



# Mobilitas Penduduk dan Kualitas Udara saat Pandemi COVID-19: Studi kasus DKI Jakarta

*Population Mobility and Air Quality During the COVID-19 Pandemic: A case study of DKI Jakarta*

## Purnama Alamsyah

Peneliti pada Pusat Riset Kesejahteraan Sosial, Desa, dan Konektivitas. Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jakarta, Indonesia

Mahasiswa Pascasarjana. Sekolah Arsitektur, Perencanaan, dan Pengembangan Kebijakan. Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

## Lukman Nul Hakim<sup>1</sup>

Peneliti pada Pusat Riset Kesejahteraan Sosial, Desa, dan Konektivitas. Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jakarta, Indonesia

Dosen Fakultas Ilmu Pendidikan. Universitas Islam Internasional Indonesia, Depok, Indonesia

Artikel Masuk : 1 April 2023

Artikel Diterima : 26 April 2023

Tersedia Online : 31 Agustus 2023

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan melihat sejauh mana mobilitas penduduk berpengaruh terhadap lingkungan, khususnya kualitas udara. Para peneliti sebelumnya telah mempelajari dampak mobilitas penduduk dan kaitannya dengan ekonomi, pola penyebaran penyakit, dan psikologis. Namun demikian masih sedikit yang meneliti bagaimana faktor lingkungan mempengaruhi dan dipengaruhi oleh mobilitas manusia. Bencana covid-19 secara kebetulan memberikan peluang bagi peneliti untuk mempelajari dengan kondisi yang sulit terulang, yaitu kondisi Kota Jakarta yang lebih lengang, dikarenakan mobilitas penduduk di Jakarta yang menurun drastis dikarenakan *lockdown*. Peneliti berusaha mempelajari fenomena tersebut menggunakan kerangka teori *Driver-Pressure-State-Impact-Response* (DPSIR). Metode penelitian yang dilakukan adalah kualitatif dengan mengkaji data mobilitas dari Google Mobility Index dan Tom tom Traffic Index. Sementara sumber data respons publik diambil dari data cuitan di twitter yang diambil dari Twitter Archiving Google Sheet (TAGS) versi 6.1.7 mulai dari tanggal 15 Februari hingga 22 Mei 2020. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan mobilitas penduduk dalam berkendara ternyata tidak secara otomatis akan menurunkan kadar polutan di udara. Terdapat faktor lain yang berkontribusi terhadap polusi di Jakarta, yaitu industri yang berada di Jabodetabek yang mengelilingi Kota Jakarta. Artikel ini bermanfaat bukan saja bagi pemerhati lingkungan, melainkan juga para pengambil kebijakan, bahwa upaya memperbaiki kualitas udara di Kota Jakarta dapat dilakukan dengan mengatur mobilitas penduduk di Kota Jakarta, dan memonitor pihak industri.

**Kata Kunci:** covid-19, DKI Jakarta, kualitas udara, lingkungan, mobilitas penduduk

<sup>1</sup> Korespondensi Penulis: Pusat Riset Kesejahteraan Sosial Desa dan Konektivitas, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Jakarta, Indonesia  
Email: [lukman.nul.hakim@brin.go.id](mailto:lukman.nul.hakim@brin.go.id)

**Abstract:** *This study aims to see the extent to which population mobility affects the environment, especially air quality. Researchers have previously studied the impact of population mobility and its relation to economics, disease patterns, and psychology. However, only a few have examined how environmental factors affect and are affected by human mobility. The Covid-19 disaster coincided with an opportunity for researchers to study conditions that are difficult to repeat, namely the condition of the city of Jakarta which is more quiet, due to the drastic decline in population mobility in Jakarta due to the lockdown. Researchers are trying to study this phenomenon using the Driver–Pressure–State–Impact–Response (DPSIR) theoretical framework. The research method used is qualitative by analyzing mobility data sources from the Google Mobility Index and Rom tom Traffic index. While the source of public response data was taken from tweet data on Twitter taken from the Twitter Archiving Google Sheet (TAGS) version 6.1.7 from 15 February to 22 May 2020. The results showed that a decrease in population mobility in driving did not automatically reduce pollutant levels in the air. Other factors contribute to pollution in Jakarta, namely industries surrounding the city of Jakarta. This article is useful not only for environmentalists, but also for policymakers, that efforts to improve air quality in the city of Jakarta can be done by regulating population mobility in the city of Jakarta, and monitoring the industry.*

**Keywords:** *air quality, covid-19, DKI Jakarta, environment, population mobility*

## Pendahuluan

Upaya untuk mengukur kualitas udara di sebuah kota telah dilakukan oleh banyak peneliti (Zhang et al., 2019; Cheng et al., 2019). Para peneliti telah meneliti hubungan antara polusi udara dengan beberapa faktor, seperti kesehatan (Brunekreef & Holgate, 2002; Kampa & Castanas, 2008), ekonomi (Taghizadeh-Hesary & Taghizadeh-Hesary, 2020; Fisher et al., 2021), psikologi (Lu, 2020), dan juga mobilitas penduduk (Rahman et al., 2021). Ketika membahas tentang polusi udara maka yang diyakini sebagai penyebabnya adalah emisi kendaraan bermotor. Dinas Lingkungan Hidup (DLH) DKI Jakarta menyatakan bahwa 75 persen polusi udara di Jakarta berasal dari kendaraan bermotor roda dua dan roda empat (Naufal, 2022).

Untuk dapat menguji kualitas udara di sebuah kota salah satu caranya adalah dengan melihat kualitas udara ketika dalam kondisi banyak kendaraan bermotor di jalan raya, dibandingkan dengan ketika di jalan raya tersebut tidak terdapat banyak kendaraan bermotor. Namun demikian metode itu sulit dilakukan karena pada kota-kota besar selalu dipadati kendaraan bermotor, termasuk Kota Jakarta.

Akan tetapi pada tahun 2020 telah terjadi sebuah bencana covid-19, yang tanpa disadari telah menyediakan sebuah laboratorium raksasa untuk mempelajari fenomena yang sebelumnya sulit dilakukan. Salah satu fenomena tersebut adalah kesempatan untuk melihat kualitas udara di kota saat mobilitas penduduk rendah. Pada saat pandemi covid-19 mobilitas penduduk menurun, sehingga terjadi penurunan jumlah kendaraan bermotor secara drastis di berbagai kota di dunia termasuk Kota Jakarta. Momentum ini telah digunakan oleh para peneliti lingkungan diberbagai negara untuk melihat pengaruh rendahnya mobilitas penduduk terhadap kualitas udara, diantaranya di Inggris (Acosta Ramírez, C., & Higham, 2022), Warsawa Polandia (Badyda et al., 2022), Wuhan (Wu et al., 2021), Paris (Leroutier & Quirion, 2022), Uni Emirat Arab (Shanableh et al., 2022), dan Cina (Cui et al., 2019).

