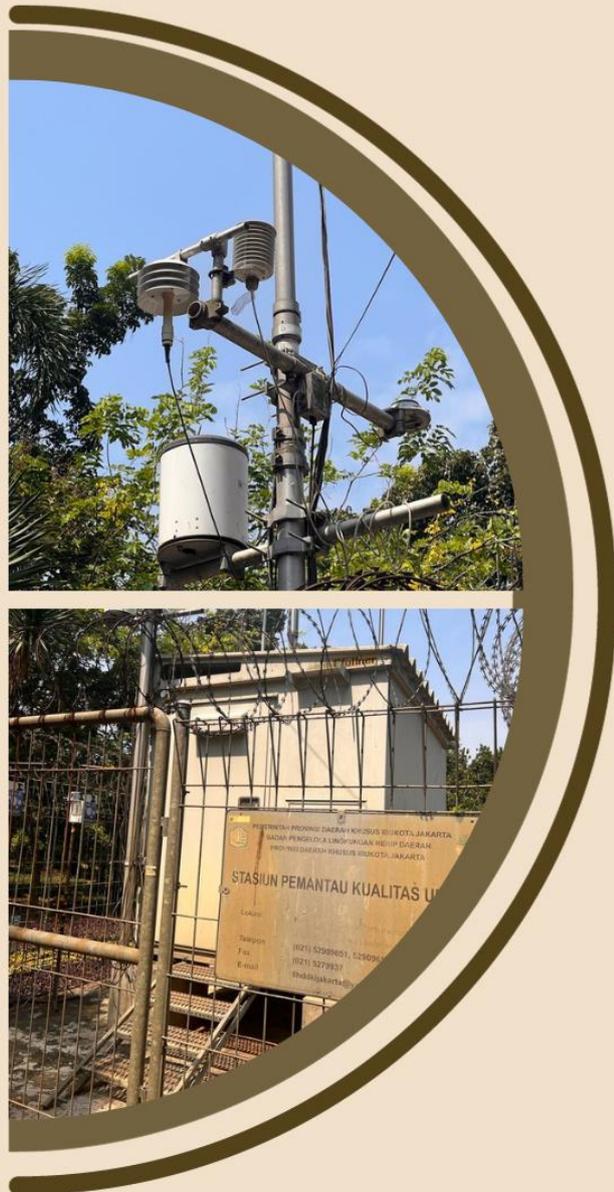




IPB University
— Bogor Indonesia —

Laporan Akhir

Kajian Pemantauan Kualitas Udara di Provinsi DKI Jakarta



Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta

Didukung oleh IPB University

2023

Laporan Akhir

Kajian Pemantauan Kualitas Udara di Provinsi DKI Jakarta

Hap Cipta © 2023 oleh Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta

Dilarang menggunakan isi maupun memperbanyak buku ini sebagian atau seluruhnya, baik dalam bentuk fotocopy, cetak, *microfilm*, elektronik maupun bentuk lainnya, kecuali untuk keperluan pendidikan atau non-komersial lainnya dengan menyebutkan sumbernya

Cara Mengutip:

Perdinan, Mustofa I, Sugiarto Y, Anwar MA, Infrawan DYD, Aprilia S, Adi RF, Fardilah RD, Basit RA, Prihansyah R, Tjahjono REP, Chairunnisa N, Rahmawati, Fitatunnisa EP, Rahmawati N. Kajian Pemantauan Kualitas Udara di Provinsi DKI Jakarta Tahun 2023. Jakarta (ID): Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta

ISBN:

Desain halaman muka oleh piarea.co.id

Foto oleh piarea.co.id

Dilaporkan oleh: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam – IPB University

UCAPAN TERIMA KASIH

Dokumen laporan hasil Kajian Pemantauan Kualitas Udara di Provinsi DKI Jakarta tersusun atas kontribusi dari berbagai pihak dan pemangku kepentingan melalui, kelompok diskusi terfokus, ulasan sejawat dan berbagai masukan lainnya. Oleh karena itu, penghargaan dan ucapan terima kasih diberikan kepada:

PENGARAH

Ir. Erni Pelita Fitratunnisa, M.E
Rahmawati, S.T., M.Si
Nofi Rahmawati, A.R.S, S.T., M.T

PENYUSUN

Perdinan, Ph.D, M.NRE
Ikrom Mustofa, M.Sc.
Yon Sugiarto, M.Sc.
Mayrianti Annisa Anwar, M.Si.
Delta Yova Dwi Infrawan, S.Si.
Suvany Aprilia, S.Si.
Ryco Farysca Adi S.Si.
Ratih Dwi Fardilah, M.GES.
Rizki Abdul Basit, S.Si.
Rendy Prihansyah, S.Kom
Raden Eliasar T.J, S.Si.
Nurul Chairunnisa, S.T

KONTRIBUTOR & SURVEYOR

Yudid Sarunggu
Budi Nababan
Fahmi Zakaria
Natan H.S Sihombing
Afriza Azima
Garry TB Gultom, S.Kom
Maria Lenny
Edawati

KATA PENGANTAR



KEPALA DINAS LINGKUNGAN HIDUP
PROVINSI DKI JAKARTA

Laporan akhir kajian pemantauan kualitas udara 2023 merupakan hasil dari upaya kolaboratif yang melibatkan berbagai pihak, termasuk pemerintah, lembaga, dan masyarakat yang peduli terhadap lingkungan di wilayah DKI Jakarta. Laporan ini bertujuan untuk menyusun desain jaringan dan keragaman sistem pemantau kualitas udara, melakukan analisis jaringan pemantauan kualitas udara permukaan, menyusun desain pemanfaatan jaringan stasiun pengamatan kualitas udara DKI, menyusun Mock-up Dashboard portal pemantauan kualitas udara yang memberikan gambaran *decision support system* berdasarkan hasil pemantauan, pelaporan, simulasi dan evaluasi manfaat, dan menyusun panduan pemantauan kualitas udara berupa partisipasi komunitas dalam pemantauan kualitas udara. Kualitas udara adalah aspek yang sangat penting dalam menjaga kesehatan manusia dan ekosistem lingkungan. Pemantauan kualitas udara sebagai langkah dalam upaya menjaga kesehatan masyarakat dan lingkungan, terutama dalam konteks pertumbuhan perkotaan yang pesat dan peningkatan aktivitas industri serta fondasi bagi pengambilan keputusan yang cerdas dalam mengatasi masalah-masalah yang berkaitan dengan pencemaran udara.

Kualitas udara memiliki peran kunci dalam menjaga kesehatan manusia dan ekosistem. Pemantauan kualitas udara menjadi langkah penting dalam menjaga kesehatan masyarakat dan lingkungan, terutama di tengah pertumbuhan perkotaan yang cepat dan peningkatan aktivitas industri. Hal ini juga dapat memberikan dasar bagi pengambilan keputusan yang cerdas dalam mengatasi masalah pencemaran udara.

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam pengumpulan data, analisis, serta penyusunan laporan ini. Semoga laporan ini dapat memberikan wawasan yang berharga dan menjadi panduan untuk tindakan selanjutnya dalam menjaga dan meningkatkan kualitas udara di DKI Jakarta.

Jakarta, November 2023

Asep Kuswanto, S.E., M.Si
Kepala Dinas Lingkungan Hidup
Provinsi DKI Jakarta

RINGKASAN

Laporan ini menyajikan desain jaringan kajian pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta 2023. Berikut adalah poin-poin utama yang terdapat pada laporan ini:

LATAR BELAKANG

Pencemaran udara di DKI Jakarta merupakan masalah serius yang berdampak negatif pada kualitas hidup penduduk dan lingkungan. Selain sektor transportasi, industri dan pembangunan yang pesat juga berkontribusi signifikan terhadap pencemaran udara di Jakarta. Pencemaran udara ini tidak hanya mengancam kesehatan penduduk Jakarta, tetapi juga berdampak pada ekosistem dan kualitas udara di seluruh wilayah sekitarnya. Salah satu kebijakan utama untuk mencapai tujuan peningkatan kualitas udara adalah dengan memperkuat jaringan pemantauan kualitas udara. Jumlah SPKU saat ini masih belum dapat mewakili luasan wilayah DKI Jakarta sehingga belum bisa menggambarkan kondisi kualitas udara Jakarta secara menyeluruh. Oleh sebab itu, kajian tentang pemantauan kualitas udara ini perlu dibuat untuk menghasilkan analisis pemantauan kualitas udara dan peta jalan (*roadmap*) Pemantauan Kualitas Udara Wilayah DKI yang dilengkapi dengan desain rancangan aplikasi serta SOP pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta untuk dapat diinformasikan kepada seluruh pemangku kepentingan.

TUJUAN

Laporan ini bertujuan untuk menyusun desain jaringan dan keragaman sistem pemantau kualitas udara, melakukan analisis jaringan pemantauan kualitas udara permukaan, menyusun desain pemanfaatan jaringan stasiun pengamatan kualitas udara DKI, menyusun Mock-up Dashboard portal pemantauan kualitas udara yang memberikan gambaran *decision support system* berdasarkan hasil pemantauan, pelaporan, simulasi dan evaluasi manfaat, dan menyusun panduan pemantauan kualitas udara berupa partisipasi komunitas dalam pemantauan kualitas udara.

METODE

Ragam metode digunakan dalam kajian ini, yang meliputi analisis keragaman jaringan stasiun, analisis tumpang susun, analisis parameter dan teknologi serta biaya dan manfaat, serta analisis pengembangan *mock-up* terintegrasi.

HASIL ANALISIS KERAGAMAN

Fixed station SPKU yang ada saat ini sangat penting untuk dipertahankan bahkan ditambah jumlahnya. Penambahan jumlah SPKU untuk meningkatkan kerapatan distribusi SPKU penting untuk meningkatkan keragaman sekaligus ketelitian hasil analisis kualitas udara wilayah di DKI Jakarta. Berdasarkan analisis PCA, untuk mendapatkan distribusi area pengukuran yang baik maka SPKU yang tersedia saat ini harus dipertahankan. Selain itu, diantara masing-masing SPKU yang berjarak cukup jauh namun memiliki keragaman yang kecil perlu dipasang SPKU sehingga dapat diketahui sumber polutan dan faktor penyebab kualitas udara yang ada di wilayah DKI Jakarta dengan lebih tepat.

REKOMENDASI JARINGAN PEMANTAUAN

Berdasarkan hasil analisis yang mendalam dengan mempertimbangkan berbagai komponen dan indikator, terutama terkait dengan pemantauan kualitas udara, DKI Jakarta telah menentukan kebutuhan untuk total 25 Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) referensi, dengan catatan 12 SPKU eksisting, 13 SPKU usulan akan ditempatkan di daratan dan kepulauan DKI Jakarta, Selain SPKU, kajian ini juga merekomendasikan pengembangan indikatif- *Low-Cost Sensor* (LCS) sebagai bagian dari upaya melengkapi kebutuhan pemantauan kualitas udara sejumlah 44 titik. Saat ini, sudah tersedia 14 titik LCS yang akan digunakan dalam jaringan pemantauan, akan ditambahkan sekitar 27 LCS di berbagai wilayah daratan DKI Jakarta, serta 3 LCS tambahan di Kepulauan Seribu. DKI Jakarta juga telah berhasil mengoperasikan 3 *Mobile Station* pemantauan kualitas udara di berbagai lokasi strategis dalam wilayah kota administratif DKI Jakarta, dan kajian ini merekomendasikan penambahan 2 *Mobile Station* agar dapat mencakup seluruh wilayah kota administratif DKI Jakarta.

MOCK-UP SISTEM PEMANTAUAN KUALITAS UDARA

Bagian ini merupakan representasi visual atau prototipe dari sistem yang dirancang untuk memantau kualitas udara. Hal ini mencakup penggunaan grafik, tampilan data, dan *interface* yang memungkinkan pemantauan dan pemahaman yang lebih baik tentang tingkat polusi udara dan parameter kualitas udara. Mock-up sistem ini dapat digunakan untuk pengujian konsep, pelatihan, dan penyusunan rencana implementasi sistem pemantauan kualitas udara.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISTILAH	i
DAFTAR SINGKATAN	v
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan	4
1.3 Luaran	4
1.4 Dasar Hukum	4
2 KONDISI UMUM WILAYAH DKI JAKARTA	6
2.1 Karakteristik Wilayah	6
2.2 Karakteristik Morfologi DKI Jakarta	7
2.3 Karakteristik Iklim	7
3 LANDASAN TEORI	11
3.1 Pemantauan Kualitas Udara	11
3.2 Ragam Metode Pemantauan Kualitas Udara	12
3.3 Kajian terkait Penentuan Jaringan Pemantauan Kualitas Udara di DKI Jakarta	14
3.4 Manfaat Pemantauan Kualitas Udara	17
4 METODOLOGI KAJIAN	18
4.1 Lokasi Kajian	18
4.2 Sumber Data dan Informasi	19
4.3 Metodologi Kajian	23
4.3.1 Analisis Desain Jaringan dan Keragaman SPKU Referensi di DKI Jakarta	24
4.3.2 Analisis Jaringan Pemantauan Kualitas Udara DKI Jakarta	27
4.3.3 Pengembangan Jaringan Stasiun Pemantauan Kualitas Udara	34
4.3.4 Pengembangan Desain <i>Mockup</i> Aplikasi Pemantauan Kualitas Udara Lingkup DKI Jakarta	39
4.3.5 Pengembangan Panduan Pemantauan Kualitas Udara	40
5 DESAIN JARINGAN DAN KERAGAMAN SPKU	42
5.1 Analisis Tren Parameter	42

5.2	Perbandingan Parameter di Setiap SPKU	46
5.3	Survei Validasi untuk SPKU	51
5.4	Kesimpulan Desain Jaringan dan Keragaman SPKU	52
6	JARINGAN PEMANTAUAN KUALITAS UDARA DKI JAKARTA	54
6.1	Analisis Komponen Pertimbangan Jaringan Pemantauan Kualitas Udara	54
6.2	Analisis Tumpang Susun	54
6.3	Rancangan Jaringan Pemantauan Kualitas Udara DKI Jakarta	59
6.3.1	Jaringan SPKU	60
6.3.2	Jaringan Indikatif LCS	65
6.3.3	Jaringan Mobile Station	68
6.4	Kesimpulan Jaringan Pemantauan	72
7	PENGEMBANGAN JARINGAN STASIUN PENGAMATAN KUALITAS UDARA	74
7.1	Parameter dalam Jaringan Pemantauan	74
7.2	Teknologi dalam Jaringan Pemantauan	80
7.2.1	Teknologi Pemantauan untuk SPKU dan Metodenya	80
7.2.2	Metode Pengukuran Parameter Kimia sesuai Federal Reference Method (FRM)	82
7.2.3	Metode Indikatif (<i>Low-Cost Sensor</i>)	96
7.2.4	Metode Mobile Station	98
7.3	Analisis Biaya dan Manfaat Jaringan Pemantauan	101
7.4	Kesimpulan Desain Pemanfaatan Jaringan Stasiun	104
8	ANALISIS MOCK-UP SISTEM PEMANTAUAN KUALITAS UDARA	106
8.1	Daftar Fitur dan Fungsi Sistem Pemantauan Kualitas Udara	106
8.2	Class Diagram	111
8.3	Data Flow Diagram (DFD)	112
8.4	Entity Relationship Diagram (ERD)	113
8.5	Design Guidelines and Mockup Prototyping	114
9	SEKILAS PANDUAN PEMANTAUAN KUALITAS UDARA	116
10	KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	117
10.1	Kesimpulan	117
10.2	Rekomendasi	118

DAFTAR PUSTAKA

120

LAMPIRAN

127

DAFTAR ISTILAH

- Banjir** : Peristiwa yang terjadi ketika aliran air berlebihan merendam daratan
- Class Diagram** : Jenis diagram yang menggambarkan struktur sistem berorientasi objek dengan menunjukkan kelas, atribut, metode, dan hubungan antar objek
- Curah Hujan** : Jumlah hujan yang turun pada suatu daerah dalam waktu tertentu
- Dashboard** : Aplikasi sistem informasi yang menyajikan informasi mengenai indikator utama dari aktivitas organisasi secara sekilas dalam layar tunggal
- Dispersi** : Suatu sistem dimana partikel terdistribusi dari satu bahan tersebar dalam sebuah fase berkelanjutan dari bahan lain
- Ekosistem** : Suatu sistem yang terdiri dari organisme hidup (biotik) dan lingkungan fisik (abiotik) yang saling berinteraksi di dalam suatu wilayah atau area tertentu
- El Nino** : Fenomena pemanasan suhu muka laut (SML) di atas kondisi normalnya yang terjadi di samudera pasifik bagian tengah
- Elevasi** : Ketinggian suatu objek dari satu titik tertentu (datum)
- Emisi** : Pencemar udara yang dihasilkan dari kegiatan manusia yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara, mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi pencemaran udara
- Iklim** : Kebiasaan dan karakter cuaca yang terjadi di suatu tempat atau daerah
- Iklim Mikro** : Iklim dalam satu wilayah spesifik dalam satu area yang lebih luas
- Iklim Regional** : Iklim yang terjadi di suatu daerah dengan lingkup yang kecil
- Jalan Arteri** : Jalan umum yang dapat digunakan oleh kendaraan angkutan

Jalan Kolektor	: Jaringan jalan umum yang ditujukan untuk kendaraan angkutan pembagi atau pengumpul
Jalan Lingkungan	: Jalan yang berada di lingkungan perumahan, atau jalan servis untuk lingkungan perumahan
Jalan lokal	: Jalan umum untuk kendaraan angkutan lokal
Kalibrasi	: Kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukkan alat ukur dan bahan ukur dengan cara membandingkan terhadap standar ukur yang mampu telusur ke SNI maupun internasional
Karbon Monoksida	: Gas beracun yang tidak berbau atau berasa
Kecepatan Angin	: Satuan yang mengukur kecepatan aliran udara dari tekanan tinggi ke tekanan rendah dan diukur dengan menggunakan anemometer atau dapat diklasifikasikan dengan menggunakan skala Beaufort yang didasarkan pada pengamatan pengaruh spesifik dari kecepatan angin tertentu
Kelembaban	: Konsentrasi kandungan dari uap air yang ada di udara
Kesehatan	: Kondisi kesejahteraan fisik, mental, dan sosial yang lengkap dan bukan sekedar tidak adanya penyakit atau kelemahan
Kualitas Udara	: Kadar kandungan udara berdasarkan konsentrasi polutan di lokasi tertentu
La Nina	: Suhu muka laut (SML) di samudera pasifik di bagian tengah mengalami pendinginan di bawah kondisi normalnya
Migran	: Seseorang yang bermigrasi atau telah bermigrasi dari satu negara ke negara lain yang akan dipekerjakan oleh siapapun selain dirinya sendiri
Mock-up	: Visualisasi ataupun rancangan konsep desain yang akan diterapkan di sebuah produk
Nitrogen Dioksida	: Salah satu kontributor pembentuk kabut asap dan prekursor banyak polutan sekunder berbahaya, termasuk ozon dan partikel

Osilasi	: Variasi periodik terhadap waktu dari suatu hasil pengukuran
Ozon	: Molekul anorganik radikal yang terdiri dari tiga atom oksigen
Pencemaran Udara	: Kehadiran satu atau lebih substansi fisik, kimia, atau biologi di atmosfer dalam jumlah yang dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan, mengganggu estetika dan kenyamanan atau merusak properti
Perubahan Iklim	: Perubahan pola dan intensitas unsur iklim dalam periode waktu yang sangat lama
Polutan	: Zat yang mampu menyebabkan pencemaran lingkungan
Populasi	: Seluruh jumlah jiwa atau individu yang berada dalam satu wilayah atau daerah
Stasiun Pemantauan Kualitas Udara	: Lokasi untuk melakukan pemantauan secara otomatis yang dilakukan dengan peralatan pemantau kualitas udara yang bekerja secara otomatis
Sulfur Dioksida	: Senyawa yang dibentuk dari kombinasi unsur sulfur dan oksigen
Teluk	: Badan air yang sebagian dikelilingi oleh lautan
Topografi	: Kenampakan alami maupun kultural di permukaan bumi
Udara	: Campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi
Udara Ambien	: Udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang dibutuhkan dan berpengaruh pada kesehatan makhluk hidup, termasuk manusia, dan unsur lingkungan hidup lainnya
Uji Homogenitas	: Analisis statistik yang digunakan untuk menguji kehomogenan dua kelompok atau lebih dalam hal variansnya
Uji T-Test	: Pendekatan statistik yang digunakan untuk menguji hipotesis nol
Urban Heat Island	: Fenomena peningkatan suhu udara di wilayah perkotaan

Effect dibandingkan dengan daerah pedesaan mencapai 3-10°C

Urbanisasi : Perpindahan penduduk secara berduyun-duyun dari desa (kota kecil, daerah) ke kota besar

DAFTAR SINGKATAN

AQI+	:	<i>Air Quality Index</i>			<i>Methods</i>
BIG	:	Badan Informasi Geospasial	FRMs	:	Federal Reference Methods
BMKG	:	Badan meteorologi, Klimatologi dan Geofisika	GG	:	Ganjil Genap
CAPS	:	<i>Cavity Attenuated Phase Shift Spectroscopy</i>	GIS	:	Geographic Information System
CFD	:	<i>Car Free Day</i>	HBKB	:	Hari Bebas Kendaraan Bermotor
CFR	:	<i>Code of Federal Regulations</i>	HI	:	Hotel Indonesia
CO	:	Karbon Monoksida	ISPA	:	Infeksi Saluran Pernapasan Akut
DEM	:	Digital Elevation Model	JJA	:	Juni Juli Agustus
Demnas	:	DEM Nasional	KLHK	:	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
DFD	:	Data Flow Diagram	km	:	Kilometer
DJF	:	Desember, Januari, Februari	LCS	:	Low Cost Sensor
DKI	:	Daerah Khusus Ibukota	mdpl	:	<i>Meter di atas Permukaan Laut</i>
DLH	:	Dinas Lingkungan Hidup	NAAQS	:	<i>National Ambient Air Quality Standards</i>
DOAS	:	Differential Optical Absorption Spectroscopy	NDIR	:	<i>Non-dispersive Infrared</i>
ENSO	:	<i>El Nino-Southern Oscillation</i>	NO₂	:	Nitrogen Dioksida
ERD	:	<i>Entity Relationship Diagram</i>	NO_x	:	Nitrogen Oksida
ES EPA	:	<i>US Environmental Protection Agency</i>	O₃	:	Ozon
FEMs	:	<i>Federal Equivalent</i>	PCA	:	<i>Principal Component Analysis</i>
			Pemda	:	Pemerintah Daerah
			PID	:	Photoionization Detectors

PLTU	:	Pembangkit Listrik Tenaga Uap	WINS	:	<i>Well Impactor Ninety-six</i>
PM	:	Particulate Matter			
PM2.5	:	Partikulat Debu Halus			
PMT	:	Photomultiplier tube			
PTFE	:	Polytetrafluoroethylene			
RH	:	Relative Humidity			
SDM	:	Sumber Daya Manusia			
shp	:	<i>Shapefile</i>			
SNI	:	Standar Nasional Indonesia			
SO₂	:	Sulfur Dioksida			
SOP	:	Strandar Operasional Prosedur			
SPKU	:	Stasiun Pemantauan Kualitas Udara			
TEOM	:	<i>Tapered Element Oscillating Microbalance</i>			
THC	:	Total Hidrokarbon			
TSP	:	<i>Total Suspended Particulate</i>			
UDARA	:	<i>Urban Hybrid models for Air Pollution Assessment</i>			
UI	:	<i>User Interface</i>			
UV	:	Ultraviolet			
UX	:	<i>User Experience</i>			
VOC	:	<i>Volatile Organic Compounds</i>			
VSCC	:	<i>Very Sharp Cut Cyclone</i>			
WHO	:	<i>World Health Organization</i>			

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

DKI Jakarta merupakan Ibukota Negara Republik Indonesia dengan jumlah penduduk mencapai 10,67 juta jiwa pada Tahun 2022 (BPS, 2022), Dengan luas wilayah yang hanya sebesar 664 kilometer persegi (km²), tingkat kepadatan penduduk Jakarta mencapai 16.125 jiwa per kilometer persegi (Rizaty, 2023). Sebagai ibukota negara yang menjadi pusat pemerintahan dan pusat ekonomi, DKI Jakarta juga menjadi sumber penghidupan bagi warga di wilayah sekitarnya. Jumlah migran ulang-alik yang memasuki Jakarta dari tahun ke tahun selalu menunjukkan peningkatan. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta (2017) menyebutkan bahwa saat jam kerja di siang hari jumlah penduduk bisa mencapai 14,5 juta jiwa (Setyodhono, 2017). Selisih jumlah penduduk tersebut merupakan para migran ulang-alik, terutama pekerja, yang hanya ada di Jakarta pada jam kerja kemudian pulang ke daerahnya pada sore atau malam hari (LIPI, 2018).

DKI Jakarta yang merupakan pusat pemerintah dan ekonomi terus berkembang cepat seiring pembangunan berbagai fasilitas yang terus berlangsung. Hal ini menyebabkan penggunaan lahan di DKI Jakarta telah mengalami perubahan yang signifikan selama beberapa dekade terakhir. Dahulu, Jakarta adalah kota yang didominasi oleh lahan pertanian dan hutan mangrove di sepanjang pesisir. Namun, seiring dengan pertumbuhan pesat populasi dan urbanisasi yang intensif, banyak lahan pertanian dan hutan mangrove telah beralih fungsi menjadi pemukiman, perusahaan, dan infrastruktur perkotaan (Wilujeng *et al.*, 2022). Salah satu perubahan paling mencolok adalah terkait pembangunan gedung-gedung pencakar langit, pusat perbelanjaan, serta kawasan komersial dan pemukiman di berbagai sudut kota. Hal ini menyebabkan banyaknya lahan yang awalnya digunakan untuk pertanian atau pemukiman tradisional menjadi area yang padat dan modern. Selain itu, pemanfaatan lahan untuk proyek infrastruktur seperti jalan tol dan proyek perumahan juga telah mengubah wajah Jakarta.

Perubahan morfologi lahan dan iklim mikro di DKI Jakarta telah menjadi isu penting dalam beberapa dekade terakhir (Dewi



© Media Indonesia, Panca Syurkani | Penduduk DKI

et al., 2020). Urbanisasi yang pesat dan pertumbuhan populasi yang cepat, menggantikan berbagai ekosistem alam menjadi gedung-gedung pencakar langit, jalan-jalan beton, dan pemukiman padat. Perubahan ini telah berdampak signifikan pada iklim mikro di DKI Jakarta. Sebagai contoh, suhu udara di kota ini cenderung lebih tinggi daripada daerah sekitarnya akibat urban *heat island effect*, di mana material bangunan dan jalan menyerap panas dan memancarkannya kembali ke udara. Selain itu, aliran sungai-sungai yang merupakan saluran air alami dari hulu ke wilayah pesisir telah banyak berkurang dan terdegradasi sehingga mengurangi fungsinya dan menyebabkan banjir pada saat hujan dengan intensitas tinggi.

Pembangunan gedung dan jalan yang tidak terkoordinasi telah mengubah aliran angin di kota, mempengaruhi sirkulasi udara dan distribusi polutan di udara. Salah satu penyebab utama pencemaran udara adalah tingginya volume kendaraan bermotor, terutama kendaraan pribadi, yang menghasilkan emisi gas buang berbahaya seperti karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), dan partikulat debu halus (PM2.5) (Michelle *et al.*, 2021). DKI Jakarta merupakan pusat aktivitas perdagangan dan jasa sehingga memiliki aktivitas transportasi yang tinggi. Kendaraan bermotor pribadi yang masih menjadi transportasi utama masyarakat di DKI Jakarta menjadi salah satu sumber emisi pencemar ke udara. Kepadatan lalu lintas yang tinggi dan kurangnya infrastruktur transportasi umum yang efisien menyebabkan kemacetan lalu lintas, yang pada gilirannya meningkatkan emisi polutan udara. Tingginya konsentrasi polusi di udara dapat menurunkan kualitas udara dan berdampak negatif pada kesehatan masyarakat. Pencemaran udara di DKI Jakarta merupakan masalah serius yang berdampak negatif pada kualitas hidup penduduk dan lingkungan.

Selain sektor transportasi, industri dan pembangunan yang pesat juga berkontribusi signifikan terhadap pencemaran udara di Jakarta (Sembiring, 2020). Pabrik-pabrik, termasuk pembangkit listrik, seringkali menggunakan bahan bakar fosil yang menghasilkan emisi berbahaya, seperti sulfur dioksida (SO₂) dan nitrogen oksida (NO_x) (Myllyvirta *et al.*, 2020). Kurangnya pengelolaan limbah industri yang baik juga dapat menyebabkan polusi udara melalui pelepasan zat beracun ke atmosfer.

Pencemaran udara ini tidak hanya mengancam kesehatan penduduk Jakarta, tetapi juga berdampak pada ekosistem dan kualitas udara di seluruh wilayah sekitarnya. Oleh karena itu, tindakan nyata untuk mengurangi emisi kendaraan, mengembangkan transportasi umum yang lebih baik, meningkatkan pengawasan industri, dan mendorong penggunaan energi bersih adalah langkah-langkah yang sangat penting untuk mengatasi masalah pencemaran udara yang serius di DKI Jakarta.



Salah satu kebijakan utama untuk mencapai tujuan peningkatan kualitas udara adalah dengan memperkuat jaringan pemantauan kualitas udara. Hal ini sejalan dengan Castell *et al.*, (2017) dan Schneider *et al.*, (2017) terkait peningkatan kualitas udara melalui jaringan pemantauan kualitas udara. Melalui jaringan pemantauan ini, pemerintah dan berbagai lembaga terkait dapat mengumpulkan data yang akurat tentang tingkat polusi udara di berbagai lokasi. Dengan memiliki data yang berkualitas, pemerintah daerah dapat mengambil tindakan yang tepat untuk mengurangi polusi udara dan melindungi masyarakat dari dampak buruknya.

Dalam rangka pengelolaan kualitas udara, pemerintah Provinsi DKI Jakarta melalui Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Provinsi DKI Jakarta telah melakukan pemantauan kualitas udara. Pemantauan dilakukan menggunakan stasiun pemantau kualitas udara (SPKU) dengan parameter SO_2 , NO_2 , CO , O_3 , PM_{10} , $PM_{2.5}$ serta parameter meteorologi, yang dipasang di 5 lokasi, yaitu Bundaran HI, Kelapa Gading, Jagakarsa, Lubang Buaya dan Kebon Jeruk.

Selain itu, titik pemantauan di DKI Jakarta juga diperkaya dengan beroperasinya 1 stasiun KLHK, 1 stasiun BMKG, 2 stasiun *Embassy*, 3 BAMS, 14 *Low-cost Sensors*, dan 3 *Mobile Station*. Pemantauan yang dilakukan saat ini di dalam jaringan stasiun tersebut dapat mencerminkan fluktuasi secara temporal maupun spasial (Turyanti, 2016). Namun demikian, karena polanya sangat spesifik lokasi, maka pola spasial baru dapat representatif jika jumlah dan lokasi stasiun pemantau memadai.

Jumlah SPKU saat ini masih belum dapat mewakili luasan wilayah DKI Jakarta sehingga belum bisa menggambarkan kondisi kualitas udara Jakarta secara menyeluruh. Keterwakilan kondisi kualitas udara ambien oleh satu stasiun pemantauan sangat ditentukan oleh karakteristik kota itu sendiri seperti iklim, aktivitas sumber emisi, serta karakteristik permukaan baik jenis tutupan maupun topografi. Oleh sebab itu, kajian tentang pemantauan kualitas udara ini perlu dibuat untuk menghasilkan analisis pemantauan kualitas udara dan peta jalan (*roadmap*) Pemantauan Kualitas Udara Wilayah DKI yang dilengkapi dengan desain rancangan aplikasi serta SOP pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta untuk dapat diinformasikan kepada seluruh pemangku kepentingan.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud pelaksanaan Penyusunan Kajian Pemantauan Kualitas Udara di Provinsi DKI Jakarta merupakan upaya Pemerintah Provinsi DKI Jakarta untuk menghasilkan dokumen kajian hasil analisa pemantauan kualitas udara dan peta jalan (*roadmap*) Pemantauan Kualitas Udara Wilayah DKI yang dilengkapi dengan desain rancangan aplikasi serta SOP pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta untuk dapat diinformasikan kepada seluruh pemangku kepentingan.

Tujuannya dilaksanakannya kegiatan ini yaitu:

1. Menyusun desain jaringan dan keragaman sistem pemantau kualitas udara (SPKU) di DKI

- Jakarta;
2. Melakukan analisis jaringan pemantauan kualitas udara permukaan (*groundbase*) di DKI Jakarta;
3. Menyusun desain pemanfaatan jaringan stasiun pengamatan kualitas udara DKI Jakarta;
4. Menyusun *Mock-up* Dashboard portal pemantauan kualitas udara yang memberikan gambaran *decision support system* berdasarkan hasil pemantauan, pelaporan, simulasi dan evaluasi manfaat;
5. Menyusun panduan pemantauan kualitas udara berupa partisipasi komunitas dalam pemantauan kualitas udara.

1.3 Luaran

Adapun luaran yang diharapkan dari kegiatan ini adalah sebagai berikut.

1. Desain jaringan dan keragaman sistem pemantau kualitas udara (SPKU) eksisting;
2. Desain jaringan pemantau kualitas udara permukaan (*groundbase*) meliputi jumlah SPKU referensi, indikatif- *Low-cost sensors* (LCS), dan *Mobile Station*;
3. Desain pemanfaatan jaringan stasiun pengamatan kualitas udara DKI Jakarta;
4. Desain rancangan aplikasi *Mock-up* Dashboard portal pemantauan kualitas udara yang memberikan gambaran *decision support system* berdasarkan hasil pemantauan, pelaporan, simulasi dan evaluasi manfaat;
5. Panduan pemantauan kualitas udara.

1.4 Dasar Hukum

Dasar hukum yang digunakan dalam kegiatan Penyusunan Kajian Pemantauan Kualitas Udara di Provinsi DKI Jakarta, yaitu :

1. Undang Undang No 36 Tahun 2009 tentang Kesehatan

2. Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
3. Peraturan pemerintah No. 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan
4. Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
5. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara
6. Peraturan Daerah No 2 Tahun 2005 tentang pengendalian pencemaran udara
7. Keputusan Gubernur No 551 Tahun 2001 tentang Penetapan Baku Mutu Udara Ambien
8. Instruksi Gubernur No 66 Tahun 2019 tentang Pengendalian Kualitas Udara
9. SNI terkait kualitas udara (detail SNI tersedia di **Lampiran 1**)

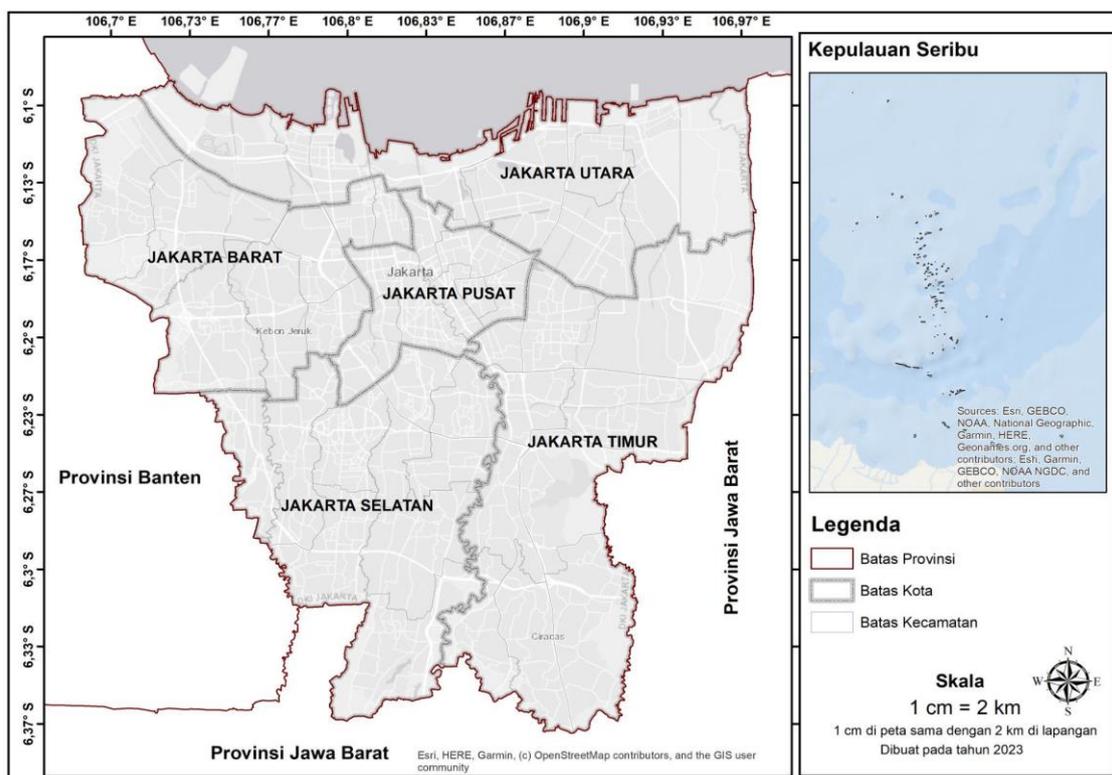
“Pemantauan kualitas udara menjadi langkah penting dalam menjaga kesehatan masyarakat dan lingkungan, terutama di tengah pertumbuhan perkotaan yang cepat dan peningkatan aktivitas industri.”

**Kepala Dinas Lingkungan Hidup
Provinsi DKI Jakarta
2023**

2 KONDISI UMUM WILAYAH DKI JAKARTA

2.1 Karakteristik Wilayah

Wilayah Provinsi DKI Jakarta memiliki koordinat geografis antara 5° 10' 00" LS hingga 6° 22' 21,5" LS dan 106° 41' 12,5" BT hingga 106° 58' 24,2" BT. Ketinggian wilayah bervariasi antara 0 mdpl di pesisir pantai sampai ketinggian 79 mdpl. Berdasarkan administrasi pemerintahan, wilayah Provinsi DKI Jakarta dibagi menjadi satu kabupaten dan lima kota administratif, yaitu Kepulauan Seribu, Jakarta Selatan, Jakarta Timur, Jakarta Pusat, Jakarta Barat, dan Jakarta Utara dengan total 44 kecamatan dan 267 kelurahan. Jakarta Selatan dan Jakarta Timur adalah dua wilayah dengan jumlah kecamatan dan kelurahan terbanyak, masing-masing memiliki 10 kecamatan dan 65 kelurahan. Sementara itu, Kepulauan Seribu memiliki jumlah kecamatan dan kelurahan paling sedikit, yaitu dua kecamatan dan enam kelurahan (Shindi, 2019).



Gambar 2.1 Peta wilayah DKI Jakarta

Batas wilayah DKI Jakarta meliputi (BPKB, 2023):

- Sebelah Utara: Laut Jawa
- Sebelah Timur: Kabupaten Bekasi dan Kota Bekasi
- Sebelah Selatan: Kota Depok
- Sebelah Barat: Kabupaten Tangerang dan Kota Tangerang

2.2 Karakteristik Morfologi DKI Jakarta

Morfologi wilayah merujuk pada bentuk dan struktur fisik suatu wilayah. Morfologi wilayah dapat mencakup berbagai aspek, seperti tata guna lahan, pola jaringan jalan, massa bangunan, dan karakteristik alam yang berkaitan dengan kualifikasi kerentanan lahan terhadap gerakan tanah. Perubahan dalam morfologi wilayah sering kali disebabkan oleh faktor-faktor seperti urbanisasi, perubahan iklim, atau aktivitas manusia yang berdampak pada bentuk dan fungsi wilayah tersebut (A. K. Dewi *et al.*, 2022).

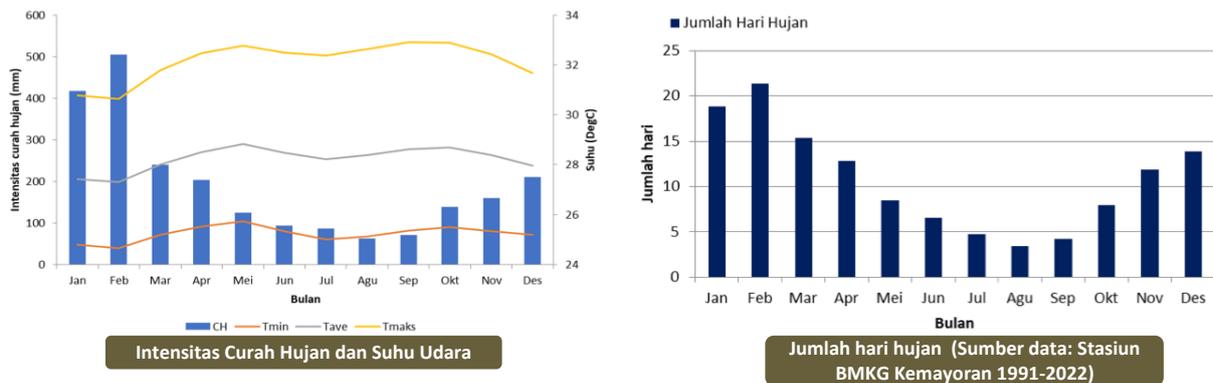
Provinsi DKI Jakarta memiliki topografi dataran pantai dengan kemiringan lereng 0-3%. Ketinggian wilayah bervariasi, dari 0 mdpl di utara hingga 70 mdpl di selatan dekat Bogor. Saat ini, sebagian wilayah pesisir bahkan sudah berada di bawah ketinggian permukaan

laut. Jakarta memiliki 13 sungai utama dan 52 danau/waduk/situ seluas 2.218.999 hektar. Morfologi ini memengaruhi kondisi jalan dan infrastruktur perkotaan. Selama beberapa dekade terakhir, pertumbuhan fisik wilayah ini telah menghasilkan perkembangan lahan yang cepat seiring pertumbuhan penduduk dan aktivitasnya (BPBD, 2023).

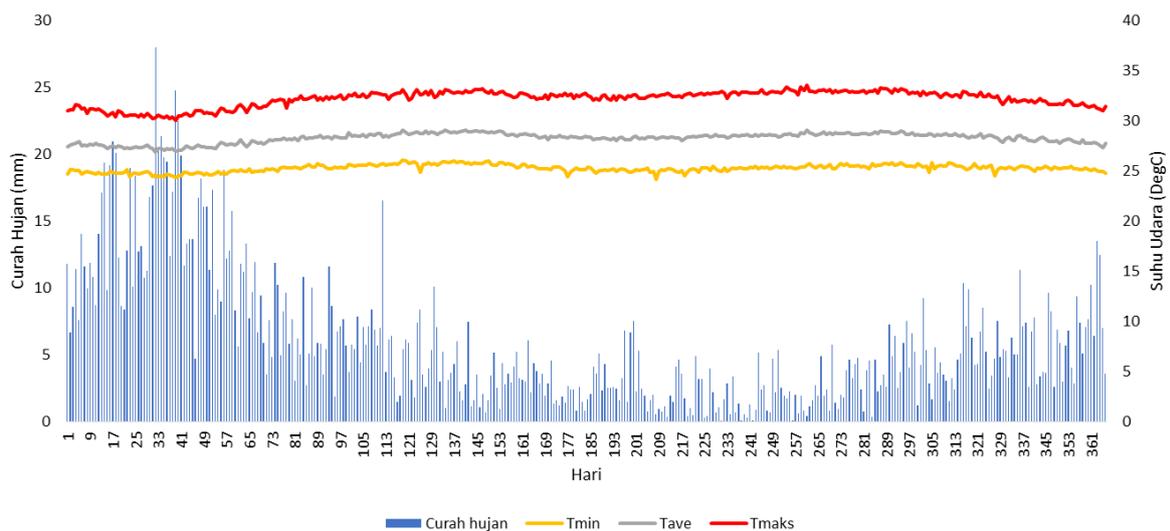
Tata guna lahan kota sangat mempengaruhi morfologi suatu kota. Di perkotaan, perubahan tata guna lahan seringkali sangat drastis, dengan lahan yang sebelumnya ditanami tumbuhan alami beralih menjadi lahan yang ditutupi oleh bangunan beton dan perkerasan lainnya. Morfologi Kota Jakarta dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu kondisi topografi dan tata guna lahan.

2.3 Karakteristik Iklim

Berdasarkan data curah hujan tahun 1991-2022, curah hujan di DKI Jakarta sangat tinggi pada bulan Januari dan Februari sebagai periode puncak musim hujan. Musim hujan umumnya berlangsung dari bulan Oktober sampai April. Bulan Mei hingga September umumnya terjadi penurunan curah hujan yang menjadi periode musim kemarau. Pola ini menunjukkan adanya variasi musiman yang signifikan dalam hal curah hujan. Sementara itu suhu udara cenderung stabil sepanjang tahun walau terdapat sedikit penurunan suhu pada bulan-bulan dengan curah hujan tinggi, yaitu Januari hingga Maret. Suhu maksimum tertinggi terjadi pada bulan September hingga November. Jumlah hari hujan paling tinggi terjadi pada bulan Januari, Februari, dan Maret, yang merupakan periode musim hujan. Sebaliknya, jumlah hari hujan menurun secara signifikan dari Mei hingga September, yang menandakan musim kemarau.



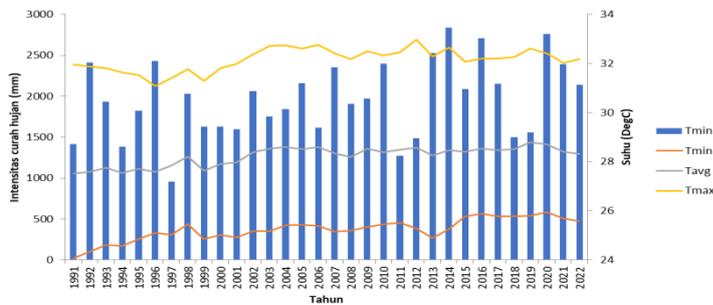
Gambar 2.2 Karakteristik iklim berdasarkan Stasiun BMKG Kemayoran



Gambar 2.3 Curah hujan dan Suhu Udara Harian Selama 31 Tahun

(Sumber: Hasil Analisis Stasiun BMKG Kemayoran 1991-2022)

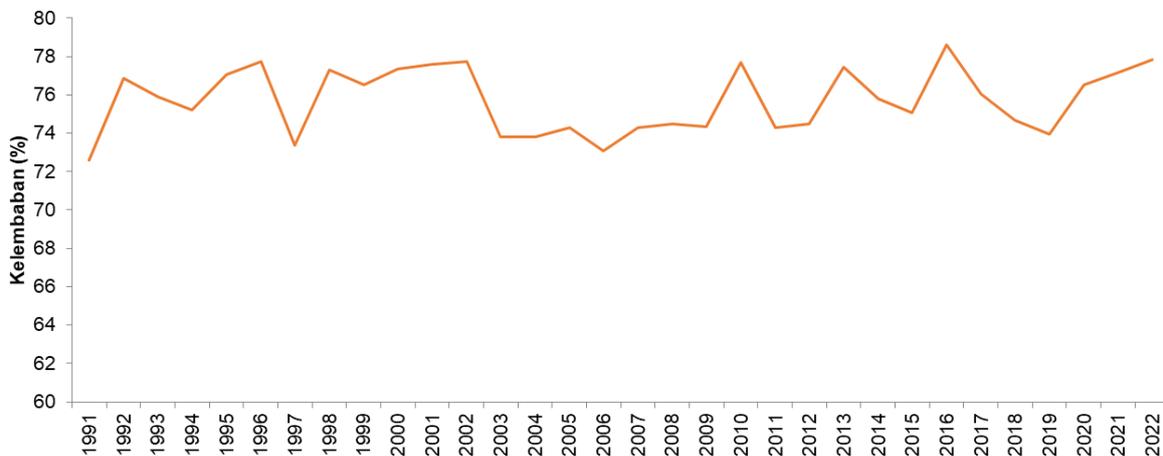
Grafik Curah Hujan dan Suhu Udara harian tahun 1991-2022 menunjukkan variasi yang cukup besar dalam kejadian curah hujan harian, sementara suhu udara minimum, maksimum, maupun rata-rata cenderung lebih stabil. Curah hujan harian memiliki fluktuasi yang signifikan, dari hari-hari dengan hujan yang sangat lebat hingga hari-hari dengan sedikit atau tanpa hujan. Hal ini adalah karakteristik iklim tropis, di mana cuaca dapat berubah dengan cepat dan menunjukkan variasi besar dalam skala harian. Dalam konteks suhu udara, grafik menunjukkan bahwa suhu minimum, maksimum, dan rata-rata harian relatif stabil, dengan variasi yang tidak signifikan dari hari ke hari.



Gambar 2.4 Curah hujan dan Suhu Udara Tahunan periode 1991 - 2022
(Sumber: Hasil Analisis Stasiun BMKG Kemayoran)

Karakteristik iklim di DKI Jakarta ditemukan dalam Gambar 2.4. Data dari tahun 1991 hingga 2022 menunjukkan fluktuasi yang beragam dalam curah hujan tahunan. Tahun dengan curah hujan tertinggi selama 30 tahun terjadi pada tahun 2014, mencapai 2837 mm, sementara yang terendah tercatat pada tahun 1997, hanya 957 mm.

Fluktuasi umumnya dipengaruhi oleh variabilitas iklim seperti ENSO. Sebagai contoh, terjadi penurunan curah hujan yang signifikan pada tahun 1997 saat terjadi El Nino dengan intensitas kuat. Selain berpengaruh pada suhu udara, kondisi curah hujan juga memiliki dampak pada tingkat kelembaban udara dan kandungan uap air dalam atmosfer. Berdasarkan data tahun 1991-2022, suhu udara baik minimum, maksimum, maupun rata-rata, mengalami peningkatan. Peningkatan suhu minimum merupakan tren yang paling signifikan.



Gambar 2.5 Kelembaban udara periode 1991 - 2022
(Sumber: Hasil Analisis Stasiun BMKG Kemayoran)

Grafik kelembaban udara harian menunjukkan variasi yang cukup signifikan dalam rentang 69% hingga 84% dengan rata-rata kelembaban udara sebesar 76%. Hal ini menunjukkan kondisi kelembaban udara harian yang relatif stabil sepanjang tahun. Kelembaban udara tahunan selama 31 tahun bervariasi antara 73% hingga 79% dengan rata-rata kelembaban udara sebesar 76%. Ini menunjukkan bahwa kelembaban udara cenderung stabil dari tahun ke tahun, dengan fluktuasi yang relatif kecil.

Iklim di wilayah tertentu juga dipengaruhi oleh aspek lautan, khususnya karakteristik angin, termasuk arah dan kecepatannya. Arah angin sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lokal seperti topografi dan posisi daratan dan laut. Menurut data tahun 2014

yang diperoleh dari 5 Stasiun Pemantau Kualitas Udara Ambien pada saat musim kemarau, arah angin dominan biasanya bertiup dari Timur Laut untuk wilayah tertentu dan sebagian lain (Turyanti, 2016). Di wilayah lainnya, seperti Jagakarsa dan Lubang Buaya, arah angin dominan biasanya bertiup dari Selatan dan Tenggara secara berurutan. Sedangkan di Jakarta Barat, angin dominan bertiup dari Utara. Meskipun terjadi fluktuasi dalam kecepatan angin, terutama dalam bulan yang sama, variasi ini akan memiliki dampak yang signifikan pada pola penyebaran polutan di lokasi-lokasi tersebut. Terutama, kecepatan angin yang rendah dapat memfasilitasi akumulasi polutan di tempat-tempat tersebut.

Pada bulan Desember, kecepatan angin di Jakarta Barat sedikit lebih tinggi berkisar antara 3,0-4,6 m/s, dibandingkan dengan Jakarta Utara yang hanya mencapai 3,1 m/s. Angin di wilayah Jakarta Pusat dominan bertiup dari Barat Daya, sedangkan di Jakarta Selatan, angin dominan bertiup dari Barat, dan di Jakarta Timur, angin dominan bertiup dari Barat Laut, dengan variasi yang signifikan antara wilayah-wilayah tersebut (Turyanti, 2016).

Posisi tepi pantai dan bentuk teluk, serta pegunungan di Selatan dan Barat Daya, secara keseluruhan mempengaruhi pola angin di wilayah DKI Jakarta. Posisi pantai menciptakan pola angin darat dan angin laut, sementara pola angin teluk mengikuti kontur pantai yang menjorok ke daratan. Pengaruh dari Gunung Gede-Pangrango dan Gunung Salak di bagian Selatan Jakarta, terutama pada sore menjelang malam, menghasilkan dominasi angin gunung dari Selatan. Pola musiman, meskipun umumnya mengikuti musim monsoon, tetap dipengaruhi oleh karakteristik topografi lokal yang kuat.

3 LANDASAN TEORI

3.1 Pemantauan Kualitas Udara

Kualitas udara merujuk pada kondisi atmosfer di suatu wilayah yang mencakup unsur-unsur seperti komposisi, tingkat polusi, dan tingkat kebersihan udara. Pengukuran kualitas udara (Gani *et al.*, 2022) melibatkan analisis berbagai zat, termasuk partikel debu, gas polutan, dan bahan kimia berpotensi berbahaya lainnya. Semakin rendah konsentrasi zat-zat berbahaya ini, semakin baik kualitas udara di daerah tersebut. Kualitas udara yang rendah dapat memiliki dampak yang merugikan pada kesehatan manusia dan lingkungan sekitar.

Pemantauan kualitas udara adalah proses terstruktur dalam mengukur dan mengawasi tingkat polusi serta kondisi atmosfer secara menyeluruh (Sugiarta, 2008). Tujuannya adalah memastikan bahwa udara yang kita hirup sesuai dengan standar kesehatan dan lingkungan yang telah ditetapkan oleh pihak berwenang. Proses ini memanfaatkan berbagai alat dan teknologi seperti sensor, stasiun pemantauan, serta perangkat analisis data untuk mencapai tujuannya. Diketahui kualitas udara yang buruk memiliki potensi untuk menimbulkan sejumlah masalah kesehatan, mulai dari gangguan seperti iritasi mata dan tenggorokan hingga masalah serius seperti asma, penyakit jantung, dan bahkan kematian. Dampak polusi udara bisa merusak ekosistem termasuk tumbuhan, hewan, dan sumber daya air. Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara berperan penting dalam mengidentifikasi serta mengurangi risiko-risiko ini.



Pencemaran udara adalah isu serius yang sering dihadapi oleh penduduk Jakarta, terutama disebabkan oleh kualitas udara yang menurun (Simanjuntak, 2018). Penurunan ini terjadi akibat berbagai faktor, termasuk emisi dari kendaraan

bermotor, aktivitas industri, dan bahkan kebakaran hutan. Polutan utama yang menjadi fokus dalam kesehatan publik meliputi partikel udara, karbon monoksida, ozon, nitrogen dioksida, dan sulfur dioksida. Semua polutan ini memiliki potensi untuk menyebabkan masalah pernapasan dan efek kesehatan (Budiyono, 2001) lainnya, yang pada akhirnya berkontribusi pada tingginya angka sakit dan kematian. Menurut data dari Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), hampir seluruh populasi dunia, khususnya di negara-negara dengan pendapatan rendah dan menengah, terpapar tingkat pencemaran udara yang melebihi rekomendasi WHO (WHO, 2023).

3.2 Ragam Metode Pemantauan Kualitas Udara

Pengendalian pencemaran udara dibutuhkan karena dampak pencemaran udara akan mengakibatkan menurunnya kualitas kesehatan masyarakat. Dalam rangka pengendalian pencemaran udara diperlukan model jaringan stasiun pemantauan kualitas udara. Proses eliminasi stasiun pemantau menggunakan nilai korelasi antara stasiun-stasiun dapat membantu dalam meningkatkan efisiensi pemantauan dan analisis data, terutama jika ada banyak stasiun pemantau yang menghasilkan data yang serupa. Namun, keputusan untuk menghapus stasiun pemantau perlu hati-hati, dan metode yang digunakan harus didasarkan pada analisis statistik yang teliti. Morawska *et al.*, (2002) dan Raffuse *et al.*, (2005) memberikan panduan lebih lanjut tentang metode khusus yang mereka gunakan dalam pengurangan stasiun pemantau berdasarkan nilai korelasi antara stasiun-stasiun tersebut. Boer *et al.*, (2002) melakukan studi di Belanda dengan menggunakan metode regresi lokal tertimbang (*locally weighted regression*) untuk mengurangi jumlah stasiun pemantau NO₂ untuk memahami polusi NO₂ di berbagai wilayah Belanda dengan cara yang lebih efisien.

Sistem jaringan pemantauan kualitas udara dapat berupa stasiun tetap (*stasioner*) dan bergerak. Stasiun yang bersifat stasioner memiliki nilai unggul yaitu pengamatannya dapat dilakukan terus menerus dan tidak terkendala cuaca. Keunggulan ini menjadikan metode pemantauan menggunakan stasiun stasioner dapat digunakan untuk mendapatkan informasi tren kualitas udara dari waktu ke waktu. Namun pemantauan kualitas udara *stasioner* juga memiliki kelemahan, salah satunya adalah resolusi spasial yang rendah karena hanya bergantung pada udara yang melewati titik tersebut (Hansen, 2013). Pengembangan jaringan sistem pemantauan kualitas udara juga harus mempertimbangkan efektifitas jumlah stasiun karena terkait aspek pembiayaan baik pengadaan alat maupun operasional. Satu stasiun pengamatan kualitas udara otomatis di Indonesia membutuhkan anggaran hingga Rp. 1,1 milyar untuk operasional dan perawatan per tahunnya, sementara untuk stasiun pengamat kualitas udara manual dapat mencapai Rp. 46 juta per tahunnya (DRI, 2016).

Tahun 2019, Jakarta memiliki 12 SPKU (5 *fix station*, 3 *mobile station*, 1 milik BMKG, 1 milik KLHK, dan 2 milik *US Embassy*) yang dirasakan belum cukup untuk keperluan pemodelan pajanan berdasarkan "*Air Quality Monitoring System Assessment Report and Recommendations for DKI Jakarta*", sehingga diperlukan pengembangan jaringan titik pemantauan. Penempatan titik pemantauan membutuhkan berbagai pertimbangan terkait faktor-faktor yang berpengaruh terhadap konsentrasi pencemar seperti sumber emisi, populasi penduduk yang berpotensi terpapar, dan masalah teknis di lapangan seperti perijinan dan keamanan titik pemantauan. Faktor pembiayaan yang mahal menjadi kendala dalam membangun stasiun pengamatan kualitas udara yang rapat agar dapat menghasilkan kualitas informasi dengan resolusi spasial yang tinggi. Hasil dari perancangan potensi jejaring stasiun ini selain diperlukan sebagai input pada *land use regression model*, juga dapat dimanfaatkan lebih lanjut oleh pemerintah daerah terkait agar lokasi pemantauan kualitas udara dapat efektif dan mencakup seluruh wilayah Jakarta (Riqqi *et al.*, 2019).

Pemetaan spasial untuk stasiun pemantauan udara memiliki peran penting dalam menjelaskan tingkat polusi lingkungan di suatu wilayah dan pengendalian biaya polusi secara efektif di wilayah tersebut. Representasi spasial wilayah dapat berupa titik tunggal atau berasal dari sejumlah area tertentu. Untuk menentukan titik *monitoring* dapat mengoptimalkan grid spasial untuk menentukan ukurannya. Metode grid dalam pemantauan kualitas udara dianggap lebih unggul karena Metode ini dapat diintegrasikan dengan Sistem Informasi Geografis (GIS) untuk melakukan analisis yang lebih komprehensif. Selain itu, penggunaan metode grid untuk optimasi tata letak stasiun pemantauan kualitas udara meningkatkan efektivitas dalam merefleksikan kualitas udara di lingkungan (Li *et al.*, 2018).

Dalam menentukan lokasi SPKU menggunakan metode grid, beberapa faktor penting seperti peta jumlah penduduk yang menggambarkan sebaran penduduk di wilayah tersebut, peta tutupan lahan yang memberi informasi detail jenis lahan dan penggunaannya. Informasi ini dapat digunakan dalam menetapkan zona potensi pemantauan, di mana pemantauan lebih intensif diperlukan. Ini memungkinkan analisis yang lebih akurat dengan mempertimbangkan faktor geografis dan demografis (Riqqi *et al.*, 2019). Peta ketinggian/DEM juga sangat berguna untuk memahami penyebaran polutan di wilayah-wilayah dengan elevasi yang beragam. Data mengenai kejadian Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) di tiap wilayah memberikan informasi langsung tentang dampak kesehatan dari kualitas udara, sehingga memungkinkan penempatan Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) di area yang paling membutuhkan tindakan. Selain itu, informasi seperti tipe iklim regional, konsentrasi polutan, kondisi jalan terdekat, keberadaan industri, dan arah angin bisa digunakan untuk analisis yang komprehensif dan akurat. Secara mendetail, informasi terkait ragam metode penentuan lokasi SPKU beserta kelebihan dan kekurangannya disajikan dalam **Lampiran 2**.

3.3 Kajian terkait Penentuan Jaringan Pemantauan Kualitas Udara di DKI Jakarta

Penentuan jumlah stasiun pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta merupakan suatu aspek penting dalam upaya mengelola dan memantau kualitas udara di wilayah tersebut. Sejumlah kajian telah dilakukan untuk menentukan jumlah optimal stasiun pemantauan yang diperlukan guna mendapatkan data yang akurat dan representatif.

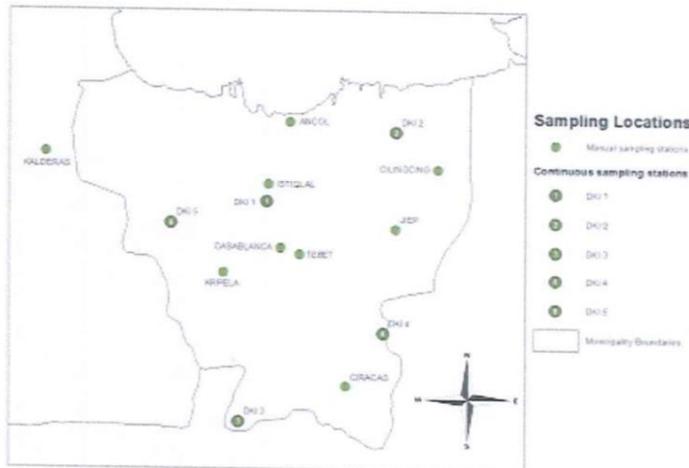
Salah satu kajian terkait sistem pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta adalah *Breathe Easy Jakarta Project* (2016) yang dilakukan oleh tim Desert Research Institute dengan judul *Air Quality*

Monitoring System Assessment Report and Recommendations Tabel 3.1 Standar *National Technical Regulation on Selection of Ambient Air Quality Monitoring*

for *DKI Jakarta*. Berdasarkan hasil kajian, dengan memperhatikan jumlah populasi penduduk dan luas wilayah di DKI Jakarta, maka direkomendasikan pemasangan SPKU untuk seluruh wilayah DKI Jakarta minimum 11 stasiun yang berbasis pada tabel standar *National Technical Regulation on Selection of Ambient Air Quality Monitoring Stations in China* (Tabel 3.1).

Populasi (juta)	Luas (km ²)	Jumlah Minimum Stasiun
<2.5	<20	1
2.5-5	20-50	2
5-10	50-100	4
10-20	100-200	6
20-30	200-400	8
>30	>400	Setiap 50-60 km ² memiliki 1 titik dengan total minimum 10 stasiun

Berbasis tabel referensi tersebut, diharapkan jaringan yang diusulkan dapat merepresentasikan dengan baik berbagai area prioritas, seperti pemukiman, industri, jalan raya, dan berbagai lokasi latar belakang (*background*). Kajian tersebut juga menginformasikan bahwa penempatan titik lokasi usulan stasiun akan mengikuti berbagai lokasi stasiun-stasiun yang ada saat ini, termasuk untuk menggantikan instrumen pengukuran manual di lokasi yang sama. Adapun detail titik lokasi stasiun dapat dilihat pada gambar berikut.



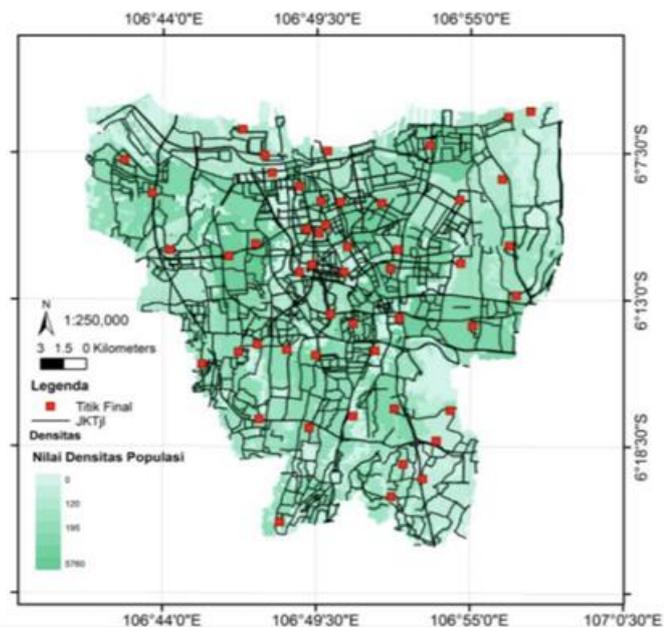
Gambar 3.1 Sebaran 11 lokasi SPKU di DKI Jakarta berdasarkan *Standar National Technical Regulation on Selection of Ambient Air Quality Monitoring Stations in China* (DRI 2016)

Riqqi *et al.*, (2019) juga melakukan penelitian pemodelan jaringan stasiun pemantau kualitas udara di Jakarta untuk mencari lokasi yang potensial bagi stasiun pengamatan kualitas udara yang didasarkan pada model densitas populasi penduduk dan variasi spasial sumber pencemar di wilayah Jakarta dengan menggunakan sistem grid skala ragam. Pemodelan jaringan pemantauan

kualitas udara menghasilkan luaran zona potensi titik pantau serta 81 titik potensi lokasi pemantauan kualitas udara. Potensi titik-titik tersebut diseleksi dengan mempertimbangkan *landuse*, jarak antar titik, dan kemudahan perizinan untuk mendapatkan 53 lokasi stasiun pemantauan udara untuk seluruh wilayah DKI Jakarta (Gambar 3.2).

