



**JURNAL PENDIDIKAN LINGKUNGAN DAN
PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN**
*Journal of Environmental Education and Sustainable
Development*

Volume 24 - Nomor 01, 2023

Available at <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/plpb>

ISSN : 1411-1829 (print), 2580-9199 (online)

Pengaruh Kebijakan Pencemaran Udara Transportasi terhadap Nilai Indeks Kualitas Udara di DKI Jakarta

Bernadet^{1*}, Sri Listyarini², Lina Warlina³

¹Ilmu Lingkungan, Pascasarjana Universitas Terbuka, Jl. Jenderal Ahmad Yani No.43, RT.5/RW.4, Utan Kayu Sel., Kec. Matraman, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13230

²Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka, Jalan Cabe Raya, Pondok Cabe, Pamulang, Tangerang Selatan 15437, Banten

³Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka, Jalan Cabe Raya, Pondok Cabe, Pamulang, Tangerang Selatan 15437, Banten

*Corresponding author email: bernadet.josopandojo@gmail.com

Artikel info

Received : 16 November 2022

Revised : 4 Januari 2023

Accepted : 6 Maret 2023

Kata kunci:

Indeks Kualitas Udara (IKU), NO₂, SO₂, Kebijakan Sektor Transportasi, Pemodelan Powersim10

Keywords:

Air Quality Index (AQI), NO₂, SO₂, Transportation Sector Policy, Powersim10 Modelling

ABSTRAK

Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB) adalah program PBB dengan beberapa tujuan berkaitan dengan masalah polusi udara. DKI Jakarta merupakan provinsi dengan kepadatan penduduk yang tinggi dan sebagian besar nilai Indeks Kualitas Udara (IKU) pada tahun 2011-2021 berada pada posisi terendah di Indonesia. Sektor transportasi menyumbang 75% dari total emisi di Jakarta. Kesenjangan antara ekspektasi kebijakan pencemaran udara dengan kenyataan nilai IKU menjadi isu yang diangkat dalam penelitian ini. Metode penelitian yang digunakan adalah pemodelan. Data yang dikumpulkan merupakan data sekunder time series tahun 2011-2021 dari berbagai dokumen publikasi pemerintah. Pemodelan dilakukan dengan perangkat lunak Powersim10 dan divalidasi dengan metode means of absolute error (MEA). Model berhasil dibangun dengan error sebesar 7,96% dan disimulasikan hingga tahun 2045. Dibentuk tiga skenario yaitu pesimis, moderat, dan optimis untuk peningkatan kualitas udara. Skenario pesimis diusulkan sebagai skenario untuk diimplementasikan.

ABSTRACT

Sustainable Development Goals (SDGs) is a United Nations' program that has several goals which are related to air pollution issues. DKI Jakarta is the province with the largest population density and has the value of the Air Quality Index (AQI) in 2011-2021 mostly in the lowest position in Indonesia. The transportation sector accounts for 75% of total emissions in Jakarta. The gap between expectations of air pollution policies and the reality of the AQI values is the issue concerned. The research method is modeling. The data collected are secondary time series data for 2011-2021 from various government publication documents. Modeling is done by Powersim10 software and validated by means of absolute error (MEA). The model was successfully built with an error of 7.96% and simulated until 2045. Three scenarios were formed: pessimistic, moderate, and optimistic for air quality improvement, and the pessimistic scenario is proposed as the one to implement.

10.21009/plpb.v%vi%i.30798



How to Cite: Bernadet, Listyarini, S. & Warlina, L. (2023). Pengaruh Kebijakan Pencemaran Udara Transportasi terhadap Nilai Indeks Kualitas Udara di DKI Jakarta. *Jurnal Pendidikan Lingkungan dan Pembangunan*, 24(01), 1-13. doi: 10.21009/plpb.v%vi%i.30798

Copyright © 2023

PENDAHULUAN

Sustainable Development Goals (SDGs) atau tujuan pembangunan berkelanjutan dimulai dari tahun 2015 hingga tahun 2030 oleh Persekutuan Bangsa-Bangsa (PBB) yang mencakup 17 tujuan dengan 3 pilar pembangunan yaitu sosial, ekonomi dan lingkungan (*United Nation*, 2015). Dalam tujuan-tujuannya, permasalahan pencemaran udara juga merupakan permasalahan yang harus diatasi seperti tujuan 3, 11, 12, 13 dan 15.

Tujuan 3 mengenai kesehatan berkaitan dengan masalah pencemaran udara karena dampak pencemaran udara terbukti berpengaruh terhadap kesehatan seperti penyakit pernapasan paru-paru obstruktif kronik (Rosyida, 2016) bahkan kematian akibat polusi. Tujuan 11 mengenai kota dan komunitas berkelanjutan berkaitan dengan masalah pencemaran udara karena kualitas udara merupakan salah satu indikatornya. Tujuan 12 mengenai pola konsumsi dan produksi bertanggung jawab untuk memastikan limbah gas sebagai pencemar udara diolah terlebih dahulu. Tujuan 13 mengenai perubahan iklim tentu berkaitan dengan masalah pencemaran udara karena kehadiran gas-gas rumah kaca. Tujuan 15 mengenai ekosistem daratan berkaitan dengan kelangsungan ekosistem di darat dengan bantuan peningkatan kualitas udara (Bappenas, 2017). Pencemaran udara sifatnya lintas batasan dan tidak dapat dibatasi, sehingga dapat mempengaruhi berbagai daerah. Selain itu pencemaran udara tidak dapat disekat, sehingga sulit untuk dihindari dampaknya oleh masyarakat (Putra, 2015).

