

ANALISIS UPAYA REDUKSI POLUSI UDARA DARI DAMPAK EKSTERNALITAS TRANSPORTASI DI KOTA DENPASAR

Ida Bagus Wirahaji¹⁾, Ni Putu Silvi²⁾

E-mail : ib.wirahaji@gmail.com¹⁾, silvi@unr.ac.id²⁾,

¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Perencanaan dan Informatika,
Universitas Hindu Indonesia,

²⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ngurah Rai

ABSTRAK

Sektor transportasi jalan raya merupakan salah satu kontributor utama polusi udara di kawasan perkotaan. Dampak eksternalitas transportasi tidak hanya ditandai oleh tingginya emisi yang dihasilkan, tetapi juga karena sumber emisi tersebut berada sangat dekat dengan aktivitas dan permukiman penduduk, sehingga sektor ini menjadi target utama dalam upaya reduksi polusi udara di berbagai kota di dunia. Kondisi serupa juga terjadi di Kota Denpasar, Provinsi Bali, yang termasuk dalam daftar sepuluh daerah dengan kualitas udara terburuk di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis persepsi masyarakat mengenai upaya reduksi polusi udara yang disebabkan oleh dampak eksternalitas transportasi di Kota Denpasar. Penelitian ini melibatkan 20 indikator yang diduga dapat merepresentasikan upaya reduksi polusi udara. Pengumpulan data persepsi responden dilakukan melalui penyebaran kuesioner dengan skala Likert. Dari 400 kuesioner yang disebar, sebanyak 372 kuesioner dinyatakan valid dan dapat dianalisis. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan metode *Structural Equation Modeling (SEM)* dengan bantuan perangkat lunak **AMOS**. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat tiga langkah utama yang perlu diprioritaskan dalam upaya reduksi polusi udara dari sektor transportasi di Kota Denpasar, yaitu perumusan sistem inspeksi dan pemeriksaan kendaraan secara berkala (RPU1) dengan nilai loading factor $\lambda = 0,912$, pembaruan standar emisi kendaraan (RPU3) dengan nilai $\lambda = 0,910$, serta pengembangan penggunaan transportasi publik (RPU9) dengan nilai $\lambda = 0,905$. Temuan ini menunjukkan bahwa kebijakan pengendalian emisi kendaraan serta penguatan sistem transportasi publik menjadi strategi penting dalam upaya menurunkan tingkat polusi udara akibat aktivitas transportasi di Kota Denpasar.

Kata kunci: Transportasi, Polusi Udara, SEM AMOS

ABSTRACT

The road transportation sector is one of the main contributors to air pollution in urban areas. The externalities of transportation are characterized not only by the high level of emissions produced but also by the proximity of emission sources to urban population activities and residential areas. Consequently, this sector has become a primary target in efforts to reduce air pollution in many cities around the world. A similar condition also occurs in Denpasar City, the capital of Bali Province, which is listed among the ten regions with the worst air quality in Indonesia. This study aims to analyze public perceptions regarding efforts to reduce air pollution caused by the externalities of transportation in Denpasar City. The study involves 20 indicators that are assumed to represent air pollution reduction efforts. Data on respondents' perceptions were collected through the distribution of questionnaires using a Likert scale. Out of 400 distributed questionnaires, 372 were declared valid and suitable for analysis. The collected data were then analyzed using the **Structural Equation Modeling (SEM)** method with the assistance of **AMOS software**. The results of the analysis indicate that there are three main measures that should be prioritized in reducing air pollution from the transportation sector in Denpasar City: the formulation of a periodic vehicle inspection and maintenance system (RPU1) with a loading factor of $\lambda = 0.912$, the updating of vehicle emission standards (RPU3) with a loading factor of $\lambda = 0.910$, and the development of public transportation usage (RPU9) with a loading factor of $\lambda = 0.905$. These findings indicate that policies related to vehicle emission control and the strengthening of public transportation systems are essential strategies for reducing air pollution levels resulting from transportation activities in Denpasar City.

Keywords: *Transportation, Air Pollution, SEM AMOS*

1. PENDAHULUAN

Di berbagai kota besar di Asia, pencemaran udara telah menjadi isu lingkungan yang penting. Tingginya konsentrasi polutan di udara berpotensi menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan masyarakat, seperti penyakit pernapasan, risiko terkena kanker, dan penyakit serius lainnya, serta kerugian ekonomi yang besar (Shrivastava et al., 2013). Kontributor utama polusi udara adalah transportasi jalan raya. Kendaraan bermotor bertanggung jawab atas polusi udara yang menurunkan kualitas udara perkotaan, khususnya PM_{2.5}, PM₁₀, karbon hitam (BC), partikel ultra halus (UFP), nitrogen oksida (NO_x), dan karbon monoksida (CO), yang masing-masing merugikan kesehatan manusia. Di antara polutan ini, CO merupakan polutan utama yang berasal dari sektor transportasi, menyumbang 90% dari total emisi (Requia et al., 2018). Selain emisi yang tinggi, kedekatan emisi kendaraan dengan populasi perkotaan yang padat (Zheng et al., 2017) menjadikan sektor transportasi jalan raya sebagai target penting pengendalian polusi di seluruh dunia (Wang et al., 2017).