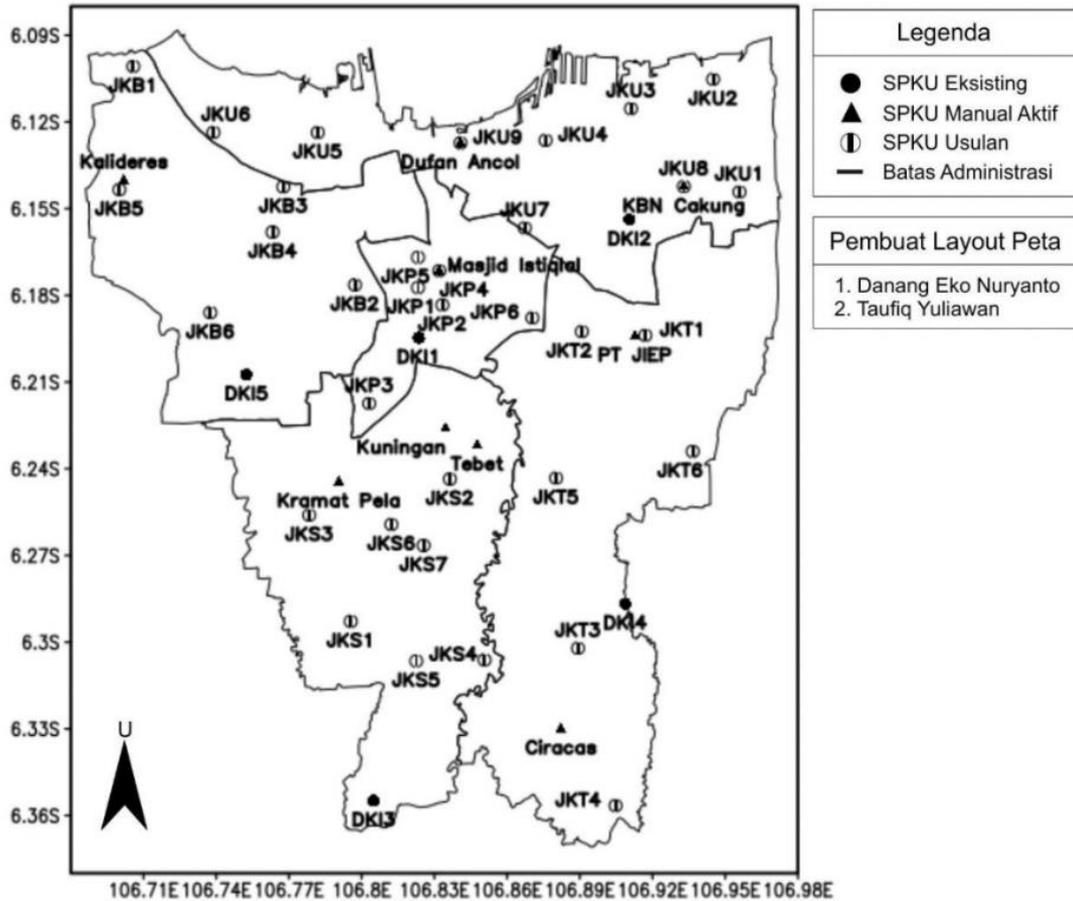
Turyanti (2016) juga melakukan kajian untuk menentukan jumlah dan sebaran lokasi SPKU di Wilayah DKI Jakarta dengan mempertimbangkan potensi lokasi yang rawan terpapar pencemar udara dengan konsentrasi maksimum, potensi lokasi dengan kepadatan lalu lintas tinggi, dan kondisi kesehatan masyarakat terkait kualitas udara. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka hasil kajian mengusulkan

pemasangan SPKU di DKI Jakarta sebanyak 39 buah dengan lokasi yang menyebar di berbagai wilayah Jakarta (Gambar 3.3).



Gambar 3.2 Sebaran 53 lokasi SPKU di DKI Jakarta berdasarkan model densitas populasi penduduk dan variasi spasial sumber pencemar (Riqqi *et al.*, 2019)

Usulan Sebaran Lokasi Stasiun
Pemantauan Kualitas Udara Ambien DKI Jakarta



Gambar 3.3 Sebaran 39 lokasi SPKU di DKI Jakarta berdasarkan potensi lokasi rawan terpapar pencemar udara dengan konsentrasi maksimum, kepadatan lalu lintas tinggi, dan kondisi kesehatan masyarakat (Turyanti, 2016)

Kajian terkait penentuan jumlah dan lokasi stasiun pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta memiliki peran yang penting sebagai referensi utama dalam pelaksanaan kegiatan penentuan jumlah dan lokasi stasiun pemantauan kualitas udara saat ini. Berbagai catatan khusus yang dihasilkan dari kajian-kajian tersebut telah menjadi landasan yang kuat untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan udara yang efektif di wilayah DKI Jakarta. Pemahaman mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas udara dan pemantauan yang teliti telah menjadi panduan dalam menentukan lokasi yang strategis dan jumlah yang memadai dari stasiun pemantauan.

Berdasarkan kajian-kajian yang sudah dilakukan tersebut di atas terlihat bahwa penetapan lokasi stasiun pemantauan kualitas udara untuk daerah DKI Jakarta perlu dilakukan kajian lebih lanjut dan komprehensif dengan melihat dari segala aspek berdasarkan prioritas daerah. Selain itu, penentuan ini juga dapat menjadi referensi kajian ke depan untuk dapat mengurangi dan mencegah tingkat pencemaran yang

lebih lanjut sehingga dapat dilakukan tindakan preventif dalam keberlanjutan pemantauan pencemaran udara. Titik lokasi penentuan yang ditentukan dapat lebih memudahkan dalam pengelolaan informasi *real time* dan antisipasi resiko pencemaran udara sehingga penambahan jaringan pemantauan akan memudahkan dalam melakukan perencanaan ke depan.

3.4 Manfaat Pemantauan Kualitas Udara

Pemantauan kualitas udara memiliki peran penting dalam menjaga kesehatan masyarakat dengan cara mengidentifikasi potensi bahaya yang ditimbulkan oleh polutan udara (Dockery, 1994). Dengan melakukan pengukuran dan analisis data, pemantauan ini memungkinkan otoritas dan masyarakat untuk memahami tingkat kandungan berbagai polutan seperti partikel udara, karbon monoksida, dan gas beracun lainnya. Informasi ini menjadi sangat berharga untuk memberikan peringatan dini dan tindakan pencegahan, seperti penggunaan masker atau menghindari wilayah tertentu. Hal tersebut memungkinkan masyarakat untuk mengambil langkah-langkah pencegahan, seperti menghindari keluar rumah pada hari-hari dengan kualitas udara yang buruk atau menggunakan masker. Hasilnya, ada penurunan signifikan dalam insiden penyakit pernapasan, alergi, dan kondisi kesehatan lain yang terkait dengan polusi udara.

Informasi pemantauan kualitas udara juga memiliki peran penting bagi pembuat kebijakan dan peneliti dalam merancang strategi dan kebijakan yang tepat untuk meningkatkan kualitas udara (EPA, 2008). Pemantauan kualitas udara yang menyeluruh memegang peran utama dalam membentuk dan menilai kebijakan lingkungan. Data yang akurat dan tepat waktu yang diperoleh dari pemantauan ini menyediakan dasar ilmiah yang kuat untuk pengembangan kebijakan yang lebih efektif, seperti regulasi emisi dari sektor industri atau kendaraan bermotor.

Pemantauan kualitas udara juga memiliki peran dalam mitigasi dampak lingkungan dan perubahan iklim (WHO, 2021). Dengan memantau polutan seperti gas rumah kaca, bahan partikulat, dan zat perusak ozon, hal tersebut dapat membantu dalam menilai efektivitas langkah-langkah pengurangan emisi dan mengevaluasi kemajuan yang dalam mengatasi perubahan iklim. Selain itu, pemantauan kualitas udara juga berdampak positif pada upaya konservasi ekosistem. Dengan memantau polutan dan partikel berbahaya di udara, informasi tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi sumber polusi yang memiliki potensi merusak ekosistem dan keragaman hayati (UNECE, 2023). Tindakan dapat segera diambil untuk mengurangi atau menghilangkan polusi dari sumber-sumber tersebut, yang pada gilirannya mendukung pelestarian alam.

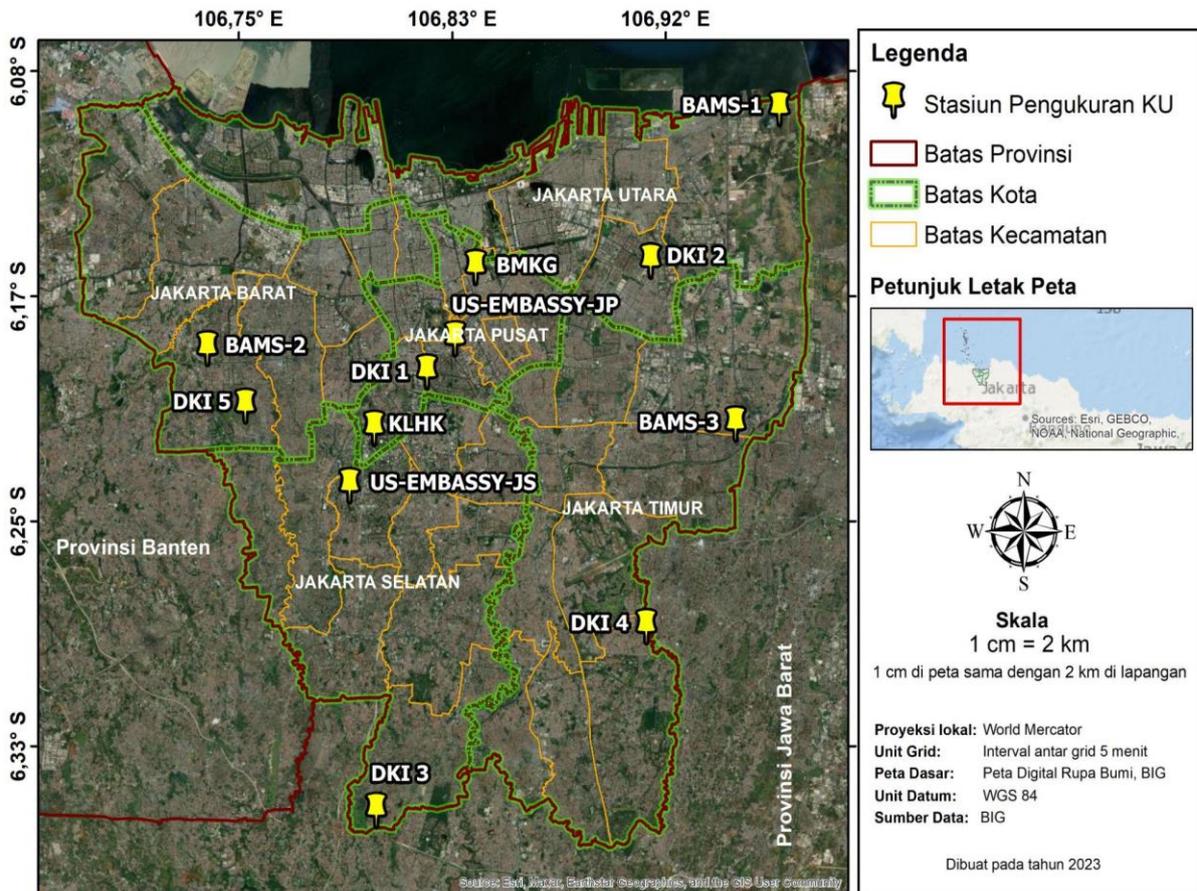
4 METODOLOGI KAJIAN

4.1 Lokasi Kajian

Lokasi kajian pemantauan kualitas udara tersebar di wilayah DKI Jakarta. Stasiun Pemantauan Kualitas Udara (SPKU) yang memantau kualitas udara secara berkesinambungan tersebut dikelola oleh pemerintah daerah atau pusat, maupun organisasi internasional (Gambar 4.1). Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta mengelola 5 jaringan SPKU (DKI 1-5) dan 3 SPKU BAMS, yang tersebar di lima wilayah kota administrasi DKI Jakarta. Selain itu terdapat 3 unit SPKU bergerak (*Mobile Station*) yang digunakan sesuai kebutuhan seperti dalam pemantauan udara saat *Car Free Day* (CFD) serta terdapat 14 indikatif- LCS (*Low-cost sensor*). Selain SPKU yang dikelola oleh DLH DKI Jakarta, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) juga memiliki masing-masing satu SPKU di Jakarta. Kedutaan Amerika Serikat untuk Indonesia juga mengoperasikan dua SPKU.

Tabel 4.1 Informasi lokasi SPKU milik DKI Jakarta

No	Kode	Lokasi	Peruntukkan	Koordinat	
1	DKI 1	Bundaran HI, Jakarta Pusat	Roadside	106,8235	-6,19466
2	DKI 2	Kelapa Gading, Jakarta Utara	Kawasan komersil	106,91089	-6,15357
3	DKI 3	Jagakarsa, Jakarta Selatan	Pemukiman	106,8037	-6,35693
4	DKI 4	Lubang Buaya, Jakarta Timur	Campuran	106,9092	-6,28889
5	DKI 5	Kebon Jeruk, Jakarta Barat	Pemukiman	106,7525	-6,20737
6	KLHK	Gelora Bung Karno, Tanah Abang, Jakarta Pusat	Roadside	106,802965	-6,215395
7	BMKG	Kemayoran, Jakarta Pusat	Roadside	106,842528	-6,155914
8	US-EMBASSY-JP	Kedutaan Besar Amerika Serikat (Jakarta Pusat)	Roadside	106,834489	-6,182458
9	US-EMBASSY-JS	Kedutaan Besar Amerika Serikat (Jakarta Selatan)	Roadside	106,793287	-6,236677
10	BAMS-1	Rusunawa Marunda, Cilincing, Jakarta Utara	Pemukiman	106.96111	-6.09705
11	BAMS-2	Kantor Walikota Jakarta Barat	Kantor Pemerintahan	106.737723	-6.185967
12	BAMS-3	Kantor Walikota Jakarta Timur	Kantor Pemerintahan	106.944	-6.21391



Gambar 4.1 Lokasi stasiun pemantauan kualitas udara di Provinsi DKI Jakarta

4.2 Sumber Data dan Informasi

Kajian pemantauan kualitas udara dilakukan dengan memanfaatkan beberapa informasi penting yaitu informasi terkait lingkungan wilayah (biofisik), iklim, aktivitas manusia (sosial ekonomi), dampak kesehatan, dan analisis olahan. Sumber data indikator biofisik didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Indikator lainnya yakni indikator iklim yang bersumber dari BMKG serta informasi hasil pengukuran pemantauan kualitas udara yang diperoleh dari setiap SPKU. Indikator selanjutnya yaitu indikator sosial-ekonomi yang diperoleh dari berbagai instansi terkait. Informasi ketersediaan data disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 4.2 Kebutuhan data dan informasi tersedia

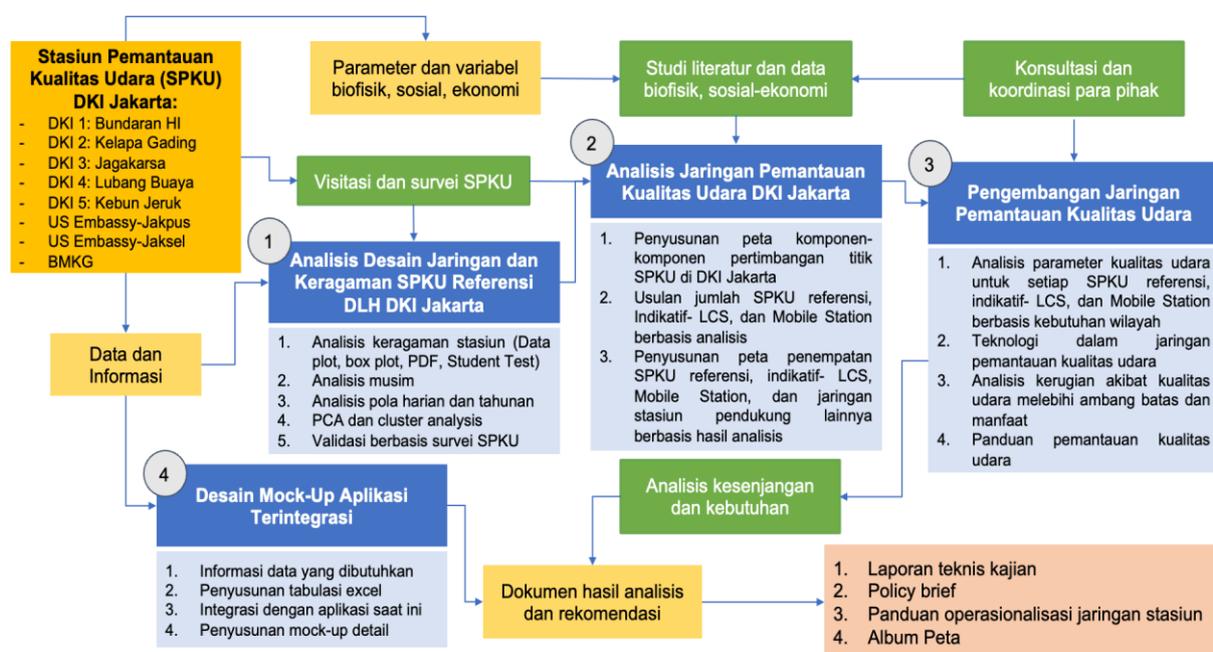
Indikator	Variabel Data	Periode Data Tersedia	Tingkat	Format	Sumber Data	Status Ketersediaan Data
Kualitas Udara	Hasil pemantauan kualitas udara	2014- 2022	DKI 1 (Bundaran HI)	Excel	DLH DKI Jakarta, US Embassy, BMKG	Tersedia
			DKI 2 (Kelapa Gading)			
			DKI 3 (Jagakarsa)			
			DKI 4 (Lubang Buaya)			
			DKI 5 (Kebun Jeruk)			
Biofisik wilayah	Batas administrasi	2021	Administrasi Kelurahan	Tabel	Tanah Air Indonesia - BIG	Tersedia
	Ketinggian	2016	<i>Grid resolusi 0.27 arcsecond</i>	Tiff	Demnas - BIG	Tersedia
	Tutupan lahan	2019	<i>Polygon</i>	.shp	KLHK	Tersedia
	Fungsi jalan	2022	<i>Line</i>		Jakarta Satu (https://jakartasatu.jakarta.go.id/)	Tersedia

Indikator	Variabel Data	Periode Data Tersedia	Tingkat	Format	Sumber Data	Status Ketersediaan Data
Sosial-Ekonomi	Luas wilayah	2021	Kelurahan	Tabel	Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Provinsi DKI Jakarta/ Badan Statistik	Tersedia
	Jumlah penduduk	2022	Kelurahan	Tabel		Tersedia
	Kepadatan Penduduk	2022	Kelurahan	Tabel		Tersedia
	Tingkat perekonomian masyarakat	2022	Kelurahan	Tabel		Tersedia
	Volume lalu lintas	2022 dan 2023	-	Tabel	Dishub DKI Jakarta	Tersedia
	Data jumlah angkutan umum	2023	-	Tabel	Dishub DKI Jakarta	Tersedia
	Lokasi industri	2022	Poligon	.shp	Jakarta Satu	Tersedia
Indeks penyakit	Jumlah penderita ISPA	2018 - 2022	Kecamatan	Tabel	Dinas Kesehatan DKI Jakarta	Tersedia
Iklim Historis	Curah hujan historis	2014- 2022		Tabel	BMKG	Tersedia
	Suhu udara historis	2014- 2022		Tabel	BMKG	Tersedia

Indikator	Variabel Data	Periode Data Tersedia	Tingkat	Format	Sumber Data	Status Ketersediaan Data
	Kelembaban historis	2014- 2022		Tabel	BMKG	Tersedia
	Kecepatan angin historis	2014- 2022		Tabel	BMKG	Tersedia
Analisis	Grid 50 km	-	Grid resolusi 50 km		Pengolahan GIS	Tersedia
	Grid 4 km	-	Grid resolusi 4 km			Tersedia
	Grid 2 km	-	Grid resolusi 2 km			Tersedia
	Grid 1 km	-	Grid resolusi 1 km			Tersedia
	Grid 500 m	-	Grid resolusi 500 m			Tersedia
	Indeks komposit DEM dan jumlah penduduk	2022	Grid resolusi 0.27-arcsecond			Tersedia
	Regionalisasi iklim	1991- 2021	Grid resolusi 1 km			Tersedia
	Persentase penderita ISPA per kecamatan	2022	Administrasi kecamatan			Tersedia
	Dampak kesehatan akibat polutan	2022	-		Pengolahan Software AirQ+	Tersedia

4.3 Metodologi Kajian

Metode kajian pemantauan kualitas udara ini melibatkan beberapa tahapan yang terstruktur dengan baik. Analisis desain jaringan dan keragaman Stasiun Pemantauan Kualitas Udara (SPKU) yang saat ini tersedia di DKI Jakarta dilakukan pertama kali. Hal ini bertujuan untuk memahami kinerja infrastruktur yang ada dan mengevaluasi cakupan alat yang telah terpasang. Dari analisis ini, dapat dinilai apakah perlu menambah titik pemantauan untuk meningkatkan efektivitas pemantauan kualitas udara. Selanjutnya, analisis jaringan pemantauan kualitas udara yang lebih mendalam dikerjakan. Dalam tahap ini, dianalisis jumlah SPKU yang diperlukan, mempertimbangkan penggunaan *Low Cost Sensor*, dan *mobile station*. Langkah ini dimungkinkan untuk merancang jaringan yang optimal sehingga dapat mencakup area yang luas dan beragam. Setelah itu, pengembangan jaringan pemantauan kualitas udara dianalisis, termasuk menentukan parameter dan teknologi yang dibutuhkan, dan manfaat yang akan diperoleh dari pemantauan ini. Dengan pemahaman yang lebih dalam tentang kebutuhan dan potensi dampaknya, dapat dirancang jaringan yang efisien dan informatif. Terakhir, *mock-up* aplikasi terintegrasi dikembangkan yang akan memberikan informasi real-time tentang kualitas udara kepada masyarakat. Aplikasi ini akan menjadi alat yang penting untuk menyampaikan data pemantauan secara jelas dan mudah dimengerti kepada publik, sehingga masyarakat dapat mengambil langkah-langkah yang tepat untuk menjaga kesehatan mereka berdasarkan informasi yang tersedia.



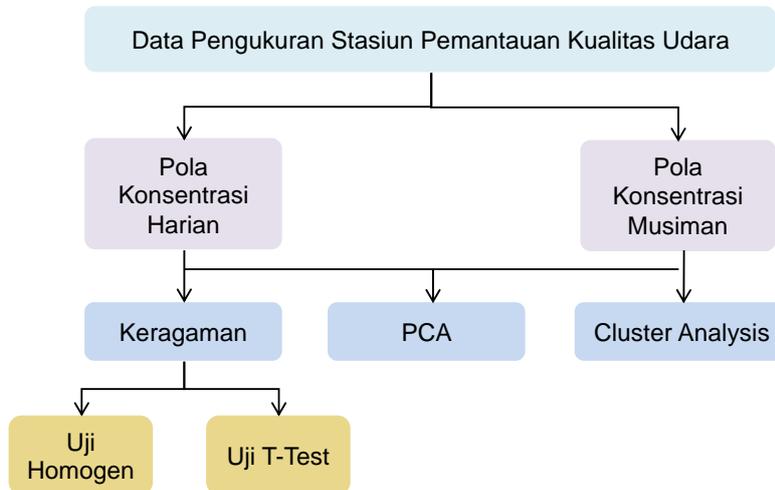
Gambar 4.2 Metodologi kajian

4.3.1 Analisis Desain Jaringan dan Keragaman SPKU Referensi di DKI Jakarta

Analisis Keragaman SPKU Eksisting

Keragaman dalam pengukuran polutan dari setiap SPKU meliputi polutan PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, CO, O₃, NO_x, NO₂, dan NO. Ketersediaan data secara *real-time* dikumpulkan dari setiap stasiun untuk mengetahui tren dan keragaman setiap stasiun dan antar stasiun serta dapat mengetahui dan mengidentifikasi wilayah yang memiliki tingkat polusi yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, tren dan perbedaan yang ada menjadi dasar bagi upaya memperluas dan meningkatkan

stasiun pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta secara berkelanjutan. Metode yang digunakan dalam mengidentifikasi keragaman yakni uji homogenitas dan uji T-test. Uji homogenitas adalah analisis statistik yang digunakan untuk menguji kehomogenan dua kelompok atau lebih dalam hal variansnya. Uji T-test adalah pendekatan statistik yang digunakan untuk menguji hipotesis nol.



Gambar 4.3 Bagan proses analisis tren dan keragaman SPKU di DKI Jakarta

Konsentrasi polutan udara dapat mengalami variasi harian dan musiman. Pola harian konsentrasi polutan di udara umumnya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pola aktivitas manusia dan suhu udara. Sedangkan pola musiman konsentrasi polutan di udara dipengaruhi oleh perubahan dalam kondisi cuaca, pola angin, dan pola penyebaran polutan. Pola konsentrasi polutan di udara harian umumnya

menunjukkan tren yang berulang setiap hari. Pada pagi hari, kegiatan keberangkatan kerja atau sekolah dapat meningkatkan konsentrasi polutan udara yang pada umumnya akan meningkat saat lalu lintas padat atau saat banyak sumber polusi aktif. Pada siang hari, dengan suhu udara yang lebih tinggi dari waktu lainnya karena adanya sinar matahari yang kuat, sehingga terjadinya pemanasan atmosfer yang dapat meningkatkan pembentukan polutan sekunder seperti ozon. Pada malam hari, pola konsentrasi udara dapat turun karena aktivitas manusia yang berkurang

dan penurunan suhu udara (Singh & Kumar, 2006). Pola musiman konsentrasi udara dipengaruhi oleh perubahan dalam kondisi cuaca dan pola angin. Misalnya, konsentrasi polutan dapat meningkat selama musim kemarau yang panas karena cuaca hangat dan stabil, serta adanya pola angin yang dapat membawa polutan dari sumber-sumber polutan dari wilayah lain. Di beberapa wilayah, pola musiman udara juga dapat terkait dengan aktivitas manusia seperti pembakaran lahan pertanian atau polusi dari sumber-sumber industri (Amarillo, 2018).

Untuk memahami variabilitas kualitas udara, dapat dilakukan analisis polutan udara menggunakan *Principal Component Analysis (PCA)* dan *cluster analysis*. PCA digunakan untuk mengidentifikasi pola dan hubungan yang tersembunyi dalam dataset polutan udara. Metode ini bekerja dengan mereduksi dimensi data dan mengubahnya menjadi kombinasi dari komponen utama yang saling independen. PCA membantu mengidentifikasi variabel-variabel yang memiliki sumbangan terbesar terhadap variasi data, sehingga dapat membantu dalam mempelajari keterkaitan antara parameter-parameter yang berbeda dalam polutan udara. Dalam analisis polutan udara, PCA dapat membantu mengidentifikasi sumber-sumber polusi dan memahami bagaimana faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi konsentrasi polutan (Zhang, 2012).

Analisis *cluster* digunakan untuk mengelompokkan data polutan udara berdasarkan pola kesamaan atau perbedaan. Metode ini membantu mengidentifikasi grup atau kelompok data dengan karakteristik yang serupa. Dalam analisis polutan udara, cluster analisis dapat membantu mengungkapkan informasi tentang pola musiman atau pola geografis dalam konsentrasi polutan. Metode ini juga dapat membantu dalam mengidentifikasi daerah-daerah dengan tingkat polusi udara yang serupa dan memahami faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi polutan (Baklanov, 2014).

Variabilitas kualitas udara juga harus dianalisis berbasis spasial menggunakan beberapa informasi spasial dalam bentuk peta sebagai berikut:

1. Peta lokasi stasiun pemantauan mempermudah dalam mengidentifikasi posisi stasiun pemantauan yang dapat memberikan informasi kualitas udara yang relevan.
2. Peta administrasi wilayah DKI Jakarta menunjukkan batas-batas wilayah DKI Jakarta. Dimana dalam konteks kualitas udara, peta administrasi membantu dalam mengidentifikasi wilayah yang menjadi tanggung jawab otoritas setempat dan berperan dalam pembuatan kebijakan pengendalian polusi.
3. Peta kepadatan penduduk wilayah DKI Jakarta menggambarkan tingkat kepadatan penduduk DKI Jakarta. Kepadatan penduduk yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan polusi udara karena aktivitas manusia seperti transportasi dan industri.
4. Peta lokasi pemukiman dan perkantoran menunjukkan letak pemukiman dan kawasan perkantoran di wilayah DKI Jakarta. Informasi ini merupakan faktor

penting karena jumlah penduduk dan aktivitas manusia di wilayah ini dapat berpengaruh terhadap kualitas udara.

5. Peta jaringan jalan wilayah DKI Jakarta menggambarkan sistem jalan di wilayah DKI Jakarta. Jumlah dan polusi kendaraan yang ada di jalan ini berdampak pada tingkat pencemaran udara di wilayah tersebut.
6. Peta topografi menunjukkan kontur, elevasi, dan bentuk permukaan wilayah DKI Jakarta. Informasi tersebut penting dalam memahami sifat aliran udara dan polutan yang dapat dipengaruhi oleh sungai, bukit atau lembah.
7. Peta *urban landscape* menggambarkan tata guna lahan perkotaan. Peningkatan aktivitas industri atau kepadatan penduduk di area perkotaan dapat mempengaruhi kualitas udara.

Hasil analisis homogenitas, PCA, dan analisis *cluster* yang dilakukan terhadap berbagai parameter pada 5 SPKU DKI Jakarta, 1 BMKG dan 2 US Embassy memberikan pandangan yang sangat berharga dalam memahami variabilitas kualitas udara di DKI Jakarta. Dalam kajian ini, data KLHK tidak digunakan dalam analisis karena menggunakan standar pengukuran yang berbeda dari jaringan pemantauan lainnya. Tidak hanya itu, analisis pada BAMS yang dipasang di 3 titik di DKI Jakarta juga tidak dilakukan karena pemasangan baru berlangsung dalam beberapa bulan terakhir di Tahun 2023.

Analisis homogenitas mengindikasikan perlu adanya penambahan SPKU jika sebagian besar stasiun SPKU yang ada saat ini memiliki karakteristik yang tidak seragam (heterogen). PCA membantu dalam mereduksi dimensi data dengan mempertimbangkan hubungan antara parameter-parameter yang diamati. Ini memungkinkan kita untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang berkontribusi terhadap variasi dalam kualitas udara. Selain itu, analisis kluster dapat membantu dalam mengelompokkan stasiun-stasiun pemantauan yang memiliki pola kualitas udara serupa. Ini dapat membantu dalam menentukan apakah ada area tertentu di DKI Jakarta yang memerlukan perhatian lebih karena pola pencemaran yang serupa. Hasil analisis kluster dapat digunakan sebagai dasar untuk penentuan lokasi penambahan stasiun pemantauan baru.

Dengan demikian, hasil dari analisis homogenitas, PCA, dan kluster dapat menjadi dasar yang kuat untuk mengidentifikasi kebutuhan penambahan jaringan stasiun pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta.

Validasi Keragaman melalui Survei SPKU Eksisting

Untuk mengkonfirmasi berbagai hasil tren dan keragaman SPKU di DKI Jakarta, survei lapang SPKU dilaksanakan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan 5 lokasi SPKU yang menjadi lokasi survei
2. Wawancara dengan petugas SPKU dan warga sekitar untuk mengumpulkan data dan informasi terkait pengelolaan kualitas udara menggunakan

kuesioner yang telah disusun termasuk menyampaikan isu-isu yang berkaitan dengan polusi udara.

3. Melakukan evaluasi terhadap kesesuaian SPKU dengan standar SNI yang berlaku, termasuk menilai jarak lokasi pemantauan, mengidentifikasi potensi halangan yang dapat mempengaruhi pemantauan, serta menilai parameter kimia yang digunakan untuk mengukur polutan.
4. Melakukan pengamatan lapangan untuk mengidentifikasi potensi pencemar di sekitar wilayah titik pemantauan. Hal ini penting untuk memahami lebih baik faktor-faktor eksternal yang dapat mempengaruhi kualitas udara dan mungkin menjadi faktor kontribusi terhadap hasil SPKU.

4.3.2 Analisis Jaringan Pemantauan Kualitas Udara DKI Jakarta

Analisis Indikator/Komponen dalam Penentuan Jumlah dan Lokasi SPKU

Penentuan jumlah dan lokasi penempatan SPKU yang ditambahkan berdasarkan pada beberapa ketentuan yang berlaku di Indonesia serta *literature review* dari berbagai sumber. Dalam prinsipnya, penempatan stasiun diwakili oleh sampel udara yang dipantau dengan skala spasial yang paling sesuai untuk tujuan pemantauan stasiun. Berdasarkan hal tersebut, penempatan SPKU harus mempertimbangkan beberapa hal, seperti lokasi dengan konsentrasi polusi tinggi, berbasis populasi, dan dampak terkait sumber pencemar tersebut (U.S. Environmental Protection Agency, 2008). Berdasarkan jumlah populasi dan konsentrasi polusi serta sumber pencemar yang ada di wilayah DKI Jakarta, maka ditetapkan pembagian wilayah penempatan SPKU dengan grid berukuran 4 km atau dikategorikan sebagai batas atas wilayah *neighborhood* (0.5-4 km) sekaligus batas bawah dari skala *urban* (4-50 km) (Tabel 4.3). Skala Lingkungan (*neighborhood*)—mendefinisikan konsentrasi dalam beberapa wilayah kota yang luas yang memiliki penggunaan lahan yang relatif seragam dengan dimensi dalam kisaran 0.5 km hingga 4.0 km. Skala Perkotaan (*urban*)—mendefinisikan konsentrasi dalam suatu wilayah dengan dimensi seperti kota, antara 4 km hingga 50 km.

Tabel 4.3 Pembagian wilayah penempatan SPKU berbasis grid

Tipe Lokasi	Skala Lokasi (Termasuk Skala Representatif)					
	<i>Micro</i>	<i>Middle</i>	<i>Neighborhood</i>	<i>Urban</i>	Regional	Nasional
	<100 m	100 m – 0.5 km	0.5 km – 4 km	4 – 50 km	100 km	Nasional
Konsentrasi tertinggi						
Konsentrasi tertinggi (polutan sekunder)						
Orientasi populasi						
Sumber dampak						
Latar kota umum dan transportasi						
Dampak kesejahteraan						

(Sumber: NSW Government Office of Environment and Heritage, 2019)

Berdasarkan penggunaan metode grid ukuran 4 km sehingga membagi wilayah DKI Jakarta menjadi 40 titik penempatan SPKU berbasis indikator pertimbangan yang relevan dan komprehensif, sementara studi yang dilakukan oleh Riqqi *et al.* (2013) mengusulkan 53 stasiun, Turyanti (2016) sebanyak 39 stasiun, dan DRI (2016) mengusulkan 11 stasiun. Dalam kajian ini, analisis sensitivitas juga dilakukan dengan menggunakan grid 2 km dengan mengusulkan sebanyak 158 stasiun, 1 km sebanyak 528 stasiun, dan 0,5 km sebanyak 1900 stasiun. Metode grid (Riqqi *et al.* 2013) diarahkan untuk rancangan jaringan stasiun pemantau karena memberikan sebaran lokasi stasiun rencana secara merata dan efektif. Pemilihan lokasi dengan metode pemodelan spasial yang disintesisikan dapat merekomendasikan lokasi pemantauan kualitas udara yang efektif untuk suatu wilayah perkotaan yang besar dan kompleks.

Kelemahan dalam studi ini adalah tidak adanya data observasi yang cukup representatif untuk setiap grid. Penggunaan metode grid dengan grid yang lebih rapat disarankan untuk kebutuhan spesifik, misalnya: kebutuhan pemantauan di wilayah industri dan area pemukiman padat penduduk (Shareef *et al.*, 2016).

Penggunaan simulasi model dispersi memerlukan validasi dan representasi data masukan, dan luarannya berkaitan dengan skala waktu misal musim, variasi bulanan dan harian. Sementara, penempatan lokasi stasiun berdasarkan data dan informasi jangka panjang relatif permanen seperti: topografi, lahan, kepadatan, dll (sesuai yang disarankan Tabel 4.4).

Selanjutnya, berbagai faktor seperti jumlah penduduk, elevasi geografis, tipe iklim regional, tata guna lahan (*land use*), dampak kesehatan terkait penyakit pernapasan (ISPA), konsentrasi polutan udara, karakteristik latar belakang lingkungan sekitar stasiun (*representatif background*), kondisi jalan terdekat, keberadaan industri, dan arah angin menjadi elemen yang berperan dalam menentukan lokasi-lokasi strategis untuk penempatan SPKU (Tabel 4.5). Integrasi semua faktor ini diharapkan dapat memastikan bahwa SPKU ditempatkan pada posisi yang optimal untuk memberikan pemantauan yang akurat dan signifikan dalam rangka menjaga kualitas udara serta melindungi kesehatan masyarakat DKI Jakarta. Dengan demikian, penentuan jumlah estimasi SPKU di DKI Jakarta adalah langkah yang didasarkan pada pertimbangan analisis dari indikator tersebut.

Tabel 4.4 Indikator penentuan titik SPKU DKI Jakarta

No.	Indikator pertimbangan penentuan titik SPKU	Penjelasan Detail
1.	Konsentrasi polutan	Nilai konsentrasi polutan di sekitar jaringan pemantauan usulan

No.	Indikator pertimbangan penentuan titik SPKU	Penjelasan Detail
2.	Ketinggian/DEM	Ketinggian lokasi pemantauan usulan dengan permukaan air laut
3.	Landuse/landcover	Jenis tutupan lahan dan penggunaan lahan di pemantauan usulan
4.	Jumlah penduduk	Jumlah penduduk yang ada di kelurahan tempat titik lokasi jaringan pemantauan diusulkan
5.	Peruntukan spesifik	Pertimbangan perwakilan wilayah pada jaringan pemantauan usulan
6.	Kondisi jalan terdekat	Jenis jalan yang berada terdekat dengan lokasi pemantauan usulan
7.	Keberadaan industri	Jumlah dan aktivitas industri di sekitar lokasi pemantauan usulan
8.	Arah angin	Arah angin yang secara umum terjadi di sekitar lokasi pemantauan usulan
9.	Tipe Iklim Regional	Tipe iklim yang ada di lokasi
10.	Dampak Kesehatan (ISPA)	Angka kejadian ISPA berbasis kelurahan tempat titik lokasi pemantauan diusulkan

Selain tingkat populasi, penempatan SPKU mempertimbangkan sumber pencemar yaitu berupa frekuensi kendaraan bermotor yang direpresentasikan menggunakan klasifikasi jalan (jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan), dan lokasi industri yang terbagi atas budidaya perikanan, galangan kapal, industri, dan industri kecil. Pertimbangan lain dalam penempatan SPKU adalah elevasi berdasarkan DEM, keadaan tutupan lahan sekitar penempatan (ruang terbuka, jauh dari pepohonan dan gedung tinggi, serta dekat dengan sumber pencemar), serta tipe iklim yang berpengaruh terhadap pola curah hujan. Pertimbangan terakhir adalah dengan melihat dampak pencemaran yaitu dari persentase penderita ISPA terhadap jumlah penduduk, serta jumlah tertinggi penderita ISPA dalam 3 tahun terakhir.

Analisis Tumpang Susun Komponen/Indikator

Hasil dari berbagai komponen/indikator di atas selanjutnya dilakukan tumpang susun menjadi beberapa peta komposit untuk menentukan lokasi spesifik usulan jaringan pemantauan kualitas udara (terutama SPKU) yang juga mempertimbangkan berbagai kapasitas dan perencanaan pengadaan jaringan stasiun. Adapun detail pemilihan SPKU usulan dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 4.5 Penentuan kebutuhan jumlah dan lokasi usulan SPKU

No	Komponen Pertimbangan	Kriteria yang Dibutuhkan
1	Tumpang susun DEM dan populasi penduduk	Utamakan wilayah dengan nilai tinggi dan sangat tinggi (Populasi penduduk tinggi dan ketinggian wilayah rendah) karena berkaitan dengan konsentrasi polutan
2	Tumpang susun kejadian ISPA	Utamakan wilayah kejadian ISPA tinggi dan sangat tinggi
3	Tumpang susun kluster Iklim	Kluster iklim dibagi berdasarkan pola curah hujan. DKI Jakarta menjadi 2 kluster, maka SPKU perlu ditempatkan di 2 wilayah kluster tersebut
4	Tumpang susun lokasi industri, tutupan lahan, dan fungsi jalan	<ul style="list-style-type: none"> - Industri: utamakan lokasi dengan wilayah industri - Tutupan lahan: lahan terbangun, pemukiman, dan kawasan industri - Fungsi jalan: jalan arteri
5	Wilayah representatif (peruntukan spesifik)	<ul style="list-style-type: none"> - Beberapa komponen pertimbangan mungkin tidak terpenuhi dalam satu titik usulan, namun perlu dijadikan representatif untuk kebutuhan spesifik pemantauan udara (wilayah latar kota/ <i>background</i>) - Terdapat beberapa SPKU yang berdekatan

Justifikasi penentuan lokasi titik SPKU dilakukan sebagai tambahan pertimbangan setelah penentuan prioritas SPKU. Justifikasi ini dilakukan berdasarkan serangkaian pertimbangan yang mencakup berbagai parameter teknis dan lingkungan. Setiap SPKU diidentifikasi dengan nama unik dan koordinat geografis yang jelas untuk memudahkan pelacakan dan identifikasi lokasi. Untuk memvalidasi titik SPKU, dilakukan survei lapang berbasis beberapa pertimbangan yang disusun dalam Tabel 4.6 untuk mengilustrasikan pendekatan yang digunakan dalam menentukan lokasi SPKU yang optimal.

Tabel 4.6 Justifikasi pertimbangan penentuan lokasi SPKU

No.	Pertimbangan Tempat	Penjelasan/Keterangan
1.	Nama SPKU dan Koordinatnya	Memastikan titik lokasi dan koordinatnya untuk memudahkan survei lapang
2.	Klasifikasi lokasi SPKU	Memuat informasi terkait dengan klasifikasi lokasi SPKU seperti latar kota, pusat kota, sub-urban
3.	Jarak dari jalan utama	Memastikan jarak dari jalan utama untuk memperhatikan standar minimum titik lokasi SPKU dengan jalan
4.	Jarak dari pemukiman penduduk	Memastikan jarak titik lokasi SPKU dengan pemukiman penduduk
5.	Potensi sumber minor dan jaraknya	Berbagai kemungkinan adanya sumber minor terhadap SPKU seperti emisi kendaraan, industri pabrik, industri UMKM, termasuk jaraknya
6.	Jarak dari halangan	Memastikan berbagai halangan yang ada di sekitar SPKU, seperti pepohonan dan bangunan
7.	Rekomendasi ketinggian shelter dari tanah	Memuat informasi terkait jarak antara dasar shelter dengan permukaan tanah
8.	Rekomendasi ketinggian inlet dari tanah	Memuat informasi ketinggian ideal dari inlet instrumen pemantauan kualitas udara
9.	Tingkat keamanan	Memastikan tingkat keamanan lokasi penempatan

Penentuan Jumlah dan Lokasi indikatif *Low-cost Sensor (LCS)*

Metode indikatif *low-cost sensor* telah menjadi solusi yang inovatif dan terjangkau dalam pemantauan kualitas udara saat ini. Sensor-sensor ini dirancang untuk mengukur berbagai parameter udara seperti partikulat *matter* (PM2.5 dan PM10), konsentrasi gas seperti CO₂, NO₂, dan SO₂, serta suhu dan kelembaban udara. Keuntungan utama dari penggunaan sensor *low-cost* adalah biayanya yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan peralatan pemantauan tradisional.

Penempatan *low cost sensor* pemantauan kualitas udara harus dipertimbangkan dengan cermat untuk memastikan efektivitas dan relevansinya dalam mengumpulkan data yang akurat. Beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut yaitu:

Lokasi penempatan sensor sangat penting. Sensor harus ditempatkan di lokasi yang mewakili kondisi udara secara keseluruhan dan terpapar oleh berbagai sumber polusi. Hal ini dapat mencakup daerah perkotaan, industri, perkampungan, dan daerah-daerah dengan mobilitas kendaraan tinggi. Pemilihan lokasi yang tepat akan memungkinkan sensor untuk menghasilkan data yang relevan untuk tujuan pemantauan kualitas udara.

Jumlah sensor yang ditempatkan juga harus dipertimbangkan. Distribusi sensor yang tepat dapat membantu dalam pemantauan yang lebih baik dan pemahaman pola-pola polusi udara. Namun, penempatan terlalu banyak sensor mungkin tidak efisien secara biaya. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis untuk menentukan jumlah sensor yang optimal.

Kalibrasi sensor adalah faktor kunci. Sensor harus secara teratur dikalibrasi untuk memastikan keakuratan data yang dihasilkan. Ini melibatkan perbandingan antara hasil sensor dengan data dari stasiun pemantauan udara yang lebih akurat. Tanpa kalibrasi yang tepat, data yang diperoleh dari sensor *low cost* mungkin tidak dapat diandalkan.

Pemeliharaan sensor harus diperhatikan. Sensor harus dirawat dan diperbaiki secara berkala untuk memastikan kinerjanya tetap optimal. Cuaca, debu, dan kelembaban dapat mempengaruhi sensor, oleh karena itu, perawatan rutin sangat penting.

Secara keseluruhan, penempatan *low cost sensor* pemantauan kualitas udara harus memperhatikan lokasi, jumlah sensor, kalibrasi, dan pemeliharaan untuk memastikan bahwa data yang dihasilkan bermanfaat dan dapat diandalkan dalam pemantauan kualitas udara yang efektif. Pengembangan *low-cost sensor* di DKI Jakarta dilakukan untuk melengkapi jaringan pemantauan kualitas udara, mengingat pengadaan SPKU membutuhkan biaya yang cukup besar.

Penempatan LCS umumnya dilakukan di berbagai lokasi publik seperti sekolah, taman kota, rumah sakit, jalur ganjil genap, dan lokasi publik lainnya sangat penting untuk memantau dan meningkatkan kualitas udara. Berikut adalah rekomendasi titik lokasi untuk penempatan sensor kualitas udara:

a. Sekolah:

- Penempatan sensor di area luar dan dalam gedung sekolah.
- Pemasangan sensor di area yang sering digunakan oleh siswa dan staf, seperti halaman sekolah, ruang kelas, dan area olahraga.
- Menginformasikan hasil pemantauan kepada siswa, guru, dan staf sekolah agar mereka bisa mengambil tindakan saat kualitas udara buruk.

b. Taman Kota:

- Sensor dapat dipasang di berbagai sudut taman, terutama di dekat area bermain anak-anak dan tempat piknik.
- Menggabungkan sensor dengan papan informasi publik agar pengunjung taman bisa mengetahui kondisi udara saat itu.

c. Rumah Sakit:

- Pemasangan sensor di area terbuka rumah sakit dan area terdekat dengan ruang perawatan pasien.

- Kualitas udara yang buruk dapat berdampak negatif pada pasien yang rentan, oleh karena itu, pemantauan konstan sangat penting.
- d. Jalur Ganjil Genap:
- Penempatan sensor di sepanjang jalur ganjil-genap, terutama di area yang sering terjadi kemacetan.
 - Sensor ini dapat membantu otoritas lalu lintas untuk mengambil tindakan jika ada masalah polusi udara di area tersebut.
- e. Lokasi Publik Lainnya:
- Sensor dapat dipasang di tempat-tempat umum lainnya seperti pusat perbelanjaan, pusat transportasi, dan taman rekreasi.
 - Pertimbangan pemasangan sensor di area yang sering terjadi kepadatan penduduk atau lalu lintas kendaraan bermotor.

Perlu memastikan data dari sensor kualitas udara ini dapat diakses secara publik atau oleh otoritas yang berwenang. Informasi ini dapat digunakan untuk mengambil tindakan cepat jika terjadi peningkatan polusi udara yang signifikan, dengan demikian masyarakat dapat lebih sadar akan kualitas udara di sekitar mereka dan berkontribusi pada upaya perlindungan lingkungan.

Penentuan Jumlah dan Jangkauan Lokasi *Mobile Station*

Penempatan *Mobile Station* (stasiun bergerak) untuk pemantauan kualitas udara adalah langkah penting dalam memantau dan mengukur polusi udara di berbagai wilayah. Penempatan yang baik akan memastikan data yang akurat dan representatif untuk pemantauan kualitas udara. Berikut adalah beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan lokasi penempatan *mobile station* pemantauan kualitas udara:

- a. Analisis Pemetaan Geografis (GIS)

Pemanfaatan sistem informasi geografis (GIS) untuk menganalisis data spasial dan lingkungan. Ini dapat membantu dalam menentukan daerah yang paling rentan terhadap polusi udara dan memandu penempatan *mobile station* di tempat-tempat kritis.
- b. Pemantauan Pola Angin

Memahami pola angin lokal sangat penting karena akan memengaruhi sebaran polutan udara. Stasiun harus ditempatkan di lokasi yang mewakili pola angin dominan di wilayah tersebut.
- c. Identifikasi Sumber Polusi Utama

Menentukan sumber-sumber utama polusi udara di wilayah tersebut dan menempatkan stasiun pemantauan di sekitar sumber-sumber tersebut untuk mengukur dampaknya.
- d. Pendekatan Zonasi

Membagi wilayah menjadi zona berdasarkan tingkat polusi udara yang diharapkan dan menempatkan stasiun di setiap zona untuk memastikan pemantauan yang merata.

e. Pemantauan Bergerak

Menggunakan kendaraan pemantauan bergerak yang dilengkapi dengan peralatan pemantauan kualitas udara yang dapat berpindah-pindah sesuai kebutuhan untuk mendapatkan data dari berbagai lokasi.

f. Penempatan Stasiun Referensi

Menempatkan stasiun pemantauan referensi di lokasi yang telah terbukti memiliki kualitas udara yang baik sebagai pembanding dengan stasiun di daerah yang diduga tercemar.

g. Evaluasi dan Pemantauan Rutin

Setelah penempatan awal, maka dilakukan evaluasi dan pemantauan rutin untuk memastikan bahwa stasiun pemantauan berada di tempat yang paling strategis dan memberikan data yang akurat.

Penentuan penempatan *mobile station* untuk pemantauan kualitas udara harus mempertimbangkan faktor-faktor geografis, meteorologis, dan sumber polusi lokal. Kolaborasi antara lembaga pemerintah, organisasi lingkungan, dan ilmuwan adalah kunci untuk menentukan lokasi yang optimal dan efektif untuk pemantauan kualitas udara yang efisien.

4.3.3 Pengembangan Jaringan Stasiun Pemantauan Kualitas Udara

Metode Penentuan Parameter

Adapun detail penentuan parameter dalam SPKU usulan didasarkan pada butir-butir sebagai berikut:

1. Kebutuhan Parameter terhadap Jarak Antar Titik Stasiun yang memungkinkan penentuan kebutuhan pengukuran parameter kimia dilakukan dengan mempertimbangkan jarak antar titik, apakah termasuk ke skala middle dan neighborhood, sehingga dapat diperoleh parameter kimia yang perlu ada pada sebuah SPKU tambahan. Hal ini berdasarkan standar yang diperoleh dari NSW *Government Office of Environment and Heritage*. Selain itu juga mempertimbangkan parameter kimia yang direkomendasikan ada dan dipertimbangkan dapat dipindahkan ke SPKU lainnya yang lebih sesuai.

Tabel 4.7 Kebutuhan pengukuran polutan dalam berbagai level jarak

No	Jarak antar titik	Skala	Parameter Kimia Yang Diprioritaskan Diukur
1	Mikro	<100 m	PM2.5, PM10
2	Menengah	100 m - 500 m	CO

No	Jarak antar titik	Skala	Parameter Kimia Yang Diprioritaskan Diukur
3	Lingkungan	0,5 km - 4 km	SO ₂ , PM10, VOCS (termasuk O ₃ , PM2.5, NO ₂ , NO _x , NO)
4	Perkotaan	4 km - 50 km	O ₃ , PM2.5, NO ₂ , NO _x , NO

2. Hubungan parameter dengan kondisi spesifik wilayah

Penentuan parameter polutan dalam jaringan pemantauan kualitas udara untuk wilayah tertentu harus memperhitungkan kondisi spesifik wilayah tersebut, termasuk dampaknya terhadap kesehatan masyarakat (Tabel 4.8). Metode penentuan parameter ini sangat penting karena polutan udara dapat memiliki efek yang berbeda-beda tergantung pada lokasi geografis, aktivitas manusia, dan karakteristik lingkungan setempat.

Tabel 4.8 Sumber setiap polutan dan dampak spesifiknya terhadap kesehatan

Polutan	Sumbernya	Dampak terhadap kesehatan
Sulfur Dioksida (SO ₂)	Pembakaran Bahan Bakar Fosil, termasuk emisi PLTU dan kendaraan bermotor	Iritasi pada saluran pernapasan dan menuanya fungsi paru-paru, Adapun beberapa gejala yang ditimbulkan seperti batuk-batuk, sesak nafas dan asma (Sulistiyorini & Sebayang, 2015).
Karbon Monoksida (CO)	Terutama dihasilkan oleh kendaraan bermotor	Berkontribusi pada penyakit kardiovaskular. Sumber: https://www.vitalstrategies.org/wp-content/uploads/Menuju-Udara-Bersih-Jakarta.pdf
Volatile Organic Compound (CH ₄)	Kendaraan bermotor dan industri	Denyut jantung tidak teratur, sakit kepala, pusing, mual dan bahkan pingsan jika pajanan dilanjutkan untuk waktu yang lama, anemia, leukositopenia, dan trombositopenia (Singh <i>et al.</i> , 2012).
Ozon troposfer (O ₃)	Senyawa kimia yang bersifat oksidatif (oksidator kuat), reaksinya berlangsung di atmosfer dan terbentuk dari reaksi nitrogen oksida dengan	Kerusakan fungsi paru-paru dan saluran pernapasan serta menurunkan sistem kekebalan tubuh (Fehsenfeld, 1993).

Polutan	Sumbernya	Dampak terhadap kesehatan
	senyawa organik	
NO, NO ₂ , NO _x	NO: berasal dari dekomposisi alami bakteri tanah NO _x (oksida-oksida nitrogen): 50% dari kendaraan bermotor, dan 30% dari PLTU, 20% dari emisi industri	Iritasi paru-paru dan infeksi saluran pernapasan, terutama penderita asma (Rofienda, 2009).
PM2.5 Partikel udara yang berukuran lebih kecil dari atau sama dengan 2.5 µm (mikrometer)	Pembakaran terbuka yang menghasilkan debu, kendaraan bermotor, kebakaran hutan. PM2.5 dari kendaraan bermotor dalam bentuk: debu, jelaga, kotoran, asap, dan tetesan cairan. Berhubungan dengan lokasi industri	Penyakit kardiovaskular dan pernapasan, kanker dan diabetes. Kelahiran tidak wajar dan kesehatan anak yang buruk, yang berpotensi mengganggu kesejahteraan dan produktivitas sepanjang rentang hidup (WHO, 2013).
PM10 Partikel udara yang berukuran lebih kecil dari 10 mikron (mikrometer).	Pembakaran terbuka yang menghasilkan debu, kendaraan bermotor, kebakaran hutan	Radang paru-paru, ISPA (infeksi saluran pernapasan akut), gangguan pada sistem kardiovaskular, meningkatnya perawatan gawat darurat, peningkatan penggunaan obat, bahkan kematian (WHO, 2000).

3. Kondisi pendukung untuk menelusuri parameter yang dibutuhkan

Untuk menelusuri parameter pemantauan kualitas udara yang diperlukan, beberapa kondisi pendukung harus dipertimbangkan (Tabel 4.9). Kondisi ini memainkan peran penting dalam memahami tingkat polusi udara dan dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Salah satu kondisi pendukung yang krusial adalah arah angin yang dapat mempengaruhi sejauh mana polutan udara dapat menyebar. Posisi arah angin yang ada mengidentifikasi sumber emisi polutan yang berpotensi mempengaruhi area tertentu lebih dari yang lain. Oleh karena itu, pemantauan arah dan kecepatan angin adalah parameter penting dalam pemantauan kualitas udara.

Perhitungan jarak antar jaringan pemantauan juga sangat penting. Penempatan sensor pemantauan kualitas udara harus mencakup area yang representatif dari lingkungan yang ingin dipantau. Jarak yang terlalu jauh antara sensor-sensor ini dapat menghasilkan data yang kurang akurat karena tidak mencerminkan variasi lokal dalam tingkat polusi. Di sisi lain, jarak yang terlalu dekat antara sensor mungkin tidak memberikan cakupan yang memadai. Oleh karena itu, pemantauan harus diposisikan dengan cermat untuk mencapai representasi yang baik.

Sumber emisi lokal juga menjadi pertimbangan. Identifikasi sumber-sumber polusi udara di area yang dipantau akan membantu dalam menentukan parameter pemantauan yang paling relevan. Misalnya, jika ada pabrik besar di dekatnya yang menghasilkan banyak emisi gas beracun, maka pemantauan gas-gas tersebut harus menjadi prioritas. Dengan mempertimbangkan arah angin, jarak antar jaringan pemantauan, dan sumber emisi lokal, kita dapat merancang sistem pemantauan kualitas udara yang efektif untuk mengidentifikasi dan mengukur parameter-parameter penting seperti konsentrasi polutan seperti partikel PM_{2,5}, ozon, nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), dan karbon monoksida (CO), yang semuanya memiliki dampak berbeda terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.

Tabel 4.9 Komponen pertimbangan spesifik untuk penentuan kebutuhan parameter

No.	Komponen yang Dipertimbangkan	Komponen Spesifik
1.	Arah Angin	Timur, tenggara, selatan, barat daya, barat, barat laut, utara, timur laut
2.	Jarak antar titik	Mewakili: <ul style="list-style-type: none"> - Skala mikro (<100 m): PM_{2.5}, PM₁₀ - Skala menengah (100 m - 500 m): CO - Skala lingkungan/ neighborhood (500 m - 4 km): SO₂, PM₁₀, VOCS (termasuk O₃, PM_{2.5}, NO₂, NO_x, NO). - Urban/Perkotaan (4 - 50 km): O₃, PM_{2.5}, NO₂, NO_x, NO
3.	Sumber emisi yang dominan	Emisi industri, emisi dari kendaraan bermotor, berada di dekat jalan arteri
4.	Wilayah-wilayah spesifik (fokus untuk tambahan alat pemantauan pendukung seperti LCS dan <i>mobile station</i>)	Mewakili titik-titik publik seperti sekolah, rumah sakit, wilayah jalan ganjil-genap, dll.

Penentuan Metode dan Teknologi Jaringan Pemantauan

Pengembangan teknologi jaringan pemantauan kualitas udara merupakan langkah krusial dalam upaya menjaga kesehatan lingkungan dan kesejahteraan manusia. Untuk mencapai tujuan ini, beberapa tahapan metode yang dapat digunakan dijabarkan sebagai berikut.

- a. Pengembangan teknologi sensor adalah salah satu langkah awal yang penting. Sensor-sensor yang sensitif dan akurat perlu dikembangkan untuk mendeteksi berbagai jenis polutan udara, seperti partikulat, gas beracun, dan senyawa kimia berbahaya. Sensor-sensor ini harus memiliki tingkat ketelitian yang tinggi dan mampu beroperasi dalam berbagai kondisi lingkungan.
- b. Pengembangan teknologi komunikasi juga menjadi bagian penting dalam jaringan pemantauan kualitas udara. Jaringan ini harus mampu mengumpulkan data dari berbagai sensor yang tersebar di berbagai lokasi dan mengirimkan informasi tersebut ke pusat pengendalian. Teknologi komunikasi yang cepat dan handal seperti jaringan 5G dapat digunakan untuk memastikan data diterima dengan cepat dan akurat.
- c. Pengolahan data dan analisis merupakan tahap penting dalam pengembangan teknologi ini. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor perlu diolah dan dianalisis untuk menghasilkan informasi yang berguna. Ini melibatkan penggunaan teknik-teknik seperti *machine learning* dan *mining data* untuk mengidentifikasi pola dan tren dalam kualitas udara.
- d. Pengembangan antarmuka pengguna yang *user-friendly* juga penting. Informasi tentang kualitas udara perlu dapat diakses dengan mudah oleh masyarakat umum, pemerintah, dan pihak terkait lainnya sehingga dapat membantu meningkatkan kesadaran dan partisipasi dalam upaya menjaga kualitas udara.

Secara keseluruhan, pengembangan teknologi jaringan pemantauan kualitas udara melibatkan sejumlah langkah penting, mulai dari pengembangan sensor hingga pengolahan data dan antarmuka pengguna. Penggunaan teknologi yang lebih baik dan lebih terintegrasi, kita dapat mengambil langkah-langkah proaktif untuk melindungi kualitas udara dan kesehatan masyarakat.

Analisis Biaya dan Manfaat

Pengembangan jaringan pemantauan kualitas udara, yang di dalamnya terdiri dari SPKU, sensor biaya rendah, dan stasiun *mobile*, sangat diperlukannya metode analisis biaya dan manfaat yang efektif. Metode ini dapat membantu dalam mengidentifikasi keuntungan dalam investasi dalam pengambilan keputusan yang tepat dengan urutan sebagai berikut:

- a. Langkah awal adalah menghitung biaya awal pengadaan seluruh sistem, termasuk biaya pembelian sensor, peralatan stasiun mobile, instalasi, dan pelatihan personel. Setelah itu, identifikasi biaya operasional yang akan terjadi selama masa penggunaan, seperti biaya pemeliharaan, kalibrasi, tenaga kerja, dan pemantauan berkala.
- b. Melakukan analisis manfaat dengan mengidentifikasi manfaat langsung dan tidak langsung yang akan dihasilkan oleh SPKU. Manfaat langsung dapat mencakup pemantauan real-time kualitas udara, deteksi dini polusi udara, dan pemberian informasi kepada masyarakat. Manfaat tidak langsung dapat mencakup pengurangan risiko kesehatan masyarakat, penghematan biaya perawatan kesehatan, dan peningkatan kualitas lingkungan.
- c. Dengan menerapkan metode analisis biaya dan manfaat, pengambil keputusan dapat dengan lebih baik memahami potensi investasi dalam SPKU dengan sensor biaya rendah dan stasiun mobile dan memastikan bahwa keputusan yang diambil akan memberikan manfaat yang signifikan bagi masyarakat dan lingkungan sekitar.

4.3.4 Pengembangan Desain *Mock-up* Aplikasi Pemantauan Kualitas Udara Lingkup DKI Jakarta

Keluaran utama dari analisis ini adalah pengembangan *mock-up* pemantauan Kualitas Udara lingkup DKI Jakarta. Pencapaian target tersebut, dilakukan dengan pendekatan umum berupa perencanaan, perancangan pengembangan, pelaksanaan, dan evaluasi.

1. Perencanaan

Kegiatan perencanaan meliputi koordinasi dengan pengelolaan SPKU DKI Jakarta terkait kebutuhan kompilasi sumberdaya sistem informasi tersedia dan penilaian kebutuhan akan aplikasi *mock-up* yang dikembangkan untuk kemudian memahami permasalahan yang muncul dan mendefinisikan secara rinci untuk kemudian dituangkan ke dalam rancangan pelaksanaan pekerjaan dan pembuatan jadwal pelaksanaan yang memuat tahapan pekerjaan yang akan dilakukan.

2. Perancangan Pengembangan *Mock-up* Pemantauan Kualitas Udara

Perancangan yang dimaksud adalah untuk memahami kriteria – kriteria pengembangan yang akan dilakukan. Dengan memperhatikan hasil rekomendasi dari mandat regulasi dan pengguna aplikasi untuk menyusun perancangan desain pengembangan fitur dan informasi yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan pengembangan *mock-up* pemantauan kualitas udara perlu diperhatikan beberapa aspek seperti:

- Kebutuhan Organisasi
- Kebutuhan Operator

- Kebutuhan Pemakai
- Kebutuhan Teknis

3. Pelaksanaan Pekerjaan

Pelaksanaan pekerjaan meliputi identifikasi eksisting sistem yang telah dibangun oleh DLH DKI Jakarta, penyusunan desain analisis berdasarkan rekomendasi perbaikan kondisi eksisting sistem, dan penyusunan desain awal *mock-up* pemantauan kualitas udara. Secara rinci proses pengembangan *mock-up* pemantauan kualitas udara meliputi:

- Proses analisis data dan parameter yang dibutuhkan untuk diintegrasikan ke dalam desain *mock-up*
- Pembuatan desain infrastruktur sistem dan *technology stack*
- Pembuatan daftar fitur dan fungsi sistem pemantauan kualitas udara
- Pengembangan *Data Flow Diagram* (DFD)
- Pengembangan *Unified Modelling Language* (UML) diagram yang terdiri dari:
 - *Use Case Diagram*
 - *Activity Diagram*
- Pengembangan *Entity Relationship Diagram* (ERD)
- Menyusun analisis *design guidelines mock-up*
- Pengembangan *mock-up prototype*

4. Evaluasi

Pada tahap ini, dilakukan pertemuan konsolidasi untuk melihat hasil laporan dan uji coba *mock-up* yang telah selesai disusun untuk kebutuhan luaran. Proses uji coba ini diperlukan untuk memastikan bahwa *mock-up* tersebut sudah benar, sesuai karakteristik yang ditetapkan, dan tidak ada kesalahan – kesalahan yang terkandung di dalamnya.

4.3.5 Pengembangan Panduan Pemantauan Kualitas Udara

Penyusunan panduan atau Standar Operasional Prosedur (SOP) untuk pemantauan kualitas udara merupakan langkah penting dalam menjaga lingkungan yang sehat. Tahapan-tahapan yang harus diperhatikan dalam penyusunan SOP ini adalah sebagai berikut:

- a. Sumber Daya Manusia (SDM) yang diperlukan untuk pelaksanaan pemantauan kualitas udara. Ini mencakup penugasan personel yang terampil dan terlatih untuk mengoperasikan peralatan pemantauan serta menginterpretasikan hasil pengukuran dengan benar.
- b. Parameter kualitas udara yang akan diukur dan tentukan metode perekaman data. Hal ini mencakup pemilihan jenis polutan udara yang akan dipantau

seperti partikulat, gas-gas berbahaya, dan lainnya, serta frekuensi pengukuran dan peralatan yang digunakan.

- c. Pelaporan hasil pemantauan harus diintegrasikan dalam jaringan SPKU yang ada, dan data tambahan dari LCS sebagai pelengkap untuk memastikan konsistensi data dan respons yang cepat terhadap perubahan kondisi udara.
- d. Kalibrasi LCS dengan data yang diperoleh dari SPKU untuk memastikan akurasi pengukuran. Kalibrasi secara berkala sangat penting untuk memastikan hasil pemantauan yang dapat dipercaya.
- e. *Mobile station*, jika diperlukan untuk pemantauan yang lebih luas atau fleksibel. *Mobile station* dapat digunakan untuk pemantauan di lokasi-lokasi yang berpotensi memiliki polusi udara tinggi atau sebagai alat tambahan dalam sistem pemantauan kualitas udara.