DKI Jakarta merupakan provinsi dan ibukota negara Indonesia yang merupakan kota metropolitan dengan jumlah penduduk sebesar 10.609.700 orang (BPS, 2022) di mana merupakan pusat berbagai kegiatan dan tingginya tingkat kepadatan penduduk dibandingkan provinsi lainnya. Oleh karena itu, permasalahan pencemaran udara di DKI Jakarta dapat dikatakan paling besar dan menantang bagi pemerintah. Hal ini dapat didukung dengan data IKLH (Indeks Kualitas Lingkungan Hidup) yang diterbitkan oleh KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan). Nilai IKU (Indeks Kualitas Udara) di DKI Jakarta dari tahun 2011-2021 sebagian besar berada pada posisi terbawah dibandingkan provinsi lain dan sebagian besar berada pada predikat waspada dan sangat kurang baik (KLHK, 2015; KLHK, 2017a; KLHK, 2020a). Tidak ada satu pun data IKU yang menunjukkan predikat yang baik. Dalam dokumen IKLH, dituliskan bahwa nilai IKU dihitung berdasarkan parameter SO₂ dan NO₂ sehingga kedua parameter tersebut merupakan parameter penting yang digunakan dalam penelitian. Namun, pada kenyataannya nilai IKU di DKI Jakarta masih berada di bawah standar.

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini. Penelitian pertama adalah penelitian yang memfokuskan pada salah satu kebijakan pencemaran udara terkait sektor transportasi, yaitu Hari Bebas Kendaraan Bermotor (HBKB). Dilakukan kajian evaluasi kebijakan HBKB di Jakarta Pusat untuk mengetahui efektivitasnya pada parameter PM₁₀ dan CO (Nugroho dkk, 2020). Kedua, penelitian yang menyimulasikan skema ganjil-genap dan melihat efektivitasnya terhadap pencemaran udara (Putri dkk, 2021). Ketiga, penelitian khusus untuk uji emisi di Kota Dumai untuk mengetahui penerapannya (Akbar, 2018). Penelitian di Shandong, Cina melakukan perbandingan perbedaan sebelum dan sesudah penerapan kebijakan terhadap kualitas udara (Jiang dkk, 2020). Penelitian di Chengdu-Chongqing menganalisis keefektifan kebijakan terkait pencemaran udara pada 6 parameter kualitas udara (Gao dkk, 2021). Terdapat juga penelitian yang membuat berbagai skenario

untuk perbaikan kualitas udara di APEC *blue*, Cina (Tong dkk, 2020). Penelitian studi literatur juga pernah dilakukan untuk mengkaji berbagai kebijakan terkait pencemaran udara di seluruh dunia dan kebijakan apakah yang paling efektif (Jafari dkk, 2021). Banyak penelitian yang relevan dengan penelitian ini. Akan tetapi, penelitian ini memiliki kebaruan dilihat dari lokasinya, tahun penelitiannya, kombinasi kebijakan yang dibahas, parameter yang digunakan, kekhususan pada sektor transportasi, metodenya, serta kaitannya terhadap IKU. Kombinasi berbagai komponen tersebut membentuk kebaruan ilmiah pada penelitian ini.

Dengan begitu, permasalahan utama dalam penelitian ini adalah terdapatnya *gap* antara harapan kebijakan pencemaran udara untuk memperbaiki kualitas udara dengan kenyataan yang merupakan hasil perhitungan nilai IKU yang masih belum masuk predikat yang cukup baik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan hubungan antara kebijakan-kebijakan yang bersangkutan dengan nilai IKU serta mengevaluasi kebijakan-kebijakan tersebut untuk mengetahui keefektifan kebijakan yang sedang berjalan. Kemudian, penelitian ini berusaha mencari solusi atas permasalahan tersebut dengan mengupayakan beberapa alternatif arahan perbaikan kebijakan agar menjadi lebih efektif untuk memperbaiki nilai IKU di DKI Jakarta.

METODOLOGI

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan pemodelan yang merupakan campuran pendekatan campuran kuantitatif dan kualitatif. Penelitian memodelkan datum *time series* untuk mendapatkan perilaku dari gejala yang ada. Pemodelan dilakukan dengan perangkat lunak Powersim10.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari 12 September hingga 27 Desember 2022 namun menggunakan data *time series* 2011-2021. Lokasi penelitian adalah pencemaran di seluruh DKI Jakarta dari beberapa titik sampel. Penelitian ini memfokuskan pada wilayah DKI Jakarta keseluruhan yang terdiri dari Jakarta Utara, Jakarta Selatan, Jakarta Pusat, Jakarta Timur, Jakarta Barat, dan Kepulauan Seribu.

Populasi dan Sampel

Sampling kualitas udara dilakukan di 24 titik sampling yang tersebar di DKI Jakarta dengan *passive sampler* dan alat SPKU (Sistem Pemantauan Kualitas Udara) milik DLH Jakarta. 24 titik sampling tersebar di 6 lokasi utama di DKI Jakarta, yaitu Jakarta Utara, Jakarta Selatan, Jakarta Pusat, Jakarta Timur, Jakarta Barat dan Kepulauan Seribu.

Prosedur penelitian

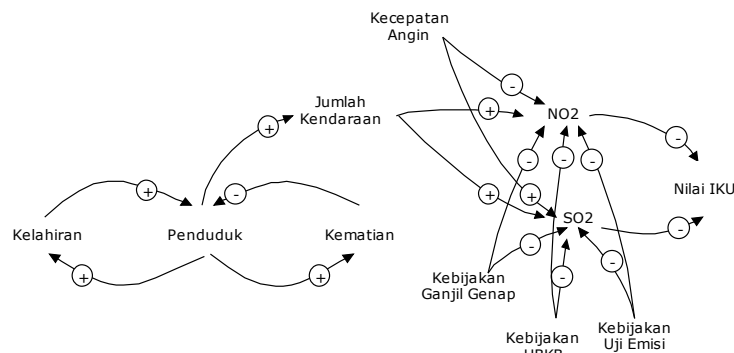
Penelitian dimulai dari pengumpulan data. Setelah itu, data dibuat menjadi model pencemaran udara sektor transportasi terhadap nilai IKU di DKI Jakarta. Kemudian, dilakukan simulasi model untuk 24 tahun ke depan. Jika hasil simulasi masih dapat dinyatakan kurang baik, maka dilakukan intervensi model agar mendapatkan hasil yang diharapkan. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif beberapa data yang diolah adalah data numerik dan berusaha untuk mendapatkan hasil data juga secara numerik untuk memprediksi perkiraan di masa mendatang. Adanya campuran kualitatif dari segi *setting* penelitian yang alami dan terdapat penjelasan deskripsi mengenai fenomena yang diteliti.