Pertambahan penduduk di perkotaan akibat urbanisasi yang cepat dan tak terkendali berdampak pada peningkatan penggunaan kendaraan bermotor. Kendaraan ini menjadi sumber utama polusi udara (Shrivastava et al., 2013). Pertumbuhan pesat kendaraan bermotor yang diprediksi akan mengkonsumsi bahan bakar dalam jumlah besar dan mengeluarkan sejumlah besar polutan udara. Tren ketergantungan dengan kendaraan bermotor selain telah berkontribusi pada polutan udara yang berdampak pada buruknya kualitas udara perkotaan, juga berdampak pada kurangnya aktifitas fisik, yang dapat menurunkan kesehatan masyarakat (Patz et al., 2014).

Kota Denpasar, Ibu Kota Provinsi Bali, termasuk dalam daftar 10 daerah dengan kualitas udara terburuk di Indonesia (Detikbali, 2026). Polusi udara di Kota Denpasar didominasi oleh polusi kendaraan bermotor dan aktivitas padat penduduk, dengan partikel PM_{2.5} sebagai polutan utama yang sering mencapai kategori moderat hingga tidak sehat. Kualitas udara fluktuatif, sering memburuk saat kemacetan parah, menjadikan Denpasar salah satu kota dengan indeks polusi cukup tinggi di Bali (Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK) Kabupaten Badung, 2019).

Dalam pelaksanaan pengendalian polusi udara di Kota Denpasar terdapat hambatan dari sektor transportasi, yaitu kemacetan di beberapa ruas di Kota Denpasar. Pencemaran meningkat saat terjadi kemacetan, dan masih rendahnya masyarakat menggunakan transportasi publik, selain layanan transportasi publik di Kota Denpasar masih belum optimal (Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK), 2024).

Penelitian mengenai upaya untuk mereduksi polusi udara akibat eksternalitas transportasi telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. (Purnomoasri & Handayani, 2022), memberikan tiga upaya untuk mengurangi emisi transportasi, yaitu penyediaan angkutan umum untuk anak sekolah; gerakan berjalan kaki ke sekolah; dan penanaman tanaman pengendali polusi. (Sofaniadi et al., 2022) memberikan solusi *green transportation*, meliputi: Langkah-langkah yang dapat diterapkan antara lain penataan ruang yang lebih baik, peningkatan pelayanan angkutan umum, inovasi dalam teknologi kendaraan, penggunaan bahan bakar yang lebih ramah terhadap lingkungan, serta pengelolaan dan rekayasa lalu lintas. (Wahyudi, 2024), memberikan solusi kebijakan berupa: subsidi peningkatan sarana dan prasarana transportasi publik; insentif pembelian kendaraan listrik (EV) dan pengembangan charging station; dan pemberlakuan tarif khusus pelajar, lansia dan disabilitas. (Jafari et al., 2021) memberikan solusi secara umum, yaitu insentif transportasi umum gratis untuk mengurangi penggunaan kendaraan pribadi; kebijakan untuk memungut biaya pada area kemacetan; dan pembatasan penggunaan bahan bakar padat.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis persepsi responden di Kota Denpasar, terkait dengan upaya reduksi polusi udara dari dampak eksternalitas transportasi. Sebanyak 20 variabel indikator dilibatkan dalam penelitian ini, yang diduga dapat mengukur variabel konstruk, yaitu reduksi polusi

udara. Sebanyak 372 persepsi responden dapat dikumpulkan dan dianalisis dengan menggunakan metode *statical equation modeling* (SEM) AMOS.

2. KAJIAN PUSTAKA

Polusi Udara dari Sektor Transportasi

Dalam (*Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.*, n.d.) digunakan istilah pencemaran lingkungan hidup, yaitu masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. Polusi udara disebabkan oleh sumber bergerak dan sumber tidak bergerak yang meliputi sektor transportasi, industri, dan domestik. Faktor lainnya yang secara tidak langsung berpengaruh terhadap terjadinya pencemaran udara adalah pertumbuhan penduduk, laju urbanisasi yang tinggi, pengembangan tata ruang yang tidak seimbang dan rendahnya tingkat kesadaran masyarakat mengenai pencemaran udara (Simandjuntak, 2007). Buruknya kualitas udara yang ditimbulkan oleh emisi gas buang kendaraan berdampak menurunkan kualitas kesehatan masyarakat (Donowati & Kholmi, 2024), serta meningkatkan efek gas rumah kaca (Purnomoasri & Handayani, 2022). Aktivitas transportasi darat yang menggunakan kendaraan bermotor menghasilkan berbagai emisi gas, termasuk gas rumah kaca seperti CO₂, CH₄, dan N₂O. Selain itu, emisi tersebut juga mengandung polutan lain seperti CO, HC, NO_x, PM₁₀, serta SO₂. Senyawa NO_x terutama terbentuk dari proses pembakaran bahan bakar di dalam mesin kendaraan bermotor (Vestring et al., 2009), sementara PM₁₀ terutama dihasilkan dari gesekan fisik antara kendaraan dengan jalan (Matthias et al., 2020).

