

Model Parametrik Batas Atas dan Bawah Tarif Tol di Indonesia Berdasarkan *Stochastic Frontier Analysis*

Andreas Wibowo^(*)

Center of Excellence in Urban Infrastructure Development dan Departemen Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan, Jalan Ciumbuleuit 94, Bandung 40141 Indonesia. E-mail: andreas_wibowo@unpar.ac.id

Sudiro Roi Santoso

Direktorat Jenderal Pembiayaan Infrastruktur Pekerjaan Umum dan Perumahan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jalan Patimura 20, Jakarta 12110 Indonesia. E-mail: santoso041969@gmail.com

Abstrak

Menentukan tarif tol yang wajar untuk menarik pembiayaan swasta di sektor jalan tol merupakan isu yang penting. Namun, studi eksisting pada ranah ini masih belum tersedia. Tulisan ini bertujuan mengisi kekosongan pengetahuan tersebut dengan menawarkan model parametrik untuk mengestimasi batas atas dan bawah tarif tol menggunakan *Stochastic Frontier Analysis*. Data yang dikumpulkan meliputi biaya investasi, internal rate of return, tarif tol yang berlaku saat ini, durasi konsesi, tahun pertama operasi, dan panjang ruas jalan tol sampel. Dengan data set yang ada ($n=50$), skrining awal menggunakan Korelasi Pearson menghasilkan biaya investasi ternormalisasi menjadi satu-satunya parameter yang signifikan memengaruhi tarif tol. Statistik Mahalanobis-Distance menyimpulkan tidak ada kasus outlier multivariat. Piranti lunak STATA® dimanfaatkan untuk membantu perhitungan mengestimasi parameter dan penyusunan model log-linier. Hasil uji Likelihood Ratio memperlihatkan hipotesis nol tidak dapat ditolak untuk model batas bawah, yang mengakibatkan model ini tereduksi menjadi Model Cobb-Douglas. Dua persamaan log-linier dibangun untuk batas atas dan batas rerata tarif tol. Kedua persamaan ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan estimasi awal tarif tol sebelum kajian yang lebih detail tersedia. Tulisan ini juga mengidentifikasi beberapa keterbatasan yang dapat menjadi arah bagi studi berikutnya guna mendapatkan hasil estimasi yang lebih bermakna dan akurat.

Kata-kata kunci: Batas atas, batas bawah, tarif tol, stochastic frontier analysis, cobb-douglas, Indonesia

Abstract

Determining a fair toll rate is essential to attract private financing in the toll road sector. However, there is a paucity of existing studies in this area of investigation. Therefore, this paper aims to fill this knowledge gap by offering a parametric model to estimate upper and lower toll rate frontiers using the *Stochastic Frontier Analysis*. The collected data comprised investment cost, internal rate of return, prevailing toll rate, concession duration, the first year of operation, and length of the sampled toll roads. Given the dataset ($n=50$), a preliminary Pearson correlation screening suggested that the normalized investment cost be the sole parameter statistically affecting toll rates. The Mahalanobis-Distance statistic also concluded that no cases were considered multivariate outliers. The STATA® statistical software package was used to aid in estimating parameters. The Likelihood Ratio test failed to reject the null hypothesis for the lower frontier model, thereby reducing it to the ordinary Cobb-Douglas Model. Two log-linear equations were developed for determining the upper and average levels of toll rates. These equations can be helpful to early toll road estimates before more detailed studies are available. This paper acknowledges the present study's limitations, which can guide future studies to more meaningful and accurate estimates.

Keywords: Upper frontier, lower frontier, toll rates, stochastic frontier analysis, cobb-douglas, Indonesia

1. Pendahuluan

Ketersediaan infrastruktur yang andal memiliki peran vital bagi pertumbuhan ekonomi nasional, peningkatan daya saing, dan penurunan kesenjangan kesejahteraan, dan peningkatan pendapatan masyarakat suatu negara (Jerome, 2011; Kodongo & Ojah, 2016; Rohman, 2021;

Schwab & Zahidi, 2020; Shen et al., 2016; Zangouinezhad & Azar, 2014). Salah satu infrastruktur ekonomi adalah jalan tol. Saat ini kebutuhan pembangunan jalan tol di Indonesia masih sangat tinggi terutama dalam rangka mendukung konektivitas. Dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2020–2024, Pemerintah menargetkan pembangunan 2.500 km jalan tol. Sampai

^{*}Penulis Korespondensi

akhir tahun 2020, panjang jalan tol yang sudah terbangun masih 2.346 km di 60 ruas (Badan Pengatur Jalan Tol, 2021).