5 DESAIN JARINGAN DAN KERAGAMAN SPKU

5.1 Analisis Tren Parameter

Gambaran tren konsentrasi pencemaran udara di wilayah DKI Jakarta dianalisis dengan menggunakan data konsentrasi pencemaran udara per 60 menit dari 7 SPKU yang beroperasi yaitu 5 SPKU DLH DKI dan 2 Stasiun US-Embassy. Data BMKG tidak dimasukkan ke dalam grafik karena rentang data yang tersedia tidak sama dengan stasiun lainnya. Namun data tersebut tetap dianalisis untuk mengetahui nilai R-Square dan homogenitas. Analisis parameter dilakukan secara harian untuk setiap polutan menggunakan data pengukuran tahun 2014-2022 dan kemudian dibandingkan dengan data iklim untuk melihat pengaruh faktor iklim terhadap konsentrasi polutan di udara. Gambar 5.1 menunjukkan variasi harian dari konsentrasi PM_{2.5} yang disandingkan dengan data curah hujan, suhu udara, kelembaban udara dan kecepatan angin. Berdasarkan grafik kumulatif konsentrasi harian polutan PM_{2.5} wilayah DKI Jakarta tahun 2019-2022, konsentrasi harian tertinggi mencapai 300 ug/m³. Pola harian konsentrasi PM_{2.5} selama periode tahun 2019-2022 menunjukkan fluktuasi antar waktu yang terkait dengan musim ataupun fluktuasi antar lokasi stasiun. Konsentrasi PM_{2.5} umumnya tinggi di musim kemarau dan menurun di musim hujan. Hal ini disebabkan curah hujan pada periode yang panjang terutama di musim hujan dapat menurunkan konsentrasi polutan udara melalui proses pencucian dan pengendapan partikulat termasuk melalui proses kimia atmosfer (Shukla *et al.*, 2008). Penurunan PM_{2.5} terjadi ketika curah hujan yang tinggi dapat membersihkan udara dari partikel PM_{2.5} dengan menurunkan partikel-partikel tersebut ke tanah.

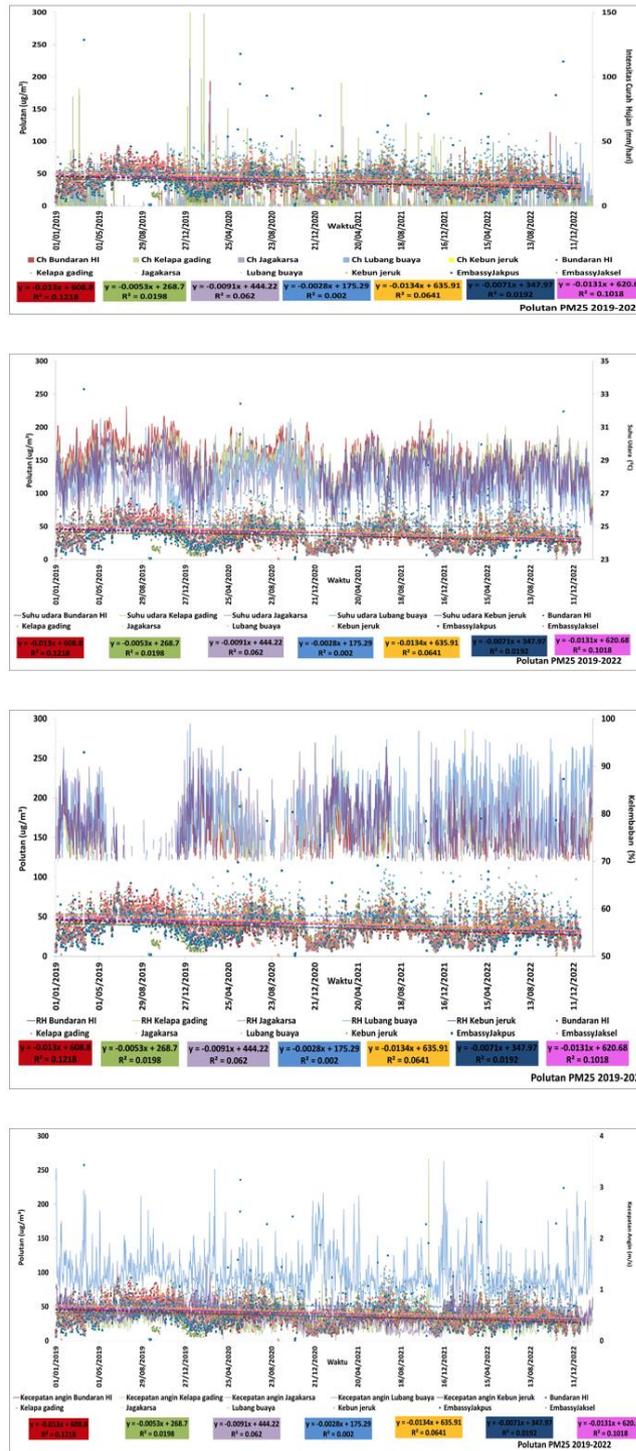
Sementara itu suhu udara yang tinggi dapat meningkatkan volatilitas dan kecepatan reaksi

kimia dalam udara, sehingga dapat meningkatkan konsentrasi PM_{2.5} di udara (Sibarani *et al.*, 2021). Hal ini dapat dilihat dari pola suhu udara harian dan konsentrasi PM_{2.5} yang cenderung konsisten dengan pola atau tren yang serupa. Variasi suhu udara harian sepanjang tahun di wilayah tropis seperti DKI Jakarta cukup kecil kurang dari 5 derajat celcius. Namun pola fluktuasi suhu udara harian memiliki tren yang serupa dengan pola konsentrasi PM_{2.5} walaupun tentunya banyak faktor lain terutama terkait aktivitas masyarakat yang melepaskan polutan atau bahan pencemar ke udara.

Gambar 5.1 menunjukkan bahwa pola kelembaban udara harian berlawanan dengan konsentrasi PM_{2.5}. Ini berarti pada saat kelembaban udara tinggi maka konsentrasi PM_{2.5} menunjukkan nilai yang menurun atau lebih rendah. Kelembaban udara menunjukkan banyaknya uap air yang dikandung oleh udara. Semakin tinggi kelembaban udara harian dalam bentuk *relative humidity* (RH) maka potensi untuk terjadinya curah hujan

semakin besar. Pada saat hujan, kelembaban udara umumnya juga mencapai nilai maksimum. Secara teoritis, kecepatan angin tinggi dapat menurunkan konsentrasi PM2.5 karena peran angin dalam mendistribusi atau menyebarkan PM2.5 ke wilayah yang lebih luas sehingga konsentrasi di udara menjadi berkurang. Berdasarkan Gambar 5.1 dapat dilihat dengan jelas pada periode waktu-waktu tertentu dimana pola kecepatan angin yang tinggi bersamaan dengan konsentrasi PM2.5 yang lebih rendah sehingga kecepatan angin dapat berkontribusi dengan fluktuasi konsentrasi PM2.5 di wilayah DKI Jakarta.

Suhu udara, kelembaban udara, serta kecepatan dan arah angin dianggap sebagai faktor utama karena dapat mempengaruhi proses dispersi, mekanisme penghapusan, dan pembentukan partikel atmosfer. Proses-proses tersebut dapat memainkan peran penting dalam mengendalikan konsentrasi polutan udara. Menurut Zhang *et al.*, (2015) tingkat teknologi yang banyak digunakan di wilayah perkotaan juga dapat menjadi faktor penting yang mempengaruhi kualitas udara perkotaan. Semakin tinggi teknologi seperti pemanfaatan kendaraan pribadi dan transportasi umum



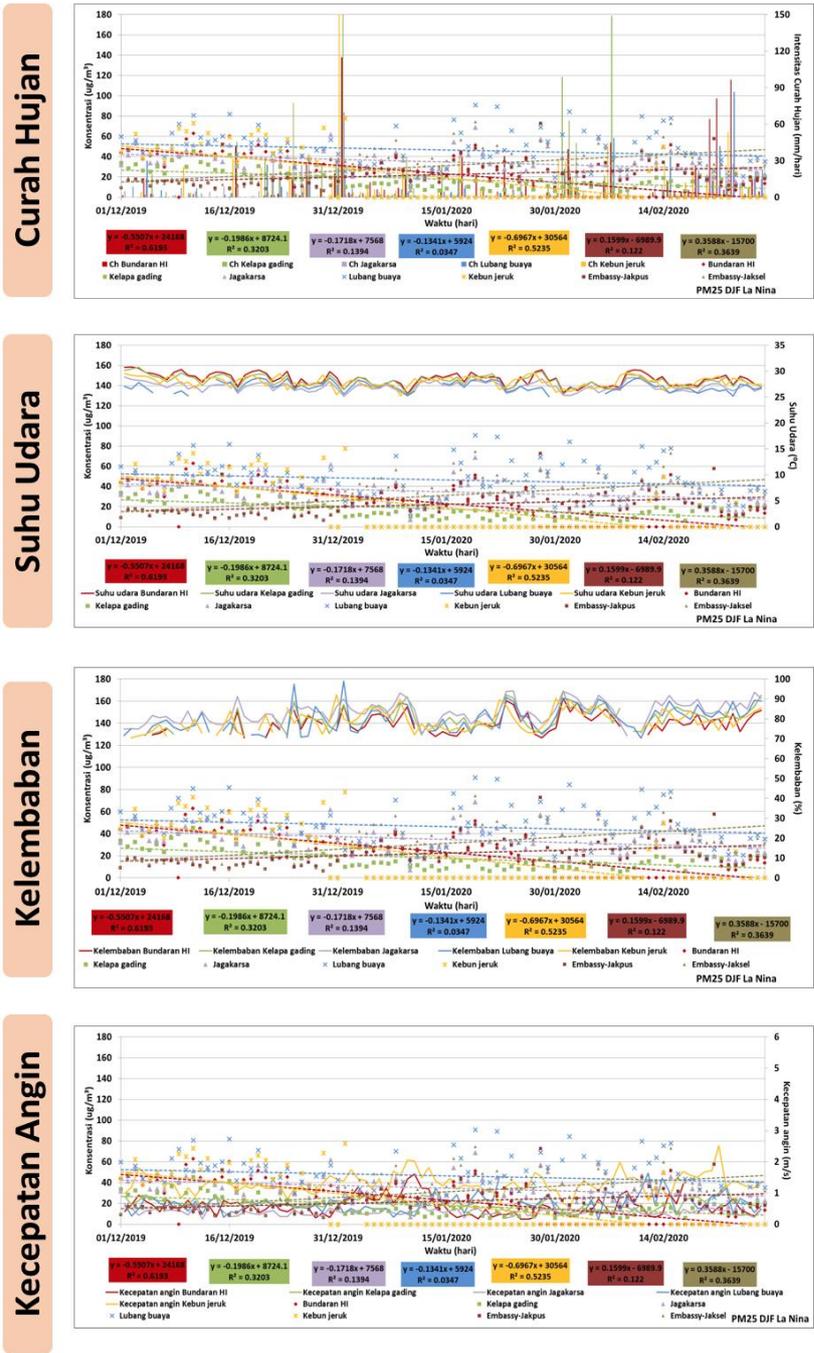
Gambar 5.1 Plot data harian pengukuran polutan PM2.5 dan iklim harian

Curah Hujan

Suhu Udara

Kelembaban

Kecepatan Angin

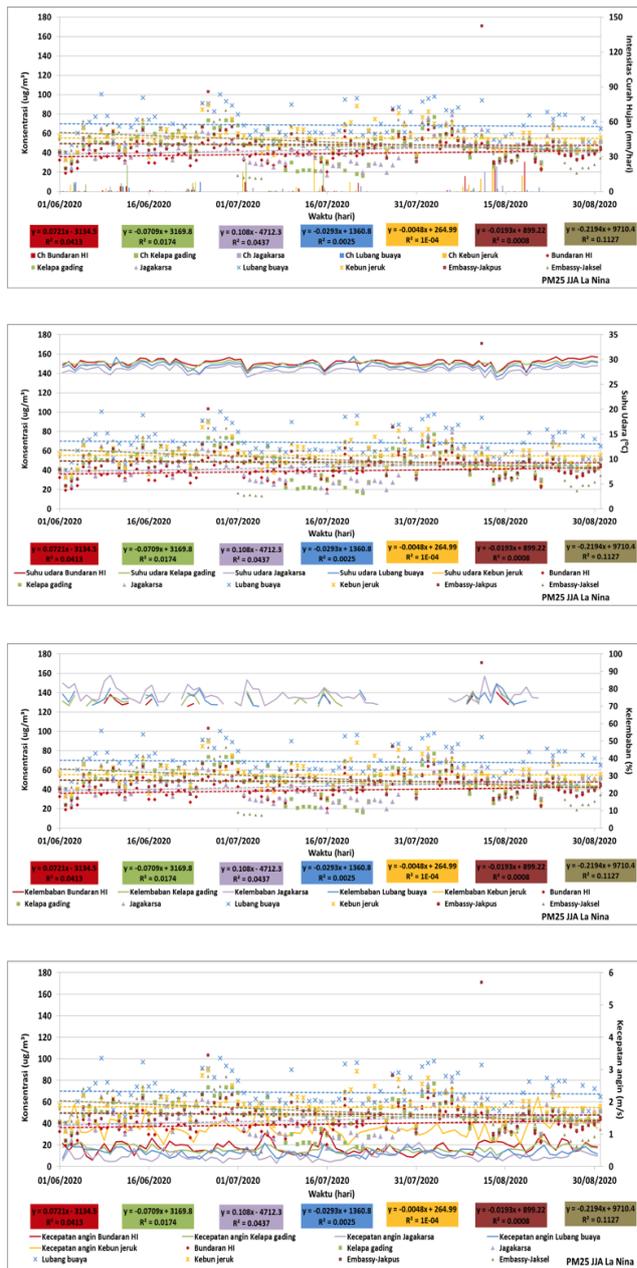


dengan mesin yang ramah lingkungan, akan membantu menekan konsentrasi polutan untuk meningkatkan kualitas udara perkotaan.

Pola musiman polutan udara dapat dipengaruhi oleh perubahan kondisi cuaca termasuk pola angin pada periode musiman. Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 menunjukkan pola harian konsentrasi PM2.5 pada periode musim kemarau dan musim hujan selama fase kejadian La Nina di tahun 2020 yang dimulai pada pertengahan tahun. Musim kemarau di DKI Jakarta umumnya terjadi pada periode bulan Juni, Juli, dan Agustus (JJA) sedangkan musim hujan pada periode bulan Desember, Januari dan Februari (DJF).

Gambar 5.2 Plot data musiman DJF pengukuran polutan PM2.5 dan iklim musiman tahun 2020 (La-Nina)

Berdasarkan Gambar 5.2 dan 5.3, selama fase La Nina dimana curah hujan masih banyak terjadi di musim kemarau yang disebut periode kemarau basah, maka konsentrasi PM2.5 tidak jauh berbeda antara musim kemarau dan musim hujan. Pada periode hari dimana terjadi curah hujan berturut-turut maka konsentrasi PM2.5 juga cenderung rendah. Sementara saat periode tidak terjadi curah hujan maka konsentrasi PM2.5 cenderung lebih tinggi. Hal ini disebabkan selama musim kemarau banyaknya curah hujan yang turun cukup untuk mencuci dan menurunkan



Gambar 5.3 Plot data musiman JJA pengukuran polutan PM2.5 dan iklim musiman tahun 2020 (La-Nina)

pengukuran. Alasan lainnya, penambahan SPKU dapat dimanfaatkan untuk membantu mendeteksi masalah. Jika salah satu SPKU menunjukkan konsentrasi polutan yang tinggi, tetapi SPKU lain (wilayah yang sama) tidak menunjukkan peningkatan yang sama, hal tersebut bisa menjadi petunjuk adanya masalah lokal yang perlu dikaji lebih lanjut.

Curah Hujan

Suhu Udara

Kelembaban

Kecepatan Angin

PM2.5 dari udara ke permukaan. Sebaran polutan setiap musim berfluktuatif mengikuti pola curah hujan yang ada.

Berdasarkan data harian selama periode tahun 2019-2022, SPKU dengan hasil pengukuran PM2.5 yang signifikan adalah SPKU Lubang Buaya dan Kebon Jeruk. Hasil pengukuran PM2.5 signifikan terdapat di SPKU Lubang Buaya. Polutan SO₂ bernilai signifikan di semua SPKU kecuali SPKU Bundaran HI, sedangkan CO bernilai tidak signifikan hanya di SPKU lubang buaya. Berdasarkan hasil analisis tersebut, sebagian besar hasil pengukuran menunjukkan nilai yang signifikan menandakan perlu adanya penambahan SPKU dengan alasan untuk membantu memastikan bahwa data yang diperoleh adalah akurat. Dengan memiliki beberapa SPKU di wilayah yang sama, dapat memverifikasi hasil yang diperoleh dari berbagai sumber sehingga mengurangi risiko kesalahan ataupun ketidak-akuratan data hasil

5.2 Perbandingan Parameter di Setiap SPKU

Rangkuman R-Square data harian dan data musiman setiap polutan dari masing-masing SPKU dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2. Nilai R-square lebih besar dari 0,1 menandakan bahwa sebaran polutan semakin signifikan. R-Square dari data harian lebih besar 0,1 ada di setiap stasiun namun tidak untuk setiap polutan. Berdasarkan polutan, sebaran polutan CO meningkat begitu signifikan tiap stasiun kecuali stasiun DKI-4. Sedangkan R-Square musiman, sebaran polutan yang signifikan terjadi saat tahun El-Nino pada musim JJA.

Tabel 5.1 Rangkuman R-square data harian setiap polutan dari masing-masing SPKU

Polutan	R-Square							
	Bundaran HI	Kelapa Gading	Jagakarsa	Lubang Buaya	Kebon Jeruk	Embassy US-Jaksel	Embassy US-Jakpus	BMKG
PM10	0,02	0,00	0,20	0,03	0,01	-	-	
PM2.5	0,08	0,01	0,05	0,27	0,17	0,02	0,08	0,00
SO ₂	0,04	0,14	0,16	0,17	0,25	-	-	
CO	0,31	0,11	0,11	0,00	0,14	-	-	
O ₃	0,05	0,13	0,00	0,00	0,01	-	-	
NO	0,11	0,05	0,07	0,01	0,00	-	-	
NO ₂	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	-	-	
Nox	0,11	0,03	0,07	0,00	0,00	-	-	

Tabel 5.2 Rangkuman R-square data musiman setiap polutan dari masing-masing SPKU

R-Square								
DJF (El-Nino)								
Polutan	Bundaran HI	Kelapa Gading	Jagakarsa	Lubang Buaya	Kebon Jeruk	Embassy US-Jaksel	Embassy US-Jakpus	BMKG
PM10	0,00	0,19	0,00	0,00	0,46	-	-	-
PM2.5	-	-	-	-	-	-	-	-
SO ₂	0,11	0,17	0,13	0,01	0,44	-	-	-
CO	0,04	0,01	0,12	0,01	0,32	-	-	-
O ₃	0,06	0,02	0,62	0,08	0,12	-	-	-
NO	0,02	0,03	0,05	0,02	0,30	-	-	-
NO ₂	0,13	0,17	0,33	0,01	0,29	-	-	-
NOx	0,03	0,14	0,25	0,01	0,37	-	-	-
JJA (El-Nino)								
Polutan	Bundaran HI	Kelapa Gading	Jagakarsa	Lubang Buaya	Kebon Jeruk	Embassy US-Jaksel	Embassy US-Jakpus	BMKG

R-Square								
DJF (El-Nino)								
Polutan	Bundaran HI	Kelapa Gading	Jagakarsa	Lubang Buaya	Kebon Jeruk	Embassy US-Jaksel	Embassy US-Jakpus	BMKG
PM10	0,00	0,06	0,40	0,00	0,12	-	-	-
PM2.5	-	-	-	-	-	-	-	-
SO ₂	0,15	0,00	0,57	0,18	0,00	-	-	-
CO	0,19	0,51	0,23	0,32	0,24	-	-	-
O ₃	0,04	0,00	0,00	0,03	0,04	-	-	-
NO	0,06	0,17	0,17	0,15	0,18	-	-	-
NO ₂	0,03	0,11	0,10	0,08	0,13	-	-	-
NOx	0,01	0,16	0,17	0,14	0,15	-	-	-

R-Square								
DJF (La-Nina)								
Polutan	Bundaran HI	Kelapa Gading	Jagakarsa	Lubang Buaya	Kebon Jeruk	Embassy US-Jaksel	Embassy US-Jakpus	BMKG
PM10	0,27	0,17	0,00	0,01	0,21	-	-	-
PM2.5	0,62	0,32	0,14	0,03	0,52	0,12	0,36	-
SO ₂	0,49	0,00	0,59	0,66	0,08	-	-	-
CO	0,02	0,05	0,15	0,24	0,02	-	-	-
O ₃	0,41	0,36	0,47	0,04	0,05	-	-	-
NO	0,10	0,01	0,20	0,01	0,07	-	-	-
NO ₂	0,02	0,28	0,03	0,37	0,10	-	-	-
NOx	0,17	0,05	0,08	0,01	0,00	-	-	-
JJA (La-Nina)								
Polutan	Bundaran HI	Kelapa Gading	Jagakarsa	Lubang Buaya	Kebon Jeruk	Embassy US-Jaksel	Embassy US-Jakpus	BMKG
PM10	0,01	0,01	0,01	0,08	0,02	-	-	-
PM2.5	0,04	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,09	-
SO ₂	0,18	0,00	0,82	0,44	0,65	-	-	-
CO	0,01	0,20	0,10	0,03	0,00	-	-	-
O ₃	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
NO	0,00	0,00	0,02	0,18	0,00	-	-	-
NO ₂	0,01	0,00	0,04	0,27	0,10	-	-	-
NOx	0,01	0,00	0,01	0,26	0,04	-	-	-

Lokasi SPKU terletak di 3 jenis lokasi sehingga tren yang didapatkan pun berbeda. Faktor-faktor yang mempengaruhi meningkatnya suatu parameter polutan bervariasi tergantung pada wilayah geografis dan waktu. Tren parameter PM10 tinggi di lubang buaya, hal tersebut dikarenakan lokasi penempatannya berada di wilayah campuran (kawasan komersil dan pemukiman) sehingga polutan bisa bersumber dari kendaraan bermotor dan pembakaran terbuka yang dilakukan oleh warga sekitar SPKU. Tren parameter PM2.5 tinggi di SPKU kedutaan amerika dikarenakan SPKU berada dekat dengan jalan lalu lintas sehingga polutan akan tinggi pada pagi hari (jam berangkat kerja) dan sore hari (jam pulang kerja). Tren parameter CO tinggi di Kebon Jeruk, hal tersebut dikarenakan lokasi penempatan di wilayah dekat dengan pemukiman dan kawasan perbelanjaan sehingga polutan bisa bersumber dari kendaraan bermotor yang digunakan warga sekitar SPKU. Tren parameter O₃ tinggi di Kelapa Gading, SPKU terletak di

kawasan pemukiman. Salah satu sumber polutan O₃ yaitu penggunaan *air conditioner*.

Tabel 5.3 memperlihatkan uji homogenitas dan uji T-test keragaman 8 SPKU di DKI Jakarta untuk PM2.5. Tabel yang berwarna hijau menandakan bawa antar stasiun pengukuran homogen sedangkan yang tidak berwarna menandakan antar stasiun heterogen. Berdasarkan uji homogenitas didapat 12 nilai yang homogen atau 6 pasang SPKU dengan nilai pengukuran PM2.5 yang homogen dari 21 kombinasi pasangan SPKU. Karena hasil analisis menunjukkan lebih banyak yang heterogen daripada yang homogen maka menambahkan lokasi SPKU baru masih dimungkinkan untuk mendapatkan data lebih banyak dan dapat merepresentasikan wilayah DKI Jakarta dengan lebih baik. Penambahan SPKU perlu memperhatikan lokasi dan parameter yang akan diukur serta mewakili peruntukkan seperti wilayah pemukiman, kawasan komersil, dan campuran.

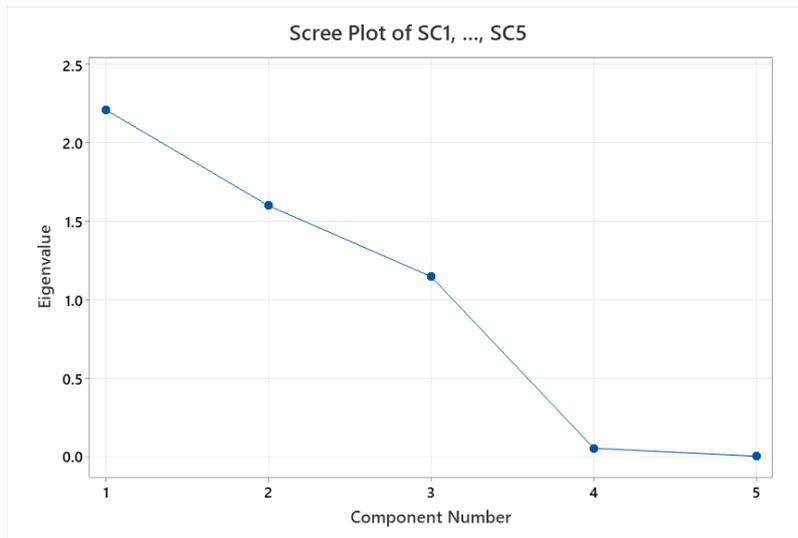
Tabel 5.3 Uji Homogenitas dan Uji T-test keragaman SPKU DKI Jakarta untuk PM2.5

Uji Homogenitas								
	Bundaran HI	Kelapa gading	Jagakarsa	Lubang buaya	Kebon jeruk	Embassy-Jakpus	Embassy-Jaksel	BMKG
Bundaran HI	-	0,91	0,61	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00
Kelapa gading	0,91	-	0,53	0,00	0,22	0,00	0,00	0,02
Jagakarsa	0,61	0,53	-	0,00	0,07	0,00	0,00	0,30
Lubang buaya	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Keb0n Jeruk	0,19	0,22	0,07	0,00	-	0,00	0,04	0,91

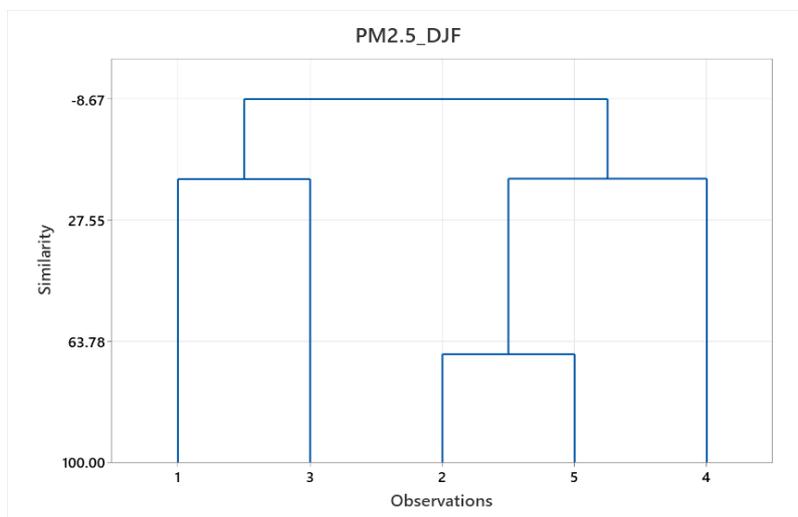
Uji Homogenitas								
	Bundaran HI	Kelapa gading	Jagakarsa	Lubang buaya	Kebon jeruk	Embassy-Jakpus	Embassy-Jaksel	BMKG
Embassy-Jakpus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00
Embassy-Jaksel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	-	0,20
BMKG	0,00	0,02	0,30	0,00	0,91	0,00	0,20	-
Uji T-test								
	Bundaran HI	Kelapa gading	Jagakarsa	Lubang buaya	Kebon jeruk	Embassy-Jakpus	Embassy-Jaksel	BMKG
Bundaran HI	-	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kelapa gading	0,23	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jagakarsa	0,00	0,00	-	0,00	0,49	0,06	0,06	0,37
Lubang buaya	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Kebon Jeruk	0,00	0,00	0,49	0,00	-	0,06	0,08	0,25
Embassy-Jakpus	0,00	0,00	0,06	0,00	0,06	-	0,15	0,49
Embassy-Jaksel	0,00	0,00	0,06	0,00	0,08	0,15	-	0,23
BMKG	0,00	0,00	0,37	0,00	0,25	0,49	0,23	-

Keterangan:
Hijau : Homogen (>0,05)
Putih : Heterogen (<0,05)

Selanjutnya, PCA (*Principal Component Analysis*) dilakukan untuk mengidentifikasi pola dalam data dengan mengurangi dimensi data yang kompleks menjadi dimensi yang lebih rendah. Berdasarkan hasil PCA didapatkan 3 lokasi dengan nilai eigen lebih besar dari 1 yang berarti variabel yang berpengaruh ada 3 lokasi atau 3 SPKU (Gambar 5.4).



Gambar 5.5 Hasil Analisis PCA



Gambar 5.4 hasil analisis cluster analisis dengan dendogram

Gambar 5.4 dan 5. 5 menyajikan hasil analisis PCA termasuk dendogram dari 5 SPKU yang ada. Berdasarkan hasil analisis PCA, pengukuran PM2.5 di stasiun Bundaran HI dengan Jagakarsa menunjukkan keragaman yang kecil dengan hasil dan pola yang serupa. Begitu pula untuk hasil pengukuran PM2.5 di stasiun Kelapa Gading dengan Kebon Jeruk. Sementara itu, hasil pengukuran PM2.5 di stasiun Lubang Buaya memiliki hasil dan pola khusus yang relatif tinggi. Stasiun Lubang Buaya diperkirakan menerima konsentrasi polutan PM2.5 yang relatif tinggi diantara keempat stasiun pemantauan lainnya dengan adanya industri pembuatan arang yang beroperasi dalam radius kurang dari 500 meter dari SPKU. Walau memiliki hasil dan pola yang

serupa namun karena antara lokasi Bundaran HI dengan Jagakarsa dan Kelapa Gading dengan Kebun Jeruk berlokasi saling berjauhan. Oleh karena itu untuk mendapatkan distribusi area pengukuran yang baik maka SPKU yang tersedia saat ini harus dipertahankan. Selain itu, diantara masing-masing SPKU yang berjarak cukup jauh namun memiliki keragaman yang kecil perlu dipasang SPKU sehingga dapat diketahui sumber polutan dan faktor penyebab kualitas udara yang ada di wilayah DKI Jakarta dengan lebih tepat.

5.3 Survei Validasi untuk SPKU

Hasil analisis tren dan keragaman SPKU di DKI Jakarta sangat penting dalam upaya memperkaya titik pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta. Namun, hasil analisis perlu divalidasi dengan survei lapangan yang beroperasi. Berdasarkan hasil survei diketahui bahwa terdapat 4 petugas SPKU untuk mengelola 5 stasiun SPKU dan 3 stasiun mobile. Setiap hari petugas melakukan pengecekan data harian dan memastikan tidak ada masalah. Jika terjadi gangguan, maka petugas akan langsung merespons.

Semua alat di SPKU telah diberikan perawatan sesuai dengan standar yang terdapat pada manual masing-masing. Sebagai contoh metode kalibrasi parameter gas dilakukan secara rutin setiap hari dengan alat zero gas secara otomatis melalui sistem. Metode kalibrasi alat dilakukan setiap setahun sekali, termasuk dengan *maintenance* dan penggantian beberapa *sparepart*. Ini juga berlaku untuk *mobile station* yang dilakukan pemeliharaan setiap setahun sekali di kantor. Kalibrasi parameter PM10 dilakukan dengan kalibrasi foil. Petugas akan mengikuti protokol respons saat terjadi gangguan alat, misalnya terjadi level 1 (terdapat peringatan), maka petugas harus berkoordinasi dengan tim data pusat, dan segera mendatangi lokasi SPKU. Jika level 2, maka petugas cukup merespons dari jauh melalui ponsel yang telah terintegrasi dengan sistem.

Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan kepada tiga orang responden (R1, R2, R3) di 5 SPKU yang berbeda diperoleh hasil bahwa sumber emisi dari kelima stasiun berasal dari kendaraan bermotor. Warga sekitar SPKU menyatakan bahwa lokasi merupakan kawasan yang berada di dekat area parkir umum dan banyak masyarakat sekitar yang menghasilkan emisi dari penggunaan kendaraan motor pribadi maupun emisi dari kendaraan truk yang melintasi jalan. Sebaliknya, tidak ada responden yang menyatakan bahwa disekitar lokasi yang dekat dengan stasiun pemantauan terdapat industri emisi batubara yang mengeluarkan emisi dan debu



hitam. Terkait aktivitas warga sehari-hari dalam membakar sampah, diperoleh hasil bahwa hanya masyarakat disekitar kawasan Lubang Buaya yang masih melakukan pembakaran terbuka, sedangkan lokasi stasiun lainnya tidak. Selain itu, terdapat tempat reparasi kendaraan bermotor (bengkel) di dekat stasiun yang berada di kawasan Kelapa Gading, Lubang Buaya dan Kebon Jeruk. Terkait aktivitas industri yang mengeluarkan emisi, di kawasan Kelapa Gading terdapat banyak industri rumahan yang mengeluarkan emisi/asap.

Berdasarkan hasil wawancara, masyarakat yang tinggal di sekitar bundaran HI, Kelapa Gading dan lubang buaya mengaku telah mengalami penurunan kesehatan berupa sakit tenggorokan akibat kualitas udara yang buruk. Konsentrasi polusi yang tinggi di sekitar Bundaran HI menyebabkan masyarakat menyampaikan keluhan mata perih, batuk-batuk dan merasa pengap atau sesak nafas. Masyarakat yang tinggal di Bundaran HI dan Lubang Buaya juga mengeluhkan jarak pandang yang menurun, terutama pada siang hari akibat polusi yang tinggi. Namun, berdasarkan hasil wawancara diketahui bahwa tidak ada masyarakat yang tinggal disekitar kelima stasiun yang mengeluhkan terdampak ISPA.

Kombinasi analisis tren, keragaman SPKU, dan hasil survei lapangan akan membantu pihak berwenang DKI Jakarta dalam merumuskan strategi yang lebih efektif untuk pengelolaan kualitas udara dan meningkatkan partisipasi masyarakat dalam menjaga lingkungan yang lebih bersih dan sehat. Adapun detail informasi survei SPKU, serta ulasan alat pemantauan dijelaskan dalam **Lampiran 3**.

5.4 Kesimpulan Desain Jaringan dan Keragaman SPKU

Berdasarkan data pengukuran tahun 2019-2022, hasil analisis tren menunjukkan adanya penurunan polutan termasuk PM2.5. Namun hal ini terjadi karena adanya fenomena La Nina yang menyebabkan terjadinya peningkatan curah hujan sepanjang tahun. Hal ini menunjukkan besarnya pengaruh variabilitas iklim termasuk ENSO (El Nino dan La Nina) terhadap distribusi polutan di wilayah DKI Jakarta baik secara tahunan. Hasil pengukuran juga menunjukkan variabilitas musiman untuk semua polutan di wilayah DKI Jakarta. Adanya variabilitas musiman membutuhkan pengukuran harian yang kontinyu pada satu lokasi pengukuran sehingga variabilitas harian dapat terukur secara lengkap. Oleh karena itu *fixed station* SPKU yang ada saat ini sangat penting untuk dipertahankan bahkan ditambah jumlahnya. Penambahan jumlah SPKU untuk meningkatkan kerapatan distribusi SPKU penting untuk meningkatkan keragaman sekaligus ketelitian hasil analisis kualitas udara wilayah di DKI Jakarta.

Berdasarkan hasil analisis PCA, hasil pengukuran PM2.5 di stasiun Bundaran HI dengan Jagakarsa menunjukkan keragaman yang kecil dengan hasil dan pola yang serupa. Begitu pula untuk hasil pengukuran PM2.5 di stasiun Kelapa Gading dengan Kebon Jeruk. Sementara itu, hasil pengukuran PM2.5 di stasiun Lubang Buaya

memiliki hasil dan pola khusus yang relatif tinggi karena adanya industri yang dekat dengan SPKU. Walau memiliki hasil dan pola yang serupa namun karena antara lokasi Bundaran HI dengan Jagakarsa dan Kelapa Gading dengan Kebun Jeruk berlokasi saling berjauhan maka untuk mendapatkan distribusi area pengukuran yang baik maka empat SPKU ini harus dipertahankan selain stasiun Lubang Buaya. Oleh karena itu untuk mendapatkan distribusi area pengukuran yang baik maka SPKU yang tersedia saat ini harus dipertahankan. Selain itu, diantara masing-masing SPKU yang berjarak cukup jauh namun memiliki keragaman yang kecil perlu dipasang SPKU sehingga dapat diketahui sumber polutan dan faktor penyebab kualitas udara yang ada di wilayah DKI Jakarta dengan lebih tepat.

6 JARINGAN PEMANTAUAN KUALITAS UDARA DKI JAKARTA

6.1 Analisis Komponen Pertimbangan Jaringan Pemantauan Kualitas Udara

Penentuan jumlah dan lokasi penempatan Stasiun Pengamatan Kualitas Udara (SPKU) dilakukan berdasarkan beberapa ketentuan yang berlaku di Indonesia serta *literature review* dari berbagai sumber (berbasis pada indikator pertimbangan penentuan titik stasiun. Dengan grid *Urban* dan *Neighbourhood*, kajian ini membagi wilayah yang mungkin memiliki karakteristik yang berbeda, seperti tingkat polusi udara yang berbeda, padatnya lalu lintas, aktivitas industri, dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi kualitas udara. Indikator lainnya juga dipertimbangkan dengan jelas seperti fungsi jalan yang ada, ketinggian wilayah untuk melihat adanya pola konsentrasi polutan, lokasi industri, dan dampak polusi udara pada sektor kesehatan. Masing-masing komponen tersebut kemudian dianalisis untuk menghasilkan peta yang akan menjadi modalitas untuk analisis tumpang susun (Lampiran 4).

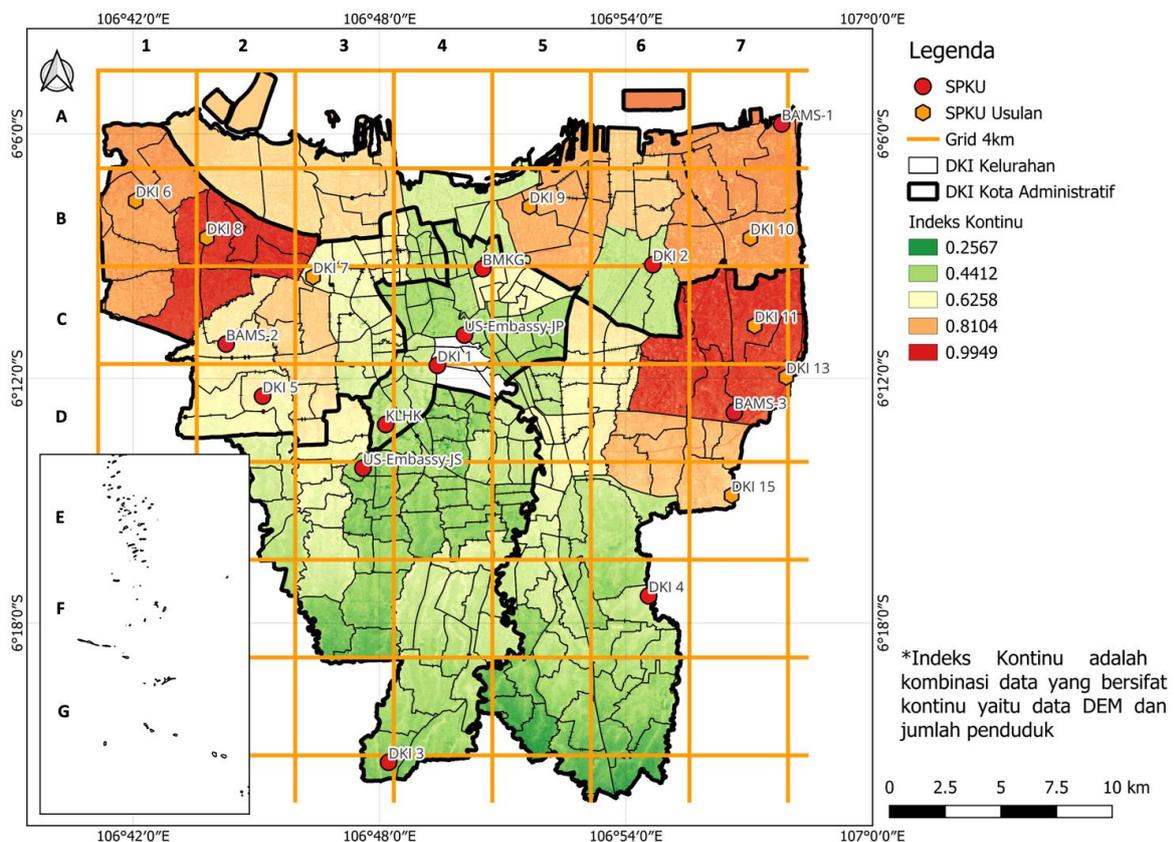
6.2 Analisis Tumpang Susun

Secara spesifik, analisis tumpang susun (*overlay analysis*) dilakukan untuk mempertimbangkan keberadaan SPKU maupun LCS yang diusulkan sehingga mewakili berbagai morfologi wilayah DKI Jakarta yang beragam. Analisis tumpang susun pada berbagai komponen pertimbangan jaringan pemantauan kualitas udara dapat dilakukan secara berkelompok, bukan hanya menggabungkan semua komponen menjadi satu entitas tunggal. Pendekatan ini memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam tentang berbagai aspek yang terlibat dalam pemantauan kualitas udara.

Analisis Tumpang Susun Data DEM dan Jumlah Penduduk

Pertimbangan lokasi SPKU (Stasiun Pemantau Kualitas Udara) di DKI Jakarta dilakukan dengan melakukan tumpang susun data DEM (*Digital Elevation Model*) dan jumlah penduduk (Gambar 6.1). Data DEM akan memberikan wawasan tentang topografi wilayah DKI Jakarta, termasuk daerah yang lebih datar, bukit, lembah, dan zona pantai. Ini penting karena topografi dapat mempengaruhi pola sirkulasi udara dan distribusi polusi udara. Misalnya, lembah dapat menyebabkan akumulasi polusi, sementara daerah yang lebih tinggi mungkin mengalami sirkulasi udara yang lebih baik. Kemudian, data jumlah penduduk akan membantu dalam mengidentifikasi daerah dengan kepadatan penduduk tinggi, yang cenderung memiliki potensi

paparan yang lebih tinggi terhadap polusi udara. Ini penting dalam memastikan bahwa wilayah-wilayah yang banyak dihuni tercakup dalam jaringan pemantauan. Kombinasi data DEM dan jumlah penduduk menginformasikan bahwa semakin rendah dan datar suatu wilayah yang dikombinasikan dengan jumlah penduduk yang tinggi dapat menghasilkan nilai indeks kontinu yang tinggi/sangat tinggi (mendekati 1). Dengan kata lain, wilayah dengan kombinasi tersebut memiliki risiko pencemaran udara yang tinggi. Dalam analisis tumpang susun data DEM dan jumlah penduduk ini, didapatkan sebanyak 8 lokasi SPKU usulan (di luar 12 SPKU tersedia saat ini) untuk dikombinasikan dengan analisis tumpang susun lainnya.

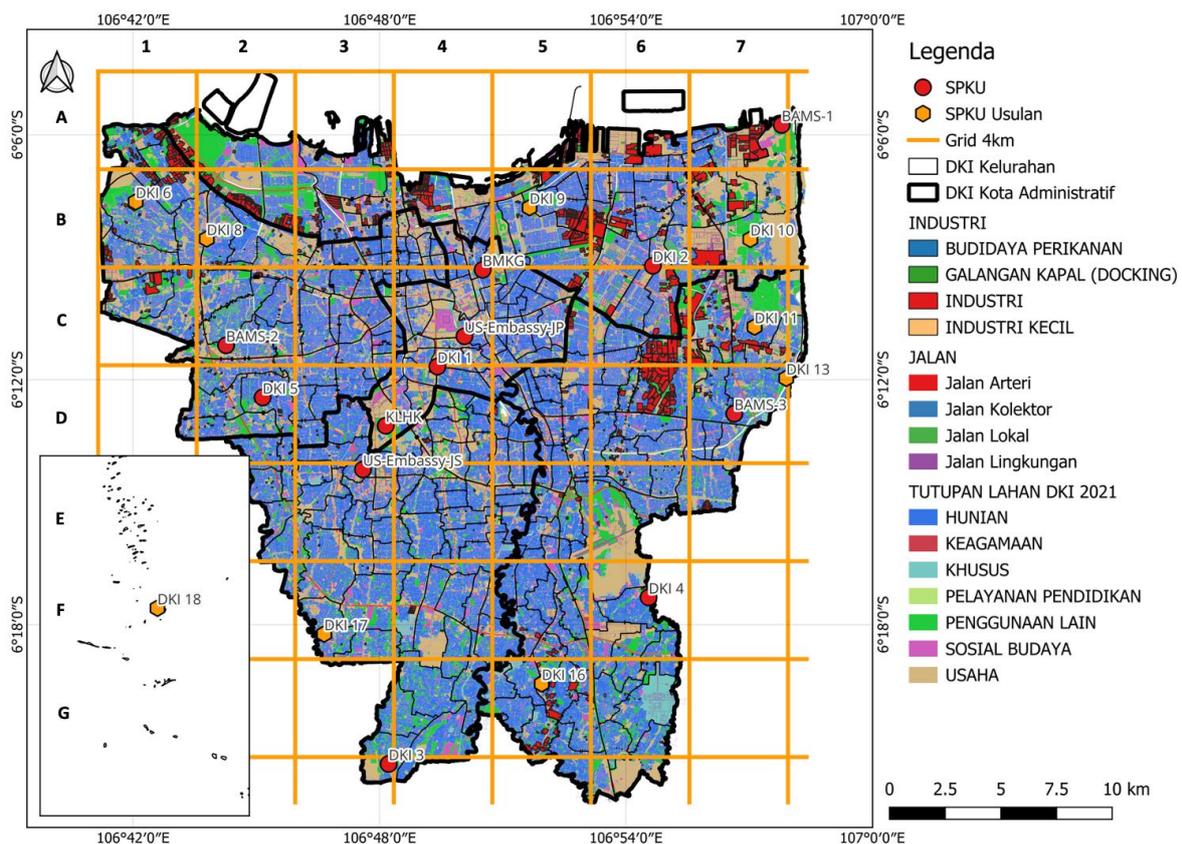


Gambar 6.1 Penempatan SPKU usulan berbasis tumpang Susun DEM dan jumlah penduduk

Analisis Tumpang Susun Tutupan Lahan, Industri, dan Jalan

Selanjutnya, pemilihan lokasi untuk Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) di DKI Jakarta memerlukan overlay atau tumpang susun dari komponen lokasi industri, tutupan lahan, dan fungsi jalan. Perlu dipertimbangkan lokasi industri, yang sering menjadi sumber utama polusi udara. Oleh karena itu, beberapa SPKU perlu ditempatkan di dekat atau di sekitar zona industri untuk memantau dan mengukur dampak polusi dari aktivitas industri tersebut. Selain itu, tutupan lahan adalah faktor penting yang harus diperhitungkan. Pemilihan lokasi SPKU juga memperhatikan berbagai jenis tutupan lahan, seperti komersial, perumahan, pertanian, hutan, dan

area terbuka. Setiap jenis tutupan lahan dapat memiliki karakteristik polusi yang berbeda, dan pemantauan di berbagai jenis tutupan lahan memungkinkan pemahaman yang lebih holistik tentang kualitas udara di wilayah tersebut. Fungsi jalan juga harus menjadi pertimbangan utama. Jalan-jalan utama dan transportasi publik yang padat lalu lintas sering menjadi kontributor signifikan terhadap polusi udara. Oleh karena itu, sebagian SPKU dapat ditempatkan di sekitar jalan-jalan utama sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang polusi udara yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor dan transportasi umum. Berdasarkan analisis tumpang susun tutupan lahan, industri, dan fungsi jalan, didapatkan sebanyak 9 lokasi SPKU usulan yang kemudian dapat dikombinasikan dengan analisis tumpang susun lainnya.

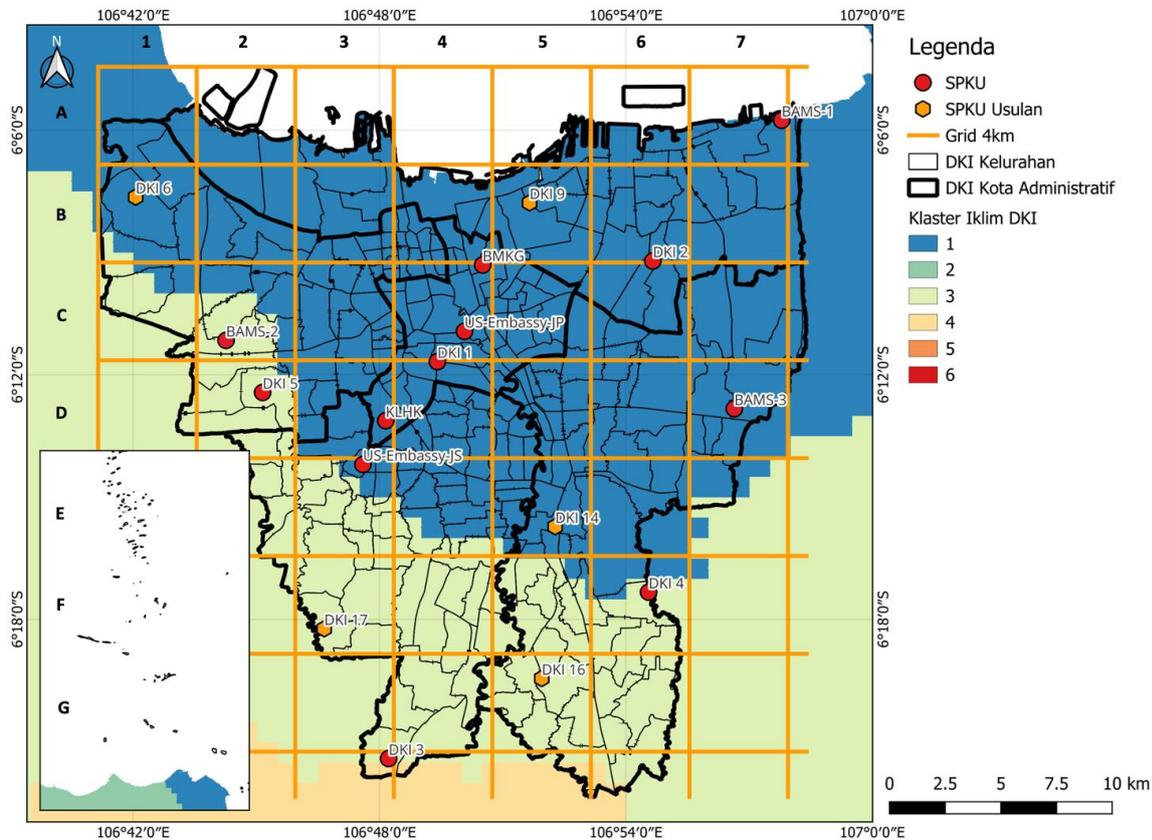


Gambar 6.2 Penempatan SPKU usulan berbasis lokasi industri, tutupan lahan, dan fungsi jalan di DKI Jakarta

Analisis Tumpang Susun Cluster Iklim

Cluster iklim adalah konsep yang memungkinkan kita untuk memahami pola iklim yang berbeda di berbagai bagian wilayah DKI Jakarta (Gambar 6.3). Pertimbangan ini dapat membantu dalam penempatan yang strategis untuk pemantauan kualitas udara baik SPKU maupun LCS. Identifikasi dan pengelompokan berbagai cluster iklim di DKI Jakarta berdasarkan parameter seperti curah hujan, suhu, kelembaban, dan pola angin. DKI Jakarta mungkin memiliki cluster iklim yang berbeda

berdasarkan zona geografis, seperti pesisir, daerah perkotaan, atau daerah pegunungan. Secara umum di DKI Jakarta terdapat 2 tipe *cluster* iklim, sehingga penempatan SPKU berdasarkan analisis ini dibagi secara merata pada 2 tipe *cluster* iklim tersebut, dengan tetap memperhatikan keterwakilan wilayah. Oleh karena itu, berdasarkan tipe *cluster* iklim, diusulkan 5 SPKU tambahan untuk kemudian dianalisis dengan komponen tumpang susun lainnya.

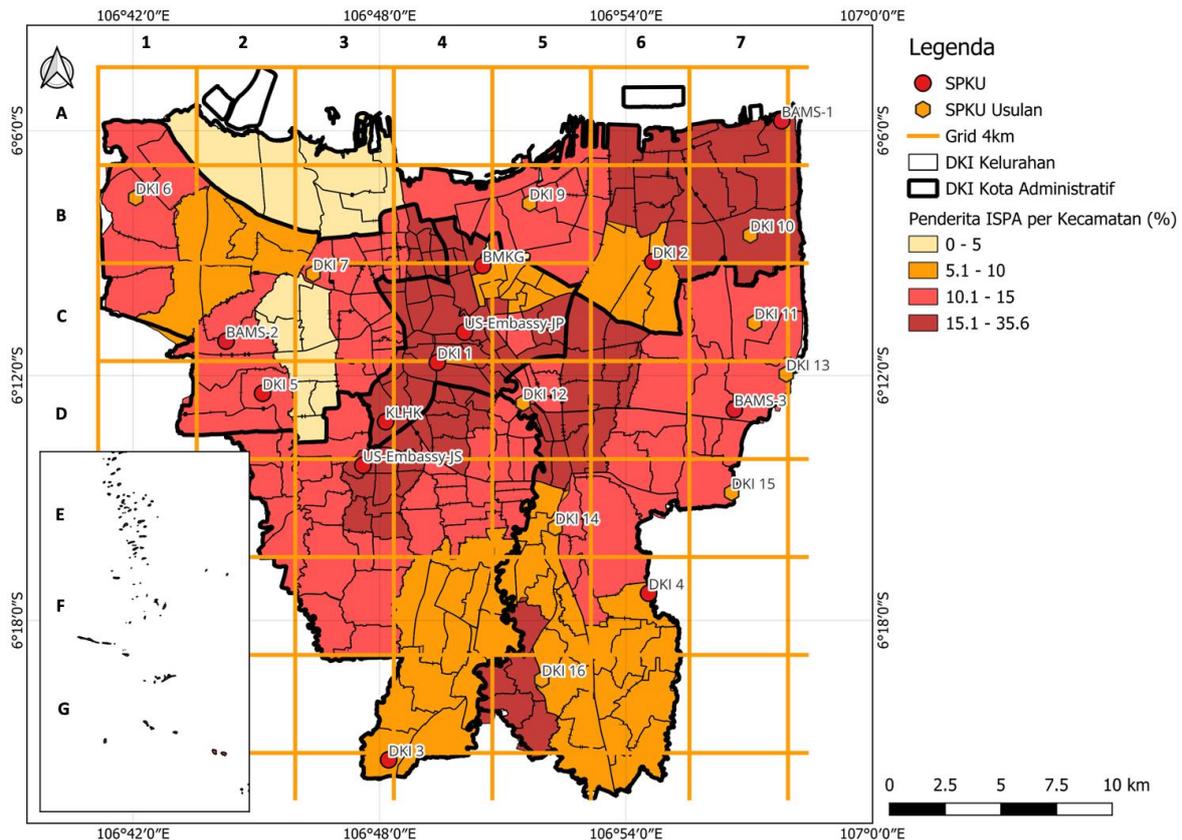


Gambar 6.3 Penempatan SPKU usulan berbasis cluster iklim di DKI Jakarta

Analisis Tumpang Susun Jumlah Penderita ISPA per Kelurahan

Dalam konteks ini, tumpang susun data memungkinkan identifikasi wilayah-wilayah dengan tingkat kejadian ISPA yang tinggi dan potensi polusi udara yang signifikan (Gambar 6.4). Secara umum, penderita ISPA di DKI Jakarta menyebar merata di setiap wilayah, mengikuti jumlah penduduk yang ada. Secara lebih spesifik, prioritas pemantauan diberikan untuk wilayah-wilayah yang memiliki faktor risiko polusi udara yang lebih tinggi, seperti wilayah dengan lalu lintas padat, zona industri, atau wilayah yang memiliki sumber polusi yang signifikan. Wilayah dengan faktor risiko polusi udara yang lebih tinggi berpotensi meningkatkan angka kejadian ISPA di wilayah tersebut. Sebagai contoh, Partikulat PM_{2.5} dan PM₁₀ adalah partikel-partikel kecil dalam udara yang dapat terhirup oleh manusia. Wilayah dengan tingkat partikulat yang tinggi, terutama jika terkait dengan asap kendaraan bermotor atau industri, dapat meningkatkan risiko ISPA, terutama pada anak-anak dan orang dewasa yang

rentan. Berdasarkan hasil analisis tumpang susun persentase penderita ISPA, didapatkan sebanyak 10 lokasi usulan SPKU yang dapat dikombinasikan dengan analisis tumpang susun lainnya.



Gambar 6.4 Penempatan SPKU usulan berbasis angka penderita ISPA

Adapun berdasarkan hasil analisis tumpang susun (sesuai metode penentuan lokasi SPKU), dari 40 lokasi berbasis grid, terdapat 17 lokasi usulan (17 grid) yang memenuhi syarat, termasuk di dalamnya 5 SPKU DKI Jakarta (DKI 1-5) yang tersedia saat ini dan lokasi latar belakang (*background*) untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif tentang kualitas udara di DKI Jakarta. Ke-17 lokasi ini dirancang untuk mencakup berbagai faktor yang mempengaruhi kualitas udara, termasuk polusi udara dari sumber-sumber industri, transportasi, dan faktor-faktor alam seperti angin dan topografi. Selain itu, terdapat juga 5 Grid lainnya yang juga telah dipasang SPKU oleh berbagai instansi terkait seperti KLHK, BMKG, US-Embassy, dan BAMS DKI Jakarta. Dalam kajian ini, dipilih juga 1 usulan SPKU di Kabupaten Kepulauan Seribu, tepatnya di Pulau Panggang, sebagai stasiun kontrol. Detail penentuan lokasi tersebut dapat dilihat pada **Lampiran 5**.

Dari 40 lokasi berbasis grid, terdapat grid-grid yang tidak memenuhi syarat analisis tumpang susun untuk dipasang jaringan pemantauan kualitas udara referensi (SPKU). Hal ini dipengaruhi oleh berbagai faktor pembentuk/ komponen tumpang susun seperti data DEM dan jumlah penduduk (bernilai rendah atau sedang), kluster iklim (sudah diwakili wilayah representatif di sekitarnya), industri, tutupan lahan, dan

fungsi jalan (bernilai rendah atau sedang), serta persentase penderita ISPA (bernilai rendah atau sedang). Selain itu, dalam beberapa grid, hasil analisis tumpang susun untuk suatu komponen bernilai tinggi atau sangat tinggi, namun wilayah tersebut tetap tidak memenuhi syarat untuk pemasangan SPKU karena secara umum memiliki karakteristik wilayah yang mirip dengan grid-grid di sekitarnya, sehingga dapat diwakili penempatan SPKU di grid lain yang berada dekat dengan wilayah tersebut. Secara lebih spesifik, detail pertimbangan tidak adanya SPKU pada beberapa grid tertentu dapat dilihat pada **Lampiran 6**.

Sebagai pertimbangan untuk wilayah-wilayah yang tidak memenuhi syarat pemasangan SPKU, maka analisis sensitivitas terhadap ukuran grid yang lebih kecil, yaitu 2 km, 1 km, dan 0.5 km, juga dilakukan untuk meningkatkan keterwakilan titik-titik jaringan pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta (**Lampiran 7**). Melalui pengurangan ukuran grid, kajian ini dapat menghasilkan pemetaan yang lebih rinci dan akurat tentang kondisi udara di wilayah tersebut yang dapat digunakan sebagai pertimbangan pemasangan jaringan pemantauan indikatif (LCS). Hal tersebut sangat penting mengingat kompleksitas lingkungan perkotaan DKI Jakarta dan variasi kualitas udara yang mungkin terjadi di berbagai sudut kota.

6.3 Rancangan Jaringan Pemantauan Kualitas Udara DKI Jakarta

Jaringan pemantauan kualitas udara yang mencakup Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) referensi, indikatif *Low-cost Sensor* (LCS), dan *mobile station* memiliki cakupan yang luas dan beragam manfaat serta tantangan yang perlu diperhatikan. SPKU, sebagai titik referensi dan kalibrasi utama dalam jaringan, memberikan keunggulan akurasi dan kualitas data yang tinggi. Perangkat ini biasanya dilengkapi dengan peralatan yang canggih dan dipelihara secara rutin, tetapi memerlukan biaya yang signifikan untuk pembangunan dan operasionalnya.

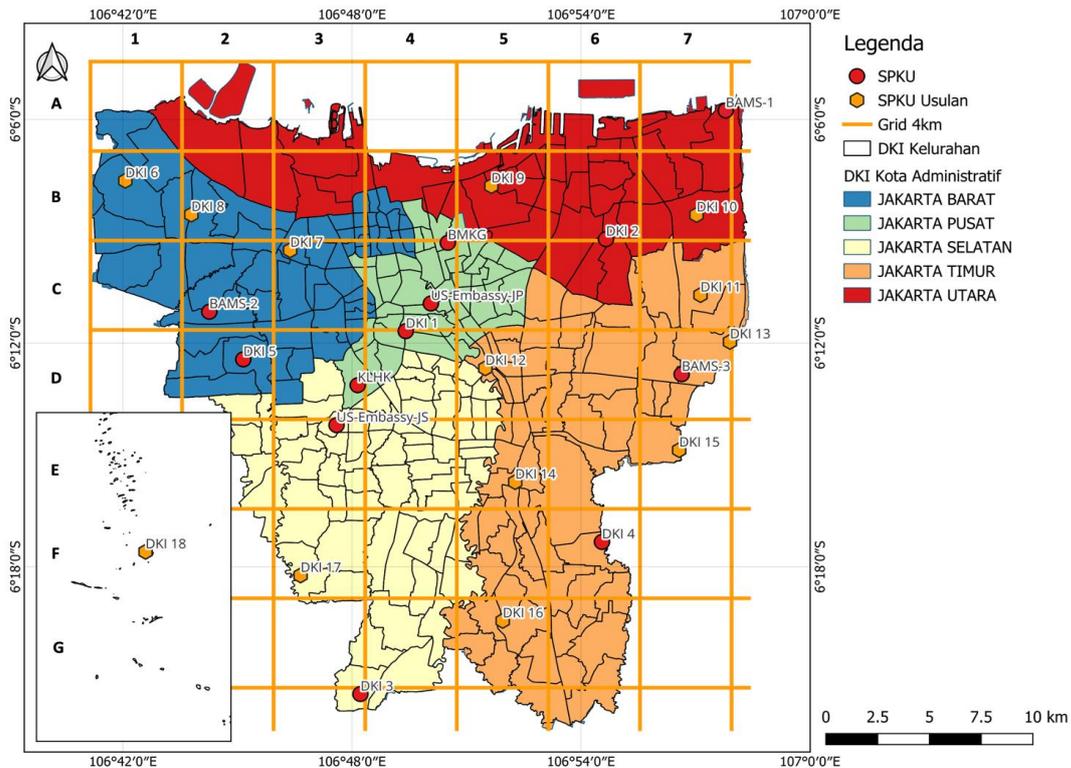
Di sisi lain, LCS adalah komponen indikatif/alternatif dalam jaringan ini, terutama dalam pengukuran partikulat seperti PM 2.5 dan PM 10. Keuntungan utama LCS adalah biaya yang lebih rendah, sehingga memungkinkan penyebaran yang lebih luas dalam jaringan. Perangkat ini juga dapat memberikan data dengan resolusi ruang yang lebih tinggi. Bagaimanapun, kelemahannya terletak pada akurasi yang lebih rendah dibandingkan dengan SPKU, dan alat ini memerlukan perawatan yang lebih sering dan penggantian sensor secara berkala.

Mobile station adalah komponen tambahan yang bergerak dan dapat ditempatkan di berbagai lokasi. Keunggulan utama *mobile station* adalah kemampuannya untuk memantau kualitas udara di tempat-tempat yang sulit dijangkau oleh SPKU dan LCS tetap menjadi pelengkap yang berharga dalam jaringan. Namun, perangkat ini dapat

memerlukan biaya pemeliharaan yang lebih tinggi, dan data yang dihasilkan mungkin memiliki tingkat akurasi yang bervariasi tergantung pada lokasi dan kondisi. Dalam mengusulkan penggunaan ketiganya dalam jaringan pemantauan kualitas udara DKI Jakarta, penting untuk memperhitungkan keunggulan dan kelemahan masing-masing komponen. SPKU dapat menjadi acuan utama untuk memastikan akurasi data, LCS dapat digunakan secara luas untuk pemantauan yang lebih terdistribusi, dan *mobile station* dapat menutupi daerah-daerah tertentu yang sulit dijangkau. Dengan pendekatan yang komprehensif ini, jaringan pemantauan kualitas udara dapat memberikan data yang lebih lengkap dan relevan untuk menjaga kualitas udara yang baik di DKI Jakarta.

6.3.1 Jaringan SPKU

Berbasis analisis tumpang susun yang dilakukan, maka SPKU usulan dalam kajian ini sebanyak 25 titik lokasi (termasuk 12 titik lokasi SPKU eksisting) dengan rincian 24 lokasi di Jakarta Daratan, dan 1 lokasi di Kepulauan Seribu (Gambar 6.5). Dengan memilih 24 lokasi yang tersebar di seluruh wilayah DKI Jakarta, SPKU dapat mencakup berbagai area dengan kondisi fisik maupun demografi yang berbeda. Ini juga akan membantu memantau efek polusi udara pada berbagai kelompok penduduk dan memungkinkan respon yang lebih baik terhadap masalah kesehatan yang timbul. Penempatan satu lokasi SPKU di Kepulauan Seribu penting karena wilayah tersebut memiliki karakteristik lingkungan yang berbeda dan dapat mempengaruhi kualitas udara Jakarta Daratan. Ini juga mendukung pemantauan polusi udara di daerah yang mungkin kurang terjangkau oleh SPKU di daratan.



Gambar 6.5 Usulan titik lokasi SPKU di DKI Jakarta daratan dan Kepulauan Seribu

Penempatan titik SPKU referensi juga memerlukan analisis mendalam. Hal ini berkaitan dengan kondisi wilayah yang harus bebas dari polutan minor, memiliki jarak minimum dari jalan raya, pohon, dan bangunan, serta memiliki keamanan yang baik dari aspek fisik (bebas banjir) maupun aspek sosial (bebas pencurian). Oleh karena itu, dalam kajian ini juga dilakukan proses validasi lapang untuk melihat titik-titik potensial yang dapat dipasang SPKU. Adapun detail titik rekomendasi lokasi dan spesifik wilayah usulan SPKU di DKI Jakarta dapat dilihat pada Tabel 6.1 berikut, dengan detail informasi spesifik dan dokumentasi titik lokasi dapat dilihat pada **Lampiran 8**.