Statistical Equation Modeling (SEM)

Metode analisis yang dikenal sebagai Pemodelan Persamaan Struktural (Structural Equation Modelling atau SEM) dalam beberapa referensi juga disebut dengan istilah yang berbeda, seperti pemodelan kausal, analisis kausal, pemodelan persamaan simultan, analisis struktur kovarians, analisis jalur, atau CFA. Dua yang terakhir sebenarnya adalah jenis khusus dari SEM (Ullman, 2006). Berdasarkan berbagai istilah yang digunakan dalam literatur, *Structural Equation Modeling* (SEM) dapat dijelaskan sebagai metode analisis yang mengintegrasikan beberapa pendekatan statistik, seperti analisis faktor (*factor analysis*), model struktural (*structural model*), dan analisis jalur (*path analysis*). SEM termasuk dalam metode analisis statistik multivariat yang digunakan untuk menganalisis hubungan antar variabel secara simultan. Proses pengolahan data dengan SEM berbeda dengan analisis regresi maupun analisis jalur konvensional karena prosedurnya lebih kompleks. Hal ini disebabkan oleh adanya dua komponen utama dalam SEM, yaitu model pengukuran (*measurement model*) dan model struktural (*structural model*). Melalui pendekatan ini, peneliti dapat menguji hubungan yang relatif kompleks antar variabel, yang umumnya sulit dianalisis hanya dengan menggunakan persamaan regresi linear (Harahap, 2010).

Confirmatory Factor Analysis (CFA)

Analisis faktor konfirmatori (CFA) adalah jenis pemodelan persamaan struktural yang secara khusus berkaitan dengan model pengukuran; yaitu, hubungan antara ukuran yang diamati atau indikator dan variabel laten atau faktor. Tujuan dari model pengukuran variabel laten adalah untuk menetapkan jumlah dan sifat faktor yang menjelaskan variasi dan kovariansi di antara sekumpulan indikator. Faktor adalah variabel yang tidak dapat diamati yang dibangun lebih dari satu ukuran yang diamati dan yang menjelaskan korelasi di antara ukuran-ukuran yang diamati ini (Brown & Moore, 2007). CFA sering digunakan dalam penelitian ilmu sosial, sedangkan dampak eksternalitas transportasi adalah masalah sosial. CFA juga sering digunakan dalam penelitian transportasi untuk menguji dan memvalidasi model teoretis, seperti perilaku berkendara, kepuasan pengguna, dan kesadaran berlalu lintas. CFA mengonfirmasi hubungan antara indikator (data lapangan) dengan faktor laten (konstruk) yang ditentukan sebelumnya. Dalam penelitian sosial, variabel yang diteliti pada umumnya bersifat multidimensional dan tidak dapat diobservasi langsung. Karena sifatnya seperti itu, maka pengukuran terhadap variabel-variabel yang diteliti tidak dapat dilakukan secara langsung, tetapi diukur melalui indikator-indikator sebagai manifest dari konsep atau variabel yang hendak diukur (Hair et al., 2010).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertitik tolak pada upaya untuk mereduksi polusi udara di Kota Denpasar sebagai dampak eksternalitas transportasi jalan raya. Alat pengumpulan data kuantitatif ini berupa kuesioner dengan jawaban yang dapat dipilih, yang terdiri dari item-item berbentuk pernyataan. Pilihan jawaban dalam bentuk Skala Likert (1 – 5), yang tidak sulit dijawab oleh responden. Persepsi responden terdiri dari: (1) sangat tidak setuju, (2) tidak setuju, (3) agak setuju, (4) setuju, dan (5) sangat setuju.

Hipotesis Penelitian

Dalam penelitian ini, diuji 20 variabel indikator yang diduga dapat mengukur reduksi polusi udara (RPU), yaitu:

1. RPU1: Perumusan sistem inpeksi dan pemeliharaan berkala (Shrivastava et al., 2013).
2. RPU2: Pengembangan mesin teknologi canggih (Shrivastava et al., 2013) (Sofaniadi et al., 2022).
3. RPU3: Memperbarui standar emisi (Liu et al., 2019).
4. RPU4: Gerakan berjalan kaki (Purnomoasri & Handayani, 2022).
5. RPU5: Angkutan umum gratis untuk anak sekolah (Purnomoasri & Handayani, 2022).
6. RPU6: Pelarangan total kendaraan bermotor di area tertentu (Shrivastava et al., 2013).
7. RPU7: Pengembangan Carpooling (Shrivastava et al., 2013).
8. RPU8: Penggunaan bahan bakar alternatif emisi rendah (Shrivastava et al., 2013) (Sofaniadi et al., 2022).
9. RPU9: Pengembangan penggunaan transportasi publik (Shrivastava et al., 2013) (Sofaniadi et al., 2022) (Wahyudi, 2024) (Jafari et al., 2021).
10. RPU10: Manajemen lalu lintas di jalan raya (Shrivastava et al., 2013) (Sofaniadi et al., 2022).
11. RPU11: Pengendalian pertumbuhan penduduk akibat urbanisasi (Simandjuntak, 2007).
12. RPU12: Vegetasi sepanjang jalur jalan raya (Purnomoasri & Handayani, 2022).
13. RPU13: Peningkatan kualitas bahan bakar (Liu et al., 2019).
14. RPU14: Pengenaan biaya kemacetan (Jafari et al., 2021).
15. RPU15: Pengurangan tingkat kemacetan lalu lintas (Sofaniadi et al., 2022).
16. RPU16: Pengembangan penggunaan mobil listrik (Wahyudi, 2024).
17. RPU17: Perbaikan geometrik jalan
18. RPU18: Perbaikan perkerasan jalan
19. RPU19: Pembatasan usia kendaraan (Shrivastava et al., 2013)
20. RPU20: Perawatan mesin kendaraan (Shrivastava et al., 2013).