Data dan Teknik Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa data *time series* dari tahun 2011 hingga 2021 berupa data SO₂, NO₂, jumlah kendaraan, jumlah penduduk, meteorologi, nilai IKU dan data pendukung lainnya. Sumber informasi yang digunakan untuk penelitian ini adalah data sekunder, yang dikumpulkan dari berbagai dokumen publikasi pemerintah yang terdiri dari KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan), DLH (Dinas Lingkungan Hidup) DKI Jakarta, BPS (Badan Pusat Statistik), serta berbagai peraturan terkait sektor transportasi.

Teknik Analisis Data

Data dianalisis dengan langkah pembuatan model, yaitu dari masalah, pembuatan konsep, pembuatan CLD (*Causal Loop Diagram*), pembuatan model membentuk SFD (*Stock & Flow Diagram*), pengujian dan simulasi, serta validasi (Soesilo, 2020). Validasi dilakukan dengan MEA (*means of absolute error*). Gambar 1 adalah CLD penelitian ini. Kemudian, dilakukan simulasi 24 tahun ke depan dan pembentukan skenario BAU, pesimis, moderat dan optimis.



Gambar 1. CLD Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Model

Model dibuat secara bertahap dari model sederhana jumlah penduduk di Jakarta dengan mengolah data jumlah penduduk, jumlah kelahiran dan jumlah kematian. Dari ketiga data tersebut, maka dapat dihitung persentase angka kelahiran dan kematian setiap tahun pemodelannya (2011-2021) dari BPS. Hasil rerata angka kematian dan kelahiran setiap tahunnya dijadikan angka kematian dan kelahiran untuk model. Hasil simulasi dan data aktual dibandingkan dan dihitung nilai MEA sebesar 1,42% yang masih di bawah batas toleransi 30%, sehingga hasil simulasi dikatakan valid.

Kedua, model diperluas dengan menambahkan komponen jumlah kendaraan dan mengintegrasikan model jumlah kendaraan dengan model jumlah penduduk. Jumlah kendaraan dibagi menjadi 4 jenis, yaitu sepeda motor, mobil, truk dan bus. Angka pertumbuhan kendaraan setiap jenis dihitung dan dirata-ratakan untuk mendapatkan rerata angka pertumbuhan. Model jumlah kendaraan dihubungkan dengan jumlah penduduk dengan menghitung hubungan antara peningkatan jumlah penduduk terhadap jumlah masing-masing kendaraan. Model

disimulasikan dan didapatkan nilai MEA sebesar 4,78%, 4,73%, 2,77%, dan 0,42% secara berurutan untuk sepeda motor, mobil, truk dan bus. Atinya, model dapat dikatakan valid.

Ketiga, konsentrasi emisi tahunan dari kendaraan dihitung. Tahapan ini cukup kompleks karena melihat dari banyaknya emisi yang dihasilkan dari jumlah kendaraan yang ada serta mempertimbangkan dampak dari berbagai kebijakan terkait pencemaran sektor transportasi serta pengaruh meteorologi terhadap total emisi tahunan pencemaran udara tersebut. Emisi kendaraan dibagi menjadi 2 parameter, yaitu SO₂ dan NO₂ karena merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung IKU. Berdasarkan jumlah kendaraannya, dilakukan perhitungan koefisien masing-masing jenis kendaraan terhadap emisi SO₂ dan NO₂. Koefisien ini dihitung dengan data dari hasil penelitian-penelitian terdahulu untuk mengetahui perbandingan banyaknya emisi sepeda motor, mobil, truk dan bus.

Besaran emisi yang dihasilkan oleh setiap jenis kendaraan mengacu pada data penelitian terdahulu persentase sektor transportasi terhadap keseluruhan emisi SO₂ dan NO₂ yaitu, emisi SO₂ kendaraan di Jakarta menyumbang 21,73% emisi keseluruhan SO₂ di Jakarta, dan emisi NO₂ kendaraan di Jakarta menyumbang sebesar 92,27% dari emisi keseluruhan NO₂ di Jakarta (Darmanto & Sofyan, 2012). Kemudian, diintegrasikan dengan data penelitian terdahulu emisi sektor transportasi untuk mendapatkan koefisien emisi setiap jenis kendaraan terhadap emisi SO₂ dan NO₂ tahunan (Hodijah dkk, 2014). Perbandingan jumlah kendaraan dengan konsentrasi emisinya dibandingkan dengan keadaan di Jakarta. Berdasarkan perhitungannya, didapatkan besaran konsentrasi emisi SO₂ dan NO₂ setiap unit jenis kendaraan setiap tahunnya. Tabel 1 merupakan besaran konsentrasi tersebut.

