UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

The Indonesian government's efforts to reduce greenhouse gas emissions are reflected in its target of net zero emissions by 2060 and a target of 10% of all four-wheeled vehicles in Indonesia being battery electric vehicles (BEVs) by 2030. However, the adoption rate of electric four-wheeled vehicles remains low, with only 700 units in the Special Region of Yogyakarta (DIY), despite the national total of electric vehicles reaching 133,225 units by 2024.

This study aims to model the decision-making process of DIY residents in adopting electric vehicles using an Agent-Based Modeling (ABM) approach based on the Theory of Planned Behavior (TPB), which combines attitude (ATT), perceived behavioral control (PBC), and subjective norms (SN) factors. A total of 452 respondent data were obtained through questionnaires and used as input for the simulation model in NetLogo. The model was simulated across five scenarios, including baseline, social policy, cost policy, combined policy, and elimination of consideration factors.

The simulation results showed that the combined scenario was able to generate the highest adoption, namely 43 BEV units in 2030 and 48 BEV units in 2049, followed by the cost policy scenario with 39 BEV units in 2030 and 43 BEV units in 2049. These findings conclude that strategies to increase BEV adoption should focus on providing cost incentives and strengthening social influence. This model is expected to serve as a reference in designing electric vehicle adoption policies in the Indonesian region, particularly DIY.

Keywords: *electric vehicle, technology adoption, agent based modeling, theory of perceived behavior, government policy.*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Target *net zero emissions* pada tahun 2060, merupakan capaian yang diupayakan Indonesia dalam rangka menekan produksi emisi yang dapat mempercepat perubahan iklim. Tujuan utamanya yaitu untuk membatasi peningkatan suhu global di bawah 2℃ atau 1.5℃ sesuai pada *Paris Agreement*. Indonesia memiliki target pada tahun 2030 dapat mencapai 31,89% penurunan emisi gas rumah kaca tanpa syarat, serta 43,20% dengan syarat dukungan internasional (UNFCCC, 2022). Pemerintah Indonesia menetapkan tujuan ambisius dalam meningkatkan kontribusi peralihan ke energi bersih sejauh 23% dari total energi produksi negara di tahun 2025.

Tingkat produksi emisi gas rumah kaca (GRK) di Indonesia sebenarnya sempat menunjukkan penurunan sampai tahun 2020, tetapi pada beberapa tahun terakhir menunjukkan peningkatan kembali. Menurut International Energy Agency (IEA, 2023), Indonesia berada di peringkat keenam negara penghasil emisi GRK terbesar di dunia pada tahun 2023 yaitu mencapai 704,4 juta ton karbon dioksida. Salah satu sektor yang berpengaruh besar terhadap perubahan iklim yaitu transportasi. Berbagai emisi penyumbang gas rumah kaca yang signifikan seperti NO_x, SO_2, HC, CO, dan TSP banyak dihasilkan oleh kendaraan bermotor (Lustria Tiarani et al., 2016).

Penerapan elektrifikasi pada sektor transportasi menjadi fokus utama dalam menekan produksi emisi dan mendukung transisi menuju energi yang lebih bersih. Peningkatan penggunaan kendaraan listrik berdampak pada penurunan emisi karbon. Walaupun dalam proses produksi kendaraan listrik tetap menghasilkan emisi, tetapi jumlah emisi dihasilkan jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan penggunaan kendaraan berbahan bakar minyak (Luo et al., 2023).

Berbagai langkah telah dilakukan pemerintah dalam upaya peningkatan elektrifikasi, seperti pembangunan infrastruktur stasiun pengisian daya baterai

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

listrik, peluncuran bus dan taksi listrik, investasi pada produksi baterai listrik, pembentukan Indonesia Battery Corporation (IBC), dan pendorongan penggunaan kendaraan bertenaga listrik atau *electric vehicle* (EV) oleh pemerintah. Pemerintah Indonesia memiliki target 10% dari total kendaraan roda empat di Indonesia merupakan kendaraan listrik berbasis baterai pada tahun 2030.

Berdasarkan jumlah Sertifikasi Registrasi Uji Tipe (SRUT) yang terbit dan pernyataan Menteri Perhubungan, Budi Karya Sumadi, jumlah kendaraan bermotor listrik berbasis baterai mencapai 133.225 unit hingga 3 April 2024. Adopsi kendaraan listrik roda empat di Indonesia sampai tahun 2024 menunjukkan peningkatan, dilihat dari volume penjualan *wholesale* mobil listrik yang menunjukkan tren positif. Berdasarkan informasi dari Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia (Gaikindo) mobil listrik di Indonesia telah berkontribusi menyumbang 4,95% dari total penjualan *wholesale* mobil nasional pada tahun 2024. Pada tahun 2024 sendiri, tercatat penjualan mobil listrik nasional mencapai 42.889 unit dengan kenaikan 151,53% *year on year* (yoy).