Sama halnya dengan sektor infrastruktur lainnya, proyek pembangunan infrastruktur membutuhkan pendanaan awal yang tinggi (Chen & Doloi, 2008; Organisation for Economic Cooperation and Development, 2014; Wibowo, 2012). Di sisi lain, kapasitas pendanaan Pemerintah sangat terbatas. Kebutuhan investasi infrastruktur secara umum diestimasi sebesar Rp6.450 triliun selama kurun waktu 2020–2024. Sementara itu, kemampuan Pemerintah melalui Anggaran Pendapatan Belanja Negara/Daerah (APBN/D) hanya mampu menutup 41% dari kebutuhan total. Dengan demikian, kesenjangan pendanaan yang masih sangat lebar. Untuk infrastruktur di bawah Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), kebutuhan pendanaan mencapai Rp2.508 triliun, termasuk di dalamnya Rp573 triliun untuk jalan dan jembatan. Dari keseluruhan jumlah tersebut, Kementerian PUPR hanya mampu mendanai lebih kurang Rp623 triliun (30%).

Keterbatasan fiskal menuntut Pemerintah untuk mengeksplorasi sumber-sumber pendanaan alternatif non-ABPN/D. Salah satu sumber tersebut berasal dari badan-badan usaha, baik badan usaha milik negara/daerah maupun swasta dapat dimanfaatkan untuk mengisi kesenjangan pendanaan melalui skema Kerja Sama Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU). Kontrak kerja sama yang umum digunakan adalah *Build-Operate-Transfer* (BOT) yang mana badan usaha pelaksana berkewajiban mendanai dan membiayai aset infrastruktur, mengoperasikan secara komersial selama masa kerja sama tertentu—biasa dikenal dengan masa konsesi—dan mengembalikan aset tersebut kepada Pemerintah melalui Penanggung Jawab Proyek Kerja Sama saat masa konsesi berakhir.

Khususnya di sektor jalan tol, skema KPBU/BOT bukan merupakan skema yang sama sekali baru karena sudah dipraktikkan sejak awal tahun 1990-an, meski dengan format yang berbeda dengan yang ada saat ini. Skema ini telah dan akan terus menjadi salah satu opsi utama pendanaan proyek-proyek investasi jalan tol. Namun, untuk menarik minat calon-calon badan usaha berinvestasi di sektor jalan tol, Pemerintah harus memastikan proyek-proyek yang ditawarkan terindikasi layak finansial. Besarnya seluruh biaya yang dikeluarkan harus mampu ditutup dengan penghasilan yang diperoleh dari tarif tol yang dikenakan kepada penggunaannya dan pendapatan non-tol lainnya yang porsinya relatif kecil. Oleh karena itu, besaran tarif harus ditentukan sedemikian rupa sehingga badan usaha jalan tol (BUJT) mampu menikmati keuntungan yang wajar setelah seluruh kewajiban finansial terpenuhi.

Penentuan tarif tol yang wajar bukan isu yang sederhana. Ketersediaan acuan batas atas dan bawah tarif tol tentunya akan bermanfaat untuk estimasi awal tarif tol untuk keperluan studi pendahuluan. Sejauh ini, studi yang secara spesifik tentang penentuan interval

tarif tol di Indonesia belum tersedia. Tulisan ini dimaksudkan untuk mengisi celah pengetahuan tersebut dengan menawarkan model parametrik batas atas dan bawah tarif tol menggunakan *Stochastic Frontier Analysis* (SFA) berdasarkan data historis yang tersedia. Sependek pengetahuan Penulis, studi mengenai batasan tarif tol ini adalah yang pertama di Indonesia.