Tabel 6.1 Nama dan lokasi SPKU Usulan

No	Nama dan Grid SPKU	Grid SPKU	Wilayah	Lokasi Eksisting/ Rekomendasi Lokasi	Letak Lintang Bujur	Peruntukan Spesifik*
1	DKI 1	D4	Bundaran HI, Jakarta Pusat	Bundaran HI, Jakarta Pusat	-6.19466, 106.8235	Roadside
2	DKI 2	B6	Kelapa Gading, Jakarta Utara	Kelapa Gading, Jakarta Utara	-6.1535522, 106.9109305	Kawasan Komersil

No	Nama dan Grid SPKU	Grid SPKU	Wilayah	Lokasi Eksisting/ Rekomendasi Lokasi	Letak Lintang Bujur	Peruntukan Spesifik*
3	DKI 3	G4	Jagakarsa, Jakarta Selatan	Jagakarsa, Jakarta Selatan	-6.3569577 , 106.8037795	Pemukiman
4	DKI 4	F6	Lubang Buaya, Jakarta Timur	Lubang Buaya, Jakarta Timur	-6.2888191, 106.9092674	Industri
5	DKI 5	D2	Kebon Jeruk, Jakarta Barat	Kebon Jeruk, Jakarta Barat	-6.2072479, 106.7526791	Sub-urban
6	KLHK	D3	Gelora Bung Karno, Tanah Abang, Jakarta Pusat	Gelora Bung Karno, Jakarta Pusat	-6,215395, 106,802965	<i>Roadside</i>
7	BMKG	C4	Kemayoran, Jakarta Pusat	BMKG Kemayoran, Jakarta Pusat	-6,155914, 106,842528	<i>Roadside</i>
8	US-Embassy-JP	C4	Jakarta Pusat	US Embassy, Jakarta Pusat	-6,182458, 106,834489	<i>Roadside</i>
9	US-Embassy-JS	E3	Jakarta Selatan	US Embassy, Jakarta Pusat	-6,236677, 106,793287	<i>Roadside</i>
10	BAMS-1	A7	Rusunawa Marunda, Cilincing, Jakarta Utara	Rusunawa Marunda, Cilincing, Jakarta Utara	-6.09705, 106.96111	Pemukiman
11	BAMS-2	C2	Kantor Walikota Jakarta Barat	Kantor Walikota Jakarta Barat	-6.185967, 106.737723	Kantor Pemerintahan
12	BAMS-3	D7	Kantor Walikota Jakarta Timur	Kantor Walikota Jakarta Timur	-6.21391, 106.944	Kantor Pemerintahan
13	DKI 6	B1	Pegadunga,	1. Lahan	1. -6.12722,	Sub-urban

No	Nama dan Grid SPKU	Grid SPKU	Wilayah	Lokasi Eksisting/ Rekomendasi Lokasi	Letak Lintang Bujur	Peruntukan Spesifik*
			Kalideres, Jakarta Barat	terbuka milik Badan Pengelola Aset Daerah, DKI Jakarta	106.70111	
14	DKI 7	C3	Grogol Petamburan, Jakarta barat	1. SMPN 82 Jakarta	1. -6.15834, 106.77365	Roadside
15	DKI 8	B2	Kedaung Kali Angke, Cengkareng, Jakarta Barat	1. KPP Pratama Pusat Data Pajak, Cengkareng 2. Universitas Satyagama 3. Lingkungan SAMSAT Jakarta Barat	1. -6.1425, 106.73 1. -6.14288 106.72968 2. -6.15417, 106.73944	Roadside
16	DKI 9	B5	Papanggo, Tanjung Priok, Jakarta Utara	1. Lahan terbuka SUDINKES Kepulauan Seribu 2. Lahan terbuka milik Badan Pengelola Aset Daerah Provinsi DKI Jakarta	1. -6.12995, 106.86147 2. -6.12999, 106.86093	Industri Pesisir
17	DKI 10	B7	Rorotan, Kec. Cilincing, Jakarta Utara	1. Tanah milik Pemda DKI Jakarta di depan RPTRA Pancarona	1. -6.142222, 106.950278	Industri
18	DKI 11	C7	Cakung Timur, Cakung, Jakarta Timur	1. Taman Kota Jakarta Garden City milik DKI Jakarta (perumahan depan)	1. -6.17889, 106.95306 2. -6.16611, 106.96306 3. -6.17722, 106.95389	Kawasan Komersil

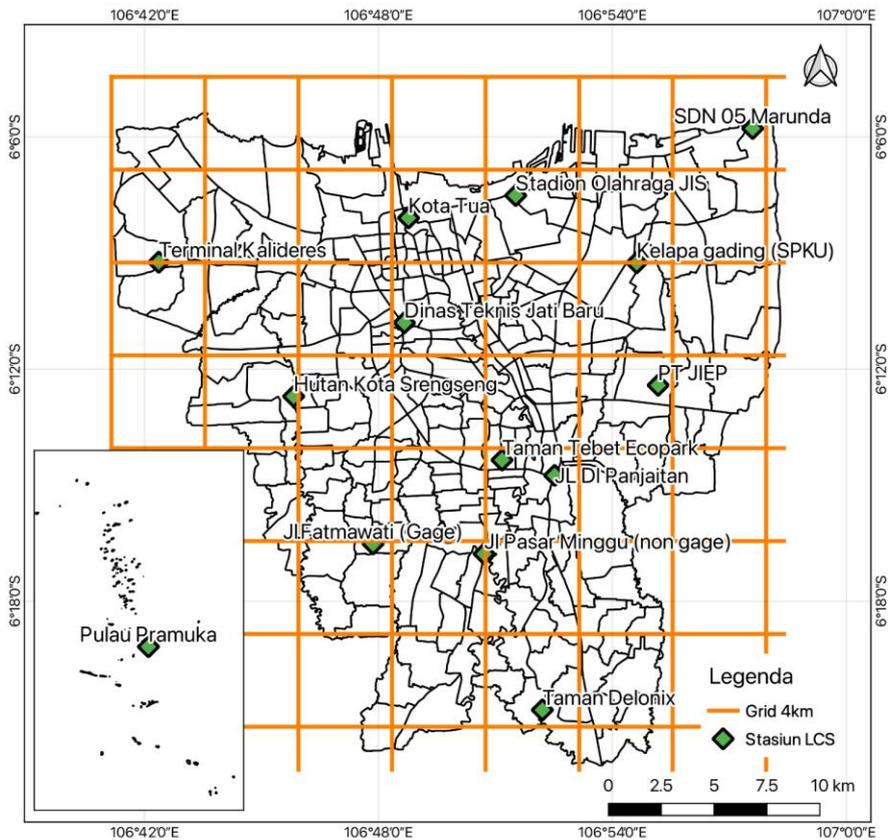
No	Nama dan Grid SPKU	Grid SPKU	Wilayah	Lokasi Eksisting/ Rekomendasi Lokasi	Letak Lintang Bujur	Peruntukan Spesifik*
				2. Taman Kota Hijau, Cakung 3. PosPol JGC		
19	DKI 12	D5	Kebon Manggis, Matraman, Jakarta Timur	1. SDN 13 Pagi Kebon Manggis	1. -6.2111, 106.85806	Pusat Perbelanjaan
20	DKI 13	D7	Pulogebang, Jakarta Timur	1. Lahan terbuka milik Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman, DKI Jakarta	1. -6.2001, 106.96435	Industri
21	DKI 14	E5	Kramat Jati, Jakarta Timur	1. Lahan DLH Kelurahan Batu Ampar 2. Kantor DLH DKI Jakarta	1. -6.27528, 106.85806 2. -6.26192, 106.87121	Pemukiman Padat Penduduk
22	DKI 15	E7	Pondok Kelapa, Kec. Duren Sawit, Jakarta Timur	1. Dinas Peningkatan Produksi dan Ketenagakerjaan DKI Jakarta	1. -6.24750, 106.94278	Pemukiman Padat Penduduk
23	DKI 16	G5	Ciracas, Jakarta Timur	1. GOR Ciracas: Wilayah Sumur Pantau Geologi 2. Taman Mahoni	1. -6.32472, 106.86667 2. -6.34028, 106.87444	Sub-urban
24	DKI 17	F3	Lb Bulus, Cilandak, Jakarta Selatan	1. Kebun Bibit Lebak Bulus 2. STIKES Pamentas	1. -6.30417, 106.77722 2. -6.30532, 106.77702	Latar Kota (<i>Background</i>)
25	DKI 18	-	Pulau Panggang, Kepulauan	1. Pulau Panggang	7. -5.740833, 106.60278	Wilayah Kepulauan

No	Nama dan Grid SPKU	Grid SPKU	Wilayah	Lokasi Eksisting/ Rekomendasi Lokasi	Letak Lintang Bujur	Peruntukan Spesifik*
			Seribu			

*Klasifikasi lokasi pemantauan spesifik, meliputi: pemukiman padat penduduk, industri, perkantoran, latar kota, *Roadside*, pusat perbelanjaan, kawasan komersil, sub-urban, lokasi pariwisata.

6.3.2 Jaringan Indikatif LCS

Untuk melengkapi Sistem Pemantauan Kualitas Udara (SPKU) di DKI Jakarta, disarankan untuk memasang sejumlah low cost sensor tambahan di beberapa lokasi kunci yang dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang kualitas udara di wilayah tersebut. Saat ini telah tersedia sekitar 14 Indikatif LCS yang tersebar di berbagai kota administratif di DKI Jakarta dan Kepulauan Seribu dengan sebaran pada gambar sebagai berikut (Gambar 6.6). Jaringan indikatif yang ada saat ini dipasang secara serentak pada awal Tahun 2023, oleh karena itu, perlu adanya penggantian alat di Tahun 2025 mengingat jaringan indikatif ini hanya memiliki masa tahan 2 Tahun selama penggunaan.



Gambar 6.6 Lokasi *Low-cost sensor* (LCS) eksisting di DKI Jakarta

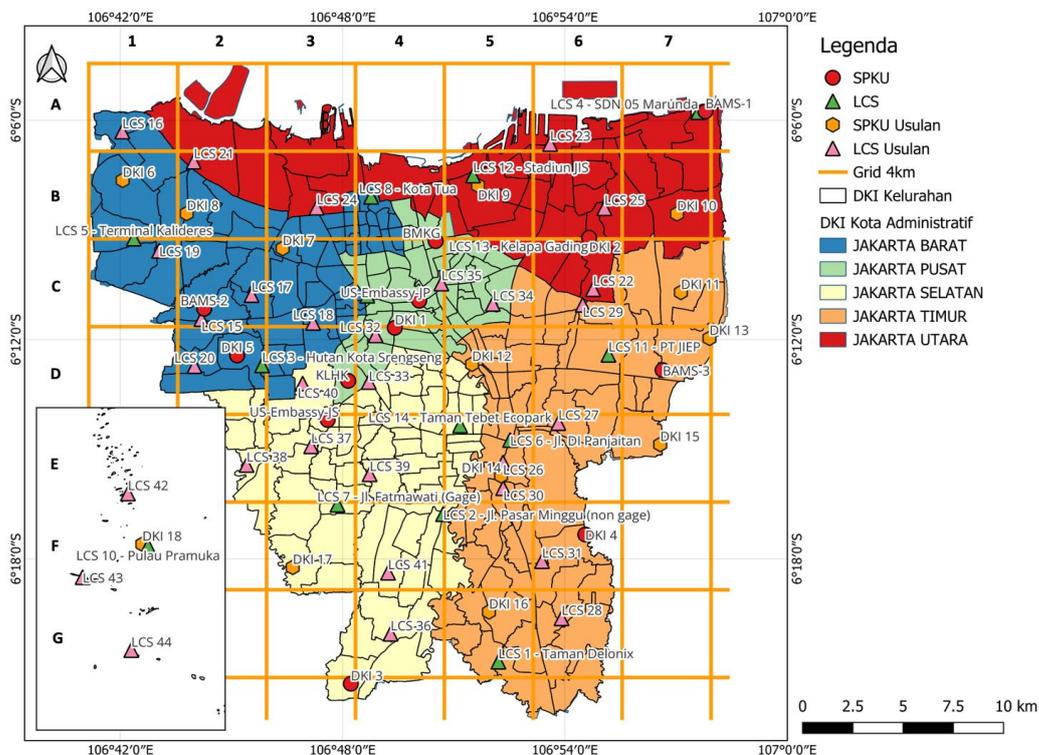
Secara mendetail, lokasi LCS tersebut dikategorikan ke dalam kebutuhan substansi pengukuran kualitas udara (Tabel 6.2). Kategori ini dibutuhkan untuk melihat peran LCS dalam kondisi wilayah representatif.

Tabel 6.2 Peruntukan LCS tersedia di DKI Jakarta

Nama LCS	Wilayah/ Lokasi	Latitude	Longitude	Grid di Peta	Peruntukan Spesifik
LCS 1	Taman Delonix, Jakarta Timur	-6.346893	106.870109	G5	Taman Kota
LCS 2	Jalan Pasar Minggu (non gage), Jakarta Selatan	-6.279609	106.845209	F4	Jalan Raya
LCS 3	Hutan Kota Srengseng, Jakarta Barat	-6.211772	106.763763	D2	Taman Kota
LCS 4	SDN 5 Marunda, Jakarta Utara	-6.09632	106.96002	A7	Lingkungan Sekolah
LCS 5	Terminal Kalideres, Jakarta Barat	-6.153957	106.70605	B1	Pusat Transportasi
LCS 6	Jalan DI Panjaitan, Jakarta Timur	-6.245814	106.875341	E5	Jalan Raya
LCS 7	Jalan Fatmawati (Gage), Jakarta Selatan	-6.275333	106.7977	F3	Jalan Raya
LCS 8	Kota Tua, Jakarta Barat	-6.13488	106.81286	B4	Rekreasi
LCS 9	Dinas Teknis Jati Baru, Jakarta Pusat	-6.180029	106.811095	C4	Instansi Pemerintahan
LCS 10	Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu	-5.744663	106.612978	-	Kepulauan
LCS 11	PT JIEP, Jakarta Timur	-6.206969	106.91962	D6	Industri
LCS 12	Stadion Olahraga JIS, Jakarta Utara	-6.125213	106.858704	B5	Fasilitas Umum
LCS 13	Kelapa Gading (SPKU), Jakarta Utara	-6.1542062	106.910454	B6	Fasilitas Umum
LCS 14	Taman Tebet Ecopark, Jakarta Selatan	-6.23919	106.85286	E5	Taman Kota

Penempatan LCS yang saat ini dipasang di DKI Jakarta mungkin belum sepenuhnya mencakup wilayah-wilayah spesifik yang sangat penting seperti lingkungan sekolah, pusat pemerintahan, dan pusat kesehatan. Sebagai usulan tambahan LCS, sekitar 27 LCS dapat dipasang di sepanjang jalan-jalan utama dan wilayah perkotaan yang padat penduduk seperti Thamrin, Sudirman, serta daerah pinggiran seperti batasan Bekasi, Tangerang, dan Depok. Selain itu, beberapa lokasi strategis seperti pusat

industri, sekolah, rumah sakit, dan pelabuhan juga harus mendapatkan perhatian khusus dengan pemasangan sensor tambahan. Wilayah Kepulauan Seribu akan ditambahkan 3 LCS yang menyesuaikan dengan jumlah penduduk dan keterwakilan wilayah (Kecamatan Kepulauan Seribu Utara dan Kepulauan Seribu Selatan). Pemilihan lokasi ini juga mempertimbangkan tingkat polusi udara yang tinggi dan potensi dampaknya terhadap kesehatan masyarakat. Dengan peningkatan jumlah dan lokasi *low-cost sensor* yang tepat, SPKU dapat memberikan data yang lebih akurat dan real-time tentang kualitas udara, yang dapat digunakan sebagai dasar untuk pengambilan keputusan yang lebih baik dalam mengatasi masalah polusi udara di DKI Jakarta.



Gambar 6.7 Lokasi SPKU dan LCS (baru dan eksisting) di DKI Jakarta

Penempatan lokasi spesifik untuk indikatif *Low-cost sensor* (LCS) yang cukup beragam adalah pendekatan yang sangat baik dalam pemantauan kualitas udara. Ini memungkinkan pemantauan yang lebih representatif terhadap latar belakang wilayah yang beragam. Tabel berikut menjelaskan detail informasi mengenai usulan LCS (Desa, Kecamatan) dan peruntukannya (Tabel 6.3).

Tabel 6.3 Detail peruntukan dan lokasi spesifik LCS usulan

Nama LCS	Wilayah/ Lokasi	Grid di Peta	Peruntukan
LCS 15	Meruya Selatan, Kembangan	C2	Jalan Raya
LCS 16	Kamal, Kalideres	A1	Lingkungan Sekolah
LCS 17	Kedoya Selatan, Kebon Jeruk	C2	Instansi Pemerintah
LCS 18	Kemanggisian, Palmerah	C3	Fasilitas Umum

Nama LCS	Wilayah/ Lokasi	Grid di Peta	Peruntukan
LCS 19	Duri Kosambi, Cengkareng	C1	Fasilitas Umum
LCS 20	Meruya Selatan, Kembangan	D2	Fasilitas Umum
LCS 21	Kamal Muara, Penjaringan	B2	Jalan Raya
LCS 22	Pegangsaan Dua, Kelapa Gading	C6	Lingkungan Sekolah
LCS 23	Rawa Badak Utara, Koja	A6	Lingkungan Sekolah
LCS 24	Pejagalan, Penjaringan	B3	Fasilitas Umum
LCS 25	Sukapura, Cilincing	B6	Fasilitas Umum
LCS 26	Cawang, Kramat Jati	E5	Jalan Raya
LCS 27	Pondok Bambu, Duren Sawit	E6	Industri
LCS 28	Cipayung, Cipayung	G6	Industri
LCS 29	Pulo Gadung, Kelapa Gading	C6	Pusat Transportasi
LCS 30	Kramat Jati, Kramat Jati	E5	Pusat Transportasi
LCS 31	Ceger, Cipayung	F6	Pariwisata
LCS 32	Kebon Melati, Tanah Abang	D4	Jalan Raya
LCS 33	Gelora, Tanah Abang	D4	Jalan Raya
LCS 34	Cempaka Putih Barat, Cempaka Putih	C5	Instansi Pemerintah
LCS 35	Senen, Senen	C4	Pusat Transportasi
LCS 36	Jagakarsa, Jagakarsa	G4	Instansi Pemerintah
LCS 37	Kebayoran Lama Selatan, Kebayoran Lama	E3	Pusat Kesehatan
LCS 38	Pesanggrahan, Pesanggrahan	E2	Fasilitas Umum
LCS 39	Bangka, Mampang Prapatan	E4	Pusat Perbelanjaan
LCS 40	Grogol Utara, Kebayoran Lama	D3	Fasilitas Umum
LCS 41	Ragunan, Pasar Minggu	F4	Pariwisata
LCS 42	Pulau Harapan, Kepulauan Seribu Utara	-	Instansi Pemerintah
LCS 43	Pulau Tidung, Kepulauan Seribu Selatan	-	Pusat Transportasi
LCS 44	Pulau Pari, Kepulauan Seribu Selatan	-	Fasilitas Umum

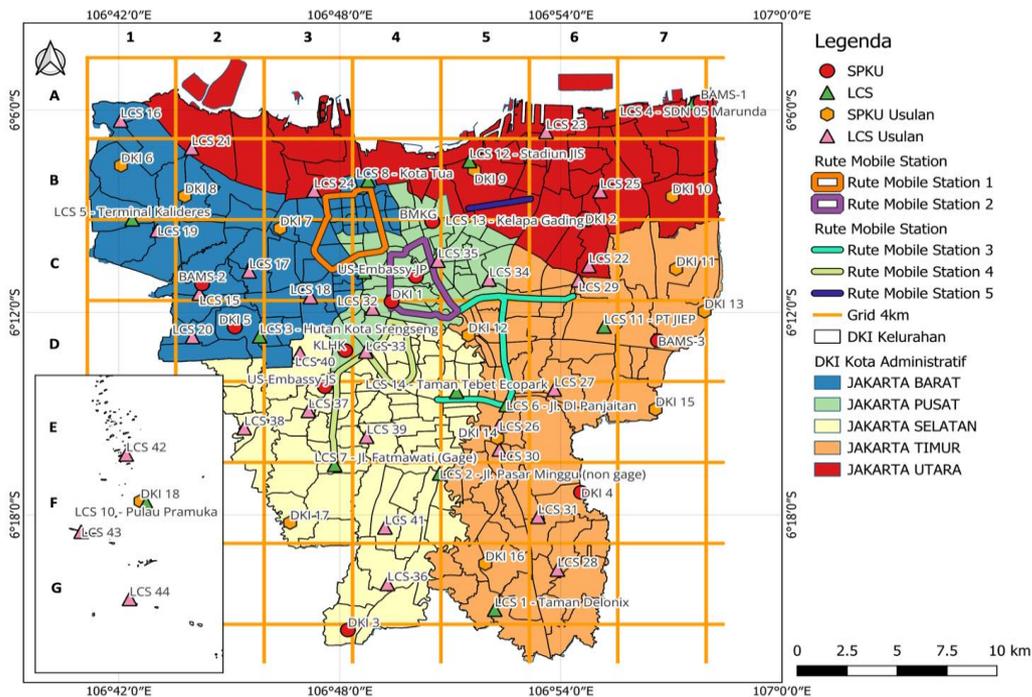
6.3.3 Jaringan *Mobile Station*

Pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta adalah sebuah tugas yang krusial dalam upaya menjaga kesehatan masyarakat dan lingkungan kota yang padat penduduk. Dalam memilih *mobile station* untuk jaringan ini, ada beberapa pertimbangan yang perlu dipertimbangkan dengan cermat.

1. Mobilitas adalah aspek utama yang harus diperhatikan. *Mobile station* harus memiliki kemampuan untuk dengan mudah dipindahkan ke lokasi-lokasi yang berbeda di seluruh Jakarta untuk memastikan pemantauan yang merata dan representatif. Ini memerlukan perangkat yang ringan, mudah dipasang, dan dapat dioperasikan oleh staf yang terlatih.

2. Akurasi instrumen pemantauan adalah hal yang sangat penting. *Mobile station* harus dilengkapi dengan peralatan yang dapat mengukur berbagai parameter kualitas udara, seperti partikulat, gas berbahaya, dan bahan kimia tertentu, dengan tingkat akurasi yang tinggi. Data yang diperoleh harus dapat diandalkan untuk membuat keputusan kebijakan yang tepat.
3. Perlu juga mempertimbangkan konektivitas data yang baik. *Mobile station* harus dilengkapi dengan sistem pengiriman data yang dapat mengirimkan informasi secara *real-time* ke pusat pemantauan atau platform online. Ini memungkinkan pemerintah dan masyarakat untuk mengakses informasi kualitas udara secara cepat dan tepat waktu.
4. Keberlanjutan operasional adalah pertimbangan lain. *Mobile station* harus dirancang untuk operasi jangka panjang, dengan perawatan yang mudah dan biaya operasional yang terkendali. Ini akan memastikan bahwa jaringan pemantauan kualitas udara dapat beroperasi secara efisien dan berkelanjutan seiring berjalannya waktu.
5. Terakhir, keterlibatan pihak-pihak terkait seperti badan lingkungan, ilmuwan, dan masyarakat umum juga harus dipertimbangkan. *Mobile station* harus dirancang dengan cara yang memungkinkan kolaborasi antar berbagai pihak untuk memaksimalkan manfaat pemantauan kualitas udara ini dalam mendukung pengambilan keputusan yang berkelanjutan untuk lingkungan dan kesehatan masyarakat DKI Jakarta.

Saat ini, Dinas Lingkungan Hidup (DLH) DKI Jakarta telah berhasil mengoperasikan 3 *mobile station* pemantauan kualitas udara di berbagai lokasi strategis dalam wilayah kota administratif DKI Jakarta. Meskipun ini merupakan langkah yang positif dalam upaya menjaga kualitas udara di ibu kota, akan lebih ideal jika DLH DKI Jakarta dapat mempertimbangkan penambahan 2 *mobile station* tambahan. Hal ini diperlukan agar jangkauan pemantauan kualitas udara dapat mencakup seluruh wilayah kota administratif DKI Jakarta. Dengan demikian, DLH DKI Jakarta akan memiliki jaringan pemantauan yang lebih luas dan akurat, yang dapat membantu dalam mengidentifikasi potensi masalah lingkungan segera dan mengambil tindakan pencegahan yang tepat. Penambahan *mobile station* ini akan menjadi langkah penting dalam menjaga kualitas udara yang lebih baik bagi warga Jakarta.



Gambar 6.8 Rute dan skenario *mobile station* dalam pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta

Adapun rute dan skenario tersebut dijelaskan lebih detail pada tabel berikut (Tabel 6.4).

Tabel 6.4 Cakupan *Mobile Station* dan manfaat pemantauan spesifik

Mobile Station	Cakupan Mobile Station	Manfaat Pemantauan Spesifik
1	Jakarta Barat	1. Jalan Pintu Besar Selatan (GG) 2. Jalan Tomang Raya (GG) 3. Jalan Jenderal S. Parman (GG) 4. Jalan Tomang Raya (Business Hotel Tomang) (HBKB)
2	Jakarta Pusat	5. Jalan Hayam Wuruk (GG) 6. Jalan Jenderal Sudirman (GG) 7. Jalan Salemba Raya (GG) 8. Jalan Stasiun Senen (GG) 9. Jalan Jenderal Sudirman (Patung Arjuna Wijaya) (HBKB) 10. Jalan Suryo Pranoto (Simpang Harmoni) (HBKB)
3	Jakarta Timur	11. Jalan MT Haryono (GG) 12. Jalan D.I Pandjaitan (GG)

Mobile Station	Cakupan Mobile Station	Manfaat Pemantauan Spesifik
		13. Jalan Jend. Ahmad Yani (GG) 14. Jalan Pramuka (GG) 15. Jalan Pemuda (Simpang Arion) (HBKB)
4	Jakarta Selatan	16. Jalan Sisingamangaraja (GG) 17. Jalan Fatmawati (GG) 18. Jalan Gatot Subroto (GG) 19. Jalan HR Rasuna Said (GG) 20. Jalan Sisingamangaraja (CSW) (HBKB)
5	Jakarta Utara	21. Jalan Danau Sunter Selatan (GOR Sunter) (HBKB)

Keterangan:

GG → Jalan Ganjil Genap

HBKB → Hari Bebas Kendaraan Bermotor

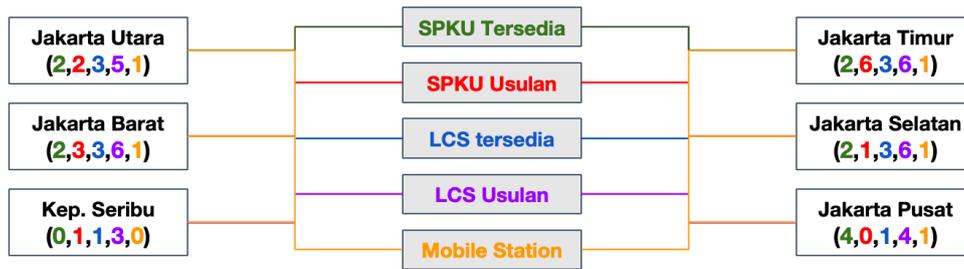
6.4 Kesimpulan Jaringan Pemantauan

Berdasarkan hasil analisis yang mendalam dengan mempertimbangkan berbagai komponen dan indikator, terutama terkait dengan pemantauan kualitas udara, DKI Jakarta telah menentukan kebutuhan untuk total 25 Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) referensi (Gambar 6.9). Dari jumlah tersebut, 12 SPKU sudah terpasang, 12 SPKU usulan akan ditempatkan di daratan utama DKI Jakarta, yang mencakup wilayah perkotaan, *sub-urban*, dan berbagai zona penggunaan lahan. Sementara itu, 1 SPKU tambahan akan ditempatkan di Kepulauan Seribu. Penempatan lokasi SPKU ini berbasis pada analisis tumpang susun yang dilakukan pada berbagai indikator terkait, sehingga diperoleh titik penempatan SPKU yang juga mempertimbangkan peruntukan spesifik, seperti pemukiman, perkantoran, pariwisata, *sub-urban*, dan kawasan latar kota (*background*).

Selain SPKU, DKI Jakarta juga akan mengembangkan indikatif *Low-Cost Sensor* (LCS) sebagai bagian dari upaya melengkapi kebutuhan pemantauan kualitas udara sejumlah 44 titik yang tersebar di berbagai Kota Administratif di DKI Jakarta (Gambar 6.9). Saat ini, sudah tersedia 14 titik LCS yang sedang digunakan dalam jaringan pemantauan

indikatif. Seiring dengan perkembangan, akan ditambahkan sebanyak 27 LCS di berbagai wilayah daratan DKI Jakarta, serta 3 LCS tambahan di Kepulauan Seribu. Penempatan LCS ini lebih spesifik dan akan menjangkau berbagai latar belakang wilayah di DKI Jakarta. LCS akan ditempatkan dengan berbagai pertimbangan, termasuk lokasi pusat perbelanjaan yang sering memiliki tingkat polusi yang lebih tinggi akibat lalu lintas kendaraan dan aktivitas komersial, zona industri yang cenderung menghasilkan emisi polutan, wilayah pendidikan untuk memantau dampak aktivitas pendidikan terhadap kualitas udara, dan wilayah pemerintahan yang penting dalam pengambilan keputusan terkait kebijakan lingkungan.

Saat ini DKI Jakarta juga telah berhasil mengoperasikan 3 *mobile station* pemantauan kualitas udara di berbagai lokasi strategis dalam wilayah kota administratif DKI Jakarta. Meskipun ini merupakan langkah yang positif dalam upaya menjaga kualitas udara di ibu kota, akan lebih ideal jika DLH DKI Jakarta dapat mempertimbangkan penambahan 2 *mobile station*. Hal ini diperlukan agar jangkauan pemantauan kualitas udara dapat mencakup seluruh wilayah kota administratif DKI Jakarta.



Gambar 6.9 Ringkasan usulan jaringan pemantauan kualitas udara representatif dan alokasi distribusi wilayah di DKI Jakarta

Sebagai informasi detail rekomendasi Jaringan pemantauan kualitas udara, disajikan juga peta jaringan pemantauan kualitas udara baik eksisting maupun usulan di setiap Kota Administratif di DKI Jakarta yang dapat dilihat pada **Lampiran 9**. Peta ini secara spesifik dapat digunakan oleh para pemangku kepentingan di setiap Kota Administratif dalam merencanakan pengadaan jaringan pemantauan kualitas udara, memberikan masukan lokasi spesifik, maupun rekomendasi perawatan dan pemeliharannya.

7 PENGEMBANGAN JARINGAN STASIUN PENGAMATAN KUALITAS UDARA

7.1 Parameter dalam Jaringan Pemantauan

Penentuan parameter terpilih berdasarkan hasil analisis sebagaimana tercantum pada Tabel 7.1. Sebagai contoh, Bundaran HI adalah stasiun yang dijadikan acuan untuk wilayah perkotaan dengan intensitas kendaraan lalu lintas yang padat sehingga semua parameter perlu untuk diukur. Karbon monoksida adalah emisi yang paling banyak dihasilkan kendaraan bermotor. NO_x dan VOC dihasilkan dari emisi kendaraan bermotor yang akan menghasilkan O₃ sehingga ketiga parameter ini perlu dipertahankan. Selain itu, terdapat pertimbangan jangkauan masing-masing parameter. Pada skala menengah terdapat parameter CO dengan jangkauan 100-500 m, Skala lingkungan/ *neighborhood* (500 m - 4 km) terdapat parameter SO₂, PM₁₀, dan VOCS, serta pada skala Urban/Perkotaan (4-50 km) terdapat parameter O₃, PM_{2.5}, NO₂, NO_x, dan NO. Kondisi dan perbedaan arah angin juga menjadi salah satu pertimbangan dalam penentuan parameter di setiap jaringan stasiun.

Tabel 7.1 Pertimbangan Parameter Kimia Yang Digunakan dalam SPKU

No	Lokasi Stasiun	Sumber Emisi Dominan	Pertimbangan Parameter Kimia Yang Digunakan										
			SO ₂	CO	NO ₂	NO _x	NO	PM 2.5	PM 10	THC	PM1	O ₃	
1	DKI 1: Bundaran HI, Jakpus	Kendaraan Bermotor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	DKI 2: Kelapa Gading, Jakut	Kendaraan bermotor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	DKI 3: Jagakarsa, Jaksel (DKI-3)	Latar kota (<i>Background</i>)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	DKI 4: Lubang Buaya, Jaktim	Industri UMKM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

No	Lokasi Stasiun	Sumber Emisi Dominan	Pertimbangan Parameter Kimia Yang Digunakan									
			SO ₂	CO	NO ₂	NO _x	NO	PM 2.5	PM 10	THC	PM1	O ₃
5	DKI 5: Kebon Jeruk, Jakbar	Kendaraan bermotor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	DKI 6 - Pegadungan, Kalideres, Jakbar	Rumah tangga, industri, dan bandar udara	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	DKI 7 - Grogol, Petamburan, Jakbar	Kendaraan bermotor	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓
8	DKI 8 Kedaung Kali Angke, Cengkareng, Jakbar	Kendaraan bermotor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	DKI 9 - Papanggo, tanjung Priok, Jakut	Industri galangan kapal, kendaraan bermotor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10	DKI 10: Rorotan, Cilincing, Jakut	Industri, PLTU, galangan kapal, kendaraan	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
11	DKI 11 - Cakung Timur, Cakung, Jakarta Timur	Industri UMKM, kendaraan bermotor	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓
12	DKI 12 - Kebon	Kendaraan Bermotor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

No	Lokasi Stasiun	Sumber Emisi Dominan	Pertimbangan Parameter Kimia Yang Digunakan									
			SO ₂	CO	NO ₂	NO _x	NO	PM 2.5	PM 10	THC	PM1	O ₃
	Manggis, Matraman, Jaktim											
13	DKI 13 - Pulogebang, Jaktim	Kendaraan bermotor, Industri UMKM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	DKI 14: Kramat Jati, Jakarta Timur	Kendaraan Bermotor, Pembakaran Terbuka	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
15	DKI 15 - Pondok Kelapa, Duren Sawit, Jaktim	Kawasan Industri tekstil dan makanan	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
16	DKI 16 - Ciracas, Jaktim	Kendaraan bermotor, industri peralatan elektronik	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
17	DKI 17 - Lb Bulus, Kec. Cilandak	Latar Kota (<i>background</i>)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
18	DKI 18 Pulau Panggang	Kendaraan bermotor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Parameter kimia yang merupakan prioritas untuk diukur berbasis sumber emisi dominan yang terdapat di sekitar SPKU dan peruntukan spesifik SPKU tersebut.

Pemilihan konsentrasi prioritas pengukuran parameter kimia spesifik di 5 SPKU yang telah ada berdasarkan konsentrasi polutan tertinggi di udara ambien. Sedangkan untuk pertimbangan pemilihan parameter kimia pada SPKU yang baru adalah berdasarkan keberadaan sumber pencemar terdekat. Secara umum, sumber pencemar terdekat di DKI Jakarta terdiri dari: emisi industri, kendaraan bermotor, sumber lokal dari aktivitas masyarakat seperti pembakaran terbuka.

Seluruh parameter kimia di Stasiun Jagakarsa (DKI 3) dan DKI 17 diprioritaskan untuk digunakan dengan pertimbangan lokasi tersebut merupakan stasiun SPKU pembanding (*background*), dengan kondisi polutan yang lebih rendah (memiliki udara bersih) dibandingkan dengan kondisi udara di SPKU lainnya. Parameter kimia yang diprioritaskan untuk diukur berdasarkan nilai konsentrasi polutan tertinggi yang diperoleh dari hasil pengukuran SPKU, sedangkan prioritas parameter kimia pada 13 stasiun SPKU yang baru berdasarkan pertimbangan sumber emisi terdekat. Adapun Parameter PM_{2.5} diprioritaskan harus ada di semua lokasi SPKU baru maupun SPKU yang telah ada. Pertimbangan ini berdasarkan hasil Laporan Kegiatan Pemantauan Kualitas Udara Pemerintah Provinsi DKI Jakarta (Turyanti *et al.*, 2022) yang menyatakan bahwa kenaikan konsentrasi PM_{2.5} di semua lokasi pemantauan menyebabkan konsentrasi polutan lainnya ikut mengalami peningkatan. Sedangkan parameter PM₁₀ tidak harus selalu ada di semua titik pantau dengan pertimbangan ukuran diameter partikulat jenis ini yang cukup besar menyebabkan mudahnya polutan untuk jatuh (*dustfall*). PM₁₀ juga bersifat sebagai polutan lokal (contoh dari pembakaran terbuka) sehingga tidak mudah untuk tersebar ke lokasi yang jauh.

Sebagai pertimbangan *cost efficiency*, pengurangan pengukuran parameter kimia di 13 SPKU yang baru dengan memilih prioritas pengukuran parameter kimia tertentu berdasarkan kedekatan jarak antar titik SPKU (*lihat Tabel 4.3*) dilakukan berdasarkan rujukan informasi dari *NSW Government Office of Environment and Heritage, New South Wales (2019)*. Dalam hal ini adalah pertimbangan pemilihan parameter kimia berdasarkan skala lingkungan sekitar (*neighborhood*). Skala *neighborhood* adalah ketika jarak antara 2 SPKU atau lebih adalah 500 - 4 km, maka dapat dilakukan keterwakilan, yakni pemilihan 1 SPKU saja untuk parameter kimia SO₂, PM₁₀, VOC (THC). Berdasarkan hasil pemetaan SPKU, diperoleh hasil bahwa terdapat beberapa SPKU yang berjarak < 4 km satu sama lain, diantaranya adalah:

1. DKI 5 dan DKI 7 yang berlokasi di Jakarta Barat
2. DKI 2 dan DKI 11 yang berlokasi di Jakarta Utara dan Timur
3. DKI 11 dan DKI 15 yang berlokasi di Jakarta Timur

Dengan mempertimbangkan sumber emisi dan juga aspek skala *neighborhood*, maka diputuskan DKI 18 tidak membutuhkan pengukuran parameter kimia PM₁₀ dan THC karena sudah dapat diwakili oleh DKI 15 (Pondok Kelapa, Duren Sawit), sesuai dengan ketentuan skala *neighborhood* yang menyatakan parameter PM₁₀ dan THC dapat diwakilkan oleh satu stasiun pemantauan apabila masing-masing berada pada berjarak 500 - 4 km. Ditinjau dari sumber emisinya, terdapat emisi PM₁₀ dan THC yang dominan dari kendaraan bermotor di sekitar lokasi DKI 15 dibanding DKI 11 sehingga pengukuran PM₁₀ dapat diwakilkan. Hal ini didukung oleh penelitian Uniptaila *et al.*, (2020) yang menyatakan bahwa kendaraan bermotor dapat memproduksi partikulat diantaranya (PM₁₀) yang apabila konsentrasinya tinggi maka dapat menurunkan kualitas udara ambien. Hal yang sama pada DKI 5 dengan DKI 7 serta DKI 2 dengan DKI 11 yang mana keterwakilan pengukuran PM₁₀ dan THC dapat diukur oleh DKI 5 yang berlokasi di Kebon Jeruk, dan DKI 2

yang berlokasi di Kelapa Gading. Sedangkan keterwakilan SO₂ untuk skala *neighborhood* tidak dapat dilakukan karena sumber emisi SO₂ yang beragam pada 18 lokasi pemantauan, sehingga pengukuran parameter SO₂ diprioritaskan untuk SPKU yang terletak di wilayah yang dekat dengan sumber emisi industri besar, seperti PLTU dan wilayah latar kota (*background*) sebagai pembanding.

Penentuan lokasi Stasiun Pemantauan Kualitas Udara (SPKU) di area pemukiman sangat penting karena berbagai sumber polusi udara berasal dari aktivitas sehari-hari penduduknya. Salah satu sumber utama adalah pembakaran terbuka, yang umumnya digunakan untuk membakar sampah atau dedaunan kering. Proses ini menghasilkan emisi partikel PM_{2.5} dan PM₁₀ yang dapat memiliki dampak negatif pada sistem pernapasan dan kesehatan jantung jika terhirup dalam jumlah yang signifikan (Ni *et al.*, 2017). Selain itu, pembakaran terbuka juga dapat mengeluarkan senyawa organik volatil atau VOCs (dalam hal ini diwakili oleh THC) dan karbon monoksida (CO), yang berpotensi berbahaya bagi kesehatan manusia (Estrellan & lino, 2010). Di sisi lain, polusi udara di lingkungan pemukiman juga disebabkan oleh transportasi, terutama kendaraan bermotor. Kendaraan yang membakar bahan bakar secara tidak sempurna menghasilkan emisi gas seperti CO₂, NO₂, dan SO₂ (Resitoglu *et al.*, 2015).

Emisi NO, NO₂, NO_x berasal dari kendaraan bermotor, dimana NO berasal dari sumber primer, langsung diemisikan oleh kendaraan, sedangkan dan NO₂ dapat berasal dari sumber primer dan sekunder (Buanawati *et al.*, 2017). Hal ini sejalan dengan penelitian Kendrik *et al.*, (2015) bahwa fluktuasi NO₂ merupakan fungsi dari kendaraan bermotor. Sumber emisi SO₂ di udara berasal dari industri besar seperti batubara, namun setiap bahan bakar kendaraan bermotor juga mengandung faktor emisi sulfur dengan konsentrasi tertentu (USEPA, 2016). Sedangkan emisi CO berasal dari sumber emisi lokal, seperti pembakaran tidak sempurna pada kendaraan bermotor dan dapat dideteksi pada arus lalu lintas kendaraan yang mengalami kemacetan (Saurer *et al.*, 2009). Total Hidrokarbon (THC) di udara ambien berasal dari pembakaran senyawa yang mengandung karbon seperti pembakaran batubara, minyak, dan *fossil fuel*. Sedangkan O₃ merupakan polutan sekunder yang terbentuk di atmosfer dari reaksi antara prekursor pembentuk O₃, yakni NO_x dan VOC (THC termasuk dalam VOC), dan CO (Lu *et al.*, 2019).

Terkait identifikasi sumber pencemar di udara ambien Jakarta, terdapat beberapa sumber pencemar industri, salah satunya adalah galangan kapal yang terdapat pada wilayah Jakarta Utara. Galangan kapal merupakan salah satu industri yang memenuhi reparasi bagi kapal-kapal yang melakukan bongkar muat di pelabuhan. Dampak dari aktivitas industri galangan kapal terhadap lingkungan dan kesehatan, ialah partikulat debu dan gas oksida dari proses pengelasan. Polutan dengan konsentrasi tertinggi dari industri ini adalah karbon monoksida (CO) (Saragih *et al.*, 2022).

Sumber pencemar industri lainnya adalah emisi lokal dari aktivitas UMKM yang menghasilkan polutan utama, yakni PM10. Sedangkan sektor industri produk kimia lain (*Chemical product N.E.C*): merupakan kontributor utama untuk beban polusi SO₂, NO₂, dan VOC (Zhang *et al.*, 2022). Sektor industri minyak dan lemak (*oil and fat*): merupakan kontributor utama untuk PM10. Beban polusi CO dihasilkan sebagian besar dari sektor industri sabun dan bahan pembersih keperluan rumah tangga (soap, cleaning prep, perfumes, & toilet preps). Sumber pencemar berbahaya lainnya adalah dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang menggunakan bahan bakar batubara (fosil) menghasilkan emisi SO₂, PM2.5, NOx, CO (Lestari *et al.*, 2020). Adapun sumber pencemar kendaraan bermotor: NOx, NO, NO₂ yang merupakan parameter kimia untuk peruntukan di pinggir jalan raya, selain itu juga terdapat emisi karbon (THC) dari proses pembakaran tidak sempurna dari kendaraan bermotor (Winkler *et al.*, 2018). Aktivitas lokal masyarakat seperti pembakaran terbuka akan menghasilkan emisi gas CO dan PM2.5 (Thao *et al.*, 2022).

Selanjutnya, parameter utama yang diukur dalam *Low-cost sensor* (LCS) terkait dengan polusi udara biasanya adalah *Particulate Matter* (PM). PM mengacu pada partikel-partikel kecil dalam udara yang terdiri dari campuran berbagai bahan, termasuk debu, serbuk sari, polutan, dan partikel organik. Partikel-partikel ini dapat memiliki dampak serius pada kesehatan manusia ketika dihirup, terutama partikel-partikel dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer (PM2.5) dan kurang dari 10 mikrometer (PM10). Parameter yang sering diukur dalam LCS terkait PM adalah:



PM2.5

Particulate Matter dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer. Partikel ini sangat kecil dan dapat mencapai saluran pernapasan yang lebih dalam, termasuk alveoli di paru-paru. Paparan jangka panjang terhadap PM2.5 dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk gangguan pernapasan dan penyakit kardiovaskular.



PM10

Particulate Matter dengan diameter kurang dari 10 mikrometer. PM10 mencakup PM2.5 dan juga partikel yang lebih besar. Paparan PM10 juga dapat memiliki dampak negatif pada sistem pernapasan dan kesehatan manusia.

Saat LCS digunakan untuk mengukur PM, data yang dihasilkan biasanya menyediakan informasi tentang tingkat PM dalam udara pada titik pengukuran tertentu. Data ini dapat digunakan untuk memantau tingkat polusi udara, mengidentifikasi perubahan tren, dan memberikan informasi kepada masyarakat dan pemangku kepentingan tentang kualitas udara di wilayah tersebut.

Selain PM, beberapa LCS juga dapat mengukur parameter lain terkait dengan kualitas udara seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, dan lain-lain, tergantung pada jenis sensor yang digunakan dan tingkat kompleksitas perangkat tersebut. Namun, PM tetap menjadi parameter utama yang diukur dalam banyak LCS karena pentingnya dalam pemantauan kualitas udara dan dampaknya terhadap kesehatan manusia.

7.2 Teknologi dalam Jaringan Pemantauan

Pengukuran konsentrasi polutan di udara ambien secara umum dapat dibedakan dalam tujuan pengukuran kualitas udara untuk parameter gas dan materi partikulat dimana setiap teknologi pemantauan kualitas udara memiliki prinsip kerjanya masing-masing. Negara maupun organisasi yang bergerak di pemantauan kualitas udara seperti US EPA, memiliki kriteria metode dan teknologi yang menjadi rujukan untuk melakukan pemantauan konsentrasi pencemaran di udara luar ruangan. Adapun metode pengukurannya dapat dibedakan menjadi:

- 1) *Federal Reference Method*
- 2) *Federal Equivalent Method* dan
- 3) indikatif *Air Sensor* (dengan *Low-cost Sensor*)

7.2.1 Teknologi Pemantauan untuk SPKU dan Metodenya

Terdapat dua metode utama yang diakui sebagai metode referensi di dalam melakukan pemantauan pencemaran udara, yaitu *Federal Reference Methods* (FRMs) dan *Federal Equivalent Methods* (FEMs). FRM merupakan metode utama yang digunakan untuk mengumpulkan dan menganalisis sampel berdasarkan standard US EPA. Sedangkan FEM merupakan metode alternatif yang memiliki kemampuan seakurat mungkin seperti metode FRM.

Baik FRM maupun FEM, kedua metode tersebut dikembangkan dan dievaluasi oleh *US Environmental Protection Agency* (US-EPA) dan diatur secara spesifik di dalam *Code of Federal Regulations* (CFR). Ada sejumlah sistem Metode Referensi Federal (FRM) dan Metode Setara Federal (FEM) yang digunakan untuk memantau enam kriteria polutan udara, terdiri dari Timbal (Pb), Karbon Monoksida (CO), Sulfur Dioksida (SO₂), Nitrogen Dioksida (NO₂), Ozon (O₃), dan Materi Partikulat [PM]) untuk menentukan apakah suatu area mematuhi Standar Kualitas Udara Ambien Nasional (NAAQS) untuk setiap jenis polutan udara. Adapun perbedaan metode pengukuran setiap parameter gas NO_x, O₃, SO₂, NO_x, NO₂, NO dan materi partikulat

PM2.5 dan PM10 dibedakan berdasarkan metode *Federal Standard Method* dan *Federal Equivalent Method* sebagaimana tertera pada Tabel 7.2.

Tabel 7.2 Perbandingan Metode Pemantauan Kualitas udara FRM dan FEM

No	Nama Parameter	Metode Pemantauan Kualitas Udara	
		Federal Reference Method	Federal Equivalent Method
1.	Particulate Matter PM2.5 dan PM10	<i>In-stack particulate filtration</i>	<i>Beta-Attenuating Monitor</i>
			<i>Very Sharp Cut Cyclone</i>
			Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM)
			<i>Dichotomous Air Sampler</i>
2.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	<i>Fluoresensi Ultraviolet (UV)</i>	Pulsed Fluorescence
			Chemiluminescence
			Non-dispersive Infrared (NDIR)
3.	Ozon (O ₃)	<i>Ethylene Chemiluminescence</i>	UV. Photometry
			DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy)
4.	Karbon Monoksida (CO)	<i>Non-dispersive Infrared Photometry</i>	UV Photometry
5.	Oksida-oksida Nitrogen (NO _x)	<i>Gas Phase Chemiluminescence</i>	Sodium Arsenit untuk NO ₂
			TGS-ANSA
			DOAS (<i>Differential Optical Absorption Spectroscopy</i>)
			UV Photolitic Conversion
			CAPS (<i>Cavity Attenuated Phase Shift Spectroscopy</i>)

7.2.2 Metode Pengukuran Parameter Kimia sesuai Federal Reference Method (FRM)

Federal Reference Methods (FRM) merupakan bagian dari metode rujukan yang digunakan untuk mengumpulkan dan menganalisa sampel berdasarkan standard US EPA. US EPA telah menyarankan metode yang dikategorikan sebagai FRM untuk setiap parameter kimia PM_{2.5}, SO₂, CO, THC, NO_x, NO₂, NO yang terdiri dari:

1. Metode In-stack Particulate Filtration untuk PM_{2.5}

In-stack Particulate Filtration adalah teknologi yang memenuhi standar FRM dan digunakan untuk mengukur konsentrasi partikel padat (partikulat) yang terkandung dalam gas buang cerobong asap industri. Metode ini melibatkan pengambilan sampel gas buang dari cerobong asap menggunakan alat yang disebut "*stack sampler*" atau pengambil sampel cerobong asap. Gas buang yang mengandung partikel-partikel padat diarahkan melalui suatu filter atau substrat yang mampu

menangkap partikel-partikel tersebut. Filter yang digunakan harus memenuhi spesifikasi yang ketat sesuai dengan ketentuan CFR 40, Part 50, Appendix L.

Metode pengukurannya melibatkan pengambilan sampel udara bertenaga listrik yang akan menarik udara sekitar dengan laju aliran volumetrik konstan ke dalam saluran masuk yang berbentuk khusus dan melalui inlet. Adapun pemisah ukuran partikel inersia (penumbuk) di mana PM_{2.5} dipisahkan untuk dikumpulkan pada filter polytetrafluoroethylene (PTFE) selama periode pengambilan sampel. Setiap filter ditimbang (setelah penyesuaian dengan kelembaban dan suhu) sebelum dan sesudah pengumpulan sampel untuk menentukan perolehan bersih PM_{2.5} yang terkumpul.



Gambar 7.1 Teknologi untuk Mengukur PM_{2.5} dengan Metode FRM

Terkait parameter pengukuran, Metode FRM *In-stack Particulate Filtration* mengukur konsentrasi partikel padat dalam gas buang berdasarkan berat partikel yang tertangkap oleh filter. Hasil pengukuran dinyatakan dalam satuan mikrogram per meter kubik ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) atau unit berat lainnya. Konsentrasi massa PM_{2.5} di udara ambien dihitung sebagai total massa partikel yang terkumpul (dalam kisaran ukuran PM_{2.5}) dibagi dengan volume aktual udara yang diambil sampelnya. Sedangkan standar pengukurannya mencakup persyaratan teknis terkait penggunaan alat pengambil sampel, penggantian filter, kalibrasi, dan pelaporan hasil pengukuran. Standar ini dirancang untuk memastikan akurasi dan konsistensi dalam pengukuran emisi partikulat dari cerobong asap industri.

Hasil pengukuran menggunakan metode FRM *In-stack Particulate Filtration* digunakan dalam pemantauan kualitas udara dan untuk memastikan bahwa fasilitas industri mematuhi batasan emisi yang ditetapkan oleh peraturan lingkungan yang berlaku. Data ini juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi sumber-sumber polusi udara dan mengembangkan strategi pengendalian yang efektif. Metode FRM *In-stack Particulate Filtration* memiliki peran penting dalam upaya perlindungan lingkungan dan kesehatan manusia dengan memastikan bahwa emisi partikulat dari cerobong asap industri terkendali dan sesuai dengan regulasi yang berlaku.

2. Metode Ethylene Chemiluminescence untuk Ozon (O₃)

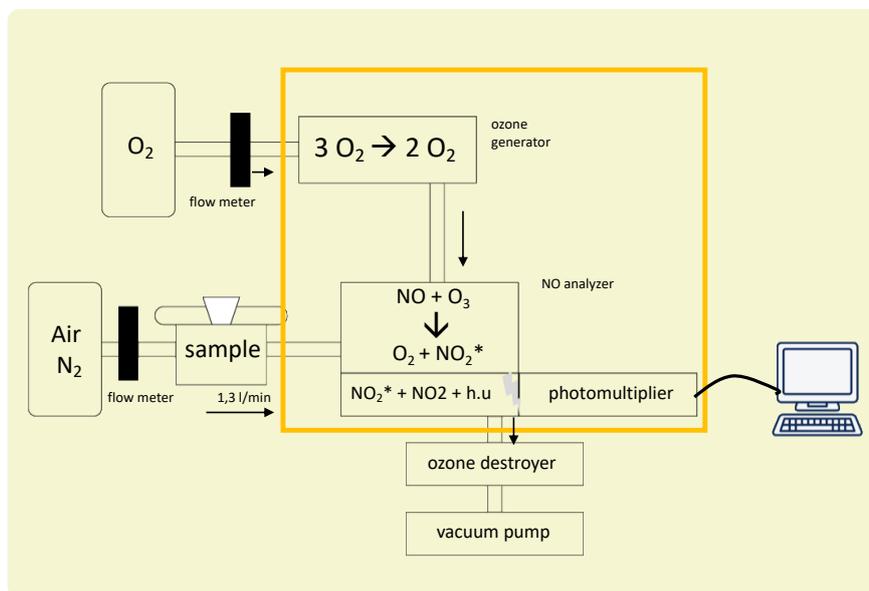
Pengukuran parameter ozon di udara ambien menggunakan metode *Ethylene Chemiluminescence* sesuai dengan metode *Federal Reference Method* (FRM) adalah salah satu metode standar yang digunakan dalam pemantauan kualitas udara. Metode ini secara khusus mengacu pada pengukuran ozon (O₃) di udara ambien dengan mengadopsi prinsip *chemiluminescence*. Udara sekitar dan etilen disalurkan secara bersamaan ke zona pencampuran di mana ozon di udara bereaksi dengan etilen untuk memancarkan cahaya, yang dideteksi oleh tabung photomultiplier (PMT). Arus PMT yang dihasilkan diperkuat dan dibaca secara langsung atau ditampilkan pada perekam data. Berikut merupakan langkah-langkah umum dalam pengukuran ozon menggunakan metode FRM *Ethylene Chemiluminescence*:

1. Pengambilan Sampel Udara: Sampel udara ambien diambil dari stasiun pemantauan yang sesuai dengan protokol FRM. Stasiun pemantauan ini terletak di lokasi-lokasi strategis yang mewakili berbagai kondisi udara ambien.
2. Ozonasi Sampel: Udara ambien yang diambil melewati suatu sistem ozonisasi, di mana ozon dalam sampel diubah menjadi ozon eksitasi (O₃ *) dengan tingkat energi yang lebih tinggi.

3. Reaksi *Ethylene Chemiluminescence*: Ozon yang tereksitasi (O_3^*) yang dihasilkan kemudian dicampur dengan etilena (C_2H_4), yang berperan sebagai *reagen chemiluminescence*.
4. Reaksi kimia antara ozon eksitasi dan etilena menghasilkan energi yang melepaskan cahaya (*chemiluminescence*) pada panjang gelombang tertentu.
5. Deteksi Cahaya: Cahaya yang dihasilkan selama reaksi *Ethylene Chemiluminescence* diukur dan direkam oleh detektor fotodiode atau fotomultiplier tube (PMT). Intensitas cahaya yang diukur berkorelasi dengan konsentrasi ozon dalam sampel udara. Data yang diperoleh dari pengukuran *Ethylene Chemiluminescence* dianalisis untuk menghasilkan konsentrasi ozon dalam udara ambien.

3. Metode *Gas Phase Chemiluminescence* untuk NO_x , NO dan NO_2

Metode Federal Reference Method (FRM) untuk mengukur nitrogen oksida (NO_x), nitrogen monoksida (NO), dan nitrogen dioksida (NO_2) menggunakan *Gas Phase Chemiluminescence*.



Gambar 7.2 Pengukuran NO_x , NO_2 dan NO dengan *Gas Phase Chemiluminescence* sesuai dengan standar metode FRM

(Sumber: Rümer S, 2016)

Chemiluminescence diartikan sebagai cahaya yang diemisikan sebagai hasil dari reaksi kimia antara O_3 dengan Nitrogen Monoksida. Dalam proses pengukuran Nitrogen Monoksida, udara ambien akan dicampur dengan O_3 berlebih. Injeksi NO ke dalam sel reaksi yang berisi senyawa kimia yang menghasilkan cahaya (*chemiluminescence*) ketika berinteraksi dengan NO . Intensitas cahaya yang dihasilkan diukur untuk menghitung konsentrasi NO_x , NO , dan NO_2 dalam sampel

udara, dengan kalibrasi menggunakan standar gas. Intensitas *chemiluminescence* kemudian dimonitor untuk mendeteksi konsentrasi NO_2 (Gerboles *et al.*, 2003).

Untuk mengukur Nitrogen Monoksida menggunakan *Chemiluminescence*, udara ambien akan bercampur dengan O_3 yang berlebih sehingga intensitas *chemiluminescence* akan dimonitor sehingga konsentrasi NO_2 dapat dideteksi. Metode ini sangat sensitif dan akurat, digunakan dalam pemantauan kualitas udara dan penelitian atmosfer, serta penting dalam pemantauan dampak polusi udara terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.

4. Metode Inframerah Non Dispersif (NDIR) untuk CO dan CO₂

Metode *Federal Reference Method* (FRM) untuk mengukur karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO_2) menggunakan teknik *Non-Dispersive Infrared* (NDIR) memanfaatkan penyerapan cahaya inframerah oleh molekul CO atau CO_2 dalam sampel udara. Peralatan NDIR dilengkapi dengan sumber cahaya inframerah khusus dan sel deteksi yang mengukur perubahan intensitas cahaya akibat penyerapan oleh gas tersebut. Penyerapan cahaya inframerah pada panjang gelombang tertentu akan dipantau ($4,3 \mu\text{m}$), ini merupakan panjang gelombang di mana CO_2 memiliki penyerapan yang sangat kuat. Jika cahaya infra merah diserap, maka terdapat CO_2 , sedangkan tidak adanya penyerapan menunjukkan kurangnya CO_2 . Semakin banyak sinar infra merah yang diserap maka semakin tinggi konsentrasi CO_2 (Jia *et al.*, 2021). Sehingga, data yang dihasilkan dari metode ini digunakan untuk menghitung konsentrasi CO dan CO_2 dalam udara ambien dan memastikan pemantauan kualitas udara yang akurat dan sesuai standar. Metode NDIR juga dikenal karena sensitivitas tinggi dan kemampuan pengukuran yang cepat dan sesuai dengan standard FRM dari US EPA.

5. Metode Fluoresensi Ultraviolet (UV) untuk SO₂

Metode pengukuran konsentrasi sulfur dioksida di udara ambien (SO_2) berdasarkan standar FRM adalah menggunakan metode *Fluoresensi Ultraviolet* (UV). Ini adalah sebuah metode analitik yang dianggap sebagai "standar emas" dalam pemantauan kualitas udara karena akurasi hasil dan sensitivitasnya yang tinggi dalam mendeteksi SO_2 di udara, meskipun berada dalam tingkat konsentrasi yang rendah. Dalam metode ini, sampel udara yang mengandung SO_2 diteruskan melalui sel analisis dan diekspos pada radiasi ultraviolet. SO_2 dalam sampel akan menyerap radiasi UV dan kemudian memancarkan fluoresensi. Intensitas fluoresensi ini diukur dan digunakan untuk menentukan konsentrasi SO_2 dalam sampel udara.

Adapun selengkapnya prinsip pengukuran SO_2 menggunakan metode *fluorescence ultraviolet* adalah: sinar ultraviolet dengan panjang gelombang (220 nm), di dalam analyzer SO_2 meradiasi suatu sampel yang masuk. SO_2 akan memancarkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda (240 nm hingga 420 nm dengan puncak

320 nm). Monitor SO_2 beroperasi berdasarkan prinsip bahwa molekul SO_2 menyerap sinar ultraviolet (UV) dan menjadi tereksitasi pada satu panjang gelombang, kemudian meluruh ke tingkat energi yang lebih rendah dan memancarkan sinar UV pada panjang gelombang berbeda. Denyut lampu (*pulse lamp*) sumber UV berfungsi untuk meningkatkan intensitas optik sehingga menghasilkan energi UV yang lebih besar dan konsentrasi SO_2 yang terdeteksi lebih rendah (Field Environmental Instruments, 2023).

6. Metode Pembakaran Selektif Bertipe Aliran Silang yang Dikombinasikan dengan Metode Deteksi Ion Hidrogen untuk Total Hidrokarbon

Metode pembakaran selektif bertipe aliran silang yang dikombinasikan dengan metode deteksi ion hidrogen (*cross-flow modulated selective combustion type method combined with a hydrogen ion detection method*) adalah salah satu pendekatan teknologi canggih untuk mengukur konsentrasi Total Hydrocarbons (THC) di udara ambien. Dalam metode ini, sampel udara yang mengandung hidrokarbon dibakar dalam kondisi yang dikontrol untuk menghasilkan produk pembakaran, biasanya karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O).

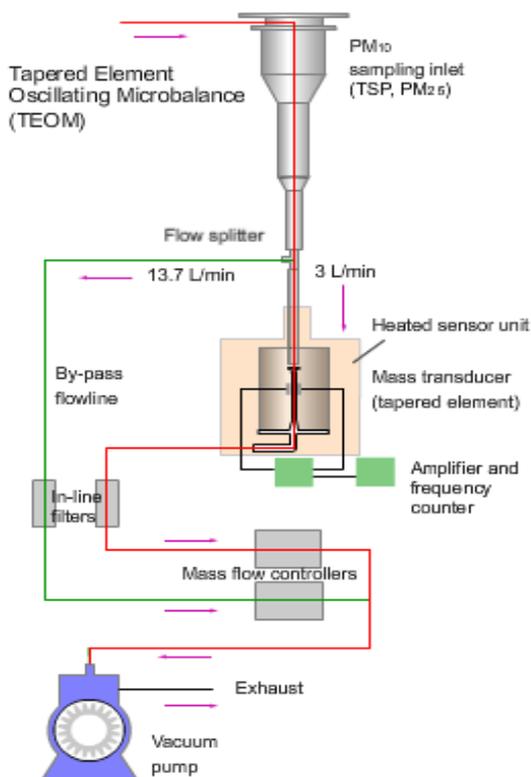
Adapun istilah “aliran silang” merujuk pada desain aliran gas di dalam perangkat, di mana aliran sampel dan aliran pembakar (biasanya udara atau oksigen murni) disusun sedemikian rupa sehingga mereka berinteraksi secara efisien sehingga dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan akurasi pengukuran. Tahapan selanjutnya adalah “deteksi ion hidrogen”, setelah proses pembakaran, produk-produk pembakaran melewati detektor yang sensitif terhadap ion hidrogen (H^+). Dalam konteks ini, deteksi ion hidrogen biasanya digunakan untuk memverifikasi efisiensi pembakaran atau sebagai indikator tambahan dari konsentrasi hidrokarbon.

Tahapan analisis konsentrasi THC menggunakan metode ini terdiri dari: pengambilan sampel, pembakaran selektif, aliran silang dan deteksi ion hidrogen. Pertama, pengambilan sampel. Sampel udara atau gas yang mengandung THC diambil dan dialirkan melalui sistem. Selanjutnya, sampel kemudian dibakar dalam kondisi yang sangat terkontrol. Ketiga, "Selektif" di sini berarti bahwa proses pembakaran dirancang untuk mempengaruhi hanya senyawa atau kelas senyawa tertentu (dalam hal ini, THC). Dilanjutkan dengan “aliran silang”, metode ini menggunakan aliran silang, yang berarti bahwa aliran gas pembakar dan aliran sampel diatur sedemikian rupa sehingga mereka berinteraksi dengan cara yang optimal. Hal ini akan meningkatkan efisiensi pembakaran dan deteksi. Setelah pembakaran, produk-produk pembakaran melewati detektor ion hidrogen, ion-ion hidrogen yang dihasilkan dari proses pembakaran akan mendeteksi konsentrasi THC. Dan terakhir adalah tahap analisis data, dimana sinyal dari detektor kemudian dianalisis untuk menentukan konsentrasi THC dalam sampel asli.

7. Metode Pengukuran Parameter Kimia sesuai *Federal Equivalent Method (FEM)*

FEM merupakan metode alternatif yang memiliki kemampuan seakurat mungkin seperti metode FRM. US EPA telah menyarankan metode yang dikategorikan sebagai FEM untuk setiap parameter kimia PM_{2.5}, SO₂, CO, THC, NO_x, NO₂, NO yang terdiri dari:

8. Metode *Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM)* untuk PM_{2.5}



Gambar 7.3 Skema Metode TEOM dan Cara Kerjanya (www.qld.gov.au, 2023)

terlampir pada Gambar 7.3. Sebuah pompa menarik sampel ke dalam instrumen dengan kecepatan 16,7 liter per menit (L/m) melalui saluran masuk yang dirancang untuk hanya memungkinkan partikel dengan kisaran ukuran yang diperlukan untuk melewatinya. Aliran udara ini kemudian dipecah sehingga 3 L/menit sampel diarahkan ke elemen tirus sementara sisanya dikirim ke saluran pembuangan. Elemen tirus terdiri dari kartrid filter yang dipasang di ujung tabung kaca berongga. Dasar tabung tidak dapat bergerak, tetapi ujungnya bebas bergetar pada frekuensi alaminya (mirip dengan garpu tala). Berat tambahan apa pun dari partikel yang terkumpul pada filter akan mengubah frekuensi osilasi tabung. Sirkuit elektronik merasakan perubahan ini dan menghitung laju massa partikel dari besarnya perubahan frekuensi. Instrumen kemudian mengembalikan tabung kaca yang

Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM) adalah teknik yang digunakan untuk mengukur konsentrasi partikel udara secara terus menerus dan termasuk sebagai metode FEM (Tortajada-Genaro & Borrás, 2011). Instrumen ini dilengkapi dengan ukuran saluran masuk (inlet) yang selektif untuk mengambil salah satu target sampel dari rentang ukuran partikel berikut: TSP (<100 mikron), PM₁₀ (<10 mikron), PM_{2.5} (< 2.5 mikron). TEOM menggunakan tabung kaca berongga yang berfungsi sebagai keseimbangan mikro. Partikel yang masuk disimpan pada filter yang berada di ujung tabung, dan massa yang bertambah menyebabkan perubahan frekuensi osilasi yang dapat dideteksi secara elektronik (Northam, 2017). Elemen tersebut didaur ulang secara berkala untuk mengembalikannya ke frekuensi alaminya.