Untuk memberikan perspektif kondisi dunia di masa pandemi covid 19, maka peneliti akan sedikit menjelaskan kondisi di masa tersebut. Pada tahun 2019, dunia diguncang dengan tersebarnya *Coronavirus Disease 2019* (COVID-19). Awalnya virus ini muncul di Wuhan, China pada akhir tahun 2019 dan kemudian menyebar ke banyak negara di seluruh dunia (Kraemer dkk., 2020). Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) menyatakan bahwa COVID-19 sebagai pandemi pada 11 Maret 2020, mengingat wabahnya telah menjalar di hampir 213 negara (Chen dkk., 2020). Pada tanggal 13 Maret 2020, Pemerintah Indonesia mengeluarkan Keputusan Presiden Nomor 7 Tahun 2020 tentang Gugus Tugas Percepatan Penanganan COVID-19 sebagai tanggapan terhadap pandemi COVID-19. Sementara itu, berbagai antisipasi dan mitigasi dilakukan oleh setiap pemerintah provinsi dan pemerintah kabupaten/kota. Sebagai contoh, pada tanggal 10 April 2020, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta menerapkan kebijakan Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB)<sup>2</sup> sedangkan beberapa daerah lain ada yang menerapkan Pembatasan Sosial Berskala Mikro (PSBM)<sup>3</sup>. Inti dari berbagai kebijakan yang dikeluarkan oleh pemerintah pusat dan daerah adalah membatasi mobilitas penduduk. Pada dasarnya penduduk diizinkan keluar rumah untuk mencari udara segar dan olah raga selama mereka dapat menjaga jarak aman dari orang lain.

Jaga jarak sosial (*social distancing*), atau jarak fisik (*physical distancing*) memiliki konsekuensi yang luas, karena mempengaruhi banyak hal, diantaranya terkait ekonomi dan perilaku individu. Dampak nyata kondisi tersebut adalah penurunan yang signifikan dalam mobilitas manusia dan volume lalu lintas, yaitu pada periode ketika banyak pemerintah di dunia mengumumkan suatu intervensi berupa pedoman untuk jarak sosial, karantina mandiri, dan perintah untuk selalu tinggal di rumah (Kraemer dkk., 2020).

Definisi mobilitas sendiri bervariasi pada berbagai studi dan disiplin ilmu. Analisis mobilitas memungkinkan kita melihat kembali tujuan perjalanan dan rute perjalanan berdasarkan penggunaan lahan dan demografi lokal (Toch dkk., 2019). Pemahaman yang lebih baik tentang mobilitas manusia dapat membantu pengambilan keputusan dalam pencegahan penularan penyakit (Zhou dkk., 2020). Terkait hal tersebut, beberapa penelitian menunjukkan bahwa mobilitas manusia yang dikumpulkan berdasarkan data ponsel dapat digunakan untuk melihat banyak hal, seperti penyebaran epidemi (Oliver dkk., 2020), konsekuensi ekonomi dari pandemi COVID-19 (Bonaccorsi dkk., 2020), dan bagaimana perintah untuk selalu tinggal di rumah efektif mengurangi mobilitas manusia dan mengurangi penularan COVID-19 (Kraemer dkk., 2020).

Beberapa penelitian menunjukkan terjadinya penurunan mobilitas yang besar diakibatkan oleh pandemi COVID-19 seperti larangan dan penundaan perjalanan udara domestik dan internasional yang dinilai berkontribusi pada penyebaran COVID-19 di dunia (Linka dkk., 2020). Oleh karena itu, kita dapat melihat secara jelas hubungan antara mobilitas dan penyebaran virus korona, memahami pola mobilitas dalam mengatasi wabah COVID-19 dan mengembangkan kebijakan yang dapat meminimalkan penularan.

---

<sup>2</sup> <https://corona.jakarta.go.id/en/artikel/linimasa-kebijakan-penanganan-pandemi-covid-19-di-jakarta>

<sup>3</sup> <https://jabarprov.go.id/index.php/news/38088/2020/06/11/Ini-Yang-Penting-Diperhatikan-Dalam-PSBM>

Seperti telah diuraikan sebelumnya, telah banyak penelitian dan kajian yang melihat mobilitas dari berbagai aspek seperti dampak ekonomi dari perubahan mobilitas, pola penyebaran penyakit, dan dampak sosial dan kesehatan mental akibat diberlakukannya penguncian wilayah (Poudel & Subedi, 2020). Namun demikian masih sedikit yang melakukan penelitian terkait apakah dan bagaimana faktor lingkungan mempengaruhi dan dipengaruhi oleh mobilitas manusia dalam kondisi normal dan/atau selama pandemi COVID-19.

Terkait dampak pandemi COVID-19 terhadap lingkungan, penelitian yang dilakukan oleh Khan dkk (2020) menunjukkan ada indikasi positif di seluruh dunia bahwa penguncian atau lockdown yang disebabkan COVID-19 memperbaiki kondisi lingkungan termasuk kualitas udara dan air, dan secara signifikan menurunkan konsentrasi PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> dan CO. Oleh karenanya, makalah ini mencoba memperkaya kajian terkait mobilitas dan faktor lingkungan pada saat pandemi.

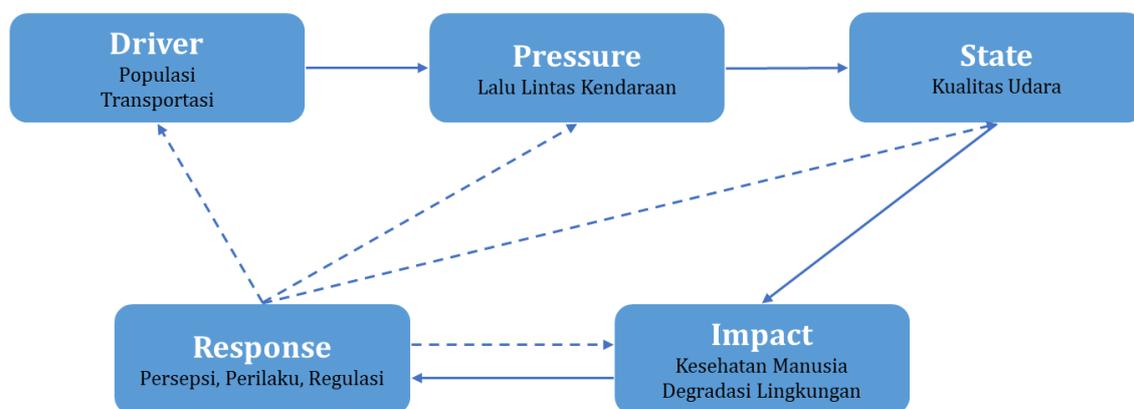
Penelitian ini berusaha mempelajari pengaruh mobilitas manusia selama pandemik COVID-19 terhadap lingkungan khususnya terhadap kualitas udara di perkotaan, dalam hal ini kualitas udara di Ibu Kota Jakarta. Pemilihan Ibu Kota Jakarta sebagai studi kasus dalam kajian ini dikarenakan dua hal yaitu (1) Setelah kasus pertama terkonfirmasi ditemukan di DKI Jakarta, dalam waktu singkat ibu kota Indonesia menjadi episentrum COVID-19 di Indonesia; dan (2) Jakarta merupakan pusat pemerintahan dengan tingkat kepadatan penduduk, mobilitas dan aktivitas ekonomi yang tinggi. Selain itu, kajian ini mencoba melihat mobilitas manusia dan faktor lingkungan pada 4 fase pengamatan yaitu Fase sebelum pengumuman Indonesia konfirmasi kasus COVID-19 (15 Februari – 1 Maret), Fase setelah pengumuman Indonesian konfirmasi kasus COVID19 (2 Maret – 9 April), Fase PSBB Jilid 1 (10 April-23 April) dan Fase PSBB Jilid 2 (24 April-22 Mei).

