

MODEL PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA DI WILAYAH DENGAN PERTUMBUHAN EKONOMI TINGGI: STUDI KASUS DKI JAKARTA

ROY WANGINTAN



**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Model Pengendalian Pencemaran Udara di Wilayah dengan Pertumbuhan Ekonomi Tinggi: Studi Kasus DKI Jakarta” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2025

Roy Wangintan
P0602221022



RINGKASAN

ROY WANGINTAN. Model Pengendalian Pencemaran Udara di Wilayah dengan Pertumbuhan Ekonomi Tinggi : Studi Kasus DKI Jakarta. Dibimbing oleh MOH. YANI, HARTRISARI HARDJOMIDJOJO dan TANIA JUNE.

Pencemaran udara merupakan salah satu isu utama metropolitan dengan pertumbuhan ekonomi tinggi, seperti DKI Jakarta. Pertumbuhan sektor industri, transportasi, konstruksi, dan konsumsi bahan bakar fosil telah menyebabkan peningkatan konsentrasi polutan udara $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 , CO , dan O_3 . Masalah ini ditambah perubahan kondisi meteorologi dan semakin sedikitnya ruang terbuka hijau, yang berujung pada munculnya efek pulau panas perkotaan yang pada akhirnya menurunkan kualitas lingkungan dan meningkatkan risiko masalah kesehatan. Meskipun pemerintah daerah telah berupaya mengatasi masalah ini melalui berbagai langkah seperti program pengendalian emisi kendaraan bermotor, kualitas udara Jakarta sering kali masih tercatat dalam kondisi buruk dan tidak sehat. Nilai Indeks Kualitas Udara (IKU) yang rendah menggambarkan perlunya strategi pengendalian yang lebih efektif yang didasarkan pada data berkualitas tinggi.

Tujuan utama penelitian ini adalah mengembangkan model pengendalian pencemaran udara yang efektif dan adaptif untuk perencanaan perkotaan yang dipengaruhi oleh pertumbuhan ekonomi yang pesat studi kasus DKI Jakarta. Sedangkan tujuan antara dari penelitian ini adalah menganalisis kualitas udara Jakarta berdasarkan standar *World Health Organization* (WHO), standar nasional (PP RI/Peraturan Pemerintah Republik Indonesia) dan *United States Environmental Protection Agency* (USEPA); menguji korelasi antara pertumbuhan ekonomi dan kualitas udara menggunakan melalui pendekatan *Environmental Kuznets Curve* (EKC); mengevaluasi data *real time* stasiun pemantauan terhadap model numerik dinamika atmosfer; mengidentifikasi variabel strategis untuk penelitian polusi udara; mengembangkan model sistem dinamis pengendalian pencemaran udara untuk pengambilan keputusan.

Penelitian ini menggunakan data *real-time* dari lima stasiun *Air Quality Monitoring System* (AQMS) di Jakarta dari 2018 hingga 2023 untuk menghitung IKU menggunakan pendekatan baru dalam pengukuran yang disebut sebagai IKU-P6. IKU ini menggunakan enam parameter pencemar udara utama, yaitu $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , CO , NO_2 , dan O_3 , yang memadukan baku mutu WHO, standar nasional, dan USEPA. Kurva EKC dibuat dengan regresi polinomial untuk melihat hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan IKU. Data reanalisis CAMS dan simulasi WRF-Chem digunakan untuk sebaran pencemaran. Model MicMac digunakan untuk menganalisis variabel strategis.

Penelitian menunjukkan bahwa kualitas udara Jakarta, berdasarkan standar WHO, hampir selalu tergolong dalam kategori sedang hingga buruk. Sementara itu, berdasarkan standar nasional dan USEPA, kualitas udara terlihat sedikit lebih baik, meskipun tetap memerlukan perhatian yang serius. Analisis EKC menunjukkan pola yang beragam: Jakarta Pusat, Utara, dan Selatan menunjukkan pola kurva U normal yang mengindikasikan bahwa kualitas udara memburuk pada fase awal pertumbuhan ekonomi, kemudian membaik setelah melewati titik balik tertentu. Berbeda dengan itu, Jakarta Timur menunjukkan kurva U terbalik, yang mengindikasikan penurunan kualitas udara pada fase pertumbuhan ekonomi yang

lebih pesat. Sensitivitas penyebaran polutan menggunakan *Copernicus Atmosphere Monitoring Service* (CAMS) dan *Weather Research and Forecasting with Chemistry* (WRF-Chem) menunjukkan bahwa model tersebut secara efektif mewakili distribusi polutan, namun beberapa parameter masih menunjukkan bias.