2. Kajian Literatur

Wibowo (2010) mengusulkan suatu rezim tarif yang mengombinasikan karakteristik rezim tarif berbasis *price cap* (PC) sebagaimana dipraktikkan di Indonesia saat yang mana mengalokasikan seluruh risiko volume lalu lintas kepada BUJT dan rezim tarif *rate of return* (RoR) yang mana BUJT dijamin akan mendapatkan RoR sebagaimana yang dijanjikan. Selain itu, pada akhir masa konsesi dimungkinkan adanya pembayaran dari atau ke Pemerintah untuk menghindari terjadinya kerugian dan keuntungan yang tinggi bagi BUJT. Wibowo (2010) menyimpulkan bahwa sistem tersebut sesuai diterapkan pada kasus-kasus jalan tol yang memiliki risiko volume lalu lintas yang tinggi dengan ekspektasi tarif yang diminta BUJT dapat lebih rendah daripada tarif di bawah rezim PC. Rezim tarif hibrid yang diusulkan saat ini masih menjadi wacana karena secara regulasi yang berlaku yaitu Peraturan Pemerintah No. 15 tahun 2005—mengalami amandemen sebanyak empat kali—masih memberlakukan rezim PC dengan tarif disesuaikan setiap dua tahun sekali mengikuti laju inflasi.

Wibowo (2012) mengkaji dampak inflasi terhadap kelayakan investasi jalan tol di Indonesia, termasuk penyesuaian tarif. Dengan regulasi yang ada, BUJT harus menanggung sebagian risiko inflasi yang sebenarnya tidak di bawah kendali mereka. Wibowo menyatakan prinsip alokasi risiko yang efisien harus dipenuhi, dan dalam konteks ini, risiko inflasi seharusnya dapat ditransfer kepada pengguna jalan tol. Transfer risiko ini dapat dimungkinkan jika tarif dinaikkan tiap tahun sekali. Ada catatan kritis yang bisa disampaikan atas proposal ini. BUJT dapat terisolasi dari risiko inflasi jika dan hanya jika laju inflasi yang digunakan untuk penyesuaian arus kas terhadap waktu sama dengan laju inflasi yang terkandung dalam tingkat diskonto nominal. Faktanya, inflasi untuk keduanya sering kali berbeda sehingga efek saling menghilangkan (*canceling out*) tidak sepenuhnya terjadi. Sebagai implikasinya, BUJT tetap akan menanggung risiko inflasi ini meski arus kas BUJT memang akan lebih baik jika frekuensi penyesuaian tarif ditingkatkan.

Hermawan et al. (2013) menawarkan konsep penetapan tarif tol yang fleksibel dengan menyesuaikan kondisi volume lalu lintas (*dynamic pricing*) untuk mengurangi kemacetan sehingga menimbulkan biaya tambahan bagi penggunaannya. Berdasarkan studi yang dilakukan atas dua ruas jalan tol studi kasus disimpulkan bahwa kenaikan tarif pada jam-jam sibuk akan mengurangi pendapatan dan volume lalu lintas namun tidak mengubah *Volume-Capacity Ratio* dan tingkat layanan secara signifikan.

Dynamic pricing ini memberikan dampak positif bagi kelancaran arus lalu lintas namun juga secara sistem sangat kompleks dan lebih sulit diprediksi ketimbang tarif tetap (*flat*); yang perlu dipastikan bahwa tarif tol yang dikenakan tidak akan melebihi batas atas yang telah ditetapkan pada situasi apa pun (U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2008). Penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) dibutuhkan untuk dapat memaksimalkan manfaat *dynamic pricing* ini. Namun, pemanfaatan IoT harus diakui masih sangat terbatas di Indonesia saat ini.