Untuk menganalisis keterkaitan antara mobilitas manusia dan faktor lingkungan pada saat pandemi COVID-19 ini, kami menggunakan kerangka teori (*theoretical framework*) *Driver–Pressure–State–Impact–Response* (DPSIR). DPSIR merupakan salah satu pendekatan yang membantu dalam menstrukturkan masalah lingkungan yang kompleks dan menyatukan serta menghubungkan eksplorasi konseptual lintas ilmu sosial dan alam (Bell, 2012). Pendekatan ini memiliki kemampuan untuk mengintegrasikan pengetahuan dari berbagai disiplin ilmu dan membantu memformalkan alternatif keputusan yang berbeda sehingga penerapan DPSIR memiliki potensi yang cukup besar dalam menjembatani kesenjangan antara disiplin ilmu serta menghubungkan ilmu pengetahuan dengan kebijakan dan manajemen (Tscherning dkk., 2012). Secara khusus, DPSIR dapat membantu kita untuk mengartikulasikan struktur masalah dan juga berfungsi sebagai media dalam mengidentifikasi berbagai pilihan yang layak dalam mengelola dan menjaga kualitas udara perkotaan (Carnevale dkk., 2016; Relvas & Miranda, 2018).

## Metode

### Kerangka Teori

Kajian ini menggunakan DPSIR sebagai kerangka teori untuk kajian mengenai pembangunan kota yang berkelanjutan, yang secara khusus mengidentifikasi isu-isu perkotaan yang muncul dengan aliran material perkotaan dan respons manusia di Ibu Kota Jakarta dikarenakan adanya mobilitas penduduk. Struktur kerangka DPSIR mengakui bahwa aktivitas manusia menciptakan tekanan (*driver-pressure*) pada sumber daya alam dan lingkungan. Hal ini berdampak pada kuantitas dan kualitas lingkungan alam dan manusia (*states-impact*), dan kemudian masyarakat merespon perubahan tersebut melalui regulasi, kebijakan, perencanaan, kesadaran dan perilaku individu (*response*) (Ness dkk., 2010). Dalam memahami mobilitas dan faktor lingkungan di masa pandemi dalam kerangka DPSIR, kami mengadaptasi DPSIR yang dikembangkan oleh Carnevale dkk (2016), Li dkk (2016), dan Ness dkk (2010) seperti pada gambar di bawah



**Gambar 1. Kerangka Konseptual DPSIR**

## Data

Pengamatan dalam kajian ini terbagi menjadi 5 fase pengamatan dalam rentang 15 Februari 2020 hingga 4 Juni 2020. Pembabakan pengamatan ini bertujuan untuk melihat dinamika mobilitas dan pengaruhnya terhadap lingkungan dengan secara komprehensif.

**Tabel 1. Fase Pengamatan**

Fase	Periode	Deskripsi
Fase 1	15 Februari 2020 - 1 Maret 2020	Fase sebelum Indonesia terkonfirmasi secara resmi ada kasus COVID-19
Fase 2	2 Maret 2020 - 9 April 2020	Fase setelah Indonesia terkonfirmasi secara resmi ada kasus COVID-19
Fase 3	10 April 2020 - 23 April 2020	Fase dibelakukannya Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) Jilid 1 di DKI Jakarta
Fase 4	24 April 2020 - 22 Mei 2020	Fase dibelakukannya Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) Jilid 2 di DKI Jakarta
Fase 5	23 Mei 2020 – 4 Juni 2020	Fase dibelakukannya Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) Jilid 3 di DKI Jakarta

Terdapat tiga jenis data yang digunakan dalam kajian ini yaitu

- Data mobilitas  
Data mobilitas penduduk DKI Jakarta dan sekitarnya disediakan oleh para penyedia teknologi global. Terdapat 4 data mobilitas yang digunakan dalam kajian ini.
- Data kualitas udara;  
Data kualitas udara yang digunakan dalam kajian ini berasal dari data Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) yang disediakan oleh Badan Pengelola Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta. Terdapat 5 parameter kualitas udara yang diukur dalam ISPU yaitu, konsentrasi PM10, SO2, CO, O3, dan NO2. Data ISPU diakses dari portal Open Data Jakarta<sup>4</sup>.  
Data kualitas udara yang digunakan merupakan data ISPU tahun 2020 pada rentang 15 Februari 2020 hingga 22 Mei 2020 serta sebagai komparasi kami juga menggunakan data ISPU tahun 2017 dan 2018 pada interval waktu yang sama.

**Tabel 2. Jenis Data Mobilitas**

Jenis Data	Penyedia	Deskripsi	Rentang Data
Google Mobility Index <sup>5</sup>	Google	Data mobilitas penduduk DKI yang terbagi dalam 6 kategori yaitu tempat umum dan rekreasi, pusat grosir dan apotek, taman bermain dan sejenisnya, stasiun dan terminal, kawasan bisnis, serta pemukiman	15 Februari - 22 Mei 2020
TomTom Traffic Index <sup>6</sup>	TomTom	Data kemacetan DKI Jakarta	15 Februari - 22 Mei 2020

- Data cuitan  
Data cuitan di media sosial merupakan proksi respons public terhadap dinamika lingkungan sosial dan fisik. Data cuitan Twitter dikumpulkan dengan menggunakan Twitter Archiving Google Sheet (TAGS) versi 6.1.17, sebuah perangkat lunak gratis berbasis web yang dikembangkan oleh Martik Hawksey untuk mengumpulkan semua cuitan berdasarkan kata kunci tertentu. Perangkat lunak ini secara otomatis mengumpulkan cuitan yang mengandung kata kunci “covid OR corona OR korona”. Cuitan dikumpulkan setiap hari mulai dari tanggal 15 Februari 2020 hingga 22 Mei 2020 secara inklusif. Twitter memungkinkan pencarian cuitan dengan batasan geografis tertentu. Untuk mengumpulkan cuitan yang dikirim dari wilayah Jabodetabek, pencarian dibatasi secara geografis pada radius 30 mil dari pusat Ibu Kota DKI Jakarta (Monas: -6.208763, -106.845599). Dataset yang dihasilkan oleh TAGS meliputi id akun, nama pengguna, konten cuitan, waktu dan tanggal cuitan, apakah cuitan tersebut retweet atau bukan, lokasi cuitan, dan URL setiap cuitan. Lokasi cuitan didasarkan pada posisi garis lintang dan bujur suatu cuitan yang dikirim melalui perangkat yang mengandung GPS didalamnya. Jumlah cuitan yang terkumpul adalah sebanyak 3.131.059 cuitan. Data cuitan dianalisis