Terlihat bahwa jumlah yang ingin dicapai masih cukup jauh dari kondisi saat ini. Terdapat berbagai inisiatif dari pemerintah Indonesia untuk meningkatkan penggunaan EV, seperti kebijakan yang tertera pada PMK No. 38 Tahun 2023 yaitu pemberian subsidi pajak 10% bagi kendaraan listrik roda empat yang memenuhi Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) tertentu sehingga tarif PPN efektif yang perlu dibayarkan pemilik mobil yaitu 2% dari total harga beli mobil. Akan tetapi, kondisi adopsi kendaraan listrik di negara ini masih tergolong rendah sehingga perlu dilakukan upaya peningkatan adopsi EV melalui evaluasi kebijakan pemerintah. Peningkatan adopsi kendaraan listrik roda empat ini tidak lepas dari berbagai faktor yang mempengaruhi masyarakat Indonesia dalam pengambilan keputusan ketika melakukan pembelian kendaraan roda empat serta andil pemerintah dalam membuat kebijakan terkait mobil listrik. Oleh karena itu, penelitian tentang faktor yang mempengaruhi pengambilan keputusan masyarakat dalam pembelian EV pada suatu wilayah menjadi penting.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Menurut IESR (2023), selain alasan menggunakan EV karena kelebihannya dari segi ramah lingkungan, biaya, dan teknologi, tetapi terdapat juga aspek *subjective norms* seperti alasan karena ingin status sosial meningkat serta tidak banyak orang menggunakannya. Menurut (Kastner and Stern, 2015), salah satu faktor yang berpengaruh dalam pengambilan keputusan investasi produk yang berkaitan dengan energi adalah pengaruh sosial, seperti norma sosial dan rekomendasi dari orang lain.

Penelitian ini dilakukan untuk meneliti skenario terbaik yang menitikberatkan pada interaksi masyarakat. Interaksi masyarakat inilah yang dapat mempengaruhi seseorang dalam mengadopsi EV. Pemerintah perlu menerapkan strategi dengan memanfaatkan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi *decision making* masyarakat Indonesia dalam pengadopsian kendaraan listrik. Upaya yang benar dapat meningkatkan adopsi masyarakat terhadap kendaraan listrik sehingga Indonesia dapat mencapai target 10% dari total mobil pada tahun 2030 adalah mobil listrik berbasis baterai.

Penelitian ini mempertimbangkan faktor interaksi antara *adopter* dan *potential adopter* sebagai salah satu pengaruh dalam peningkatan pengguna EV. Pemodelan adopsi kendaraan listrik dikembangkan melalui metode *Agent-Based Modeling* karena metode ini dinilai mampu memodelkan sifat agen yang heterogen. Model dibuat untuk mengamati perilaku yang mempengaruhi dinamika sosial adopsi yang terjadi. Daerah Istimewa Yogyakarta dipilih sebagai lokasi studi kasus model karena memiliki masyarakat yang mayoritas sudah terpapar informasi tentang kendaraan listrik tetapi tidak diimbangi dengan peningkatan jumlah pengguna kendaraan listrik sehingga menunjukkan bahwa DIY memerlukan evaluasi kebijakan pemerintah pada tingkat provinsi.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE
AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, model yang akan dikembangkan yaitu perancangan skenario model adopsi kendaraan listrik di Yogyakarta dengan metode *Agent-Based Modeling*. Masalah yang diteliti yaitu,

1. Bagaimana proses pengambilan keputusan yang heterogen dapat dimodelkan untuk merepresentasikan adopsi kendaraan listrik masyarakat DIY.
2. Apa saja rekomendasi strategi pemerintah dalam peningkatan adopsi kendaraan listrik di DIY sehingga dapat mendukung pencapaian target 10% dari total kendaraan di DIY merupakan BEV pada tahun 2030.

1.3 Asumsi dan Batasan

Dalam penelitian ini, beberapa asumsi dasar digunakan sebagai landasan berpikir dan acuan untuk menganalisis data:

1. Semua agen terbuka akan opsi kendaraan ICEV, BEV, dan HEV.
2. Semua agen bersedia membeli kendaraan roda empat kembali setelah usia hidup kendaraan saat ini telah habis.
3. Setiap agen hanya akan membeli kendaraan roda empat yang memenuhi semua faktor pertimbangan yang dimilikinya.
4. Struktur biaya yang dipertimbangkan dalam studi kasus ini terbatas pada anggaran harga beli, biaya perawatan, dan biaya operasional.
5. Setiap agen hanya dapat memiliki 1 kendaraan pada satu waktu.
6. Jaringan sosial yang dimiliki setiap agen berjumlah 15 orang terdekat dari lokasi domisilinya.