Adapun cara kerja TEOM sebagaimana

bergetar ke frekuensi alaminya dan siap untuk pengukuran berikutnya. Instrumen mempertahankan suhu dan laju aliran yang konstan, dan mempermudah pembacaan secara elektronik dengan mengurangi kebisingan. Instrumen juga membagi laju massa dengan laju aliran menghasilkan keluaran berupa konsentrasi massa partikel yang berkelanjutan.

9. Metode *Beta-Ray Adsorption* (Adsorpsi Beta-Ray) untuk PM2.5

Beta-Ray Adsorption termasuk dalam metode *Federal Equivalent Method* (FEM). Instrumen adsorpsi Beta-Ray memiliki prinsip kerja berdasarkan pelemahan partikel beta yang mana melalui materi padatan yang terkumpul pada filter fiber dalam satu volume udara ambien yang dihisap oleh pompa (Instruments and Pass, 2011) (Instruments & Pass, 2011). Setelah mengumpulkan debu pada filter dan mengukur berat PM2.5 dan PM10, particulate matter yang terkumpul pada filter akan dianalisis lebih lanjut dengan mereaksikannya dengan larutan encer reagen kimia untuk mengukur ion nitrat, ion sulfat, dan H⁺ yang terkandung dalam PM2.5 dan PM10 (BAM 1020 beta attenuation mass monitor, 2019). Konsentrasi PM10 juga ditentukan dari kompensasi pengurangan intensitas cahaya berdasarkan prinsip *Beer-Lambert*. Konsentrasi PM10 yang terukur umumnya memiliki satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dalam resolusi perjam (Kurniawan, 2018).



Gambar 7.4 Beta Attenuation Monitor Tipe 1020 (MetOne, 2022)

10. Metode *Dichotomus Air Sampler* untuk PM2.5

Dichotomous Air Sampler adalah alat yang digunakan untuk mengumpulkan dan memisahkan partikel udara berdasarkan ukuran mereka menjadi dua fraksi yang berbeda, yaitu fraksi besar dan fraksi kecil. *Dichotomous Air Sampler* bekerja

berdasarkan prinsip pemisahan partikel udara berdasarkan ukurannya. Udara yang akan diambil sampel dihisap ke dalam alat melalui saluran masuk (inlet). Di dalam alat, udara tersebut dilewatkan melalui separator yang dapat memisahkan partikel berdasarkan ukurannya. Partikel kemudian dikumpulkan pada filter Teflon. Filter tersebut kemudian dianalisis dengan analisis aktivasi neutron atau spektroskopi fluoresensi sinar-X.



Gambar 7.5 *Dichotomus Air Sampler* (Hall ES, 2016)

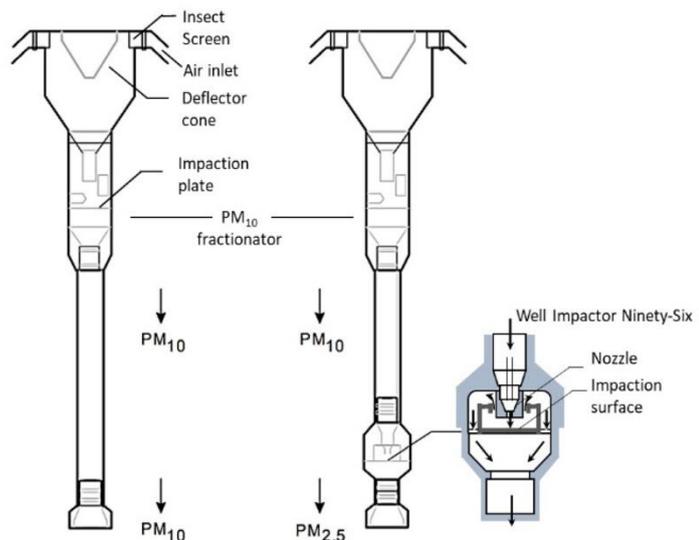
Separator pada instrument *Dichotomus Air Sampler* biasanya berupa pemisah fisik atau filter dengan ukuran pori yang berbeda. Fraksi besar mengandung partikel-partikel udara yang lebih besar, seperti debu, serbuk, dan partikel kasar lainnya. Fraksi ini biasanya dikumpulkan di satu wadah atau filter yang sesuai untuk partikel-partikel ini. Fraksi besar sering kali dianalisis lebih lanjut untuk menilai tingkat kontaminasi udara oleh partikel-partikel besar tersebut

Sedangkan fraksi kecil berisi partikel-partikel udara yang lebih kecil, seperti

aerosol, debu halus, dan polusi udara berukuran mikro. Fraksi ini juga dikumpulkan di wadah atau filter yang berbeda. Fraksi kecil ini sering kali lebih sulit dianalisis karena partikel-partikelnya lebih halus dan tersebar dengan lebih merata dalam udara. Data yang diperoleh dari *Dichotomous Air Sampler* dapat dianalisis untuk mengukur konsentrasi partikel berdasarkan ukuran, memantau perubahan polusi udara seiring waktu, dan membantu dalam mengidentifikasi sumber polusi udara yang mungkin.

11. Metode The Very Sharp Cut Cyclone (VSCC) untuk PM_{2.5}

The Very Sharp Cut Cyclone (VSCC) adalah variasi dari metode referensi EPA asli, yang menggunakan pemisah (*impactor*) jenis Well Impactor Ninety-six (WINS) SCC. Metode VSCC bekerja berdasarkan prinsip penggunaan aliran udara yang berputar dalam suatu siklon. Udara yang mengandung partikel-partikel berbagai ukuran diarahkan ke dalam siklon yang berputar dengan sangat cepat. Partikel-partikel yang masuk ke dalam siklon akan mengikuti aliran udara yang berputar dan akan mengalami pemisahan berdasarkan gaya sentrifugal. Yang membuat metode VSCC



Gambar 7.6 Metode Very Sharp Cut Cyclone dengan WINS (Afano, 2020)

unik adalah kemampuannya untuk memisahkan partikel berdasarkan ukuran dengan sangat tajam. Dalam metode ini, partikel-partikel yang memiliki ukuran di atas ambang batas tertentu akan terperangkap oleh gaya sentrifugal dan kemudian dikumpulkan sebagai fraksi besar, sedangkan partikel-partikel yang lebih kecil akan tetap dalam aliran udara dan diarahkan ke fraksi kecil. Salah satu faktor yang kunci dalam metode VSCC adalah pengaturan ambang batas yang sesuai. Ambang batas ini ditentukan oleh karakteristik siklon dan aliran udara yang dihasilkan. Ambang batas yang berbeda dapat digunakan untuk mengumpulkan partikel-partikel dengan ukuran berbeda sesuai dengan kebutuhan analisis (Alfano *et al.*, 2020).

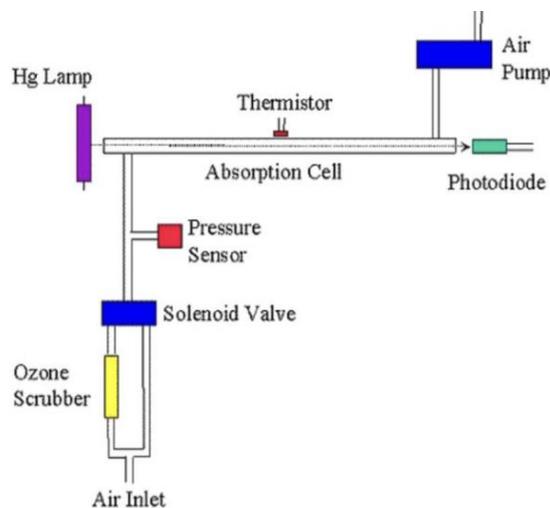
Parameter Kimia Ozon (O₃)

1. Metode Ultraviolet Photometry untuk O₃

Metode Ultraviolet Photometry sesuai dengan standar *Federal Equivalent Method* (FEM) untuk pengukuran ozon di udara ambien melibatkan pengambilan sampel udara yang dioksidasi, pengiriman cahaya ultraviolet (UV) melalui sampel yang mengalami penyerapan cahaya UV oleh ozon, dan pengukuran intensitas cahaya yang diterima oleh detektor UV. Berdasarkan penyerapan UV, konsentrasi ozon dalam sampel dihitung, seringkali dengan menggunakan kalibrasi menggunakan standar ozon yang diketahui. Metode ini adalah pendekatan sensitif dan umum digunakan dalam pemantauan kualitas udara untuk mengukur konsentrasi ozon yang berperan penting dalam menilai polusi udara dan kepatuhan terhadap standar kualitas udara yang telah ditetapkan.

Teori Operasi: Sampel udara dimasukkan ke dalam 'ruang pencampuran' di perangkat dan disinari sinar ultraviolet (UV) pada panjang gelombang 254 nm. Ozon menyerap sinar UV sebanding dengan konsentrasinya (dan parameter lainnya) dibandingkan dengan sampel udara tanpa ozon. Adapun alur kerja ozon monitor menggunakan metode *ultraviolet photometry* terdiri dari:

1. Sampel udara ditarik dari atmosfer ke dalam mesin dengan pompa udara.
2. Selama satu siklus, monitor ozon akan mengambil gambar satu sampel udara melalui saluran masuk udara dan *scrub* ozon dari udara.
3. Untuk siklus berikutnya, sampel udara melewati scrubber dan nilai ozon dihitung.
4. Katup solenoid diaktifkan secara elektronik menggeser aliran udara baik melalui air scrubber atau untuk melewatinya pada urutan waktunya.
5. Perbedaan antara kedua sampel nilai menentukan nilai ozon sebenarnya pada saat itu waktu.
6. Monitor mungkin juga memiliki opsi untuk memperhitungkan untuk menghitung tekanan udara dan suhu udara nilai ozon.



Gambar 7.7 Diagram Skema Instrumen Ozon (Oxidationtech, 2023)

2. Metode DOAS (*Differential Optical Absorption Spectroscopy*) untuk O_3

Metode *Differential Optical Absorption Spectroscopy* (DOAS) adalah pendekatan yang memanfaatkan cahaya yang melewati sampel udara ambien, dimana ozon menyerap sejumlah cahaya pada panjang gelombang tertentu. Deteksi dan analisis perubahan dalam spektrum cahaya yang diterima memungkinkan perhitungan konsentrasi ozon dalam sampel, seringkali dengan menggunakan kalibrasi standar ozon. Metode DOAS adalah pendekatan sensitif yang menggunakan spektroskopi optik untuk mengukur konsentrasi ozon, bermanfaat dalam pemantauan kualitas udara dan penelitian atmosfer.



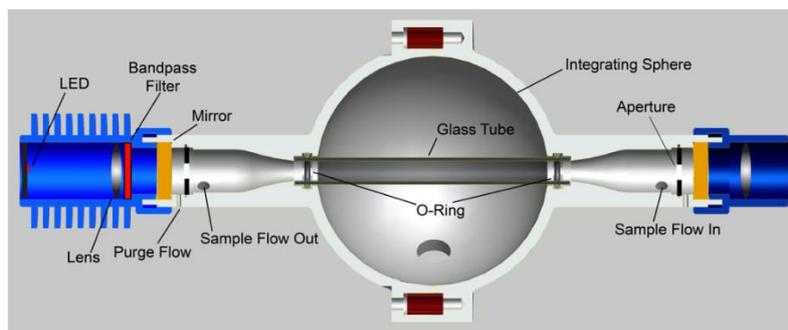
Gambar 7.8 Teknologi DOAS untuk Mengukur O₃ dengan Metode FEM (Hall ES, 2016)

Teori Operasi, Spektroskopi Serapan Optik Diferensial (DOAS) bergantung pada cahaya tampak atau serapan UV oleh zat yang diinginkan. Dalam sistem DOAS, sampel mempunyai beberapa panjang gelombang cahaya yang dipancarkan, dan jumlah setiap panjang gelombang yang diserap terdeteksi. Jumlah yang diserap berbanding lurus dengan konsentrasi ozon dalam sampel. Perangkat DOAS hanya digunakan pada keadaan yang sangat khusus dengan kondisi tertentu saja, sehingga tidak banyak digunakan. Namun, ini adalah metode pengukuran yang andal di lingkungan luar ruangan dengan sedikit interferensi alat/gangguan.

Metode Federal Equivalent Method (FEM) untuk NO_x, NO dan NO₂

1. *Cavity Attenuated Phase Shift Spectroscopy (CAPS)*

Metode *Cavity Attenuated Phase Shift Spectroscopy (CAPS)* adalah teknik interferometri cahaya yang digunakan untuk mengukur konsentrasi nitrogen oksida (NO_x), nitrogen monoksida (NO), dan nitrogen dioksida (NO₂) dalam udara ambien. CAPS memanfaatkan perubahan fase cahaya laser yang melewati sampel udara yang mengandung NO_x, dan dengan mengukur perubahan ini, konsentrasi NO_x, termasuk NO dan NO₂, dapat dihitung dengan sensitivitas tinggi dan akurasi. Metode ini memenuhi standar *Federal Equivalent Method (FEM)* dan cocok untuk pemantauan kualitas udara dan penelitian atmosfer karena kemampuannya mengukur konsentrasi gas dengan tingkat kepekaan yang tinggi.



Gambar 7.9 Pengukuran NO_x, NO₂ dan NO dengan CAPS sesuai dengan standar metode FEM

Spektroskopi CAPS bergantung pada pergeseran fasa yang terjadi ketika cahaya dalam rongga berlapis cermin melewati gas sampel. Perubahan fasa berbanding lurus dengan konsentrasi NO_x dalam sampel. Terkait intervensi, ada sangat sedikit potensi gangguan pada metode ini, karena metode ini hanya mengandalkan penyerapan optik NO₂. Terkait prinsip kerja, CAPS memanfaatkan prinsip interferometri cahaya, di mana cahaya laser yang dihasilkan melalui sel interferometer dikirimkan melalui sampel udara yang mengandung NO_x. Ketika cahaya laser melewati gas dalam sampel, terjadi perubahan fase interferensi yang berkaitan dengan penyerapan cahaya oleh molekul NO dan NO₂. Untuk mengukur NO_x, fase perubahan cahaya laser yang disebabkan oleh total konsentrasi NO_x dalam sampel akan diukur. Pengukuran konsentrasi NO₂ dalam CAPS seringkali melibatkan konversi NO₂ menjadi NO secara kimia dalam sel sampel sebelum pengukuran. Hasil utama dari pengukuran menggunakan metode CAPS mencakup konsentrasi NO dan NO₂.

Parameter Kimia Karbon Monoksida (CO₂)

1. Metode Ultraviolet (UV) Photometry untuk Karbon Monoksida (CO₂)

Metode *Federal Equivalent Method* (FEM) untuk mengukur karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) menggunakan UV Photometry adalah pendekatan standar yang memanfaatkan penyerapan cahaya ultraviolet oleh CO atau CO₂ dalam sampel udara. Alat UV Photometry dilengkapi dengan sumber cahaya UV dan sel deteksi sensitif terhadap cahaya UV yang mengukur penyerapan oleh senyawa-senyawa tersebut. Data yang dihasilkan digunakan untuk menghitung konsentrasi CO dan CO₂ dalam sampel udara dan memenuhi persyaratan standar FEM yang ditetapkan oleh EPA. Metode ini memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi serta digunakan dalam pemantauan kualitas udara.

Metode *Federal Equivalent Method UV Photometry* berfokus pada penyerapan cahaya ultraviolet oleh CO atau CO₂ dalam sampel udara. Penyerapan cahaya ini terjadi pada panjang gelombang UV tertentu yang khas untuk masing-masing senyawa. Terkait sumber cahaya, alat UV Photometry dilengkapi dengan sumber cahaya UV yang menghasilkan radiasi UV pada panjang gelombang yang sesuai dengan penyerapan oleh CO atau CO₂. Sampel udara yang mengandung CO atau CO₂ akan mengalir melalui sel deteksi yang sensitif terhadap cahaya UV. Untuk memastikan akurasi hasil konsentrasi CO di udara, alat UV Photometry harus dikalibrasi secara berkala menggunakan standar gas dengan konsentrasi CO atau CO₂ yang diketahui.

Parameter Kimia Sulfur Dioksida SO₂

1. Metode *Pulsed Fluorescence* untuk SO₂

Metode *Pulsed Fluorescence* adalah salah satu metode yang digunakan dalam Federal Equivalent Method (FEM) untuk mengukur konsentrasi sulfur dioksida (SO₂) di udara. Dalam konteks *Federal Equivalent Method* (FEM), metode ini dianggap sebagai salah satu pendekatan yang akurat dan dapat diandalkan untuk pengukuran SO₂.

Adapun metode pengukuran dari *pulsed fluorescence* dimulai dari pengambilan sampel. Sampel udara yang mengandung SO₂ diambil dan diteruskan melalui reaktor kimia. SO₂ dalam sampel bereaksi dengan reagen kimia tertentu (biasanya ozon atau senyawa lain yang berpotensi oksidatif) dalam reaktor. Reaksi kimia ini menghasilkan cahaya (*chemiluminescence*) sebagai produk sampingan. Intensitas cahaya yang dihasilkan diukur menggunakan detektor yang sensitif terhadap panjang gelombang cahaya tersebut dan intensitas cahaya yang diukur digunakan untuk menentukan konsentrasi SO₂ dalam sampel udara. Seperti metode analitik lainnya, alat biasanya dikalibrasi menggunakan gas standar yang konsentrasinya diketahui untuk memastikan akurasi hasil.

2. Metode *Chemiluminescence* untuk SO₂

Metode *Chemiluminescence* adalah sebuah teknik analitik yang digunakan untuk mengukur konsentrasi sulfur dioksida (SO₂) di udara. Adapun metode pengukuran dari *Chemiluminescence* terdiri dari: pengambilan sampel, reaksi kimia, pembentukan *chemiluminescence*, pengukuran cahaya dan kalkulasi konsentrasi.

Adapun prinsip kerja dari *chemiluminescence* terdiri dari: sampel udara yang mengandung SO₂ diambil dan diteruskan melalui reaktor kimia. SO₂ dalam sampel bereaksi dengan reagen kimia tertentu (biasanya ozon atau senyawa lain yang berpotensi oksidatif) dalam reaktor. Reaksi kimia ini menghasilkan cahaya (*chemiluminescence*) sebagai produk sampingan. Intensitas cahaya yang dihasilkan diukur menggunakan detektor yang sensitif terhadap panjang gelombang cahaya tersebut. Intensitas cahaya yang diukur digunakan untuk menentukan konsentrasi SO₂ dalam sampel udara. Seperti metode analitik lainnya, alat biasanya dikalibrasi menggunakan gas standar yang konsentrasinya diketahui untuk memastikan akurasi hasil.

3. Metode NDIR (Non-dispersive Infrared) untuk SO₂

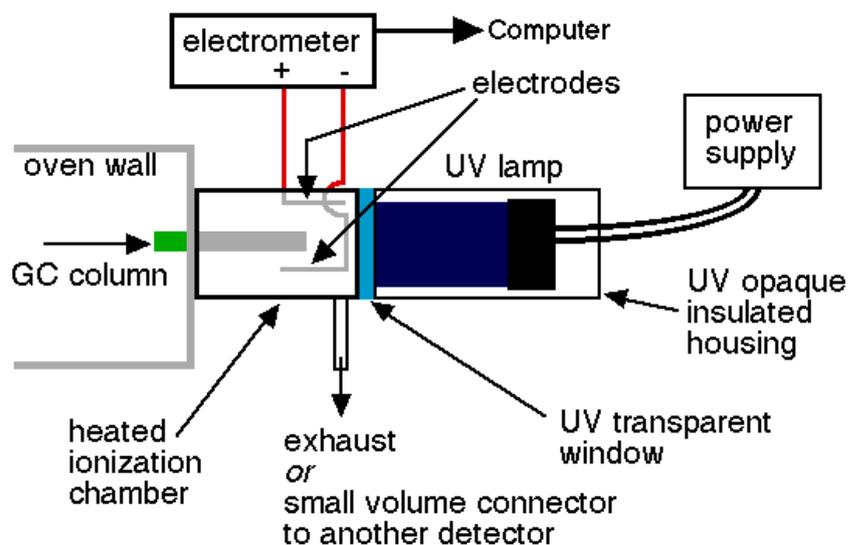
Metode *Non-dispersive Infrared* (NDIR) adalah sebuah teknik analitik yang digunakan untuk mengukur konsentrasi gas tertentu, termasuk sulfur dioksida (SO₂), dalam campuran gas. Metode ini memanfaatkan prinsip penyerapan radiasi

inframerah oleh molekul gas SO_2 dan dianggap setara dalam hal akurasi dan keandalan dengan Federal Reference Method (FRM). Terdapat beberapa tahapan metode pengukuran menggunakan NDIR, yang terdiri dari: pengambilan sampel, penyerapan inframerah, pendeteksian dan kalkulasi konsentrasi.

Pertama terkait pengambilan sampel di udara. Adapun Sampel udara yang mengandung SO_2 diambil dan diteruskan melalui sel pengukuran. Selanjutnya, sumber radiasi inframerah digunakan untuk menghasilkan spektrum inframerah yang akan melewati sel pengukuran. Molekul SO_2 dalam sampel akan menyerap radiasi inframerah pada panjang gelombang tertentu. Adapun SO_2 memiliki beberapa pita penyerapan yang khas dalam spektrum inframerah, dan salah satu yang paling sering digunakan adalah sekitar 7.3 mikrometer (μm) atau 7300 nanometer (nm). Detektor inframerah di seberang sel pengukuran akan mendeteksi sejauh mana radiasi inframerah telah diserap oleh sampel. Berdasarkan tingkat penyerapan, konsentrasi SO_2 dalam sampel dapat dihitung, biasanya dalam satuan seperti ppb (bagian per miliar) atau ppm (bagian per juta).

4. Metode Photoionization Detectors (PID) untuk SO_2

Photoionization Detectors (PID) dapat digunakan untuk pemantauan berkelanjutan (*continuous monitoring*) di stasiun pemantauan kualitas udara, meskipun secara penerapannya lebih sering digunakan dalam aplikasi industri atau penelitian daripada sebagai bagian dari jaringan pemantauan kualitas udara tetap. Adapun cara kerjanya terdiri dari: pengambilan sampel, paparan ke lampu UV, ionisasi, pengukuran arus, dan analisis data.



Gambar 7.10 Photoionization Detectors (PID)

Pertama, sampel udara atau gas yang mengandung THC diambil dan dialirkan melalui detektor. Sampel kemudian dipaparkan pada sumber cahaya ultraviolet (UV)

di dalam detektor PID. Energi dari cahaya UV cukup tinggi untuk mengionisasi molekul total hidrokarbon (THC) dan akan memecahnya menjadi ion positif dan elektron. Ion-ion yang dihasilkan kemudian diukur sebagai arus listrik. Besarnya arus ini sebanding dengan konsentrasi THC dalam sampel. Arus listrik yang diukur kemudian dianalisis untuk menentukan konsentrasi THC dalam sampel udara atau gas.

Berbagai metode baik FRM maupun FEM tentu memiliki kelebihan dan kekurangan. Hal ini berkaitan dengan penggunaan metode sesuai dengan kebutuhan dan prioritas. Kajian ini juga menganalisis berbagai kelebihan dan kekurangan metode FRM dan FEM, yang secara detail dapat dilihat pada **Lampiran 10**.

7.2.3 Metode Indikatif (*Low-Cost Sensor*)

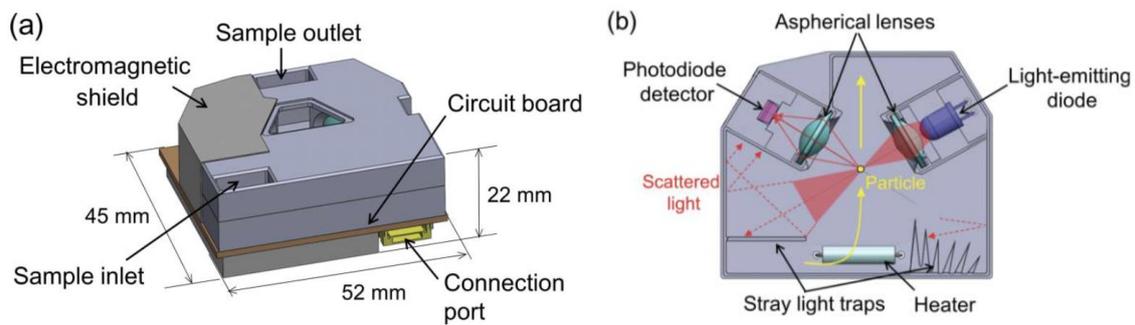
Metode indikatif dilakukan untuk melengkapi jaringan pemantauan di DKI Jakarta. Beberapa metode yang diperoleh dari berbagai literatur menjadi pertimbangan dalam pemilihan alat instrumen indikatif LCS ini.

a. Metode Hamburan Cahaya (*Light Scattering*)

Metode umum indikatif LCS adalah hamburan cahaya dimana konsentrasi massa PM2.5 dihitung dari distribusi intensitas hamburan cahaya dengan mempertimbangkan hubungan intensitas penyebaran dan ukuran partikel. Agar dapat mengukur massa konsentrasi PM2.5 yang akurat, sensor dirancang untuk dapat memperkirakan ukuran partikel dari distribusi intensitas hamburan cahaya dari partikel tunggal dan untuk mendeteksi partikel kecil dengan diameter sekecil 0,3 μm dengan mengurangi kebisingan latar belakang. Melalui mekanisme ini, sensor dapat memberikan data konsentrasi massa PM2.5 yang akurat di lingkungan perkotaan dan daerah suburban dan dapat diterapkan untuk studi tentang dampak PM2.5 terhadap lingkungan dan kesehatan (Nakayama *et al.*, 2018).

Adapun kinerja metode hamburan cahaya untuk pengukuran PM2.5 terdiri dari beberapa tahapan. Pertama, partikel aerosol mengalir ke sensor melalui aliran udara ke atas yang dihasilkan oleh pemanas di dalam saluran masuk pengambilan sampel. Meskipun laju aliran pengambilan sampel tidak dikontrol secara langsung, sensor telah dirancang untuk menghasilkan gradien suhu yang konstan di sekitar pemanas. Dengan menggunakan dinamika fluida komputasi, laju aliran rata-rata di wilayah deteksi diperkirakan 65 mm/detik. Di sekitar pusat sensor, partikel aerosol disinari dengan cahaya, yang dipancarkan dari dioda pemancar cahaya ($\lambda = 625 \text{ nm}$) dan difokuskan dengan lensa asferis. Cahaya yang tersebar difokuskan dengan lensa asferis lain dan dideteksi dengan detektor fotodioda. Perangkat cahaya liar juga dipasang di sensor untuk mendeteksi cahaya yang tersebar lebih lemah dari partikel yang lebih kecil guna mengurangi kebisingan latar belakang. Jumlah konsentrasi di

masing-masing tiga wadah ukuran partikel diperkirakan dari distribusi intensitas hamburan cahaya dari partikel aerosol tunggal dan kemudian konsentrasi massa PM2.5 akan dihitung. Konsumsi daya sensor sekitar 0,4 W pada 5 Volt (Nakayama *et al.*, 2018). Kinerja sensor telah dievaluasi oleh Nakayama dkk (2017) berdasarkan uji laboratorium dan lapangan di Fukuoka, Jepang. Salah satu contoh indikatif LCS yang menggunakan metode hamburan cahaya ini adalah CUPI-G (Matsumi, 2017), Clarity Low-Cost Sensor Clarity.io., 2023), ModulAir-PM, dan PurpleAir.



Gambar 7.11 Contoh Indikatif *Low-cost sensor* CUPI-G (Matsumi, 2017)

Clarity Particulate Matter adalah salah satu *low-cost sensor* yang juga menggunakan metode pemendaran cahaya (*light scattering*). *Sensor Clarity* menggunakan teknologi nephelometer yang serupa dengan yang digunakan perangkat AirQo untuk mendeteksi PM2.5. Selain PM2.5, sensor Clarity juga dapat mengukur PM1, PM10, PM2.5. Terkait metode pengukurannya, Clarity merupakan sensor penghitung partikel optik yang menggunakan *nefelometer* Plantower PMS5003 untuk perkiraan PM2.5 ambien berdasarkan hamburan sinar laser. Selain itu, sensor Clarity juga mampu mengirimkan data pemantauan PM melalui jaringan GSM lokal secara *real-time* ke cloud (Pantelic *et al.*, 2019).



Gambar 7.12 Clarity Low Cost Sensor (Sumber: Clarity.io., 2023)



Gambar 7.13 ModulAir- PM

MODULAIR™-PM memberikan perkiraan konsentrasi partikel (PM1, PM2.5, PM10) dan distribusi ukuran partikel secara *real-time* menggunakan kombinasi baru dari beberapa sensor partikel berbasis hamburan cahaya (patent pending). Setiap unit terhubung ke internet dan dipasangkan dengan QuantaQ Cloud™ untuk menyediakan visualisasi data dan akses data

secara real-time, alat manajemen tim, dan diagnostik kesehatan sensor di seluruh stasiun pemantauan. MODULAIRTM-PM dirancang untuk digunakan di dalam atau di luar ruangan dan mudah digunakan sebagai unit mandiri atau sebagai bagian dari jaringan sensor kualitas udara (Modulair-pm, 2023).

LCS PurpleAir telah terbukti menjadi alternatif yang layak dibandingkan monitor sejenis yang lebih mahal. Kepadatan spasial yang tinggi pada jaringan PurpleAir LCS dapat menawarkan gambaran kota yang lebih detail. *PurpleAir Flex* adalah monitor kualitas udara terbaru dari PurpleAir, yang mengukur konsentrasi PM_{2.5} secara *real-time* untuk penggunaan dalam skala perumahan, komersial, atau industri (Awokola *et al.*, 2022). Berisi LED penuh warna, cahaya yang dihasilkan sekilas menunjukkan kualitas udara real-time dan dapat dipasang di dalam atau di luar ruangan. WiFi internal memungkinkan monitor kualitas udara mengirimkan data ke Peta *PurpleAir* secara *real-time*, yang disimpan dan tersedia untuk perangkat pintar apa pun. Untuk lokasi dengan akses WiFi terbatas, perangkat pengukuran *PurpleAir Flex* PM_{2.5} menggabungkan kemampuan jam waktu nyata dan kartu SD, memungkinkan sensor untuk merekam dan menyimpan data pada kartu microSD (Sumber: <https://www2.purpleair.com/products/purpleair-flex>). PurpleAir Flex dilengkapi penghitung laser PMS6003 yang dapat diganti pengguna dan port ekspansi yang memungkinkan pertukaran sensor suhu dengan mudah atau memperluas kemampuan sensor di masa depan.



Gambar 7.14 Purple Air Low-cost Sensor

7.2.4 Metode *Mobile Station*

Mobile station merupakan stasiun bergerak dengan menggunakan kendaraan roda empat untuk melakukan pemantauan kualitas udara. Saat ini, *mobile station* yang telah beroperasi di DKI Jakarta berjumlah 3 unit. Adapun *mobile station* yang telah beroperasi adalah:

- Unit-1 dengan rute Jakarta Selatan - Jakarta Pusat
- Unit-2 dengan rute Jakarta Barat - Jakarta Timur
- Unit-3 dengan rute Jakarta Utara

Dalam mengoperasikan *mobile station* untuk pemantauan kualitas udara, parameter kimia yang diukur oleh setiap Unit adalah: O₃ , SO₂, NO_x, NO, NO₂, CO, THC, PM₁₀, PM_{2.5}, kecuali untuk pengoperasian *mobile station* dari arah Jakarta Utara (Unit 3) yang tidak melakukan analisis THC. Dalam pengoperasiannya, rute yang

dilalui pada saat Hari Bebas Kendaraan Bermotor (HBKB) atau *Car Free Day* adalah setiap minggu kedua.

Parameter Kimia yang Dibutuhkan Sesuai dengan Usulan *Mobile Station*

Terdapat beberapa parameter kimia yang dibutuhkan untuk dilakukan pengukuran pada pemantauan kualitas udara dengan *mobile station* beserta metode pengukuran yang disarankan sebagaimana pada Tabel 7.3.

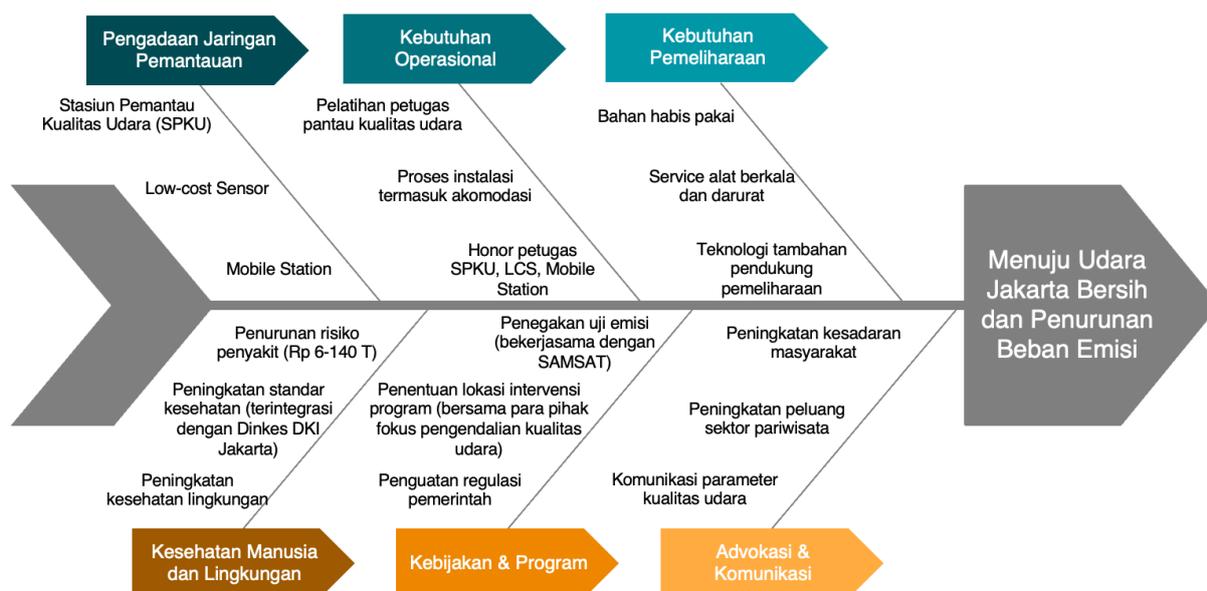
Tabel 7.3 Cakupan *Mobile Station*. Parameter Kimia dan Metode Pengukuran Parameter

<i>Mobile Station</i>	Cakupan <i>Mobile Station</i>	Manfaat Pemantauan Spesifik	Parameter Kimia yang Dibutuhkan dan Metodenya
1	Jakarta Barat	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jalan Pintu Besar Selatan (GG) 2. Jalan Tomang Raya (GG) 3. Jalan Jenderal S. Parman (GG) 4. Jalan Tomang Raya (Business Hotel Tomang) (HBKB) 	PM2.5 dan PM10 (Metode Beta-Ray) NO _x , NO ₂ , NO (metode chemiluminescence) Prioritas selanjutnya: CO, SO ₂ , O ₃ , THC
2	Jakarta Pusat	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jalan Hayam Wuruk (GG) 2. Jalan Jenderal Sudirman (GG) 3. Jalan Salemba Raya (GG) 4. Jalan Stasiun Senen (GG) 5. Jalan Jenderal Sudirman (Patung Arjuna Wijaya) (HBKB) 6. Jalan Suryo Pranoto (Simpang Harmoni) (HBKB) 	PM2.5 Metode Beta-Ray) NO _x , NO ₂ , NO (metode chemiluminescence) CO (Metode Cavityling Ring down (CRD) Prioritas selanjutnya: SO ₂ , O ₃ , THC
3	Jakarta Timur	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jalan MT Haryono (GG) 2. Jalan D.I Pandjaitan (GG) 3. Jalan Jend. Ahmad Yani (GG) 4. Jalan Pramuka (GG) 	PM2.5 dan PM10 (Metode Beta-Ray) SO ₂ (Metode fluorescene) NO _x , NO ₂ , NO (metode chemiluminescence)

Mobile Station	Cakupan Mobile Station	Manfaat Pemantauan Spesifik	Parameter Kimia yang Dibutuhkan dan Metodenya
		5. Jalan Pemuda (Simpang Arion) (HBKB)	Prioritas selanjutnya: CO, O ₃ , THC
4	Jakarta Selatan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jalan Sisingamangaraja (GG) 2. Jalan Fatmawati (GG) 3. Jalan Gatot Subroto (GG) 4. Jalan HR Rasuna Said (GG) 5. Jalan Sisingamangaraja (CSW) (HBKB) 	PM2.5 (Metode Beta-Ray) NO _x , NO ₂ , NO (metode chemiluminescence) Prioritas selanjutnya: CO, SO ₂ , O ₃ , THC
5	Jakarta Utara	1. Jalan Danau Sunter Selatan (GOR Sunter) (HBKB)	PM2.5, PM10 Metode Beta-Ray) SO ₂ (Metode fluorescene) O ₃ (metode <i>ultraviolet adsorption</i>) NO _x , NO ₂ , NO (metode chemiluminescence) Prioritas selanjutnya: THC, PM10

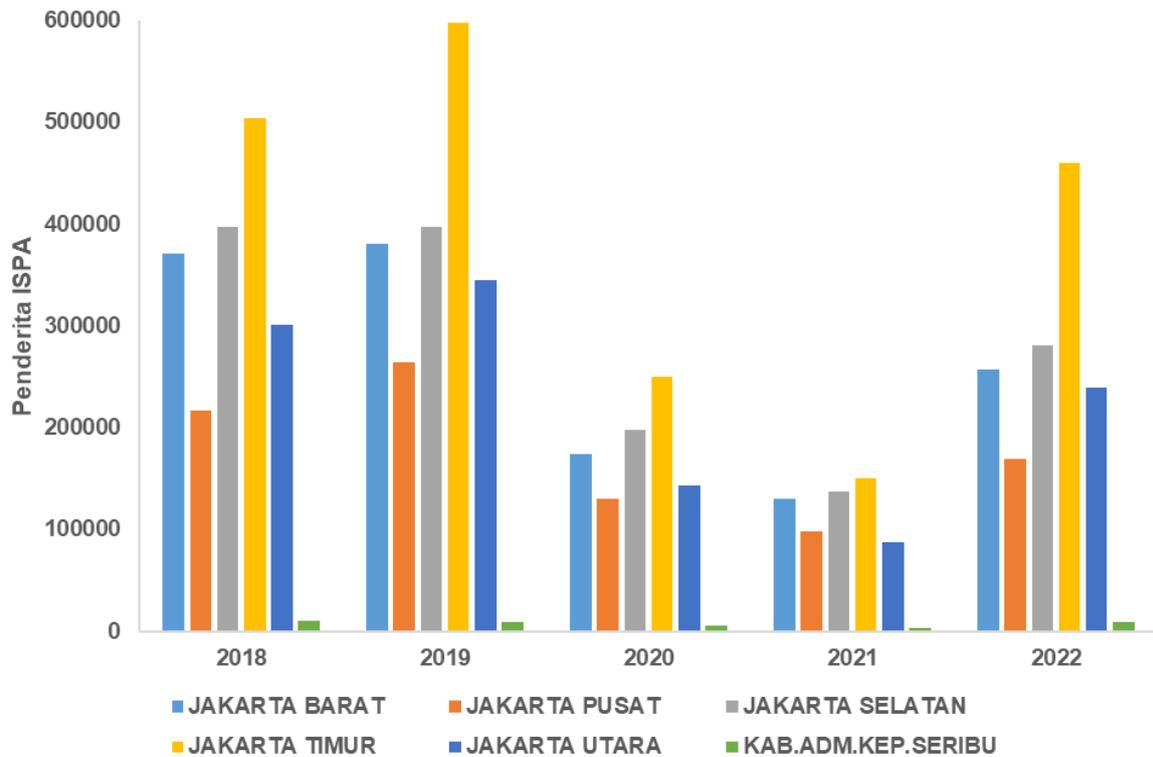
7.3 Analisis Biaya dan Manfaat Jaringan Pemantauan

Analisis biaya dan manfaat sangat penting dalam pengadaan jaringan pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta (Gambar 7.12). Dengan populasi yang besar dan tingkat polusi udara yang signifikan, investasi dalam sistem pemantauan yang canggih adalah langkah yang bijak. Pertama-tama, biaya pengadaan jaringan tersebut mencakup pembelian peralatan pemantauan, instalasi, pemeliharaan, dan pelatihan personel. Meskipun biayanya cukup signifikan, manfaat jangka panjangnya jelas melebihi investasi awal.



Gambar 7.15 Fishbone biaya dan manfaat dari jaringan pemantauan kualitas udara

Dalam hal manfaat, jaringan pemantauan kualitas udara dapat memberikan informasi *real-time* tentang tingkat polusi di berbagai lokasi, yang dapat digunakan oleh otoritas dan masyarakat untuk mengambil tindakan pencegahan dan mitigasi. Ini dapat menyelamatkan nyawa dengan mengurangi risiko penyakit pernapasan dan masalah kesehatan lainnya yang disebabkan oleh polusi udara. Hal ini perlu menjadi perhatian mengingat jumlah penderita ISPA di DKI Jakarta cukup tinggi dan menyebar merata di berbagai wilayah kota administratif (Gambar 7.13). Selain itu, jaringan ini juga membantu mengidentifikasi sumber polusi yang spesifik, memungkinkan regulasi yang lebih efektif dan pengawasan terhadap perusahaan atau industri yang berpotensi mencemari udara. Dalam jangka panjang, ini dapat mengurangi biaya perawatan kesehatan akibat polusi udara dan meningkatkan kualitas hidup warga DKI Jakarta.



Gambar 7.16 Jumlah penderita ISPA DKI Jakarta periode 2018 - 2022 (Sumber data: Dinkes DKI Jakarta)

Selain itu, jaringan pemantauan ini juga dapat memiliki manfaat ekonomi. Informasi kualitas udara yang akurat dapat membantu mengurangi dampak negatif terhadap sektor pariwisata dan investasi, karena wilayah yang memiliki udara bersih cenderung lebih menarik bagi wisatawan dan investor. Jadi, sementara biaya pengadaan jaringan pemantauan mungkin tinggi, manfaatnya dalam hal kesehatan masyarakat, lingkungan, dan ekonomi jangka panjang sangat berharga dan harus dipertimbangkan dengan serius dalam kebijakan pembangunan DKI Jakarta.

Dalam kajian ini, penyajian biaya dan manfaat disampaikan dengan melihat berbagai komponen di dalamnya (Tabel 7.4). Sebagai contoh, dalam menganalisis manfaat, kajian ini fokus

pada estimasi jumlah korban jiwa yang dapat dikurangi akibat polusi udara (berkaitan dengan penyakit ISPA). Kemudian, kajian ini juga menghitung penurunan biaya pengobatan yang dilakukan oleh masyarakat baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Terkait dengan kebutuhan biaya, kajian ini berfokus pada biaya yang dibutuhkan dalam mengembangkan SPKU, LCS, dan *mobile station*. Komponen biaya tersebut di antaranya meliputi biaya pengembangan, operasional, dan perawatan. Secara umum, jumlah pengadaan jaringan pemantauan kualitas udara di setiap wilayah di DKI Jakarta berbeda-beda, menyesuaikan dengan kebutuhan dan peruntukan dari jaringan tersebut, sehingga biaya yang dibutuhkan juga berbeda-beda tiap wilayah.

Tabel 7.3 Informasi biaya dan manfaat

KOMPONEN	JAKPUS	JAKTIM	JAKSEL	JAKBAR	JAKUT	P. 1000
Jumlah Penduduk	1.106.293	3.298.225	2.401.763	2.607.909	1.873.064	30.017
Manfaat						
Jumlah terdampak ISPA 2022 Data Dinkes DKI Jakarta	169.273	459.662	281.090	256.758	239.846	9.120
Jumlah kasus per 100.000 populasi	15.301	13.937	11.703	9.845	12.805	
Rataan konsentrasi polutan PM2.5 (ug/m3)	36,29	50,87	40,55	40,44	36,74	
Rataan konsentrasi polutan PM10 (ug/m3)	54,75	67,65	59,70	55,40	66,24	
Rataan konsentrasi polutan NO ₂ (ug/m3)	35,09	23,07	20,27	26,00	32,31	
Estimasi jumlah korban yang dapat dikurangi (jangka pendek) untuk semua umur	7.454	20.047	10.157	8.549	13.130	
Estimasi jumlah korban yang dapat dikurangi (jangka panjang) umur >30	109.828	372.940	192.258	163.485	168.615	
Estimasi jumlah korban yang dapat dikurangi (jangka panjang) umur 0-5	31.357	111.402	57.122	52.060	44.900	
Manfaat kesehatan (penurunan biaya pengobatan) jangka pendek (Dalam Triliun Rupiah)	0,67	2	1	1	1,33	
Manfaat kesehatan (penurunan biaya pengobatan) jangka panjang (Dalam Triliun Rupiah)	15,12	52,2	27	23,4	23,04	
Biaya						
Usulan SPKU tambahan (Dalam Milyar Rupiah)	0	35	7	28	14	7
Biaya perawatan SPKU/Tahun (Dalam Milyar Rupiah)	1	6	2	5	3	1
Biaya Operasional SPKU	0,5	3,0	1	2,5	1,5	0,5
Usulan <i>Low-cost sensor</i> tambahan (Dalam Milyar Rupiah)	0,45	0,90	0,90	1,05	0,75	0,45
Biaya perawatan <i>Low-cost/ Tahun</i> (Dalam Milyar Rupiah)	0,20	0,45	0,45	0,50	0,40	0,20

KOMPONEN	JAKPUS	JAKTIM	JAKSEL	JAKBAR	JAKUT	P. 1000
Biaya operasional Low-Cost	0,06	0,14	0,14	0,15	0,12	0,06
Usulan <i>Mobile Station</i> tambahan (Dalam Milyar Rupiah)	0	3	0	0	3	0
Biaya perawatan <i>Mobile Station</i> /Tahun (Dalam Milyar Rupiah)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0
Biaya operasional <i>Mobile Station</i>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0
Total biaya (Milyar Rupiah)	6,8	49,8	12,3	38,0	23,6	9,2

7.4 Kesimpulan Desain Pemanfaatan Jaringan Stasiun

Pemasangan jaringan pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta (SPKU referensi, indikatif LCS, dan *mobile station*) mempertimbangkan karakteristik wilayah pemantauan dan kebutuhan spesifik (peruntukan) pemantauan di wilayah tersebut. Hal ini berhubungan dengan parameter apa saja yang diukur dalam suatu jaringan pemantauan. Karbon monoksida adalah emisi yang paling banyak dihasilkan kendaraan bermotor. NO_x dan VOC dihasilkan dari emisi kendaraan bermotor yang akan menghasilkan O₃ sehingga ketiga parameter ini perlu dipertahankan. Selain itu, terdapat pertimbangan jangkauan masing-masing parameter. Pada skala menengah terdapat parameter CO dengan jangkauan 100-500 m, Skala lingkungan/*neighborhood* (500 m - 4 km) terdapat parameter SO₂, PM₁₀, dan VOCS, serta pada skala Urban/Perkotaan (4-50 km) terdapat parameter O₃, PM_{2.5}, NO₂, NO_x, dan NO. Kondisi dan perbedaan arah angin juga menjadi salah satu pertimbangan dalam penentuan parameter di setiap jaringan stasiun. Parameter utama yang diukur dalam *Low-cost sensor* (LCS) terkait dengan polusi udara biasanya adalah Partikulat Matter (PM). Dalam mengoperasikan *mobile station* untuk pemantauan kualitas udara, parameter kimia yang diukur oleh setiap Unit adalah: O₃, SO₂, NO_x, NO, NO₂, CO, THC, PM₁₀, PM_{2.5}.

Kajian ini juga mempertimbangkan metode yang akan digunakan. Terdapat dua metode utama yang diakui sebagai metode referensi di dalam melakukan pemantauan pencemaran udara, yaitu *Federal Reference Methods* (FRMs) dan *Federal Equivalent Methods* (FEMs). FRM merupakan metode utama yang digunakan untuk mengumpulkan dan menganalisis sampel berdasarkan standard US EPA. Sedangkan FEM merupakan metode alternatif yang memiliki kemampuan seakurat mungkin seperti metode FRM. Metode indikatif juga dipertimbangkan untuk digunakan sebagai upaya melengkapi jaringan pemantauan di DKI Jakarta.

Melalui penempatan SPKU, LCS, dan *mobile station* yang lebih spesifik ini, diharapkan data yang diperoleh dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang variasi kualitas udara di berbagai bagian DKI Jakarta. Ini sejalan dengan upaya pengelolaan data dan informasi serta partisipasi para pihak secara terintegrasi sesuai PERPRES 39/2019 yang diperlukan dalam pemahaman dan pemanfaatan pemantauan variasi spasial kualitas udara DKI Jakarta. Pemanfaatan ini meliputi parameter apa saja yang akan diukur dalam suatu jaringan pemantauan, metode dan teknologi apa yang akan digunakan, serta bagaimana analisis biaya dan manfaat dari pemasangan jaringan pemantauan. Hal ini akan menjadi tambahan berharga dalam mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam upaya menjaga kualitas udara yang sehat untuk masyarakat dan lingkungan di wilayah ini. Kombinasi jaringan pemantauan kualitas udara DKI Jakarta ini akan menjadi modalitas utama untuk hasil dan manfaat lebih komprehensif dan akurat.

8 ANALISIS MOCK-UP SISTEM PEMANTAUAN KUALITAS UDARA

8.1 Daftar Fitur dan Fungsi Sistem Pemantauan Kualitas Udara

Secara umum, Sistem Pemantauan Kualitas Udara ini terdiri atas dua aktor utama, yaitu Administrator dan Pengunjung web (*Guest*). Administrator merupakan pengelola utama dari Dashboard Sistem Pemantauan Kualitas Udara yang memiliki kewenangan khusus untuk menambah, mengubah, memperbarui, dan menghapus data pada seluruh kategori data yang terdapat dalam sistem. Selain itu, sistem ini memiliki halaman-halaman web yang dapat diakses oleh pengunjung tanpa harus mendaftar atau memiliki akun pada sistem.

Halaman publik, Sistem Pemantauan Kualitas Udara ini terdiri atas beberapa menu yaitu Lihat Dashboard, Lihat Grafik Kualitas Udara (KU), lihat informasi stasiun, lihat data unsur KU, Lihat Rekomendasi Hasil KU, Lihat Peta Pendukung, Lihat Data Iklim, dan Lihat FAQ. Halaman-halaman tersebut dapat diakses tanpa perlu masuk/login terlebih dahulu ke dalam sistem. Sementara, beberapa menu utama bagi Administrator Dashboard, Manajemen Stasiun, Manajemen Data Hasil Pengukuran KU, Manajemen Hasil Verifikasi KU, Manajemen FAQ, Manajemen Rekomendasi KU, Manajemen Data Iklim, Manajemen Peta Pendukung, Ubah Password, dan Ubah Profil. Deskripsi singkat dan *role* yang dapat mengakses menu tersebut ditunjukkan pada Tabel 8.1. Daftar fitur dan fungsi digunakan untuk merinci masing-masing fitur beserta fungsi yang bisa dijalankan oleh fitur tersebut. Setiap dalam pembuatan sebuah aplikasi, pasti memiliki banyak fitur. Kebutuhan perincian fitur dan fungsi sebagai panduan serta batasan aplikasi yang akan dikembangkan. Sehingga, dalam tahap proses pengembangan aplikasi dapat terukur kebutuhan serta kapasitas sistemnya.

Tabel 8.1 Daftar fungsi dan deskripsi dari sistem pemantauan kualitas udara

No	Judul Fitur	Deskripsi	Access Role
1	Beranda	Fitur yang digunakan untuk menampilkan halaman utama aplikasi. Dari sisi administrator, pada fitur ini menampilkan pengaturan stasiun, pengaturan rekomendasi, pengaturan FAQ, pengaturan Hasil Data Pengukuran, Pengaturan Data Iklim, Pengaturan Peta Pendukung,	Administrator, <i>Guest</i>

No	Judul Fitur	Deskripsi	Access Role
		dan pengaturan profil administrator. Pada sisi Guest, dashboard menampilkan peta sebaran yang dapat diubah visualisasinya berdasarkan layer yang terpilih seperti layer Peta pendukung dan data iklim.	
2	Manage Stasiun	Laman ini menampilkan daftar stasiun dan peta stasiun yang terdapat pada database. Data pada daftar tersebut dapat dicari berdasarkan id stasiun, nama stasiun, atau kota, dan dapat disaring berdasarkan rentang waktu atau kota. Selain fungsi tersebut, administrator juga dapat menambahkan, menghapus, dan mengubah data stasiun pada laman ini.	Administrator
	Tambah Stasiun	Fungsi ini bertujuan untuk mendaftarkan stasiun baru yang belum terekam pada database system.	Administrator
	Hapus Stasiun	Fungsi ini berguna untuk menonaktifkan/menghapus stasiun yang sebelumnya terdaftar pada system.	Administrator
	Ubah Stasiun	Fungsi Ubah Stasiun berguna untuk mengubah data stasiun yang sebelumnya sudah tersimpan pada database.	Administrator
	Lihat Informasi Stasiun	Fungsi ini memberikan detail informasi dari stasiun yang terpilih, seperti lokasi, waktu update terakhir, data terakhir, dan kategori KU, dan grafik KU yang dapat diubah rentang waktunya, ringkasan data unsur KU, dan rekomendasi atas nilai parameter KU.	Administrator, Guest/Public
3	Ubah Profil	Laman ini menampilkan data dari administrator. Selain itu, administrator juga dapat mengubah	Administrator

No	Judul Fitur	Deskripsi	Access Role
		data profil tersebut.	
4	Ubah Password	Laman ini digunakan untuk perubahan password. Administrator perlu memasukkan password lama dan password baru yang akan digunakan.	Administrator
5	Login/Logout	Fitur login/logout merupakan fungsi untuk masuk dan keluar dari aplikasi Pemantauan KU.	Administrator
6	Manage Peta Pendukung	Laman ini berisi informasi dalam bentuk peta mengenai topografi, tutupan lahan, dan lainnya. Administrator dapat memperbarui koneksi peta pendukung tersebut dengan melakukan sinkronisasi pada API atau WFS yang terhubung, atau juga dapat mengunggah file SHP secara manual.	Administrator
	Connect API	Fungsi ini berguna untuk memperbarui data peta melalui API.	Administrator
	Connect WFS	Fungsi ini berguna untuk memperbarui data peta melalui WFS.	Administrator
	Upload SHP	Fungsi ini berguna untuk memperbarui data peta menggunakan file SHP yang diunggah secara manual.	Administrator
	Lihat Peta Pendukung	Pada sisi <i>Guest/Public</i> , peta pendukung akan ditampilkan pada halaman dashboard pengunjung. Pengguna dapat memilih layer yang diinginkan pada <i>dropdown</i> yang tersedia.	<i>Guest</i>
7	Manage Data Iklim	Laman ini berisi daftar data iklim yang disinkronisasikan dengan sistem lain. Data tersebut dapat diperbarui dengan menggunakan API atau WFS.	Administrator
	Connect WFS	Fungsi ini berguna untuk memperbarui data peta melalui WFS	Administrator
	Connect API	Fungsi ini berguna untuk memperbarui data peta melalui API.	Administrator
	Lihat Data Iklim	Fungsi ini ditampilkan pada salah	<i>Guest</i>

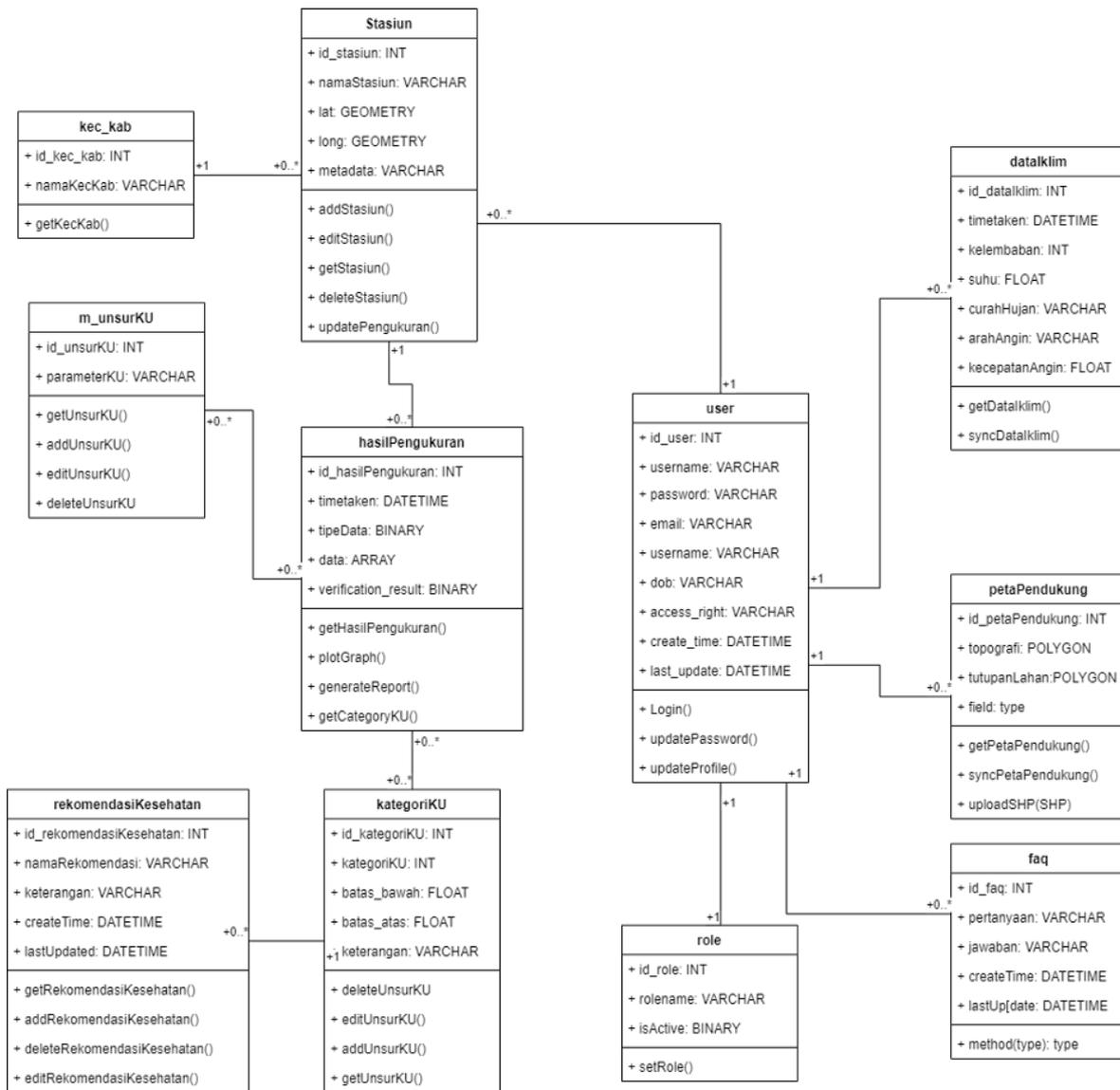
No	Judul Fitur	Deskripsi	Access Role
		satu layer pada peta yang ditampilkan di halaman dashboard pengunjung. Pengunjung dapat menambahkan layer pada peta tersebut menggunakan dropdown yang tersedia.	
8	Lihat Hasil Verifikasi Pengukuran	Laman ini merupakan laman yang berisi hasil verifikasi data hasil pengukuran yang didapatkan dari stasiun.	Administrator
9	Lihat data Hasil Pengukuran KU	Laman ini berisi rekap data pengukuran KU yang didapatkan dari seluruh stasiun. Data pada daftar tersebut dapat dicari berdasarkan id stasiun, nama stasiun, atau kota, dan dapat disaring berdasarkan rentang waktu atau kota. Selain fungsi tersebut, administrator juga dapat mengunduh data grafik pengukuran KU, mengunduh laporan KU, dan koneksi API.	Administrator
	Connect API	Fungsi ini berguna untuk memperbarui data hasil pengukuran KU melalui API.	Administrator
	Download Data Grafik Pengukuran KU	Fungsi ini bertujuan untuk mengunduh grafik pengukuran KU dalam format .PNG.	Administrator
	Download Laporan KU	Fungsi ini bertujuan untuk mengunduh laporan KU dalam bentuk grafik pengukuran KU dalam bentuk PDF atau laporan data dalam bentuk file .xls.	Administrator
	Lihat Grafik KU (Hourly/Daily)	Fungsi ini ditampilkan pada detail informasi masing-masing stasiun. Grafik dapat diubah berdasarkan rentang waktu visualisasinya.	Guest
	Lihat Data Unsur KU	Fungsi ini ditampilkan pada detail informasi masing-masing stasiun. Data yang ditampilkan merupakan data dalam satu hari terakhir, namun pengguna dapat mengubah rentang	Guest

No	Judul Fitur	Deskripsi	Access Role
		waktu data yang ingin dilihat.	
10	Manage Rekomendasi	Laman ini berisi pengaturan data rekomendasi masing-masing parameter KU yang dipantau pada stasiun. Pada laman ini, administrator dapat menambah, mengubah, atau menghapus data rekomendasi dari masing-masing parameter KU tersebut,	Administrator
	Ubah Data Rekomendasi untuk Masing-Masing Parameter	Fungsi ini bertujuan untuk mengubah data rekomendasi pada parameter KU terpilih yang sebelumnya telah terekam pada database system.	Administrator
	Tambah Data Rekomendasi untuk Masing-Masing Parameter	Fungsi ini berguna untuk menambahkan data rekomendasi untuk parameter KU terpilih.	Administrator
	Hapus Data Rekomendasi untuk Masing-Masing Parameter	Fungsi ini berguna untuk menghapus data rekomendasi yang sebelumnya terdaftar pada system.	Administrator
	Lihat Rekomendasi Parameter KU	Fungsi ini memberikan detail informasi rekomendasi berdasarkan data dari stasiun yang terpilih. Data yang ditampilkan berupa grafik tingkatan kategori masing-masing parameter KU.	Guest
11	Manage FAQ	Laman ini berisi daftar pertanyaan yang umumnya ditanyakan oleh pengguna system. Administrator dapat melihat, mengubah, menambah, dan menghapus data pada daftar FAQ tersebut.	Administrator
	Tambah FAQ	Fungsi ini berguna untuk menambahkan data FAQ. Administrator dapat mengisikan pertanyaan dan jawaban yang diperlukan.	Administrator
	Edit FAQ	Fungsi ini berguna untuk mengubah	Administrator

No	Judul Fitur	Deskripsi	Access Role
		data FAQ.	
	Hapus FAQ	Fungsi ini berguna untuk menghapus data FAQ.	Administrator
	Lihat FAQ	Guest dapat melihat daftar FAQ pada laman FAQ yang tersedia.	Guest/Public

8.2 Class Diagram

Class diagram adalah jenis diagram yang menggambarkan struktur sistem berorientasi objek dengan menunjukkan kelas, atribut, metode, dan hubungan antara objek. *Class diagram* termasuk diagram struktur statis, yang artinya tidak menjelaskan perilaku sistem, melainkan komponen-komponen yang ada di dalamnya. *Class diagram* dapat digunakan untuk berbagai tujuan, seperti mengilustrasikan model data untuk sistem informasi, memberikan gambaran umum tentang skema aplikasi, menyampaikan kebutuhan spesifik dari sistem kepada pihak bisnis, membuat bagan terperinci yang menyoroti kode yang perlu diprogram dan diterapkan, dan menyediakan deskripsi implementasi independen dari tipe data yang digunakan dalam sistem. *Class diagram* atau diagram kelas juga merupakan bagian terpenting dari UML (*Unified Modelling Language*). UML adalah pemodelan dalam hal implementasi sistem, yang dibutuhkan ketika ingin membangun sebuah aplikasi. Selain itu, diagram kelas dapat membantu memvisualisasikan struktur setiap kelas dalam sistem. Bagian UML ini juga menunjukkan kelas, kolaborasi, antarmuka, dan hubungan dalam sistem koleksi (Elaasar & Labiche, 2011). *Class diagram* Kualitas Udara ditunjukkan pada Gambar 8.1.



Gambar 8.1 Class diagram sistem pengukuran kualitas udara

8.3 Data Flow Diagram (DFD)

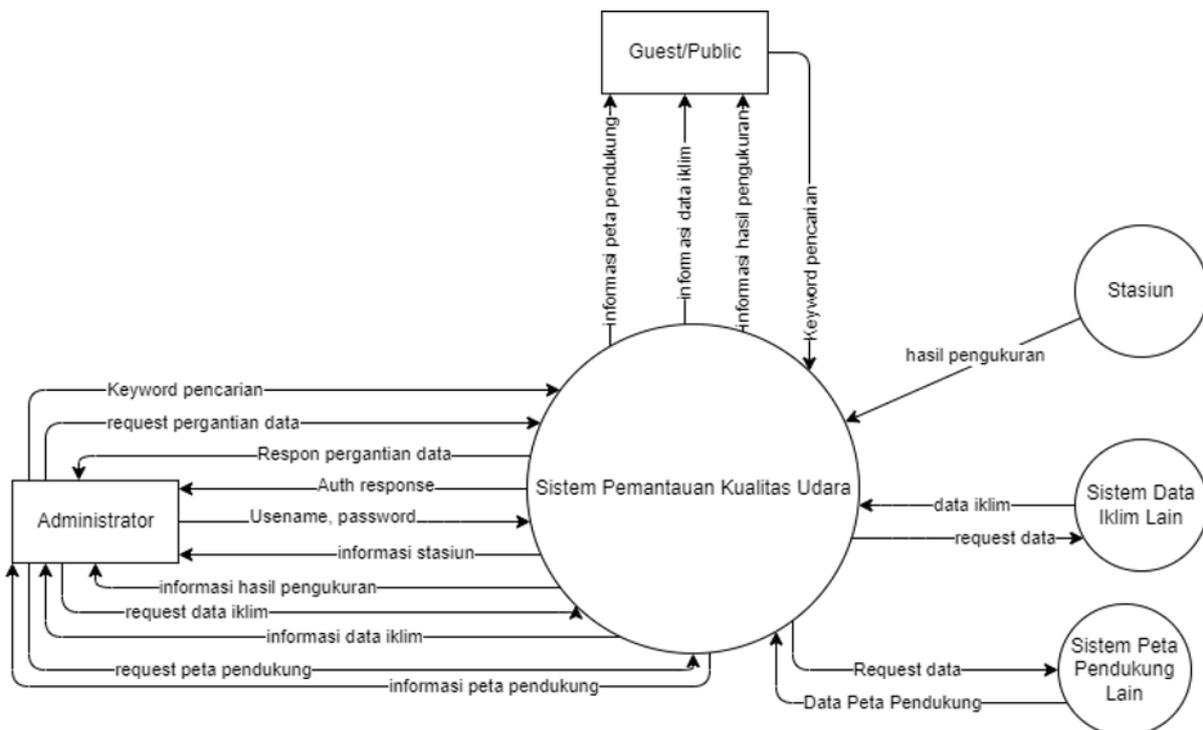
Data flow diagram (DFD) adalah diagram yang menggambarkan aliran data dari suatu proses atau sistem informasi. Diagram ini memberikan informasi input dan output dari setiap proses atau fungsi yang terlibat. Diagram ini juga digunakan sebagai alat penghubung antara perancang dan pemakai sistem, serta memudahkan pengembang aplikasi dalam proses pembuatan sistem. Diagram ini dapat berbentuk *flowchart*, *bubble chart*, model proses, atau model fungsi.