Kriteria Kesesuaian Model

Selanjutnya, model yang dihasilkan diuji dengan analisis CFA dan uji kesesuaian model (*goodness of fit*). Kriteria uji kesesuaian model dalam SEM tidak berdiri sendiri. Dalam penelitian ini digunakan 8 kriteria uji kesesuaian model, yang terdiri dari (Ferdinand, 2006); (Weston & PA, 2006); (Hu & Bentler, 1999):

1. *Chi-square* (χ^2) hitung < *chi-square* tabel. *Chi-square* (CMIN) merupakan kriteria kesesuaian mutlak utama yang menguji model terhadap data. Nilai *chi-square* tabel dapat dihitung dengan formula: “=CHIINV (*probability, degree of freedom*)” pada Microsoft Excel.
2. *Significance probability* $\geq 0,05$. *Chi-square* (probabilitas $\geq 0,05$) tidak signifikan dengan model data.
3. $CMIN/DF \leq 2,00$, adalah kriteria kesesuaian mutlak = *chi-square* / DF.
4. *Root means square error of approximation* (RMSEA) $\leq 0,05$. Kriteria ini digunakan untuk mengukur fit model menggantikan *chi-square* statistik dalam jumlah sampel yang besar
5. *Goodness of fit index* (GFI) $\geq 0,90$. Kriteria ini merupakan ukuran relatif jumlah varian dan kovarian dalam matrik kovarian.
6. *Ajusted goodness of fit index* (AGFI) $\geq 0,90$. Kriteria ini merupakan fit indeks di adjust terhadap *degree of freedom* yang tersedia untuk menguji diterima tidaknya model.
7. *Tucker lewis index* (TLI) $\geq 0,95$. Kriteria ini membandingkan sebuah model yang diuji terhadap base line model.

Comparative fit index (CFI) $\geq 0,95$. Kriteria ini untuk mengukur tingkat penerimaan sebuah model. Keunggulan dari indeks ini adalah tidak dipengaruhi ukuran.

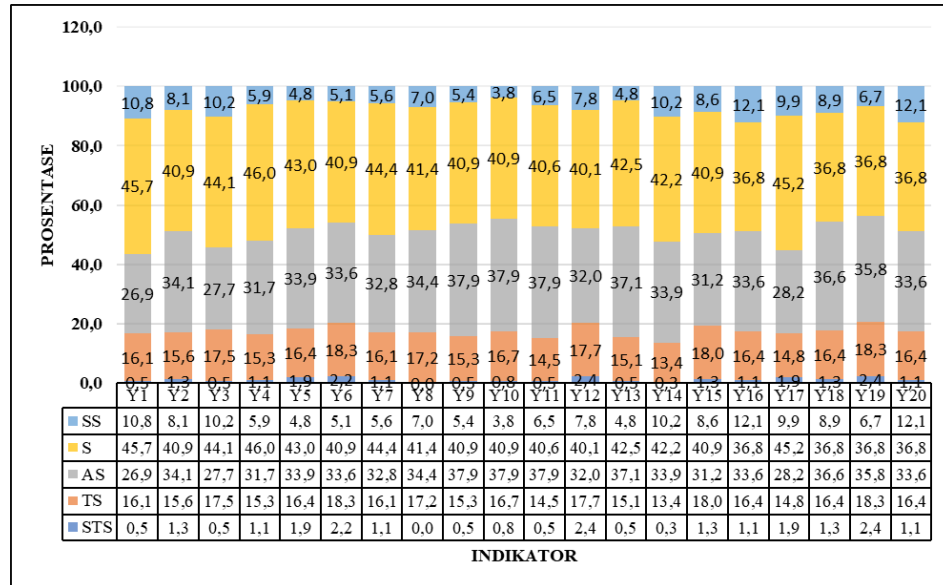
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Persepsi Responden

Tabel 1 menunjukkan jumlah satuan persepsi responden. Dari 400 kuesioner yang disebar, sebanyak 372 yang dapat dikumpulkan dan memenuhi syarat untuk dianalisis. Gambar 1. menunjukkan persentase persepsi responden. Hasil menunjukkan responden dominan “Setuju” (S) terhadap semua parameter yang diajukan dalam lembar kuesioner.

Tabel 1. Persepsi Responden

No	Indikator	Persepsi Responden					Jml
		STS	TS	AS	S	SS	
1	RPU1	2	60	100	170	40	372
2	RPU2	5	58	127	152	30	372
3	RPU3	2	65	103	164	38	372
4	RPU4	4	57	118	171	22	372
5	RPU5	7	61	126	160	18	372
6	RPU6	8	68	125	152	19	372
7	RPU7	4	60	122	165	21	372
8	RPU8	0	64	128	154	26	372
9	RPU9	2	57	141	152	20	372
10	RPU10	3	62	141	152	14	372
11	RPU11	2	54	141	151	24	372
12	RPU12	9	66	119	149	29	372
13	RPU13	2	56	138	158	18	372
14	RPU14	1	50	126	157	38	372
15	RPU15	5	67	116	152	32	372
16	RPU16	2	47	113	162	48	372
17	RPU17	7	55	105	168	37	372
18	RPU18	5	61	136	137	33	372
19	RPU19	9	68	133	137	25	372
20	RPU20	4	61	123	137	42	372