Tabel 1. Emisi SO₂ dan NO₂ untuk setiap unit jenis kendaraan

Jenis Kendaraan	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
Sepeda Motor	2,58733E-08	6,53851E-07
Mobil	7,42898E-08	4,28071E-06
Bus	3,00827E-06	2,67957E-05
Truk	2,65432E-06	4,00321E-05

Berdasarkan Tabel 1, dapat dihitung besaran emisi SO₂ dan NO₂ setiap jenis kendaraan untuk setiap tahunnya. Data emisi berdasarkan jumlah kendaraan dibandingkan dengan data aktual emisi SO₂ dan NO₂ setiap tahunnya. Perbedaan antara kedua data tersebut disebabkan oleh faktor-faktor dan kebijakan-kebijakan terkait. Faktor yang dianggap signifikan untuk pemodelan ini adalah faktor kecepatan angin dan 3 jenis kebijakan, yaitu HBKB, ganjil-genap dan uji emisi. Selain itu, untuk tahun 2020-2021, faktor keberadaan pandemi Covid-19 juga menjadi faktor yang signifikan mempengaruhi kualitas udara (Bappenas, 2020). Sesuai dengan waktu munculnya masing-masing kebijakan dan besaran kecepatan angin setiap waktunya, dihitung besaran dampak masing-masing faktor terhadap emisi SO₂ dan NO₂. Dengan begitu, maka dapat dihitung secara *trial* dan *error* besaran dampak masing-masing faktor terhadap emisi SO₂ dan NO₂ kendaraan. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan efektivitas setiap faktor

Faktor	SO ₂	NO ₂
KA (Kecepatan Angin)	-0,69	0,00067

HBKB	-0,12	0,11
Uji Emisi	-0,12	0,16
HBKB 2	0,54	0,24
Uji emisi 2 + Ganjil genap	0,06	0,07
Ganjil genap 2	0,4	0,03
Covid-19	0,7	0,34

Pada Tabel 2, didapatkan tingkat efektivitas masing-masing faktor dalam menurunkan emisi SO₂ dan NO₂. Nilai negatif artinya faktor meningkatkan beban emisi, sedangkan nilai positif menurunkan beban emisi. Faktor kecepatan angin terhadap menurunnya konsentrasi SO₂ berbanding terbalik, sehingga dalam persamaannya adalah $1/(KA \times \text{koefisien } KA)$. KA adalah besaran kecepatan anginnya. Hasil perhitungannya pada Tabel 1 adalah negatif, sehingga kecepatan angin justru meningkatkan emisi SO₂. KA yang semakin besar akan berdampak semakin kecil untuk penambahan emisi SO₂. Sementara, faktor KA terhadap penurunan emisi NO₂ berbanding lurus, sehingga dalam persamaannya hanya mengalikan KA dengan koefisiennya. Dengan begitu KA yang semakin besar akan menurunkan emisi NO₂.

Kemudian, untuk kebijakan HBKB yang mulai pada Tahun 2012, dapat dilihat bahwa kebijakan berdampak baik untuk penurunan emisi NO₂ sebesar 0,11 dari emisi berdasarkan jumlah kendaraan. Sedangkan, kebijakan HBKB terhadap emisi SO₂ justru berdampak negatif dan meningkatkan emisi SO₂ sebesar 0,12 dari emisi berdasarkan jumlah kendaraan. Berdasarkan penelitian keefektifitasan HBKB di Jakarta Pusat, efektivitas diukur dan dinyatakan tidak memberikan dampak yang besar pada perubahan kualitas udara, bahkan dapat meningkatkan emisi pada lokasi alternatif. Parameter pada penelitian itu adalah CO dan PM₁₀ dan terbukti dapat mengurangi emisinya pada persentase yang telah diteliti (Nugroho dkk, 2020). Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, maka emisi SO₂ merupakan emisi yang justru meningkat dengan adanya HBKB yang dapat disebabkan oleh jalur alternatif yang justru meningkatkan emisi SO₂. Sedangkan, emisi NO₂ merupakan emisi yang dapat menurun dengan bantuan kebijakan HBKB ini.

Kebijakan yang muncul di tahun selanjutnya adalah uji emisi. Sama halnya dengan kebijakan HBKB, kebijakan ini berdampak baik pada penurunan emisi NO₂, tetapi justru terjadi peningkatan SO₂. Penurunan emisi NO₂ sebesar 0,16 dari emisi berdasarkan jumlah kendaraan dan peningkatan emisi SO₂ sebesar 0,12 dari emisi berdasarkan jumlah kendaraan. Pada penelitian pengkajian uji emisi yang sudah dijalankan di kota lainnya, uji emisi tidak dapat berjalan lancar karena adanya hambatan dalam implementasinya (Akbar, 2018). Namun, uji emisi yang dilakukan di Jakarta terbukti memiliki dampak penurunan emisi untuk NO₂, tetapi peningkatan untuk SO₂. Artinya, faktor penghambat yang terjadi di kota lainnya dapat diatasi di DKI Jakarta. Emisi NO₂ lebih mendapatkan dampak karena emisi NO₂ adalah emisi yang lebih merepresentasikan sektor transportasi. Berdasarkan dokumen IKLH, dikatakan bahwa emisi NO₂ merupakan representasi emisi sektor transportasi dan SO₂ lebih terhadap industri (KLHK, 2015).

Pada tahun 2016, dilakukan perluasan lokasi untuk kebijakan HBKB, perluasan ini menambahkan efektivitas untuk penurunan kedua jenis emisi baik SO₂ dan NO₂. Perluasan HBKB memberikan dampak baik pada penurunan emisi SO₂. HBKB yang sebelumnya justru meningkatkan SO₂, dalam revisi dan perluasan kebijakannya memiliki dampak sebaliknya yang