Data flow diagram memiliki beberapa jenis berdasarkan tingkat detailnya, yaitu:

- DFD level 0: Diagram yang memberikan gambaran interaksi terhadap pihak eksternal. Diagram ini hanya mengandung fungsi diagram paling dasar dan tidak memuat informasi yang berhubungan dengan database pada data store.

- DFD level 1: Diagram yang memberikan gambaran proses utama dan sub-proses yang ada di dalam sistem. Diagram ini menunjukkan aliran data antara proses utama dan sub-proses, serta data store yang digunakan.
- DFD level 2: Diagram yang memberikan gambaran detail dari setiap sub-proses yang ada di DFD level 1. Diagram ini menunjukkan aliran data antara sub-proses dan entitas eksternal, serta data store yang digunakan.

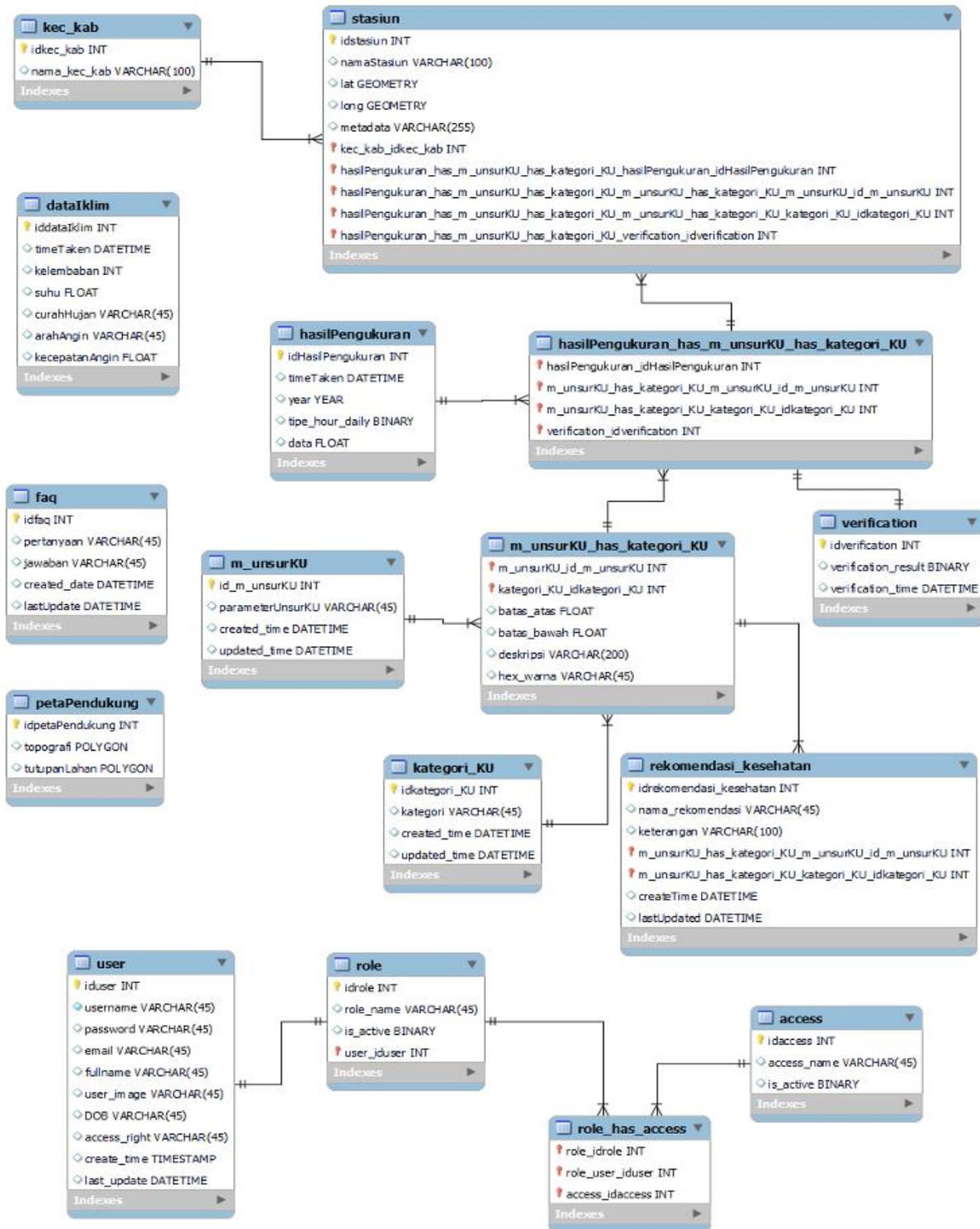
Data flow diagram memiliki beberapa fungsi, seperti visualisasi sistem dan perancangan model, dan penyampaian rancangan sistem. DFD level 0 dari sistem pengukuran kualitas udara ditunjukkan Gambar 8.2.



Gambar 8.2 DFD Level 0 Sistem pemantauan kualitas udara

8.4 Entity Relationship Diagram (ERD)

Entity Relationship Diagram (ERD) adalah diagram yang menggambarkan hubungan antara entitas (objek) dalam sebuah database. ERD terdiri dari tiga komponen utama: entitas, atribut, dan hubungan. ERD menggunakan simbol-simbol seperti kotak, elips, belah ketupat, dan garis untuk merepresentasikan komponen dan hubungan antar komponen tersebut. ERD digunakan untuk merancang atau men-debug database relasional di bidang rekayasa perangkat lunak, sistem informasi bisnis, pendidikan, dan penelitian (Q. Li & Chen, 2009). ERD *system* pengukuran kualitas udara ditunjukkan pada Gambar 8.3.

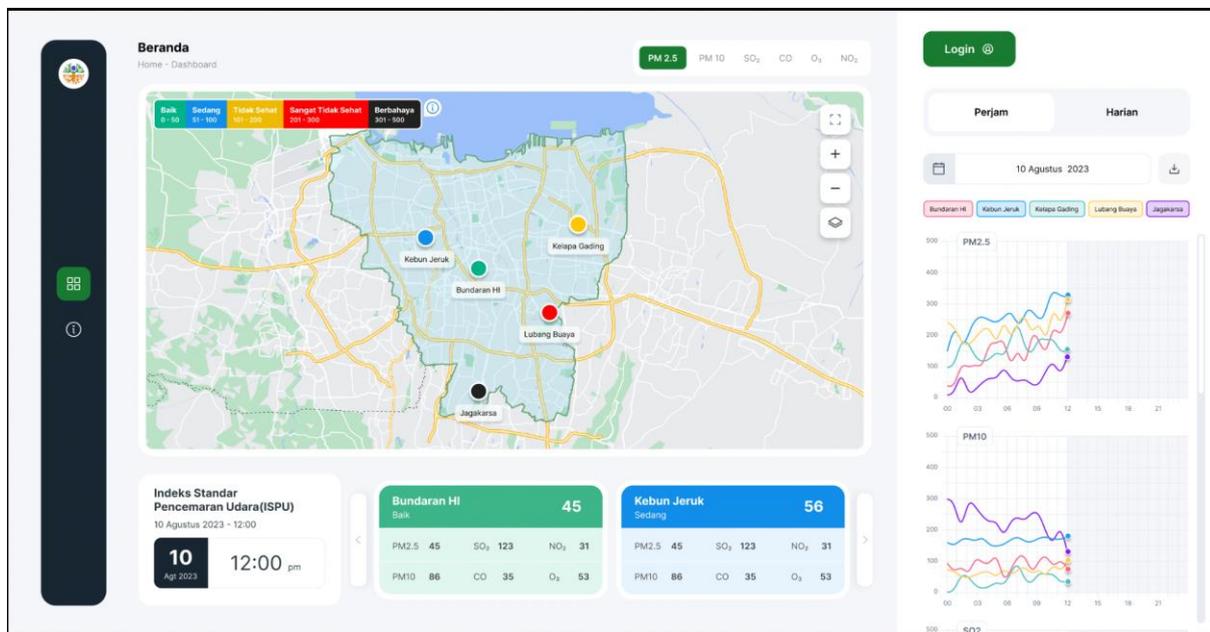


Gambar 8.3 Class diagram sistem pengukuran kualitas udara

8.5 Design Guidelines and Mock-up Prototyping

Tampilan pengguna (UI/*User Interface*) dan pengalaman pengguna (UX/*User Experience*) dalam melihat serta mengoperasikan suatu sistem *website* dapat memudahkan pengguna dalam menggunakan sistem tersebut. Salah satu

pendekatan dalam pengembangan sistem *website* untuk mengakomodir kebutuhan pengguna dari segi tampilan serta tata cara pengoperasian *website* yaitu berupa tampilan *mock-up*. *Mock-up* memberikan gambaran yang paling realistis dan menyerupai dari hasil final yang ingin ditunjukkan. *Mock-up* juga memberikan arahan berupa bentuk, warna, letak dan posisi menu, tombol-tombol, berserta animasi saat sistem dioperasikan. Tampilan *mock-up* ini yang nantinya dijadikan landasan pengembangan sistem saat memasuki eksekusi final.



Gambar 8.4 *Prototype* sistem pemantauan kualitas udara

9 SEKILAS PANDUAN PEMANTAUAN KUALITAS UDARA

Panduan pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta bertujuan untuk meningkatkan aktivitas pemantauan kualitas udara, khususnya dalam mengoperasionalisasi jaringan kualitas udara dan inventarisasinya secara keseluruhan. Diuraikan dalam dokumen panduan pemantauan kualitas udara, panduan ini mencakup langkah-langkah teknis, prosedur operasi standar (SOP), dan rekomendasi berdasarkan US *Environmental Protection Agency* (EPA), menyarankan penggunaan *Federal Reference Method* (FRM) dan *Federal Equivalent Method* (FEM) untuk parameter kimia seperti PM₁₀, PM_{2.5}, NO_x, SO₂, CO, dan O₃. Sementara metodologi FRM pada pemantauan di Stasiun Pemantauan Kualitas Udara (SPKU) dan *mobile station*, sedangkan LCS memanfaatkan sensor udara. Adapun aturan pelaporan data untuk SPKU, LCS, dan *mobile station* untuk masing-masing parameter kimia dan meteorologi dilaporkan secara detail di dalam panduan pengamatan kualitas udara. Panduan ini ditujukan untuk menjadi acuan mulai dari pemerintah dan industri hingga masyarakat umum, dalam upaya meningkatkan kualitas udara di Indonesia.

Adapun paduan detail terkait pemantauan kualitas udara disajikan dalam buku terpisah sebagai salah satu luaran dalam kajian ini.



Gambar 9.1 Panduan pemantauan kualitas udara DLH DKI Jakarta 2023

10 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

10.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dalam kajian pemantauan kualitas udara DKI Jakarta 2023, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Adanya variabilitas musiman membutuhkan pengukuran harian yang kontinyu pada satu lokasi pengukuran sehingga variabilitas harian dapat terukur secara lengkap. Oleh karena itu *fixed station* SPKU yang ada saat ini sangat penting untuk dipertahankan bahkan ditambah jumlahnya. Penambahan jumlah SPKU untuk meningkatkan kerapatan distribusi SPKU penting untuk meningkatkan keragaman sekaligus ketelitian hasil analisis kualitas udara wilayah di DKI Jakarta. Berdasarkan analisis PCA, untuk mendapatkan distribusi area pengukuran yang baik maka SPKU yang tersedia saat ini harus dipertahankan. Selain itu, diantara masing-masing SPKU yang berjarak cukup jauh namun memiliki keragaman yang kecil perlu dipasang SPKU sehingga dapat diketahui sumber polutan dan faktor penyebab kualitas udara yang ada di wilayah DKI Jakarta dengan lebih tepat.
2. Berdasarkan hasil analisis yang mendalam dengan mempertimbangkan berbagai komponen dan indikator, terutama terkait dengan pemantauan kualitas udara, DKI Jakarta telah menentukan kebutuhan untuk total 25 Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) referensi. Dari jumlah tersebut, 12 SPKU sudah terpasang, 13 SPKU usulan akan ditempatkan di daratan dan kepulauan DKI Jakarta, yang juga mempertimbangkan peruntukan spesifik, seperti pemukiman, perkantoran, pariwisata, *sub-urban*, dan kawasan latar kota (*background*). Selain SPKU, DKI Jakarta juga akan mengembangkan indikatif *Low-Cost Sensor* (LCS) sebagai bagian dari upaya melengkapi kebutuhan pemantauan kualitas udara sejumlah 44 titik. Saat ini, sudah tersedia 14 titik LCS yang akan digunakan dalam jaringan pemantauan, akan ditambahkan sekitar 27 LCS di berbagai wilayah daratan DKI Jakarta, serta 3 LCS tambahan di Kepulauan Seribu. Saat ini DKI Jakarta juga telah berhasil mengoperasikan 3 *mobile station* pemantauan kualitas udara di berbagai lokasi strategis dalam wilayah kota administratif DKI Jakarta, dan kajian ini merekomendasikan penambahan 2 *mobile station* agar dapat mencakup seluruh wilayah kota administratif DKI Jakarta.
3. Melalui penempatan SPKU, LCS, dan *mobile station* yang lebih spesifik ini, diharapkan data yang diperoleh dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang variasi kualitas udara di berbagai bagian DKI Jakarta. Ini sejalan dengan upaya pengelolaan data dan informasi serta partisipasi para pihak secara terintegrasi sesuai PERPRES 39/2019 yang diperlukan dalam

pemahaman dan pemanfaatan pemantauan variasi spasial kualitas udara DKI Jakarta. Pemanfaatan ini meliputi parameter apa saja yang akan diukur dalam suatu jaringan pemantauan, metode dan teknologi apa yang akan digunakan, serta bagaimana analisis biaya dan manfaat dari pemasangan jaringan pemantauan. Hal ini akan menjadi tambahan berharga dalam mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam upaya menjaga kualitas udara yang sehat untuk masyarakat dan lingkungan di wilayah ini. Kombinasi jaringan pemantauan kualitas udara DKI Jakarta ini akan menjadi modalitas utama untuk hasil dan manfaat lebih komprehensif dan akurat.

4. Desain *mock-up* digunakan sebagai representasi visual atau prototipe dari sistem yang dirancang untuk memantau kualitas udara. Hal ini mencakup penggunaan grafik, tampilan data, dan *interface* yang memungkinkan pemantauan dan pemahaman yang lebih baik tentang tingkat polusi udara dan parameter kualitas udara. *Mock-up* sistem ini dapat digunakan untuk pengujian konsep, pelatihan, dan penyusunan rencana implementasi sistem pemantauan kualitas udara. *Mock-up* memberikan gambaran yang paling realistis dan menyerupai dari hasil final yang ingin ditunjukkan. *Mock-up* juga memberikan arahan berupa bentuk, warna, letak dan posisi menu, tombol-tombol, beserta animasi saat sistem dioperasikan. Tampilan *mock-up* ini yang nantinya dijadikan landasan pengembangan sistem saat memasuki eksekusi final.
5. Panduan pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta bertujuan untuk meningkatkan aktivitas pemantauan kualitas udara, khususnya dalam mengoperasionalkan jaringan kualitas udara dan inventarisasinya secara keseluruhan. Diuraikan dalam dokumen panduan pemantauan kualitas udara, panduan ini mencakup langkah-langkah teknis, prosedur operasi standar (SOP), dan rekomendasi berdasarkan US *Environmental Protection Agency* (EPA).

10.2 Rekomendasi

Kajian ini merekomendasikan pengadaan jaringan pemantauan tersebut harus didasarkan pada evaluasi kebutuhan dan kapasitas pemerintah DKI Jakarta (Tabel 10.1). Perencanaan pengadaan jaringan pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta harus didasarkan pada berbagai faktor yang mencakup prioritas anggaran, teknologi yang tersedia, serta perubahan dalam kualitas udara, populasi, dan industri. Dalam upaya memantau dan mengelola kualitas udara yang semakin penting, rencana ini harus mencakup tiga komponen utama: Stasiun Pemantauan Kualitas Udara (SPKU) atau *fixed station*, sensor berbiaya rendah, dan stasiun *mobile*.

Pemasangan Stasiun Pemantauan Kualitas Udara (SPKU) atau *fixed station* merupakan langkah kunci dalam mengukur kualitas udara secara kontinu di lokasi

tetap yang strategis di seluruh wilayah DKI Jakarta. Lokasi stasiun harus dipilih berdasarkan analisis data yang mencerminkan tingkat polusi yang tinggi atau area dengan dampak industri yang signifikan. Prioritas anggaran harus dialokasikan untuk memastikan peralatan yang berkualitas tinggi dan pemeliharaan rutin agar data yang dihasilkan dapat dipercaya.

Penggunaan sensor berbiaya rendah dapat memperluas jaringan pemantauan dengan biaya yang lebih terjangkau. Teknologi sensor ini telah berkembang pesat dan dapat digunakan untuk mengukur parameter kualitas udara seperti PM2.5, PM10, oksida nitrogen, dan lainnya. Dengan mengintegrasikan sensor ini dalam jaringan, informasi *real-time* tentang kualitas udara dapat diperoleh dengan lebih luas dan detail.

Mobile station dapat digunakan untuk pemantauan kualitas udara yang lebih dinamis, terutama untuk mengidentifikasi sumber polusi bergerak seperti lalu lintas atau peristiwa darurat. Stasiun ini dapat ditempatkan di kendaraan patroli atau digunakan secara selektif untuk mengambil sampel di area yang berpotensi menjadi masalah.

Selain itu, perencanaan harus selalu memperhatikan perubahan dalam kualitas udara yang dapat dipengaruhi oleh pertumbuhan populasi dan perubahan dalam industri. Upaya ini harus bersifat adaptif, memungkinkan pengoptimalan jaringan pemantauan seiring dengan perubahan kebutuhan.

Dengan merancang jaringan pemantauan yang komprehensif, memprioritaskan alokasi anggaran, mengadopsi teknologi terkini, dan mempertimbangkan dinamika dalam kualitas udara, populasi, dan industri, DKI Jakarta dapat lebih efektif dalam melindungi kesehatan masyarakat dan lingkungan sekitarnya dari dampak buruk polusi udara.

Tabel 10.1 Usulan pengadaan jaringan pemantau kualitas udara (SPKU Referensi, Indikatif *Low-cost, mobile station*)

Jenis Pemantau	Jumlah Semua	Jumlah Eksisting	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
SPKU	18	5	-	4	3	-	3	-	3	-
<i>Low-cost Sensor</i>	44	14	9	-	10	6	-	5	-	-
<i>Mobile Station</i>	5	3		1			1			

DAFTAR PUSTAKA

- Air pollution*. (n.d.). Who.int. Diakses September, 2023, dari <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>
- Air pollution, ecosystems and biodiversity*. (n.d.). Unece.org. Diakses September, 2023, dari <https://unece.org/air-pollution-ecosystems-and-biodiversity>
- Air quality guidelines for Europe. World Health Organization. Regional Office for Europe. (2000). *World Health Organization*.
- Air Quality Monitoring System Assessment Report and Recommendations for DKI Jakarta. (2016). In *Breath Easy Jakarta Project*.
- Alfano, B., Barretta, L., Del Giudice, A., De Vito, S., Di Francia, G., Esposito, E., Formisano, F., Massera, E., Miglietta, M. L., & Polichetti, T. (2020). A review of low-cost particulate matter sensors from the developers' perspectives. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(23), 6819. <https://doi.org/10.3390/s20236819>
- Amarillo, A. C. (2018). Seasonal and diurnal variations in air pollution and mortality in Santiago, Chile. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 11(5), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0562-1>
- Ambient Air Monitoring Strategy for State, Local, and Tribal Air ...* - EPA. Diakses 17 September 2023 dari https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-09/documents/aams_for_slts_-_final_dec_2008.pdf
- Awokola, B., Okello, G., Johnson, O., Dobson, R., Ouédraogo, A. R., Dibba, B., & Semple. (2022). Longitudinal Ambient PM_{2.5} Measurement at Fifteen Locations in Eight Sub-Saharan African Countries Using Low-Cost Sensors. *Atmosphere*, 13(10).
- Baklanov, A. (2014). Data clustering techniques for atmospheric composition data sets. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(20), 11597–11618. <https://doi.org/10.5194/acp-14-11597-2014>
- BAM 1020 beta attenuation mass monitor*. (2019, April 2). Met One Instruments; Met One Instruments, Inc. <https://metone.com/products/bam-1020/>
- Boer, E. P. J., Dekkers, A. L. M., & Stein, A. (2002). Optimization of a monitoring network for sulfur dioxide. *Journal of Environmental Quality*, 31(1), 121–128. <https://doi.org/10.2134/jeq2002.0121>
- BPS provinsi DKI Jakarta*. (n.d.). Bps.Go.Id. Retrieved October 2, 2023, from <https://jakarta.bps.go.id/indicator/12/1270/1/jumlah-penduduk-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-dki-jakarta.html>
- Buanawati, T. T., Huboyo, H. S., & Samadikun, B. P. (2017). *Kendaraan Pribadi Berdasarkan Metode International Vehicle Emission (Ive) di Beberapa Ruas Jalan Kota Semarang (Doctoral dissertation)*.
- Budiyono, A. (2001). Pencemaran Udara: Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan. *Berita Dirgantara*, 2(1), 21–27.

- Castell, N., Dauge, F. R., Schneider, P., Vogt, M., Lerner, U., Fishbain, B., Broday, D., & Bartonova, A. (2017). Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates? *Environment International*, 99, 293–302. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.007>
- Dewi, A. K., Purwanto, E., & Pandelaki, E. E. (2022). KAJIAN MORFOLOGI DAN PERKEMBANGAN PUSAT KOTA RIMBO BUJANG SEBAGAI WILAYAH EKS TRANSMIGRASI. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 21(2), 221–234. <https://doi.org/10.35760/dk.2022.v21i2.6830>
- Dewi, R. P., Khofianida, A., Agista, D. E., Arrasyid, F. P., Damayanti, S. I., & Putri, R. F. (2020). Land Use change in Jakarta Province: trend, types, and socio-demographic factors. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 451). IOP Publishing.
- Dockery, D. (1994). Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review of Public Health*, 15(1), 107–132. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.15.1.107>
- Dunlea, E. J., Herndon, S. C., Nelson, D. D., Volkamer, R. M., San Martini, F., Sheehy, P. M., Zahniser, M. S., Shorter, J. H., Wormhoudt, J. C., Lamb, B. K., Allwine, E. J., Gaffney, J. S., Marley, N. A., Grutter, M., Marquez, C., Blanco, S., Cardenas, B., Retama, A., Ramos Villegas, C. R., ... Molina, M. J. (2007). Evaluation of nitrogen dioxide chemiluminescence monitors in a polluted urban environment. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7(10), 2691–2704. <https://doi.org/10.5194/acp-7-2691-2007>
- Elaasar, M., & Labiche, Y. (2011). Diagram definition: A case study with the UML class diagram. In *Model Driven Engineering Languages and Systems* (pp. 364–378). Springer Berlin Heidelberg.
- Estrellan, C. R., & Iino, F. (2010). Toxic emissions from open burning. *Chemosphere*, 80(3), 193–207. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.03.057>
- Gani, S., Pant, P., Sarkar, S., Sharma, N., Dey, S., Guttikunda, S. K., AchutaRao, K. M., Nygard, J., & Sagar, A. D. (2022). Systematizing the approach to air quality measurement and analysis in low and middle income countries. *Environmental Research Letters*, 17(2), 021004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4a9en>
- Geografis DKI Jakarta Tahun 2020 - Unit Pengelola Statistik*. Statistik Jakarta. Diakses 15 Sep. 2023 dari <https://statistik.jakarta.go.id/geografis-dki-jakarta-tahun-2020/>
- Gerboles, M., Lagler, F., Rembges, D., & Brun, C. (2003). Assessment of uncertainty of NO₂ measurements by the chemiluminescence method and discussion of the quality objective of the NO₂ European Directive. *J Environ Monit*, 5(4), 529–540. <https://doi.org/10.1039/b302358c>
- Grimm, H., & Eatough, D. J. (2009). Aerosol measurement: the use of optical light scattering for the determination of particulate size distribution, and particulate mass, including the semi-volatile fraction. *Journal of the Air &*

- Waste Management Association* (1995), 59(1), 101–107.
<https://doi.org/10.3155/1047-3289.59.1.101>
- Health Effects of Particulate Matter: Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia. (2013). *World Health Organization*.
- Instruments, M. O., & Pass, G. (2011). *E-S Ampler Particulate Monitor*. 541, 1–58.
- Jia, X., Roels, J., Baets, R., & Roelkens, G. (2021). A miniaturised, fully integrated NDIR CO₂ sensor on-chip. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(16), 5347. <https://doi.org/10.3390/s21165347>
- Kendrick, C. M., Koonce, P., & George, L. A. (2015). Diurnal and seasonal variations of NO, NO₂ and PM_{2.5} mass as a function of traffic volumes alongside an urban arterial. *Atmospheric Environment*, 122, 133–141.
- Kurniawan, A. (2018). PENGUKURAN PARAMETER KUALITAS UDARA (CO, NO₂, SO₂, O₃ DAN PM₁₀) DI BUKIT KOTOTABANG BERBASIS ISPU. *Jurnal Teknosains*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.22146/teknosains.34658>
- Lestari, P., Damayanti, S., & Arrohan, M. K. (2020). Emission inventory of pollutants (CO, SO₂, PM_{2.5}, and NO_x) in Jakarta Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 489). IOP Publishing.
- Li, Q., & Chen, Y.-L. (2009). *Entity-Relationship Diagram. Modeling and Analysis of Enterprise and Information Systems*.
- Li, T., Zhou, X. C., Ikhumhen, H. O., & Difei, A. (2018). Research on the optimization of air quality monitoring station layout based on spatial grid statistical analysis method. *Environmental Technology*, 39(10), 1271–1283. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1327557>
- Lipi, R. (2018, July 26). *Mobilitas ulang-alik jabodetabek*. Pusat Riset Kependudukan BRIN; Pusat Penelitian Kependudukan LIPI. <https://kependudukan.brin.go.id/kajian-kependudukan/mobilitas-ulang-alik-jabodetabek/>
- Lu, H., Lyu, X., Cheng, H., Ling, Z., & Guo, H. (2019). Overview on the spatial–temporal characteristics of the ozone formation regime in China. *Environmental Science. Processes & Impacts*, 21(6), 916–929. <https://doi.org/10.1039/c9em00098d>
- Mandiri, J. M. (n.d.). *Alat Penganalisis Gas Sulfur Dioksida SO₂ digital*. Java-groups.com. Diakses 15 September, 2023, dari <https://java-groups.com/product-1282-alat-penganalisis-gas-sulfur-dioksida-so2-digital.html>
- Menuju Udara Bersih Jakarta*. vital strategies . Diakses 17 September 2023 dari <https://www.vitalstrategies.org/wp-content/uploads/Menuju-Udara-Bersih-Jakarta.pdf>
- Michelle, E., Jusuf, M., & Julian, J. (2021). EFEKTIVITAS PELAKSANAAN KEBIJAKAN BERDASARKAN PERGUB NO 66 TAHUN 2020 TENTANG UJI EMISI KENDARAAN BERMOTOR DI JAKARTA. *ADIL: Jurnal Hukum*, 12(1). <https://doi.org/10.33476/ajl.v12i1.1920>

- Modulair-pm.* (n.d.). MODULAIR-PM. Diakses 15 September, 2023, dari <https://docs.quant-aq.com/modulair-pm-datasheet>
- Morawska, L., Vishvakarman, D., Mengersen, K., & Thomas, S. (2002). Spatial variation of airborne pollutant concentrations in Brisbane, Australia and its potential impact on population exposure assessment. *Atmospheric Environment* (Oxford, England: 1994), 36(21), 3545–3555. [https://doi.org/10.1016/s1352-2310\(02\)00293-5](https://doi.org/10.1016/s1352-2310(02)00293-5)
- Mufadhol, N., Ramanda, R., & Gemayunanda, N. (2022, April 12). *Partikulat Matter (PM2.5)*. Stasiun Klimatologi Sumatera Selatan. <https://iklim.sumsel.bmkg.go.id/partikulat-matter-pm2-5/>
- Myllyvirta, L., Utama, A., Suarez, I., Uusivuori, E., Thieriot, H., & Kepala, D. (n.d.). *Pencemaran Udara Lintas Batas di provinsi Jakarta, Banten, dan Jawa Barat*. Energyandcleanair.org. Diakses 15 September, 2023, dari <https://energyandcleanair.org/wp/wp-content/uploads/2020/08/Jakarta-Transboundary-Pollution-Final-Bahasa.pdf>
- Nakayama, T., Matsumi, Y., Kawahito, K., & Watabe, Y. (2018). Development and evaluation of a palm-sized optical PM2.5 sensor. *Aerosol Science and Technology: The Journal of the American Association for Aerosol Research*, 52(1), 2–12. <https://doi.org/10.1080/02786826.2017.1375078>
- New WHO Global Air Quality Guidelines aim to save millions of lives from air pollution.* (n.d.). Who.int. Diakses 15 September, 2023, dari <https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>
- Ni, H., Tian, J., Wang, X., Wang, Q., Han, Y., Cao, J., Long, X., Chen, L.-W. A., Chow, J. C., Watson, J. G., Huang, R.-J., & Dusek, U. (2017). PM2.5 emissions and source profiles from open burning of crop residues. *Atmospheric Environment* (Oxford, England: 1994), 169, 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.063>
- Northam, A. E. (2017). Development and evaluation of a model to correct tapered element oscillating microbalance (TEOM) readings of PM2.5 in Chullora, Sydney.
- Pantelic, J., Dawe, M., & Licina, D. (2019). Use of IoT sensing and occupant surveys for determining the resilience of buildings to forest fire generated PM2.5. *PloS One*, 14(10), e0223136. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223136>
- PurpleAir Flex air quality monitor.* (n.d.). PurpleAir, Inc. Diakses 15 September, 2023, di <https://www2.purpleair.com/products/purpleair-flex>
- Raffuse, S. M. (2005). *Analytical Techniques for Technical Assessments of Ambient Air Monitoring Networks. Guidance Document STI-905104.02-2805-GD.*
- Raheja, G., Nimo, J., Appoh, E. K.-E., Essien, B., Sunu, M., Nyante, J., Amegah, M., Quansah, R., Arku, R. E., Penn, S. L., Giordano, M. R., Zheng, Z., Jack, D., Chillrud, S., Amegah, K., Subramanian, R., Pinder, R., Appah-Sampong, E., Tetteh, E. N., ... Westervelt, D. M. (2023). Low-cost sensor

- performance intercomparison, correction factor development, and 2+ years of ambient PM_{2.5} monitoring in Accra, Ghana. *Environmental Science & Technology*, 57(29), 10708–10720. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c09264>
- Rencana Pembangunan Daerah DKI Jakarta Tahun 2023-2026. BPBD. Diakses 15 Sep. 2023 dari <https://bpbd.jakarta.go.id/data/files/perpustakaan/2023/06/17/190/168698460623-rpd-provinsi-dki-jakarta-tahun-2023-2026.pdf>
- Reşitoğlu, İ. A., Altinişik, K., & Keskin, A. (2015). The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(1), 15–27. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0793-9>
- Riqqi, A., Fawaid, A., & Driejana, D. (2019). PERANCANGAN POTENSI LOKASI JEJARING STASIUN PEMANTAU KUALITAS UDARA DI DAERAH URBAN BERBASIS DATA SPASIAL STUDI KASUS DI DKI JAKARTA. *MAJALAH ILMIAH GLOBE*, 21(1), 27. <https://doi.org/10.24895/mig.2019.21-1.876>
- Rizaty, M. A. (2023, January 6). *Jumlah Penduduk Jakarta Capai 10,64 Juta Jiwa pada 2022*. data indonesia. <https://dataindonesia.id/varia/detail/jumlah-penduduk-jakarta-capai-1064-juta-jiwa-pada-2022>
- Rofienda, R. (2009). Dampak Negatif Pencemaran Nitrogen Dioksida, Usaha Pencegahan Dan Penanggulangannya. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 26. <https://doi.org/10.24817/jkk.v0i0.4706>
- Saragih, E. E., Jati, D. R., & Pramadita, S. (2022). Analisis Polutan Udara (CO, NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2,5} dan TSP) di Industri Galangan Kapal serta Pengaruhnya terhadap Lingkungan Kerja. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 10(2), 129. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v10i2.56051>
- Saurer, M., Prévôt, A. S. H., Dommen, J., Sandradewi, J., Baltensperger, U., & Siegwolf, R. T. W. (2009). The influence of traffic and wood combustion on the stable isotopic composition of carbon monoxide. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(9), 3147–3161.
- Schneider, P., Castell, N., Vogt, M., Dauge, F. R., Lahoz, W. A., & Bartonova, A. (2017). Mapping urban air quality in near real-time using observations from low-cost sensors and model information. *Environment International*, 106, 234–247. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.05.005>
- Sembiring, E. T. J., & Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Agung Podomoro. (2020). RISIKO KESEHATAN PAJANAN PM_{2,5} DI UDARA AMBIEN PADA PEDAGANG KAKI LIMA DI BAWAH FLYOVER PASAR PAGI ASEMKA JAKARTA. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 26(1), 101–120. <https://doi.org/10.5614/j.tl.2020.26.1.7>
- Setyodhono, S. (2017). Faktor yang Mempengaruhi Pekerja Komuter di Jabodetabek Menggunakan Moda Transportasi Utama. *Warta Penelitian Perhubungan*, 29(1), 21. <https://doi.org/10.25104/warlit.v29i1.326>

- Shareef, M. M., Husain, T., & Alharbi, B. (2016). Optimization of air quality monitoring network using GIS based interpolation techniques. *Journal of Environmental Protection*, 07(06), 895–911. <https://doi.org/10.4236/jep.2016.76080>
- Shindi, K. (2019). PENGALOKASIAN DANA DESA OLEH PEMERINTAH PUSAT DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KONDISI DAERAH PADA TAHUN ANGGARAN 2019 (Doctoral dissertation, Faculty of Social and Political Sciences).
- Shukla, J. B., Misra, A. K., Sundar, S., & Naresh, R. (2008). Effect of rain on removal of a gaseous pollutant and two different particulate matters from the atmosphere of a city. *Mathematical and Computer Modelling*, 48(5–6), 832–844. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2007.10.016>
- Shukla, K., & Aggarwal, S. G. (2022). A technical overview on beta-attenuation method for the monitoring of particulate matter in ambient air. *Aerosol and Air Quality Research*, 22(12), 220195. <https://doi.org/10.4209/aaqr.220195>
- Sibarani, R. M., Belgaman, H. A., Athoillah, I., & Wirahma, S. (2021). ANALISIS HUBUNGAN PARAMETER CUACA TERHADAP KONSENTRASI POLUTAN (PM_{2.5} DAN CO) DI WILAYAH JAKARTA SELAMA PERIODE WORK FROM HOME (WFH) MARET 2020. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 22(2), 85–94. <https://doi.org/10.29122/jstmc.v22i2.4637>
- Simanjuntak AG. 2007. Pencemaran Udara. *Buletin Limbah*. 11 (1): 34-41
- Singh, A., Neetu, T., & Jain, C. (2012). Monitoring, assessment and status of benzene, toluene and xylene pollution in the urban atmosphere of Delhi, India. *India. Research Journal of Chemical Sciences ISSN*.
- Singh, K. P., & Kumar, M. (2006). Characterization of daily, weekly and monthly patterns of PM₁₀ in Delhi. *Environmental Monitoring and Assessment*, 117(1–3), 421–433. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-7274-5>
- Situs resmi BPKP 2023*. (n.d.). Bpkp.Go.Id. Retrieved October 2, 2023, from <https://www.bpkp.go.id/dki1/konten/752/profil-ibukota.bpkp>
- Sugiarta, A. (2008). Dampak Bising dan Kualitas Udara Pada Lingkungan Kota Denpasar. *Jurnal Bumi Lestari*, 8(2), 162–167.
- Sulistiyorini, R., & Sebayang, S. (2015). Model Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Akibat Aktivitas Transportasi (Studi Kasus: Terminal Pasar Bawah Ramayana Kota Bandar Lampung). *Jurnal Universitas Lampung*, 3(1), 57–70.
- Thao, N. N. L., Pimonsree, S., Prueksakorn, K., Thao, P. T. B., & Vongruang, P. (2022). Public health and economic impact assessment of PM_{2.5} from open biomass burning over countries in mainland Southeast Asia during the smog episode. *Atmospheric Pollution Research*, 13(6).
- Thermo scientific 43iQ sulfur dioxide analyzer*. (n.d.). Field Environmental Instruments, Inc. Diakses 15 September, 2023, dari <https://www.fieldenvironmental.com/equipment-rentals/air-rentals/cems/thermo-scientific-43iq-sulfur-dioxide-analyzer.html>

- Tortajada-Genaro, L.-A., & Borrás, E. (2011). Temperature effect of tapered element oscillating microbalance (TEOM) system measuring semi-volatile organic particulate matter. *Journal of Environmental Monitoring: JEM*, 13(4), 1017–1026. <https://doi.org/10.1039/c0em00451k>
- Tropospheric Ozone: Distribution and Sources, Global Atmospheric Chemical Change*. (1993). 169–174.
- Turyanti A. 2016. Kajian Akademis : Penentuan jumlah dan sebaran lokasi stasiun pemantau kualitas udara (SPKU) di Wilayah DKI Jakarta. Jakarta (ID)
- Turyanti, Ana. 2016. Penentuan Jumlah dan Sebaran Lokasi Stasiun Pemantau Kualitas Udara di Wilayah DKI Jakarta. BPLHD Provinsi DKI Jakarta.
- Uniplaita, J., Mangangka, I. R., & Legrans, R. R. (2020). *Studi Penurunan Kualitas Udara Ambien Akibat Debu Dari Kendaraan Bermotor*.
- Us Epa, O. (2016). *Sulfur dioxide basics*. <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics>
- Viallon, J., Lee, S., Moussay, P., Tworek, K., Petersen, M., & Wielgosz, R. I. (2015). Accurate measurements of ozone absorption cross-sections in the Hartley band. *Atmospheric Measurement Techniques*, 8(3), 1245–1257. <https://doi.org/10.5194/amt-8-1245-2015>
- Wilujeng, A. D., Firdaus, H. G., Arianti, I., Armelita, A., & Arifin, W. A. (2022). Analisis perubahan luasan vegetasi mangrove berdasarkan penginderaan jauh dan bisnis intelijen di kawasan Muara Angke. *Pena Akuatika*, 21(1), 52–61.
- Winkler, S. L., Anderson, J. E., Garza, L., Ruona, W. C., Vogt, R., & Wallington, T. J. (2018). Vehicle criteria pollutant (PM, NO_x, CO, HCs) emissions: how low should we go? *Npj Climate and Atmospheric Science*, 1.
- Zhang, H., Wang, Y., Hu, J., Ying, Q., & Hu, X.-M. (2015). Relationships between meteorological parameters and criteria air pollutants in three megacities in China. *Environmental Research*, 140, 242–254. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.04.004>
- Zhang, M. (2012). Principal Component Analysis of Chemical and Physical Characteristics of Aerosol during Haze Period in Beijing. *Journal of Environmental Sciences*, 24(2), 425–433. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)60745-9](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60745-9)
- Zhang, Y. W., Geng, Y., Zhang, B., Yang, S., Izikowitz, D. V., Yin, H., Wu, F., Yu, H., Liu, H., & Zhou, W. (2022). Examining industrial air pollution embodied in trade: implications of a hypothetical China-UK FTA. *Environment Development and Sustainability*, 1–27. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02612-z>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Informasi SNI yang berhubungan dengan kualitas udara

1. SNI 19-1128-1989 Cara uji kadar debu pada cerobong
2. SNI 19-1422-1989 Cara pengambilan contoh gas dari cerobong
3. SNI 19-1429-1989 Gas buang, Cara uji kadar hidrogen klorida
4. SNI 19-1430-1989 Gas buang, Cara uji kadar hidrogen sulfida
5. SNI 19-1431-1989 Gas buang, Cara uji kadar klor
6. SNI 19-1432-1989 Gas buang, Cara uji kadar nitrogen dioksida
7. SNI 19-1433-1989 Gas buang, Cara uji kadar senyawa fluor dalam gas buang
8. SNI 19-1666-1989 Gas buang, Cara uji kadar vanadium
9. SNI 19-2877-1992 Gas buang, Cara uji kadar hidrogen sianida
10. SNI 19-2965-1992 Gas buang, Cara uji kadar raksa
11. SNI 19-7117.1-2005 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 1: Penentuan kecepatan alir
12. SNI 19-7117.2-2005 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 2: Penentuan lokasi dan titik-titik lintas pengambilan contoh uji partikel
13. SNI 19-7117.3.1-2005 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 3: Oksida-oksida sulfur (SO_x) – Seksi 1: Cara uji dengan metoda turbidimetri menggunakan spektrofotometer
14. SNI 19-7117.3-2:2005 *) Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 3: Oksida-oksida sulfur (SO_x) – Seksi 2: Cara uji dengan metoda netralisasi titrimetri
15. SNI 19-7117.4-2005 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 4: Cara uji kadar uap air dengan metoda gravimetri
16. SNI 19-7117.5-2005 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 5: Cara uji oksida-oksida nitrogen dengan metode Phenol Disulphonic Acid (PDS) menggunakan spektrofotometer
17. SNI 19-7117.6-2005 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 6: Cara uji kadar amoniak (NH₃) dengan metoda indofenol menggunakan spektrofotometer
18. SNI 19-7117.7-2005 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 7: Cara uji kadar hidrogen Sulfida (H₂S) dengan metode biru metilen menggunakan spektrofotometer 14

19. SNI 19-7117.8-2005 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 8: Cara uji kadar hidrogen klorida (HCl) dengan metode merkuri tiosianat menggunakan spektrofotometer
20. SNI 19-7117.9-2005 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 9: Cara uji kadar hidrogen fluorida (HF) dengan metoda kompleks lanthanum alizarin menggunakan spektrofotometer
21. SNI 19-7117.10-2005 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 10: Cara uji konsentrasi CO, CO₂, dan O₂ dengan peralatan analisis otomatis
22. SNI 19-7117.11-2005 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 11: Cara uji opasitas menggunakan skala Ringelmann untuk asap hitam
23. SNI 19-7117.12-2005 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 12: Penentuan total partikel secara isokinetik
24. SNI 7117.13:2009 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak- Bagian 13: Penentuan lokasi dan titik-titik lintas untuk pengambilan contoh uji partikulat dan kecepatan linier
25. SNI 7117.14:2009 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak- Bagian 14: Penentuan kecepatan linier
26. SNI 7117.15:2009 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak- Bagian 15: Penentuan berat molekul kering
27. SNI 7117.16:2009 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak- Bagian 16: Penentuan kadar uap air secara gravimetri
28. SNI 7117.17:2009 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak- Bagian 17: Penentuan kadar partikulat secara isokinetik
29. SNI 7117.18:2009 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak- Bagian 18: Cara uji sulfur dioksida (SO₂) secara turbidimetri menggunakan spektrofotometer
30. SNI 7117-19:2009 *) Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak- Bagian 19: Cara uji Total Reduced Sulfur (TRS) secara turbidimetri dengan alat spektrofotometer
31. SNI 7117.20:2009 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak- Bagian 20: Penentuan kadar logam
32. SNI 7117-21:2021 Emisi gas buang – Sumber tidak bergerak – Bagian 21: Pengambilan contoh uji partikulat secara isokinetik menggunakan filter di dalam cerobong (in-stack filter) dan penentuan kadar partikulat secara gravimetri
33. SNI 09-7118.1-2005 Emisi gas buang – Sumber bergerak – Bagian 1: Cara uji kendaraan bermotor kategori M, N dan O berpengerak penyalaan cetus api pada kondisi idle
34. SNI 09-7118.2-2005 Emisi gas buang – Sumber bergerak – Bagian 2: Cara uji kendaraan bermotor kategori M, N dan O berpengerak penyalaan kompresi pada kondisi akselerasi bebas
35. SNI 7118-2-2018 Emisi gas buang – Sumber bergerak – Bagian 2: Cara uji emisi asap alat berat dan kendaraan bermotor kategori M, N dan O berpengerak motor bakar penyalaan kompresi pada kondisi akselerasi bebas 15

36. SNI 09-7118.3-2005 Emisi gas buang – Sumber bergerak – Bagian 3: Cara uji kendaraan bermotor kategori L pada kondisi idle
37. SNI 19-1424-1989 Cara uji kadar belerang dioksida udara
38. SNI 19-1499-1989 Udara, Cara uji kadar hidrogen sulfida (H₂S)
39. SNI 19-1500-1989 Udara, Cara uji kadar nitrogen
40. SNI 19-1501-1989 Cara uji kadar total oksida-oksida nitrogen di udara
41. SNI 19-1658-1989 Udara, Cara uji kadar hidrokarbon total, metana dan monoksida
42. SNI 19-2879-1992 Cara uji hidrokarbon C1 sampai C5 di udara
43. SNI 19-2966-1992 Udara, Cara uji kadar timbal
44. SNI 13-4703-1998 Penentuan kadar debu di udara dengan penangkap debu jatuh (dustfall collector)
45. SNI 19-4841-1998 Metode pengujian kadar NO_x di udara dengan menggunakan alat spektrofotometer
46. SNI 19-4842-1992 Metode pengujian kandungan gas O₃ di udara dengan menggunakan alat spektrofotometer
47. SNI 19-4843-1998 Metode pengujian kandungan gas hidrokarbon (HC) di udara dengan alat kromatografi gas
48. SNI 19-4844-1998 Metode pengujian konsentrasi hidrogen sulfida (H₂S) dalam udara dengan alat spektrofotometer air sampler (HVS) o SNI 19-4845-1998 Metode pengujian kandungan gas CO di udara dengan menggunakan NDR
49. SNI 19-6603-2001 Pengukuran total partikel tersuspensi di udara ambien dengan metode gravimetri
50. SNI 19-7119.1-2005 Udara ambien – Bagian 1: Cara uji kadar amoniak (NH₃) dengan metoda indofenol menggunakan spektrofotometer
51. SNI 19-7119.5-2005 Udara ambien – Bagian 5: Cara uji kadar sulfat indeks dengan media PbO₂ candle secara turbidimetri menggunakan spektrofotometer
52. SNI 19-7119.6-2005 Udara ambien – Bagian 6: Penentuan lokasi pengambilan contoh uji pemantauan kualitas udara ambien
53. SNI 19-7119.9-2005 Udara ambien – Bagian 9: Penentuan lokasi pengambilan contoh uji pemantauan kualitas udara roadside
54. SNI 7119.10:2011 Udara ambien – Bagian 10: Cara uji kadar karbon monoksida (CO) menggunakan metode Non Dispersive Infrared (NDIR)
55. SNI 7119.13:2009 Udara ambien – Bagian 13: Cara uji hidrokarbon (HC) menggunakan hydrocarbon analyzer dengan detektor ionisasi nyala (Flame Ionization Detector/FID)
56. SNI 7119.14:2016 Udara ambien – Bagian 14: Cara uji partikel dengan ukuran $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (PM_{2,5}) menggunakan peralatan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan metode gravimetri

57. SNI 7119.15:2016 Udara ambien – Bagian 15: Cara uji partikel dengan ukuran $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM10) menggunakan peralatan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan metode gravimetri 16
58. SNI 7119–2:2017 Udara ambien – Bagian 2: Cara uji kadar nitrogen oksida (NO_2) dengan metoda Griess-Saltzman menggunakan spektrofotometer
59. SNI 7119–3:2017 Udara ambien – Bagian 3: Cara uji partikel tersuspensi total menggunakan peralatan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan metode gravimetri
60. SNI 7119–4:2017 Udara ambien – Bagian 4: Cara uji kadar timbal (Pb) dengan metoda destruksi cara basah menggunakan spektrofotometer serapan atom
61. SNI 7119–7:2017 Udara ambien – Bagian 7: Cara uji kadar sulfur dioksida (SO_2) dengan metoda pararosanilin menggunakan spektrofotometer
62. SNI 7119–8:2017 Udara ambien – Bagian 8: Cara uji kadar oksidan dengan metode neutral buffer kalium iodida (NBKI) menggunakan spektrofotometer

Lampiran 2. Ragam metode penentuan jumlah dan lokasi jaringan pemantauan kualitas udara

Metode	Kelebihan	Kekurangan	Sumber
<p>UDARA (Urban Hybrid models for Air Pollution Assessment) dengan resolusi grid 5 x 5 dan Grid 30 x 30</p> <p>Metode:</p> <ul style="list-style-type: none"> Model zona lokasi titik pantau dibantu dengan grid resolusi 30 x 30 dapat memberikan sebaran lokasi stasiun secara merata dan efektif. Pemilihan lokasi dengan metode spasial yang disintesisikan dapat merekomendasikan lokasi pemantauan kualitas udara yang efektif untuk suatu wilayah perkotaan yang besar dan kompleks. catatan: Model ini telah berhasil menjangkau lokasi potensi pemantauan kualitas udara dari 81 titik menjadi 53 potensi lokasi pemantauan kualitas udara DKI Jakarta. <p>Pemodelan jejaring lokasi berpotensi untuk stasiun pemantauan kualitas udara dilakukan dengan:</p> <ul style="list-style-type: none"> Tahapan pertama adalah pemilihan lokasi potensi stasiun. Tahapan kedua adalah penyeleksian lokasi potensi stasiun berdasarkan zonasi, kepadatan penduduk, tutupan lahan sekitar, dan kemudahan akses dan perizinan. Pemodelan jaringan pemantauan kualitas udara menghasilkan luaran zona potensi titik pantau serta 81 titik potensi lokasi pemantauan kualitas udara. Potensi titik-titik tersebut diseleksi dengan mempertimbangkan landuse, jarak antar titik, dan kemudahan perizinan untuk mendapatkan 53 lokasi stasiun pemantauan udara untuk seluruh wilayah DKI Jakarta. Hasil pemodelan ini selanjutnya digunakan untuk 	<ul style="list-style-type: none"> Sudah bisa menentukan metode pengamatan yang paling efisien dengan grid khusus (grid resolusi 30 x 30). Titik pantau akan terdistribusi secara merata menggunakan software UDARA dengan GRID 30x30 Menganalisis lokasi berdasarkan densitas populasi 	<ul style="list-style-type: none"> Tidak menganalisis lokasi pengamatan dengan meninjau aspek kesehatan Software UDARA bersifat tidak open access 	<p>Riqqi et al., (2019)</p>

Metode	Kelebihan	Kekurangan	Sumber
<p>menempatkan titik pemantauan kualitas udara pada riset Urban hybrID model for AiR pollution exposure Assessment (UDARA).</p> <ul style="list-style-type: none"> Penyeleksian lokasi dimaksudkan untuk memilah agar lokasi pemantauan terdistribusi secara merata, mewakili beberapa karakter kawasan di seluruh wilayah DKI Jakarta. 			
<p>SENSOR PM10</p> <p>Tahapan: Penilaian lokasi pemantau di Surabaya</p> <ul style="list-style-type: none"> Menggunakan peta prediksi spasial PM10 dari model spatio-temporal pada tanggal, bulan, dan jam analisis yang telah ditentukan. Menganalisis garis kontur dan menyesuaikan hasil konsentrasi PM10 di sekitar Stasiun Pemantauan Tetap (SUF) dengan baku mutu. 	<ul style="list-style-type: none"> Telah merumuskan cara memisahkan stasiun monitoring kualitas udara yang telah ada ke lokasi lain yang lebih strategis, Bisa menentukan jika lokasi SUF-1 kurang efisien penempatannya dan dapat mempertimbangkan untuk dipindahkan ke stasiun lain. Sebaliknya, pada SUF-4 perlu ditambahkan stasiun pemantauan untuk meningkatkan ketelitian prediksial, Melakukan pemantauan berdasarkan penilaian terhadap prediksi spasial konsentrasi PM10 pada jam 8 dan jarak sensitivitas sensor dari stasiun pemantau, Dapat menyimpulkan bahwa dibutuhkan realokasi lima SUF dari kota Surabaya. Menggunakan data dari 5 SUF (Stasiun Pemantauan Tetap) di Surabaya dan memanfaatkan 	<p>Penentuan lokasi hanya berdasarkan parameter PM10 saja, tidak menggunakan polutan lainnya</p>	<p>Djuraidah dan Aunuddin, 2006</p>

Metode	Kelebihan	Kekurangan	Sumber
	data sensor pemantauan konsentrasi polusi udara.		
<p>Air Pollution (RI-Map Model)</p> <p>Jumlah Lokasi titik pemantauan yang diseleksi: 41 lokasi di Delhi menjadi hanya 20 lokasi</p> <p>Alasan pemilihan lokasi pemantauan: 20 lokasi pemantauan dipilih karena memiliki tingkat risiko kesehatan tinggi</p> <p>Metode Pertama</p> <ol style="list-style-type: none"> Menggunakan rasio Relative risk (Rr), ini adalah rasio kemungkinan tereksposnya sekelompok orang terhadap polusi udara dan kemungkinan tidak terdampaknya sekelompok orang terhadap paparan polusi udara. Software yang digunakan: http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/tools-for-health-impact-assessment-of-air-quality-the-airq-2.2-software/download-and-installation-instructions 	<ul style="list-style-type: none"> Sudah menganalisis dari aspek kesehatan menggunakan rasio Relatively Risk (Rr) dan menggunakan standard WHO Menganalisis potensi dampak kesehatan pada populasi yang menetap di area perkotaan selama periode waktu tertentu terhadap polutan tertentu yang spesifik 	<ul style="list-style-type: none"> Tidak menyampaikan secara spesifik bagaimana menentukan lokasi pemantauan stasiun Tidak menggunakan analisis spasial, hanya menyampaikan metode analisis menggunakan aspek kesehatan 	Maji et al., (2017)
<p>Passive Diffusion Sample</p> <p>Jumlah lokasi yang diseleksi: 53 stasiun</p> <p>Alasan pemilihan titik lokasi sebagai stasiun pengamatan kualitas udara: Area merupakan daerah perkotaan dengan intensitas konsentrasi polutan tinggi.</p> <p>Metode: Penentuan penempatan lokasi yang dilakukan memenuhi kriteria "lokasi makro" menggunakan analisis GIS.</p>		Tidak menyebutkan secara jelas berapa hasil analisis lokasi stasiun yang terpilih untuk diterapkan pemantauan kualitas udara	Lozano, A, et al., (2010)

Metode	Kelebihan	Kekurangan	Sumber
<p>Lokasi Pengamatan: New South Wales</p> <p>Metode: Memasang beberapa jenis jaringan pemantauan Stasiun Pemantau Udara Negara Bagian dan Lokal (SLAMS) Stasiun Pemantau Udara Nasional Dekat Jaringan Pemantau Jalan Raya Jaringan Pemantauan Dekat Jalan Raya Jaringan Pemantau Ncore Stasiun Pemantauan Penilaian FotoKimia</p>	<ul style="list-style-type: none"> Memberikan khasanah pengetahuan mengenai metode pemantauan kualitas udara, seperti SLAMS (State or Local Air Monitoring Stations (SLAMS) NCore (National Core multipollutant monitoring stations (NCore). This network measures particles (PM2.5, speciated PM2.5, PM10-2.5), O₃, SO₂, CO, (NO/NO₂, NOy), Pb, and basic meteorology. 	<p>Bukan merupakan report dari pemantauan kualitas udara di suatu daerah yang spesifik</p>	<p>Northstar Air Quality Pty Ltd, 2019</p>
<p>Lokasi Pengamatan: New South Wales</p> <p>Metodenya: Pemanfaatan skala spasial.</p> <ul style="list-style-type: none"> Mencocokkan dengan benar skala spasial yang diwakili oleh sampel udara yang dipantau dengan skala yang paling sesuai untuk tujuan pemantauan stasiun. Skala keterwakilan spasial dijelaskan dalam bentuk dimensi fisik parsel udara terdekat dengan stasiun pemantauan di mana konsentrasi polutan sebenarnya hampir sama. Menyesuaikan dengan standar pemantauan CFR EPA 40 AS dalam skala mikro, skala menengah, skala lingkungan dan skala perkotaan 	<ul style="list-style-type: none"> dokumen merupakan buku panduan manual untuk memonitoring kualitas udara di Ontario dokumen menjelaskan kriteria stasiun pemantauan dan alat yang digunakan, lokasi, desain, konstruksi, parameter inlet yang di list di dalam buku manual. 	<p>Tidak menyampaikan metode untuk memilih stasiun pemantauan yang efektif</p>	<p>Ontario Government, 2023</p>
<p>Loka Pengamatan: Riyadh, Saudi Arabia</p> <p>Jumlah Lokasi titik pemantauan yang diseleksi: menjadi 11 stasiun saja.</p> <p>Alasan pemilihan lokasi pemantauan: Akhir-akhir ini terdapat peningkatan polusi udara yang diamati di Kota Riyadh, Arab Saudi; dan</p>	<p>Telah mengoptimalkan upaya monitoring stasiun menggunakan GIS, teknik interpolasi dan sejarah data</p>	<p>Prosesnya sangat membutuhkan teknik komputasi yang intensif, dan membutuhkan sumber daya komputasi</p>	<p>Shareef, et al (2016)</p>

Metode	Kelebihan	Kekurangan	Sumber
<p>sering diadakan pengukuran polusi udara di kota ini.</p> <p>Metodenya:</p> <ul style="list-style-type: none"> Melakukan monitoring untuk optimalisasi pemilihan jaringan pemantauan kualitas udara menggunakan GIS (Geographical Information System); Data ter-interpolasi kemudian dianalisis menggunakan 2) Memperluas jaringan pemantauan kualitas udara di Kota Riyadh, Arab Saudi. Jumlah stasiun pemantauan dikurangi Secara keseluruhan, metode yang digunakan adalah: SIG, Teknik Interpolasi, Data Historis 		yang besar	
<p>Low Cost Urban Monitoring Sensor System</p> <p>Lokasi Pengamatan: Santa Maria degli Angeli, Itali</p> <p>Jumlah Lokasi titik pemantauan yang diseleksi: 6 sensor</p> <p>Alasan pemilihan lokasi pemantauan: daerah kota besar dan menjadi destinasi utama turis/pariwisata</p> <p>Metodenya: Jaringan LoRaWan dengan lokasi sensor ditentukan melalui penerapan teknik pengambilan keputusan multikriteria Analytic Hierarchy Process (AHP)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Telah menggunakan menggunakan pemodelan pemodelan matematika untuk mendesain untuk mendesain pemodelan pemodelan kualitas udara Enam sensor pencatat kualitas udara membentuk jaringan LoRaWAN, seperti yang sering digunakan untuk memantau aktivitas di Smart City. 	fokus low cost sensors	Marini et al., (2021)
<p>Lokasi Pengamatan : Industri Kimia di Shanghai, China</p> <p>Jumlah stasiun yang diseleksi: Skema Optimal untuk jumlah jaringan monitor kualitas udara adalah 64 unit, namun hanya 2 monitor yang fix dipilih. Selain itu, dua stasiun disarankan untuk dipindahkan ke bagian selatan.</p> <p>Alasan pemilihan titik lokasi sebagai stasiun pengamatan kualitas</p>	<ul style="list-style-type: none"> Telah merumuskan kelebihan pemilihan jaringan stasiun yang cukup padat menjadi lebih sedikit (efisien) dengan perumusan sendiri. Menggunakan nilai efisiensi 	Hanya meneliti metode penentuan lokasi stasiun yang tepat untuk satu jenis polutan saja, yakni H2S. Metode penentuan distribusi	Huang et al., (2023)

Metode	Kelebihan	Kekurangan	Sumber
<p>udara: hanya 2 monitor yang bisa mencapai tingkat efisiensi 2%.</p> <p>Metodenya:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan densitas/kepadatan/jumlah jaringan monitoring kualitas udara (AQMN) untuk mendeteksi H2S • Efisiensi pengawasan (SE) <p>Penentuan akhir jumlah stasiun (stasiun) berdasarkan pertimbangan berikut: 2 monitor di stasiun pemantauan</p>	<p>berdasarkan pengawasan.</p>	<p>spasial untuk meletakkan jaringan stasiun pemantauan yang optimal sangat kompleks sehingga sulit untuk dipahami dan diterapkan</p>	
<p>Lokasi Pengamatan : New Delhi, India</p> <p>Jumlah stasiun yang diseleksi: 41 menjadi 16 titik lokasi</p> <p>Alasan pemilihan titik lokasi sebagai stasiun pengamatan kualitas udara: merupakan daerah yang baru berkembang di New Delhi, India dan belum ada titik pengamatan kualitas udara yang menghasilkan data parametrik.</p> <p>Metodenya: Menggunakan persamaan matematika untuk mengeliminasi beberapa lokasi stasiun. Persamaan matematika yang digunakan adalah "Cosine Amplitude" yang fungsinya adalah menentukan jumlah cluster yang akan dianalisis dengan FCM clustering. Prosedur berbasis amplitudo cosinus berfungsi untuk mengkuantifikasi tingkat kesamaan antara variabel dependen dan variabel independen dalam kisaran [0,1] (Ross, 1995).</p> <p>Penentuan akhir jumlah stasiun (14 stasiun saja) berdasarkan pertimbangan berikut: Hasil penelitian mengungkapkan bahwa kota Delhi hanya membutuhkan 16 stasiun pemantauan yang akan menghasilkan pengurangan biaya modal yang cukup besar dan biaya berulang dalam pemantauan kualitas udara ambien di Delhi, India</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat memberikan metodologi untuk menentukan jumlah optimum stasiun pemantauan dalam monitoring kualitas udara yang memberikan informasi maksimum terhadap kondisi udara terkini. Two fold approach (pendekatan dua kali lipat) adalah kombinasi dari ukuran kesamaan fuzzy dan pengelompokan fuzzy c-means (FCM). • Untuk kasus tingkat polusi udara yang buruk digunakan FCM (rata-rata nilai PM10, NO₂, SO₂, CO dan SPM) di musim dingin. • Pengukuran kesamaan fuzzy menggunakan untuk mengklasifikasikan atau mengelompokkan stasiun pemantauan untuk polutan udara yang paling kritis (PM10 dan NO₂). 	<p>Stasiun Tidak mengukur PM2.5</p>	<p>Maji et al., (2017)</p>

Metode	Kelebihan	Kekurangan	Sumber
	<ul style="list-style-type: none"> • Memberikan metode yang jelas bagaimana mengeliminasi dan meningkatkan efisiensi pemilihan stasiun pemantauan. • Akhirnya, jumlah lokasi pemantauan kualitas udara yang optimal dipilih sebagai: (1) yang membentuk partisi stasiun tunggal (partisi unik) dalam matriks relasional yang tajam untuk PM10 dan NO₂; 2) memiliki keanggotaan tertinggi dalam pengelompokan fuzzy. 		
Regresi Lokal Tertimbang (locally weighted regression) untuk mengurangi jumlah stasiun pemantauan NO ₂			Boer et al. (2002)
Metode Gerombol, untuk mengelompokkan pola spasial stasiun pemantau kualitas udara ambien di India			(Saksena, 2002)
Metode optimasi, dengan kriteria minimisasi ragam spasial untuk menentukan lokasi stasiun			(Gaal, 2004)
Mengurangi stasiun dengan cara menentukan nilai korelasi antar lokasi stasiun (<i>monitor-to-monitor correlation</i>) jika korelasi antar dua lokasi stasiun < 0,6 maka lokasi dipertahankan			Morawska et al dan Raffuse et al (2005)
Metode hirarki Bayes			Chang et al., 2005

Lampiran 3. Hasil validasi lapang (survei) 5 SPKU di DKI Jakarta

Visitasi ke stasiun bertujuan untuk melakukan analisis langsung apakah instrumen pemantauan kualitas udara untuk mendeteksi konsentrasi polutan gas telah beroperasi normal. Pada saat tim melakukan visitasi stasiun, SPKU yang tersedia di DKI Jakarta meliputi : 1) Bundaran HI; 2) Kelapa Gading; 3) Jagakarsa; 4) Lubang Buaya; 5) Kebon Jeruk. Parameter yang diukur oleh SPKU baik gas maupun partikulat adalah sama, terdiri dari: O₃, SO₂, CO, NO, NO₂, NO_x, PM2.5, dan PM10.

Hasil wawancara dengan petugas SPKU:

1. Stasiun pemantau kualitas udara (SPKU) di DKI Jakarta terdiri dari SPKU Tetap (5 Lokasi) dan SPKU Mobile (3 Alat).
2. Parameter yang diukur oleh SPKU baik gas maupun partikulat adalah O₃, SO₂, CO, NO, NO₂, NO_x, PM2.5, dan PM10 dengan metode yang bervariasi.
3. Setiap SPKU memiliki nilai-nilai ekstrim yang berbeda-beda. Di satu stasiun nilai O₃ cenderung tinggi karena terletak di pemukiman padat penduduk dengan suhu udara tinggi, di stasiun lainnya PM2.5 tinggi karena adanya pembakaran arang dan aktivitas parkir bus kunjungan museum rutin, peningkatan CO di SPKU tertentu juga terjadi karena adanya peningkatan jumlah kendaraan bergerak.
4. Untuk parameter gas (O₃, SO₂, CO, NO, NO₂, NO_x), metode pengukurannya diawali dengan memasukkan udara ambien ke dalam indeks sampling yang kemudian akan masuk ke masing-masing selang menuju alat analyser masing-masing parameter. Analyser akan membaca hasil untuk setiap parameter tersebut. Setiap analyser memiliki filter yang harus diganti setiap 2 minggu sekali. Kecuali SPKU HI harus diganti setiap 1 minggu sekali, karena dekat dengan jalan raya.
5. Untuk parameter PM2.5 dan PM10 punya alat masing-masing untuk pengambilan sampel. Filternya bernama filter type sekitar 3 bulan.
6. Setiap alat diberikan perawatan sesuai dengan kebutuhan masing-masing.
7. Metode kalibrasi parameter gas dilakukan secara rutin setiap hari dengan alat zero gas secara otomatis melalui sistem.
8. Metode kalibrasi alat dilakukan setiap setahun sekali, termasuk dengan maintenance dan penggantian beberapa sparepart. Ini juga berlaku untuk *Mobile Station* yang dilakukan pemeliharaan setiap setahun sekali di kantor. kalibrasi parameter PM10 dilakukan dengan kalibrasi foil.
9. Alat-alat akan memberikan sinyal ketika error, misalnya gangguan pada sistem lamp, pump, dll. Ini secara langsung akan masuk ke sistem sehingga dapat dideteksi lebih dini. Respons setiap alat beda, menyesuaikan dengan karakteristik setiap parameter. Ini akan diperiksa saat menjalankan prosedur perawatan oleh petugas SPKU.
10. Petugas akan mengikuti protokol respons saat terjadi gangguan alat, misalnya terjadi level 1 (ada alarm), maka petugas harus berkoordinasi dengan tim data pusat, dan segera mendatangi lokasi SPKU. Jika level 2,

maka petugas cukup merespons dari jauh melalui ponsel yang telah terintegrasi dengan sistem.