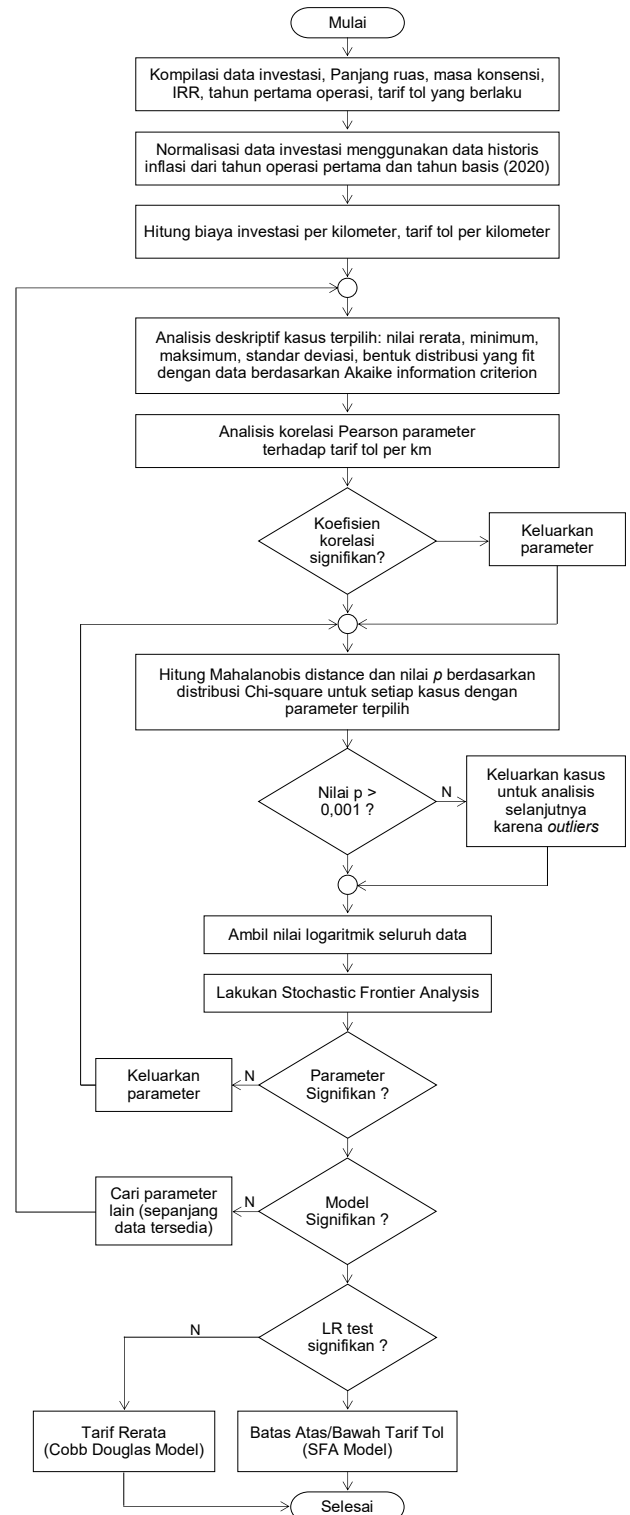
Wirahadikusumah et al. (2013) menyoroti berbagai isu strategis dalam pengadaan perusahaan jalan tol menggunakan skema KPBU. Salah satu isu yang dibahas adalah penyesuaian tarif tol berkala yang dalam beberapa kasus harus mengalami keterlambatan akibat alatnya persetujuan legislatif dan tidak tercapainya Standar Pelayanan Minimal yang tidak sepenuhnya di bawah kendali BUJT. Wirahadikusumah et al. juga menyebutkan beberapa responden BUJT menyatakan sistem tarif yang ada saat ini memberatkan BUJT. Solusi yang ditawarkan adalah penetapan lamanya masa konsesi sebagai parameter lelang, bukan tarif terendah sebagaimana selama ini dipraktikkan, dan penentuan tarif diharapkan mengakomodasi risiko yang harus ditanggung BUJT.

Beberapa studi lainnya menyinggung tentang tarif tol namun lebih dikaitkan pada analisis kelayakan finansial. Sari dan Widyastuti (2019), misal, mengestimasi besaran tarif tol berdasarkan panjang ruas jalan tol dengan acuan tarif tol pada ruas lain dengan panjang yang berbeda. Berdasarkan estimasi tarif tersebut diperoleh kesimpulan proyek studi kasus dinyatakan layak secara ekonomi dan finansial. Ada beberapa persoalan metodologis dalam analisisnya namun persoalan ini tidak terlalu relevan dengan ruang lingkup studi ini. Alfiansyah et al. (2021) menyajikan wacana penggunaan dana haji yang dapat menurunkan risiko bagi BUJT. Sebagai konsekuensinya, tarif tol dapat lebih rendah dibandingkan tarif tol menggunakan skema konvensional.