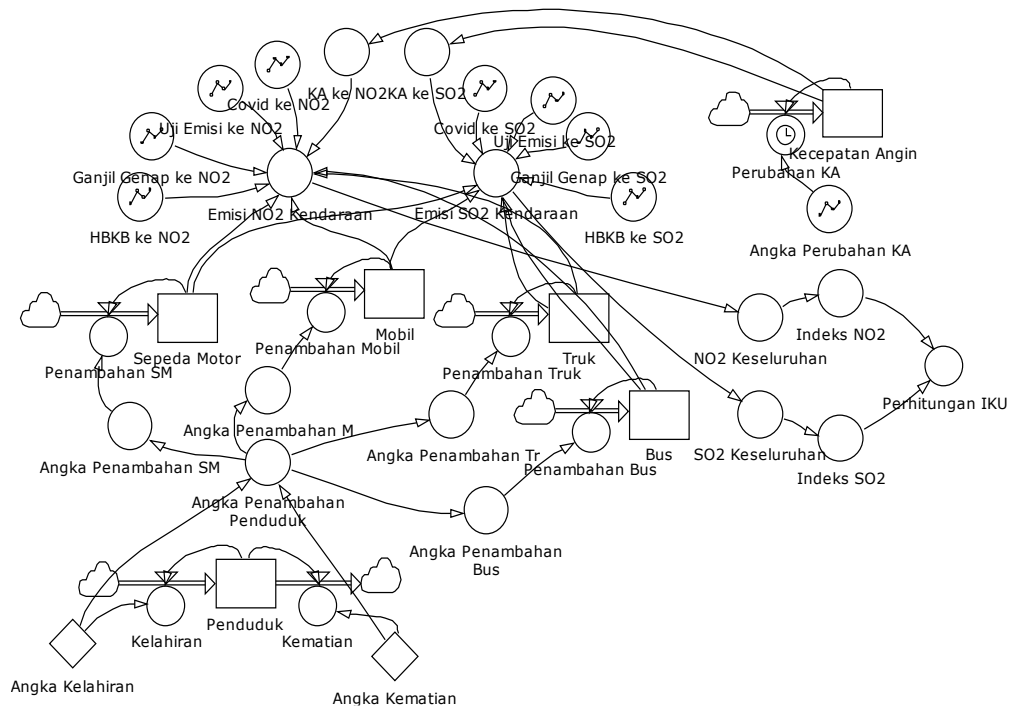
mampu menurunkan emisi SO₂ sebesar 0,54 dari emisi berdasarkan jumlah kendaraan. Sementara, perluasan HBKB menambahkan keefektivasan kebijakan ini untuk menurunkan emisi NO₂ sebesar 0,24 dari emisi berdasarkan jumlah kendaraan.

Pada tahun 2018, terdapat 2 kebijakan sekaligus yang dimulai, yaitu penambahan kebijakan mengenai uji emisi dan ganjil genap. Campuran kedua kebijakan ini memberi dampak yang baik untuk menurunkan kedua emisi. Terhadap SO₂ sebesar 0,06 dan terhadap NO₂ sebesar 0,07 dari emisi berdasarkan jumlah kendaraan. Pada tahun berikutnya, ganjil genap dilakukan perluasan dan juga memberi dampak baik bagi kualitas udara dengan menurunkan emisi SO₂ sebesar 0,4 dan emisi NO₂ sebesar 0,03 dari emisi berdasarkan jumlah kendaraan.

Pada penelitian Putri *et al.* (2021), dihitung efisiensi ganjil genap di Kota Bekasi, kebijakan ini memang mampu menurunkan emisi kendaraan mobil, tetapi justru meningkatkan jumlah sepeda motor. Kebijakan ini memberikan perubahan, namun tidak terlalu signifikan. Pada lokasi penelitian ini di DKI Jakarta, ganjil genap ternyata memberikan dampak terhadap penurunan emisi untuk SO₂ maupun NO₂. Besaran efektivitasnya memang tidak sebesar kebijakan lain, tetapi tetap memberikan dampak yang positif. Saat dilakukan perluasan lokasi ganjil genap, tingkat keefektivasannya pun meningkat cukup besar untuk SO₂ dan tidak terlalu besar untuk NO₂. Adanya perbedaan efektivitas di kota yang berbeda disebabkan oleh perbedaan implementasi setiap daerahnya (Jiang *et al.*, 2020).

Setelah itu, pada tahun 2020, pandemi Covid-19 mulai masuk ke Indonesia, sehingga menyebabkan dihentikannya program HBKB selama 2 tahun (2020-2021). Namun, tahun 2022 kebijakan HBKB mulai dijalankan kembali. Sehingga pada 2 tahun ini kebijakan HBKB tidak berperan sebagai faktor yang mempengaruhi emisi tahunan SO₂ dan NO₂. Pada 2 tahun ini, efektivitas HBKB dianggap 0, tetapi adanya pandemi memiliki peran tersendiri dalam menurunkan emisi SO₂ dan NO₂ (Bappenas, 2020). Keberadaan pandemi memiliki efektivitas sebesar 0,7 dan 0,34 dari emisi berdasarkan jumlah kendaraan untuk SO₂ dan NO₂ secara berurutan.

Dengan demikian, data hasil perhitungan ini dapat dimasukkan ke dalam model dan dihitung nilai MEA sebesar 10,51% untuk emisi SO₂ dan 6,54% untuk emisi NO₂. Dari emisi sektor kendaraan, dihitung emisi keseluruhannya dan dihitung nilai IKU sesuai rumus pada IKLH. Perhitungan ini dimasukkan ke dalam model dan disimulasikan. Perhitungan IKU adalah simulasi akhir dalam pembuatan model. Nilai MEA perhitungan IKU adalah 7,96%, sehingga model secara penuh dianggap valid. Gambar 2 merupakan SFD lengkap model penelitian ini.