Asumsi-asumsi tersebut digunakan atas dasar pertimbangan ruang lingkup penelitian, studi terdahulu mengenai adopsi kendaraan, penyederhanaan model yang akan dirancang, serta pemfokusan pada tujuan penelitian.

Batasan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian berfokus pada pengguna kendaraan roda empat di DIY.
2. Cakupan pengguna kendaraan listrik pada penelitian ini hanya meliputi jenis BEV dan HEV.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Merancang model simulasi adopsi kendaraan listrik di DIY.
2. Mengetahui strategi pemerintah DIY yang tepat dalam peningkatan adopsi kendaraan listrik di DIY.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai alternatif strategi pemerintah DIY dalam meningkatkan tingkat adopsi kendaraan listrik bagi masyarakat di Daerah Istimewa Yogyakarta.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE
AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada dekade terakhir, penelitian tentang kendaraan listrik (EV) telah banyak dilakukan khususnya yang berfokus pada faktor-faktor kunci yang mempengaruhi adopsi teknologi ini di suatu kota atau negara. Salah satu metode yang digunakan yaitu *Agent-Based Modeling* (ABM). Metode ini memiliki keunggulan seperti dapat menggambarkan interaksi antar agen yang heterogen dan dapat mengubah perilakunya selama simulasi berjalan menyesuaikan kondisi yang diberikan (Macal, 2016). ABM tepat digunakan pada penelitian yang berfokus pada pendekatan *bottom-up* dalam memahami dinamika sosial yang terjadi di masyarakat, seperti kecenderungan psikologis seseorang untuk mengadopsi suatu teknologi baru berdasarkan tingkat adopsi teknologi tersebut di lingkungan sekitarnya (Sopha et al., 2017).

Penelitian terkait telah dilakukan pada berbagai lokasi dengan lingkup daerah, kota, bahkan negara. Penelitian tersebut antara lain dilakukan de Assis et al. (2023) di Brasil, (Ebrie and Kim, 2022) dan Choi (2016) di Korea, Xu (2024), (Huang et al., 2021), dan (Chen et al., 2024) di China, Noori dan Tatari (2016), Al-Alawi dan Bradley (2013) dan Silvia dan Krause (2016) di Amerika Serikat, Scorrano dan Danielis (2022) di Italia, serta Wojnarov´a (2017) di Ceko. Perbedaan negara berpengaruh pada skenario yang dibuat karena ada perbedaan regulasi di tiap negara. Hal ini berpengaruh pada respon masyarakat dalam proses adopsi kendaraan listrik. Penelitian-penelitian ini dilakukan pada objek yang berbeda-beda. Terdapat studi yang meneliti tentang EV secara umum, tetapi ada juga yang meneliti spesifik pada jenisnya antara lain *Battery Electric Vehicle* (BEV), *Hybrid Electric Vehicle* (HEV), *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV), *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV), ataupun gabungan dari beberapa jenis. Studi-studi ini melibatkan komponen seperti sikap terhadap perilaku atau dikenal *attitude toward the behavior* (ATT), norma subjektif atau *subjective norms regarding the behavior* (SN), dan persepsi kontrol terhadap perilaku atau

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

perceived behavior control (PBC) yang dimiliki pemilik kendaraan dalam proses pengambilan keputusan pengadopsian kendaraan.

Penelitian Noori dan Tatari (2016) memiliki objek penelitian yang cukup luas yaitu pada HEV, PHEV, EREV, dan BEV. Perbedaan jenis kendaraan listrik di model ini berpengaruh pada biaya perawatannya. BEV memiliki nilai pangsa pasar tertinggi daripada jenis lainnya dikarenakan biaya perawatan yang paling rendah dan adanya subsidi pembelian kendaraan listrik oleh pemerintah. Peningkatan adopsi hanya akan efektif jika subsidi pembelian kendaraan listrik diterapkan sejak awal (Al-Alawi dan Bradley, 2013). Akan tetapi, menurut Huang et al (2021) efek subsidi pembelian kendaraan tidak berdampak signifikan jika dibandingkan dengan efek subsidi fasilitas pengisian. Hal ini dikarenakan persentase subsidi yang terlalu kecil dan belum dirasakan masyarakat sementara subsidi fasilitas pengisian dirasa menguntungkan karena bersifat jangka panjang (de Assis et al., 2023).

