

No Inventaris : 719.S.02.2026



SKRIPSI

**PREDIKSI PERTUMBUHAN KENDARAAN LISTRIK
MENGUNAKAN *BASS DIFFUSION MODEL*
(STUDI KASUS INDONESIA)**

Sebagai Salah Salah Syarat Untuk Memperoleh Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada Progran Studi Teknik Sipil, Universitas Malikussaleh

Disusun oleh,

CHALVIN DICKY SUMANDAR TAMBA

210110085

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MALIKUSSALEH

2026

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama: Chalvin Dicky Sumandar Tamba

Nim: 210110085

Dengan ini, saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa di dalam skripsi ini tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari tugas akhir/skripsi, tesis, buku atau bentuk lain yang saya kutip dari karya orang lain tanpa saya menyebutkan sumbernya, yang dapat dipandang sebagai tindakan penjiplakan. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak reproduksi karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain yang dijadikan seolah-olah karya asli saya sendiri. Apabila di kemudian hari ternyata terdapat dalam skripsi saya bagian-bagian yang memenuhi standar penjiplakan, maka saya menyatakan kesediaan untuk dibatalkan sebahagian atau seluruh gelar kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan seperlunya.



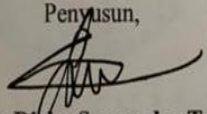
LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Prediksi Pertumbuhan Kendaraan Listrik Menggunakan
Bass Diffusion Model (Studi Kasus Indonesia)
Nama Mahasiswa : Chalvin Dicky Sumandar Tamba
Nomor Induk Mahasiswa : 210110085
Bidang : Transportasi
Pembimbing Utama : Dr. Eng. Zulfhazli, ST., MT
Pembimbing Pendamping : Burhanuddin, ST., MT
Ketua Penguji : Lis Ayu Widari, ST., MT
Anggota Penguji : Mukhlis, ST., MT
Tanggal Seminar :

Skripsi ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh.

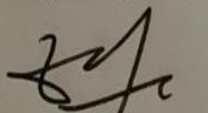
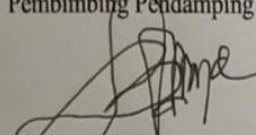
Lhokseumawe, Januari 2026

Penyusun,

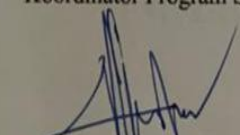
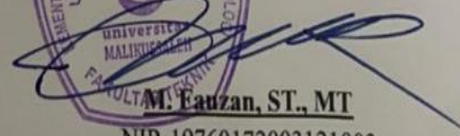


Chalvin Dicky Sumandar Tamba
NIM. 210110085

Menyetujui

Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
	
<u>Dr. Eng. Zulfhazli, ST., MT</u> NIP. 198103062012121002	<u>Burhanuddin, ST., MT</u> NIP. 196108312006041001

Mengetahui

Koordinator Program Studi	Ketua Jurusan
	
<u>Nura Usrina, ST., MT</u> NIP. 199004042023212058	<u>M. Fauzan, ST., MT</u> NIP. 19760172003121003



LEMBAR PERSEMBAHAN

“ORA ET LABORA”

"Mengucap syukurlah dalam segala hal, sebab itulah yang dikehendaki Allah di dalam Kristus Yesus bagi kamu."

(1 Tesalonika 5:18)

"Serahkanlah perbuatanmu kepada Tuhan, maka terlaksanalah segala rencanamu."

(Amsal 16:3)

"Karena masa depan sungguh ada, dan harapanmu tidak akan hilang."

(Amsal 23:18)

Segala puji dan syukur penulis persembahkan kepada Tuhan Yesus Kristus, sumber kehidupan dan pengharapan, yang setia menguatkan dan menuntun di setiap langkah. Firman-Nya, “Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepadaku” (Filipi 4:13), menjadi penopang dan sumber kekuatan dalam setiap proses.

— Bapak dan Mamak —

Untuk kedua orang tua tercinta, Marzon Tamba (Bapak) dan Lasma Siburian Br Siburian (Mamak), terima kasih atas segala doa, nasihat, dan pengorbanan yang tak ternilai. Kalian adalah wujud kasih Tuhan yang nyata. Tanpa cinta dan dukungan kalian, aku takkan sampai di titik ini. Firman Tuhan berkata, “Hormatilah ayahmu dan ibumu, supaya lanjut umurmu di tanah yang diberikan TUHAN, Allahmu, kepadamu” (Kel. 20:12), setiap pencapaian ini adalah hasil dari doa dan kasih kalian.

— Abang dan Kakak —

Kepada abang tercinta Winston Meysner Tamba, Giant AbraoTamba dan kakak-kakak tersayang Novia Ereghia Tamba, Anancy Yolanda Putri Tamba, terima kasih telah menjadi bagian indah dalam perjalanan ini. Terima kasih atas canda yang meringankan, perhatian yang menguatkan, dan doa yang selalu terasa. Kalian adalah anugerah Tuhan yang mengajarkan arti saling menopang. Firman Tuhan berkata, “*Lihatlah, alangkah baiknya dan indahnya, apabila saudara-saudara diam bersama dengan rukun*” (Mazmur 133:1). Kalian adalah alasan aku terus belajar, berjuang, dan tidak menyerah.

— Dosen Pembimbing Skripsi —

Terima kasih kepada Bapak Dr. Eng. Zulfhazli, ST., MT selaku dosen pembimbing utama, dan Bapak Burhanuddin, ST., MT selaku dosen pembimbing pendamping, atas bimbingan, waktu, dan ilmu yang telah diberikan dengan penuh kesabaran dan ketulusan. Kiranya Tuhan memberkati, menyertai, dan melimpahkan kesehatan serta damai sejahtera bagi Bapak dan keluarga.

— Dosen Penguji Skripsi —

Terima kasih kepada Ibu Lis Ayu Widari, ST., MT selaku Ketua Penguji, dan Bapak Mukhlis, ST., MT selaku Anggota Penguji, atas waktu yang telah diluangkan, kritik yang membangun, serta nasihat berharga bagi penyempurnaan skripsi ini. Terima kasih pula atas ilmu yang telah dibagikan selama mengajar di Teknik Sipil. Kiranya Tuhan memberkati dan melimpahkan kesehatan, hikmat, serta damai sejahtera bagi Bapak dan keluarga.

— The wouyoland —

Untuk teman-teman terbaikku, yang sudah kuanggap saudara yang selalu ada disetiap langkah perjalanan selama perkuliahan ini (Fandi, Putra oom, Ayuda, Hary, Putra madun, Putra alans, Diva, Humam, Adit torus, Tama, Joy, Miko, Alwi dan Lisa Wija Yanti), terimakasih telah menjadi tempat berbagi cerita, kehadiran kalian bukan hanya sekedar teman, tetapi keluarga kedua yang selalu menemani, membantu dalam kesulitan, dan membuat hari-hari yang berat terasa lebih ringan. Setiap momen kebersamaan dari obrolan panjang hingga tawa yang tak terduga, dan setiap dorongan yang kalian berikan, menjadi energi, motivasi dan dukungan yang membuatku terus melangkah sampai titik ini. Sukses buat kalian di mana pun berada dan semoga pertemanan ini selalu awet.

— Diri Sendiri —

Teruntuk diri sendiri (Chalvin Dicky Sumandar Tamba), terima kasih telah bertahan dan tidak menyerah dalam proses panjang ini. Teruslah melangkah dengan iman, sebab Tuhan selalu punya rencana indah di balik setiap tantangan. Saat lelah, ingatlah bahwa Dia bekerja di balik layar. Seperti firman-Nya: “Tetapi orang-orang yang menanti-nantikan TUHAN mendapat kekuatan baru: mereka seumpama rajawali yang naik terbang dengan kekuatan sayapnya; mereka berlari dan tidak menjadi lesu, mereka berjalan dan tidak menjadi lelah” (Yesaya 40:31). Pesan ini menjadi pelita bahwa selama hati bersandar pada Tuhan, setiap akhir hanyalah awal dari babak baru yang telah dipersiapkan-Nya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas semua berkat serta kasih karunia-Nya, saya berhasil menyelesaikan laporan Proposal Skripsi ini tepat waktu dengan judul “Prediksi Pertumbuhan Kendaraan Listrik Menggunakan Bass Diffusion Model (Studi Kasus Indonesia).

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh. Saya menyadari bahwa tanpa izin-Nya, segala usaha yang telah dilakukan tidak akan membuahkan hasil. Berkat petunjuk, kekuatan, serta kesempatan yang diberikan oleh Tuhan, saya dapat melewati setiap tantangan yang ada selama proses penelitian ini. Untuk itu, saya mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya atas anugerah-Nya yang tak terhingga. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi dunia teknik sipil, serta menjadi sumbangsih yang berguna bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan masyarakat luas.

Pada kesempatan ini izinkan penulis menyampaikan terima kasih yang sangat besar kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Herman Fithra, S.T., M.T., IPM., Asean.Eng., selaku Rektor Universitas Malikussaleh;
2. Dr. Muhammad Daud, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh;
3. Muhammad Fauzan, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh;
4. Nura Usrina, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Sipil Universitas Malikussaleh;
5. Dr. Eng Zulfhazli, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Utama;
6. Burhanuddin, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Pendamping;
7. Lis Ayu Widari, ST., MT., selaku Ketua Penguji;
8. Mukhlis, ST., MT., selaku Anggota Penguji;
9. Ketua Tim Pelaksana PKL dan Skripsi, Teuku Mudi Hafli, S.T., M.T;

10. Rekan – rekan Himatesip Unimal dan teman – teman seperjuangan;
11. Orang tua saya, kakak serta adik-adik saya yang selama ini selalu mendoakan serta memenuhi semua kebutuhan saya selama menjalani awal pendidikan kuliah hingga di fase sekarang ini.

Skripsi ini telah disusun dengan penuh dedikasi dan bimbingan yang teratur. Penulis menyadari bahwa tidak ada yang sempurna dalam penyusunan laporan penelitian ini. Oleh karena itu, penulis meminta maaf apabila terdapat kekurangan atau kesalahan yang dilakukan. Kepada semua pihak, penulis berharap semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan bisa dijadikan referensi untuk pengembangan selanjutnya yang lebih baik lagi.

Lhokseumawe, Februari 2026
Penulis

Chalvin Dicky Sumandar Tamba
NIM. 210110085

PREDIKSI PERTUMBUHAN KENDARAAN LISTRIK MENGGUNAKAN BASS DIFFUSION MODEL (STUDI KASUS INDONESIA)

Oleh: Chalvin Dicky Sumandar Tamba

Nim: 210110085

Pembimbing Utama : Dr. Eng. Zulfhazli, ST., MT
Pembimbing Pendamoing : Burhanuddin, ST., MT
Penguji Utama : Lis Ayu Widari, ST., MT
Penguji Pendamping : Mukhlis, ST., MT

ABSTRAK

Perkembangan kendaraan listrik di Indonesia menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir seiring dengan meningkatnya perhatian terhadap isu lingkungan dan dukungan kebijakan pemerintah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pertumbuhan penggunaan kendaraan listrik di Indonesia, menerapkan Bass Diffusion Model dalam memodelkan proses adopsi, serta memprediksi pertumbuhan kendaraan listrik dalam jangka menengah dan panjang. Data yang digunakan merupakan data historis penjualan kendaraan listrik di Indonesia pada periode 2019–2025. Analisis dilakukan menggunakan Bass Diffusion Model dengan estimasi parameter koefisien inovasi (p), koefisien imitasi (q), dan potensi pasar maksimum (m) melalui pendekatan nonlinier least squares. Selanjutnya, dilakukan prediksi pertumbuhan kendaraan listrik pada periode mendatang serta evaluasi kinerja model menggunakan indikator RMSE dan MAPE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koefisien imitasi (q) lebih besar dibandingkan koefisien inovasi (p), yang mengindikasikan bahwa adopsi kendaraan listrik di Indonesia lebih dominan dipengaruhi oleh faktor imitasi atau pengaruh sosial. Hasil prediksi memperlihatkan bahwa pertumbuhan kendaraan listrik mengikuti pola kurva-S (S-curve), dengan peningkatan yang pesat pada fase pertumbuhan dan kecenderungan melambat seiring mendekati potensi pasar maksimum. Meskipun tingkat kesalahan prediksi tahunan relatif tinggi, hasil prediksi kumulatif menunjukkan kinerja yang lebih stabil. Berdasarkan hasil tersebut, Bass Diffusion Model dinilai mampu menggambarkan pola pertumbuhan kendaraan listrik di Indonesia secara memadai dan dapat digunakan untuk menganalisis tren pertumbuhan pasar kendaraan listrik dalam jangka panjang.

Kata kunci: Kendaraan Listrik, Bass Diffusion Model, Difusi Inovasi, Prediksi Pertumbuhan

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN	5
2.1 Kendaraan Listrik	5
2.2 Jenis Kendaraan Listrik	5
2.2.1 <i>Battery Electric Vehicle</i> (BEV).....	5
2.2.2 <i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i> (PHEV).....	6
2.2.3 <i>Hybrid Electric Vehicle</i> (HEV)	7
2.3 Perkembangan Kendaraan Listrik di Indonesia.....	8
2.4 Difusi Inovasi.....	9
2.5 Faktor yang Mempengaruhi Difusi.....	10
2.6 <i>Bass Diffusion Model</i>	10
2.6.1 Model Bass.....	10
2.6.2 Parameter Model Bass	12
2.6.3 Asumsi Model Bass	13

2.7 Penerapan Model Bass dalam Studi Transportasi	14
2.8 Validasi Model	14
2.8.1 <i>Mean Absolute Percentage Error</i> (MAPE).....	15
2.8.2 <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE)	15
2.9 Penelitian Terdahulu	16
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Tahapan Umum Penelitian.....	19
3.2 Lokasi Penelitian	19
3.3 Pengumpulan Data.....	20
3.4 Analisis Data.....	21
3.4.1 <i>Bass Diffusion Model</i> (BDM).....	21
3.4.2 Estimasi Parameter Model.....	21
3.5 Validasi Model	23
3.5.1 <i>Mean Absolute Percentage Error</i> (MAPE.....)23	
3.5.2 <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE).....	23
3.6 Bagan Alir Penelitian	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Gambaran Umum Data Penelitian	26
4.2 Hasil Estimasi Parameter Bass Diffusion Model.....	27
4.2.1 Proses Estimasi Parameter	28
4.2.2 Nilai Parameter Bass Diffusion Model.....	28
4.3 Hasil Prediksi Pertumbuhan Mobil Listrik	29
4.3.1 Dasar Prediksi Pertumbuhan Mobil Listrik	29
4.3.2 Tabel Hasil Prediksi Pertumbuhan Mobil Listrik	30
4.3.3 Grafik Prediksi Pertumbuhan Mobil Listrik Berdasarkan Bass Diffusion Model	33
4.3.4 Analisis Pola dan Fase Pertumbuhan Mobil Listrik.....	35
4.4 Validasi Model Bass Diffusion	36
4.5 Diskusi Hasil Penelitian	37
4.5.1 Diskusi Karakteristik Parameter Bass Diffusion Model	38
4.5.2 Diskusi Pola Pertumbuhan dan Prediksi Kendaraan Mobil Listrik	38
4.5.3 Diskusi Kesesuaian Model Terhadap Data Aktual.....	39

4.5.4 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu	39
4.6 Hasil dan Pembahasan	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	42
5.1 Kesimpulan.....	42
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA.....	44
LAMPIRAN A PERHITUNGAN	47
LAMPIRAN B DATA	51
LAMPIRAN C GAMBAR.....	52
LAMPIRAN D TABEL.....	54
LAMPIRAN E BIODATA MAHASISWA	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jenis Mobil BEV (Nev Alvez) Sumber:Google	6
Gambar 2. 2 Jenis Mobil PHEV (BMW) Sumber: Google.....	7
Gambar 2. 3 Jenis Mobil HEV (Wuling) Sumber: Google	8
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	20
Gambar 3.2 Flowchart.....	25
Gambar 4. 1 Perkembangan Penjualan Mobil Listrik di indonesia (2019-2025) .	27
Gambar 4. 2 Grafik Prediksi Pertumbuhan Mobil Listrik Tahun 2019–2040.....	33
Gambar 4. 3 Model Penjualan Tahunan 2019-2040.....	34
Gambar 4. 4 Model Komulatif 2019-2040.....	35
Gambar C.1 Screenshot tabel pengolahan data historis dan kumulatif di Microsoft Excel	52
Gambar C.2 potongan kode Python dan hasil estimasi parameter.....	53
Gambar C.3 hasil prediksi pertumbuhan kendaraan listrik.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Jumlah Data Mobil Listrik 2019-2025	26
Tabel 4.2 Nilai Parameter Bass Diffusion Model	29
Tabel 4.3 Hasil Prediksi Pertumbuhan Mobil Listrik Menggunakan Bass Diffusion Model.....	30
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan RMSE dan MAPE	37
Tabel B.1 Data Historis Penjualan Kendaraan Listrik di Indonesia.....	51
Tabel B.2 Data Penjualan Kumulatif Kendaraan Listrik	51
Tabel D.1 Tabel Hasil Analisis dan Prediksi	54
Tabel D.2 Hasil Prediksi Pertumbuhan Kendaraan Listrik (Model_Cumulative dan Model_Yearly_Sales)	54
Tabel D.3 Hasil Validasi Model (MAPE dan RMSE).....	55

DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

BDM	= <i>Bass Diffusion Model</i> , yaitu model yang digunakan untuk memodelkan dan memprediksi proses adopsi inovasi di pasar
EV	= <i>Electric Vehicle</i> , yaitu kendaraan yang digerakkan oleh motor listrik
ICE	= <i>Internal Combustion Engine</i> , yaitu kendaraan dengan mesin pembakaran dalam berbahan bakar fosil.
BEV	= <i>Battery Electric Vehicle</i> , yaitu kendaraan listrik yang sepenuhnya menggunakan baterai sebagai sumber energi.
PHEV	= <i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i> , yaitu kendaraan listrik hibrida yang dapat diisi ulang melalui sumber listrik eksternal.
HEV	= <i>Hybrid Electric Vehicle</i> , yaitu kendaraan yang menggunakan kombinasi mesin pembakaran dalam dan motor listrik.
BPS	= Badan Pusat Statistik, yaitu lembaga pemerintah yang menyediakan data statistik resmi.
MAPE	= <i>Mean Absolute Percentage Error</i> , yaitu ukuran kesalahan prediksi dalam bentuk persentase.
RMSE	= <i>Root Mean Square Error</i> , yaitu ukuran kesalahan prediksi berdasarkan akar rata-rata kuadrat selisih.
MSE	= <i>Mean Squared Error</i>
p	= <i>Innovation Coefficient</i> , yaitu tingkat adopsi yang dipengaruhi oleh faktor inovasi atau informasi eksternal.
q	= <i>Imitation Coefficient</i> , yaitu tingkat adopsi yang dipengaruhi oleh interaksi antar pengguna.
m	= Market Potential, yaitu jumlah maksimum pengguna atau pasar yang berpotensi mengadopsi produk.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kendaraan listrik (*Electric Vehicle/EV*) merupakan inovasi teknologi transportasi yang menggunakan motor listrik sebagai penggerak utama dengan sumber energi dari baterai yang dapat diisi ulang. Kendaraan ini menawarkan alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan kendaraan berbahan bakar fosil karena tidak menghasilkan emisi karbon dioksida langsung saat digunakan (Tilly et al., 2024).

Dengan kemampuan mengurangi polusi udara dan ketergantungan pada bahan bakar minyak, kendaraan listrik dianggap sebagai solusi penting dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan mempercepat transisi menuju sistem transportasi yang berkelanjutan. Pemerintah di berbagai negara, termasuk Indonesia, mendorong adopsi kendaraan listrik melalui kebijakan dan insentif guna mempercepat penerimaan teknologi ini di masyarakat, contohnya adalah Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 mengenai Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai untuk Transportasi Jalan (Muhamad Lucky Souma et al., 2025).

Gas emisi rumah kaca mengalami peningkatan secara signifikan, yang berdampak pada perubahan iklim global. Transportasi jalan secara signifikan mempengaruhi konsumsi energi global dan emisi karbon dioksida (CO₂) (Albuquerque et al., 2020). Pada tahun 2022, sektor transportasi global menyumbang sekitar 8,1 gigaton (Gt) emisi CO₂ di seluruh dunia, dengan transportasi jalan saja menyumbang 5.87 GtCO₂. Sebagian besar emisi ini sekitar 3,53 GtCO₂, berasal dari kendaraan penumpang dan pribadi (Abdullah et al., 2024).

Sedangkan Indonesia berdasarkan laporan World Resources Institute (WRI Indonesia, 2022) menyumbang sekitar 27 % dari total emisi GRK nasional, di mana sekitar 90 % berasal dari transportasi darat, termasuk kendaraan pribadi, angkutan umum, dan kendaraan logistik berbasis jalan raya. Emisi dari sektor transportasi

umumnya bersumber dari proses pembakaran bahan bakar fosil, seperti bensin dan solar, yang menghasilkan karbon dioksida (CO_2) dalam jumlah signifikan. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Institute for Essential Services Refo (IESR, 2023), yang mencatat bahwa sektor transportasi menyumbang sekitar 23 % dari total emisi energi nasional, dengan proporsi emisi terbesar berasal dari kendaraan berbahan bakar fosil.

Kondisi ini menegaskan bahwa sektor transportasi memiliki peran strategis dalam upaya mitigasi perubahan iklim di tingkat nasional (Dewi Kania et al., 2021). Upaya elektrifikasi kendaraan, peningkatan efisiensi energi, serta transisi menuju moda transportasi publik rendah emisi merupakan langkah-langkah prioritas yang direkomendasikan untuk menurunkan emisi dari sektor ini (Adiatma, 2020). Dengan demikian, pengembangan kebijakan transportasi yang berkelanjutan serta penerapan teknologi rendah karbon menjadi krusial dalam mendukung pencapaian target Net Zero Emission Indonesia pada tahun 2060.

Walaupun demikian, penerimaan teknologi baru seperti kendaraan listrik biasanya tidak berlangsung secara mendadak, melainkan melalui proses penyebaran yang dipengaruhi oleh berbagai elemen, seperti preferensi pengguna, biaya, prasarana yang mendukung, serta dampak sosial. Untuk memahami tren dan memprediksi sejauh mana kendaraan listrik akan diadopsi di masa depan, diperlukan model yang mampu memberikan prediksi dengan baik mengenai dinamika penyebaran inovasi ini.

Model Difusi Bass (BDM) merupakan salah satu model paling sukses dalam riset pemasaran khususnya dan ilmu manajemen secara umum (Kumar et al., 2015). Model ini mengelompokkan konsumen ke dalam dua kategori utama, yaitu inovator dan imitator, serta meramalkan tingkat adopsi dari waktu ke waktu berdasarkan parameter koefisien inovasi dan imitasi. Dengan menerapkan BDM, prediksi pertumbuhan kendaraan listrik di Indonesia dapat dilakukan secara kuantitatif, memberikan wawasan berharga untuk perencanaan kebijakan, investasi dalam infrastruktur, dan strategi pemasaran. Dengan menggunakan *Bass Diffusion Model*, penelitian ini bertujuan untuk memprediksi pertumbuhan kendaraan listrik di Indonesia, khususnya untuk periode waktu 10 tahun dan 15 tahun. Prediksi ini

diharapkan dapat mendukung pengambil keputusan dan pelaku industri dalam merancang strategi pengembangan, membangun infrastruktur, serta menyesuaikan regulasi dengan lebih tepat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pertumbuhan penggunaan kendaraan listrik di Indonesia selama beberapa tahun terakhir?
2. Bagaimana penerapan *Bass Diffusion Model* dalam memodelkan pertumbuhan kendaraan listrik?
3. Bagaimana prediksi pertumbuhan kendaraan listrik di Indonesia selama periode 10 dan 15 tahun?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah yang telah di uraikan, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengkaji pertumbuhan kendaraan listrik di Indonesia.
2. Memprediksi pertumbuhan kendaraan listrik di indonesia dengan menggunakan *Bass Diffusion Model*.
3. Memprediksi pertumbuhan kendaraan listrik untuk 10 dan 15 tahun kedepan.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, maka manfaat yang dapat dirangkumkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan dasar dalam merumuskan kebijakan transportasi berkelanjutan dan pengembangan infrastruktur pendukung kendaraan listrik.
2. Bagi industri otomotif memberikan wawasan mengenai potensi pasar kendaraan listrik dan waktu yang tepat untuk meningkatkan produksi atau investasi.
3. Bagi akademisi dan peneliti menjadi referensi dalam studi terkait pemodelan adopsi teknologi baru dan kendaraan ramah lingkungan.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi Pertumbuhan kendaraan listrik di Indonesia dengan menggunakan *Bass Diffusion Model*. Model ini mengevaluasi pola pertumbuhan adopsi teknologi berdasarkan data penjualan historis, data kendaraan Listrik digunakan dengan proporsi yang disesuaikan, penelitian ini lebih menekankan pada pemodelan untuk prediksi, tanpa membahas rincian teknis atau kebijakan secara mendalam. Batasan penelitian ini digunakan untuk mempermudah dalam mengevaluasi permasalahan agar tidak menyimpang dari pokok permasalahan sesuai dengan penelitian, maka diberikan beberapa ruang lingkup dan batasan penelitian yaitu:

1. Wilayah kajian pada penelitian ini hanya di fokuskan pada Indonesia
2. Jenis kendaraan yang akan difokuskan pada penelitian ini adalah kendaraan pribadi roda empat (Mobil)
3. Penelitian ini menggunakan data dari kendaraan listrik serta *Bass Deffusion Model*
4. Data kendaraan listrik dari sumber GAIKINDO dijadikan sebagai dasar pencarian data, sedangkan BDM digunakan untuk memprediksi pertumbuhan kendaraan listrik.

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1 Kendaraan Listrik

Menurut Hutagaol et al., (2022) kendaraan listrik/*Electric Vehicle* (EV) adalah pilihan yang sangat efektif untuk menjaga lingkungan, karena mereka tidak memproduksi emisi dan tidak mencemari udara. Selain itu, kendaraan ini juga menurunkan penggunaan energi fosil dengan mengganti mesin pembakaran internal/*Internal Combustion Engine Vehicle* (ICEV) dengan motor listrik sebagai penggerak utama yang energi disimpannya berasal dari baterai yang dapat diisi ulang. Dengan demikian, kendaraan listrik memberikan efisiensi energi yang lebih baik, emisi karbon yang lebih sedikit, dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Kendaraan listrik dianggap solusi lingkungan dengan teknologi ramah lingkungan, mengatasi krisis energi, dan mengurangi polusi udara.

2.2 Jenis Kendaraan Listrik

Menurut Wiyono et al., (2018) kendaraan listrik adalah kendaraan yang menggunakan tenaga listrik sebagai sumber energi utama untuk penggerakannya. Energi listrik disimpan dalam baterai yang dapat diisi ulang, kendaraan listrik dibedakan menjadi beberapa jenis utama, yaitu:

2.2.1 *Battery Electric Vehicle* (BEV)

Menurut Aditty et al., (2024) puncak inovasi teknologi yang ramah lingkungan saat ini terlihat pada Kendaraan Listrik Baterai/*Battery Electric Vehicles* (BEV), yang sepenuhnya memanfaatkan tenaga listrik sebagai sumber penggerak dan tidak memproduksi emisi langsung saat digunakan. Dengan kemajuan dalam teknologi penyimpanan energi serta pengembangan infrastruktur untuk pengisian daya, minat masyarakat untuk beralih ke kendaraan yang lebih bersih semakin meningkat. Kendaraan ini menjadi pilihan unggulan dalam upaya mengurangi emisi CO₂ hingga sepenuhnya 100%. Namun, pencapaian ini juga dihadapi berbagai tantangan besar, seperti jarak tempuh yang terbatas, kebutuhan akan infrastruktur

pengisian daya yang cukup, serta harga jual di jalan yang relatif tinggi, yang semuanya masih menjadi kendala utama dalam mendorong penerimaan masyarakat terhadap BEV.



Gambar 2. 1 Jenis Mobil BEV (Nev Alvez)
Sumber: Google

2.2.2 Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)

Menurut Yulanto & Iskandar, (2021) *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV) adalah salah satu tipe kendaraan listrik hibrida penuh (PHEV) yang memiliki mesin pembakaran internal (ICE) lebih kecil, baterai yang lebih besar, serta motor listrik yang lebih kuat. Berbeda dari kendaraan listrik hibrida (HEV) biasa yang hanya dapat mengisi ulang baterai melalui generator yang digerakkan oleh mesin atau sistem pengereman regeneratif, PHEV menawarkan keuntungan karena baterainya bisa diisi ulang dengan sumber daya eksternal. Meski jarak tempuh dalam mode elektrik (*electric driving mode*) pada PHEV lebih pendek dibandingkan kendaraan listrik sepenuhnya (*electric vehicle*), PHEV mampu menempuh jarak yang lebih jauh dibandingkan dengan jenis hibrida lainnya karena ICE atau generator dapat mendukung sistem saat daya baterai menipis. Di samping itu, PHEV juga memiliki kemampuan pengereman regeneratif yang lebih unggul dibandingkan HEV lainnya.

Beberapa kelebihan PHEV meliputi: efisiensi bahan bakar yang lebih baik dibandingkan dengan HEV lainnya, jangkauan berkendara dengan energi listrik yang lebih jauh dibandingkan kendaraan listrik murni, biaya pengeluaran untuk bahan bakar yang lebih rendah, lebih ramah lingkungan, dan kapasitas penyimpanan energi yang lebih besar. Meski demikian, PHEV juga dibarengi dengan beberapa kekurangan, antara lain: harga atau biaya pembelian yang tergolong mahal, bobot kendaraan yang lebih berat, dan kurangnya infrastruktur, seperti tidak adanya stasiun pengisian cepat (*fast charging station*) yang membuat waktu pengisian baterai menjadi lebih lama. Contoh kendaraan yang masuk dalam kategori PHEV meliputi Mitsubishi Outlander PHEV, Toyota Prius PHEV, dan *Chevrolet Volt*.



Gambar 2. 2 Jenis Mobil PHEV (BMW)
Sumber: Google

2.2.3 *Hybrid Electric Vehicle* (HEV)

Hybrid Electric Vehicle atau disingkat HEV adalah jenis kendaraan listrik yang menggunakan kombinasi mesin pembakaran internal dan mobil listrik. Mesin bensin bekerja bersama dengan mobil listrik untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi emisi.

Dengan teknologi yang lebih berkelanjutan, HEV memberikan efisiensi bahan bakar yang lebih baik serta emisi gas buang yang lebih rendah dibandingkan dengan kendaraan yang sepenuhnya menggunakan bahan bakar fosil. Selain itu,

kemampuan untuk beroperasi sepenuhnya dalam mode listrik membuat HEV sangat cocok untuk penggunaan sehari-hari di daerah perkotaan, sambil membantu mengurangi polusi udara dan ketergantungan pada minyak bumi. *Hybrid Electric Vehicle* (HEV) menggabungkan motor listrik dan mesin konvensional, serta dapat diisi ulang melalui sumber listrik eksternal.



Gambar 2. 3 Jenis Mobil HEV (Wuling)
Sumber: Google

2.3 Perkembangan Kendaraan Listrik di Indonesia

Menurut Tulus Pangapoi Sidabutar, (2020) perkembangan mobil listrik sangat dipengaruhi oleh kebijakan yang ditetapkan oleh pemerintah. Indonesia ingin menjadi salah satu pusat industri kendaraan listrik global, dan untuk mencapai hal tersebut, perlu memperhatikan tantangan terkait biaya, standar, sumber energi, dukungan insentif, keamanan komunikasi, dan kerangka kerja untuk integrasi. Di samping itu, jika Indonesia ingin menarik perhatian para investor, penting untuk memperhatikan kesiapan infrastruktur, kemudahan dalam berbisnis, kebijakan pemerintah, serta penelitian dan pengembangan.

Dengan demikian, penting untuk memiliki kerjasama yang solid antara sektor publik dan sektor swasta demi menciptakan ekosistem kendaraan listrik yang berkelanjutan di Indonesia. Pemerintah harus memperkuat peraturan yang mendukung iklim investasi serta memberikan kepastian hukum kepada pelaku industri. Di sisi lain, sektor swasta diharapkan untuk meningkatkan kemampuan

inovasi dan efisiensi dalam proses produksi agar dapat memperkuat daya saing nasional. Selain itu, pengembangan sumber daya manusia yang menguasai teknologi kendaraan listrik juga merupakan hal penting yang harus mendapatkan perhatian yang serius. Tujuannya adalah agar Indonesia tidak hanya menjadi pasar untuk konsumsi, tetapi juga dapat menjadi pemain utama dalam rantai pasokan industri kendaraan listrik secara global.

2.4 Difusi Inovasi

Menurut Badri, (2019) difusi inovasi adalah suatu proses di mana inovasi diinformasikan melalui saluran tertentu selama periode tertentu di antara anggota suatu sistem sosial. Dalam konteks kendaraan listrik (EV), difusi inovasi merujuk pada cara masyarakat mengadopsi teknologi kendaraan listrik melalui cara komunikasi dan penyebaran informasi yang efektif.