Gambar 2. SFD model penelitian

Pembuatan Skenario

Setelah model valid, model diproyeksikan 24 tahun ke depan hingga tahun 2045 untuk melihat keadaan kualitas udara pada tahun 2030. Tahun 2030 merupakan tahun terakhir program SDGs. Tahun 2030 juga dapat menjadi dasar dalam merencanakan rencana pembangunan jangka panjang (RPJP) selanjutnya di Indonesia yang berdurasi 20 tahun. Dari proyeksi model ini diharapkan dapat diupayakan kualitas udara di Jakarta memenuhi standar kualitas yang ada. Tabel 3 merupakan hasil proyeksi hingga tahun 2045 jika tidak dilakukan intervensi apa pun atau skenario BAU (*business as usual*).

Tabel 3. Hasil Simulasi IKU Tahun 2022-2045

Tahun	Simulasi IKU	Tahun	Simulasi IKU
2.022	67,22	2.034	59,52
2.023	68,76	2.035	57,86
2.024	69,89	2.036	56,11
2.025	69,86	2.037	54,27
2.026	69,35	2.038	52,33
2.027	68,56	2.039	50,30
2.028	67,59	2.040	48,17
2.029	66,50	2.041	45,94
2.030	65,29	2.042	43,60
2.031	63,98	2.043	41,15
2.032	62,58	2.044	38,58
2.033	61,09	2.045	35,88

Dapat dilihat pada Tabel 3 tersebut, bahwa nilai IKU menunjukkan perbaikan hingga

tahun 2026 sebesar 69,35 (kategori kurang baik), tetapi setelah itu nilai IKU mulai menurun hingga mencapai IKU 35,88 yang merupakan kategori waspada. Artinya, jika tidak dilakukan intervensi apa pun, maka nilai IKU hanya dapat meningkat hingga kategori yang kurang baik dan akhirnya terus menurun hingga kategori terburuk. Nilai IKU diprediksi tidak pernah mencapai kategori cukup baik ($71 < \text{IKU} \leq 81$), baik ($91 < \text{IKU} \leq 91$), dan sangat baik ($\text{IKU} > 91$). Kategori terbaik yang bisa didapatkan hanya kategori kurang baik ($61 < \text{IKU} \leq 71$) dari tahun 2022 hingga tahun 2033. Selanjutnya, kualitas menurun menjadi kategori sangat kurang baik ($51 < \text{IKU} \leq 61$) pada tahun 2034-2038. Akhirnya, dari tahun 2039 hingga akhir tahun simulasi (2045), IKU masuk dalam kategori terburuk, yaitu waspada ($\text{IKU} \leq 51$).

Meskipun adanya berbagai faktor yang dapat menurunkan emisi SO_2 dan NO_2 , akan tetapi nilai IKU akan terus menurun. Hal ini disebabkan oleh jumlah kendaraan yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, sehingga kebijakan yang ada sejauh ini diterapkan tidak lagi mampu untuk menekan emisi kendaraan yang dihasilkan. Akibatnya, nilai IKU akan terus menurun jika simulasi dilanjutkan. Dengan begitu, dibutuhkan adanya skenario untuk mengintervensi agar keadaan yang disimulasikan tersebut dapat dihindari. Untuk mendapat hasil yang diinginkan kebijakan harus diperkuat atau ditambahkan kebijakan baru yang sesuai dan mengikuti pertumbuhan yang ada (Purwadi dkk, 2020). Dikaji dari berbagai penelitian terkait, cara yang dianggap paling efektif adalah mengubah kendaraan menjadi kendaraan dengan bahan bakar ramah lingkungan atau kendaraan listrik (Jafari dkk, 2021).

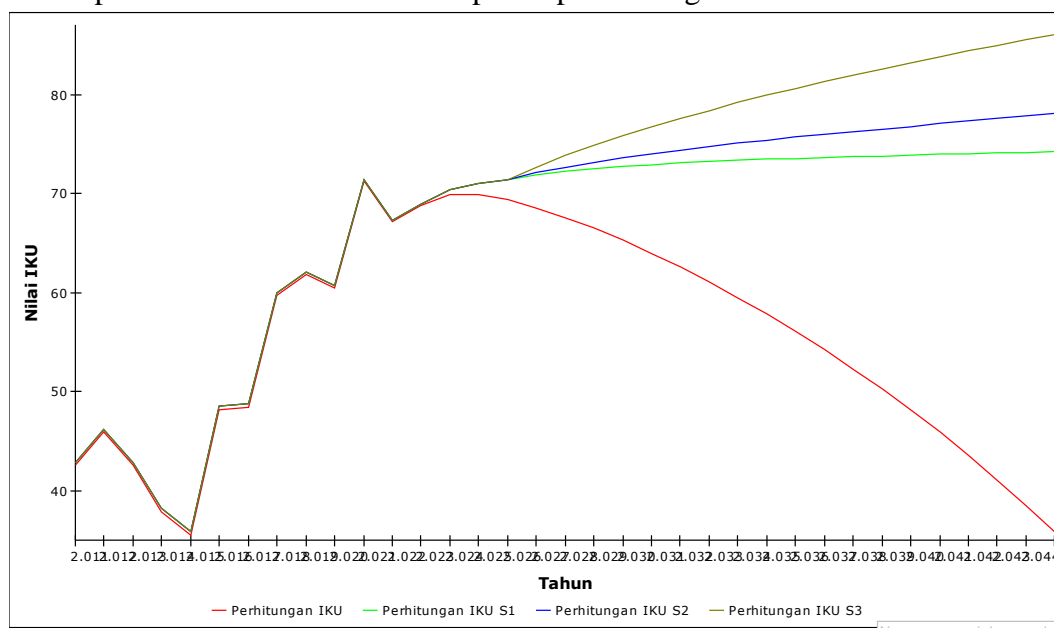
Permasalahan jumlah penduduk dapat diatasi dengan menggencarkan lagi program KB di DKI Jakarta dan dikuatkan penegakkan hukumnya. Program KB sebenarnya bukanlah hal baru dan sudah dimulai tahun 1957, tetapi karena tidak adanya hukum yang menyatakan kewajiban untuk penerapannya serta kurangnya sosialisasi terhadap masyarakat, maka program ini belum banyak diterapkan. Dilihat dari aspek luasan dan kepadatan penduduk pun, jumlah penduduk di DKI Jakarta juga harus dikontrol agar tidak melonjak terlalu besar. Dilihat dari kota-kota yang berusaha menerapkan program KB, efektivitas dalam program KB sejauh ini tidak dapat menekan sepenuhnya. Berdasarkan penelitian di Kota Makassar program KB mampu menurunkan angka kelahiran sebesar 0,97% setelah beberapa tahun penerapan (Fitri, 2018).