Berdasarkan sudut pandang biaya, faktor lain yang dapat mempengaruhi keputusan seseorang dalam mengadopsi EV yaitu peningkatan atribut harga kendaraan berbahan bakar minyak. Semakin tinggi harga bensin dan pajak pembelian kendaraan berbahan bakar minyak, maka adopsi EV juga semakin tinggi (Xu, 2024), (Ebrie dan Kim, 2022), (Scorrano dan Danielis, 2022), walaupun peningkatannya tak signifikan (Luo et al., 2023). Sebaliknya, peningkatan harga listrik mengakibatkan penurunan adopsi EV (Huang et al., 2021). Studi milik Wojnarov´a (2017) di Ceko menunjukkan bahwa dua insentif**,** yaitu kombinasi pemberian subsidi pembelian dan pembebasan PPN EV diidentifikasi sebagai yang paling efektif untuk meningkatkan potensi pasar EV. Sedangkan kebijakan bebas tol dan biaya parkir memiliki manfaat ekonomi langsung yang rendah.

Ketersediaan infrastruktur pengisian daya memiliki hubungan positif terhadap penyebaran adopsi EV. Semakin banyak ketersediaannya, maka semakin tinggi tingkat adopsinya (Hager dan Graf, 2023). Tersedianya stasiun pengisian daya dapat memenuhi kebutuhan kenyamanan teknologi yang berhubungan dengan inovasi individu sehingga agen bisa menjadi *adopter*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE
AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

(Silvia dan Krause, 2016). Pengembangan infrastruktur pengisian tetap menjadi faktor penting untuk meningkatkan daya tarik kendaraan listrik di pasar (Wojnarov´a, 2017). Akan tetapi, penelitian lain seperti yang dilakukan Ebrie dan Kim (2022) menyatakan faktor ini berpengaruh tidak signifikan karena agen cenderung lebih suka untuk mengisi daya kendaraan listrik di rumah dan sudah memperkirakan jangkauan mobilitas tidak melebihi daya kendaraan listrik.

Jika sebagian penelitian cenderung hanya melibatkan calon *adopter* atau *adopter* kendaraan listrik dan pemerintah dalam pemodelan, penelitian Xu (2024) memasukkan produsen otomotif sebagai *stakeholder* yang mengambil peran dalam peningkatan jangkauan kendaraan listrik. Peningkatan jangkauan kendaraan listrik berkorelasi dengan keputusan adopsi kendaraan listrik karena terdapat maksimal jarak tempuh yang dimiliki kendaraan listrik dengan kapasitas daya yang dimiliki setelah mengisi daya maksimal. Peningkatan jangkauan kendaraan listrik juga akan meningkatkan penjualan kendaraan listrik, tetapi memiliki dampak kecil pada penjualan kendaraan listrik (Xu, 2024). Pernyataan ini didukung oleh Silvia dan Krause (2016), bahwa jaringan pengisian yang diperluas hampir tidak berpengaruh. Pembelian armada pemerintah dan insentif untuk mengurangi harga memiliki dampak sedang.

Faktor *subjective norms* dapat mempengaruhi tingkat adopsi kendaraan listrik. Masyarakat cenderung memiliki perasaan skeptis dengan adanya teknologi baru yang terjadi akibat kurangnya informasi tentang teknologi itu. Manusia sebagai makhluk sosial juga dipengaruhi lingkungan dan norma yang ada dalam mengambil keputusan adopsi kendaraan listrik. Adopsi kendaraan listrik juga didukung dengan adanya keinginan individu untuk serupa dengan lingkungannya. Pengaruh faktor *subjective norms* ini diperoleh melalui proses interaksi individu dengan individu lainnya melalui jaringan sosial yang dimiliki. Frekuensi interaksi antara agen sangat sensitif terhadap perubahan penetrasi pasar, yang menjadi kunci dalam strategi kendaraan listrik (Chen et al., 2024). Efek *words-of-mouth* dan periklanan menyebabkan terjadinya peningkatan calon *adopter* (Luo et al., 2023). Meskipun telah terdapat beberapa penelitian terdahulu mengenai faktor-faktor yang berpengaruh pada pengambilan