Beberapa studi yang telah dijelaskan sebagian telah mendiskusikan tarif tol di Indonesia, namun studi-studi ini tidak didedikasikan untuk menjawab kebutuhan penentuan tarif tol yang wajar. Namun, studi yang dilakukan Wirahadikusumah et al. (2013) setidaknya mengafirmasi pentingnya penentuan kewajaran tarif yang harus mempertimbangkan besarnya investasi, lamanya masa konsesi, dan tingkat risiko yang menjadikan sektor jalan tol menjadi lebih atraktif ke depannya.

3. Metodologi

Satu hal penting untuk ditekankan bahwa kewajaran tarif yang dimaksud dalam studi ini tidak dikaitkan tarif yang membuat suatu ruas jalan tol layak secara finansial karena hal tersebut akan terakomodasi pada prastudi kelayakan awal (*outline business case*, OBC), prastudi kelayakan akhir (*final business case*, FBC) dan studi kelayakan. Kewajaran tarif lebih bersifat relatif terhadap tarif ruas jalan tol lain yang memiliki karakteristik yang mirip karena studi ini memang lebih difokuskan untuk



Gambar 1. Tahapan studi model parametrik penentuan batas atas dan bawah tarif tol

keperluan *benchmarking* tarif batas atas dan bawah. Pada bagian ini disajikan secara rinci metodologi yang digunakan untuk membangun model parametrik batas atas dan bawah tarif tol. **Gambar 1** menunjukkan tahapan studi yang masing-masing tahapnya dijelaskan pada gambar diatas.

3.1 Pengumpulan data

Salah satu tantangan terbesar yang dihadapi dalam penelitian kuantitatif yang terkait dengan evaluasi kelayakan finansial proyek investasi infrastruktur—tidak harus kajian tentang tarif tol—adalah keterbatasan data. Isu yang sama juga terjadi dalam studi ini. Sejauh ini, studi terdahulu yang relevan lebih banyak didasarkan asumsi-asumsi dan penilaian ahli. Data sekunder yang berhasil dikumpulkan untuk studi ini meliputi biaya investasi dan *internal rate of return* (IRR), tarif tol kendaraan golongan I yang berlaku saat studi ini dilaksanakan, lama masa konsesi, tahun pertama operasi, dan panjang ruas jalan tol.

3.2 Normalisasi data

Biaya investasi suatu ruas jalan tol harus dinormalisasi terlebih dahulu terhadap waktu karena ruas tersebut dibangun pada tahun yang berbeda dengan ruas lain. Sebagai acuan adalah tahun pertama operasi suatu ruas jalan tol beroperasi dan tahun 1978 yang ditetapkan dalam studi ini sebagai tahun basis. Sebagai catatan, tahun 1978 menandai awal dimulainya era jalan tol di Indonesia dengan beroperasinya Jalan Tol Jakarta-Bogor-Ciawi. Acuan ini memang tidak terlalu akurat karena yang seharusnya digunakan adalah tahun saat Perjanjian Pengusahaan Jalan Tol ditandatangani dengan mempertimbangkan lamanya masa konstruksi.

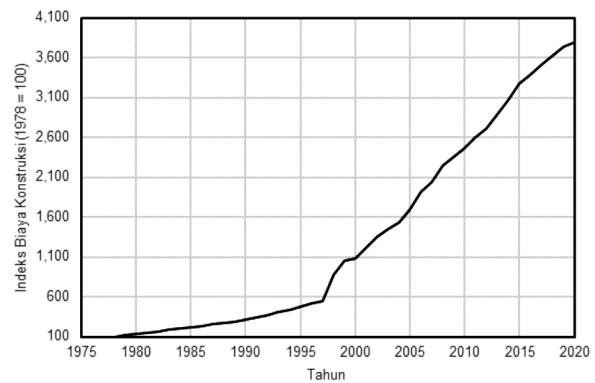
Indonesia belum memiliki *Construction Cost Index* yang dapat diterapkan untuk kepentingan studi ini. Indeks Kemahalan Konstruksi yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik tidak dapat digunakan karena merupakan indeks spasial dan bukan periodik. Ada beberapa indeks lain e.g., Indeks Harga Perdagangan Besar Bahan Bangunan yang merupakan indeks periodik namun paket komoditas yang diliput terbatas pada material konstruksi dan tidak tersedia untuk rentang waktu panjang. Dengan keterbatasan data yang ada, dalam studi ini digunakan laju inflasi umum karena tidak ada lagi acuan lain yang lebih baik yang tersedia. Persamaan (1) digunakan untuk normalisasi data. Suku kedua dari persamaan ini merupakan indeks biaya konstruksi menurut studi ini:

$$C_n = C_m \prod_{i=m}^n (1 + f_i) \quad (1)$$

Dengan C_n = biaya investasi pada tahun ke- n , C_m = biaya pada tahun ke- m , $n \geq m$, f_i = laju inflasi pada tahun ke- i , m = tahun pertama operasi ruas jalan tol, n = tahun kajian (2020). **Gambar 2** memperlihatkan ekskalasi biaya konstruksi berdasarkan data inflasi yang dikumpulkan dari tahun 1978 dan 2020.

3.3 Analisis deskriptif

Biaya investasi ternormalisasi dan tarif tolnya dibagi dengan panjang ruas jalan tol untuk mendapatkan biaya investasi dan tarif tol per km. Pembagian ini dilakukan untuk dapat membandingkan data dengan basis yang sama karena biaya investasi dan tarif tol merupakan fungsi panjang ruas, meski tidak harus linier (*constant return-to-scale*). Analisis deskriptif



Gambar 2. Indeks biaya konstruksi berdasarkan laju inflasi umum (1978 = 100)

Sumber: <https://www.macrotrends.net/countries/IDN/indonesia/inflation-rate-cpi> (diolah)

dilakukan untuk menyarikan data secara sistematis sekaligus memberikan informasi distribusi data. Statistik deskriptif meliputi nilai rerata, minimum, maksimum, deviasi standar, kemencengan (*skewness*). Studi ini juga mengestimasi bentuk distribusi yang paling *fit* dengan data berdasarkan *Akaike Information Criterion* (AIC) (Akaike, 1998) untuk menghindari isu *overfitting*. Beberapa piranti lunak statistik komersial e.g., STATA®, SPSS® dapat digunakan untuk membantu perhitungan. Untuk *fitting* distribusi, studi ini menggunakan piranti lunak @Risk® dari Palisade Corporation.

3.4 Seleksi parameter

Proses seleksi awal parameter-parameter yang dikandidatkan menjadi elemen model dilakukan berdasarkan hasil uji korelasi Pearson (Tabachnick & Fidell, 2018) antara tarif tol per km dan parameter tersebut. Nilai *cutoff p* yang digunakan adalah 0,05; artinya, jika nilai p yang dihitung di atas nilai *cutoff* tersebut, parameter yang bersangkutan tidak signifikan secara statistik dan dikecualikan untuk analisis berikutnya.

3.5 Deteksi multivariate outlier

Deteksi *outlier* data multivariat dilakukan karena *outlier* ini berpotensi meningkatkan variabilitas dan menurunkan *statistical power* dari model yang dibangun. Untuk keperluan ini digunakan *Mahalanobis Distance* (MD) dengan nilai *cut-off p* = 0,001 (Leys et al., 2019); artinya, data multivariat yang memiliki nilai p di bawah *cut-off* dianggap *outliers* dan dikecualikan untuk analisis berikutnya. Protokol perhitungan MD dan interpretasinya dapat dilihat pada Tabachnick dan Fidell (2018). Piranti lunak statistik komersial yang sudah disebutkan memiliki fitur untuk deteksi *multivariate outliers* ini.

3.6 Stochastic frontier analysis

Dalam studi ini, penentuan batas atas dan bawah tarif tol dianalogikan sebagai batas produksi (*production frontier*) dan batas biaya dengan input mencakup biaya investasi per km, IRR, dan masa konsesi yang ditentukan melalui SFA.

Stochastic Frontier Analysis merupakan salah satu metode *benchmarking* efisiensi yang sering diaplikasikan pada berbagai disiplin (Baten & Hossain, 2014; Daito & Gifford, 2014; Nguyen, 2020; Venkadasalam et al., 2020; Vishwakarma et al., 2012). Metode lain yang termasuk dalam kategori nonparametrik adalah *Data Envelopment Analysis* (Arsyad & Wibowo, 2015; Wibowo & Alfen, 2015; Yu, 2016) dan *Multidirectional Efficiency Analysis* (Murillo et al., 2019).