Proses difusi inovasi untuk kendaraan listrik mencakup beberapa elemen penting, yaitu:

1. Inovasi itu sendiri, yang merujuk pada teknologi kendaraan listrik yang dianggap baru oleh masyarakat.
2. Saluran komunikasi yang digunakan untuk menyebar informasi mengenai kendaraan listrik, seperti media sosial, influencer, institusi pendidikan, dan inisiatif pemerintah.
3. Jangka waktu, yaitu periode di mana penyebaran informasi dan adopsi teknologi terjadi.
4. Sistem sosial, yang merupakan masyarakat atau komunitas yang menjadi fokus adopsi teknologi EV.

Di Indonesia, implementasi difusi inovasi kendaraan listrik melibatkan banyak pihak, termasuk pemerintah, produsen kendaraan, universitas, dan influencer yang berfungsi sebagai pengguna awal sekaligus penyebar informasi. Oleh karena itu, difusi inovasi kendaraan listrik adalah proses sosial dan komunikasi yang rumit yang bertujuan untuk mempercepat penerimaan dan penggunaan kendaraan listrik dalam masyarakat, serta mendukung tujuan lingkungan dan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan.

2.5 Faktor yang Mempengaruhi Difusi

Karakteristik inovasi berperan penting dalam adopsi kendaraan listrik. Keunggulan relatif menunjukkan bahwa kendaraan listrik dinilai lebih efisien, hemat biaya, dan ramah lingkungan dibanding kendaraan konvensional. Kesesuaian dengan nilai-nilai mencerminkan seberapa selaras teknologi ini dengan norma sosial dan gaya hidup masyarakat. Kompleksitas menggambarkan tingkat kemudahan penggunaan; semakin sederhana, semakin mudah diterima. Kemungkinan untuk diuji coba memberi kesempatan bagi masyarakat untuk mencoba sebelum mengadopsi penuh, sehingga mengurangi keraguan. Sementara itu, kemudahan diamati hasilnya memperlihatkan manfaat nyata seperti penghematan dan pengurangan emisi yang dapat mendorong adopsi lebih luas. Kelima aspek ini saling mendukung dalam mempercepat penyebaran kendaraan listrik.

2.6 *Bass Diffusion Model*

(Ayyadi et al., 2018) *Bass Diffusion Model* merupakan model yang paling banyak digunakan untuk memprediksi difusi produk baru, dengan parameter yang bermakna seperti faktor inovasi dan faktor imitasi. Model ini diterapkan secara luas untuk meramalkan difusi produk baru (Ayyadi S & M Maaroufi et al., 2018)

2.6.1 Model Bass

Koefisien p , yang menunjukkan penerimaan produk melalui media, sebelumnya dikenal sebagai koefisien inovasi dan selanjutnya diubah namanya menjadi koefisien pengaruh eksternal. Pengaruh eksternal ini berasal dari iklan, promosi, kampanye pemerintah, atau berita media yang meningkatkan kesadaran masyarakat tentang adanya produk baru. Di sisi lain, kekuatan kedua yang dicerminkan oleh koefisien q mendapatkan dorongan positif dari individu yang sudah mengadopsi, menunjukkan dampak dari pembicaraan dari mulut ke mulut, rekomendasi sosial, dan pengamatan atas pengalaman positif orang lain. Koefisien ini pada awalnya disebut koefisien imitasi, lalu berubah menjadi koefisien pengaruh internal, karena diperoleh dari interaksi sosial di dalam suatu kelompok masyarakat.

Sebagaimana diungkapkan dalam Bass et al. (2000), model awal yang diajukan oleh Bass (1969) menyatakan bahwa $f(t)$, yaitu peluang seorang individu untuk mengadopsi pada waktu t , diasumsikan ketika individu tersebut belum melakukan adopsi terhadap produk, ditentukan oleh persamaan:

$$f(t)/(1 - F(t)) = p + qF(t) \dots \dots \dots \text{Persamaan 1}$$

Di mana $F(t)$ adalah proporsi total populasi yang telah mengadopsi produk hingga waktu t . Persamaan ini menunjukkan bahwa tingkat adopsi pada waktu tertentu adalah hasil kombinasi dari pengaruh eksternal (melalui media) dan pengaruh internal (dari individu lain di dalam populasi). Model ini telah menjadi landasan untuk menganalisis penyebaran berbagai inovasi, termasuk teknologi baru seperti mobil listrik.

dan $Y(t)$, total penjualan produk (diasumsikan setara dengan jumlah pengguna) diberikan oleh:

$$Y(t) = m(1 - e^{-(p+q)t}) / (1 + (q/p)e^{-(p+q)t}) \dots \dots \dots \text{Persamaan 2}$$

di mana m adalah jumlah total pasar yang mungkin (seluruh calon pengguna), dan $F(t)$ merupakan proporsi kumulatif orang-orang yang telah mengadopsi hingga waktu t . Dengan kata lain, $Y(t)$ menggambarkan seberapa banyak produk atau inovasi telah diterima oleh masyarakat dari total pasar yang ada. Dalam konteks perencanaan strategis, data ini sangat berguna untuk memperkirakan titik tertinggi adopsi serta menentukan langkah-langkah promosi atau dukungan yang diperlukan. Model ini juga bermanfaat bagi pelaku industri dan pembuat kebijakan untuk memutuskan kapan bantuan atau insentif seharusnya diberikan untuk mempercepat penyebaran. Dengan memantau perkembangan $Y(t)$, para pengambil keputusan dapat menilai seberapa efektif kebijakan adopsi terhadap inovasi yang baru diluncurkan.

di mana:

$F(t)$ = Fungsi distribusi kumulatif, probabilitas adopsi pada waktu t

$Y(t)$ = jumlah kumulatif adopsi hingga waktu t

m = potensi pasar

p = koefisien pengaruh eksternal (awalnya disebut koefisien inovasi)

q = koefisien pengaruh internal (awalnya disebut koefisien imitasi)

2.6.2 Parameter Model Bass

Model Bass terdiri dari dua elemen kunci yang sangat berperan dalam menjelaskan pola penerimaan inovasi, yaitu koefisien inovasi (p) dan koefisien imitasi (q). Selain itu, parameter potensial pasar tertinggi (M) juga memiliki peran penting dalam menghitung total maksimum adopsi. Berikut adalah penjelasan untuk setiap parameter tersebut:

a. Koefisien Inovasi (p)

Koefisien inovasi, yang biasanya ditunjukkan dengan huruf p , menggambarkan persentase konsumen yang mungkin mengadopsi inovasi tanpa terpengaruh oleh pengguna yang sudah ada. Mereka dikenal sebagai inovator, yaitu orang atau kelompok yang terdorong untuk mencoba produk baru berdasarkan informasi dari luar lingkungan sosial, seperti iklan, program pemerintah, atau media. Angka p umumnya rendah karena hanya sebagian kecil populasi yang tergolong inovator. Dalam hal kendaraan listrik, nilai p menunjukkan seberapa besar pengaruh promosi atau kebijakan pemerintah dalam mendorong orang untuk membeli kendaraan listrik tanpa harus menunggu bukti dari pengguna lain.

b. Koefisien Imitasi (q)

Koefisien imitasi, yang dilambangkan dengan q , menunjukkan seberapa besar tingkat adopsi yang dipengaruhi oleh interaksi sosial, yaitu dampak dari konsumen yang sebelumnya sudah mengadopsi produk. Individu dalam kelompok ini dikenal sebagai imitator, dan mereka cenderung mengikuti langkah-langkah inovator setelah melihat bukti keberhasilan atau manfaat nyata dari penggunaan produk tersebut. Nilai q biasanya lebih tinggi daripada p karena mayoritas masyarakat bersifat sebagai imitator. Dalam konteks kendaraan listrik, nilai q mencerminkan pengaruh testimoni, pengalaman pengguna, dan efek jejaring dalam meningkatkan ketertarikan masyarakat terhadap adopsi kendaraan listrik.

c. Ukuran Pasar Potensial (M)

Parameter M merepresentasikan total jumlah individu atau konsumen yang kemungkinan akan mengadopsi produk atau inovasi. Nilai M dapat diperkirakan

dengan menggunakan data masa lalu, jumlah populasi yang menjadi target, pertumbuhan ekonomi, atau kapasitas pasar yang relevan. Menentukan nilai M sangat penting karena memengaruhi perkiraan jumlah adopsi maksimum dalam periode tertentu. Dalam penelitian tentang pertumbuhan kendaraan listrik, M bisa diartikan sebagai proyeksi jumlah rumah tangga yang berpotensi untuk membeli kendaraan listrik dalam 10 hingga 20 tahun mendatang di suatu daerah.

2.6.3 Asumsi Model Bass

Model Bass adalah sebuah kerangka kerja untuk memahami bagaimana inovasi menyebar yang simpel tetapi hasilnya cukup tepat dalam meramalkan seberapa cepat suatu produk atau teknologi baru diterima. Agar dapat beroperasi dengan optimal, model ini didasarkan pada sejumlah asumsi dasar yang penting untuk diketahui, sehingga pemahaman terhadap hasil ramalan menjadi lebih tepat dan mendekati kenyataan. Berikut adalah asumsi-asumsi utama dari Model Bass:

a. Pasar Bersifat Tertutup (*Closed Market*)

Model Bass beranggapan bahwa ukuran pasar tetap dan tidak mengalami perubahan selama waktu analisis. Ini menunjukkan bahwa semua individu yang potensial menjadi pengguna produk sudah dikenali sebelumnya dan tidak ada tambahan konsumen baru selama proses difusi berlangsung. Dalam konteks mobil listrik, ini berarti jumlah calon pembeli EV dipandang tetap dalam satu periode proyeksi, tanpa mempertimbangkan adanya generasi konsumen baru atau perubahan dalam preferensi masyarakat.

b. Adopsi Hanya Dilakukan Sekali

Model ini menganggap bahwa setiap orang hanya akan melakukan adopsi satu kali, dan tidak menghitung pembelian kembali atau penggantian produk dalam perhitungan model. Oleh karena itu, model ini lebih tepat untuk barang-barang tahan lama seperti mobil, perangkat teknologi besar, atau infrastruktur yang bersifat pembelian tunggal dan digunakan dalam jangka waktu yang lama. Dengan demikian, model bass hanya memperhitungkan keputusan adopsi awal terkait kendaraan listrik dan bukan perilaku pembelian yang terjadi setelahnya.

c. Dua Sumber Pengaruh: Inovasi dan Imitasi

Model Bass berpendapat bahwa proses penerimaan hanya dipengaruhi oleh dua aspek utama, yakni pengaruh luar (inovasi) dan pengaruh dalam (imitasi). Pengaruh luar berasal dari elemen-elemen di luar masyarakat seperti media, promosi, atau kebijakan pemerintah, yang tertuang dalam koefisien p . Sedangkan pengaruh dalam merupakan hasil dari interaksi sosial antar individu dalam komunitas, seperti rekomendasi dari pengguna sebelumnya atau dampak jaringan, yang diwakili oleh koefisien q . Aspek-aspek lain seperti harga, ketersediaan infrastruktur, dan teknologi baru dianggap tidak mengalami perubahan yang signifikan dalam model ini.

2.7 Penerapan Model Bass dalam Studi Transportasi

Model Bass banyak diterapkan untuk meramalkan perkembangan berbagai inovasi dalam teknologi transportasi, termasuk mobil listrik (*Electric Vehicles/EV*). Pendekatan ini memberikan metode kuantitatif yang efisien untuk menggambarkan pola adopsi seiring waktu, dengan mempertimbangkan dua faktor kunci: pengaruh dari luar seperti iklan dan regulasi pemerintah, serta pengaruh dari dalam seperti saran dari pengguna awal atau tren masyarakat. Dengan menggunakan parameter inovasi (p) dan imitasi (q), model ini dapat memperkirakan kecepatan adopsi dari fase awal pengenalan produk hingga mencapai fase jenuh di pasar.

Dalam kasus mobil listrik, model Bass sangat penting untuk mengevaluasi perubahan dari kendaraan berbahan bakar fosil ke kendaraan listrik. Model ini berfungsi untuk memprediksi penetrasi pasar EV dalam jangka panjang dan bisa menjadi panduan dalam pengambilan keputusan terkait kebijakan transportasi dan energi, seperti perencanaan pembangunan infrastruktur pengisian daya, pemberian insentif, atau pengaturan standar emisi. Di samping itu, model ini juga bermanfaat untuk mengukur efektivitas kampanye untuk adopsi teknologi ramah lingkungan, sehingga mendukung pencapaian sasaran pengurangan emisi karbon dan pengembangan sistem transportasi yang berkelanjutan.

2.8 Validasi Model

Validasi model dilakukan dengan cara membandingkan output prediksi yang dihasilkan model dengan data sejarah yang sebenarnya, serta menggunakan ukuran

kesalahan seperti *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan *Mean Squared Error* (MSE). Ukuran-ukuran ini bertujuan untuk menilai berapa besar perbedaan antara prediksi model dan nilai yang nyata. Kesalahan yang kecil menunjukkan bahwa model memiliki akurasi yang tinggi dalam merepresentasikan data. Selain itu, proses validasi juga dapat melibatkan analisis visual, seperti memperbandingkan kurva hasil prediksi dengan grafik data yang aktual, guna memeriksa apakah model mengikuti pola tren yang serupa. Validasi yang berkualitas menjadi indikator penting bahwa model tersebut dapat diandalkan untuk membuat prediksi di masa yang akan datang.

2.8.1 *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

Menurut Myttenaere et al., (2016) kesalahan persentase absolut rata-rata (MAPE) sebagai indikator mutu model regresi. Kami mendemonstrasikan adanya model MAPE yang paling efektif dan menunjukkan konsistensi yang umum dalam minimum risiko empiris berdasarkan MAPE.

MAPE sering dipakai dalam aplikasi praktis karena mudah dipahami saat membahas kesalahan relatif. Penerapan MAPE sangat relevan dalam sektor keuangan, contohnya, karena laba dan rugi biasa diukur dalam nilai relatif. Selain itu, ini juga bermanfaat untuk menetapkan harga produk, mengingat pelanggan kadang-kadang lebih peka terhadap perubahan relatif daripada perubahan absolut.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \times 100\% \dots\dots\dots \text{Persamaan 3}$$

Keterangan:

- n = jumlah data (banyaknya observasi)
- Y_t = nilai aktual pada waktu ke- t
- $\hat{Y}_t$ = nilai hasil prediksi pada waktu ke- t

2.8.2 *Root Mean Square Error* (RMSE)

Menurut Hodson (2022) *Root Mean Square Error* (RMSE) merupakan nilai akar kuadrat dari *Mean Squared Error* (MSE). RMSE berfungsi untuk mengukur rata-rata kesalahan antara hasil prediksi model dan data sebenarnya dengan satuan yang sama seperti variabel yang diukur. Menggunakan akar tidak mempengaruhi

urutan relatif model, tetapi menghasilkan ukuran yang lebih mudah dipahami karena memiliki unit yang sama dengan data yang digunakan. RMSE secara praktis mencerminkan kesalahan umum atau "standar" dalam prediksi, terutama jika kesalahan tersebut mengikuti distribusi normal. Oleh karena itu, RMSE sering kali dianggap sebagai ukuran yang sangat peka terhadap kesalahan yang signifikan, karena menghitung selisih kuadrat.

RMSE telah banyak diterapkan sebagai ukuran statistik baku untuk menilai kinerja model dalam berbagai penelitian, termasuk di bidang meteorologi, kualitas udara, dan iklim, karena kemampuannya untuk menggambarkan sejauh mana deviasi dari prediksi terhadap nilai sebenarnya secara konsisten.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2} \dots\dots\dots \text{Persamaan 4}$$

Keterangan:

- n = jumlah data (banyaknya observasi)
- Y_t = nilai aktual pada waktu ke- t
- $\hat{Y}_t$ = nilai hasil prediksi pada waktu ke- t

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya memiliki peranan yang sangat penting dalam kemajuan ilmu pengetahuan. Ia memberikan dasar teoritis dan empiris yang kokoh, serta mendukung pengembangan metodologi yang lebih tepat. Temuan-temuan tersebut juga berfungsi untuk mengidentifikasi celah yang belum diteliti, sehingga membuka peluang untuk kajian lebih lanjut.

Aditty et al (2024), dengan topik penelitian “Kebijakan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (KBLBB) dalam Transisi Energi di Indonesia”, metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis. Hasil dari penelitian ini Kebijakan KBLBB adalah upaya strategis Indonesia dalam pergeseran energi untuk menurunkan emisi dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak. Dengan memberikan insentif pajak dan membangun infrastruktur, pemerintah berusaha mendorong penggunaan kendaraan listrik, meskipun tetap mengalami kendala terkait harga dan fasilitas pendukung.