<sup>4</sup> <https://satudata.jakarta.go.id/>

<sup>5</sup> <https://www.google.com/covid19/mobility/>

<sup>6</sup> [https://www.tomtom.com/en\\_gb/traffic-index](https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index)

<sup>7</sup> <https://tags.hawksey.info/>

dengan menggunakan text mining untuk menjelaskan secara deskriptif data cuitan yang diperoleh, seperti frekuensi kata kombinasi kata tunggal (unigram) dan kata ganda (bigram). Semua proses komputasi di atas menggunakan bahasa Python dan Rapidminer. Data cuitan yang dianalisis merupakan cuitan yang mengandung kata atau istilah “polusi” dan “macet”.

## Hasil dan Pembahasan

### *Drivers and Pressures*

Kekuatan pendorong merupakan faktor-faktor yang terkait dengan aktivitas manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung, relevan mempengaruhi sumber daya lingkungan sehingga menimbulkan masalah lingkungan. Faktor pendorong adalah sumber tekanan yang merupakan variable yang secara langsung bertanggung jawab atas degradasi sumber daya alam. Drivers atau faktor pendorong dalam model DPSIR kajian ini adalah sebagai berikut:

- **Populasi**  
Penduduk Jakarta yang berjumlah 11.063.324 jiwa<sup>8</sup> dan kepadatan penduduk 16.704 jiwa/km<sup>2</sup> merupakan secara langsung berkontribusi pada konsumsi sumber daya alam, energi dan tanah serta produksi limbah dan emisi di udara dan air. Dengan jumlah penduduk sebanyak itu, potensi atau risiko yang ditimbulkan akan semakin besar jika penduduknya tidak tereduksi dan kurang menyadari pentingnya kelestarian dan keberlanjutan lingkungan.
- **Transportasi**  
Tabel 3 di bawah menunjukkan jumlah kendaraan bermotor di Provinsi DKI Jakarta pada tahun 2017 hingga 2019. Tidak kurang 11 juta lebih kendaraan bermotor dengan berbagai jenis lalu lintas di jalanan Jakarta. Dengan pertumbuhan hampir 1% setiap tahunnya maka akan semakin membebani udara Jakarta.

**Tabel 3. Jumlah Kendaraan Bermotor di Provinsi DKI Jakarta**

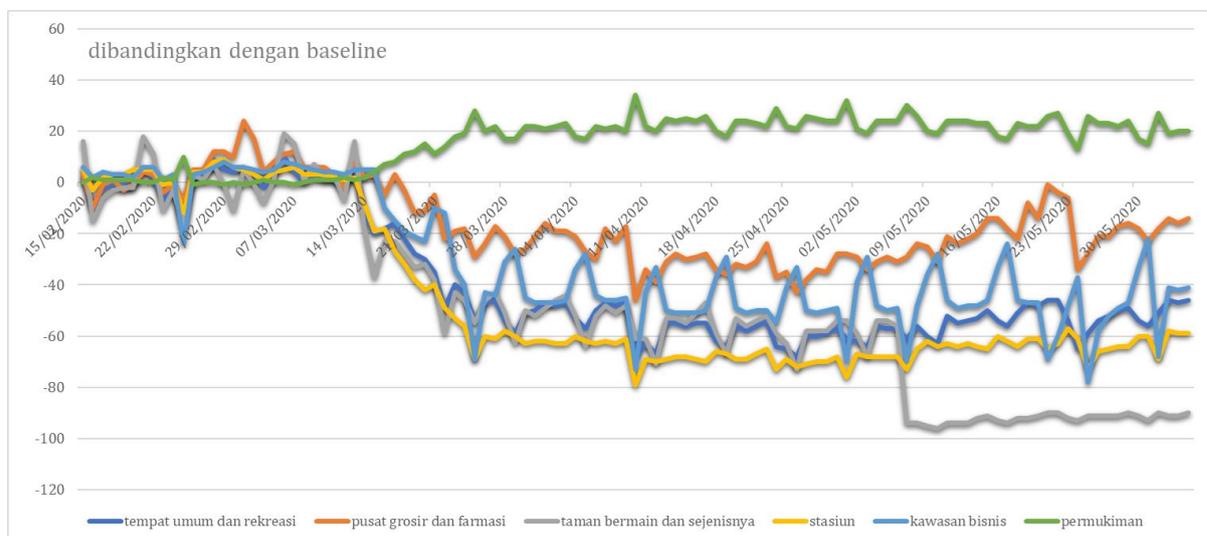
Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Kendaraan (unit) di Provinsi DKI Jakarta		
	2019	2018	2017
Mobil Penumpang	2 805 989	2 789 377	2 668 777
Bus	295 370	295 601	294 186
Truk	543 972	541 375	538 123
Sepeda Motor	8 194 590	8 136 410	7 773 511
<b>Jumlah</b>	<b>11 839 921</b>	<b>11 762 763</b>	<b>11 274 597</b>

*Sumber: BPS DKI Jakarta (2022)*

Dalam kerangka DPSIR, tekanan atau pressure adalah lalu lintas kendaraan yang mendorong peningkatan emisi pencemar udara. Emisi dari kendaraan bermotor merupakan salah satu kekuatan pendorong utama (drivers) yang mempengaruhi kualitas udara

<sup>8</sup> <http://statistik.jakarta.go.id/berapa-kepadatan-penduduk-dki-jakarta-saat-ini/>

perkotaan. Jika kita urai bagaimana lalu-lintas Jakarta selama pandemi COVID-19 ini maka kita akan mendapatkan gambaran secara umum mengenai menurunnya aktivitas kendaraan bermotor di jalanan Kota Jakarta.



Sumber: Hasil kalkulasi peneliti berdasarkan data dari Google Mobility Reports (Google, 2022)

**Gambar 2. Mobilitas Penduduk DKI Jakarta Berdasarkan 6 Kategori Google Mobility Index**

Gambar 2 di atas menunjukkan bahwa pandemic COVID-19 telah “mengurung” warga DKI Jakarta di rumah. Semua moda mobilitas seperti transportasi umum dan kendaraan pribadi telah mengalami penurunan yang drastis. Dari gambar di atas, kita bisa melihat bagaimana setelah 2 minggu pengumuman resmi adanya suspek COVID-19 di Indonesia telah membuat banyak orang memilih untuk tinggal di rumah. Jika kita coba lihat lebih jauh berdasarkan 4 fase pengamatan seperti pada table 4 di bawah. Maka bisa kita lihat terjadi pergeseran yang sangat signifikan dari Fase 1 ke Fase 2 hingga Fase 4 mengenai pergerakan penduduk Jakarta selama pandemi COVID-19.