Desain IKU-P6 yang berbasis data *real-time* dengan beberapa parameter merupakan kebaruan dalam penelitian ini. Hal ini memungkinkannya untuk memberikan gambaran kualitas udara yang lebih detail dibandingkan dengan metode IKU tradisional, yang hanya berfokus pada SO_2 dan NO_2 . Penggunaan EKC dengan IKU sebagai indikator kualitas lingkungan merupakan kebaruan lainnya. Hal ini menghasilkan kurva logis yang menunjukkan bahwa IKU meningkat ketika kualitas udara membaik. Selain itu, model sistem dinamis mampu mengintegrasikan variabel sosial, ekonomi, teknologi, dan kebijakan. Hal ini memungkinkan untuk menyajikan sejumlah skenario yang berbeda, yang dapat digunakan sebagai model untuk membantu merancang intervensi pengelolaan polusi udara yang lebih efektif.

Model sistem dinamik mengindikasikan bahwa kualitas udara di DKI Jakarta sangat dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara aspek sosial, kesehatan, ekonomi, dan lingkungan. Tanpa upaya pengendalian yang efektif, penurunan nilai IKU berpotensi menyebabkan peningkatan kasus Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) hingga 25%, meskipun pertumbuhan ekonomi mencapai rata-rata 4,5% per tahun. Di antara berbagai skenario, pendekatan optimis terbukti paling efektif dalam menekan emisi PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, SO_2 , CO, dan NO_2 , serta secara signifikan mampu memperbaiki IKU melalui penerapan kebijakan terintegrasi seperti elektrifikasi transportasi, pemanfaatan teknologi ramah lingkungan, dan pengembangan ruang terbuka hijau. Dengan demikian, strategi pengendalian lintas sektor yang menyeluruh dan berkelanjutan menjadi kunci utama dalam mewujudkan kualitas udara yang lebih baik di masa mendatang.

Penelitian ini memiliki dampak signifikan terhadap perumusan kebijakan lingkungan berbasis data, terutama di daerah perkotaan yang terdampak oleh tingkat aktivitas ekonomi yang tinggi. Model yang dikembangkan merupakan cara mudah bagi pemerintah daerah untuk membuat kebijakan pengendalian pencemaran udara dan tetap mendukung pertumbuhan ekonomi sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan. Model ini juga dapat diterapkan di kota-kota besar lain di Indonesia dengan karakteristik serupa.

Kata Kunci : DKI Jakarta, *environmental kuznets curve*, indeks kualitas udara, model sistem dinamis, model kimia atmosfer, pencemaran udara.



SUMMARY

ROY WANGINTAN. Air Pollution Control Model in High Economic Growth Region: Case Study of DKI Jakarta. Supervised by MOH. YANI, HARTRISARI HARDJOMIDJOJO and TANIA JUNE.

Air pollution is a serious concern in big cities that are growing swiftly, like DKI Jakarta. More air pollutants like $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 , CO , and O_3 are in the air since the industrial, transportation, building, and fossil fuel consumption sectors have all grown. This problem is getting worse because of changes in the weather and the loss of green spaces. This causes the urban heat island effect, which makes the environment worse and increasing the risk of health problems. Even though the local government has tried to remedy the problem with programs to reduce car emissions, Jakarta's air quality is still routinely described as severe and unhealthy. Low Air Quality Index (IKU) measurements show that we need to make better decisions based on solid data.