Nur & Kurniawan (2021), dengan topik penelitian “Proyeksi Masa Depan Kendaraan Listrik di Indonesia: Analisis Perspektif Regulasi dan Pengendalian Dampak Perubahan Iklim yang Berkelanjutan”, metode yang digunakan adalah analisis. Hasil dari penelitian ini adalah Kendaraan bertenaga listrik memiliki peranan krusial dalam rencana Indonesia untuk menurunkan emisi dan mengatasi perubahan iklim. Dengan adanya peraturan seperti Perpres No. 55 Tahun 2019 serta insentif pajak, pemerintah memfasilitasi penerimaan kendaraan listrik. Pengembangan infrastruktur dan sumber energi terbarukan merupakan faktor utama untuk memastikan keberlanjutan jangka panjang dalam pergeseran menuju transportasi yang ramah lingkungan.

Kumar et al (2015) dengan topik penelitian “*The Bass Diffusion Model does not explain diffusion*”, penelitian ini menggunakan metode *Bass diffusion model*. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah *Bass diffusion model* tidak sepenuhnya menggambarkan proses difusi. Model ini hanya menunjukkan pola adopsi yang didasarkan pada inovator dan peniru, tanpa memperhitungkan aspek sosial, psikologis, dan struktural yang memengaruhi pilihan individu. Sebab itu, Model Bass lebih tepat berfungsi sebagai alat untuk prediksi kuantitatif, bukan sebagai penjelasan yang komprehensif mengenai cara kerja difusi inovasi.

Hutagaol et al., (2022) dengan topik penelitian “Perancangan Sistem Monitoring Kendaraan Listrik” metode yang digunakan adalah analisis. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah Perancangan sistem pemantauan untuk kendaraan listrik bertujuan mengawasi keadaan baterai, penggunaan energi, suhu, dan kinerja kendaraan secara langsung. Sistem ini dikembangkan dengan memanfaatkan sensor, mikrokontroler, dan koneksi tanpa kabel untuk mengirimkan data ke aplikasi atau server. Dengan pemantauan yang tepat, efisiensi dalam operasional akan meningkat, dan kemungkinan kerusakan yang terjadi lebih awal bisa ditemukan.

Yulanto & Iskandar (2021), dengan topik penelitian “Studi analisis perkembangan teknologi kendaraan listrik hibrida” metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah Kendaraan listrik hibrida (HEV) merupakan teknologi transisi yang

menggabungkan motor listrik dan mesin konvensional. Perkembangannya fokus pada efisiensi energi, pengurangan emisi, dan peningkatan performa. Teknologi ini berperan penting dalam mendukung transportasi ramah lingkungan menuju era elektrifikasi penuh.

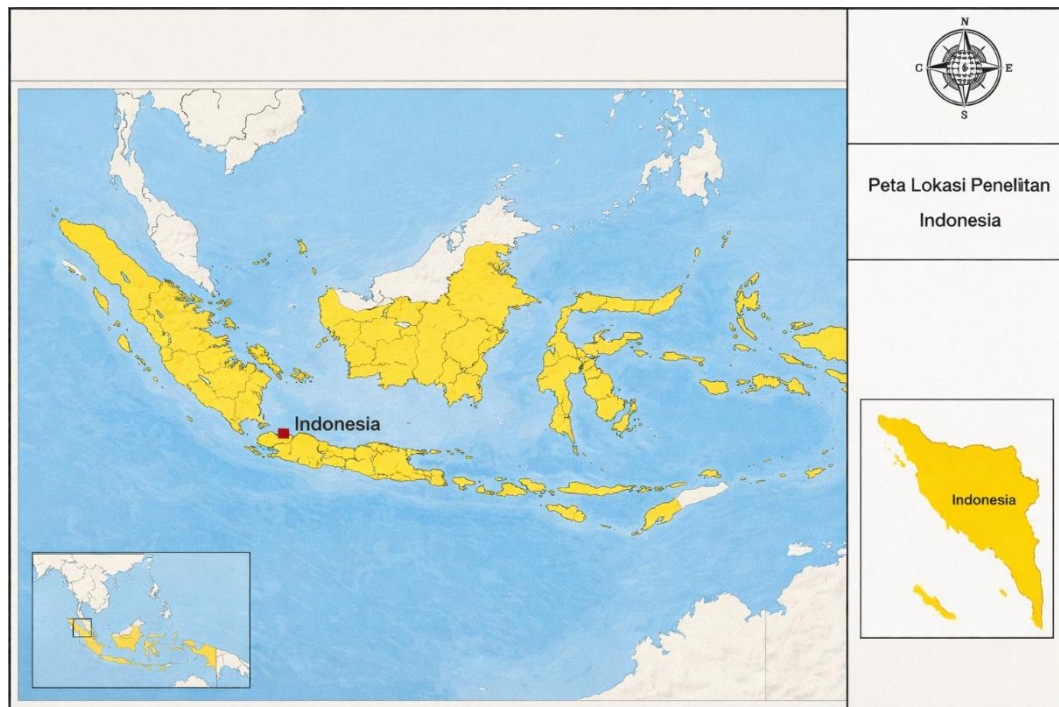
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Umum Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian prediktif. Pendekatan ini dipilih karena tujuan utama dari penelitian adalah untuk meramalkan pertumbuhan adopsi kendaraan listrik berdasarkan data historis yang tersedia serta melalui penerapan model matematis yang terukur. Model ini dipilih karena dapat secara sistematis menggambarkan proses penyebaran inovasi teknologi, dengan mempertimbangkan dua faktor utama, yaitu koefisien inovasi (p) yang menggambarkan pengaruh individu yang secara mandiri mengadopsi teknologi, dan koefisien imitasi (q) yang menunjukkan pengaruh individu lain yang telah mengadopsi teknologi tersebut lebih dahulu. Dengan menggunakan kedua faktor ini, *Bass Diffusion Model* dapat menampilkan gambaran yang lebih akurat tentang laju peningkatan penggunaan kendaraan listrik dari waktu ke waktu. Melalui pendekatan ini, diharapkan hasil penelitian dapat menjadi referensi penting dalam perencanaan kebijakan transportasi dan energi yang lebih berkelanjutan di Indonesia.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini difokuskan di Indonesia, Indonesia menjadi wilayah yang strategis untuk mengkaji pertumbuhan kendaraan listrik. Oleh karena itu, dalam penelitian berjudul “Prediksi Pertumbuhan Kendaraan Listrik Menggunakan *Bass Diffusion Model* (Studi kasus: Indonesia)”, wilayah ini dijadikan sebagai studi kasus untuk memprediksi pertumbuhan kendaraan listrik berbasis pendekatan matematis *Bass Diffusion Model*.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan kegiatan yang sangat penting dan sangat berpengaruh terhadap keberhasilan dari analisis yang dilakukan, hal ini dapat dipahami karena seluruh tahap-tahap dalam suatu analisis sangat tergantung pada keadaan data dan fakta dilapangan. Tujuan dari tahapan ini adalah untuk mendapatkan seluruh data yang akan digunakan dalam Penelitian ini.

Data sekunder menjadi sumber utama dalam penelitian ini. Data ini diperoleh dari berbagai instansi resmi dan sumber literatur yang terpercaya. Jenis data sekunder yang digunakan dalam penelitian meliputi:

1. Data historis kendaraan Listrik yang ada di Indonesia:

Data ini mencakup jumlah kendaraan pribadi roda empat, tingkat pertumbuhan tahunan, dan distribusi kendaraan menurut wilayah. Data diperoleh dari website resmi GAIKINDO.

2. Informasi mengenai program dan kebijakan pemerintah daerah maupun nasional terkait percepatan adopsi kendaraan listrik, termasuk target pasar kendaraan listrik dan insentif yang diberikan.

3. Literatur ilmiah dan penelitian terdahulu seperti Jurnal internasional dan nasional yang membahas tentang adopsi teknologi baru, Bass Diffusion Model, serta aplikasi model difusi dalam konteks kendaraan listrik. Literatur ini menjadi referensi penting dalam proses estimasi parameter model dan dalam merumuskan pendekatan metodologi.

3.4 Analisis Data

Tahapan analisis dan pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis dengan menggunakan pendekatan Bass Diffusion Model (BDM) sebagai metode utama dalam memprediksi pertumbuhan kendaraan listrik roda empat (kendaraan Pribadi) di Indonesia.

3.4.1 Bass Diffusion Model (BDM)

Menurut Bitencourt et al., (2021) model bass menunjukkan bagaimana tingkat penerimaan inovasi dalam pasar berhubungan dengan waktu. Anggaplah T adalah variabel acak yang merepresentasikan bagian dari periode tertentu ketika orang dalam suatu populasi mulai menggunakan produk atau teknologi baru. Model ini mengkategorikan pengadopsi menjadi dua kelompok utama, yaitu inovator yang dipengaruhi oleh faktor luar dan imitator yang terpengaruh oleh interaksi sosial atau dampak dari pengguna yang telah ada sebelumnya (Massiani & Gohs, 2015).

Seiring berjalannya waktu, tingkat adopsi akan mengikuti bentuk kurva S, di mana awalnya pertumbuhannya berlangsung lambat, kemudian meningkat drastis saat adopsi secara luas terjadi, dan akhirnya melambat ketika pasar menjadi jenuh. Model ini sangat penting untuk memprediksi penyebaran teknologi baru dan mendukung pengambil keputusan atau pelaku industri dalam menyusun strategi pemasaran yang sesuai.

3.4.2 Estimasi Parameter Model

Estimasi parameter dalam *Model Bass Diffusion* dilakukan melalui pendekatan regresi nonlinier atau metode kurva fitting (penyesuaian kurva) dengan memanfaatkan perangkat lunak seperti *Microsoft Excel/Python*, atau perangkat statistik lainnya. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Bass

Diffusion Model. Jadi variabel utama (parameter inti) yang menjadi fokus dalam model dan analisis prediksi ini adalah:

1. Koefisien Inovasi (p)

- Melambangkan pengaruh eksternal.
- Menggambarkan seberapa banyak masyarakat mengadopsi kendaraan listrik karena informasi dari luar.
- Biasanya nilainya kecil, karena hanya sebagian kecil yang benar-benar menjadi pengguna paling awal.

2. Koefisien Imitasi (q)

- Melambangkan pengaruh internal / sosial.
- Menggambarkan seberapa besar orang mengadopsi kendaraan listrik karena mengikuti orang lain yang sudah menggunakan.
- Dipengaruhi oleh:
 - Testimoni pengguna
 - Tren sosial
 - Efek komunitas
- Biasanya nilai q lebih besar dibanding p , karena mayoritas orang cenderung menunggu bukti dulu.

3. Ukuran Pasar Potensial (M)

- Total maksimum pengguna potensial di wilayah studi (Indonesia)
- Kamu akan menentukan nilai ini berdasarkan:
 - Riwayat pertumbuhan kendaraan di Indonesia
 - Perkiraan penetrasi kendaraan listrik ke depan
- M = batas jenuh pasar (ketika adopsi sudah maksimal).

Parameter-parameter yang telah diperoleh selanjutnya dipakai untuk mensimulasikan pola difusi di masa depan serta menilai seberapa baik model Bass dalam merepresentasikan dinamika adopsi teknologi dengan akurat. Biasanya, validasi model dilakukan dengan mengamati nilai koefisien determinasi (R^2) atau kesalahan statistik lainnya untuk menilai tingkat kecocokan antara model dan data.

3.5 Validasi Model

Validasi model dilakukan dengan cara membandingkan output prediksi yang dihasilkan model dengan data sejarah yang sebenarnya, serta menggunakan ukuran kesalahan seperti *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan *Mean Squared Error* (MSE).

3.5.1 *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

Menurut Myttenaere et al., (2016) *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) digunakan untuk mengetahui persentase kesalahan relatif antara nilai hasil prediksi dengan nilai aktual. Metrik ini sangat berguna untuk melihat seberapa akurat suatu model prediksi secara umum, terutama karena hasilnya disajikan dalam bentuk persentase yang mudah dipahami. Misalnya, nilai MAPE sebesar 4,2% berarti rata-rata kesalahan prediksi model hanya sebesar 4,2% dari nilai aktualnya.

Kelebihan dari MAPE adalah sifatnya yang mudah diinterpretasikan karena dinyatakan dalam satuan persen (%), sehingga memudahkan peneliti dalam menjelaskan tingkat akurasi model. Namun, kelemahannya adalah MAPE sangat sensitif terhadap nilai aktual yang kecil, karena ketika nilai aktual mendekati nol, persentase kesalahan dapat menjadi sangat besar dan menghasilkan nilai error yang tidak realistis.

3.5.2 *Root Mean Square Error* (RMSE)

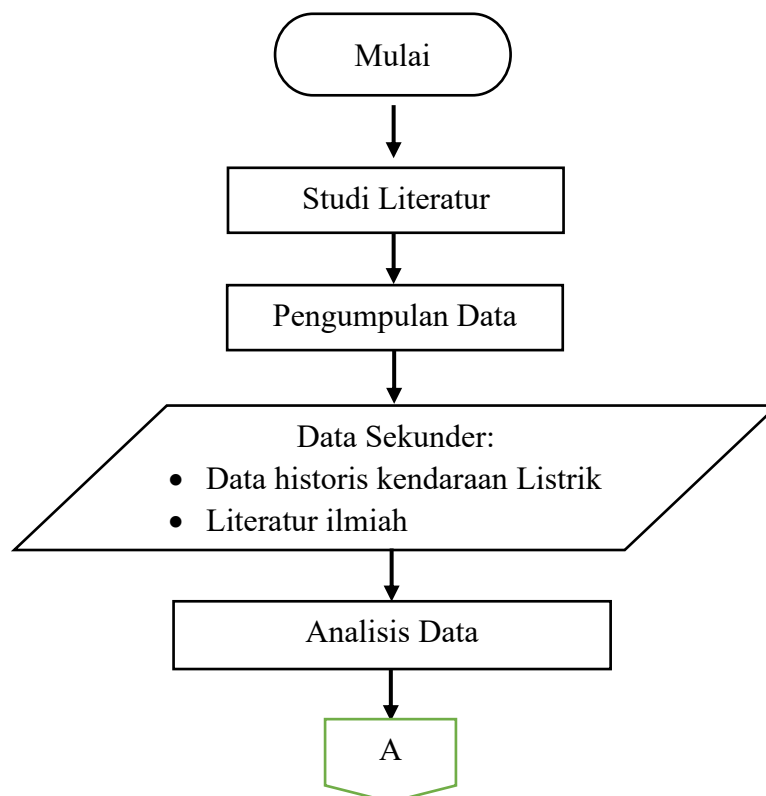
Menurut (Hodson, 2022) *Root Mean Square Error* (RMSE) digunakan untuk mengetahui deviasi rata-rata kesalahan antara nilai hasil prediksi dengan nilai aktual dalam satuan asli data, seperti jumlah unit penjualan kendaraan. Metode ini memberikan penekanan lebih besar terhadap kesalahan yang signifikan (*outlier*), karena dalam perhitungannya melibatkan kuadrat dari selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi.

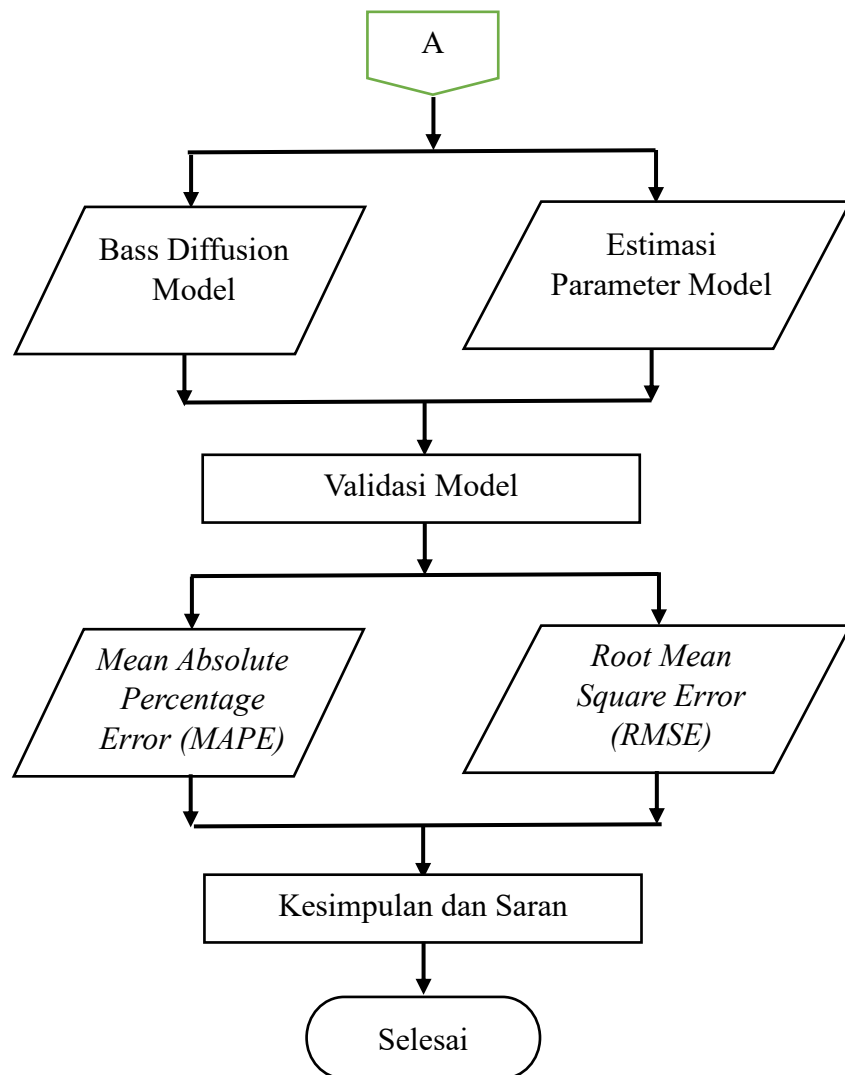
Kelebihan dari RMSE adalah kemampuannya untuk menunjukkan seberapa jauh hasil prediksi model menyimpang dari data sebenarnya, sehingga memberikan gambaran yang jelas tentang tingkat ketepatan model. Namun, kelemahannya adalah nilai RMSE sulit digunakan untuk perbandingan antar dataset yang berbeda,

karena hasilnya tidak dinyatakan dalam bentuk persentase melainkan dalam satuan data yang digunakan.