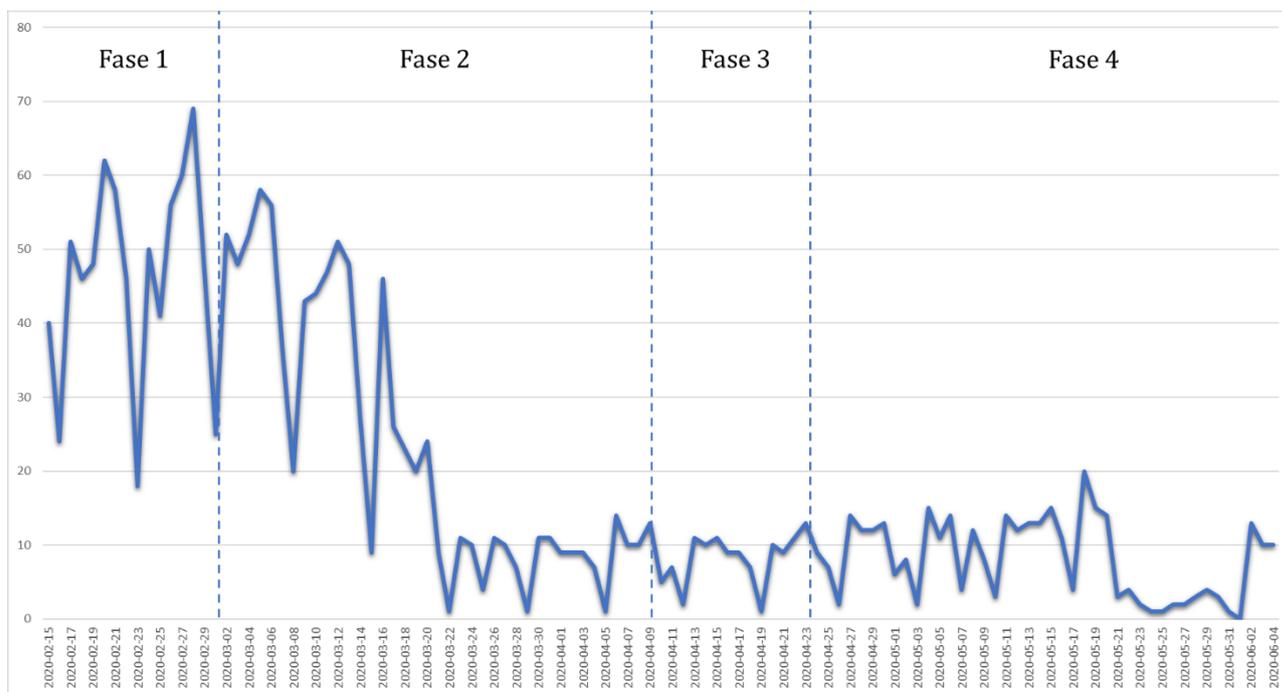
**Tabel 4. Rata-Rata Nilai Indeks Mobilitas Setiap Kategori**

Fase	Tempat Umum dan Rekreasi	Pusat Grosir dan Farmasi	Taman Bermain dan Sejenisnya	Stasiun	Kawasan Bisnis	Permukiman
Fase 1	-0,63	1,75	-0,94	2,69	2,44	1,06
Fase 2	-27,79	-8,69	-29,23	-34,26	-20,51	11,79
Fase 3	-58,86	-32,50	-56,64	-68,93	-47,71	23,64
Fase 4	-55,36	-23,07	-81,88	-65,29	-47,02	22,64

Sumber: Hasil kalkulasi peneliti berdasarkan data dari Google Mobility Reports (Google, 2022)

Terjadi pergeseran yang sangat nyata akibat pandemi COVID-19 dengan ditunjukkan dengan meningkatnya indeks kategori permukiman dan menurunnya indeks pada kategori lain pada Fase 3 dan 4. Ini menunjukkan bahwa terdapat keberhasilan kebijakan pemerintah Provinsi DKI Jakarta dengan PSBB Jilid 1 dan 2 untuk memerintahkan penduduknya lebih banyak tinggal di rumah.

Jika kita coba lihat lebih lanjut bagaimana kondisi lalu lintas Jakarta selama pandemic COVID-19 ini maka berdasarkan Gambar 3 terkait TomTom Traffic Index Jakarta menunjukkan penurunan kepadatan lalu lintas yang signifikan dari sebelum pandemi. Beberapa periode dalam Fase 4 karena diberlakukannya PSBB Jilid 2 membuat jalanan Jakarta sangat lengang.



Sumber: Hasil kalkulasi peneliti berdasarkan data dari TomTom Traffic Index (TomTom, 2023)

**Gambar 3. Kepadatan Jalanan Jakarta berdasarkan TomTom Traffic Index**

Berdasarkan informasi yang disajikan di atas, maka kita bisa menarik kesimpulan sementara bahwa selama pandemi ini terjadi pengurangan aktivitas orang untuk bepergian dengan menggunakan berbagai moda transportasi, khususnya transportasi darat. Pengurangan aktivitas ini berarti mendorong berkurangnya kepadatan kendaraan di jalanan Jakarta dan itu berarti berimplikasi akan menurunkan emisi pencemar udara Jakarta selama pandemi ini.

### *State and Impact*

*State* adalah merupakan kualitas udara Jakarta yang dapat diukur melalui konsentrasi polutan udara (PM10, NO, CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) di lingkungan atmosfer. Hal tersebut dapat dianalisis berdasarkan data yang dimodelkan dan diukur. Di Jakarta, kualitas udara diukur setiap jam di beberapa stasiun pemantauan. Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta merupakan badan utama yang diberi mandat untuk mengatur dan mengelola kualitas udara di Jakarta. Ada 5 stasiun pemantauan kualitas udara di Jakarta, yaitu DKI 1 yang berlokasi di Bunderan Hotel Indonesia, DKI 2 berlokasi di Kelapa Gading, DKI 3 berlokasi di Jagakarsa, DKI 4 berlokasi di Lubang Buaya, dan DKI 5 berlokasi di Kebon Jeruk.

Gambar 4 di bawah menunjukkan dinamika nilai konsentrasi polutan udara di Jakarta selama periode pengamatan. Dari gambar di bawah dapat kita lihat bahwa hanya konsentrasi CO dan O<sub>3</sub> yang mengalami penurunan cukup signifikan pada fase ke 4. Walaupun mobilitas penduduk Jakarta sudah menurun drastis, namun dari gambar di bawah menunjukkan tidak serta merta konsentrasi polutan akan ikut menurun juga secara drastis.