Gambar 1. Persentase Persepsi Responden

Validitas dan Reliabilitas

Data persepsi yang berhasil dikumpulkan melalui penyebaran kuesioner, diuji validitas dan reliabilitasnya. Dalam pendekatan CFA, indikator dianggap memenuhi validitas apabila nilai *loading factor* (λ) berada di atas 0,60 dan nilai signifikansi (p) lebih kecil dari 0,05 (Ferdinand, 2006). Adapun reliabilitas konstruk ditunjukkan oleh nilai CR yang lebih dari 0,70 ($CR > 0,70$) (Hair dkk, 2010), serta nilai AVE yang melampaui 0,5 (Fornell & Larcker, 1981). Persamaan 1 dan 2 menunjukkan besarnya nilai CR dan AVE.

$$CR = \frac{(\sum\lambda)^2}{(\sum\lambda)^2 + \sum(1-\lambda^2)} \tag{1}$$

$$AVE = \frac{\sum\lambda^2}{\sum\lambda^2 + \sum(1-\lambda^2)} \tag{2}$$

Tabel 2 menghasilkan pengujian validitas dan reliabilitas. Nilai $p = 0,000 < 0,05$, dan nilai *loading factor* (λ) $> 0,6$ menyatakan data valid. Sedangkan, nilai $CR = 0,985 > 0,60$, dan nilai $AVE = 0,789 > 0,70$, menyatakan data sampel reliabel.

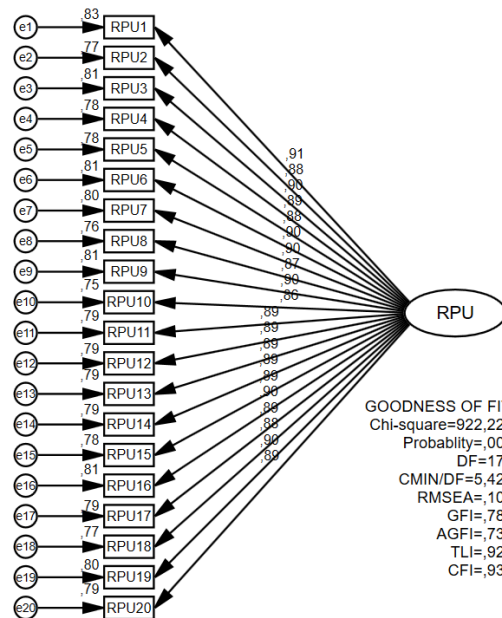
Tabel 2. Hasil uji validitas dan reliabilitas

Konstru	Indikator	p	λ	CR	AVE
Reduksi Polusi Udara (RPU)	RPU1	0,000	0,908	0,985	0,789
	RPU2	0,000	0,878		
	RPU3	0,000	0,902		
	RPU4	0,000	0,885		
	RPU5	0,000	0,882		
	RPU6	0,000	0,898		
	RPU7	0,000	0,895		
	RPU8	0,000	0,870		
	RPU9	0,000	0,901		
	RPU10	0,000	0,865		
	RPU11	0,000	0,890		

RPU12	0,000	0,889
RPU13	0,000	0,887
RPU14	0,000	0,888
RPU15	0,000	0,886
RPU16	0,000	0,897
RPU17	0,000	0,888
RPU18	0,000	0,878
RPU19	0,000	0,897
RPU20	0,000	0,887

Pemodelan Awal

Selanjutnya, diperoleh hasil output CFA dari SEM AMOS, berupa gambar dan tabel. Gambar 2 menunjukkan model reduksi polusi udara (RPU) di Kota Denpasar, dengan *standardized regression weights* yang menunjukkan nilai regresi antara konstruks dengan setiap indikatornya. Sebanyak 20 indikator digunakan yang diduga dapat mereduksi polusi udara.



Gambar 2. CFA Reduksi Polusi Udara

Tabel 3. menunjukkan kriteria kesesuaian (*Goodness of Fit*) model. Hasil pemodelan awal menunjukkan bahwa tak satupun dari delapan kriteria yang terpenuhi, sehingga dapat dinyatakan model tidak baik. Artinya, model tidak merepresentasikan data.

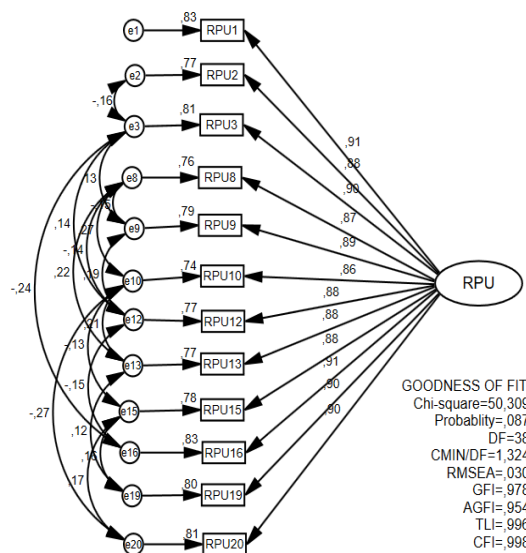
Tabel 3. Hasil uji kriteria kesesuaian model