The major purpose of this project is to use Jakarta as a case study to make a flexible and useful way to reduce air pollution in cities that are growing swiftly economically. The study's short-term goals are to look at Jakarta's air quality according to World Health Organization (WHO), national standard (PP RI/ Peraturan Pemerintah Republik Indonesia), and United States Environmental Protection Agency (USEPA) standards; to see if there is a link between economic growth and air quality using the Environmental Kuznets Curve (EKC) method; to compare real-time monitoring station data with numerical atmospheric dynamics models; to find key variables for air pollution research; and to create a model for a dynamic air pollution control system for decision-making. This study examines real-time data from five Air Quality Monitoring System (AQMS) sites in Jakarta spanning 2018 to 2023 to determine the IKU utilizing an innovative approach known as IKU-P6. This IKU looks at six main air pollutants: $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , CO , NO_2 , and O_3 . It does this by combining standards from the WHO, the US EPA, and the national government. The EKC curve, which shows the link between IKU and economic growth, was made using polynomial regression. Using Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) reanalysis data and Weather Research and Forecasting with Chemistry (WRF-Chem) simulations, pollutants were spread out. We used the MicMac model to look at important variables.

According to WHO criteria, the study showed Jakarta's air quality is consistently rated as moderate to bad. Air quality seems to be a little better; however, it still needs a lot of work, according to national and USEPA regulations. The EKC study displays various patterns: Central, North, and South Jakarta all have a standard U-shaped curve. This means air quality worsens at the beginning of economic growth and improves at a certain point. East Jakarta, on the other hand, has an inverted U-shaped curve, which means the air quality worsens during the faster-growing phase of economic growth. CAMS and WRF-Chem sensitivity study of pollutant dispersion demonstrates that the models show how pollutants spread, even though some parameters still show refraction.

The IKU-P6 design, which uses real-time data with several parameters, is new to this study. This gives a more complete picture of air quality than traditional IKU approaches, which only look at SO_2 and NO_2 . Another new thing is using

@Hak Cipta dan Hak Penemuan

EKC with IKU to measure environmental quality. This makes a sensible curve showing that IKU increases as the air quality improves. The dynamic system model can also consider social, economic, technological, and policy factors. This makes it possible to show different situations that can be used as examples to assist in planning better ways to deal with air pollution.

The system dynamics model shows that the air quality in DKI Jakarta is greatly affected by the complicated ways that social, health, economic, and environmental issues work together. If there aren't any good control measures, the Air Quality Index (IKU) could go down, which could cause the number of Acute Respiratory Infections (ISPA) cases to go up by as much as 25%, even though the economy is growing at a pace of 4,5% each year. The optimistic approach is the best way to cut down on PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, CO, and NO₂ emissions and make the IKU much better. This can be done by using integrated policies like electrifying transportation, using eco-friendly technologies, and making more green open spaces. So, a complete and long-term cross-sectoral control plan is the key to better air quality in the future.

This study has a big effect on how to use data to formulate environmental policies, especially in cities with a lot of business. The model helps local governments find easy solutions to reduce air pollution while still encouraging economic growth, which is in line with the Sustainable Development Goals. You may also utilize the approach in other big Indonesian cities that are similar.

Keywords: atmospheric chemistry model, air pollution, air quality index, DKI Jakarta, dynamic system model, environmental kuznets curve.





@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

MODEL PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA DI WILAYAH DENGAN PERTUMBUHAN EKONOMI TINGGI: STUDI KASUS DKI JAKARTA

ROY WANGINTAN

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan

**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Prof. Dr.Ir. Bambang Pramudya N., M. Eng
- 2 Dr. Donaldi Sukma Permana, MS

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Prof. Dr.Ir. Bambang Pramudya N., M. Eng
- 2 Dr. Donaldi Sukma Permana, MS



Judul Disertasi: Model Pengendalian Pencemaran Udara Di Wilayah dengan
Pertumbuhan Ekonomi Tinggi : Studi Kasus DKI Jakarta

Nama : Roy Wangintan
NIM : P0602221022

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Moh. Yani, MEng



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Hartisari Hardjomidjojo, DEA

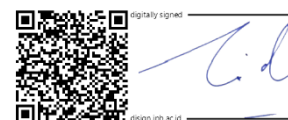


Pembimbing 3:
Prof. Dr. Ir. Tania June, MSc



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Widiatmaka, DAA, IPU
NIP. 196212011987031002



Dekan Sekolah Pascasarjana:
Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F. Trop
NIP. 197003291996081001