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

keputusan seseorang dalam mengadopsi kendaraan listrik, tetapi baru sedikit penelitian yang melibatkan kombinasi faktor ATT, PBC, dan SN dalam pemodelan sistem kendaraan listrik dengan menggunakan metode ABM. Selain itu, belum ditemukan penelitian adopsi kendaraan listrik dengan metode ABM yang dilakukan di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan penerapan kebijakan yang ada. Oleh karena *research gap* tersebut, penelitian ini dilakukan untuk memodelkan jaringan interaksi yang terjadi dalam proses pengambilan keputusan membeli kendaraan roda empat berbahan bakar bensin atau *Internal Combustion Engine Vehicle* (ICEV) serta kendaraan listrik khususnya *Battery Electric Vehicle* (BEV) dan *Hybrid Electric Vehicle* (HEV) dengan menitikberatkan pada ATT, PBC, dan SN yang dimiliki calon *adopter* di Daerah Istimewa Yogyakarta. Berikut merupakan tabel peta penelitian yang menjabarkan detail perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Peta Penelitian Adopsi Kendaraan Listrik dengan Metode ABM pada Berbagai Negara

Cakupan Spasial Penelitian	Objek Penelitian				Faktor Pertimbangan		
	EV (umum)	BEV	HEV	Kombinasi 2-4 Jenis EV	ATT	PBC	SN
Brazil				(de Assis et al., 2023)			
United States				(Noori dan Tatari, 2016)			
				(Al-Alawi dan Bradley, 2013)			
				(Silvia dan Krause, 2016)			
Korea				(Ebrie dan Kim, 2022)			
			(Choi, 2016)		(Choi, 2016)		
China				(Xu, 2024)			
		(Huang dkk, 2021)			(Huang et al., 2021)		
				(Chen et al., 2024)			
Beijing	(Luo dan Li, 2023)				(Luo dan Li, 2023)		
Italia		(Scorrano dan Danielis, 2022)			(Scorrano dan Danielis, 2022)		
Ceko	(Wojnarová, 2017)				(Wojnarová, 2017)		
Daerah Istimewa Yogyakarta				**Penelitian ini**			

PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE
AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Kendaraan Listrik

Kendaraan listrik merupakan kendaraan yang memanfaatkan daya listrik sebagai tenaga penggeraknya. Kendaraan ini rendah polusi gas rumah kaca sehingga dapat meningkatkan kualitas udara (Ramanath, 2024). Tak hanya itu, semakin lama penggunaan EV dapat mengubah pola perilaku masyarakat atas ketergantungannya dengan bahan bakar fosil yang ketersediaannya semakin menipis dan penggunaannya dapat mengakibatkan pemanasan global. Kendaraan listrik memiliki tingkat efisiensi energi lebih tinggi daripada kendaraan berbahan bakar bensin karena manajemen sumber daya energi yang jangka panjang dan berkelanjutan (Naik dkk, 2024).

Terdapat beberapa jenis kendaraan listrik berdasarkan sumber energi utama dan metode pengisiannya antara lain *Battery-Electric-Vehicle* (BEV)*, Hybrid -Electric-Vehicle* (HEV)*, Plug-in Hybrid -Electric-Vehicle* (PHEV)*,* dan *Fuel Cell -Electric-Vehicle* (FCEV). BEV memanfaatkan baterai *lithium-ion* dalam menggerakkan mesinnya. Sementara pada HEV, tenaga penggeraknya dapat bersumber dari bahan bakar bensin dan juga baterai yang pengisiannya dilakukan ketika kendaraan mengerem melalui pembakaran internal. PHEV juga menggunakan 2 sumber energi yaitu bensin dan baterai, tetapi pengisian ulang baterai dilakukan secara eksternal. Lain halnya dengan FCEV yang memperoleh sumber energi listrik dari reaksi kimia yang antara oksigen dan hidrogen pada sel bahan bakar.

3.2 *New Product Diffusion Theory*

Teori produk baru merupakan teori yang menjelaskan bagaimana suatu produk baru dapat menyebar ke pasaran dan diadopsi oleh masyarakat. Teori ini dapat menunjukkan efek produk baru terhadap inovasi pada pengadopsi awal dan terhadap imitasi pada pengadopsi lanjutan, efek dari perilaku konsumen dan jaringan, keinovatifan konsumen, penyebaran informasi mulut ke mulut, serta

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE
AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

struktur jaringan konsumen. Setiap manusia memiliki jaringan sosialnya masing-masing dengan orang lain. Melalui jaringan ini, penyebaran informasi dari mulut ke mulut dapat dilakukan secara langsung atau melalui media sosial. Penyebaran informasi positif dapat meningkatkan minat masyarakat dalam mengadopsi kendaraan listrik, sebaliknya informasi negatif dapat menurunkan pangsa pasar secara signifikan (Hsu, 2013). Struktur jaringan mempunyai pengaruh terhadap cepat atau lambatnya inovasi.