No	Kriteria Kesesuaian	Hasil	Nilai Batas	Evaluasi Model
1	Chi-square (χ^2)	922,229	$\leq 201,42$	Tidak Sesuai
2	Probabilitas	0,000	$\geq 0,05$	Tidak Sesuai
3	CMIN/DF	5,425	$\leq 2,00$	Tidak Sesuai
4	RMSEA	0,109	$\leq 0,05$	Tidak Sesuai
5	GFI	0,788	$\geq 0,90$	Tidak Sesuai
6	AGFI	0,738	$\geq 0,90$	Tidak Sesuai

7	TLI	0,922	$\geq 0,95$	Tidak Sesuai
8	CFI	0,930	$\geq 0,95$	Tidak Sesuai

Modification Indices (MI)

Oleh karena model tidak baik dan belum terkonfirmasi oleh data, maka perlu dilakukan modifikasi model untuk dapat memenuhi 8 kriteria kesesuaian (*goodness of fit*). Untuk meningkatkan nilai kriteria kesesuaian model tidak mengikut sertakan Apabila terdapat indikator yang menunjukkan nilai *standardized regression weight* (loading factor) yang rendah, maka model dapat diperbaiki dengan mengeliminasi indikator tersebut atau dengan mengkorelasikan indikator dengan nilai *modification indices* (MI) tinggi (Ferdinand, 2006). Dalam penelitian ini, MI dilakukan dengan tidak mengikutsertakan indikator yang banyak muncul dalam daftar MI dan menghubungkan indikator yang memiliki nilai MI besar (> 10). Gambar 3. menunjukkan model setelah dilakukan proses MI. Proses MI menghasilkan 12 indikator yang dapat mengukur reduksi polusi udara (RPU) secara signifikan, yaitu: Perumusan sistem inpeksi dan pemeriksaan berkala (RPU1), Pengembangan mesin teknologi canggih (RPU2), Memperbarui standar emisi (RPU3), Penggunaan bahan bakar alternatif emisi rendah (RPU8), Pengembangan penggunaan transportasi publik (RPU9), Manajemen lalu lintas di jalan raya (RPU10), Vegetasi sepanjang jalur jalan raya (RPU12), Peningkatan kualitas bahan bakar (RPU13), Pengurangan tingkat kemacetan lalu lintas (RPU15), Pengembangan penggunaan mobil listrik (RPU16), (Pembatasan usia kendaraan (RPU19), dan Perawatan mesin kendaraan (RPU20). Delapan indikator yang tidak dapat mengukur secara signifikan dan dieliminasi dalam proses MI, yaitu: Gerakan berjalan kaki (RPU4), Angkutan umum gratis untuk anak sekolah (RPU5), Pelarangan total kendaraan bermotor di area tertentu (RPU6), Pengembangan Carpooling (RPU7), Pengendalian pertumbuhan penduduk akibat urbanisasi (RPU11), Pengenaan biaya kemacetan (RPU14), Perbaikan geometrik jalan (RPU17), dan Perbaikan perkerasan jalan (RPU18). Tabel 4. menunjukkan korelasi antar error indikator. Langkah korelasi ini dilakukan, untuk dapat meningkatkan nilai kriteria kesesuaian model, setelah 8 indikator tereliminasi dalam proses MI. Tabel 5 menunjukkan bahwa model sangat baik, telah memenuhi 8 kriteria kesesuaian. Artinya, model dapat merepresentasikan data atau model terkonfirmasi oleh data (Ferdinand, 2006).



Gambar 3. Model SEM setelah Proses MI

Tabel 4. Korelasi Error

Korelasi Antar Error			Estimas i
e10	↔	e20	-0,267
e15	↔	e20	0,175
e8	↔	e10	0,276
e10	↔	e15	-0,129
e10	↔	e13	0,213
e9	↔	e12	0,195
e8	↔	e12	-0,140
e8	↔	e9	-0,153
e3	↔	e16	-0,244
e3	↔	e12	-0,142
e8	↔	e13	0,218
e15	↔	e19	0,164
e3	↔	e9	0,131
e3	↔	e2	-0,157
e12	↔	e16	-0,147
e13	↔	e19	0,117

Tabel 5. Hasil uji kesesuaian model

No	Kriteria Kesesuaian	Hasil	Nilai Kritis	Evaluasi Model
1	Chi-square (X ²)	50,309	≤ 55,76	Sangat baik
2	Probabilitas	0,087	≥ 0,05	Sangat baik
3	CMIN/DF	1,324	≤ 2,00	Sangat baik
4	RMSEA	0,030	≤ 0,05	Sangat baik
5	GFI	0,978	≥ 0,90	Sangat baik
6	AGFI	0,954	≥ 0,90	Sangat baik
7	TLI	0,996	≥ 0,95	Sangat baik
8	CFI	0,998	≥ 0,95	Sangat baik

Asumsi SEM AMOS

Dalam SEM AMOS terdapat asumsi bahwa data harus berdistribusi normal dan tidak terdapat data outlier. Data berdistribusi normal apabila nilai *critical ratio* (c.r) $-3,00 \leq (c.r) \leq 3,00$. Untuk menguji normalitas data menggunakan nilai c.r *skewness* (kemiringan data) dan nilai c.r *kurtosis* (keruncingan data) (Hazriyanto. et al., 2017). Tabel 6 menunjukkan data yang berdistribusi normal, yang ditunjukkan dengan nilai *critical ratio* (c.r) *Skewness* dan *Kurtosis* yang berada dalam rentang $-3,00 \leq c.r \leq 3,00$.