11. Jika terjadi hal-hal krisis atau kejadian khusus, maka petugas harus segera merespons. Misalnya: banjir, kebakaran, kerumunan orang
12. Jika alat analyzer rusak, maka akan diganti dengan alat back-up. Kecuali PM2.5, alat analyzernya saat ini tidak memiliki back up.
13. Alat-alat meteorologi juga terpasang di SPKU, seperti: radiasi, curah hujan, arah dan kecepatan angin, suhu udara, dan kelembaban udara. Informasinya akan masuk ke *weather tool*.
14. Terdapat 4 petugas SPKU untuk 5 stasiun DLH DKI dan 3 stasiun *mobile*. Petugas akan cek data harian dan memastikan tidak ada masalah. Jika terjadi gangguan, maka petugas akan diarahkan untuk merespons.
15. SPKU seperti HI yang merupakan wilayah dekat dengan pusat pemerintahan nasional, memerlukan intervensi khusus terutama dalam pemantauan dan perawatan. Selain itu, data kualitas udara saat hari-hari khusus seperti lebaran, hari libur, dan *car free day* juga akan menjadi perhatian karena adanya liputan dan laporan oleh pihak terkait
16. Permasalahan SPKU di DKI Jakarta: pembakaran sampah, naungan pohon di sekitar stasiun, pembangunan LRT (posisi lebih tinggi dari SPKU), aktivitas PLN
17. Pencatatan nilai parameter dilakukan sepenuhnya oleh sistem setiap 30 menit sekali.
18. Perlu penambahan cctv di stasiun untuk dapat memonitor aktivitas di lingkungan stasiun, terutama saat terjadi lonjakan nilai parameter

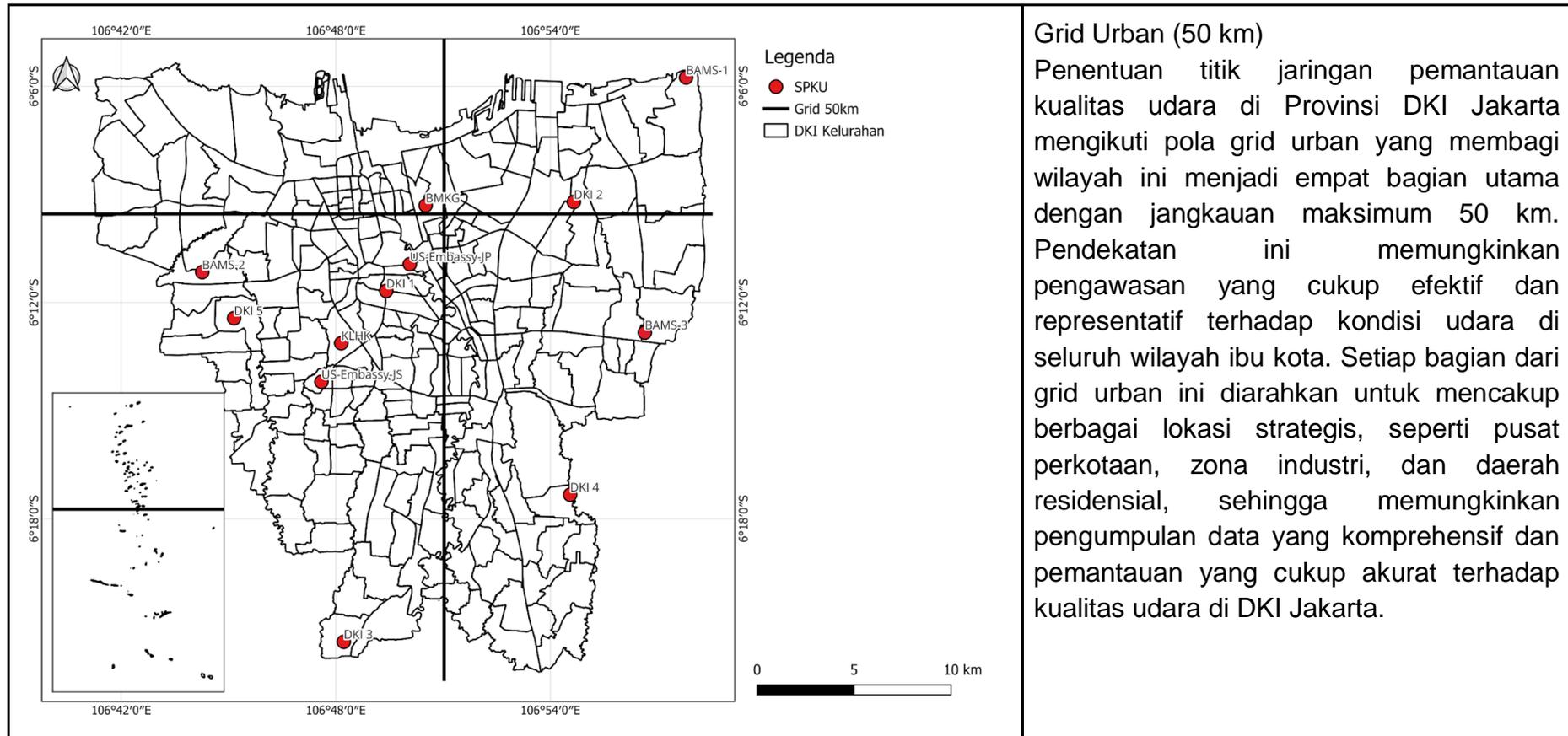
Sumber emisi berdasarkan aktivitas yang dilakukan oleh warga sekitar

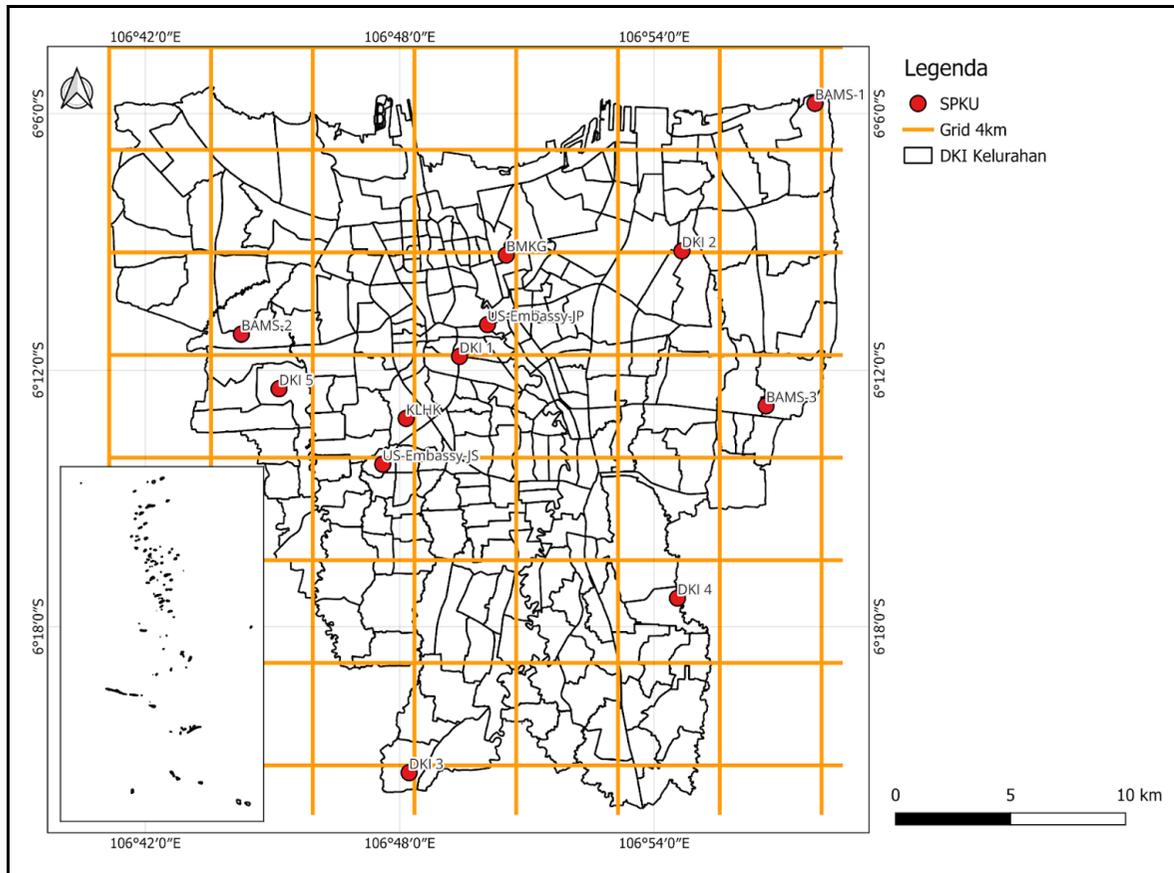
Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan kepada tiga orang respondens (R1, R2, R3) di lima stasiun pemantauan kualitas udara untuk mengetahui aktivitas warga sekitar yang menghasilkan emisi, diperoleh hasil bahwa sumber emisi dari kelima stasiun berasal dari kendaraan bermotor. Hal ini dapat dilihat dari respon warga sekitar yang menyatakan bahwa lokasi merupakan kawasan yang berada di dekat area parkir umum dan banyak masyarakat sekitar yang menghasilkan emisi ketika berkendara menggunakan kendaraan motor pribadi maupun emisi dari kendaraan truk yang melintasi jalan. Sebaliknya, tidak ada responden yang menyatakan bahwa disekitar lokasi yang dekat dengan stasiun pemantauan terdapat industri emisi batubara yang mengeluarkan emisi dan debu hitam. Terkait aktivitas warga sehari-hari dalam membakar sampah, diperoleh hasil bahwa hanya masyarakat disekitar kawasan Lubang Buaya yang masih melakukan pembakaran terbuka, sedangkan lokasi stasiun lainnya tidak. Selain itu, terdapat tempat reparasi kendaraan bermotor (bengkel) di dekat stasiun yang berada di kawasan Kelapa Gading, Lubang Buaya dan kebon Jeruk. Terkait aktivitas industri yang mengeluarkan emisi, di kawasan Kelapa Gading terdapat banyak industri rumahan yang mengeluarkan emisi/asap.

Hasil wawancara kepada masyarakat yang mengalami sakit akibat polusi udara

Berdasarkan hasil wawancara, diperoleh data keluhan masyarakat yang tinggal di sekitar bundaran HI, Kelapa Gading dan Lubang Buaya yang mengalami penurunan kesehatan berupa sakit tenggorokan akibat kualitas udara yang buruk. Selain itu, konsentrasi polusi yang tinggi di sekitar Bundaran HI menyebabkan masyarakat merespon keluhan mata perih, batuk-batuk dan merasa pengap atau sesak nafas. Masyarakat yang tinggal di bundaran HI dan Lubang Buaya mengeluhkan jarak pandang yang menurun, terutama pada siang hari akibat polusi yang tinggi. Namun, berdasarkan hasil wawancara diketahui bahwa tidak ada masyarakat yang tinggal disekitar kelima stasiun yang mengeluhkan terdampak ISPA.

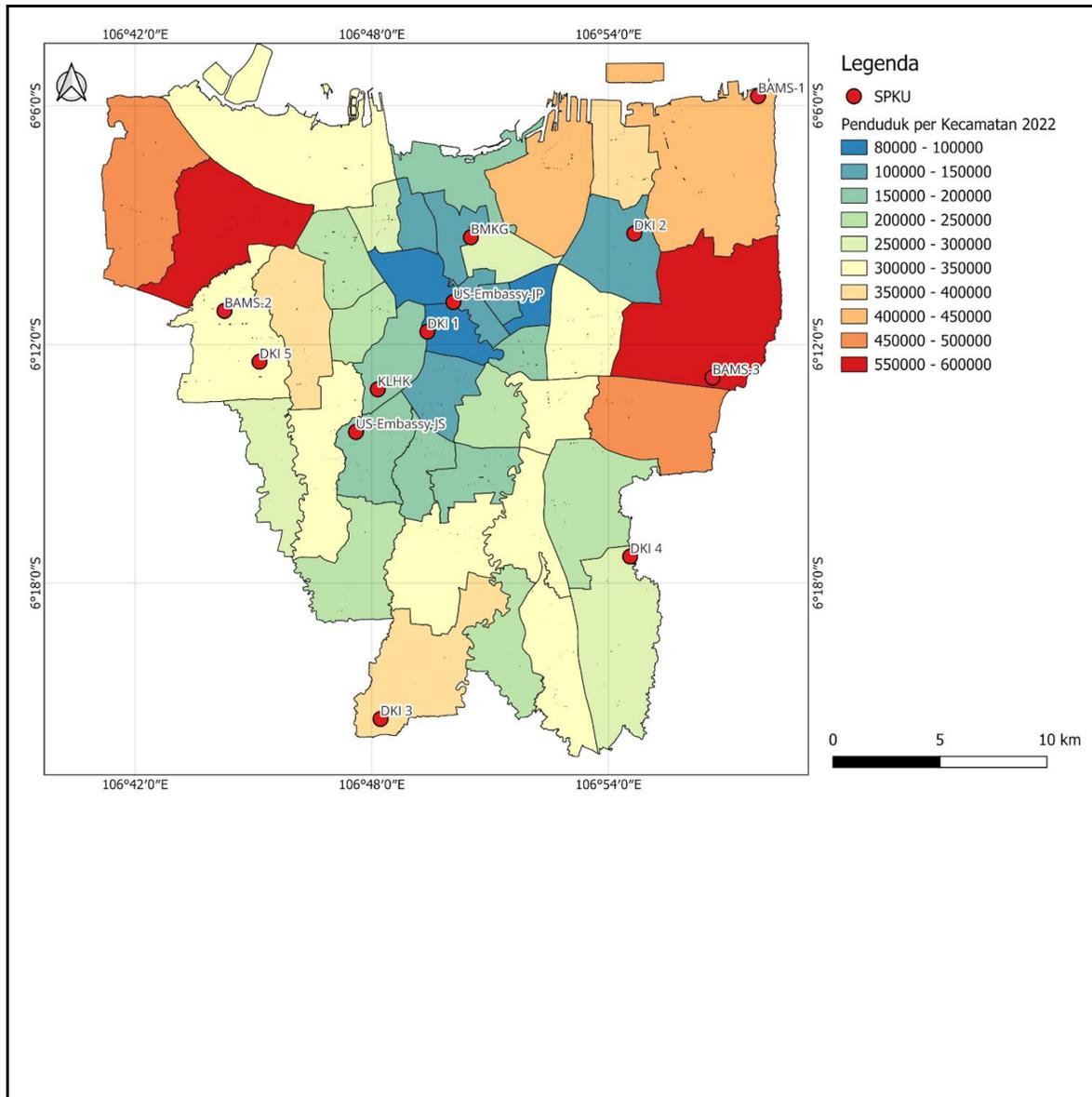
Lampiran 4. Peta komponen pertimbangan penentuan lokasi jaringan pemantau kualitas udara





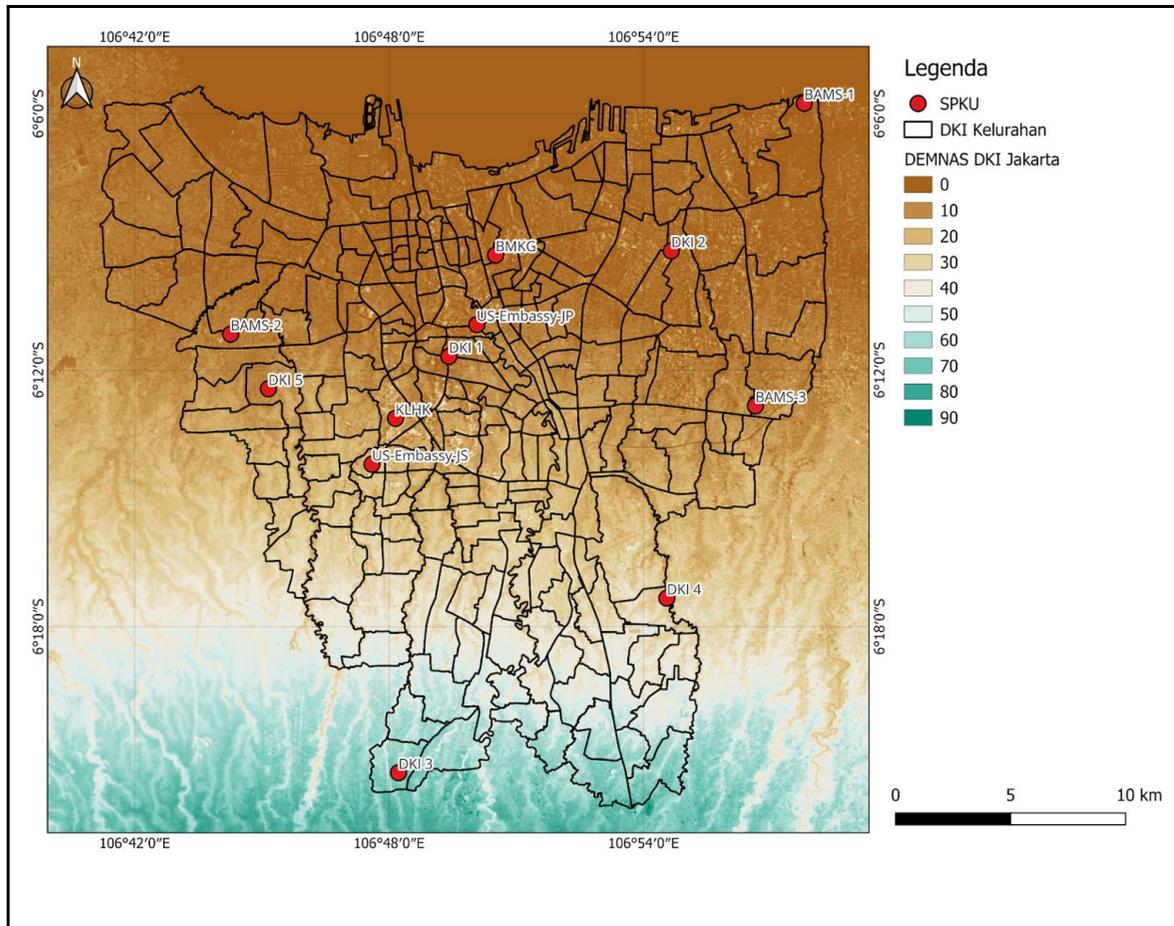
Grid Neighbourhood (4 km)

Dengan membagi DKI Jakarta menjadi 40 wilayah berdasarkan lingkungan atau Grid Neighbourhood, dapat dicapai pemantauan yang lebih terperinci. Setiap wilayah ini mungkin memiliki karakteristik yang berbeda, seperti tingkat polusi udara yang berbeda, padatnya lalu lintas, aktivitas industri, dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi kualitas udara. Oleh karena itu, dengan memasang titik jaringan pemantauan kualitas udara di setiap wilayah ini, dapat diidentifikasi masalah kualitas udara yang spesifik untuk setiap wilayah dan merencanakan tindakan perbaikan yang sesuai.

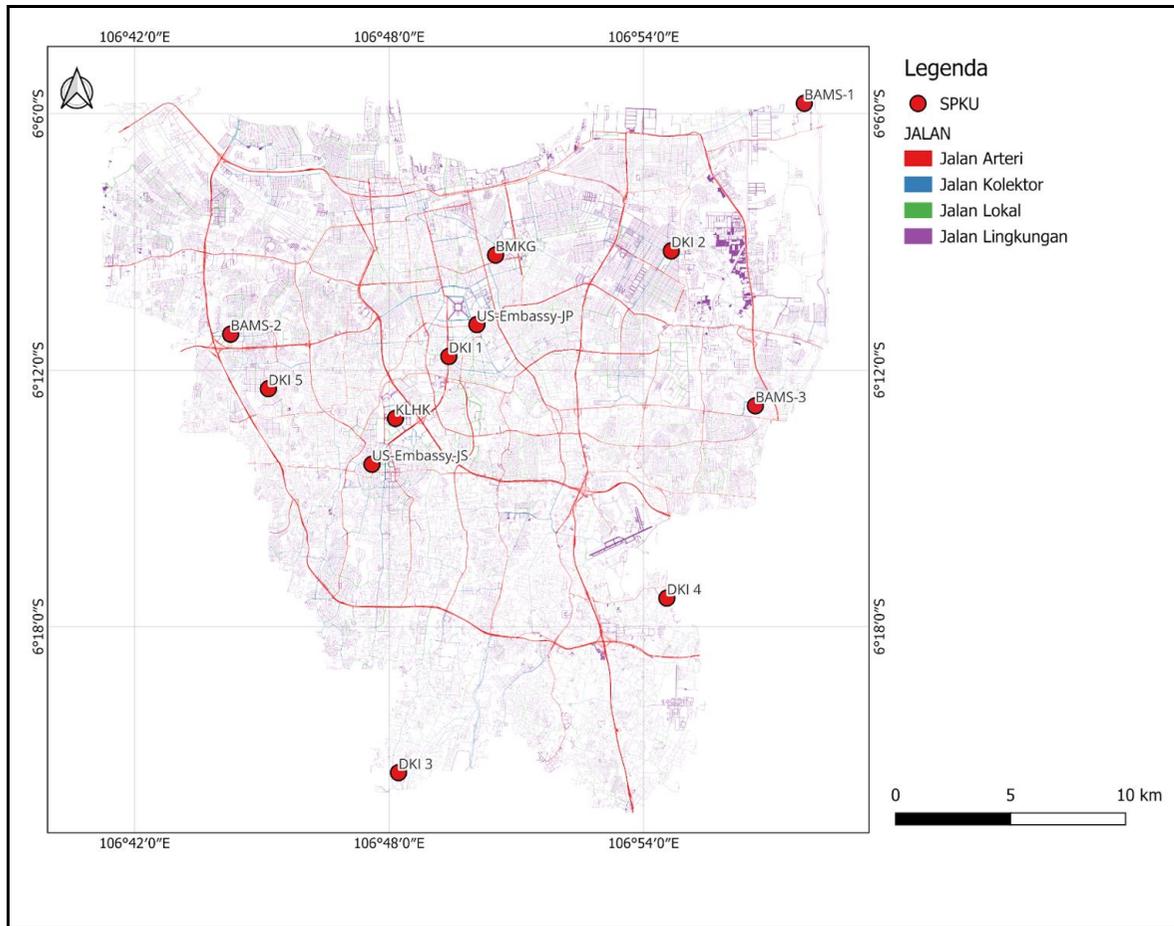


Faktor Populasi Penduduk

Daerah dengan kepadatan penduduk yang tinggi cenderung memiliki aktivitas manusia yang lebih padat, termasuk lalu lintas kendaraan bermotor dan kegiatan industri. Ini dapat berkontribusi pada emisi polutan udara seperti partikulat, nitrogen dioksida, dan senyawa organik volatil, yang merupakan parameter penting dalam pemantauan kualitas udara. Dengan demikian, pemasangan lebih banyak jaringan pemantauan di wilayah ini akan membantu mengidentifikasi sumber polusi yang lebih signifikan. Tingginya kepadatan penduduk juga dapat berarti lebih banyak orang yang rentan terhadap dampak buruk dari polusi udara. Ini termasuk risiko kesehatan seperti gangguan pernapasan, penyakit kardiovaskular, dan bahkan kematian dini. Dengan memasang jaringan pemantauan yang lebih intensif di wilayah-wilayah ini, kita dapat mengambil langkah-langkah preventif lebih cepat dan memberikan informasi yang lebih baik kepada masyarakat tentang risiko kesehatan yang terkait dengan polusi udara.



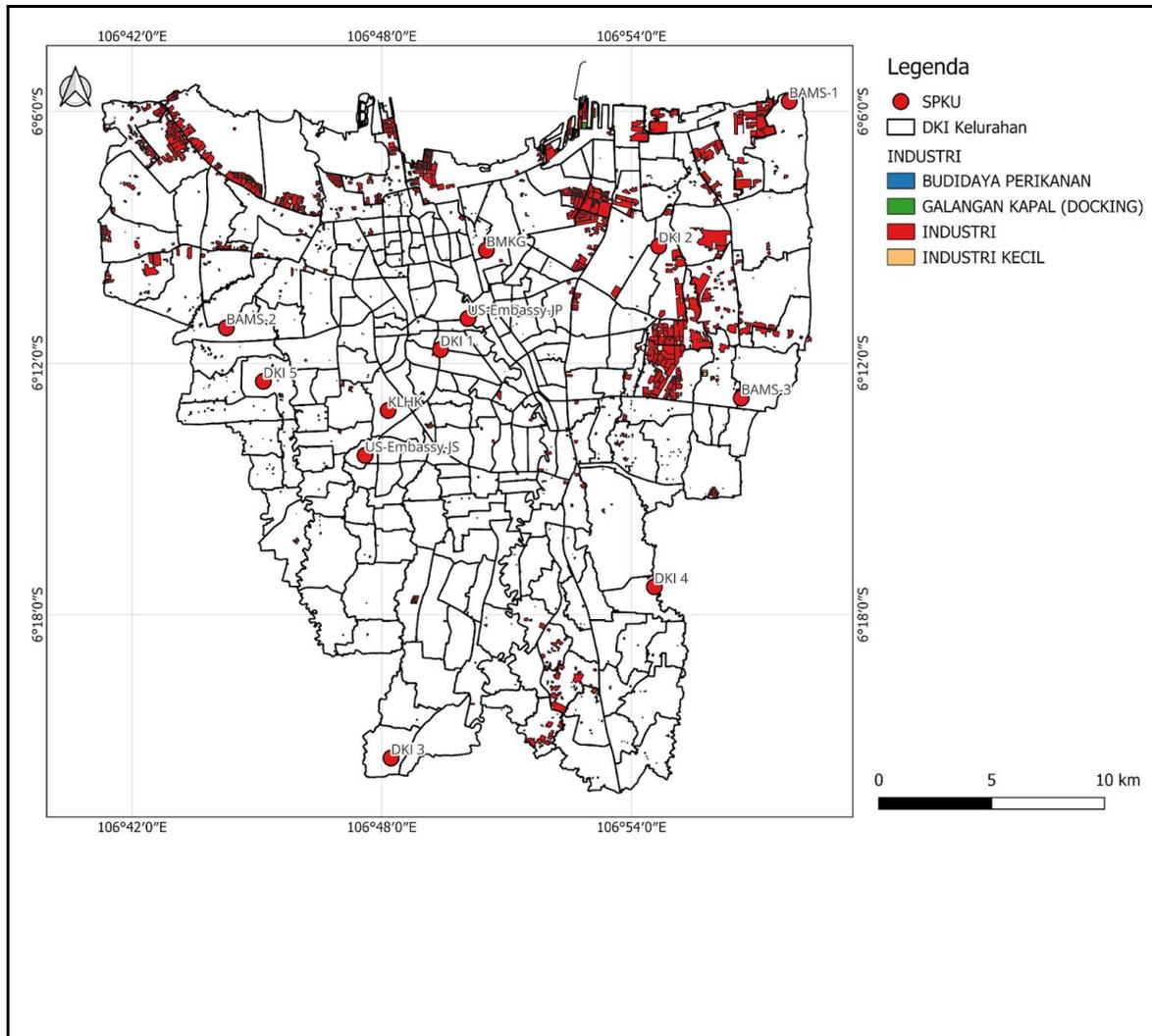
Peta DEM/Ketinggian
 Ketinggian wilayah dari permukaan laut juga menjadi pertimbangan dalam penentuan jaringan pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta. DKI Jakarta adalah sebuah daerah yang terletak di dataran rendah, dengan sebagian besar wilayahnya berada di bawah ketinggian permukaan laut. Hal ini berarti bahwa polusi udara di DKI Jakarta dapat terkumpul lebih rendah daripada di daerah yang lebih tinggi, yang dapat mempengaruhi kualitas udara yang dihirup oleh penduduknya. Selain itu, topografi dan ketinggian wilayah juga dapat mempengaruhi pola aliran udara di daerah tersebut. Dalam pemantauan kualitas udara, penting untuk memahami bagaimana udara bergerak dan mengalir melalui kawasan tersebut. Ketinggian dapat mempengaruhi bagaimana polutan tersebar dan berkumpul dalam udara.



Peta Fungsi Jalan

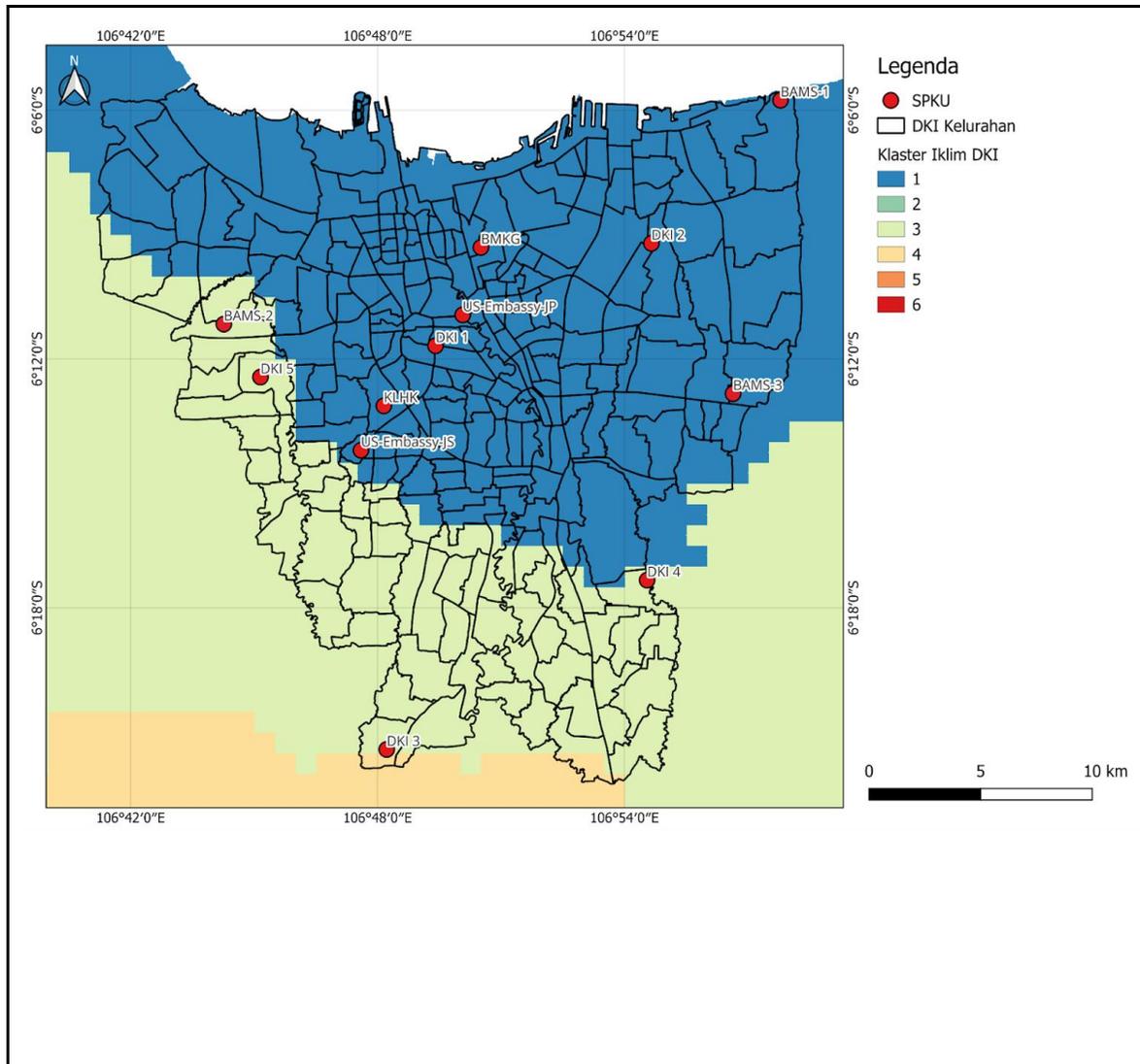
Jaringan pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta sangat dipengaruhi oleh keberadaan jalan arteri, kolektor, lokal, dan jalan lingkungan.

Jalan arteri, sebagai jalur utama transportasi yang biasanya padat lalu lintas, dapat menjadi sumber utama emisi kendaraan bermotor. Jalan kolektor dan lokal juga memiliki peran signifikan dalam pemantauan kualitas udara. Mereka mungkin menjadi tempat dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi atau menjadi wilayah dengan aktivitas industri atau komersial yang berpotensi menghasilkan polusi udara. Selain itu, jalan lingkungan, yang biasanya berada di wilayah perumahan, juga perlu dipantau karena dapat terjadi polusi udara akibat aktivitas domestik, seperti penggunaan alat dapur atau pendingin rumah.



Peta Lokasi Industri

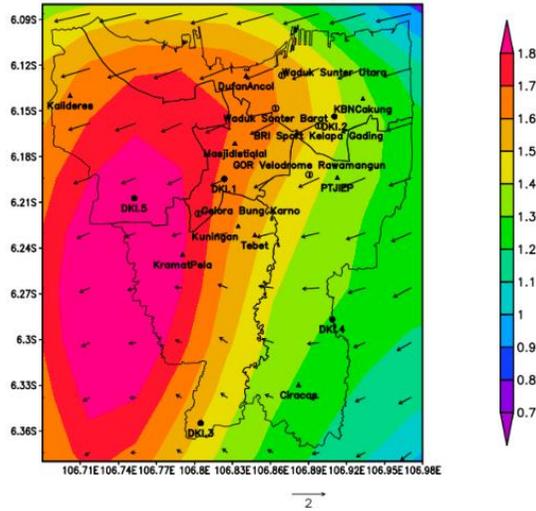
Keberadaan industri di DKI Jakarta sangat menentukan dalam pembentukan dan operasional jaringan pemantauan kualitas udara di wilayah tersebut. DKI Jakarta, sebagai pusat ekonomi dan industri terbesar di Indonesia, memiliki sejumlah besar pabrik, kendaraan bermotor, dan aktivitas komersial lainnya yang berpotensi menghasilkan polusi udara. Jaringan pemantauan kualitas udara berperan kunci dalam mengidentifikasi tingkat polusi udara, mengukur konsentrasi berbagai polutan seperti *Particulate Matter* (PM2.5 dan PM10), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), dan ozon (O₃). Selain itu, jaringan pemantauan ini juga memungkinkan untuk mengidentifikasi zona-zona dengan tingkat polusi yang tinggi, yang dapat digunakan sebagai dasar untuk mengambil kebijakan khusus, seperti penghentian sementara operasi industri yang mencemari pada saat tingkat polusi sangat tinggi.



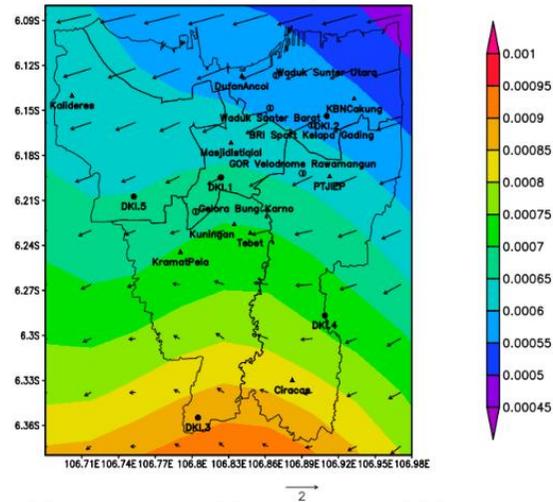
Peta Cluster Iklim DKI Jakarta (1991 - 2020)

Dalam penentuan jaringan pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta, perlu dipertimbangkan adanya dua kluster iklim berbeda yang ada di wilayah ini. Kluster iklim merupakan faktor penting yang harus diperhitungkan karena iklim yang berbeda dapat mempengaruhi kualitas udara dan polusi di suatu daerah. DKI Jakarta, sebagai ibu kota Indonesia, memiliki karakteristik iklim yang cukup unik. Sebagian besar wilayahnya termasuk dalam kluster iklim tropis basah, dengan curah hujan yang cukup tinggi sepanjang tahun. Namun, ada juga sebagian wilayah yang terpengaruh oleh kluster iklim tropis kering, yang cenderung memiliki musim kemarau yang lebih panjang. Oleh karena itu, dalam merancang jaringan pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta, perlu memperhitungkan perbedaan iklim ini untuk mendapatkan data yang representatif dan akurat mengenai polusi udara di berbagai bagian kota ini.

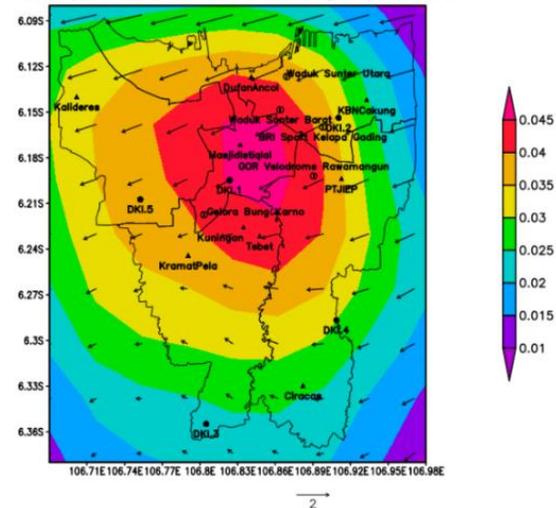
Konsentrasi rata-rata PM10 Agustus 2014



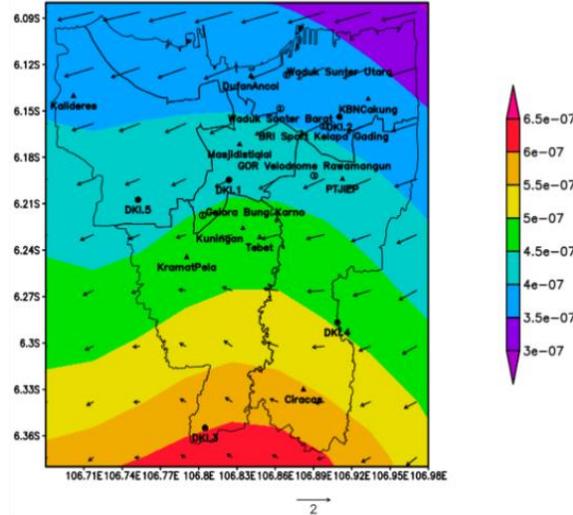
Konsentrasi rata-rata O3 Agustus 2014



Konsentrasi rata-rata SO2 Agustus 2014

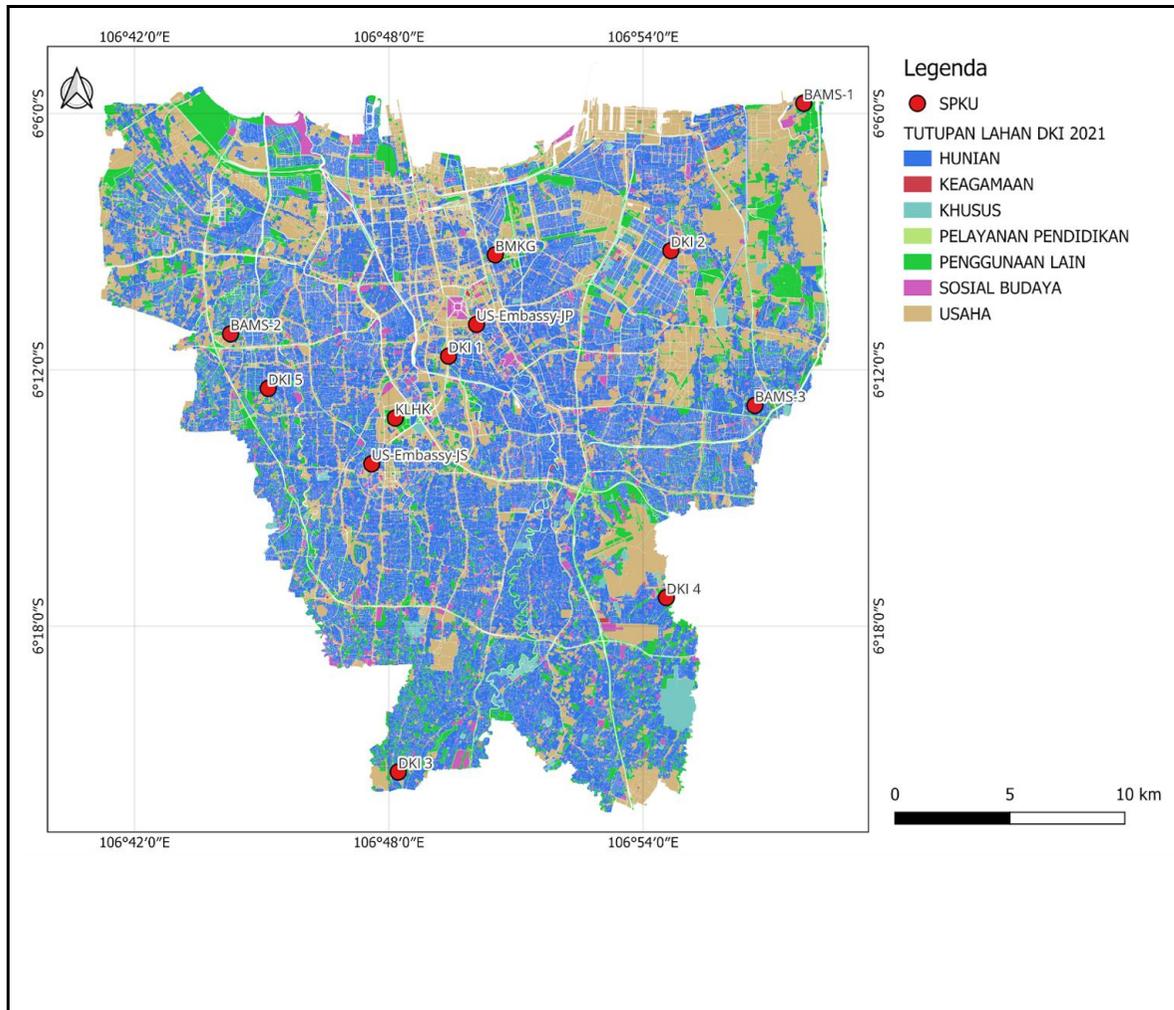


Konsentrasi rata-rata NO2 Agustus 2014

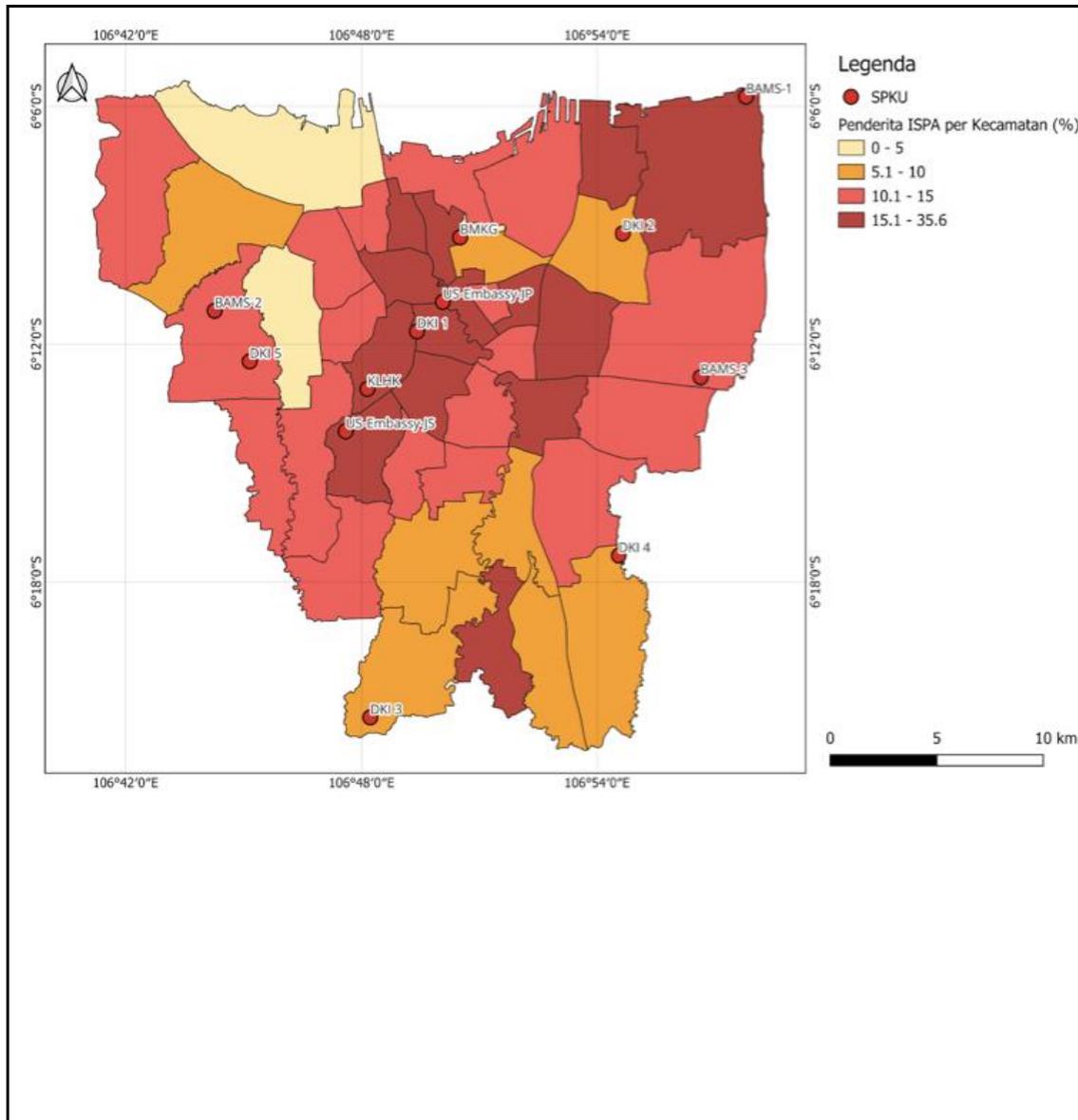


Peta Konsentrasi Polutan (Sumber: Turyanti, 2016)

Tingginya konsentrasi polutan di suatu wilayah di DKI Jakarta, maupun rendahnya konsentrasi polutan di wilayah lain juga digunakan untuk menentukan jumlah dan lokasi jaringan pemantauan kualitas udara. Penentuan lokasi dan jumlah stasiun pemantauan kualitas udara adalah langkah penting dalam upaya pengendalian polusi udara dan perlindungan lingkungan serta kesehatan masyarakat.



Peta Penggunaan Lahan
 Pemilihan lokasi SPKU di DKI Jakarta mencakup berbagai jenis penggunaan lahan. Ini akan memungkinkan pemantauan yang lebih komprehensif terhadap berbagai sumber polusi yang ada, termasuk transportasi, industri, dan pemukiman. Sebagai contoh, beberapa SPKU ditempatkan di sekitar pusat bisnis atau area industri untuk memantau emisi industri, sementara yang lain mungkin ditempatkan di dekat wilayah pemukiman yang padat penduduk. Selain itu, faktor aksesibilitas juga menjadi pertimbangan utama. SPKU harus mudah diakses oleh petugas pemantauan dan peralatan pengukuran, sehingga mereka dapat dengan cepat merespons situasi darurat atau perubahan tiba-tiba dalam kualitas udara. Pemilihan lokasi SPKU juga harus memperhitungkan faktor geografis dan topografis, seperti pola aliran udara dan kemungkinan adanya "hotspot" polusi.



Peta Persentase Penderita ISPA Jakarta tahun 2022

Penderita Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) di DKI Jakarta merupakan salah satu kelompok yang sangat rentan terhadap dampak polusi udara yang tinggi. Penempatan SPKU juga mempertimbangkan wilayah-wilayah yang memiliki tingkat prevalensi ISPA yang tinggi. Ini akan memungkinkan pemantauan yang lebih intensif dan akurat terhadap kualitas udara di daerah-daerah yang paling membutuhkan perlindungan tambahan. Selain itu, lokasi pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta juga perlu berdekatan dengan fasilitas kesehatan, terutama rumah sakit, pusat kesehatan, dan lingkungan sekolah untuk memudahkan penderita ISPA dalam mendapatkan perawatan medis yang cepat jika kondisi mereka memburuk akibat polusi udara. Mengingat pengadaan SPKU membutuhkan sumberdaya yang tidak sedikit, upaya ini akan diakomodasi oleh adanya penggunaan *low-cost* sensor. Ini akan menjadi langkah preventif yang sangat penting untuk melindungi mereka dari dampak buruk polusi udara.

Lampiran 5. Hasil analisis penentuan lokasi SPKU berbasis analisis tumpang susun

No.	Nama SPKU	Lokasi Umum	Grid	DEM & Populasi Penduduk	Kluster Iklim	Jumlah Industri	Tutupan Lahan	Jalan Mayoritas	Peruntukan Spesifik	% Penderita ISPA	Alasan Pemilihan Grid untuk SPKU
1	DKI 1	Bundaran HI, Jakarta Pusat	D4	Sedang	1	Rendah	Usaha	Jalan Arteri	<i>Roadside</i>	Sangat Tinggi	Mewakili SPKU DKI di Jakarta Pusat, representatif <i>roadside</i> dengan mobilitas dan aktivitas tinggi
2	DKI 2	Kelapa Gading, Jakarta Utara	B6	Tinggi	1	Sangat Tinggi	Hunian penduduk	Jalan kolektor	Kawasan Komersil	Sangat Tinggi	Mewakili wilayah Jakarta Utara dengan pemukiman padat penduduk
3	DKI 3	Jagakarsa, Jakarta Selatan	G4	Sedang	2	Rendah	Hunian penduduk	Jalan Lokal	Pemukiman	Sedang	Mewakili wilayah Jakarta Selatan yang juga berfungsi sebagai <i>background</i> atau latar kota karena nilai pemantauan KU berbagai parameter cukup baik dan berada di bawah baku mutu
4	DKI 4	Lubang Buaya, Jakarta Timur	F6	Sedang	2	Tinggi	Usaha/hunian	Jalan Lokal	Industri	Tinggi	Mewakili wilayah Jakarta Timur dengan tingginya aktivitas industri dan pemukiman padat penduduk
5	DKI 5	Kebon Jeruk, Jakarta Barat	D2	Sedang	2	Tinggi	Hunian penduduk	Jalan Kolektor	Sub-urban	Tinggi	Mewakili wilayah Jakarta Barat dengan aktivitas industri dan hunian penduduk yang tinggi
6	KLHK	Gelora Bung Karno, Tanah Abang, Jakarta Pusat	D3	Sedang	1	Rendah	Penggunaan lain/Usaha	Jalan Arteri	<i>Roadside</i>	Sangat Tinggi	Perencanaan dan implementasi pemasangan instrumentasi dilakukan sepenuhnya oleh KLHK
7	BMKG	Kemayoran, Jakarta Pusat	C4	Sedang	1	Rendah	Hunian/Penggunaan lain	Jalan Arteri	<i>Roadside</i>	Sangat Tinggi	Perencanaan dan implementasi pemasangan instrumentasi dilakukan sepenuhnya oleh BMKG
8	US-EMBASSY- JP	Jakarta Pusat	C4	Sedang	1	Rendah	Usaha/Sosial budaya	Jalan Arteri	<i>Roadside</i>	Sangat Tinggi	Perencanaan dan implementasi pemasangan instrumentasi dilakukan sepenuhnya oleh US-Embassy

No.	Nama SPKU	Lokasi Umum	Grid	DEM & Populasi Penduduk	Kluster Iklim	Jumlah Industri	Tutupan Lahan	Jalan Mayoritas	Peruntukan Spesifik	% Penderita ISPA	Alasan Pemilihan Grid untuk SPKU
9	US-EMBASS Y-JS	Jakarta Selatan	E3	Rendah	1	Rendah	Hunian	Jalan Kolektor	Roadside	Sangat Tinggi	Perencanaan dan implementasi pemasangan instrumentasi dilakukan sepenuhnya oleh US-Embassy
10	BAMS-1	Rusunawa Marunda, Cilincing, Jakarta Utara	A7	Tinggi	1	Sangat Tinggi	Usaha	Jalan Lingkungan	Pemukiman	Sangat Tinggi	Mewakili kondisi spesifik PM2.5 di wilayah Jakarta Utara
11	BAMS-2	Kantor Walikota Jakarta Barat	C2	Sedang	2	Sedang	Hunian penduduk	Jalan Kolektor	Kantor Pemerintahan	Tinggi	Mewakili kondisi spesifik PM2.5 di wilayah Jakarta Barat
12	BAMS-3	Kantor Walikota Jakarta Timur	D7	Sangat Tinggi	1	Sedang	Hunian penduduk	Jalan Arteri	Kantor Pemerintahan	Tinggi	Mewakili kondisi spesifik PM2.5 di wilayah Jakarta Timur
13	DKI 6	Pegadungan, Kalideres, Jakarta Barat	B1	Tinggi	1	Tinggi	Usaha/hunian	Jalan Lingkungan	Sub-urban	Tinggi	Mewakili wilayah pesisir dan Jakarta Barat, termasuk grid-grid di sekitarnya,, kepadatan penduduk tinggi, dampak ispa dan konsentrasi polutan tinggi
14	DKI 7	Grogol Petamburan, Jakarta barat	C3	Tinggi	1	Sedang	Hunian penduduk	Jalan Arteri	Roadside	Tinggi	Memberikan representatif Jakarta Barat dari aspek hunian penduduk dan kendaraan bermotor
15	DKI 8	Kedaung Kali Angke, Cengkareng, Jakarta Barat	B2	Sangat Tinggi	1	Sangat Tinggi	Usaha/hunian	Jalan Arteri	Campuran	Sedang	Kombinasi DEM dan Populasi Penduduk sangat tinggi dengan jumlah industri yang sangat tinggi. Mewakili lokasi Jakarta Barat
16	DKI 9	Papanggo, Tanjung Priok, Jakarta Utara	B5	Tinggi	1	Tinggi	Penggunaan lain/hunian	Jalan Kolektor	Pariwisata	Tinggi	Kombinasi seluruh komponen tumpang susun ber nilai tinggi. Mewakili wilayah utara (terutama beberapa grid pesisir)
17	DKI 10	Rorotan, Kec. Cilincing, Jakarta Utara	B7	Tinggi	1	Sangat Tinggi	Usaha/penggunaan lain	Jalan Arteri	Industri	Sangat Tinggi	Kombinasi seluruh komponen tumpang susun bernilai tinggi dan sangat tinggi. Mewakili wilayah utara (grid pesisir)
18	DKI 11	Cakung Timur, Cakung,	C7	Sangat Tinggi	1	Sangat	Usaha/	Jalan	Kawasan	Tinggi	Kombinasi seluruh komponen tumpang

No.	Nama SPKU	Lokasi Umum	Grid	DEM & Populasi Penduduk	Kluster Iklim	Jumlah Industri	Tutupan Lahan	Jalan Mayoritas	Peruntukan Spesifik	% Penderita ISPA	Alasan Pemilihan Grid untuk SPKU
		Jakarta Timur				Tinggi	hunian	Arteri	Komersil		susun bernilai tinggi dan sangat tinggi. Mewakili kondisi Jakarta Timur
19	DKI 12	Kebon Manggis, Matraman, Jakarta Timur	D5	Sedang	1	Rendah	Hunian penduduk	Jalan Arteri	Pusat Perbelanjaan	Sangat Tinggi	Melihat Jakarta Timur pada kondisi kombinasi DEM dan populasi penduduk yang cukup sedang, dengan industri yang rendah, namun memiliki % penderita ISPA yang sangat tinggi.
20	DKI 13	Pulogebang, Jakarta Timur	D7	Sangat Tinggi	1	Sangat Tinggi	Hunian penduduk	Jalan Kolektor	Industri	Tinggi	Kombinasi seluruh komponen tumpang susun bernilai tinggi dan sangat tinggi.
21	DKI 14	Kramat Jati, Jakarta Timur	E5	Sedang	1	Rendah	Hunian penduduk	Jalan Arteri	Pemukiman Padat Penduduk	Tinggi	Melihat Jakarta Timur pada fokus pemukiman padat penduduk dengan jumlah industri yang cukup rendah, namun % penderita ISPA yang tinggi
22	DKI 15	Pondok Kelapa, Kec. Duren Sawit, Jakarta Timur	E7	Tinggi - Sangat Tinggi	1	Rendah	Hunian/ usaha	Jalan Lokal	Pemukiman Padat Penduduk	Tinggi	Melihat Jakarta Timur pada fokus pemukiman padat penduduk (DEM dan Populasi Penduduk Tinggi) dengan jumlah industri yang cukup rendah, namun % penderita ISPA yang tinggi
23	DKI 16	Ciracas, Jakarta Timur	G5	Sedang	2	Tinggi	Hunian/ usaha	Jalan Kolektor	Sub-urban	Sangat Tinggi	Wilayah sub-urban dengan industri yang tinggi dan % penderita ISPA sangat tinggi
24	DKI 17	Lb Bulus, Cilandak, Jakarta Selatan	F3	Rendah	2	Rendah (mewakili latar kota)	Hunian/ usaha	Jalan Arteri	Latar Kota (<i>Background</i>)	Sedang-Tinggi	Grid paling memungkinkan sebagai lokasi latar kota dengan hasil tumpang susun yang cenderung rendah untuk semua komponen
25	DKI 18	Pulau Panggang, Kepulauan Seribu	-	Sedang	-	Rendah (mewakili kepulauan)	Hunian penduduk	Jalan Lingkungan	Wilayah Kepulauan	Rendah	Representatif untuk wilayah kepulauan (mempertimbangkan jumlah penduduk dan ketersediaan tim <i>maintenance</i> di pulau)

Lampiran 6. Detail seluruh grid di DKI Jakarta yang tidak digunakan sebagai wilayah referensi (SPKU)

No.	Nama Grid	Lokasi Umum	DEM & Populasi Penduduk	Kluster Iklim	Jumlah Industri	Tutupan Lahan	Fungsi Jalan	% Penderita ISPA	Alasan Tidak Digunakannya Grid untuk SPKU	Rekomendasi LCS
1	A1	Kamal, Kalideres, Jakarta Barat	Tinggi (karakteristik mirip B1, sehingga diwakili B1)	1	Tinggi (Diwakili B1)	Usaha/ lain-lain	Jalan Arteri	Rendah	Lokasi/grid sudah diwakili oleh SPKU 6 (memiliki karakteristik yang hampir sama dengan SPKU 6)	LCS 16 (Kamal, Kalideres)
2	A2	Pantai Indah Kapuk, Boulevard, Jakarta Utara	Tinggi (Diwakili oleh B2)	1	Rendah	Lain-lain (rekreasi)	Jalan Kolektor	Rendah	Lokasi sudah diwakili oleh Grid B2, dan terdapat LCS lainnya. Kondisi penentu titik SPKU tidak memenuhi syarat.	Terdapat LCS yang sangat berdekatan dengan Grid A2, yaitu LCS 21 (Kamal Muara, Penjaringan)
3	A3	Pluit, Jakarta Utara	Tinggi (Dapat diwakili B1, B2)	1	Rendah	Usaha/hunian	Jalan Lokal	Rendah	Wilayah Grid sebagian besar diisi oleh perairan dan secara bentang alam dapat diwakili oleh Grid B1 dan B2	Wilayah Grid sebagian besar diisi oleh perairan
4	A5	Tanjung Priok, Jakarta Utara	Tinggi (Diwakili B5)	1	Sedang	Usaha	Jalan Arteri	Tinggi (Diwakili B5)	Wilayah Grid sebagian besar diisi oleh perairan dan secara bentang alam dapat diwakili oleh Grid B5	Wilayah Grid sebagian besar diisi oleh perairan
5	A6	Tanjung Priok, Jakarta Utara	Tinggi (Dapat diwakili B5, B7)	1	Tinggi (Diwakili B5, B7)	Usaha/hunian	Jalan Arteri	Sangat Tinggi (Diwakili B5, B7)	Memiliki karakteristik fisik dan hasil tumpang susun yang mirip dengan beberapa Grid di sekitarnya (B5, B7), sehingga dapat diwakili	LCS 23 (Rawa Badak Utara, Koja)
6	A7	Marunda, Jakarta Utara	Tinggi (Diwakili B7)	1	Tinggi (Diwakili B7)	Usaha/hunian	Jalan Kolektor	Sangat Tinggi (Diwakili B7)	Selain memiliki karakteristik yang serupa dengan grid di sekelilingnya sehingga dapat diwakili oleh grid-grid tersebut, dalam grid ini juga terdapat SPKU BAMS	LCS 4 (SDN 5 Marunda)

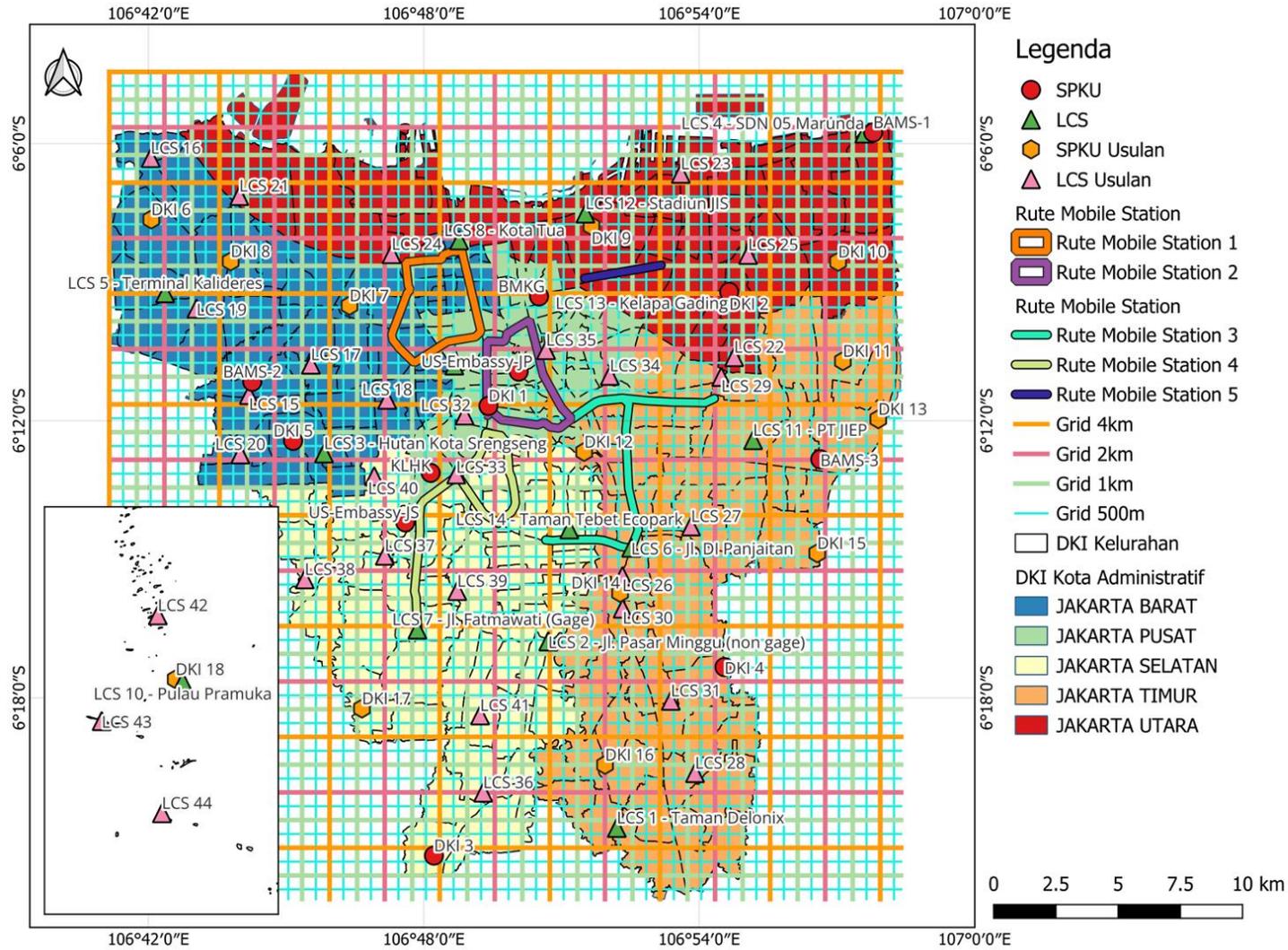
No.	Nama Grid	Lokasi Umum	DEM & Populasi Penduduk	Kluster Iklim	Jumlah Industri	Tutupan Lahan	Fungsi Jalan	% Penderita ISPA	Alasan Tidak Digunakannya Grid untuk SPKU	Rekomendasi LCS
7	B3	Penjaringan, Jakarta Utara	Sedang	1	Sedang	Hunian/ usaha	Jalan Arteri	Rendah	Tumpang susun tidak memenuhi syarat pemasangan SPKU	LCS 24 (Pejagalan, Penjaringan)
8	B4	Pademangan, Jakarta Utara	Sedang	1	Sedang	Usaha/ hunian	Jalan Arteri	Tinggi (Diwakili B5)	Komponen % penderita ISPA dapat diwakili oleh Grid B5	LCS 8 (Kota Tua)
9	C1	Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat	Tinggi (Dapat diwakili B1, B2)	2	Sedang	Hunian/ usaha	Jalan Lokal	Sedang	Kombinasi DEM & populasi penduduk dapat diwakili oleh Grid B1 dan B2	LCS 19 (Duri Kosambi, Cengkareng)
10	C2	Kembangan, Jakarta Barat	Sedang	2	Rendah	Hunian	Jalan Arteri	Sedang	Terdapat SPKU BAMS	LCS 15 (Meruya Selatan, Kembangan), LCS 17 (Kedoya Selatan, Kebon Jeruk)
11	C4	Gambir, Jakarta Pusat	Rendah-sedang	1	Rendah	Usaha/ sosial budaya	Jalan Arteri	Sangat Tinggi (Cukup banyak SPKU berdekatan di grid ini)	Terdapat SPKU BMKG, US Embassy, DKI 1 Bundaran HI terletak tepat di bawah grid ini,	LCS 9 (Dinas Teknis Jati Baru), LCS 35 (Senen, Senen)
12	C5	Cempaka Putih, Jakarta Pusat	Sedang	1	Sedang	Hunian	Jalan Arteri	Sedang- Tinggi	Tumpang susun tidak memenuhi syarat pemasangan SPKU	LCS 34 (Cempaka Putih Barat, Cempaka Putih)
13	C6	Pulogadung, Jakarta Timur	Sedang	1	Sangat Tinggi (Diwakili C7)	Hunian/ usaha	Jalan Arteri	Sedang- Tinggi	Tumpang susun tidak memenuhi syarat pemasangan SPKU	LCS 22 (Pegangsaan Dua, Kelapa Gading), LCS 29 (Pulo Gadung, Kelapa Gading)
14	D1	Kembangan, Jakarta Barat	Sedang	2	Rendah	Hunian	Jalan Lingkungan	Tinggi (Diwakili D2)	Grid sebagian besar memuat wilayah Banten	-
15	D3	Palmerah,	Rendah-sedang	1	Rendah	Hunian/	Jalan Arteri	Rendah- Sedang	Terdapat SPKU KLHK	LCS 40 (Grogol)