Selain jumlah penduduk, jumlah kendaraan pribadi harus ditekan jumlahnya dan lebih difokuskan pada transportasi publik. Berdasarkan penggunaan transportasi umum, sebenarnya jumlahnya sudah cukup memadai untuk penduduknya, tetapi banyak orang lebih memilih menggunakan kendaraan pribadi, sehingga kendaraan umum masih tidak dapat berjalan sesuai kapasitas penuhnya. Selain itu, pada tahun 2022, dinyatakan bahwa akan dioperasikan bus listrik di Jakarta (Syahputra, 2022). Dengan begitu, transportasi publik dapat bertambah, tetapi emisinya tidak bertambah. Pada PP RI No. 79 Tahun 2014 dibahas mengenai kebijakan energi nasional dan Perpres RI No. 55 Tahun 2019 membahas untuk program kendaraan bermotor listrik. Jika, peraturan ini dapat dijalankan lebih luas dan menyeluruh, maka penambahan jumlah kendaraan tidak akan memperburuk kualitas udara karena setiap kendaraan baru diharapkan merupakan kendaraan bermotor listrik.

Berdasarkan pembahasan dari berbagai penelitian terdahulu dan peraturan yang ada, maka skenario yang dianggap paling tepat dan efektif untuk dibangun adalah penekanan jumlah penduduk serta perubahan tipe kendaraan menjadi kendaraan bermotor listrik. Program KB

efektivitasnya mengikuti penelitian terdahulu yang diharapkan menekan angka kelahiran agar turun sebesar 0,97%. Angka tersebut didapatkan terus menurun selama 5 tahun hingga mencapai angka tersebut. Oleh karena itu, dilakukan penurunan sebesar 0,2% angka kelahiran setiap tahunnya hingga mencapai 1% penurunan dan stagnan jika sudah mencapai angka tersebut.

Sementara itu, untuk permasalahan kendaraan dibuat 3 skenario yaitu, pesimis, moderat dan optimis untuk menggantikan kendaraan-kendaraan yang ada dengan kendaraan listrik serta mengupayakan setiap kendaraan baru merupakan kendaraan listrik. Skenario pesimis adalah menggantikan kendaraan lama maupun baru menjadi kendaraan listrik dengan besaran 0,5% per tahun. Skenario moderat adalah menggantikan kendaraan lama maupun baru menjadi kendaraan listrik dengan besaran 1% per tahun. Skenario optimis adalah menggantikan kendaraan lama maupun baru menjadi kendaraan listrik dengan besaran 2,5% per tahun. Model disimulasikan kembali dengan intervensi 3 skenario. Ketiga skenario tersebut dibandingkan satu sama lain dan dengan skenario BAU. Skenario dibandingkan untuk melihat apakah sudah cukup baik untuk mencapai target yang diinginkan serta skenario mana yang paling mudah untuk diterapkan. Gambar 3 berikut merupakan perbandingan hasil simulasi 4 skenario.



Gambar 3. Perbandingan hasil simulasi BAU, pesimis, moderat dan optimis

Pada Gambar 3, dapat dibandingkan hasil simulasi IKU saat skenario BAU, pesimis, moderat dan optimis. Dari tahun 2011-2021, semua skenario tentu sama karena merupakan tahun *time series* pemodelan. Mulai tahun 2022, grafik mulai menunjukkan perbedaan. Pada skenario BAU, seperti yang sudah dibahas sebelumnya menunjukkan nilai IKU yang naik hingga 69,35 dan kemudian terus menurun hingga IKU 35,88 yang merupakan kategori terburuk. Grafik BAU yang berwarna merah terus menurun hingga tahun 2045. Oleh karena itu, dibuat 3 skenario untuk mengintervensi keadaan BAU.

Skenario pesimis meningkatkan nilai IKU terus menerus dari kategori kurang baik, mulai tahun 2026 sudah masuk kategori cukup baik hingga tahun simulasi terakhir mencapai IKU sebesar 74,19 yang merupakan kategori cukup baik. Skenario moderat meningkatkan nilai IKU terus menerus dari kategori kurang baik, mulai tahun 2026 sudah masuk kategori cukup baik

hingga tahun simulasi terakhir mencapai IKU sebesar 78,03 yang merupakan kategori cukup baik. Skenario optimis meningkatkan nilai IKU terus menerus dari kategori kurang baik, mulai tahun 2026 sudah masuk kategori cukup baik hingga tahun 2036. Selanjutnya, dari tahun 2037 hingga tahun 2045 masuk dalam kategori baik dengan nilai IKU pada tahun 2045 mencapai 86,03. Ketiga skenario dapat dilihat pada Gambar 3, menunjukkan peningkatan IKU dengan kategori cukup baik dan ke atas. Namun, dapat dilihat bahwa skenario optimis memberikan hasil terbaik, diikuti dengan skenario moderat dan pesimis.