Tabel 6. Nilai c.r skewness dan kurtosis

Indikator	Skewnes s	c.r	Kurtosi s	c.r	Ket
RPU20	-0,134	-1,054	-0,613	-2,412	Standar

RPU19	-0,229	-1,801	-0,428	-1,686	Standar
RPU16	-0,274	-2,158	-0,471	-1,856	Standar
RPU15	-0,247	-1,944	-0,576	-2,268	Standar
RPU13	-0,265	-2,087	-0,458	-1,801	Standar
RPU12	-0,308	-2,425	-0,453	-1,785	Standar
RPU10	-0,278	-2,190	-0,491	-1,931	Standar
RPU9	-0,205	-1,616	-0,469	-1,847	Standar
RPU8	-0,129	-1,017	-0,734	-2,890	Standar
RPU1	-0,326	-2,566	-0,596	-2,345	Standar
RPU2	-0,265	-2,085	-0,403	-1,588	Standar
RPU3	-0,272	-2,143	-0,680	-2,679	Standar
Multivariat	-		14,078	7,407	Standar

Hasil uji data outlier dapat dilihat nilai p1 dan p2 pada Tabel 7, dimana tidak terdapat nilai < 0,001, sehingga dinyatakan dalam analisis ini tidak terdapat data outlier. Tabel 7 menunjukkan bahwa nilai mahalanobis distance d-squared tertinggi diperoleh pada observasi 125 sebesar 25,223. Karena nilai mahalanobis d-squared 25,223 < 55,76 chi-square tabel maka terbukti bahwa data tidak terjadi multivariate outlier (Tabachnick & Fidell, 2007). Dengan demikian, asumsi SEM terpenuhi.

Tabel 7. Hasil uji data outlier

Nomor Observasi	Mahalanobis d-squared	p1	P2
125	25,223	0,014	0,994
27	24,979	0,015	0,975
334	24,736	0,016	0,939
335	23,735	0,022	0,965
26	23,228	0,026	0,964
354	22,880	0,029	0,957
197	22,838	0,029	0,918
... dst	... dst	... dst	... dst

Signifikansi Indikator

Tabel 8 menunjukkan indikator yang secara signifikan dapat mengukur Reduksi polusi udara (RPU), dengan berdasarkan $p = 0,000 < 0,05$ dan *loading factor* (λ) > 0,60. Dilihat dari besarnya nilai *loading factor* (λ) dapat dinyatakan bahwa Pengembangan mesin berteknologi canggih (RPU1) menjadi upaya yang paling penting dilakukan untuk mereduksi polusi udara dengan nilai (λ) sebesar 0,912, disusul Memperbarui standar emisi (RPU3) nilai (λ) 0,910, Pengembangan penggunaan transportasi publik (RPU9) nilai (λ) 0,905, Manajemen lalu lintas jalan raya (RPU10), Vegetasi sepanjang jala raya (RPU12), dan pengembangan penggunaan mobil listrik (RPU16) dengan nilai (λ) 0,898, dan seterusnya.

Tabel 8. Signifikansi Indikator

Variabel Latent	Indikator	Kode	p	(λ)
Reduksi Polusi	Perumusan sistem inpeksi dan pemeriksaan berkala	RPU1	0,000	0,912

Udara (RPU)	Pengembangan mesin teknologi canggih	RPU2	0,00 0	0,866
	Memperbarui standar emisi	RPU3	0,00 0	0,910
	Penggunaan bahan bakar alternatif emisi rendah	RPU8	0,00 0	0,876
	Pengembangan penggunaan transportasi publik	RPU9	0,00 0	0,905
	Manajemen lalu lintas di jalan raya	RPU10	0,00 0	0,898
	Vegetasi sepanjang jalur jalan raya	RPU12	0,00 0	0,898
	Peningkatan kualitas bahan bakar	RPU13	0,00 0	0,876
	Pengurangan tingkat kemacetan lalu lintas	RPU15	0,00 0	0,883
	Pengembangan penggunaan mobil listrik	RPU16	0,00 0	0,898
	Pembatasan usia kendaraan	RPU19	0,00 0	0,889
	Perawatan mesin kendaraan	RPU20	0,00 0	0,879

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis SEM AMOS terhadap persepsi responden tentang upaya untuk mereduksi polusi udara di Kota Denpasar dari dampak eksternal transportasi, dapat disimpulkan bahwa Perumusan sistem inpeksi dan pemeriksaan berkala, Memperbarui standar emisi, dan Pengembangan transportasi publik merupakan upaya yang sangat penting dilakukan. Upaya lainnya yang juga harus dilakukan adalah: Manajemen lalu lintas, Vegetasi sepanjang jalan raya, pengembangan penggunaan mobil listrik, Pembatasan usia kendaraan, Perawatan mesin kendaraan, peningkatan kualitas bahan bakar, dan Pengembangan mesin berteknologi canggih. Bagaimanapun, upaya untuk mereduksi polusi udara dari dampak eksternalitas transportasi di Kota Denpasar merupakan upaya kolektif yang harus dilakukan oleh pihak pemerintah, pengusaha, dan pengguna (masyarakat umum).