Tanggal Ujian Tertutup:
30 Juli 2025

Tanggal Lulus: 27 AUG 2025

Tanggal Ujian Terbuka :
12 Agustus 2025



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Juli 2023 sampai bulan Juli 2025 ini adalah Model Pengendalian Pencemaran Udara, dengan judul “Model Pengendalian Pencemaran Udara di Wilayah dengan Pertumbuhan Ekonomi Tinggi Studi Kasus DKI Jakarta”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Moh. Yani, Meng dan Prof. Dr. Ir. Hartrisari Hardjomidjojo, DEA serta Prof. Dr. Ir. Tania June, MSc yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Prof. Dr. Ir. Bambang Pramudya N., M. Eng dan Dr. Donald Sukma Permana, MS penguji luar komisi saat ujian tertutup dan ujian terbuka promosi. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada kepada Prof. Dr. Ir. Widiatmaka, DAA, IPU, dan Prof. Dr. Ir. Lina Karlinasari, M.Sc.F.Trop selaku ketua dan sekretaris Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan yang telah membantu dan memberikan arahan selama ini dalam menempuh pendidikan di IPB University. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Kementerian Lingkungan Hidup dan Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah Ir. Sukendro (alm), ibu Titi Nurwiti yang selalu percaya disetiap kondisi, serta keluarga istri tercinta Gina Nuranisa Pebrianti, A.Md dan putraku Rafiskie Wangintan yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2025

Roy Wangintan



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xviii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kerangka Pemikiran	3
1.3 Rumusan Masalah	5
1.4 Tujuan	6
1.5 Manfaat	6
1.6 Ruang Lingkup	7
1.7 Kebaruan (<i>novelty</i>)	7
II TINJAUAN PUSTAKA	17
2.1 Indeks Kualitas Udara (IKU)	17
2.2 <i>Environmental Kuznet Curve</i> (EKC)	18
2.3 <i>Reanalysis Copernicus Atmospheric Monitoring Services (CAMS)</i> dan <i>Weather Research Forecast-Chemistry (WRF Chem)</i>	19
2.4 Sistem Dinamik	21
III METODE	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Rancangan Penelitian	23
IV ANALISIS INDEKS KUALITAS UDARA (IKU) DENGAN BAKU MUTU WHO, PP RI DAN USEPA	27
4.1 Pendahuluan	27
4.2 Metodologi	28
4.3 Hasil dan Pembahasan	31
4.3.1 Analisis Kualitas Udara	31
4.3.1.1 DKI 1 Bundaran HI Jakarta Pusat	32
4.3.1.2 DKI 2 Kelapa Gading Jakarta Utara	34
4.3.1.3 DKI 3 Jagakarsa Jakarta Selatan	37
4.3.1.4 DKI 4 Lubang Buaya Jakarta Timur	40
4.3.1.5 DKI 5 Kebon Jeruk Jakarta Barat	42
4.3.2 Indeks Kualitas Udara (IKU)	45
4.3.2.1 IKU Jakarta Pusat	46
4.3.2.2 IKU Jakarta Utara	47
4.3.2.3 IKU Jakarta Selatan	49
4.3.2.4 IKU Jakarta Timur	50
4.3.2.5 IKU Jakarta Barat	51
4.3.2.6 IKU DKI Jakarta	52
4.4 Kesimpulan	54