Sumber: Hasil kalkulasi peneliti berdasarkan data ISPU DKI Jakarta (Satu Data Jakarta, 2020)

**Gambar 4. Rata-Rata Nilai Konsentrasi Polutan berdasarkan Data ISPU 2020**

Tahapan selanjutnya adalah mencoba membandingkan nilai indikator ISPU tahun 2020 selama pandemi dengan 2 tahun sebelumnya seperti pada table 5. Tabel 5 menunjukkan bahwa menurunnya aktivitas di jalanan Jakarta tidak diiringi secara langsung dengan penurunan indikator-indikator ISPU. Sama seperti kondisi pada Gambar 4, konsentrasi polutan O<sub>3</sub> dan NO<sub>2</sub> di udara kota Jakarta mengalami penurunan dari tahun-tahun sebelumnya, sedangkan PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> dan CO tidak mengalami penurunan. Ini mungkin bisa berarti masih ada sumber pencemar lain di DKI Jakarta yang masih beroperasi dan berkontribusi banyak terhadap polusi udara di Jakarta, khususnya polutan PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>.

**Tabel 5. Rata-Rata Indikator ISPU**

Polutan	2018	2019	2020
PM10	56.89	58.86	62.02
SO2	23.54	22.78	28.07
CO	26.28	29.13	29.12
O3	97.24	101.59	103.50
NO2	10.24	15.86	16.53

Sumber: Hasil kalkulasi peneliti berdasarkan data ISPU DKI Jakarta (Satu Data Jakarta, 2018-2020)

Salah satu dampak serius dari polusi udara adalah bahayanya bagi kesehatan manusia, khususnya orang tua dan anak-anak. Orang-orang yang tidak di kota besar seperti Jakarta bakal jauh terekspos lebih banyak polutan dibandingkan dengan penduduk yang ada di perdesaan. Paparan pencemaran udara dapat menimbulkan berbagai penyakit. Paparan

polusi udara yang lama menyebabkan penyakit pernapasan, radang tenggorokan, penyakit kardiovaskular, nyeri dada, dan hidung tersumbat. Zat kimia dan radioaktif dapat menyebabkan kanker. Ditambah dengan adanya COVID-19 maka akan semakin meningkatkan resiko terkena penyakit pernapasan. Berdasarkan analisis terhadap indikator ISPU Provinsi DKI Jakarta, maka kita bisa menyimpulkan bahwa kombinasi COVID-19 dan ditambah dengan kualitas udara Jakarta yang tidak mengalami perubahan banyak dari periode sebelum adanya COVID-19 menempatkan penduduk Kota Jakarta memiliki resiko kesehatan yang tinggi.

### *Response*

Response merupakan tindakan yang diambil pemerintah dan pihak lain untuk mengurangi perubahan negatif dari polusi udara perkotaan. Tanggapan dapat berupa regulasi yang dapat mencegah pencemaran udara perkotaan. Ini dapat diatur dengan menetapkan standar untuk emisi kendaraan atau aktivitas industri seperti mengembangkan standar untuk bahan bakar yang digunakan, membersihkan udara yang dipancarkan dengan memperkenalkan konverter katalitik pada mobil, memperkenalkan mobil ramah lingkungan, misalnya mobil hibrida. Standar kualitas udara ambien dibangun untuk melindungi keadaan lingkungan dari polutan udara seperti: PM10, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan CO. Secara umum, responnya adalah kebijakan pemerintah dalam mengelola emisi dan kualitas udara di perkotaan dan upaya pemerintah kota dalam perencanaan kota menuju pembangunan kota yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Beberapa kebijakan yang hadir untuk merespons isu lingkungan ini adalah seperti:

- Kebijakan Ganjil-Genap yang merupakan kebijakan untuk mengurangi kendaraan di jalan raya dengan cara kendaraan dengan plat nomor belakang ganjil beroperasi di tanggal ganjil, dan nomor genap beroperasi di tanggal genap. Selama pandemi COVID-19 ini, khususnya setelah pelaksanaan PSBB Jilid 1 dan 2, kebijakan ganjil dan genap untuk sementara ditiadakan.
- Hari Bebas Kendaraan Bermotor (HBKB) atau dalam bahasa Inggris disebut sebagai Car Free Day bertujuan untuk mensosialisasikan kepada masyarakat untuk menurunkan ketergantungan masyarakat terhadap kendaraan bermotor. Sama dengan kebijakan ganjil-genap, Hari Bebas Kendaraan Bermotor juga ditiadakan oleh Pemerintah Provinsi DKI Jakarta karena dinilai berpotensi menimbulkan kerumunan.

Selain respons dari pemerintah, kita juga bisa mencoba melihat respons dari masyarakat umum terkait dampak dari polusi udara bagi mereka. Kita mencoba menggunakan data dari media sosial Twitter untuk melihat respons public terkait kondisi lingkungan udara di Provinsi DKI Jakarta. Seperti kita ketahui data cuitan di media sosial bisa dijadikan proksi respons publik terhadap dinamika lingkungan sosial dan fisik.

Dari sekitar 3.131.059 cuitan yang dipantau dengan menggunakan kata kunci “covid OR corona OR korona” dari tanggal 15 Februari 2020 hingga 22 Mei 2020, terdapat 25.200 cuitan yang berisi tentang “polusi” dan 30.468 cuitan yang mengandung istilah “macet”. Tabel 6 dibawah untuk menunjukkan kata atau istilah yang paling sering muncul dari

cuitan-cuitan di media sosial dari setiap fase pengamatan. Kita dapat melihat kata atau istilah “kota” dan “karantina” yang hadir dengan istilah “polusi” dengan frekuensi yang cukup banyak.