3.6 Bagan Alir Penelitian

Diagram alir menyajikan langkah-langkah pengujian secara sistematis, yang memudahkan pemahaman, mengurangi kemungkinan kesalahan, memastikan konsistensi, dan meningkatkan validitas hasil. Setiap tahap dalam penelitian dan prosedur yang dijalankan ditampilkan secara rinci pada Gambar 3.1. Dengan adanya diagram ini, pembaca dapat menelusuri alur logis penelitian dari awal hingga akhir, serta memahami keterkaitan antar tahapan dalam proses analisis secara visual dan terstruktur. Selain itu, diagram alir juga berfungsi sebagai alat dokumentasi yang membantu peneliti dalam mengevaluasi setiap proses yang telah dilakukan, sekaligus menjadi pedoman jika penelitian ini akan direplikasi atau dikembangkan di masa mendatang.





Gambar 3. 2 Flowchart

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Data Penelitian

Data penelitian ini berupa data penjualan tahunan kendaraan listrik jenis *Battery Electric Vehicle* (BEV), *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV), dan *Hybrid Electric Vehicle* (HEV) yang diperoleh dari sumber resmi. Data tersebut digunakan untuk menghitung parameter Bass Diffusion Model dan memprediksi pertumbuhan kendaraan listrik pada tahun-tahun berikutnya.

4.1.1 Data Historis Kendaraan Mobil Listrik

Data historis kendaraan mobil listrik yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari sumber resmi Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia (GAIKINDO). Data tersebut mencakup jumlah penjualan mobil listrik di Indonesia berdasarkan tahun pencatatan. GAIKINDO dipilih sebagai sumber data karena merupakan lembaga resmi yang secara rutin menerbitkan statistik industri otomotif nasional dan banyak digunakan dalam penelitian akademik.

Data yang dianalisis mencakup periode tahun 2019 hingga 2025. Rentang waktu ini dipilih untuk menggambarkan perkembangan awal penjualan mobil listrik di Indonesia berdasarkan data historis yang tersedia.

Tabel 4.1 Jumlah Data Mobil Listrik 2019-2025

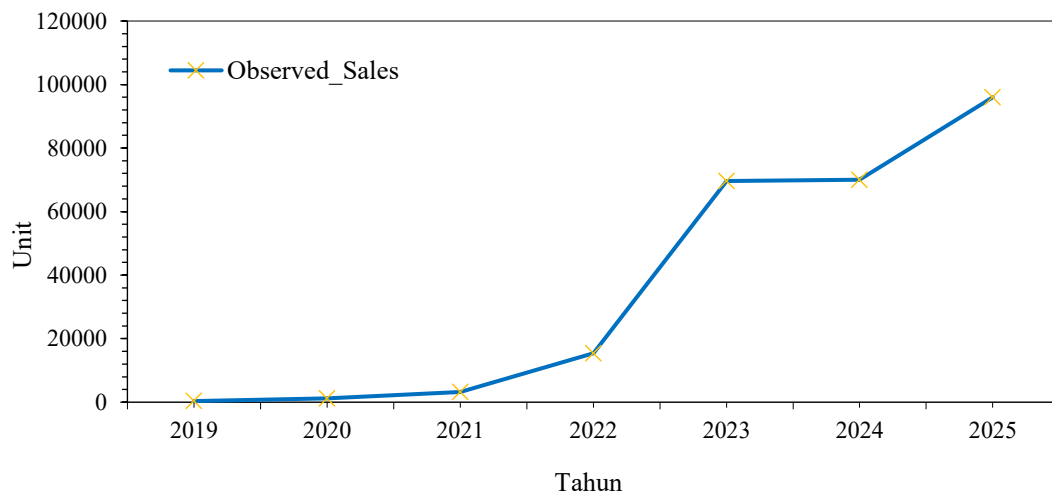
Tahun	Jumlah Penjualan
2019	351
2020	1234
2021	3193
2022	15437
2023	69598
2024	70045
2025	95987

Sumber: website resmi GAIKINDO

Data penjualan mobil listrik yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam proses estimasi parameter Bass Diffusion Model dan analisis prediksi pertumbuhan kendaraan listrik

4.1.2 Deskripsi Tren Penjualan Mobil Listrik

Gambar 4.1 menunjukkan perkembangan penjualan mobil listrik di Indonesia selama periode tahun 2019 hingga 2025 berdasarkan data historis. Secara umum, grafik tersebut memperlihatkan adanya kecenderungan peningkatan jumlah penjualan dari tahun ke tahun



Gambar 4. 1 Perkembangan Penjualan Mobil Listrik di indonesia (2019-2025)

Pada periode awal pengamatan, yaitu tahun 2019 hingga 2021, jumlah penjualan mobil listrik masih relatif rendah dibandingkan tahun-tahun berikutnya. Selanjutnya, mulai tahun 2022 terlihat adanya peningkatan penjualan yang cukup signifikan, yang kemudian diikuti oleh peningkatan jumlah penjualan pada tahun-tahun selanjutnya hingga tahun 2025.

Grafik diatas digunakan untuk memberikan gambaran awal mengenai kondisi dan pola data penjualan mobil listrik di Indonesia berdasarkan data historis sebelum dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan Bass Diffusion Model.

4.2 Hasil Estimasi Parameter Bass Diffusion Model

Proses estimasi parameter Bass Diffusion Model dilakukan untuk menganalisis dan memprediksi pertumbuhan mobil listrik di Indonesia. Estimasi ini

bertujuan untuk memperoleh nilai koefisien inovasi (p), koefisien imitasi (q), dan potensi pasar maksimum (M) yang paling sesuai dengan data historis penjualan mobil listrik.

Data yang digunakan dalam proses estimasi merupakan data historis penjualan mobil listrik periode 2019–2025 sebagaimana telah dijelaskan pada Subbab 4.1. Data tersebut digunakan sebagai input utama dalam pemodelan Bass Diffusion Model.

4.2.1 Proses Estimasi Parameter

Estimasi parameter p , q , dan M dilakukan dengan menyesuaikan hasil perhitungan Bass Diffusion Model terhadap data aktual penjualan mobil listrik. Proses estimasi bertujuan untuk meminimalkan selisih antara data aktual dan hasil model menggunakan pendekatan nonlinier least squares.

Model Bass yang digunakan dalam penelitian ini menghubungkan jumlah adopsi kendaraan listrik pada setiap periode dengan jumlah adopsi kumulatif pada periode sebelumnya.

Model Bass yang digunakan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

$$n(t) = p[m - N(t - 1)] + \frac{q}{m}N(t - 1)[m - N(t - 1)]$$

di mana $n(t)$ adalah jumlah adopsi pada periode ke- t , $N(t - 1)$ adalah adopsi kumulatif sampai periode sebelumnya, p adalah koefisien inovasi, q adalah koefisien imitasi, dan m adalah potensi pasar maksimum.

Persamaan tersebut menjadi dasar dalam proses estimasi parameter dan digunakan untuk memperoleh nilai p , q , dan m yang selanjutnya dianalisis pada subbab berikutnya.

4.2.2 Nilai Parameter Bass Diffusion Model

Berdasarkan hasil pengolahan data historis penjualan mobil listrik menggunakan Bass Diffusion Model, diperoleh nilai koefisien inovasi (p), koefisien imitasi (q), dan potensi pasar maksimum (M) sebagaimana disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Nilai Parameter Bass Diffusion Model

Parameter	Nilai	StdError
p	0,001	0,000665662
q	1,00	fixed
M	333832	45007,03

Estimasi parameter dilakukan dengan menyesuaikan model Bass terhadap data aktual penjualan mobil listrik menggunakan pendekatan nonlinier *least squares* pada Microsoft Excel. Nilai parameter yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis prediksi pertumbuhan dan pembahasan pola difusi kendaraan listrik. Nilai parameter q hasil estimasi awal sebesar 1,17 berada di luar batas teoritis Bass Diffusion Model. Oleh karena itu, nilai q direstriksi (dibatasi) menjadi 1 menggunakan Excel Solver untuk menjaga konsistensi model dengan teori. Parameter q ditetapkan sebagai nilai tetap sehingga tidak memiliki standar error, sedangkan parameter lainnya tetap diestimasi secara normal.

4.3 Hasil Prediksi Pertumbuhan Mobil Listrik

Berdasarkan nilai parameter Bass Diffusion Model yang telah diperoleh pada subbab sebelumnya, maka selanjutnya dilakukan simulasi untuk memprediksi pertumbuhan penjualan mobil listrik di Indonesia. Prediksi ini bertujuan untuk menggambarkan kecenderungan perkembangan mobil listrik dalam jangka panjang serta mengidentifikasi pola adopsi yang terbentuk berdasarkan mekanisme inovasi dan imitasi. Hasil prediksi ini digunakan untuk menjawab rumusan masalah penelitian terkait arah dan fase pertumbuhan kendaraan mobil listrik di Indonesia.

4.3.1 Dasar Prediksi Pertumbuhan Mobil Listrik

Prediksi pertumbuhan mobil listrik dilakukan menggunakan Bass Diffusion Model dengan parameter koefisien inovasi (p), koefisien imitasi (q), dan potensi pasar maksimum (m) yang telah diperoleh pada subbab estimasi parameter sebelumnya. Model ini digunakan untuk memproyeksikan perkembangan jumlah

mobil listrik berdasarkan mekanisme adopsi inovasi dan pengaruh sosial antar pengguna.

Periode prediksi ditetapkan mulai dari tahun 2019 hingga 2040. Rentang waktu tersebut dipilih untuk memberikan gambaran jangka panjang mengenai pola pertumbuhan mobil listrik, mulai dari tahap awal adopsi hingga mendekati kondisi kejenuhan pasar.

Pada periode awal prediksi, pertumbuhan diperkirakan masih relatif lambat karena adopsi kendaraan mobil listrik masih didominasi oleh kelompok pengguna awal. Selanjutnya, pertumbuhan diproyeksikan meningkat secara signifikan pada periode menengah seiring dengan semakin kuatnya pengaruh imitasi dalam proses adopsi, sebagaimana direpresentasikan oleh nilai koefisien imitasi (q) pada Bass Diffusion Model. Pada periode akhir, laju pertumbuhan diprediksi mulai melambat karena jumlah kendaraan listrik mendekati potensi pasar maksimum (m), yang menandakan kondisi pasar mulai jenuh.

Dengan demikian, deskripsi prediksi pertumbuhan mobil listrik pada subbab ini memberikan pemahaman awal mengenai pola pertumbuhan yang dihasilkan oleh Bass Diffusion Model. Uraian ini menjadi dasar untuk analisis lebih lanjut pada subbab berikutnya, khususnya dalam pembahasan hasil prediksi secara kuantitatif dan visual melalui grafik maupun tabel

4.3.2 Tabel Hasil Prediksi Pertumbuhan Mobil Listrik

Tabel 4. 3 Hasil Prediksi Pertumbuhan Mobil Listrik Menggunakan Bass Diffusion Model

Year	Model_Cumulative	Model_Yearly_Sales
2019	594,0	594,0
2020	2199,51	1605,56
2021	6491,08	4291,6
2022	17625,7	11134,59
2023	44413,90	26788,24
2024	98633,15	54219,25
2025	178047,2	79414,08

Year	Model_Cumulative	Model_Yearly_Sales
2026	252642,11	74594,88
2027	298577,31	45935,21
2028	319949,64	21372,33
2029	328592,59	8642,95
2030	331887,25	3294,65
2031	333114,67	1227,42
2032	333568,03	453,4
2033	333734,95	166,92
2034	333796,33	61,38
2035	333818,90	22,56
2036	333827,19	8,3
2037	333830,24	3,05
2038	333831,36	1,12
2039	333832	0,41
2040	333832	0

Tabel di atas menunjukkan hasil perhitungan prediksi pertumbuhan kendaraan listrik berdasarkan Bass Diffusion Model untuk periode tahun 2019–2040. Tabel ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu Model Cumulative dan Model Yearly Sales.

Kolom Model Cumulative menggambarkan jumlah akumulasi kendaraan listrik yang teradopsi hingga tahun tertentu, sedangkan kolom Model Yearly Sales menunjukkan penambahan kendaraan listrik baru setiap tahun.

Pada fase awal, yaitu periode 2019–2021, jumlah adopsi kendaraan Mobil listrik masih relatif rendah. Hal ini terlihat dari nilai penjualan tahunan yang masih kecil, yaitu sebesar 655,9 unit pada tahun 2019 dan meningkat menjadi 6.575,6 unit pada tahun 2021. Kondisi ini mencerminkan fase innovators, di mana adopsi masih didorong oleh konsumen awal dan belum terjadi penetrasi pasar yang signifikan.

Memasuki periode 2022–2025, terjadi peningkatan yang sangat pesat pada penjualan tahunan. Puncak penjualan terjadi pada tahun 2025 dengan nilai 88.111,97 unit per tahun. Peningkatan ini menunjukkan fase growth (*take-off*) dalam Bass Diffusion Model, di mana pengaruh imitasi mulai dominan dan adopsi kendaraan listrik menyebar luas di masyarakat. Dampaknya, jumlah kumulatif kendaraan listrik meningkat drastis dari 28.841,7 unit pada tahun 2022 menjadi 254.170,8 unit pada tahun 2025.

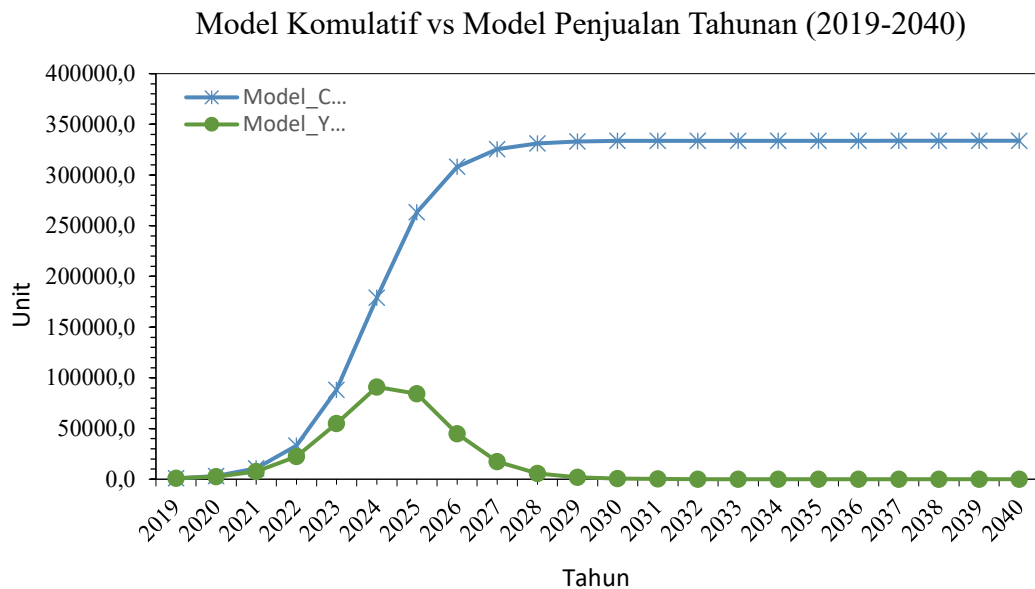
Setelah mencapai puncak, yaitu pada periode 2026–2029, penjualan tahunan mulai mengalami penurunan secara bertahap. Hal ini mengindikasikan bahwa pasar mulai mendekati kondisi jenuh (*market saturation*). Pada tahun 2026, penjualan tahunan turun menjadi 50.068,67 unit, dan terus menurun hingga 2.131,09 unit pada tahun 2029. Meskipun demikian, jumlah kumulatif masih terus bertambah, namun dengan laju pertumbuhan yang semakin lambat.