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

V	ANALISIS HUBUNGAN ANTARA PERTUMBUHAN EKONOMI DENGAN DEGRADASI KUALITAS UDARA	55
	5.1 Pendahuluan	55
	5.2 Metodologi	56
	5.2.1 Teknik Pengumpulan Data	57
	5.2.2 Teknik Analisis Data	57
	5.3 Hasil dan Pembahasan	58
	5.3.1 Model EKC Jakarta Pusat	60
	5.3.2 Model EKC Jakarta Utara	61
	5.3.3 Model EKC Jakarta Selatan	63
	5.3.4 Model EKC Jakarta Timur	65
	5.3.5 Model EKC Jakarta Barat	67
	5.3.6 Model EKC DKI Jakarta	69
	5.3.7 Statistik IKU dan Pertumbuhan Ekonomi	72
	5.4 Kesimpulan	76
VI	EVALUASI DATA REANALISIS DAN MODEL ATMOSFER TERHADAP OBSERVASI KUALITAS UDARA	77
	6.1 Pendahuluan	77
	6.2 Metodologi	79
	6.3 Hasil dan Pembahasan	83
	6.3.1 Evaluasi Data <i>Reanalisis Copernicus Atmospheric Monitoring Services</i> (CAMS) terhadap Observasi Kualitas Udara	83
	6.3.2 Evaluasi Model WRF-Chem terhadap Stasiun Pengamatan Kualitas Udara	88
	6.4 Kesimpulan	99
VII	EVALUASI MANAJEMEN PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA	101
	7.1 Pendahuluan	101
	7.2 Metodologi	102
	7.3 Hasil dan Pembahasan	103
	7.3.1 Faktor penentu pengendalian pencemaran udara <i>Scoring and Matrix of Direct Influence</i> (MDI)	104
	7.3.2 Peta Ketergantungan Pengaruh Langsung (<i>Direct Influence-Dependence Map</i>)	105
	7.3.3 Grafik pengaruh langsung dan tidak langsung (<i>Direct and Indirect Influence Graph</i>)	106
	7.3.4 Perbandingan Peringkat dan Klasifikasi (<i>Rating and Classification Comparisons</i>)	109
	7.4 Kesimpulan	111
VIII	MODEL PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA	113
	8.1 Pendahuluan	113
	8.2 Metodologi	115
	8.3 Hasil dan Pembahasan	116
	8.3.1 Pendekatan Sistem	116
	8.3.2 Analisis Kebutuhan	117
	8.3.3 Identifikasi Sistem	121
	8.3.4 Simulasi Model	125

8.3.4.1	Submodel Sosial dan Kesehatan	125
8.3.4.2	Submodel Ekonomi	128
8.3.4.3	Submodel Lingkungan	131
8.3.4.4	Sistem Dinamik IKU	142
8.3.5	Analisis Kebijakan	143
8.3.5.1	Penyusunan Skenario	143
8.4	Kesimpulan	152
IX	PEMBAHASAN UMUM	157
9.1	Analisis Indeks Kualitas Udara (IKU)	153
9.2	Hubungan Pertumbuhan Ekonomi dan Degradasi Kualitas Udara	154
9.3	Evaluasi Data Reanalisis dan Model Atmosfer	154
9.4	Evaluasi Kebijakan Pengendalian	155
9.5	Model Sistem Dinamik dan Skenario Kebijakan	156
X	SIMPULAN DAN SARAN	157
9.1	Simpulan	157
9.2	Saran	157
	DAFTAR PUSTAKA	159
	LAMPIRAN	171
	RIWAYAT HIDUP	197



DAFTAR TABEL

1.1	Penelitian terdahulu terkait indeks kualitas udara (IKU) DKI Jakarta	8
1.2	Penelitian terdahulu <i>Environmental Kuznet Curve</i> (EKC) Pendekatan Indeks Kualitas Udara (IKU) sebagai Indikator Lingkungan	11
1.3	Penelitian Terdahulu Integrasi CAMS dan WRF Chem	14
1.4	Penelitian Terdahulu Model Sistem Dinamik Pengendalian Pencemaran Udara	15
2.1	Perbandingan AQI, ISPU, dan IKU	17
3.1	Matriks Pencapaian Tujuan	26
4.1	Lokasi AQMS DKI Jakarta	29
4.2	Parameter dan Baku Mutu IKU-P6	30
4.3	Kategori Penilaian IKU-P6	31
5.1	Perhitungan IKU dan PDRB dengan baku mutu WHO, PPRI dan USEPA di lokasi Jakarta Pusat dan Jakarta Utara	58
5.2	Perhitungan IKU dan PDRB dengan baku mutu WHO, PPRI dan USEPA di lokasi Jakarta Selatan dan Jakarta Timur	59
5.3	Perhitungan IKU dan PDRB dengan baku mutu WHO, PPRI dan USEPA di lokasi Jakarta Barat	59
5.4	Perhitungan IKU dan PDRB dengan baku mutu WHO, PPRI dan USEPA DKI Jakarta	60
5.5	Analisis data statistik deskriptif IKU dengan baku mutu kualitas udara menurut baku mutu WHO di lokasi DKI Jakarta tahun 2018 -2023	72
5.6	Analisis data statistik deskriptif IKU dengan baku mutu kualitas udara menurut baku mutu PPRI di lokasi DKI Jakarta tahun 2028-2023	74
5.7	Analisis data statistik deskriptif IKU dengan baku mutu kualitas udara menurut baku mutu USEPA di lokasi DKI Jakarta tahun 2028-2023	75
6.1	Metode <i>Copernicus Atmospheric Monitoring Services</i> (CAMS)	79
6.2	Metode <i>Weather Research and Forecasting with Chemistry</i> (WRF-Chem)	80
6.3	Perbedaan Nilai WRF-Chem dan Observasi Pada Musim Hujan dan Kemarau	98
7.1	Variabel sebagai faktor penentu untuk mengendalikan polusi udara	103
8.1	Skenario pengendalian	143