**Tabel 6. Kata atau Istilah Yang Paling Sering Muncul dalam Cuitan Terkait Polusi dan Macet**

Fase 1				Fase 2				Fase 3				Fase 4			
Polusi		Macet		Polusi		Macet		Polusi		Macet		Polusi		Macet	
Kata	Jumlah	Kata	Jumlah	Kata	Jumlah	Kata	Jumlah	Kata	Jumlah	Kata	Jumlah	Kata	Jumlah	Kata	Jumlah
kota	112	hari	56	polusi	1408	macet	606	polusi	126	macet	22851	polusi	293	macet	611
corona	86	corona	36	corona	1190	corona	542	corona	93	jakarta	22717	corona	220	corona	470
polusi	85	macet	36	foto	1032	jakarta	247	udara	72	jenazah	22671	kurang	113	konglomerat	211
satelit	81	bandara	28	turun	684	depok	156	bumi	44	hari	22649	gunung	97	dekrit	171
nasa	81	obrol	28	tingkat	485	tidak	135	jakarta	44	sedih	22642	karang	97	covid19	170
kurang	81	supir	28	china	379	jalan	124	covid19	41	rumah	22622	pandeglang	97	jalan	144
drastis	81	taksi	28	udara	349	atasi	113	kurang	39	masyarakat	22620	tangerang	97	perpu	134
milik	56	bokingan	28	satelit	336	mampu	81	india	30	naik	22611	udara	95	listrik	126
tingkat	56	lorot	28	dampak	336	hari	59	lockdown	30	tronton	22609	bumi	94	jakarta	119
china	56	tamu	28	negara	327	covid19	58	bersih	23	teriak	22609	sehat	93	kejahatan	114
ahli	56	luarnegeri	28	wabah	319	begal	53	pandemi	21	tolong	22609	manusia	92	kredit	111
dampak	56	layan	28	drastis	304	sepi	49	turun	19	diam	22609	covid19	79	tidak	110
karantina	56	sepi	28	italia	286	rumah	49	mati	18	makam	22609	bersih	51	ramai	101
masker	4	china	6	landa	270	orang	47	positif	17	corona	160	foto	47	hari	100
orang	2	turis	4	dua	270	lalulintas	47	dampak	16	jalan	101	ramadan	47	pakai	98
indonesia	2	efek	3	tidak	251	banjir	43	lingkungan	14	kangen	70	henti	46	rumah	97
campur	2	wabah	3	sangasso	243	kena	41	wabah	13	covid19	61	satelit	46	naik	93
pakai	2	bank	3	intip	243	panggung	41	gunung	13	psbb	40	selamat	45	tarif	84
debu	2	sentral	3	rumah	241	wabah	38	terimakasih	13	dua	37	kirin	45	batu	84
partikel	2	toleransi	3	alam	240	cari	36	utara	13	keluar	36	paru	45	bara	84

Memahami respons masyarakat di internet bukanlah hal yang mudah. Analisis cuitan di media sosial yang hanya menampilkan kata dan jumlah kemunculannya memang tidak mudah untuk diinterpretasikan. Namun demikian, di kesempatan lain bisa dieksplor untuk mengekstrak data atau respons public di media sosial untuk berbagai analisis seperti untuk DPSIR.

## Kesimpulan

Penggunaan DPSIR dalam memahami mobilitas penduduk dan keterkaitannya dengan faktor lingkungan mempermudah kita untuk memahami apa langkah-langkah yang dapat diambil pembuat kebijakan dalam menangani masalah seperti polusi udara yang diakibatkan oleh aktivitas mobilitas penduduk. Salah satu temuan yang menarik dari kajian ini adalah bahwa penurunan mobilitas penduduk dalam berkendara ternyata tidak secara otomatis akan menurunkan kadar polutan di udara. Temuan ini mendukung pernyataan Penanggung Jawab Proyek Kualitas Udara Indonesia Muhammad Shidiq yang menyatakan bahwa penyumbang polusi udara terbesar di Jakarta adalah transportasi udara dan sektor industri (Amalia, 2021). Sementara laporan lembaga penelitian *Centre for Research on Energy and Clean Air* (CREA) menyampaikan bahwa sumber utama polusi udara di Jakarta bukan bersumber dari transportasi darat, melainkan dari emisi tidak bergerak yang berasal dari wilayah sekitar Jakarta, yaitu industri (Pranita, 2020).

Temuan ini menjadi catatan penting bagi pembuat kebijakan terkait kualitas udara di Jakarta. Dalam rangka membuat kebijakan lingkungan maka pemerintah harus melakukan pengawasan terhadap industri yang berada di wilayah Jakarta Bogor Depok Tangerang Bekasi (Jabodetabek).

DPSIR dalam kajian ini coba disandingkan dengan data dan Teknik yang sedang berkembang saat ini seperti big data dan hal tersebut memiliki potensi yang baik ke depannya. Terakhir, pandemi ini adalah peluang bagi kita untuk mempelajari bagaimana lalu lintas perkotaan dan transportasi dapat dipantau untuk mengurangi pengeluaran bahan bakar, konsumsinya, dan menjaga kesehatan lingkungan.

## Daftar Pustaka

- Acosta Ramírez, C., & Higham, J. E. (2022). Effects of meteorology and human mobility on UK's air quality during COVID-19. *Meteorological Applications*, *29*(3)(e2061).
- Badyda, A., Brzeziński, A., Dybicz, T., Jesionkiewicz-Niedzińska, K., Olszewski, P., Osińska, B., Szagała, P., & Mucha, D. (2022). Impact of COVID-19 mobility changes on air quality in Warsaw. *Applied Sciences*, *12*(15), 7372.
- Bell, S. (2012). DPSIR=A Problem structuring method? An exploration from the “Imagine” approach. *European Journal of Operational Research*, *222*(2), 350–360. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.04.029>
- Bonaccorsi, G., Pierri, F., Cinelli, M., Flori, A., Galeazzi, A., Porcelli, F., Schmidt, A. L., Valensise, C. M., Scala, A., Quattrocioni, W., & Pammolli, F. (2020). Economic and social consequences of human mobility restrictions under COVID-19. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *117*(27), 15530–15535. <https://doi.org/10.1073/pnas.2007658117>
- BPS DKI Jakarta. (2022). Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Kendaraan (unit) di Provinsi DKI Jakarta. Diakses dari <https://jakarta.bps.go.id/indikator/17/786/1/jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis-kendaraan-unit-di-provinsi-dki-jakarta.html>
- Brunekreef, B., & Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health. *The Lancet*, *360*(9341), 1233–1242.
- Carnevale, C., Douros, J., Finzi, G., Graff, A., Guariso, G., Nahorski, Z., Pisoni, E., Ponche, J.-L., Real, E., Turrini, E., & Vlachokostas, C. (2016). Uncertainty evaluation in air quality planning decisions: a case study for Northern Italy. *Environmental Science & Policy*, *65*, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.02.001>
- Chen, P., Mao, L., Nassis, G. P., Harmer, P., Ainsworth, B. E., & Li, F. (2020). Coronavirus disease (COVID-19): The need to maintain regular physical activity while taking precautions. *Journal of Sport and Health Science*, *9*(2), 103–104. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.02.001>
- Cheng, J., Su, J., Cui, T., Li, X., Dong, X., Sun, F., Yang, Y., Tong, D., Zheng, Y., Li, Y., Li, J., Zhang, Q., & He, K. (2019). Dominant role of emission reduction in PM2.5 air quality improvement in Beijing during 2013-2017: A model-based decomposition analysis. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *19*(9), 6125–6146. <https://doi.org/10.5194/acp-19-6125-2019>
- Cui, C., Wang, Z., He, P., Yuan, S., Niu, B., Kang, P., & Kang, C. (2019). Escaping from pollution: the effect of air quality on inter-city population mobility in China. *Environmental Research Letters*, *14*(12), 124025.
- Fisher, S., Bellinger, D. C., Cropper, M. L., Kumar, P., Binagwaho, A., Koudenoukpo, J. B., Park, Y., Taghian, G., & Landrigan, P. J. (2021). Air pollution and development in Africa: Impacts on health, the economy, and human capital. *The Lancet Planetary Health*, *5*(10), e681–e688.
- Google. (2022). Google Covid-19 Community mobility report. Diakses dari <https://www.google.com/covid19/mobility/>
- Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, *151*(2), 362–367.