3.3 *Diffusion of Innovations Theory*

Menurut teori yang dikembangkan oleh Everett Rogers ini, masyarakat dapat dibagi menjadi 5 kelompok berdasarkan seberapa cepat mereka menerima suatu ide atau teknologi baru.

a. *Innovator*

Kelompok orang pertama yang menerima suatu ide baru disebut *inovator*. Mereka sangat terbuka terhadap ide-ide baru dan berani mengambil risiko. Umumnya, hal ini dapat terjadi karena mereka memiliki akses lebih luas terhadap sumber daya atau pengetahuan tentang ide baru tersebut daripada kelompok orang lainnya.

b. *Early Adopter*

Kelompok kedua setelah inovator yaitu *early adopter*. Mereka dapat mempengaruhi orang lain untuk melakukan hal-hal yang mereka lakukan, seperti mengadopsi ide baru.

c. *Early Majority*

Kelompok *early majority* merupakan kumpulan orang-orang yang tidak suka mengambil risiko besar, tapi terbuka akan perubahan. Mereka cenderung baru ingin mengadopsi suatu ide baru ketika sudah ada orang yang melakukan hal serupa dan terbukti manfaat ide baru tersebut.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE
AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

d. *Late Majority*

Kelompok ini tidak terlalu terbuka akan perubahan atau ide baru. Mereka baru akan mengadopsi ide baru setelah adanya tekanan sosial atau karena sebagian besar orang telah melakukan hal serupa.

e. *Laggard*

Kelompok *laggard* merupakan kelompok yang paling skeptis terhadap ide baru. Mereka tidak suka terhadap perubahan karena cenderung konvensional. Perubahan hanya akan diterima jika tidak ada pilihan lain lagi yang bisa dilakukan.

3.4 *Theory of Planned Behavior*

Theory of Planned Behavior merupakan teori untuk memprediksi dan memahami perilaku manusia. Perilaku dapat diprediksi melalui niat yang dipengaruhi oleh sikap terhadap perilaku, norma subjektif, dan kontrol perilaku yang dirasakan. Individu menentukan perilakunya sesuai dengan persepsi positif dan negatif individu, persepsi akan reaksi masyarakat di sekitarnya, dan tingkat kemudahan individu dalam melakukan suatu perilaku (Sussman, 2019). Menurut Ajzen (1988), TPB memiliki 3 komponen utama yaitu *attitude toward the behavior* (ATT), *subjective norms regarding the behavior* (SN), dan *perceived behavior control* (PBC). ATT mengacu pada bagaimana seseorang mengevaluasi suatu inovasi baru berdasarkan konsekuensi dan atribut personal. Kecenderungan penilaian positif dan negatif terhadap inovasi tersebut yang nantinya akan mempengaruhi pengambilan keputusan perilaku (Warsame, 2016). SN muncul dikarenakan faktor ideologi lingkungan yang memberikan tekanan pada individu dalam pengambilan keputusan. PBC meliputi bagaimana individu menilai kemampuan dirinya dalam menjalankan keputusan yang diambilnya.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE
AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.5 *Economies of Scale*

Dalam industri manufaktur, termasuk industri otomotif, *economies of scale* sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan daya saing. Hal ini dihasilkan dari pembagian biaya tetap pada volume produksi yang lebih besar, peningkatan efisiensi operasional, dan peningkatan daya tawar untuk membeli bahan baku.

Ekonomi skala sangat penting untuk pengembangan dan pembuatan mobil listrik. Pada tahap awal pengembangan mobil listrik, biayanya sangat tinggi, terutama untuk teknologi sistem penggerak dan baterai. Namun, dengan volume produksi yang lebih besar, biaya dapat ditekan. Hal ini dapat dicapai melalui penggunaan fasilitas produksi yang lebih efisien, pembelian bahan baku dalam jumlah besar, dan penyebaran biaya penelitian dan pengembangan ke lebih banyak unit produk. Dengan demikian, produsen EV dapat membangun jaringan pasokan dan distribusi yang lebih efisien, dan dapat mempercepat penurunan harga untuk pelanggan sehingga secara langsung membantu lebih banyak orang masuk ke pasar dan mendorong pergeseran ke arah transportasi berkelanjutan.

