang diambil mencerminkan komposisi udara yang sebenarnya, yang sangat penting untuk analisis yang akurat dan valid dari konsentrasi polutan. Selain itu, aliran udara yang masuk harus berada pada kondisi laminar. Hal ini dilakukan agar sistem tidak kehilangan sampel gas dan partikulat polutan pada proses pengukuran. Metode ini memungkinkan partikel polutan masuk ke dalam alat pengambilan sampel tanpa mengalami perubahan distribusi yang disebabkan oleh kecepatan udara *ambien* yang berubah-ubah.



Gambar 1. 4 Kondisi Isokinetic (representatif)



Gambar 1. 5 Kondisi Under-Sampling ($W > V$) dan Kondisi Over-Sampling ($W < V$)

1.3.2 Pengondisi *Relative Humidity* (RH)

Relative Humidity atau Kelembapan udara merupakan banyaknya uap air yang terkandung di udara. Tingkat kelembapan udara ini mempengaruhi pengukuran konsentrasi $PM_{2.5}$ dan CO_2 . Kelembapan udara yang tinggi dapat menyebabkan partikel di udara menggumpal akibat uap air sehingga ukuran partikel bertambah. Fenomena tersebut berdampak pada sensor yang cenderung membaca secara berlebihan dan menginterpretasikan uap air sebagai partikel [11]. Sedangkan pada kelembapan rendah partikulat dapat terpecah menjadi bagian yang lebih kecil dan sehingga sulit terbaca [12]. Hal ini membuat pengukuran menjadi terganggu dan tidak optimal. Pengondisian kelembapan dilakukan agar kandungan uap air yang terukur tidak berlebih ataupun tidak kurang sehingga pengukuran lebih akurat. Kelembapan udara dikondisikan dalam rentang 40% sampai 60% dikarenakan kondisi tersebut merupakan kondisi yang optimal dalam pengukuran konsentrasi gas dan partikel.

1.4 Kesimpulan

Polusi udara di Indonesia menjadi masalah serius dengan dampak negatif terhadap Kesehatan dan lingkungan. Gas polutan seperti CO_2 dan $PM_{2.5}$ dari industri dan kendaraan bermotor meningkatkan risiko penyakit pernapasan dan kardiovaskular. Sistem pemantauan kualitas udara (SPKU) berbasis *microsensors* merupakan alat yang dapat memberikan data konsentrasi polutan secara *real-time* sehingga meningkatkan kesadaran masyarakat tentang kualitas udara dan dapat membantu pemerintah dalam menetapkan langkah-langkah penanganan pencemaran udara.

Pengondisian kelembapan dikarenakan sensor CO₂ menggunakan prinsip NDIR. NDIR (nondispersive infrared sensor) merupakan prinsip yang mendeteksi gas CO₂ dengan cara memancarkan gelombang sinar inframerah ke sensor dengan rentang panjang gelombang tertentu. Keadaan PM_{2.5} dan CO₂ akan terpengaruhi oleh kelembapan. Ketika kelembapan tinggi maka akan terjadi penggumpalan uap air yang mengakibatkan pembacaan sensor CO₂ menggunakan prinsip NDIR berlebih. PM_{2.5} dapat menggumpal bersamaan dengan uap air dan ketika pembacaan sensor CO₂, PM_{2.5} yang menggumpal tadi akan dianggap gas CO₂ oleh sensor membuat pembacaan sensor berlebih. Maka dari itu, untuk menghindari salah pembacaan sensor dibutuhkan pengondisian kelembapan untuk menghilangkan uap air berlebih.

Penelitian sebelumnya menghasilkan SPKU berbasis *microsensors* yang menjadi solusi pemantauan konsentrasi CO₂ dan PM_{2.5}. Namun SPKU tersebut terpengaruh faktor meterologi seperti kelembapan dan kecepatan angin. Diperlukan peningkatan kualitas SPKU dengan mengurangi pengaruh faktor-faktor tersebut dan menghasilkan pengukuran yang lebih akurat. Untuk mengurangi pengaruh dari kelembapan dan kecepatan angin, diperlukan sistem yang mampu mengondisikan ketiga parameter tersebut. Kelembapan udara dikondisikan dalam rentang 40% - 60% dikarenakan kondisi tersebut merupakan keadaan optimal dalam pengukuran konsentrasi polutan. Disamping itu, untuk mengurangi pengaruh aliran udara, digunakan metode *isokinetic sampling* yang dapat merepresentasikan lingkungan sekitar secara *real-time*. Selain menawarkan solusi yang ekonomis dan efisien, SPKU yang akan dirancang diharapkan mampu memberikan data pengukuran konsentrasi CO₂ dan PM_{2.5} yang akurat.