- Khan, I., Shah, D., & Shah, S. S. (2020). COVID-19 pandemic and its positive impacts on environment: an updated review. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-03021-3>
- Kraemer, M. U. G., Yang, C.-H., Gutierrez, B., Wu, C.-H., Klein, B., Pigott, D. M., du Plessis, L., Faria, N. R., Li, R., Hanage, W. P., Brownstein, J. S., Layan, M., Vespignani, A., Tian, H., Dye, C., Pybus, O. G., & Scarpino, S. V. (2020). The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China. *Science*, *368*(6490), 493–497. <https://doi.org/10.1126/science.abb4218>
- Leroutier, M., & Quirion, P. (2022). Air pollution and CO2 from daily mobility: Who emits and Why? Evidence from Paris. *Energy Economics*, *109*, 105941.
- Li, Y., Beeton, R. J. S., Sigler, T., & Halog, A. (2016). Modelling the transition toward urban sustainability: A case study of the industrial city of Jinchang, China. *Journal of Cleaner Production*, *134*, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.053>
- Linka, K., Peirlinck, M., Sahli Costabal, F., & Kuhl, E. (2020). Outbreak dynamics of COVID-19 in Europe and the effect of travel restrictions. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, *23*(11), 710–717. <https://doi.org/10.1080/10255842.2020.1759560>
- Lu, J. G. (2020). Air pollution: A systematic review of its psychological, economic, and social effects. *Current Opinion in Psychology*, *32*, 52–65.
- Naufal, M. (Kompas. com. (2022). *75 persen polusi udara di Jakarta berasal dari emisi kendaraan*. <https://megapolitan.kompas.com/read/2022/07/05/14453201/75-persen-polusi-udara-di-jakarta-berasal-dari-emisi-kendaraan-ini?page=all>.
- Ness, B., Anderberg, S., & Olsson, L. (2010). Structuring problems in sustainability science: The multi-level DPSIR framework. *Geoforum*, *41*(3), 479–488. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2009.12.005>
- Oliver, N., Lepri, B., Sterly, H., Lambiotte, R., Deletaille, S., De Nadai, M., Letouzé, E., Salah, A. A., Benjamins, R., Cattuto, C., Colizza, V., de Cordes, N., Fraiberger, S. P., Koebe, T., Lehmann, S., Murillo, J., Pentland, A., Pham, P. N., Pivetta, F., ... Vinck, P. (2020). Mobile phone data for informing public health actions across the COVID-19 pandemic life cycle. *Science Advances*, *6*(23), eabc0764. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abc0764>
- Satu Data Jakarta. (2018). Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) Tahun 2018. Diakses dari [https://satudata.jakarta.go.id/open-data/detail?kategori=dataset&page\\_url=indeks-standar-pencemaran-udara-ispu-tahun-2018&data\\_no=1](https://satudata.jakarta.go.id/open-data/detail?kategori=dataset&page_url=indeks-standar-pencemaran-udara-ispu-tahun-2018&data_no=1)
- Satu Data Jakarta. (2019). Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) Tahun 2019. Diakses dari [https://satudata.jakarta.go.id/open-data/detail?kategori=dataset&page\\_url=indeks-standar-pencemaran-udara-ispu-tahun-2019&data\\_no=1](https://satudata.jakarta.go.id/open-data/detail?kategori=dataset&page_url=indeks-standar-pencemaran-udara-ispu-tahun-2019&data_no=1)
- Satu Data Jakarta. (2020). Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) Tahun 2020. Diakses dari [https://satudata.jakarta.go.id/open-data/detail?kategori=dataset&page\\_url=indeks-standar-pencemaran-udara-ispu-tahun-2020&data\\_no=1](https://satudata.jakarta.go.id/open-data/detail?kategori=dataset&page_url=indeks-standar-pencemaran-udara-ispu-tahun-2020&data_no=1)
- Poudel, K., & Subedi, P. (2020). Impact of COVID-19 pandemic on socioeconomic and mental health aspects in Nepal. *International Journal of Social Psychiatry*, *66*(8), 748–755. <https://doi.org/10.1177/0020764020942247>
- Rahman, M. M., Paul, K. C., Hossain, M. A., Ali, G. G. M. N., Rahman, M. S., & Thill, J.-C. (2021). Machine learning on the COVID-19 pandemic, human mobility and air quality: A review. *Ieee Access*, *9*, 72420–72450.
- Relvas, H., & Miranda, A. I. (2018). Application of the DPSIR framework to air quality approaches.

*Air Quality, Atmosphere & Health*, 11(9), 1069–1079. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0609-x>

Shanableh, A., Al-Ruzouq, R., Hamad, K., Gibril, M. B. A., Khalil, M. A., Khalifa, I., El Traboulsi, Y., Pradhan, B., Jena, R., Alani, S., & others. (2022). Effects of the COVID-19 lockdown and recovery on People's mobility and air quality in the United Arab Emirates using satellite and ground observations. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26, 100757.

Taghizadeh-Hesary, F., & Taghizadeh-Hesary, F. (2020). The impacts of air pollution on health and economy in Southeast Asia. *Energies*, 13(7), 1812.

Toch, E., Lerner, B., Ben-Zion, E., & Ben-Gal, I. (2019). Analyzing large-scale human mobility data: a survey of machine learning methods and applications. *Knowledge and Information Systems*, 58(3), 501–523. <https://doi.org/10.1007/s10115-018-1186-x>

TomTom International, BV. (2020). TomTom International BV traffic index. Diakses dari [https://www.tomtom.com/en\\_gb/traffic-index](https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index)

Tscherning, K., Helming, K., Krippner, B., Sieber, S., & Paloma, S. G. y. (2012). Does research applying the DPSIR framework support decision making? *Land Use Policy*, 29(1), 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.05.009>

Wu, J., Qian, Y., Wang, Y., & Wang, N. (2021). Analyzing the Contribution of Human Mobility to Changes in Air Pollutants: Insights from the COVID-19 Lockdown in Wuhan. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(12), 836.

Zhang, Q., Zheng, Y., Tong, D., Shao, M., Wang, S., Zhang, Y., Xu, X., Wang, J., He, H., Liu, W., Ding, Y., Lei, Y., Li, J., Wang, Z., Zhang, X., Wang, Y., Cheng, J., Liu, Y., Shi, Q., ... Hao, J. (2019). Drivers of improved PM<sub>2.5</sub> air quality in China from 2013 to 2017. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(49), 24463–24469. <https://doi.org/10.1073/pnas.1907956116>

Zhou, C., Su, F., Pei, T., Zhang, A., Du, Y., Luo, B., Cao, Z., Wang, J., Yuan, W., Zhu, Y., Song, C., Chen, J., Xu, J., Li, F., Ma, T., Jiang, L., Yan, F., Yi, J., Hu, Y., ... Xiao, H. (2020). COVID-19: Challenges to GIS with Big Data. *Geography and Sustainability*, 1(1), 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.03.005>