Seperti yang dijelaskan dalam penelitian oleh Blees dan Kemp (2011), ekonomi skala yang dibangun di bidang teknologi penghasil karbon rendah, seperti kendaraan listrik, memiliki potensi untuk mengurangi hambatan biaya dan meningkatkan daya saingnya terhadap teknologi konvensional yang berbasis karbon. Penyebab utamanya yaitu efek pembelajaran (*learning effects*) dan adopsi massal yang saling memperkuat (*cumulative adoption*) sehingga secara bertahap mengurangi biaya marginal per unit. Data dari International Energy Agency (IEA) menunjukkan bahwa sejak tahun 2010, harga baterai lithium-ion telah turun lebih dari 90%, dari sekitar USD 1.400 per kilowatt-jam (kWh) menjadi kurang dari USD 140/kWh pada tahun 2023. Penurunan ini didorong oleh kemajuan dalam penelitian dan pengembangan, serta penerapan *economies of scale* dalam manufaktur (IEA, 2025)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE
AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.6 *Agent-Based Modeling*

ABM merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mempelajari sistem yang kompleks dimana individu di dalamnya memiliki perilaku yang heterogen dan dapat berinteraksi satu sama lain secara dinamis (Macal, 2016). Terdapat beberapa komponen individu yang dimodelkan dalam metode ini disebut agen. Setiap agen dapat bergerak secara mandiri, mengikuti aturan, dan berinteraksi (Ivanyi, 2007). Agen dapat merepresentasikan individu, kelompok, ataupun entitas dalam proses pengambilan keputusan. Menurut Macal (2016), terdapat 3 elemen pada ABMS yang harus diidentifikasi, dimodelkan, dan diprogramkan sehingga terbentuk ABMS, antara lain agen, hubungan agen, dan lingkungan agen.

a. Agen

Setiap agen memiliki atribut dan perilaku yang dapat berbeda-beda. Agen dapat berperilaku secara heterogen sesuai dengan lingkungan dan interaksi yang dialaminya. Satu agen dengan agen lainnya akan memiliki reaksi yang berbeda terhadap interaksi yang dialaminya sesuai dengan atribut yang dimilikinya.

b. Hubungan agen

Agen dapat berinteraksi satu sama lain hanya pada waktu dan jumlah agen yang ditetapkan pada populasi. Agen dapat dihubungkan berdasarkan topologi jaringan yang ditetapkan, misal berdasarkan kedekatan, hubungan sosial, kekeluargaan, ataupun ideologis. Topologi jaringan yang menggambarkan hubungan agen antara lain :

1) *Soup* : model ABM yang tidak melibatkan atribut lokasi
2) *Grid or lattice* : pembagian model menjadi tingkat mikro yang mengikuti aturan tertentu menggunakan *grid* untuk menunjukkan pola yang terbentuk dari interaksi agen. Memiliki teori bahwa sel yang berada di sekeliling agen merupakan tetangga dari agen.
3) *Euclidean space* : ruang 2D atau 3D yang dilalui oleh agen dengan posisi agen yang ditunjukkan melalui koordinat relatif atau geografis.
4) *Geographic Information System* : penempatan agen pada area medan yang memiliki bentuk sesuai dengan medan fisik di dunia nyata. Posisi agen ditunjukkan melalui koordinat geospasial atau unit geografis.

PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE
AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5) *Networks*: dapat bersifat dinamis atau statis sesuai dengan mekanisme penciptaan hubungan agen. Lokasi agen merupakan lokasi relatif *node* pada jaringan.

c. Lingkungan Agen

Antar agen berinteraksi pada suatu lingkungan yang merupakan tempat terjadinya *emergence* pada simulasi. Model dibangun dari bawah ke atas dengan berfokus pada tahap mikro agar dapat memahami pola perilaku agen pada tahap makro (Ivanyi, 2007). ABMS dapat menunjukkan pola perilaku adaptif agen yang dapat berubah-ubah seiring berjalannya waktu karena terpengaruh oleh lingkungan. Hal ini membuat ABMS menjadi salah satu metode yang menyerupai kondisi nyata.

3.6.1 *Overview, Design Concepts, dan Details* (ODD) *Protocol*

ODD Protocol merupakan metode yang digunakan untuk mendefinisikan model ABM dengan tujuan meningkatkan pemahaman mengenai komponen dan proses model. Menurut Grimm dkk (2006), terdapat beberapa komponen dalam ODD antara lain,

1. Overview

a. *Purpose* dan *Patterns* : identifikasi tujuan dibuatnya model ABM yang nantinya digunakan untuk dikategorikan pada studi yang serupa.

b. *Entities, State Variables, Spatial Scale, Temporal Resolution* : merupakan agen yang berada dalam model untuk menyeimbangkan antara masalah yang ditangani dan ketersediaan data. *State variables* merupakan atribut yang menjadi pembeda satu agen dengan agen lainnya. Atribut ini dapat mendefinisikan agen secara fisik, psikologi, atau sosial-ekonomi. *Spatial scale* menyatakan luasan lokasi yang digunakan dalam model secara ukuran unit grid. *Temporal resolution* menyatakan waktu diskrit yang digunakan dalam model selama simulasi. Umumnya dinyatakan dalam bentuk menit, jam, bulan, atau tahun.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

c. *Process Overview dan Scheduling*: merupakan penjelasan mengenai setiap proses perilaku agen selama model simulasi beserta perubahan lingkungan atau agen lain akibatnya secara runtut.