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, T., & Moore, M. (2007). *Confirmatory Factor Analysis*. Department of Psychology, Boston University.
- Detikbali. (2026). *Denpasar Masuk Daftar 10 Daerah Kualitas Udara Terburuk di Indoensia*. <https://www.detik.com/bali/berita/d-6894387/denpasar-masuk-daftar-10-daerah-kualitas-udara-terburuk-di-indonesia>.
- Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK). (2024). *Laporan Akuntabilitas Kinerja Instansi Pemerintah Kota Denpasar*. DLHK.
- Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK) Kabupaten Badung. (2019). *Mau Tahu Kualitas Udara Denpasar Versi Greenpeace Indoneisa? Ternyata Hasilnya Tak Jauh dari Jakarta*. <https://dislhk.badungkab>.
- Donowati, M. P., & Kholmi, M. (2024). Analisis Peningkatan Kualitas Udara di Terminal: Strategi Mengurangi Gas Buang dari Amada Bus. *Jurnal Innovative*, 4(3), 8773–8783.
- Ferdinand, A. (2006). *Structural Equation Modeling dalam Penelitian Manajemen*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro.

- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Structural equation models with unobservable variables and measurement error: Algebra and Statistics". *Journal of Marketing Research*, 18(3), 382–388.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate data Analysis*.
- Harahap, L. K. (2010). *Analisis SEM (Structural Equation Modelling) Dengan SMARTPLS (Partial Least Square*. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
- Hazriyanto., I., B., dan S., & A. (2017). Konfirmatori Faktor Analisis Kinerja Dosen Menggunakan Amos. *Jurnal Rekaman*, 1(1), 46–61.
- Hu, L., & Bentler, P. (1999). *Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives*. *Structural Equation Modeling*. Taylor & Francis.
- Jafari, A. J., Charkhloo, E., & Palasari, H. (2021). Urban Air Pollution Control Policies and Strategies: A System Review. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*.
- Liu, Y. H., Liao, W. Y., Li, L., Huang, Y. T., & Xu, W. J. (2019). Reduction measures for air pollutants and greenhouse gas in the transportation sector: A cost-benefit analysis. *Journal of Cleaner Production*, 207, 1023–1032.
- Matthias, V., Bieser, J., Mocanu, T., Pregger, T., Quante, M., Ramacher, M. O., Seum, S., & Winkler, C. (2020). Modelling Road Transport Emissions In Germany—Current Day Situation And Scenarios For 2040. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, 102536.
- Patz, J. A., Grabow, M. L., & Limaye, V. S. (2014). When it rains, it pours: future climate extremes and health. *Ann Glob Health*, 80(4), 332–44. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2014.09.007>.
- Purnomoasri, R. A. D., & Handayani, D. (2022). Analisis dan Mitigasi Emisi Gas Buang Akibat Transportasi (Studi Kasus Kabupaten Magetan. *Jurnal ENVIRO*, 24(1), 29–36.
- Requia, W. J., Mohamed, M., Higgins, C. D., Arain, A., & Ferguson, M. (2018). How clean are electric vehicles? Evidence-based review of the effects of electric mobility on air pollutants, greenhouse gas emissions and human health. *Atmos Environ*, 185, 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.040>.
- Shrivastava, R. K., Neeta, S., & Geeta, G. (2013). Air Pollution Due to Road Transportation in INdoa: A Review on Assessment and Reduction Strategies. *Journal of Enviromental Research and Development*, 8(1), 69–77.
- Simandjuntak, A. G. (2007). *Pencemaran Udara*. <https://www.neliti.com/publications/242103/pencemaran-udara>.
- Sofianiadi, S., Huda, M., & Hartawan, F. (2022). Transportasi Berkelanjutan dan Pengaruhnya terhadap Pengurangan Emisi di Kota Semarang. *Jurnal Riptek*, 16(1), 81–89.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Using Multivariate Statistic*. Allyn & Bacon.
- Ullman, J. B. (2006). Structural Equation Modeling: Reviewing the Basic and Moving Forward. *Journal of California Statistical Assessment*, 87, 35–50.
- Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. (n.d.).
- Vestreng, V., Ntziachristos, L., Semb, A., Reis, S., Isaksen, I. S. A., & Tarrason, L. (2009). Evolution Of Nox Emissions In Europe With Focus On Road Transport Control Measures. *Atmos. Chem. Phys*.
- Wahyudi, A. (2024). Strategi Kebijakan Peningkatan Sektor Transportasi Publik di Jakarta menuju Net Zero Emission. *JJurnal Riset Ekonomi*, 4(2), 557–570.
- Wang, Y., Xie, T., & Yang, S. (2017). Carbon emission and its decoupling research of transportation in Jiangsu Province. *Journal of Cleaner Production*, 142, 907– 914. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.052>
- Weston, R., & PA, G. (2006). A Brief Guide to Structural Equation Modeling. *The Counseling Psychologist*. SAGE Journals, 34(5).
- Zheng, X., Wu, Y., Zhang., H., J., Z., KM., L., Z., dan H., & L. (2017). Characterizing particulate polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from diesel vehicles using a portable emissions measurement system. *Scientific Reports*, 7, 10058, 1–12.