DAFTAR GAMBAR

1.1	Kerangka pemikiran	4
2.1	Kurva kuznet lingkungan : <i>locus of State</i>	19
2.2	Tahapan dalam proses pemodelan sistem dinamik	22
3.1	Peta lokasi penelitian	23
3.2	Metodologi penelitian	24

4.1	Lokasi stasiun pemantauan kualitas udara ambien (SPKUA) di wilayah Provinsi DKI Jakarta	29
4.2	Fluktuasi konsentrasi polutan harian AQMS DKI 1 Jakarta Pusat tahun 2018 - 2023	32
4.3	Fluktuasi konsentrasi polutan harian AQMS DKI 2 Jakarta Utara tahun 2018 - 2023	35
4.4	Fluktuasi konsentrasi polutan harian AQMS DKI 3 Jakarta Selatan tahun 2018 - 2023	38
4.5	Fluktuasi konsentrasi polutan harian AQMS DKI 4 Jakarta Timur tahun 2018 - 2023	40
4.6	Fluktuasi konsentrasi polutan harian AQMS DKI 5 Jakarta Barat tahun 2018 - 2023	43
4.7	Perhitungan IKU titik pemantauan di Jakarta Pusat tahun 2018 - 2023	46
4.8	Perhitungan IKU titik pemantauan di Jakarta Utara tahun 2018 - 2023	48
4.9	Perhitungan IKU titik pemantauan di Jakarta Selatan tahun 2018 - 2023	49
4.10	Perhitungan IKU titik pemantauan di Jakarta Timur tahun 2018 - 2023	50
4.11	Perhitungan IKU titik pemantauan di Jakarta Barat tahun 2018 - 2023	51
4.12	Perhitungan IKU titik pemantauan DKI Jakarta tahun 2018 - 2023	52
5.1	Hubungan antara PDRB dengan IKU pada model EKC dengan baku mutu WHO, PPRI dan USEPA di lokasi Jakarta Pusat	60
5.2	Hubungan antara PDRB dengan IKU pada model EKC dengan baku mutu WHO, PPRI dan USEPA di lokasi Jakarta Utara	62
5.3	Hubungan antara PDRB dengan IKU pada model EKC dengan baku mutu WHO, PPRI dan USEPA di lokasi Jakarta Selatan	64
5.4	Hubungan antara PDRB dengan IKU pada model EKC dengan baku mutu WHO, PPRI dan USEPA di lokasi Jakarta Timur	66
5.5	Hubungan antara PDRB dengan IKU pada model EKC dengan baku mutu WHO, PPRI dan USEPA di lokasi Jakarta Barat	68
5.6	Hubungan antara PDRB dengan IKU pada model EKC dengan baku mutu WHO, PPRI dan USEPA DKI Jakarta	70
5.7	Boxplot distribusi IKU berdasarkan baku mutu WHO di DKI Jakarta tahun 2018 - 2023	73
5.8	Boxplot distribusi IKU berdasarkan baku mutu PPRI di DKI Jakarta tahun 2018 - 2023	74
5.9	Boxplot distribusi IKU berdasarkan baku mutu USEPA di DKI Jakarta tahun 2018 - 2023	75
6.1	Batas geografis model WRF-Chem	81
6.2	Stasiun pengamatan pencemaran udara	82
6.3	Tahapan proses WRF Chem	82
6.4	Variasi diurnal suhu udara dan kelembaban relatif antara CAMS dan observasi (Jakarta GBK) Tahun 2020	84
6.5	Variasi diurnal suhu udara dan kelembaban relatif antara cams dan observasi (Jakarta GBK) tahun 2023	84