2. *Design Concepts*
   a. *Basic Principle*: merupakan prinsip dasar yang menjadi panduan dalam implementasi model dalam simulasi, misalnya dalam mendefinisikan atribut agen sesuai masalah yang diangkat.
   b. *Emergence*: fenomena yang muncul setelah simulasi dijalankan.
   c. *Adaptation*: perilaku adaptif agen yang menentukan pengambilan keputusan perilaku.
   d. *Objectives*: tujuan yang dimiliki tiap agen dalam simulasi.
   e. *Learning*: proses agen melakukan pembelajaran dari pengalaman sebelumnya.
   f. *Prediction*: proses prediksi yang dilakukan agen untuk memperkirakan kondisi di masa depan, atau konsekuensi yang diperolehnya akibat perilaku yang dipilih.
   g. *Sensing*: proses agen merasakan sinyal atau keadaan yang terjadi di lingkungan sekitarnya.
   h. *Interaction*: interaksi yang terjadi antar agen, lingkungan, atau antar agen dan lingkungan.
   i. *Stochasticity*: pemodelan yang diasumsikan acak karena memiliki nilai ketidakpastian dalam model oleh pembuat model.
   j. *Collectives*: kelompok yang terbentuk oleh agen dalam simulasi yang disebabkan dari atribut yang dimiliki agen.
   k. *Observation*: merupakan data yang diperoleh setelah model selesai dijalankan.

3. Detail
   a. *Initialization*: merupakan kondisi semula sebelum simulasi dijalankan
   b. Input Data: merupakan data yang dimasukkan dalam model.

PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE
AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

c. *Sub-models*: merupakan penjelasan daftar proses pada *process overview dan scheduling* secara detail lengkap dengan parameter, dimensi, dan referensi nilainya.

3.7 Verifikasi dan Validasi

3.7.1 Verifikasi

Menurut Balci (1994), validasi model merupakan tentang membangun model yang benar, sementara verifikasi model merupakan tentang membangun model dengan benar. Verifikasi pada ABM diperlukan dengan tujuan untuk memastikan model berjalan sesuai dengan harapan pembuatnya. Kerangka verifikasi ABM meliputi identifikasi *error* yang terjadi selama simulasi. Menurut North dkk (2007), terdapat 4 cara lain dalam melakukan verifikasi model ABM.

a. *Structured code walkthroughs* merupakan metode verifikasi yang melibatkan pihak lain yang terbiasa dengan pemodelan serupa untuk mengidentifikasi dan mengeksekusi model sehingga pada akhir sesi pihak tersebut dapat menyatakan apakah model telah berjalan sesuai spesifikasi yang dijelaskan pemodel di awal sesi atau tidak.
b. *Structured debugging walk throughs* merupakan metode verifikasi pada kode model dengan memastikan setiap kode dapat berjalan dengan baik dan tidak menimbulkan *error*.
c. *Unit testing* merupakan pengujian fungsi, modul, sampai keseluruhan sistem model yang dilakukan secara bertahap.
d. *Test cases dan scenarios* merupakan metode verifikasi dengan menerapkan pemberlakuan berbagai skenario dalam model dengan hasil luaran yang didokumentasikan.

3.7.2 Validasi

Validasi model ABM merupakan langkah untuk memastikan model dapat merepresentasikan kejadian di dunia nyata. Terdapat 2 tahapan validasi, yaitu *micro validation* dan *macro validation*. Pada tahap *micro validation*, objek yang dibandingkan yaitu antara perilaku agen pada model dan pada dunia nyata. Sementara *macro validation* membandingkan *emergent properties* dari model

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PEMODELAN ADOPSI KENDARAAN LISTRIK RODA EMPAT DI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE AGENT-BASED MODELING
Angela Kirana Hartanto, Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dengan dunia nyata. Pada kedua tahapan validasi, terdapat 2 jenis teknik validasi antara lain,

a. *Face validation*: melakukan validasi secara visual dengan melihat kesamaan pola atau atribut yang dimiliki agen.

b. *Empirical validation*: melakukan validasi secara kuantitatif dengan membandingkan angka.