Pada periode akhir, yaitu 2030–2040, penjualan tahunan kendaraan listrik sangat kecil dan mendekati nol. Pada tahun 2040, nilai Model Yearly Sales mencapai 0 unit, yang menandakan bahwa pasar telah sepenuhnya jenuh. Jumlah kumulatif kendaraan listrik pada kondisi ini stabil di angka sekitar 333.832 unit, yang merepresentasikan potensi pasar maksimum (*market potential*) sesuai dengan estimasi parameter Bass Diffusion Model.

Secara keseluruhan, hasil prediksi ini menunjukkan bahwa adopsi kendaraan listrik mengikuti pola kurva S (*S-curve*) yang khas pada Bass Diffusion Model, dimulai dari fase pengenalan, pertumbuhan cepat, hingga akhirnya mencapai kejenuhan pasar. Pola ini menegaskan bahwa proses difusi kendaraan listrik berlangsung secara bertahap dan dipengaruhi oleh kombinasi faktor inovasi serta imitasi di dalam masyarakat.

Pada tahap awal, laju adopsi relatif lambat karena keterbatasan informasi, infrastruktur pendukung, serta tingkat penerimaan masyarakat yang masih rendah. Namun, seiring meningkatnya peran efek imitasi—yang tercermin dari interaksi sosial dan pengaruh pengguna awal—laju adopsi mengalami percepatan hingga mencapai titik puncak, sebelum akhirnya melambat kembali ketika sebagian besar potensi pasar telah teradopsi.

4.3.3 Grafik Prediksi Pertumbuhan Mobil Listrik Berdasarkan Bass Diffusion Model



Gambar 4. 2 Grafik Prediksi Pertumbuhan Mobil Listrik Tahun 2019–2040

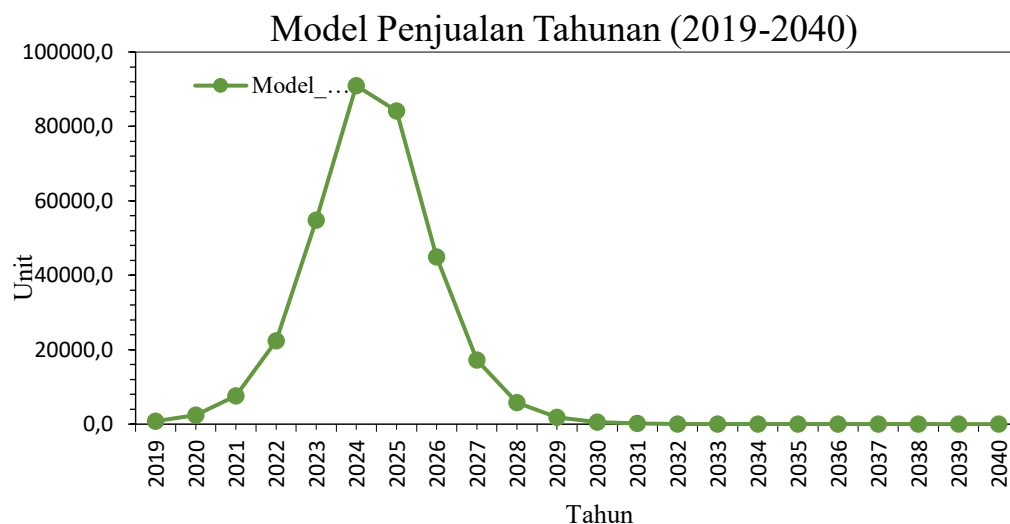
Grafik menunjukkan hasil pemodelan pertumbuhan kendaraan listrik menggunakan Bass Diffusion Model yang terdiri dari kurva Model Cumulative dan Model Yearly Sales pada periode 2019–2040. Kurva Model *Cumulative* memperlihatkan pertumbuhan kumulatif kendaraan listrik yang awalnya meningkat lambat pada periode 2019–2022, kemudian mengalami peningkatan tajam pada tahun 2023–2026. Setelah tahun 2027, pertumbuhan mulai melandai yang menandakan pasar mendekati titik kejenuhan.

Kurva Model Yearly Sales menggambarkan penjualan tahunan kendaraan listrik yang meningkat hingga mencapai puncak sekitar tahun 2024–2025, kemudian menurun pada tahun-tahun berikutnya. Penurunan ini menunjukkan bahwa sebagian besar pasar potensial telah teradopsi.

Secara keseluruhan, pola grafik mencerminkan karakteristik *Bass Diffusion* Model, yaitu pertumbuhan lambat pada tahap awal, diikuti pertumbuhan cepat, dan selanjutnya melambat seiring tercapainya kejenuhan pasar.

Pola pertumbuhan tersebut dapat dilihat lebih jelas melalui grafik penjualan tahunan yang ditampilkan pada grafik bell-shaped dan Kurva-S di bawah ini:

Kurva Bell-Shaped



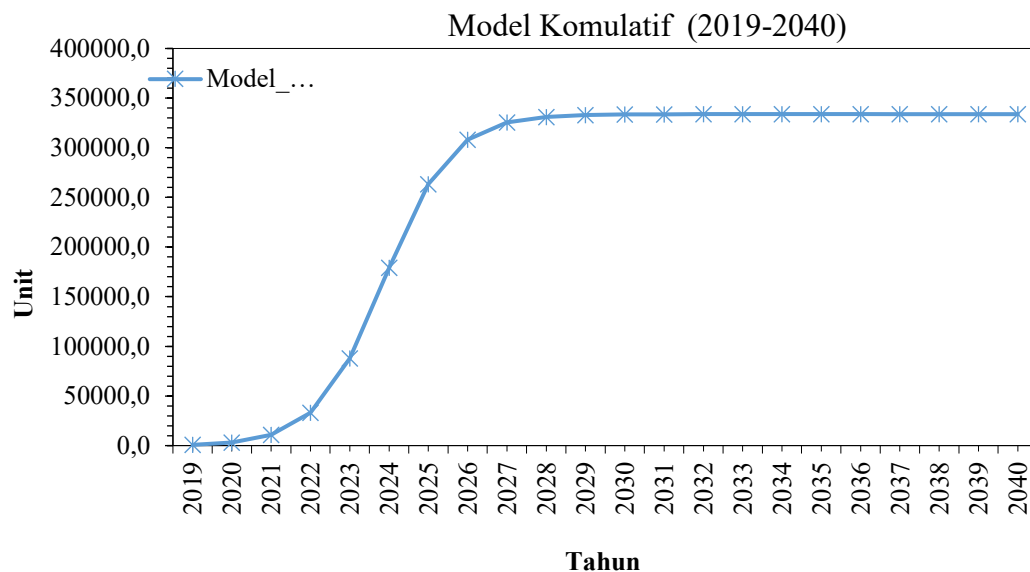
Gambar 4. 3 Model Penjualan Tahunan 2019-2040

Grafik bell-shaped menggambarkan penjualan tahunan kendaraan listrik yang meningkat hingga mencapai titik puncak, kemudian menurun seiring dengan menurunnya jumlah adopter baru akibat kejenuhan pasar,

Pola: **naik** → **puncak** → **turun**

Puncak pada grafik *bell-shaped* terjadi saat laju adopsi mencapai nilai maksimum, sedangkan penurunan setelahnya menunjukkan bahwa pasar mulai mengalami kejenuhan. Grafik ini digunakan untuk menganalisis dinamika penjualan tahunan kendaraan listrik. Pola ini mencerminkan transisi dari fase pertumbuhan cepat menuju fase kedewasaan pasar, di mana peningkatan jumlah pengguna baru mulai melambat. Dengan demikian, grafik bell-shaped tidak hanya menggambarkan tingkat adopsi dari waktu ke waktu, tetapi juga memberikan gambaran mengenai perubahan perilaku pasar serta potensi keterbatasan pertumbuhan di masa mendatang.

Kurva-S



Gambar 4. 4 Model Komulatif 2019-2040

Grafik ini menunjukkan akumulasi adopsi kendaraan listrik yang terus meningkat dari waktu ke waktu hingga mendekati tingkat kejenuhan pasar

Pola: **lambat** → **cepat** → **mendatar**

Tidak pernah turun (bersifat akumulatif), mendekati potensi pasar maksimum (m), digunakan untuk melihat tingkat penetrasi pasar,

Dengan demikian Grafik bell-shaped menunjukkan pola penjualan tahunan kendaraan listrik yang meningkat hingga mencapai titik puncak, kemudian menurun seiring dengan berkurangnya potensi pasar. Sementara itu, grafik kurva-S menunjukkan jumlah adopsi kumulatif yang terus meningkat dari waktu ke waktu hingga mendekati tingkat kejenuhan pasar. Dengan demikian, bell-shaped menggambarkan laju penjualan per tahun, sedangkan kurva-S menggambarkan total adopsi kendaraan listrik.”

4.3.4 Analisis Pola dan Fase Pertumbuhan Mobil Listrik

Berdasarkan hasil prediksi dan grafik pertumbuhan, pola pertumbuhan mobil listrik dapat dibagi ke dalam tiga fase utama, yaitu fase pengenalan (innovation

phase), fase pertumbuhan cepat (growth/ expansion phase), dan fase kejenuhan pasar (maturity/ saturation phase):

1. Fase awal adopsi (2019–2023)

Pada fase ini, pertumbuhan mobil listrik masih relatif rendah. Adopsi didominasi oleh konsumen yang tertarik terhadap inovasi, yang dipengaruhi oleh kebijakan awal pemerintah, insentif, dan meningkatnya kesadaran terhadap isu lingkungan.

2. Fase percepatan pertumbuhan (sekitar 2023–2027)

Pada fase ini, penjualan mobil listrik meningkat secara signifikan sebagai akibat dari semakin kuatnya pengaruh imitasi dalam proses adopsi. Hal ini menunjukkan bahwa kendaraan mobil listrik tidak lagi hanya diadopsi oleh pengguna awal, tetapi telah mulai diterima oleh segmen pasar yang lebih luas.

3. Fase kejenuhan pasar (setelah 2035-2040)

Pada fase ini, laju pertumbuhan penjualan tahunan mulai menurun. Jumlah kumulatif kendaraan listrik mendekati potensi pasar maksimum, sehingga pasar berada pada kondisi jenuh.

Pola pertumbuhan yang terbentuk sejalan dengan hasil estimasi parameter Bass Diffusion Model, di mana nilai koefisien imitasi (q) yang lebih besar dibandingkan koefisien inovasi (p) mendorong percepatan adopsi pada fase pertumbuhan.

4.4 Validasi Model Bass Diffusion

Validasi model *Bass Diffusion* dilakukan untuk menilai tingkat kesesuaian antara hasil prediksi model dengan data aktual penjualan kendaraan mobil listrik. Validasi dilakukan menggunakan dua metrik utama, yaitu Root Mean Square Error (RMSE) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Kedua metrik ini digunakan untuk mengevaluasi tingkat kesalahan prediksi baik pada data penjualan tahunan (*Yearly*) maupun data kumulatif (*Cumulative*).

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan RMSE dan MAPE

Jenis Prediksi	RMSE	MAPE (%)
Yearly	10.739,19	50%
Cumulative	6.204,38	45,09

Hasil validasi menunjukkan bahwa prediksi tahunan menghasilkan nilai MAPE sebesar 50,19% dan RMSE sebesar 10.739,19, sedangkan prediksi kumulatif menghasilkan nilai MAPE sebesar 45,09% dan RMSE sebesar 6.204,38. Nilai RMSE yang lebih rendah pada prediksi kumulatif menunjukkan bahwa Bass Diffusion Model lebih stabil dalam merepresentasikan pertumbuhan total kendaraan listrik dibandingkan prediksi tahunan.

Tingginya nilai kesalahan pada prediksi tahunan disebabkan oleh fluktuasi penjualan kendaraan mobil listrik yang cukup besar, terutama pada fase awal adopsi teknologi. Secara teoritis, *Bass Diffusion* Model lebih sesuai digunakan untuk menangkap pola adopsi dan kecenderungan pertumbuhan jangka panjang dibandingkan variasi penjualan tahunan yang bersifat fluktuatif.

Selain itu, keterbatasan jumlah data historis juga memengaruhi tingkat ketelitian estimasi parameter, sehingga berdampak pada besarnya nilai MAPE dan RMSE pada prediksi tahunan. Sebaliknya, pada prediksi kumulatif, sifat akumulasi data mampu meredam fluktuasi tahunan sehingga menghasilkan tingkat kesalahan yang relatif lebih rendah.

Dengan demikian, meskipun nilai MAPE dan RMSE pada prediksi tahunan relatif cukup besar, *Bass Diffusion* Model tetap relevan dan layak digunakan dalam penelitian ini karena mampu merepresentasikan pola dan tren pertumbuhan kendaraan mobil listrik secara keseluruhan sesuai dengan tujuan analisis jangka panjang.

4.5 Diskusi Hasil Penelitian

Subbab ini membahas hasil penelitian secara komprehensif dengan mengaitkan hasil estimasi parameter, prediksi pertumbuhan, dan validasi model

Bass Diffusion terhadap rumusan masalah penelitian. Diskusi ini bertujuan untuk memberikan pemaknaan atas hasil yang diperoleh serta menjelaskan implikasinya terhadap proses adopsi kendaraan mobil listrik di Indonesia.

4.5.1 Diskusi Karakteristik Parameter Bass Diffusion Model

Berdasarkan hasil estimasi parameter *Bass Diffusion Model*, diperoleh nilai koefisien inovasi (p) yang relatif kecil dan koefisien imitasi (q) yang lebih besar. Temuan ini menjawab rumusan masalah pertama penelitian, yaitu terkait karakteristik adopsi kendaraan mobil listrik di Indonesia. Nilai p yang kecil menunjukkan bahwa adopsi awal kendaraan mobil listrik masih terbatas dan tidak sepenuhnya didorong oleh faktor inovasi eksternal. Sebaliknya, nilai q yang lebih besar mengindikasikan bahwa proses adopsi lebih banyak dipengaruhi oleh faktor imitasi atau pengaruh sosial antar pengguna.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa keputusan masyarakat untuk mengadopsi kendaraan mobil listrik cenderung dipengaruhi oleh pengalaman dan penggunaan kendaraan listrik oleh pihak lain. Dengan demikian, hasil ini menegaskan bahwa proses difusi kendaraan mobil listrik di Indonesia lebih didominasi oleh mekanisme imitasi dibandingkan inovasi awal, yang merupakan karakteristik umum pada adopsi teknologi baru di pasar berkembang.

Parameter potensi pasar maksimum (m) memberikan gambaran mengenai batas atas jumlah kendaraan mobil listrik yang berpotensi teradopsi. Nilai ini merepresentasikan kapasitas pasar jangka panjang berdasarkan pola difusi yang terbentuk dari data historis, sehingga menjawab aspek terkait sejauh mana pasar kendaraan mobil listrik dapat berkembang.

4.5.2 Diskusi Pola Pertumbuhan dan Prediksi Kendaraan Mobil Listrik

Hasil prediksi pertumbuhan kendaraan mobil listrik menunjukkan bahwa proses adopsi membentuk pola kurva S (*S-curve*), yang merupakan karakteristik utama *Bass Diffusion Model*. Temuan ini menjawab rumusan masalah kedua penelitian, yaitu mengenai pola pertumbuhan kendaraan mobil listrik di Indonesia dalam jangka panjang. Pada tahap awal, pertumbuhan relatif lambat karena adopsi masih terbatas pada kelompok pengguna awal. Selanjutnya, pertumbuhan

meningkat secara signifikan pada fase pertumbuhan ketika pengaruh imitasi semakin kuat, sebelum akhirnya melambat saat pasar mendekati kondisi jenuh.

Pola pertumbuhan tersebut menunjukkan bahwa adopsi kendaraan mobil listrik berlangsung secara bertahap dan mengikuti mekanisme difusi inovasi yang umum. Dengan demikian, hasil prediksi tidak hanya memberikan gambaran kuantitatif mengenai peningkatan jumlah kendaraan, tetapi juga menjelaskan dinamika proses adopsi yang terjadi di masyarakat dari waktu ke waktu.

4.5.3 Diskusi Kesesuaian Model Terhadap Data Aktual

Hasil validasi model menunjukkan bahwa tingkat kesalahan prediksi tahunan relatif lebih besar dibandingkan prediksi kumulatif. Temuan ini menjawab rumusan masalah ketiga penelitian, yaitu terkait kemampuan *Bass Diffusion Model* dalam merepresentasikan data aktual penjualan kendaraan mobil listrik. Perbedaan tingkat kesalahan tersebut menunjukkan bahwa model *Bass* lebih sesuai digunakan untuk menganalisis tren pertumbuhan jangka panjang dibandingkan fluktuasi penjualan tahunan yang bersifat dinamis.