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

6.6	Variasi diurnal komponen pencemar udara antara CAMS dan observasi (Jakarta GBK) Tahun 2020	86
6.7	Variasi diurnal komponen pencemar udara antara CAMS dan observasi (Jakarta GBK) Tahun 2023	87
6.8	Koreksi distribusi statistik WRF-Chem PM _{2,5} AQMS Gelora Bung Karno	90
6.9	Korelasi spasial grid parameter pencemar udara tahun Tahun 2020 dan Tahun 2023	92
6.10	Dispersi konsentrasi polutan udara spasial DKI Jakarta musim hujan dan musim kemarau Tahun 2020 dan tahun 2023	95
7.1	<i>Matrix of Direct Influence</i> (MDI) / matriks pengaruh langsung	105
7.2	Peta ketergantungan pengaruh langsung <i>direct influence-dependence map</i>	106
7.3	Direct influence graph for sustainable livelihood	107
7.4	Graph of indirect influence among variables	108
7.5	Peringkat berdasarkan pengaruh dan ketergantungan	110
8.1	Tahapan dalam pendekatan sistem	117
8.2	Diagram sebab akibat (<i>Causal Loop</i>) model pengendalian pencemaran udara DKI Jakarta	123
8.3	Diagram <i>Black Box</i> sistem pengendalian pencemaran udara	124
8.4	<i>Stock and flow Diagram</i> submodel sosial	126
8.5	Simulasi Kecenderungan kuantitatif antara jumlah populasi, penderita ispa, implikasi ekonominya terhadap biaya kesehatan	127
8.6	<i>Stock and flow diagram</i> submodel ekonomi	129
8.7	Dinamika sektor ekonomi terhadap pengendalian pencemaran udara di DKI Jakarta	130
8.8	<i>Stock and flow diagram</i> submodel lingkungan (parameter pencemar PM ₁₀)	132
8.9	Dinamika submodel lingkungan parameter pencemar PM ₁₀	133
8.10	<i>Stock and flow diagram</i> submodel lingkungan (parameter pencemar PM _{2,5})	134
8.11	Dinamika submodel lingkungan parameter pencemar PM _{2,5}	135
8.12	<i>Stock and flow diagram</i> submodel lingkungan (pencemar SO ₂)	136
8.13	Dinamika submodel lingkungan parameter pencemar SO ₂	137
8.14	<i>Stock and flow diagram</i> submodel lingkungan (pencemar CO)	138
8.15	Dinamika submodel lingkungan parameter pencemar CO	139
8.16	<i>Stock and flow diagram</i> submodel lingkungan (pencemar NO ₂)	140
8.17	Dinamika submodel lingkungan parameter pencemar NO ₂	141
8.18	Dinamika IKU antar standar WHO, PPRI dan USEPA	142
8.19	Skenario pengendalian pencemar PM ₁₀	144
8.20	Skenario pengendalian pencemar PM _{2,5}	145
8.21	Skenario pengendalian pencemar SO ₂	147
8.22	Skenario pengendalian pencemar CO	148
8.23	Skenario pengendalian pencemar NO ₂	149
8.24	Implementasi Skenario pengendalian terhadap IKU	151

DAFTAR LAMPIRAN

1	Kuesioner pakar	172
2	Simulasi sistem dinamik, menu, causal loop, sub model sosial dan kesehatan	183
3	Sub model ekonomi, submodel lingkungan	184
4	Sistem dinamik, skenario BAU	185
5	Sistem Dinamik, skenario optimis	186
6	Data simulasi sosial kependudukan	187
7	Data simulasi ISPA dan biaya kesehatan	188
8	Data simulasi produk domestik regional bruto	189
9	Data simulasi aktivitas ekonomi penyumbang pencemar	190
10	Data simulasi pencemar PM_{10}	191
11	Data simulasi pencemar $PM_{2,5}$	192
12	Data simulasi pencemar SO_2	193
13	Data simulasi pencemar CO	194
14	Data simulasi pencemar NO_2	195
15	Data simulasi IKU	196

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.