Ketiga skenario tersebut semuanya mencapai kategori cukup baik pada tahun 2030 yang merupakan tahun akhir target SDGs dan untuk seterusnya sudah mencapai kategori cukup baik atau bahkan baik. Artinya, ketiga skenario sudah dapat mencapai target minimal untuk kualitas udara yang cukup baik. Dengan begitu, pelaksanaan skenario yang pesimis saja sudah mampu meningkatkan kualitas udara di DKI Jakarta mencapai kategori cukup baik, sehingga skenario pesimis dapat dipilih dan diterapkan. Akan tetapi, jika ternyata pemerintahan DKI Jakarta memiliki sumber daya dan fasilitas yang mampu menjalankan skenario moderat, optimis atau bahkan lebih dari itu, maka kualitas udara di DKI Jakarta akan semakin baik lagi.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah model yang dibangun telah valid dengan eror 7,96%. Hubungan antara kebijakan-kebijakan sektor transportasi terhadap nilai IKU dapat dilihat dengan hasil perhitungan dampaknya terhadap emisi SO₂ dan NO₂ yang merupakan parameter untuk menghitung IKU. Setiap faktor memberikan nilai efektivitas masing-masing serta ada yang berdampak positif dan ada yang justru berdampak negatif. Kemudian, dari 4 skenario yang ada, menimbang dari hasil simulasi dan kemudahan penerapan, maka skenario pesimis adalah skenario yang paling tepat untuk diterapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, S. R. 2018. Kebijakan Uji Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor di Kota Dumai : Studi Kasus Uji Emisi Kendaraan Bermotor Roda Dua dan Roda Empat Tahun 2015-2016. *JOM Fisip*, 5(1), 1-15.
- Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. 2017. *Pedoman Penyusunan Rencana Aksi Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB)/ Sustainable Development Goals (SDGs)*. Jakarta: Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Bappenas.
- Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. 2020. *Pengaruh covid-19 terhadap tujuan pembangunan berkelanjutan*. Sustainability Talk: Menjaga Momentum Pencapaian SDGs Pasca Corona.
- Badan Pusat Statistik. 2022. *Provinsi DKI Jakarta Dalam Angka*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.

- Darmanto, N.S., & Sofyan, A. 2012. Analisis distribusi Pencemar Udara NO₂, SO₂, CO dan O₂ di Jakarta dengan WRF-CHEM. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 18(1), 54-64.
- Fitri. 2018. Efektivitas Program Keluarga Berencana dalam Menekan Laju Pertumbuhan Penduduk di Kota Makassar. *Skripsi*. Jurusan Ilmu Ekonomi Fakultas Ekonomi dan Bisnis Islam Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Gao, H., Yang, W., Wang, J. & Zheng, X. 2021. Analysis of The Effectiveness of Air Pollution Control Policies Based on Historical Evaluation and Deep Learning Forecast: A Case Study of Chengdu-Chongqing Region in China. *Sustainability* 13(206), 1-27.
- Hodijah, N., Amin, B., & Mubarak. 2014. Estimasi Beban Pencemar dari Emisi Kendaraan Bermotor di Ruas Jalan Kota Pekanbaru. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 1(2), 71-79.
- Jafari, A. J., Charkhloo, E., & Pasalari, H. 2021. Urban Air Pollution Control Policies and Strategies: A Systematic Review. *J Environ Health Sci Engineer* 19, 1911– 1940.
- Jiang, B., Li, Y. & Yang, W. 2020. Evaluation and Treatment Analysis of Air Quality Including Particulate Pollutants: A Case Study of Shandong Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17(9476), 1-24.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2015. *Indeks Kualitas Lingkungan Hidup 2014*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2017. *Indeks Kualitas Lingkungan Hidup 2015*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2020. *Indeks Kualitas Lingkungan Hidup 2019*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Nugroho, S.T., Simartama, J., Wibisosno, G.I. & Arifa' i, A.M. 2020. Kajian Evaluasi Hari Bebas Kendaraan Bermotor di Jakarta Pusat. *Jurnal Teknik Transportasi*, 1(2), 121-128.
- Purwadi, A., Suhandi, S., & Enggarsasi, U. 2020. Urban Air Pollution Control Caused by Exhaust Gas Emissions in Developing Country Cities in Public Policy Law Perspective. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(1), 31– 36.
- Putra, A.K. 2015. Transboundary Haze Pollution Dalam Perspektif Hukum Lingkungan Internasional. *Jurnal Ilmu Hukum*, 6 (1), 92-109.
- Putri, A. A., Tama, Y. P., & Suryandari, M. 2021. Simulasi Dampak Rencana Penerapan Skema Ganjil Genap di Kota Bekasi. *Jurnal Teknologi Transportasi dan Logistik*, 2(2), 145-156.
- Soesilo, T. E. B. 2020. *Pemodelan Lingkungan*. Tangerang Selatan: Universitas Terbuka.

Syahputra, E.(2022). *Top! 100 Bus Listrik Trans Jakarta Bakal Beroperasi di 2022*. Diambil 17 Oktober 2022, dari situs World Wide Web: <https://www.cnbcindonesia.com/news/20220628160913-4-351103/top-100-bus-listrik-trans-jakarta-bakal-beroperasi-di-2022>

Taha, H.A. (1992). *Operation Research-An Introduction*. New York: Macmillan Publishing Company.

Tong, P., Zhang, Q., Lin, H., Jian, X., & Wang, X. 2020. Simulation of The Impact of The Emergency Control Measures on The Reduction of Air Pollutants: A Case Study of APEC Blue. *Environ Monit Assess*, 192(116), 1-11.

United Nation. 2015. Diambil 29 Maret 2022, dari situs World Wide Web: <https://sdgs.un.org/goals>

PROFIL PENULIS

Penulis lahir di Jakarta, 5 Oktober 1998. Penulis. Pada tahun 2016, penulis diterima di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan (FTSPK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur SBMPTN. Penulis lulus dari ITS pada tahun 2020 dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T.). Pada tahun 2021 penulis diterima di program magister Studi Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka. Selama masa perkuliahan penulis telah memiliki beberapa pengalaman kerja dari kerja paraktik dan sambilan.