Meskipun nilai MAPE dan RMSE pada prediksi tahunan relatif cukup besar, model tetap mampu menangkap pola pertumbuhan kumulatif kendaraan mobil listrik secara konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa *Bass Diffusion Model* relevan digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis proses difusi dan kecenderungan pertumbuhan kendaraan mobil listrik di Indonesia dalam jangka panjang.

4.5.4 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pola pertumbuhan kendaraan mobil listrik di Indonesia mengikuti karakteristik kurva-S (*S-curve*) sebagaimana dijelaskan dalam teori *Bass Diffusion Model*. Pola ini ditandai dengan fase pertumbuhan awal yang relatif lambat, diikuti oleh fase percepatan pertumbuhan, dan selanjutnya menuju kondisi kejenuhan pasar. Temuan tersebut sejalan dengan berbagai penelitian terdahulu yang menggunakan *Bass Diffusion Model* untuk menganalisis adopsi teknologi baru, khususnya pada sektor transportasi dan energi.

Penelitian terdahulu umumnya menunjukkan bahwa nilai koefisien imitasi (q) lebih besar dibandingkan koefisien inovasi (p), yang mengindikasikan bahwa proses adopsi teknologi lebih banyak dipengaruhi oleh faktor sosial dan interaksi antar pengguna dibandingkan oleh dorongan inovasi awal. Hasil estimasi parameter dalam penelitian ini juga menunjukkan kecenderungan yang sama, di mana nilai q jauh lebih besar dibandingkan nilai p . Hal ini menandakan bahwa adopsi mobil listrik di Indonesia cenderung dipicu oleh meningkatnya jumlah pengguna yang kemudian memengaruhi keputusan masyarakat lain untuk mengadopsi teknologi tersebut.

Selain itu, hasil validasi model dalam penelitian ini menunjukkan bahwa prediksi kumulatif memiliki tingkat kesalahan yang lebih rendah dibandingkan prediksi penjualan tahunan. Temuan ini konsisten dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa *Bass Diffusion Model* lebih efektif digunakan untuk menganalisis pola difusi dan tren pertumbuhan jangka panjang dibandingkan untuk memprediksi fluktuasi penjualan tahunan yang bersifat dinamis. Perbedaan nilai parameter dan tingkat akurasi model yang diperoleh pada penelitian ini dipengaruhi oleh karakteristik data, rentang waktu pengamatan, serta kondisi pasar kendaraan listrik di Indonesia yang masih berada pada tahap pertumbuhan awal.

Sejumlah penelitian terdahulu juga menggunakan *Bass Diffusion Model* dalam konteks adopsi teknologi kendaraan listrik dan inovasi lainnya. Sebagai contoh, model Bass telah diterapkan untuk menganalisis difusi kendaraan listrik di pasar Uni Eropa, yang memberikan gambaran mengenai potensi adopsi kendaraan listrik pada skala regional melalui asumsi tertentu terhadap ukuran pasar. Selain itu, modifikasi terhadap *Bass Diffusion Model* yang mempertimbangkan faktor eksternal seperti kebijakan insentif juga telah diteliti dalam studi kasus di Brasil, yang menunjukkan bahwa faktor kebijakan dapat memengaruhi kecepatan dan pola adopsi kendaraan listrik. Secara umum, *Bass Diffusion Model* yang diperkenalkan oleh Bass (1969) telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian adopsi teknologi karena kemampuannya dalam menggambarkan proses difusi inovasi secara sistematis.

Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya konsisten dengan temuan penelitian terdahulu, tetapi juga memperkuat bahwa *Bass Diffusion Model* relevan digunakan untuk menganalisis dan memprediksi pertumbuhan kendaraan listrik di Indonesia, khususnya dalam menggambarkan pola adopsi dan potensi kejenuhan pasar dalam jangka panjang.

4.6 Hasil dan Pembahasan

Hasil prediksi pertumbuhan kendaraan listrik menggunakan BDM menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan jumlah adopsi dari waktu ke waktu. Peningkatan ini terjadi karena masyarakat semakin tertarik menggunakan kendaraan listrik yang di nilai lebih ramah lingkungan serta didukung oleh berbagai kebijakan pemerintah, seperti insentif pajak dan kemudahan regulasi dibandingkan kendaraan konvensional. (Zambrano-Gutiérrez, 2018).

Namun, hasil prediksi tersebut tidak dapat diartikan bahwa adopsi kendaraan listrik akan selalu meningkat secara terus-menerus. Dalam kondisi nyata, keputusan masyarakat untuk mengadopsi kendaraan listrik sangat dipengaruhi oleh kebijakan pemerintah yang berlaku. Apabila di masa mendatang terjadi perubahan undang-undang atau peraturan, seperti pengurangan insentif pajak atau kebijakan baru yang kembali menguntungkan kendaraan konvensional, maka minat masyarakat terhadap kendaraan listrik dapat menurun.

Penurunan yang dimaksud dalam penelitian ini bukan berarti jumlah pengguna kendaraan listrik berkurang secara keseluruhan, melainkan terjadinya perlambatan atau penurunan laju adopsi tahunan. Kondisi ini dapat terjadi ketika faktor pendukung adopsi melemah atau ketika persepsi masyarakat berubah akibat perubahan kebijakan dan kondisi ekonomi.

Oleh karena itu, hasil prediksi BDM dalam penelitian ini perlu dipahami sebagai gambaran tren adopsi berdasarkan kondisi historis dan asumsi kebijakan yang relatif stabil. Dengan mempertimbangkan faktor eksternal tersebut, pembahasan ini menegaskan bahwa adopsi kendaraan listrik bersifat dinamis dan dapat mengalami peningkatan maupun penurunan seiring dengan perubahan kebijakan pemerintahan dan kondisi lingkungan di masa mendatang.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada Bab IV, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perkembangan penjualan mobil listrik di Indonesia pada periode 2019–2025 menunjukkan tren peningkatan yang signifikan. Pada tahap awal, penjualan masih relatif rendah yang menandakan bahwa mobil listrik berada pada fase pengenalan. Namun, dalam beberapa tahun terakhir terjadi lonjakan penjualan yang cukup tajam, yang menunjukkan bahwa pasar mobil listrik di Indonesia telah memasuki fase pertumbuhan.
2. Berdasarkan hasil estimasi *Bass Diffusion Model*, diperoleh nilai koefisien inovasi (p) sebesar 0,001, koefisien imitasi (q) sebesar 1, serta potensi pasar maksimum (m) sebesar 333.832 unit. Nilai q yang jauh lebih besar dibandingkan p menunjukkan bahwa proses adopsi kendaraan listrik di Indonesia lebih dominan dipengaruhi oleh faktor imitasi atau pengaruh sosial dibandingkan inovasi awal. Hal ini menunjukkan bahwa keputusan masyarakat dalam mengadopsi kendaraan listrik cenderung dipicu oleh pengalaman, rekomendasi, dan penggunaan kendaraan listrik oleh pengguna sebelumnya.
3. Hasil prediksi pertumbuhan kendaraan listrik untuk periode 2026–2040 menunjukkan peningkatan yang sangat signifikan dibandingkan data aktual, di mana jumlah kendaraan listrik kumulatif meningkat dari sekitar 95.987 unit pada tahun 2025 menjadi 333.832 unit pada tahun 2040, atau mengalami peningkatan sebesar 247,7%. Pola pertumbuhan yang terbentuk mengikuti karakteristik kurva-S (*S-curve*), yaitu pertumbuhan lambat pada fase awal, pertumbuhan pesat pada fase pertengahan, dan melambat kembali ketika mendekati kondisi kejenuhan pasar. Secara keseluruhan, *Bass Diffusion*

Model mampu menggambarkan pola pertumbuhan dan adopsi mobil listrik di Indonesia dengan baik, sehingga layak digunakan sebagai alat analisis untuk memprediksi perkembangan adopsi kendaraan listrik di masa mendatang.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan data historis dengan rentang waktu yang lebih panjang agar pola difusi kendaraan listrik dapat tergambarkan secara lebih akurat. Selain itu, penelitian ke depan dapat memasukkan variabel tambahan seperti kebijakan pemerintah, harga kendaraan, dan ketersediaan infrastruktur pengisian daya, serta mempertimbangkan penggunaan atau perbandingan dengan model prediksi lain guna meningkatkan ketepatan hasil analisis.
2. Saran untuk Pemerintah diharapkan dapat memanfaatkan hasil penelitian ini sebagai bahan pertimbangan dalam perumusan kebijakan pengembangan kendaraan listrik di Indonesia. Penguatan insentif, percepatan pembangunan infrastruktur pengisian daya, serta kebijakan yang konsisten dan berkelanjutan menjadi faktor penting untuk mendorong percepatan adopsi kendaraan listrik di masyarakat.
3. Saran untuk Industri dan Pemangku Kepentingan Industri otomotif dan pemangku kepentingan terkait diharapkan dapat menggunakan hasil prediksi pertumbuhan kendaraan listrik sebagai dasar dalam perencanaan produksi, pengembangan teknologi, dan strategi pemasaran. Kolaborasi antara industri, pemerintah, dan penyedia infrastruktur juga perlu ditingkatkan guna menciptakan ekosistem kendaraan listrik yang mendukung pertumbuhan pasar secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Z., Keeley, A. R., Coulibaly, T. Y., & Managi, S. (2024). The impact of fuel cell vehicles deployment on road transport greenhouse gas emissions through 2050: Evidence from 15 G20 countries. *Journal of Environmental Management*, 370. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122660>
- Adiatma, J. C. (2020). *A Transition Towards Low Carbon Transportation 2 A Transition Towards Low Carbon Transport In Indonesia: A Technological Perspective Imprint A transition towards low carbon transport in Indonesia: a technological perspective*
- Aditya, A., Ekonomi, M. T.-J. A. K., & 2024, undefined. (2024). Kebijakan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (KBLBB) dalam Transisi Energi di Indonesia. *Researchgate.Net*. https://www.researchgate.net/profile/Angga-Putra-Aditya/publication/377116565_Kebijakan_Kendaraan_Bermotor_Listrik_Berbasis_Baterai_KBLBB_dalam_Transisi_Energi_di_Indonesia/links/65966a083c472d2e8eb0a771/Kebijakan-Kendaraan-Bermotor-Listrik-Berbasis-Baterai-KBLBB-dalam-Transisi-Energi-di-Indonesia.pdf
- Albuquerque, F. D. B., Maraqa, M. A., Chowdhury, R., Mauga, T., & Alzard, M. (2020). Greenhouse gas emissions associated with road transport projects: Current status, benchmarking, and assessment tools. *Transportation Research Procedia*, 48, 2018–2030. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.261>
- Ayyadi, S., ... M. M. E. on E. A. P., & 2018, undefined. (2018). Diffusion models for predicting electric vehicles market in Morocco. *Ieeexplore.Ieee.OrgS Ayyadi, M Maaroufi2018 International Conference and Exposition on Electrical And, 2018•ieeexplore.Ieee.Org*.
- Bitencourt, L., Abud, T., Santos, R., Energies, B. B.-, & 2021, undefined. (2021). Bass diffusion model adaptation considering public policies to improve electric vehicle sales—a Brazilian case study. *Mdpi.ComL Bitencourt, T Abud, R Santos, B BorbaEnergies, 2021•mdpi.Com*.

- Dewi Kania, D., Arubusman, D. A., & Sari, M. (2021). Sektor Penerbangan Global Dalam Isu Perubahan Iklim: Dampak dan Mitigasinya. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTRANSLOG)*.
- Ekonomika, V. S.-J. P., & 2020, undefined. (2020). Kajian pengembangan kendaraan listrik di Indonesia: prospek dan hambatannya. *Online-Journal.Unja.Ac. IdVTP SidabutarJurnal Paradigma Ekonomika, 2020•online-Journal.Unja.Ac.Id*.
- Hodson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. In *Geoscientific Model Development* (Vol. 15, Number 14, pp. 5481–5487). Copernicus GmbH.
- Hutagaol, J., Setiawan, D., Teknik, H. E.-J., & 2022, undefined. (2022). Perancangan Sistem Monitoring Kendaraan Listrik. *Journal.Unilak.Ac. IdJV Hutagaol, D Setiawan, H EteruddinJurnal Teknik, 2022•journal. Unilak.Ac. Id,16(1),96–102*.
<https://journal.unilak.ac.id/index.php/teknik/article/view/9640>
- IESR, 2023. (2023). *ICLEI Indonesia and IESR discuss the role of energy planning in Indonesia – 100% Renewables*. ICLEI Indonesia and IESR Discuss the Role of Energy Planning in Indonesia.
- Kumar, A., Shankar Professor, R., & Momaya Professor Shailesh J, K. S. (2015). *The Bass Diffusion Model does not explain diffusion*.
- Massiani, J., & Gohs, A. (2015). The choice of Bass model coefficients to forecast diffusion for innovative products: An empirical investigation for new automotive technologies. *Research in Transportation Economics*, 50, 17–28.
- Muhamad Lucky Souma, Indah Permata Hakim, Rizki, R. N., Nur Lailatul Fitriani, & Mushawir Mushawir. (2025). Dampak Electric Vehicle Terhadap Lingkungan Dan Ekonomi Berkelanjutan. *Jurnal Ekonomi Bisnis Dan Kewirausahaan*, 2(4), 12–18. <https://doi.org/10.69714/03cm9274>
- Myttenaere, A. De, Golden, B., Grand, B. Le, Neurocomputing, F. R.-, & 2016, undefined. (2016). Mean absolute percentage error for regression models. *ElsevierA De Myttenaere, B Golden, B Le Grand, F RossiNeurocomputing, 2016•Elsevier*.

- Nur, A., & Kurniawan, A. (2021). *Proyeksi Masa Depan Kendaraan Listrik di Indonesia: Analisis Perspektif Regulasi dan Pengendalian Dampak Perubahan Iklim yang Berkelanjutan*.
- Publik, M. B.-J. P. K. D. O., & 2019, undefined. (2019). Adoption of innovation online transportation application in post-millennial generation in Pekanbaru City. *Jkd.Komdigi.Go.IdM BadriJurnal Penelitian Komunikasi Dan Opini Publik*, 2019•*jkd.Komdigi.Go.Id*, Direvisi, 30–41.
- Tilly, N., Yigitcanlar, T., Degirmenci, K., & Paz, A. (2024). How sustainable is electric vehicle adoption? Insights from a PRISMA review. In *Sustainable Cities and Society* (Vol. 117). Elsevier Ltd.
- Wiyono, Y., ... A. R., & 2018, undefined. (2018). Sistem Transmisi Otomatis Dengan Metode Continuously Variable Transmission Pada Mobil Listrik. *..Telkomuniversity.Ac.IdYPA Wiyono, A Rusdinar, PD WibawaeProceedings of Engineering, 2018•Telkomuniversity.Ac.Id*.
- WRI Indonesia, 2022. (2022). *Peta Jalan Indonesia Menuju Emisi Nol Bersih: Menghitung Emisi Transportasi Darat sebagai Fondasi Kebijakan Transportasi yang Berkelanjutan* | WRI Indonesia. WRI Indonesia, 2022.
- Yulanto, D. M., & Iskandar, H. (2021). Studi Analisis Perkembangan Teknologi Kendaraan Listrik Hibrida. In *Journal of Automotive Technology* (Vol. 02, Number 1). <https://journal.upy.ac.id/index.php/jatve/index>

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN

Lampiran ini menyajikan tahapan perhitungan yang digunakan dalam penelitian prediksi pertumbuhan kendaraan listrik menggunakan Bass Diffusion Model. Perhitungan tidak dilakukan secara manual penuh, melainkan dengan bantuan perangkat lunak Excel dan Python, mengingat model Bass bersifat nonlinier. Lampiran ini bertujuan untuk menjelaskan dasar matematis, alur perhitungan, serta contoh perhitungan numerik sebagai ilustrasi pemahaman model.

A.1 Persamaan Dasar Bass Diffusion Model

Model Bass dirumuskan sebagai berikut:

$$n(t) = p[m - N(t - 1)] + \frac{q}{m} N(t - 1)[m - N(t - 1)]$$

Keterangan:

- $Y(t)$: jumlah adopsi/penjualan pada periode ke- t
- $N(t-1)$: jumlah adopsi kumulatif hingga periode sebelumnya
- p : koefisien inovasi
- q : koefisien imitasi
- m : potensi pasar maksimum

A.2 Transformasi Model untuk Estimasi Parameter

Persamaan Bass dapat ditransformasikan ke bentuk regresi kuadrat sebagai berikut:

$$Y(t) = pm + (q - p) N(t-1) - (q/m) N(t-1)^2$$

Bentuk ini memungkinkan estimasi parameter p , q , dan m dilakukan menggunakan metode regresi nonlinier dengan bantuan perangkat lunak.