No.	Nama Grid	Lokasi Umum	DEM & Populasi Penduduk	Kluster Iklim	Jumlah Industri	Tutupan Lahan	Fungsi Jalan	% Penderita ISPA	Alasan Tidak Digunakannya Grid untuk SPKU	Rekomendasi LCS
		Jakarta Barat				usaha				Utara, Kebayoran Lama)
16	D6	Cakung, Jakarta Timur	Tinggi (karakteristik ini cukup banyak diwakili oleh grid lain di Jaktim, seperti C7, D7, E7)	1	Sangat Tinggi (Diwakili D7)	Hunian/ usaha	Jalan Kolektor	Tinggi (Diwakili D5, D7)	karakteristik ini cukup banyak diwakili oleh grid lain di Jaktim, seperti C7, D5, D7, E7	LCS 11 (PT. JIEP),
17	E2	Pesanggrahan, Jakarta Selatan	Sedang	2	Rendah	Hunian/ lain-lain	Jalan Arteri	Tinggi (Diwakili D2)	% penderita ISPA dapat diwakili oleh Grid D2	LCS 38 (Pesanggrahan, Pesanggrahan)
18	E3	Kebayoran Baru, Jakarta Selatan	Rendah-sedang	2	Rendah	Hunian/ usaha	Jalan Kolektor	Sangat Tinggi (Diwakili D2)	Sudah terdapat SPKU Embassy Jaksel	LCS 37 (Kebayoran Lama Selatan, Kebayoran Lama)
19	E4	Pancoran, Jakarta Selatan	Rendah-sedang	1	Rendah	Hunian	Jalan Arteri	Tinggi (Diwakili E5)	% penderita ISPA dapat diwakili oleh Grid E5	LCS 39 (Bangka, Mampang Prapatan)
20	E6	Makassar, Jakarta Timur	Sedang	1	Rendah	Usaha/ hunian	Jalan Arteri	Tinggi (Diwakili E5, E7)	Sudah diwakili oleh E7 (DKI 15)	LCS 27 (Pondok Bambu, Duren Sawit)
21	F4	Pasar Minggu, Jakarta Selatan	Sedang	2	Rendah	Hunian/ usaha	Jalan Arteri	Sedang	Tumpang susun tidak memenuhi syarat pemasangan SPKU	LCS 2 (Jalan Pasar Minggu), LCS 41 (Ragunan, Pasar Minggu)
22	F5	Kramat Jati, Jakarta Timur	Rendah	2	Rendah	Hunian/ usaha	Jalan Arteri	Sedang	Tumpang susun tidak memenuhi syarat pemasangan SPKU	-
23	G6	Cipayung,	Rendah	2	Rendah	Hunian/	Jalan Lokal	Sedang	Tumpang susun tidak	LCS 28 (Cipayung,

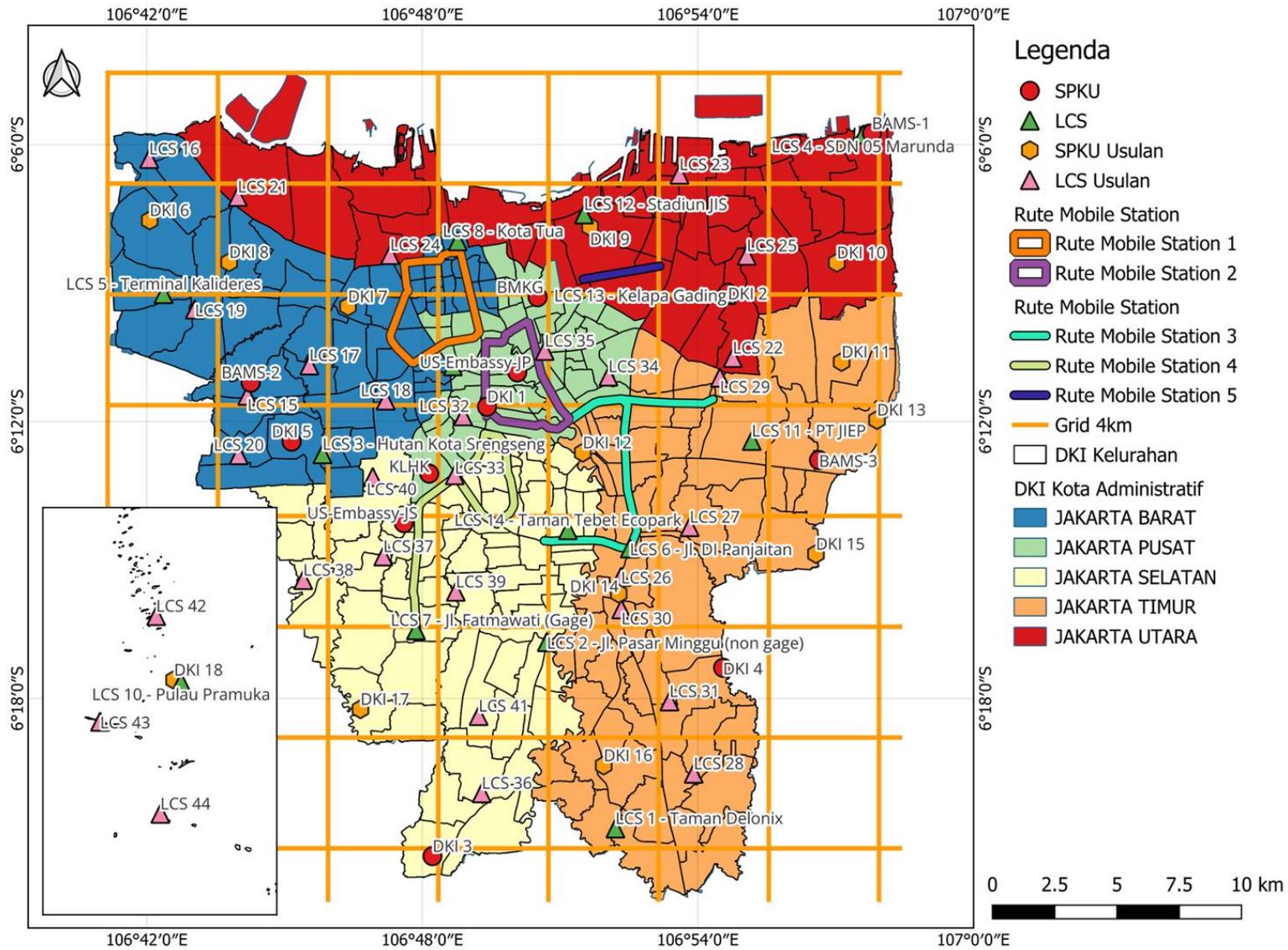
No.	Nama Grid	Lokasi Umum	DEM & Populasi Penduduk	Kluster Iklim	Jumlah Industri	Tutupan Lahan	Fungsi Jalan	% Penderita ISPA	Alasan Tidak Digunakannya Grid untuk SPKU	Rekomendasi LCS
		Jakarta Timur				khusus			memenuhi syarat pemasangan SPKU	Cipayung)

Lampiran 7. Ragam grid jumlah dan lokasi seluruh jaringan pemantauan di DKI Jakarta

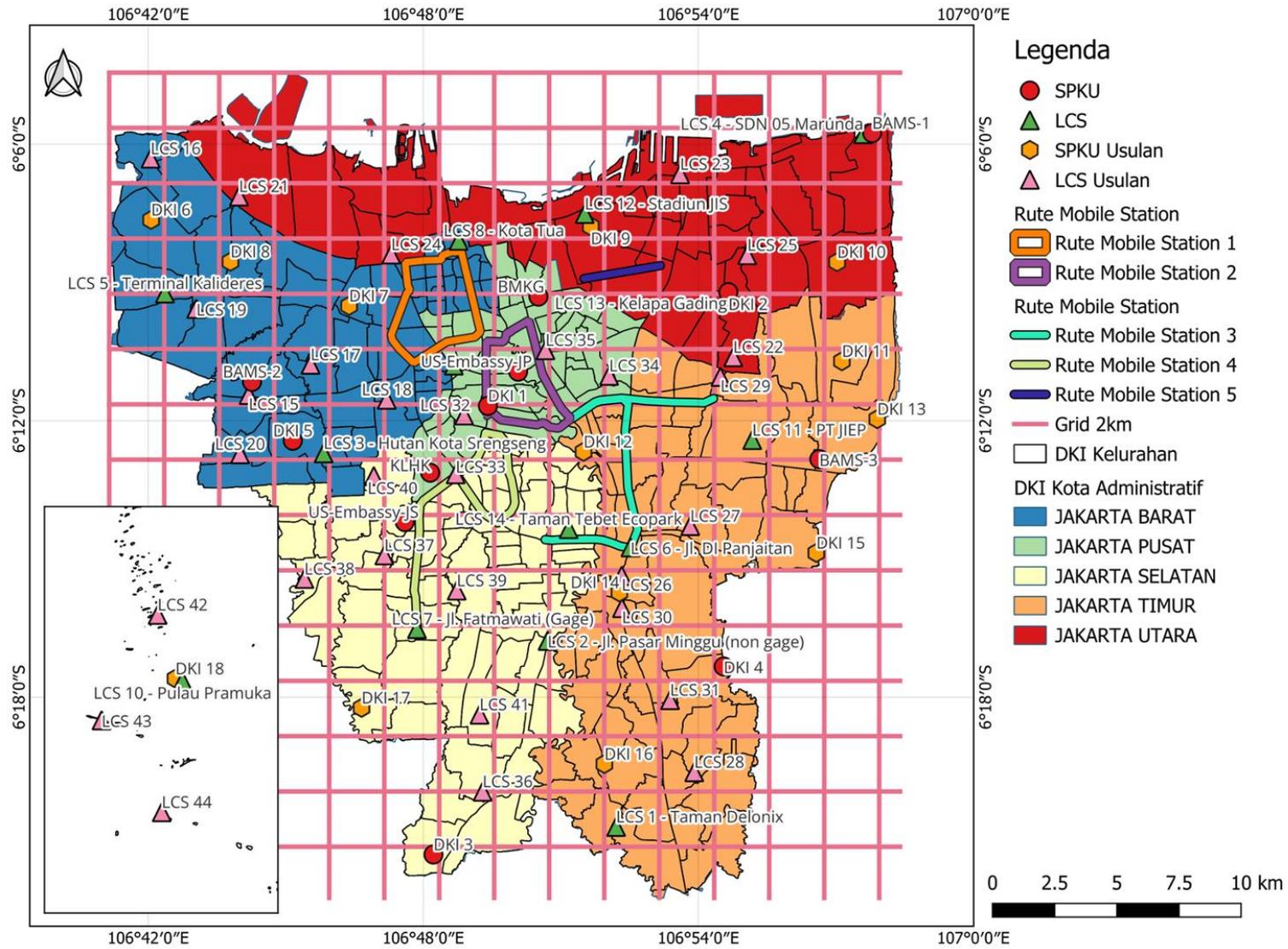
a. Jumlah dan lokasi seluruh SPKU dan LCS di DKI Jakarta (grid kompilasi)



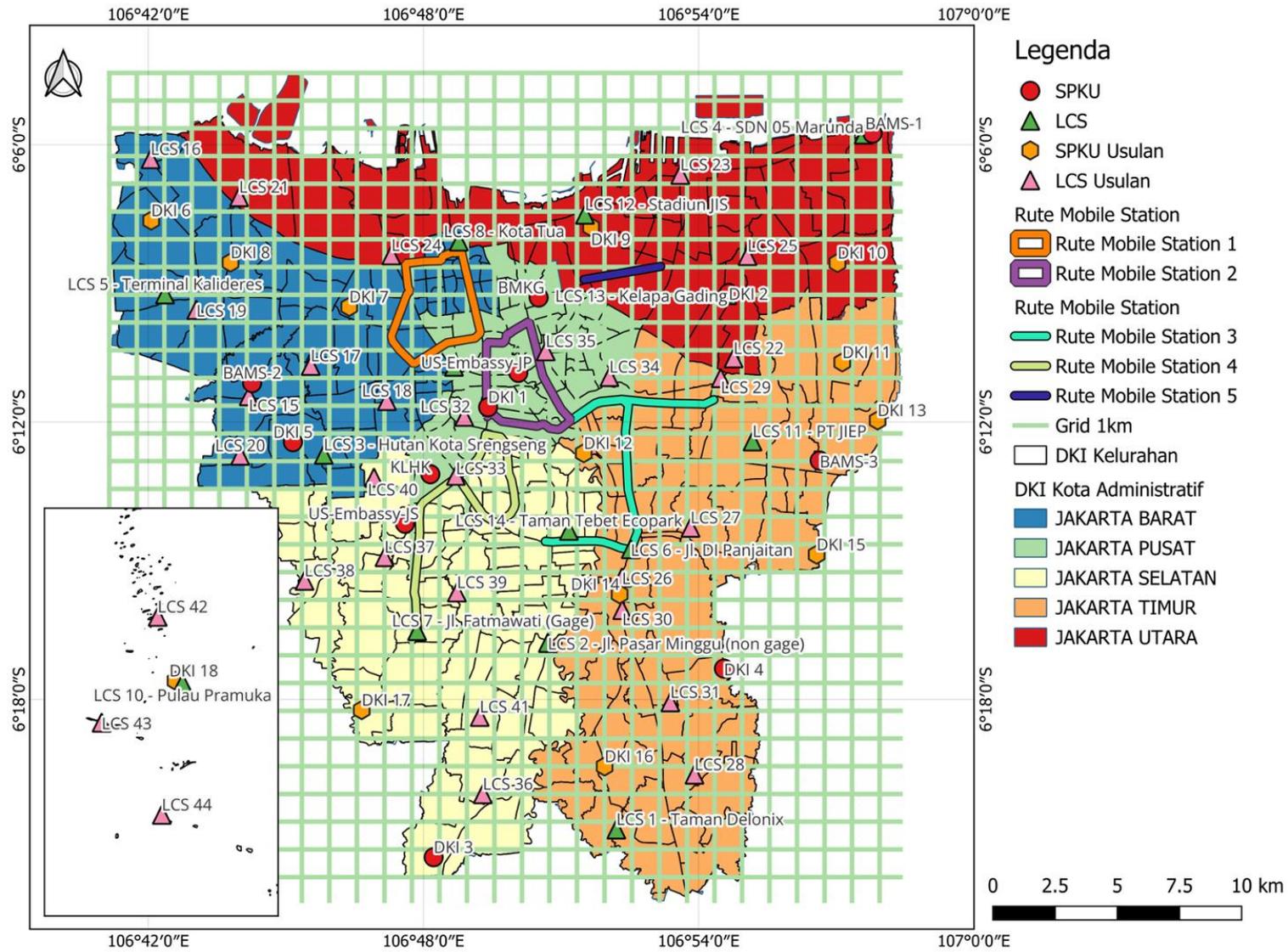
b. Jumlah dan lokasi seluruh SPKU dan LCS di DKI Jakarta (grid 4 km)



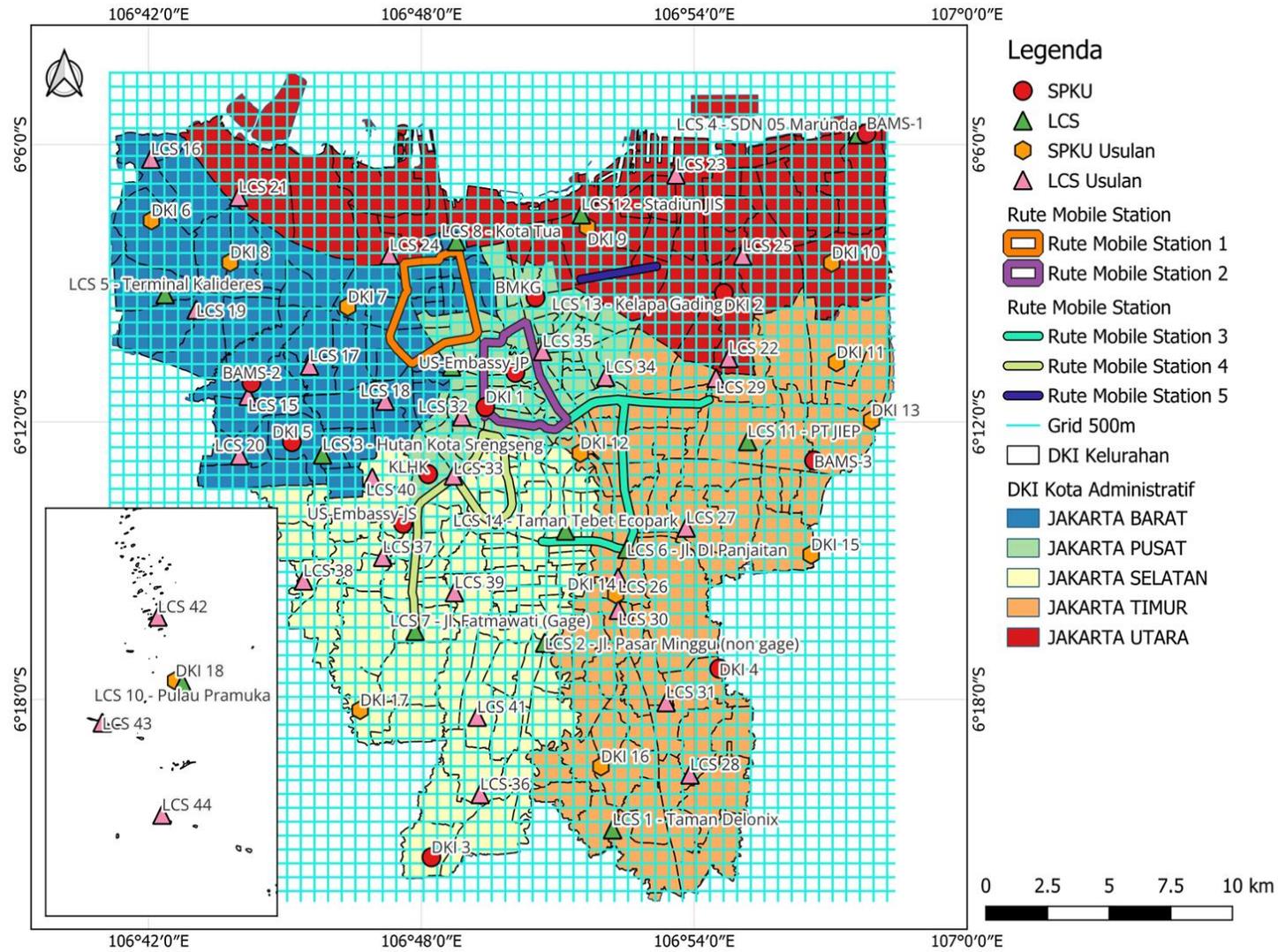
c. Jumlah dan lokasi seluruh SPKU dan LCS di DKI Jakarta (grid 2 km)



d. Jumlah dan lokasi seluruh SPKU dan LCS di DKI Jakarta (grid 1 km)



e. Jumlah dan lokasi seluruh SPKU dan LCS di DKI Jakarta (grid 500 m)



Lampiran 8. Detail titik lokasi SPKU berbasis hasil validasi lapang dan dokumentasi

No	Nama SPKU	Titik Lokasi Eksisting/ Rekomendasi	Akses Jalan menuju titik lokasi SPKU	Sumber Emisi Utama dan jaraknya	Jarak dari Pohon dan Penghalang	Jarak dari Jalan dan Pemukiman Penduduk	Informasi Umum dari Warga Sekitar	Keamanan (Alam dan Sosial)	
1	DKI 1	Bundaran HI, Jakarta Pusat	jalan arteri dengan akses sangat mudah	Kendaraan bermotor	15 m	>15 m	-	aman, sebelah pos polisi Bundaran HI	
2	DKI 2	Kelapa Gading, Jakarta Utara	Cukup mudah	LRT, kendaraan bermotor	<15 m. Sedang diusahakan untuk menebang pohon terdekat	>15 m karena berada di dalam RPTRA	Terdapat potensi polusi minor berupa mesin diesel PLN	Aman. Pernah terjadi banjir, namun tidak sampai masuk ke shelter	
3	DKI 3	Jagakarsa, Jakarta Selatan	Cukup mudah	Industri UMKM namun cukup jauh	>15 m	>15 m	Tidak terdapat polusi minor	Aman baik secara sosial maupun kondisi bencana	
4	DKI 4	Lubang Buaya, Jakarta Timur	Sangat mudah	Industri tahu, industri arang, emisi kendaraan besar, pemukiman padat penduduk	<15 m, namun sedang diusahakan untuk penebangan	<15 m karena berada tepat di samping pemukiman penduduk dan dibatasi pagar	Polusi minor berasal dari industri UMKM, kendaraan besar, dan pemukiman penduduk	Aman baik secara sosial maupun kondisi bencana	
5	DKI 5	Kebon Jeruk, Jakarta Barat	Mudah, namun tidak ada pintu masuk menuju shelter. perlu didesain pagar dengan pintu	Pemukiman/ perumahan	>15 m	>15 m	Kondisi udara di sekitar sangat panas	Aman baik secara sosial maupun kondisi bencana	
6	KLHK	Gelora Bung Karno, Tanah Abang, Jakarta Pusat	Tim tidak melakukan survei lokasi pada Jaringan ini						

No	Nama SPKU	Titik Lokasi Eksisting/ Rekomendasi	Akses Jalan menuju titik lokasi SPKU	Sumber Emisi Utama dan jaraknya	Jarak dari Pohon dan Penghalang	Jarak dari Jalan dan Pemukiman Penduduk	Informasi Umum dari Warga Sekitar	Keamanan (Alam dan Sosial)
7	BMKG	Kemayoran, Jakarta Pusat						
8	US-EMBASSY-JP	Jakarta Pusat						
9	US-EMBASSY-JS	Jakarta Selatan						
10	BAMS-1	Rusunawa Marunda, Cilincing, Jakarta Utara						
11	BAMS-2	Kantor Walikota Jakarta Barat						
12	BAMS-3	Kantor Walikota Jakarta Timur						
13	DKI 6	1. Lahan terbuka milik Badan Pengelola Aset Daerah, DKI Jakarta	Jalan besar dan mudah dilewati oleh truk kontainer	Perumahan	>15 meter	>15 meter	Tidak ada polusi minor yang berpengaruh, industri berada pada jarak aman	Aman baik dari pencurian maupun banjir
14	DKI 7	1. Sekolah Menengah Pertama Negeri 82 Jakarta Barat	Jalan besar dan mudah dilalui truk kontainer	Pemukiman penduduk, kendaraan bermotor	>15 meter	>15 meter	-	Cenderung aman dari pencurian maupun banjir
15	DKI 8	1. KPP Pratama Pusat Data Pajak,	Jalan besar dan mudah dilalui truk kontainer	pemukiman penduduk, perkantoran	>15 meter	>15 meter	Pencemaran terjadi dari industri, kendaraan bermotor,	Aman baik dari pencurian maupun banjir

No	Nama SPKU	Titik Lokasi Eksisting/ Rekomendasi	Akses Jalan menuju titik lokasi SPKU	Sumber Emisi Utama dan jaraknya	Jarak dari Pohon dan Penghalang	Jarak dari Jalan dan Pemukiman Penduduk	Informasi Umum dari Warga Sekitar	Keamanan (Alam dan Sosial)
		Cengkareng 1. Universitas Satyagama 2. Lingkungan SAMSAT Jakarta Barat						dan pemukiman padat penduduk
16	DKI 9	1. Lahan terbuka SUDINKES Kepulauan Seribu 2. Lahan terbuka milik Badan Pengelola Aset Daerah Provinsi DKI Jakarta	Akses mudah dan dapat dilewati truk kontainer	Industri	>15 meter	>15 meter	Tidak terdapat polusi minor	Aman baik dari pencurian maupun banjir
17	DKI 10	1. Tanah milik Pemda DKI Jakarta di depan RPTRA Pancarona	Lokasi dapat diakses oleh kendaraan yang besar.	Sumber emisi berasal dari berbagai Industri yang berada di sekitar lokasi ini	>15 meter	>15 meter	Sumber emisi berasal dari industri, PLTU, kendaraan bermotor dan aktivitas pembakaran sampah warga sekitar	Aman, karena terdapat petugas RPTRA yang menjaga lokasi dan RPTRA dikelilingi pagar.
18	DKI 11	1. Taman Kota Jakarta Garden City milik DKI Jakarta (perumahan depan) 2. Taman Kota Hijau, Cakung 3. PosPol JGC	Lokasi dapat diakses oleh kendaraan yang besar	Perumahan, industri	>15 meter	>15 meter	Industri ada, namun berada dalam jarak yang aman. Berada di dalam perumahan dan memakai lahan taman	Aman, karena berada dalam perumahan

No	Nama SPKU	Titik Lokasi Eksisting/ Rekomendasi	Akses Jalan menuju titik lokasi SPKU	Sumber Emisi Utama dan jaraknya	Jarak dari Pohon dan Penghalang	Jarak dari Jalan dan Pemukiman Penduduk	Informasi Umum dari Warga Sekitar	Keamanan (Alam dan Sosial)	
19	DKI 12	1. SDN 13 Pagi Kebon Manggis	Jalan besar dan mudah dilalui kendaraan besar	Kendaraan bermotor	>15 meter	>15 meter	Udara tidak terlalu bersih karena dekat dengan jalan utama	Lokasi aman, berada di dalam lingkungan sekolah	
20	DKI 13	1. Lahan terbuka milik Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman, DKI Jakarta	Jalan besar dan mudah diakses oleh kendaraan yang besar.	Kendaraan bermotor, dan sebagian industri	>15 meter	> 15 meter	Udara tidak terlalu bersih karena dekat dengan jalan utama, sumber emisi utama berasal dari kendaraan bermotor	Lokasi aman, terdapat penjaga RPTRA namun belum memiliki pagar yang mengelilingi lokasi	
21	DKI 14	1. Lahan DLH Kelurahan Batu Ampar 2. Kantor DLH DKI Jakarta	Lokasi berada di tengah pemukiman penduduk, dapat diakses oleh kendaraan yang besar.	Pemukiman, kendaraan bermotor	>15 meter	>15 meter	Saat ini lahan digunakan sebagai lokasi parkir, namun dapat diinformasikan karena lahan tersebut milik DLH DKI Jakarta	Lokasi aman, berada di tengah pemukiman penduduk	
22	DKI 15	1. Dinas Peningkatan Produksi dan Ketenagakerjaan DKI Jakarta	Jalan besar dan mudah dilalui kendaraan besar	Kendaraan bermotor,	>15 meter	>15 meter	Lokasi industri jauh dari wilayah ini, didominasi oleh pemukiman penduduk	Lokasi aman karena berada di dalam lingkungan dinas DKI Jakarta	
23	DKI 16	1. GOR Ciracas: Wilayah Sumur Pantau Geologi 2. Taman Mahoni	Jalan besar dan mudah dilalui kendaraan besar	Kendaraan bermotor, industri	>15 meter	>15 meter	Didominasi lokasi industri, namun terletak pada jarak aman	Lokasi aman karena berada di dalam GOR	

No	Nama SPKU	Titik Lokasi Eksisting/ Rekomendasi	Akses Jalan menuju titik lokasi SPKU	Sumber Emisi Utama dan jaraknya	Jarak dari Pohon dan Penghalang	Jarak dari Jalan dan Pemukiman Penduduk	Informasi Umum dari Warga Sekitar	Keamanan (Alam dan Sosial)	
24	DKI 17	1. Kebun Bibit Lebak Bulus 2. STIKES Pamentas 3. Taman Bulus Bali	Jalan besar dan mudah dilalui kendaraan besar	Pemukiman penduduk, relatif minim sumber emisi	>15 meter	>15 meter	Lokasi berpotensi untuk dijadikan latar kota (background)	Lokasi aman karena berada di dalam area kebun bibit	
25	DKI 18	1. Pulau Panggang	Akses mudah, lokasi di depan kantor kelurahan dan dekat dengan pelabuhan	Pemukiman penduduk pulau	>15 meter	>15 meter	Pulau Panggang merupakan representatif pulau kecil padat penduduk di Kepulauan Seribu	Lokasi aman dan berada di halaman kantor kelurahan	

Dokumentasi:

No	Nama SPKU	Gambar 1	Gambar 2	Gambar 3	Gambar 4
1	DKI 1				
2	DKI 2				
3	DKI 3				

No	Nama SPKU	Gambar 1	Gambar 2	Gambar 3	Gambar 4
4	DKI 4				
5	DKI 5				
6	DKI 6				

No	Nama SPKU	Gambar 1	Gambar 2	Gambar 3	Gambar 4
7	DKI 7				
8	DKI 8				
9	DKI 9				

No	Nama SPKU	Gambar 1	Gambar 2	Gambar 3	Gambar 4
10	DKI 10				
11	DKI 11				
12	DKI 12				

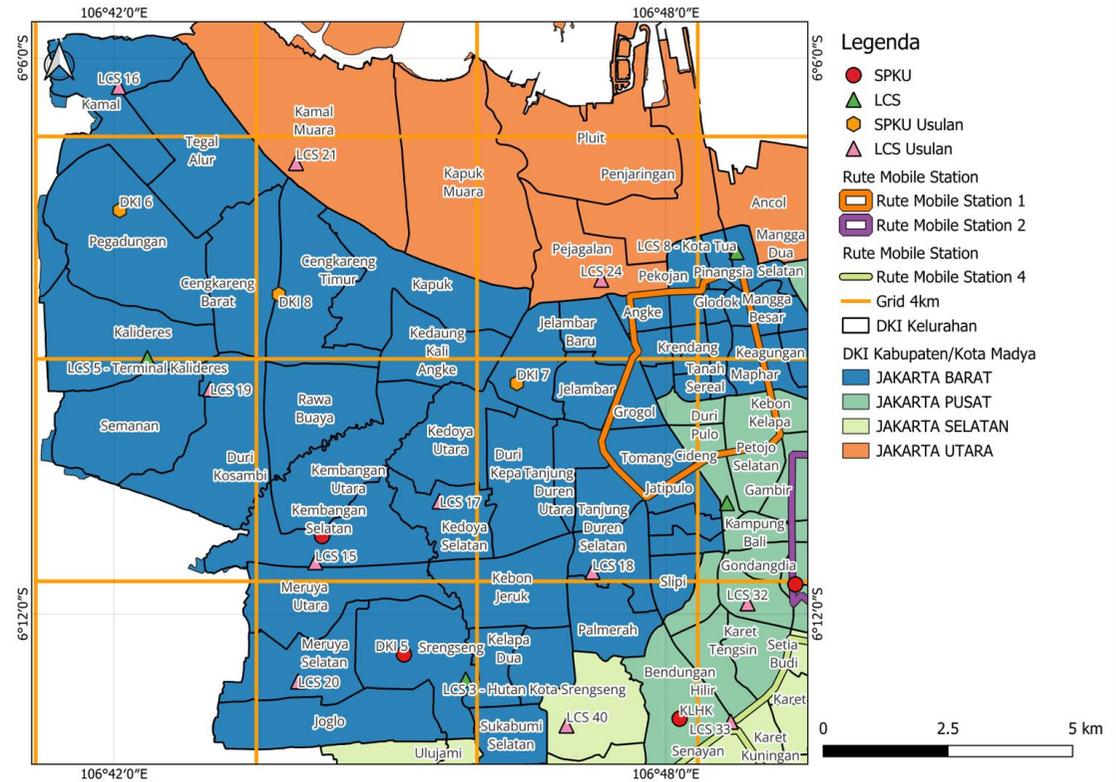
No	Nama SPKU	Gambar 1	Gambar 2	Gambar 3	Gambar 4
13	DKI 13				
14	DKI 14				
15	DKI 15				

No	Nama SPKU	Gambar 1	Gambar 2	Gambar 3	Gambar 4
16	DKI 16				
17	DKI 17				
18	DKI 18				

Lampiran 9. Usulan jaringan pemantauan berbasis kota administratif

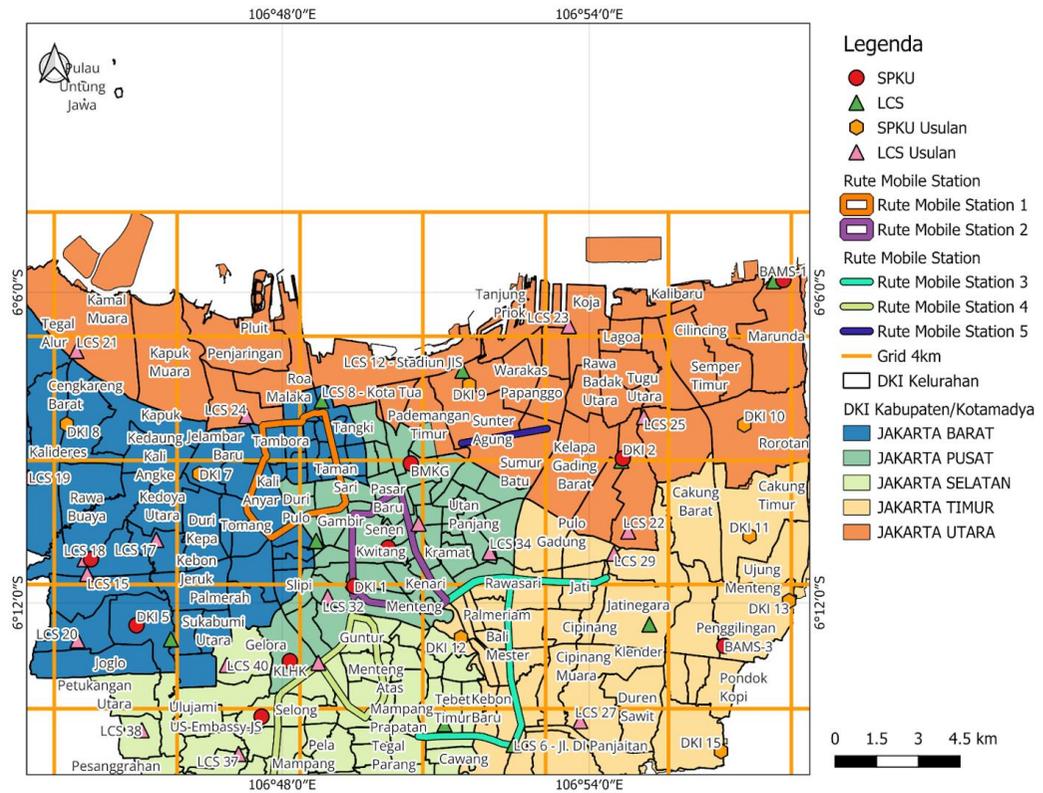
Jakarta Barat

- DKI 5: Kebon Jeruk, Jakarta Barat
- BAMS-2: Kantor Walikota Jakarta Barat
- DKI 6: Pegadungan, Kalideres, Jakarta Barat
- DKI 7: Grogol, Petamburan, Jakarta Barat
- DKI 8: Kedaung, Kali Angke, Cengkareng, Jakarta Barat
- LCS 3: Hutan Kota Srengseng
- LCS 5: Terminal Kalideres
- LCS 8: Kota Tua
- LCS 15: Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta Barat
- LCS 16: Kamal, Kalideres, Jakarta Barat
- LCS 17: Kedoya Selatan, Kebon Jeruk, Jakarta Barat
- LCS 18: Kemanggisan, Palmerah, Jakarta Barat
- LCS 19: Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat
- LCS 20: Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta Barat
- *Mobile Station*



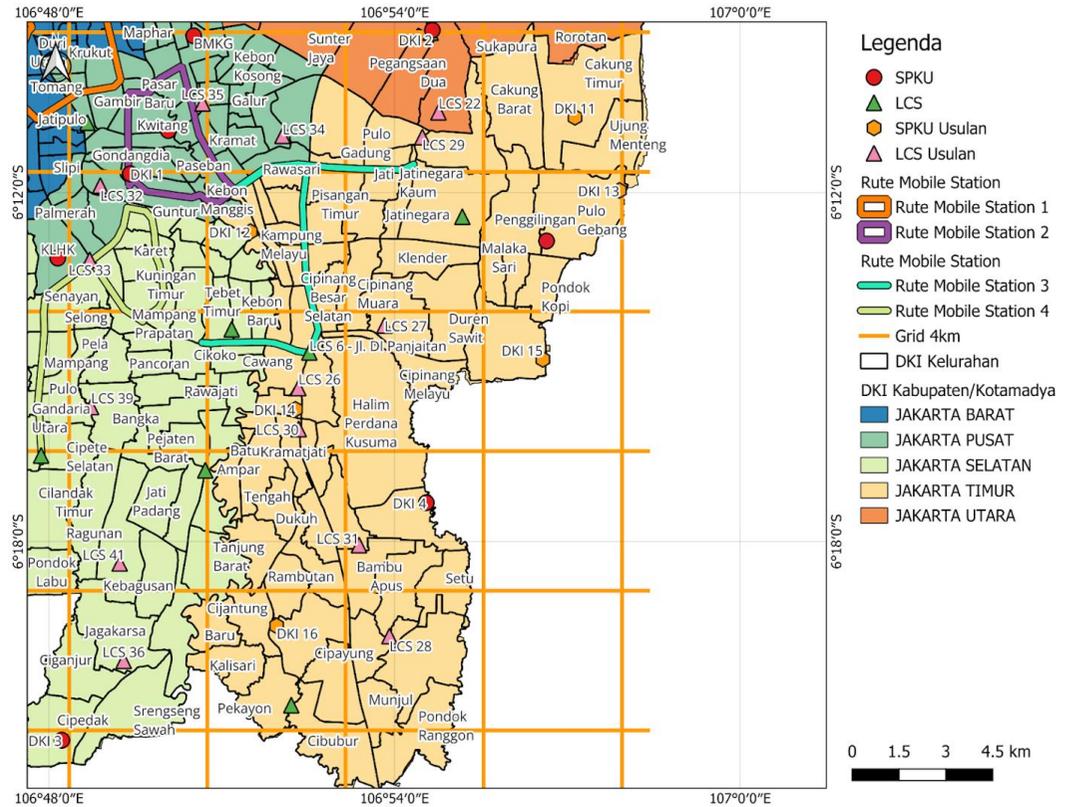
Jakarta Utara

- DKI 2: Kelapa Gading, Jakarta Utara
- BAMS-1: Rusunawa Marunda, Cilincing, Jakarta Utara
- DKI 9: Ancol, Pademangan, Jakarta Utara
- DKI 10: Rorotan, Kec. Cilincing, Jakarta Utara
- LCS 4: SDN 5 Marunda, Jakarta Utara
- LCS 12: Stadion Olahraga JIS, Jakarta Utara
- LCS 13: Kelapa Gading, Jakarta Utara
- LCS 21: Kamal Muara, Penjaringan, Jakarta Utara
- LCS 22: Pegangsaan Dua, Kelapa Gading, Jakarta Utara
- LCS 23: Rawa Badak Utara, Koja, Jakarta Utara
- LCS 24: Pejagalan, Penjaringan, Jakarta Utara
- LCS 25: Sukapura, Cilincing, Jakarta Utara
- *Mobile Station*



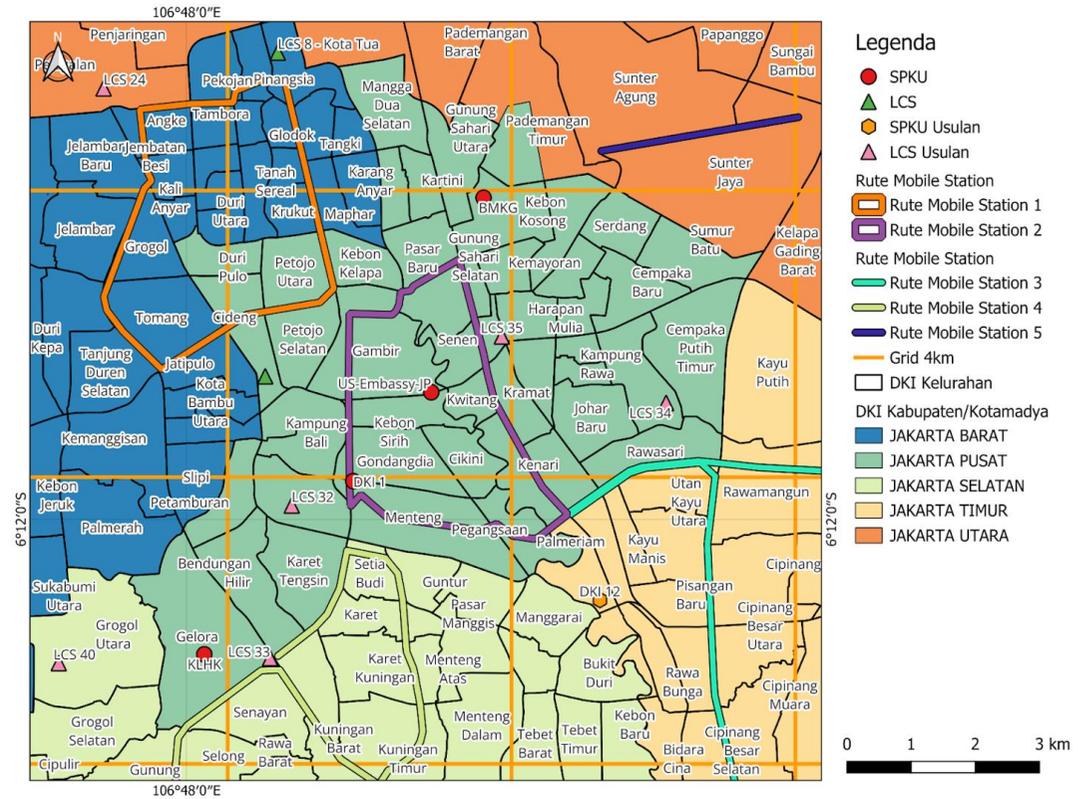
Jakarta Timur

- DKI 4: Lubang Buaya, Jakarta Timur
- BAMS-3: Kantor Walikota Jakarta Timur
- DKI 11: Cakung Timur, Cakung, Jakarta Timur
- DKI 12: Kebon Manggis, Matraman, Jakarta Timur
- DKI 13: Pulogebang, Jakarta Timur
- DKI 14: Kramat Jati, Jakarta Timur
- DKI 15: Pondok Kelapa, Kec. Duren Sawit, Jakarta Timur
- DKI 16: Ciracas, Jakarta Timur
- LCS 1: Taman Delonix
- LCS 6: Jalan DI Panjaitan, Jakarta Timur
- LCS 11: PT. JIEP, Jakarta Timur
- LCS 26: Cawang, Kramat Jati, Jakarta Timur
- LCS 27: Pondok Bambu, Duren Sawit, Jakarta Timur
- LCS 28: Cipayung, Cipayung, Jakarta Timur
- LCS 29: Pulogadung, Kelapa Gading, Jakarta Timur
- LCS 30: Kramat Jati, Kramat Jati, Jakarta Timur
- LCS 31: Ceger, Cipayung, Jakarta Timur
- *Mobile Station*



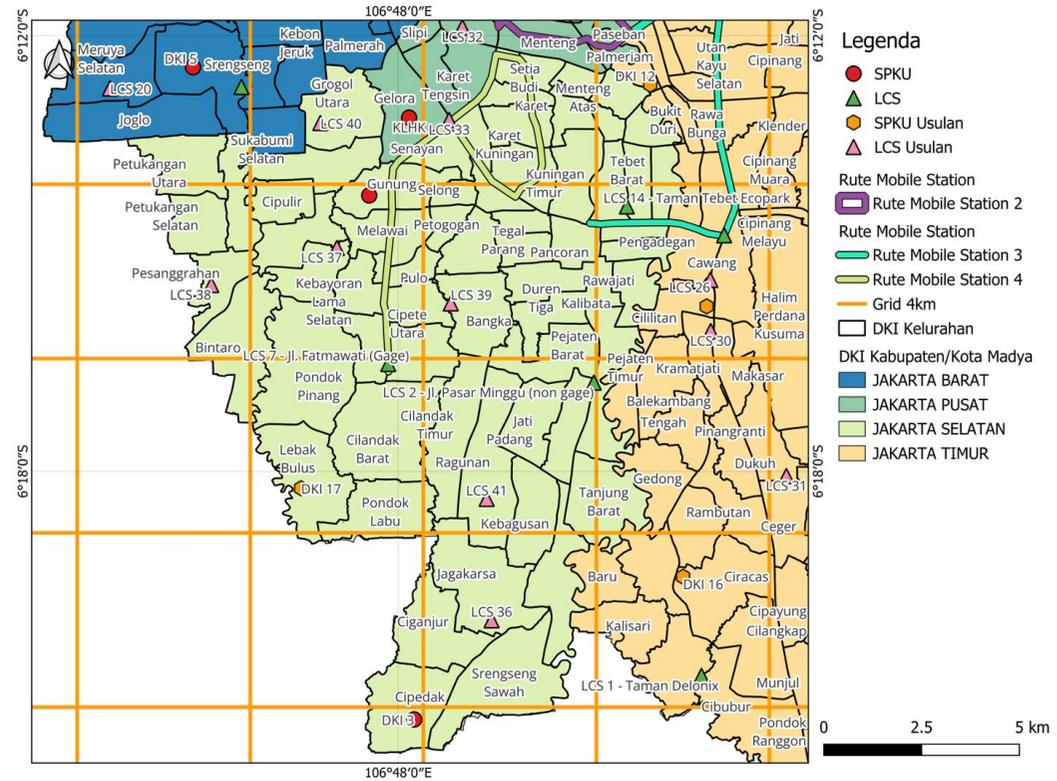
Jakarta Pusat

- DKI 1: Bundaran HI, Jakarta Pusat
- KLHK: Gelora Bung Karno, Jakarta Pusat
- BMKG: Kemayoran, Jakarta Pusat
- US-Embassy-JP
- LCS 9: Dinas Teknis Jati Baru, Jakarta Pusat
- LCS 32: Kebon Melati, Tanah Abang, Jakarta Pusat
- LCS 33: Gelora, Tanah Abang, Jakarta Pusat
- LCS 34: Cempaka Putih Barat, Cempaka Putih, Jakarta Pusat
- LCS 35: Senen, Senen, Jakarta Pusat
- *Mobile Station*



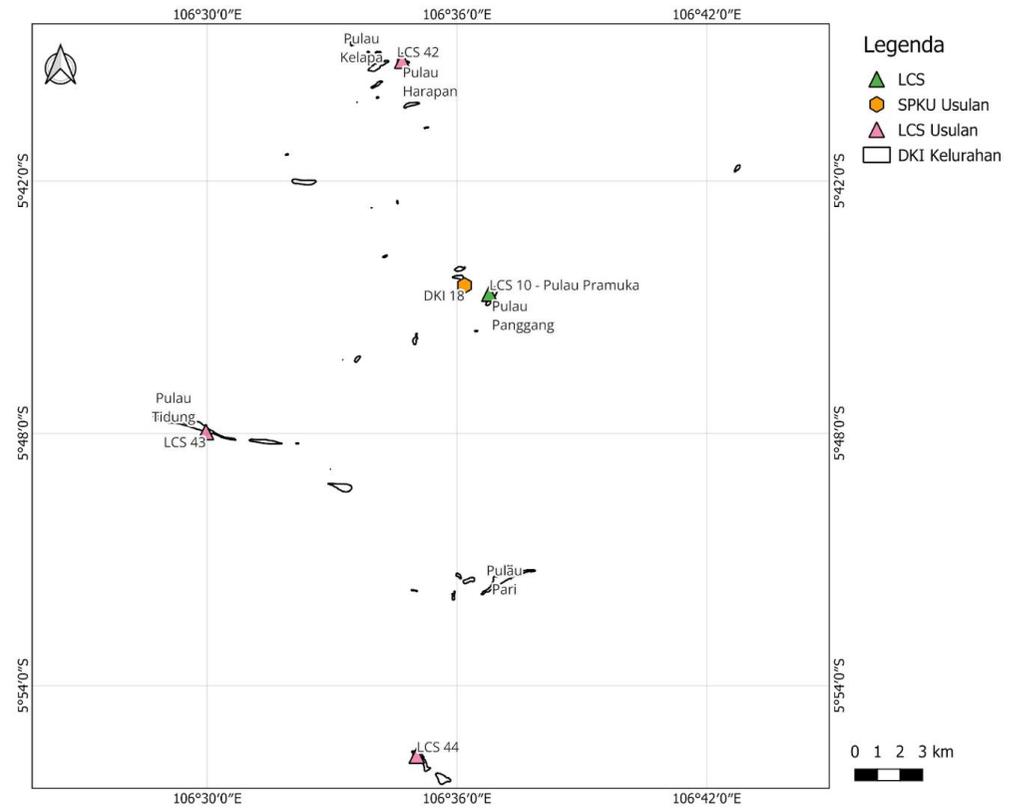
Jakarta Selatan

- DKI 3: Jagakarsa, Jakarta Selatan
- US-Embassy-JS
- DKI 17: Lb Bulus, Cilandak, Jakarta Selatan
- LCS 2: Jalan Pasar Minggu, Jakarta Selatan
- LCS 7: Jalan Fatmawati, Jakarta Selatan
- LCS 14: Taman Tebet Ecopark, Jakarta Selatan
- LCS 36: Jagakarsa, Jagakarsa, Jakarta Selatan
- LCS 37: Kebayoran Lama Selatan, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan
- LCS 38: Pesanggrahan, Pesanggrahan, Jakarta Selatan
- LCS 39: Bangka, mampang Prapatan, Jakarta Selatan
- LCS 40: Grogol Utara, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan
- LCS 41: Ragunan, Pasar Minggu, Jakarta Selatan
- *Mobile Station*



Kepulauan Seribu

- DKI 18: Pulau Panggang, Kepulauan Seribu
- LCS 10: Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu
- LCS 42: Pulau Harapan, Kepulauan Seribu Utara
- LCS 43: Pulau Tidung, Kepulauan Seribu Selatan
- LCS 44: Pulau Lancang, Pulau Pari, Kepulauan Seribu Selatan



Lampiran 10. Analisis prioritas metodologi parameter beserta kelebihan dan kelemahannya

No	Parameter	Metode dari Teknologi	Jenis	Kelebihan	Kelemahan	Prioritas
1.	PM2.5, PM10, TSP	FRM	In-stack particulate filtration	<ul style="list-style-type: none"> ● Metode ini sangat akurat dan dapat memberikan data yang sangat terpercaya untuk konsentrasi PM2.5. ● Dapat difokuskan untuk menangkap partikulat dengan ukuran yang sangat spesifik, dalam hal ini PM2.5. ● Mengambil sampel langsung dari sumber emisi, memberikan gambaran yang lebih akurat tentang polutan yang dilepaskan. ● Kemampuan Analisis Lanjutan: Sampel yang dikumpulkan dapat dianalisis lebih lanjut di laboratorium untuk informasi tambahan seperti komposisi kimia. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Peralatan yang diperlukan untuk metode ini seringkali mahal, baik untuk pembelian awal maupun untuk pemeliharaan. ● Memerlukan keahlian teknis untuk operasi dan kalibrasi, serta analisis data. ● Waktu Analisis: Memerlukan waktu untuk pengumpulan sampel dan analisis laboratorium, yang bisa memperlambat proses mendapatkan data. ● Keterbatasan Spasial: Karena probe harus dimasukkan langsung ke dalam stack, metode ini tidak praktis untuk pemantauan area luas atau sumber emisi yang beragam. 	1
		FEM	TEOM	Keuntungan dari TEOM adalah tidak membutuhkan penggantian filter. Kapabilitas melakukan pemantauan partikel secara terus menerus. Sampler TEOM beroperasi terus menerus dan tidak memerlukan penggantian filter sesering yang dilakukan sampler udara volume	TEOM mempunyai banyak masalah di observatorium alat tanpa pengamat. Biaya Tinggi: Peralatan TEOM biasanya mahal untuk dibeli dan memerlukan pemeliharaan rutin, yang juga bisa menambah biaya operasional.	

No	Parameter	Metode dari Teknologi	Jenis	Kelebihan	Kelemahan	Prioritas
				<p>tinggi (HVAS).Ini berarti alat analisa dapat memberikan informasi tambahan, seperti waktu terjadinya puncak konsentrasi partikel.</p> <p>Jika digunakan bersama dengan data meteorologi, data yang diperoleh membantu mengidentifikasi sumber emisi partikel.</p>	<p>Konsumsi Energi: Metode ini memerlukan sumber energi yang stabil dan konsumsi energi yang relatif tinggi, terutama karena perlu memanaskan elemen untuk menghilangkan kelembaban.</p> <p>Kalibrasi: Memerlukan kalibrasi yang rutin dan cermat untuk memastikan akurasi dan keandalan data.</p> <p>Kompleksitas Operasional: Mengoperasikan dan memelihara perangkat TEOM memerlukan keahlian teknis dan pelatihan khusus.</p> <p>Pengaruh Kelembaban: Meskipun elemen biasanya dipanaskan untuk menghilangkan kelembaban, kondisi kelembaban yang ekstrem bisa tetap mempengaruhi hasil pengukuran.</p> <p>Ukuran dan Berat: Peralatan biasanya cukup besar dan berat, yang bisa menjadi masalah untuk instalasi di lokasi yang terbatas atau sulit diakses.</p> <p>Waktu Respon: Meskipun cukup cepat,</p>	

No	Parameter	Metode dari Teknologi	Jenis	Kelebihan	Kelemahan	Prioritas
					waktu respon TEOM mungkin tidak secepat beberapa metode lain seperti BAM atau sensor optik. Panas yang Dihasilkan: Pemanasan elemen bisa mempengaruhi komposisi kimia dari partikulat, yang bisa menjadi masalah jika analisis lebih lanjut dari partikulat diperlukan.	
			B-Ray	Perawatan perangkat B-Ray mudah, dan perbedaan akurasi serta sensitivitas antar peralatan pabrikan relatif kecil (Shukla & Aggarwal, 2022).	Instrumen yang cukup besar membutuhkan shelter khusus pada stasiun pemantauan SPKU (Mufadhol <i>et al.</i> , 2022).	2
			High Volume Sampler	Sampler volume tinggi melakukan analisis komponen dalam debu. Jika laju aliran besar, pengukuran dapat dilakukan dalam waktu singkat.	PM _{2,5} tidak dapat diukur, harus dengan menghubungkan pembagi aliran khusus untuk membuat HVAS dapat mengukur komponen PM _{2.5} .	3
2.	SO ₂	FRM	<i>Fluorescence Ultraviolet</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Akurasi Tinggi: Metode ini dianggap sangat akurat (termasuk dalam standard FRM) dan merupakan standar industri maupun SPKU untuk pengukuran SO₂. • Sensitivitas: Metode ini sangat 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya yang tinggi untuk pembelian dan pemeliharaan. • Efektivitas metode ini bisa dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti kelembaban dan suhu, yang mungkin memerlukan koreksi atau penyesuaian. 	1

No	Parameter	Metode dari Teknologi	Jenis	Kelebihan	Kelemahan	Prioritas
				sensitif dan mampu mendeteksi konsentrasi SO ₂ yang rendah. Monitor gas UV Fluoresensi menawarkan kinerja luar biasa untuk pemantauan SO ₂ dalam kisaran 0-10 ppm atau 0-1 ppm.	<ul style="list-style-type: none"> • Terdapat potensi terkait dengan hilangnya kemampuan pengenalan dan fotostabilitas, yang dapat diminimalkan dengan pemeliharaan yang tepat. 	
		FEM	Pulsed Fluorescence	<p>Sensitivitas yang tinggi, memungkinkan deteksi pada konsentrasi rendah.</p> <p>Akurasi dan keandalan yang tinggi, sesuai dengan standar EPA.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya perangkat yang relatif tinggi. • Memerlukan keahlian teknis untuk operasi dan kalibrasi. 	2
		FEM	Chemiluminescence	<p>Akurasi Tinggi: Metode ini dianggap sangat akurat dan dapat diandalkan.</p> <p>Sensitivitas: Dapat mendeteksi konsentrasi SO₂ yang rendah, membuatnya ideal untuk pemantauan lingkungan.</p> <p>Kecepatan: Biasanya memberikan hasil yang lebih cepat dibandingkan dengan metode wet-chemistry.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya pembelian dan pemeliharaan yang mahal • Kompleksitas Teknis: Memerlukan keahlian teknis untuk operasi dan kalibrasi. • Pemeliharaan: Alat memerlukan pemeliharaan dan kalibrasi rutin untuk memastikan akurasi dan keandalan. 	3
		FEM	Inframerah non dispersif (NDIR). sumber:	Prinsip NDIR yang canggih dapat digunakan untuk menganalisa gas sulfur dioksida dengan kecepatan dan keakuratan yang baik	Harga jual yang umumnya relatif mahal dibanding dengan instrumen SO ₂ analyzer dengan metode fluorescence	4

No	Parameter	Metode dari Teknologi	Jenis	Kelebihan	Kelemahan	Prioritas
			Mandiri, J. M, 2023			
4.	NO _x NO NO ₂	FRM	Chemiluminescence (Dunlea <i>et al.</i> , 2007)	<ul style="list-style-type: none"> • Hanya standar gas, filter dan pemeliharaan pompa yang dibutuhkan untuk pemeliharaan instrumen dalam rentang satu tahun. • Karena banyak perangkat gas dibuat oleh pabrikan yang sama, perangkat lunaknya juga bisa sama. Sehingga bisa memilih dan mencari referensi harga yang paling murah. • Akurasi Tinggi: Metode ini dianggap sangat akurat dan merupakan standar industri untuk pengukuran NO_x (nitrogen oksida dan nitrogen dioksida) dan di SPKU. • Sensitivitas: Metode ini sangat sensitif dan mampu mendeteksi konsentrasi NO_x yang rendah, membuatnya ideal untuk pemantauan lingkungan. 	Data NO _x yang terbaca bisa mencakup substansi gas lain (HNO ₃ , dll) yang merupakan gas selain NO dan NO ₂ .	1

No	Parameter	Metode dari Teknologi	Jenis	Kelebihan	Kelemahan	Prioritas
				<ul style="list-style-type: none"> Penggunaan Luas: Metode ini digunakan secara luas oleh agensi pemerintah, peneliti, dan industri untuk pemantauan kualitas udara dan kepatuhan terhadap regulasi. 		
		FEM	DOAS	Akurasi Tinggi: DOAS umumnya memberikan hasil yang sangat akurat dan dapat mendeteksi konsentrasi NOx yang sangat rendah.	<ul style="list-style-type: none"> Biaya Tinggi: Biaya awal dan operasional bisa cukup tinggi. Kompleksitas: Memerlukan perangkat 	2

No	Parameter	Metode dari Teknologi	Jenis	Kelebihan	Kelemahan	Prioritas
				<p>Selektivitas: Dapat membedakan antara berbagai jenis gas, termasuk NO dan NO₂.</p> <p>Pemantauan Real-time: Memungkinkan untuk pengukuran real-time atau hampir real-time.</p> <p>Rentang Pengukuran Luas: Dapat digunakan untuk mengukur berbagai jenis polutan udara selain NOx.</p>	yang lebih kompleks dan keahlian teknis.	
		FEM	UV Photolytic Conversion	<ul style="list-style-type: none"> • Sensitivitas Tinggi: Metode ini sangat sensitif dan dapat mendeteksi konsentrasi NOx yang sangat rendah. • Selektivitas: Dapat digunakan untuk membedakan antara NO dan NO₂, yang memungkinkan untuk analisis komposisi NOx yang lebih akurat. • Pemantauan Real-time: UV Photolytic Conversion memungkinkan untuk pengukuran real-time atau hampir real-time, yang sangat berguna dalam pemantauan kualitas udara. • Kemurnian Pengukuran: Teknik ini 	<ul style="list-style-type: none"> • Kemungkinan Interferensi: Lebih rentan terhadap interferensi dari senyawa lain yang juga menyerap pada panjang gelombang UV yang sama. • Kurang Selektif: Mungkin tidak se-selektif DOAS dalam membedakan antara NO dan NO₂. 	4

No	Parameter	Metode dari Teknologi	Jenis	Kelebihan	Kelemahan	Prioritas
				<p>mengurangi potensi interferensi dari senyawa lain, sehingga meningkatkan akurasi pengukuran.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Fleksibilitas: Dapat diintegrasikan dengan berbagai jenis sensor dan metode analisis, termasuk chemiluminescence dan electrochemical sensors. 		
		FEM	CAPS	<ul style="list-style-type: none"> ● CAPS dikenal karena akurasi yang tinggi, bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah. ● Pemantauan Real-time: Seperti banyak metode spektroskopi, CAPS memungkinkan untuk pengukuran real-time atau hampir real-time. ● Memerlukan kalibrasi yang lebih jarang dibandingkan dengan beberapa metode lain. <p>Selektivitas Tinggi: CAPS sangat selektif untuk senyawa yang diukur, yang mengurangi risiko interferensi dari gas lain.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Biaya awal perangkat CAPS bisa cukup tinggi karena menggunakan teknologi spektroskopik canggih <p>Ketersediaan: Karena ini adalah teknologi yang relatif baru, mungkin tidak selalu mudah untuk menemukan dukungan teknis atau suku cadang.</p> <p>Ukuran dan Berat: Perangkat CAPS bisa cukup besar dan berat, yang mungkin membatasi kemampuannya untuk digunakan dalam aplikasi portabel atau lapangan.</p> <p>Energi: Beberapa sistem CAPS mungkin memerlukan sumber energi yang signifikan, tergantung pada desain sistem</p>	3

No	Parameter	Metode dari Teknologi	Jenis	Kelebihan	Kelemahan	Prioritas
				Rentang Dinamis Luas: Metode ini memiliki rentang dinamis yang luas, memungkinkan untuk pengukuran dari ppb hingga ppm.		
5.	O ₃	Alat Pengukur Otomatis	Penyerapan ultraviolet termodulasi aliran silang (Viallon <i>et al.</i> , 2015).	<p>Hanya ada satu metode dalam analisis O₃, yaitu <i>ultraviolet absorption</i> (penyerapan ultraviolet).</p> <p>Ringan. Ukurannya terbilang kecil dan biaya pemeliharannya juga relatif rendah.</p> <p>Performa peralatan dari sebagian besar pabrikan sama sehingga bisa membeli instrumen O₃ dengan harga lebih murah jika dibandingkan dengan analyzer gas lainnya (NOx, SO₂, CO, CO₂).</p>	Sebagaimana pada NOx analyzer, ada beberapa substansi yang dapat mengganggu nilai dapat terukur.	1
6.	CO dan CO ₂ analyzer	FRM	Inframerah non dispersif (NDIR)	<p>NDIR memiliki banyak keuntungan, seperti kemudahan penggunaan, tidak sensitif terhadap laju aliran udara, tidak memerlukan reaksi kimia, rentang konsentrasi yang luas, dan waktu respons yang cepat.</p> <p>Alat analisis NDIR mengakomodasi analisis berbagai macam gas,</p>	<p>Dengan performa yang sama baiknya, harga NDIR lebih mahal dibandingkan dengan CRD.</p> <p>Sebagaimana pada O₃ analyzer, ada beberapa substansi kimia di udara yang dapat mengganggu nilai dapat terukur.</p>	1

No	Parameter	Metode dari Teknologi	Jenis	Kelebihan	Kelemahan	Prioritas
				termasuk karbon dioksida (CO ₂), karbon monoksida (CO), metana (CH ₄), dan sulfur dioksida (SO ₂).		
		FEM	UV Photometry	<p>UV photometry cenderung sangat spesifik terhadap CO (untuk mendeteksi CO dalam konsentrasi rendah dan menengah) karena berfokus pada penyerapan cahaya pada panjang gelombang UV tertentu sehingga dapat membedakan CO dari berbagai senyawa lain dalam sampel udara.</p> <p>Respon pengukuran cepat, cenderung memiliki respon linier terhadap konsentrasi CO, yang memudahkan kalibrasi dan interpretasi hasil dan tidak memerlukan reagen kimia.</p>	Terdapat beberapa gas hidrokarbon atau senyawa lain yang memiliki serapan pada 254 nm yang dapat mengganggu pengukuran menggunakan metode UV photometri.	2
7.	THC (<i>Total Hydrocarbon</i>)	FRM*	Metode pembakaran selektif bertipe aliran silang yang dikombinasikan dengan	<ul style="list-style-type: none"> ● Akurasi dan Sensitivitas tinggi: kombinasi dari pembakaran selektif dan deteksi ion hidrogen biasanya memberikan tingkat sensitivitas yang sangat tinggi, memungkinkan deteksi THC pada konsentrasi yang sangat rendah. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Kompleksitas dan Biaya: Salah satu kelemahan dari metode ini adalah kompleksitas dan biaya dari perangkat yang diperlukan, yang bisa menjadi signifikan. 	1

No	Parameter	Metode dari Teknologi	Jenis	Kelebihan	Kelemahan	Prioritas
			metode deteksi ion hidrogen	<ul style="list-style-type: none"> Keandalan: Karena metode ini melibatkan pembakaran total hidrokarbon, ia cenderung lebih keandalan dalam mengukur THC dibandingkan dengan metode yang hanya mengukur sekelompok spesifik dari hidrokarbon. 		
		FEM	Photoionization Detectors (PID)	<p>Pemantauan Real-time: PID memungkinkan untuk pengukuran real-time dari senyawa organik volatil (VOCs) dan beberapa hidrokarbon lainnya.</p> <p>Portabilitas: PID biasanya lebih kecil dan lebih ringan daripada beberapa jenis detektor lain, seperti Flame Ionization Detectors (FID), membuatnya lebih mudah untuk ditempatkan di berbagai lokasi.</p> <p>Biaya Operasional: PID umumnya memerlukan lebih sedikit pemeliharaan dan kalibrasi daripada beberapa metode lain, yang bisa mengurangi biaya operasional.</p>	<p>Interferensi: PID bisa sensitif terhadap berbagai jenis senyawa, yang berpotensi menyebabkan interferensi dalam pengukuran.</p> <p>Kalibrasi: Meskipun lebih mudah untuk dioperasikan, PID masih memerlukan kalibrasi rutin untuk memastikan akurasi.</p>	2

**Belum ada dokumen resmi yang menyatakan metode ini termasuk FRM, namun berdasarkan faktor: validasi, akurasi dan keandalan, repeatability dan reproducibility telah memenuhi*



Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta

Jl. Mandala V No.67, RT.1/RW.2, Cililitan, Kec.
Kramat jati, Kota Jakarta Timur, Daerah
Khusus Ibukota Jakarta 13640