A.3 Hasil Estimasi Parameter Bass Diffusion Model

Parameter	Value	StdError
p	0,001	0,000665662
q	1,00	0,179432302
M	333832	45007,02556

Parameter hasil estimasi tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses prediksi pertumbuhan kendaraan listrik.

A.4 Perhitungan Prediksi Satu Periode (Ilustratif)

A.4.1 Perhitungan (Model_Cumulative tahun ke-2)

Sebagai ilustrasi, digunakan data penjualan Model kumulatif untuk tahun 2020 $\rightarrow t = 2$ yaitu nilai 2751,54. Ini dihitung menggunakan rumus Bass Cumulative:

$$N(t) = M \cdot \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p}e^{-(p+q)t}}$$

- Langkah 1 hitung $(p + q)$
 $= p+q = 0.00103667+1,00 = 1,00103667$
- Langkah 2 hitung eksponensial menggunakan rumus
 $e^{-(p+q)t}$
 $e^{-1.00103667 \times 2}$
 $e^{-2,00207334}$
 $= 0,135$
- Langkah 3 hitung q/p
 $\frac{q}{p} = \frac{1,00}{0,00103667} = 964,63$
- Langkah 4 Masukkan ke rumus Bass Diffusion Model

$$N_2 = 333832 \cdot \frac{1 - 0.135}{1 + 964,63 \cdot 0,135}$$

Hitung satu per satu baris:

$$\text{Atas} : 1 - 0.096 = 0.865$$

$$\text{Bawah} : 1 + (964,63 \times 0.135) = 131,23$$

$$\text{Rasio} : \frac{0.865}{131,23} = 0.006586$$

$$\text{Final} : N(2) = 333832 \times 0.006586 = 2.199,51$$

A.4.2 Perhitungan (Model Yearly Sales tahun ke 2)

Sebagai ilustrasi, digunakan data penjualan Model Yearly sales untuk tahun 2020 $\rightarrow t = 2$ yaitu nilai 2095.64. Ini dihitung menggunakan rumus:

$$\text{➤ } \text{Model Yearly}(t) = N(t) - N(t - 1)$$

Yaitu:

$$\text{➤ } 1.605,51 = 2.199,51 - 594,00$$

$$\text{➤ } \text{Hasilnya} = 1.605,51$$

Perhitungan ini disajikan sebagai contoh untuk menunjukkan mekanisme kerja model Bass.

A.5 Perhitungan Validasi Model

Validasi model dilakukan menggunakan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dan Root Mean Square Error (RMSE).

A.5.1 Perhitungan Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \times 100\%$$

$$\text{Jumlah: } \sum Y_t Y_t - \hat{Y}_t = 3,512$$

$$\text{➤ } \text{Nilai MAPE}$$

$$MAPE = \frac{1}{7} \times 3,512 \times 100\% = 50\%$$

A.5.2 Perhitungan Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Y_t - \hat{Y}_t)^2}$$

Jumlah kuadrat error:

$$\sum (Y_t - \hat{Y}_t)^2 = 807.310.866$$

➤ Nilai RMSE

$$RMSE = \sqrt{\frac{807.301.866}{7}} = \sqrt{115.330.124} = 10.739,4$$

Nilai MAPE dan RMSE digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan kesalahan prediksi model.

LAMPIRAN B

DATA

B.1 Data Historis Penjualan Kendaraan Listrik di Indonesia

Data penjualan kendaraan listrik di indonesia dari waktu ke waktu menunjukkan peningkatan yang signifikan, mencerminkan percepatan penerimaan teknologi yang didorong oleh dukungan kebijakan dan meningkatkannya kesadaran masyarakat akan kendaraan yang lebih ramah lingkungan.

Tabel B. 1 Data Historis Penjualan Kendaraan Listrik di Indonesia

Year	Observed_Sales
2019	351
2020	1234
2021	3193
2022	15437
2023	69598
2024	70045
2025	95987

B.2 Data Penjualan Kumulatif Kendaraan Listrik

Tabel B. 2 Data Penjualan Kumulatif Kendaraan Listrik

Year	Observed_Sales	Observed_Cumulative
2019	351	351
2020	1234	1585
2021	3193	4778
2022	15437	20215
2023	69598	89813
2024	70045	159858
2025	95987	255845

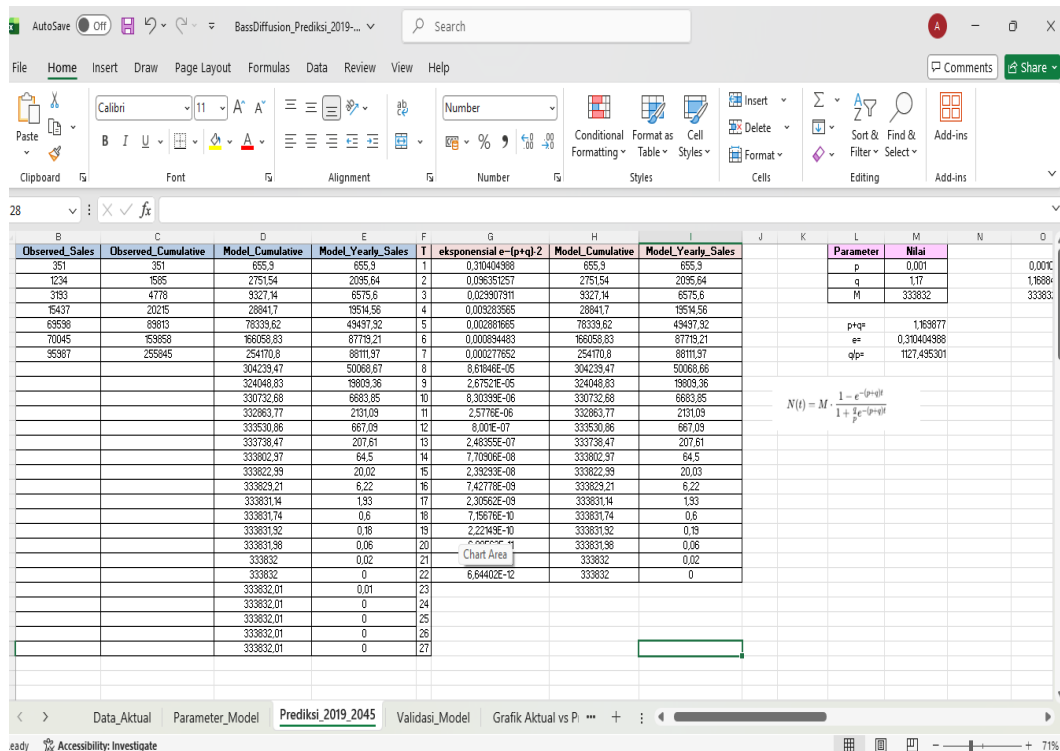
LAMPIRAN C

GAMBAR

Lampiran ini menyajikan dokumentasi proses pengolahan data dan pemodelan yang dilakukan dalam penelitian. Dokumentasi disertakan sebagai bukti pendukung bahwa proses analisis dan prediksi pertumbuhan kendaraan listrik telah dilakukan menggunakan perangkat lunak pengolah data.

C.1 Dokumentasi Pengolahan Data Menggunakan Microsoft Excel

Gambar C.1 menampilkan proses pengolahan data historis penjualan kendaraan listrik di Indonesia menggunakan Microsoft Excel. Tahapan yang dilakukan meliputi input data historis, perhitungan data penjualan kumulatif, serta penyusunan data untuk keperluan estimasi parameter *Bass Diffusion Model*.



Observed_Sales	Observed_Cumulative	Model_Cumulative	Model_Yearly_Sales	T	eksponensial e ^{-(p+q)·T}	Model_Cumulative	Model_Yearly_Sales
351	351	655.9	655.9	1	0.310404988	655.9	655.9
1234	1585	2751.54	2095.64	2	0.096351257	2751.54	2095.64
3183	4778	3327.14	6575.6	3	0.02907911	3327.14	6575.6
15437	20215	28841.7	19514.56	4	0.009283565	28841.7	19514.56
69598	89813	78339.62	49497.32	5	0.002881665	78339.62	49497.32
70045	159658	166058.83	87719.21	6	0.000894483	166058.83	87719.21
95987	255845	254170.8	88111.97	7	0.000277652	254170.8	88111.97
		304239.47	50068.67	8	8.61646E-05	304239.47	50068.66
		324048.83	19809.36	9	2.6752E-05	324048.83	19809.36
		330732.68	6883.85	10	8.30389E-06	330732.68	6883.85
		332863.77	2191.09	11	2.5776E-06	332863.77	2191.09
		333530.86	687.09	12	8.001E-07	333530.86	687.09
		333738.47	207.61	13	2.48355E-07	333738.47	207.61
		333802.97	64.5	14	7.70906E-08	333802.97	64.5
		333822.99	20.02	15	2.39293E-08	333822.99	20.03
		333829.21	6.22	16	7.42778E-09	333829.21	6.22
		333831.14	1.93	17	2.30562E-09	333831.14	1.93
		333831.74	0.6	18	7.15676E-10	333831.74	0.6
		333831.92	0.19	19	2.22149E-10	333831.92	0.19
		333831.98	0.06	20	6.84402E-12	333831.98	0.06
		333832	0.02	21		333832	0.02
		333832	0	22		333832	0
		333832.01	0.01	23			
		333832.01	0	24			
		333832.01	0	25			
		333832.01	0	26			
		333832.01	0	27			

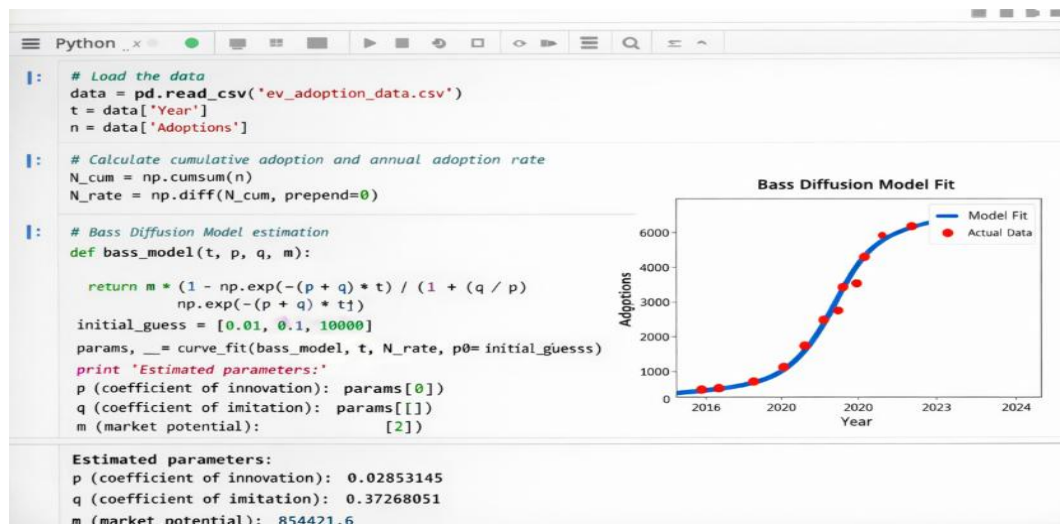
Parameter	Nilai
p	0.001
q	1.17
M	333832

$$N(t) = M \cdot \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{p}{q}e^{-(p+q)t}}$$

Gambar C. 1 tabel pengolahan data historis dan kumulatif di Microsoft Excel

C.2 Dokumentasi Estimasi Parameter *Bass Diffusion Model* Menggunakan Python

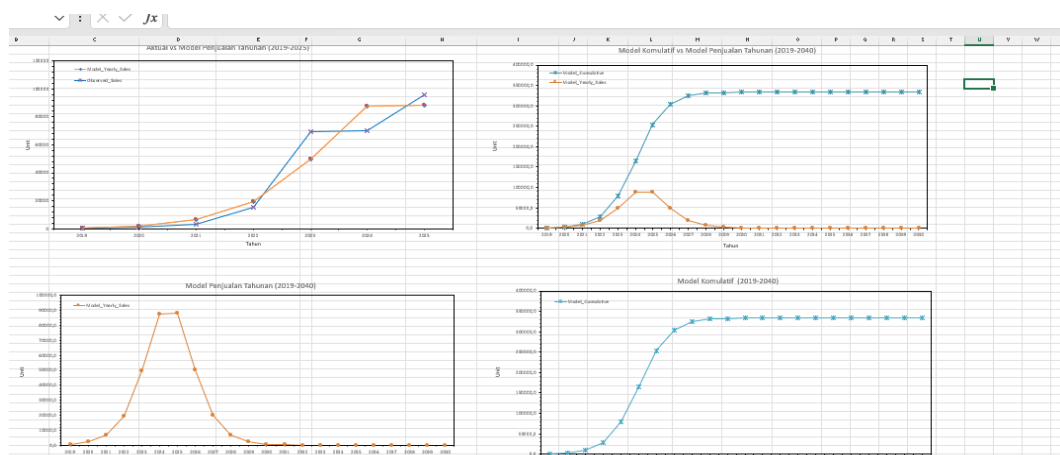
Gambar C.2 menunjukkan proses estimasi parameter *Bass Diffusion Model* menggunakan bahasa pemrograman Python. Estimasi dilakukan untuk memperoleh nilai koefisien inovasi (p), koefisien imitasi (q), dan potensi pasar maksimum (m).



Gambar C. 2 potongan kode Python dan hasil estimasi parameter

C.3 Dokumentasi Hasil Prediksi dan Visualisasi Grafik

Gambar C.3 menampilkan grafik hasil prediksi pertumbuhan kendaraan listrik menggunakan *Bass Diffusion Model*. Grafik ini menggambarkan pola kurva-S adopsi kendaraan listrik serta perbandingan antara data aktual dan data hasil prediksi.



Gambar C. 3 hasil prediksi pertumbuhan kendaraan listrik

LAMPIRAN D

TABEL

D.1 Tabel Hasil Analisis dan Prediksi

Tabel D. 1 Tabel Hasil Analisis dan Prediksi

Parameter	Nilai	StdError
p	0,001	0,000665662
q	1,00	0,1794323
M	333832	45007,03

D.2 Hasil Prediksi Pertumbuhan Kendaraan Listrik (*Model Cumulative dan Model Yearly Sales*)

Tabel D. 2 Hasil Prediksi Pertumbuhan Kendaraan Listrik (Model_Cumulative dan Model_Yearly_Sales)

Year	Model_Cumulative	Model_Yearly_Sales
2019	594,0	594,0
2020	2199,51	1605,56
2021	6491,08	4291,6
2022	17625,7	11134,59
2023	44413,90	26788,24
2024	98633,15	54219,25
2025	178047,2	79414,08
2026	252642,11	74594,88
2027	298577,31	45935,21
2028	319949,64	21372,33
2029	328592,59	8642,95
2030	331887,25	3294,65
2031	333114,67	1227,42
2032	333568,03	453,4
2033	333734,95	166,92
2034	333796,33	61,38
2035	333818,90	22,56
2036	333827,19	8,3
2037	333830,24	3,05
2038	333831,36	1,12
2039	333832	0,41
2040	333832	0

D.3 Hasil Validasi Model (MAPE dan RMSE)

Tabel D. 3 Hasil Validasi Model (MAPE dan RMSE)

Jenis Prediksi	RMSE	MAPE (%)
Yearly	10.739,19	50%
Cumulative	6.204,38	45,09

LAMPIRAN E

BIODATA MAHASISWA

1. Personal

Nama : Chalvin Dicky Sumandar Tamba
Nim : 210110085
Bidang : Transportasi
Tempat/Tanggal lahir : Securai 21 Agustus 2003
Alamat : Desa Securai Utara, Kecamatan Babalan,
Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara
No. Hp/Telepon : 082289244920
Email : chalvin.210110085@mhs.unimal.ac.id

2. Orang Tua

Nama Ayah : Marzon Tamba
Pekerjaan : Petani
Umur : 52
Tempat/Tanggal lahir : Huta Gugung, 12 Juni 1973
Alamat : Desa Securai Utara, Kecamatan Babalan,
Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara

Nama Ibu : Lasma Siburian
Pekerjaan : Guru
Umur : 60 Tahun
Tempat/Tanggal lahir : Rampeanaek 07 April 1965
Alamat : Desa Securai Utara, Kecamatan Babalan,
Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara

3. Pendidikan Formal

Asal SLTA (Tahun) : SMA Negeri 1 Gebang (2019-2021)
Asal SLTP (Tahun) : SMP Negeri 2 Babalan (2017-2019)
Asal SD (Tahun) : SD Negeri 2 Securai Utara (2012-2017)

4. Software yang dikuasai

Jenis Software : Microsoft Office
Tingkat Penguasaan : *) ~~Basic/Intermediate/Advance~~
Jenis Software : Microsoft Excel
Tingkat Penguasaan : *) ~~Basic/Intermediate/Advance~~
Jenis Software : Autocad
Tingkat Penguasaan : *) ~~Basic/Intermediate/Advance~~