Berbeda dengan metode parametrik yang mana setiap deviasi dari batas diatribusikan sebagai inefisiensi, SFA membedakan deviasi tersebut sebagai akibat galat acak dan inefisiensi. Batas atas (*upper frontier*) tarif tol dibangun sebagai berikut:

$$\ln y_i = \ln y_i^* - u_i \quad (2)$$

Sementara untuk batas bawah (*lower frontier*) tarif tol digunakan fungsi sebagai berikut:

$$\ln y_i = \ln y_i^* + u_i \quad (3)$$

dengan

$$\ln y_i^* = x_i\beta + v_i \quad (4)$$

Dengan u_i = variabel acak yang merepresentasikan inefisiensi, v_i = variabel acak yang merepresentasikan galat acak, β , σ_u^2 , dan σ_v^2 merupakan parameter yang akan diestimasi menggunakan *Maximum Likelihood Estimate*, dan

$$v_i \sim i. i. d. N(0, \sigma_v^2) \quad (5)$$

Dalam studi ini, nilai u_i diasumsikan mengikuti distribusi *half normal* yang memiliki parameter tunggal sehingga lebih mudah diestimasi meski kurang fleksibel (Kumbhakar et al., 2015). Dengan demikian,

$$u_i \sim i. i. d. N^+(0, \sigma_u^2) \quad (6)$$

dengan fungsi *likelihood* didefinisikan sebagai berikut (Kumbhakar et al., 2015):

$$L_i = -\ln\left(\frac{1}{2}\right) - \frac{1}{2}\ln(\sigma_v^2 + \sigma_u^2) + \ln\phi\left(\frac{\varepsilon_i}{\sqrt{\sigma_v^2 + \sigma_u^2}}\right) + \ln\left(\frac{\mu_{*i}}{\sigma_{*i}}\right) \quad (7)$$

Dengan

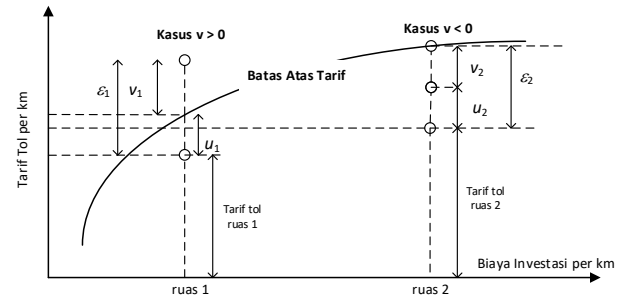
$$\mu_{*i} = \frac{-\sigma_u^2 \varepsilon_i}{\sigma_v^2 + \sigma_u^2} \quad (8)$$

$$\sigma_{*i} = \frac{\sigma_v^2 \sigma_u^2}{\sigma_v^2 + \sigma_u^2} \quad (9)$$

dengan ϕ merupakan fungsi probabilitas normal terstandardisasi. **Gambar 3** menyajikan analogi batas atas tarif tol sebagai *production frontier* dengan biaya investasi sebagai input. Dalam studi ini, seluruh perhitungan dilakukan menggunakan STATA® versi 16.0.

3.7 Penyusunan model parametrik

Berdasarkan hasil estimasi parameter yang diperoleh ditinjau signifikansi model secara keseluruhan dan parameter secara statistik. Jika ada parameter yang tidak signifikan secara statistik, perhitungan akan dimulai



Gambar 3. Penentuan batas atas tarif tol dengan biaya investasi sebagai input

kembali dengan mengecualikan parameter tersebut. Hal yang sama berlaku untuk signifikansi model. Setelah dinyatakan model dan parameter signifikan secara statistik, uji *Likelihood Ratio* (LR) dilakukan untuk menguji apakah H_0 ($\sigma_u = 0$ dapat ditolak. Jika H_0 diterima, model yang dihasilkan adalah model Cobb-Douglas (Venkadasalam et al., 2020). Implikasinya, parameter-parameter model hanya akan menghasilkan tarif tol rerata, sama jika dihitung model regresi biasa. Dalam studi ini digunakan nilai $p = 0,05$ sebagai *cutoff*.

4. Hasil dan Pembahasan

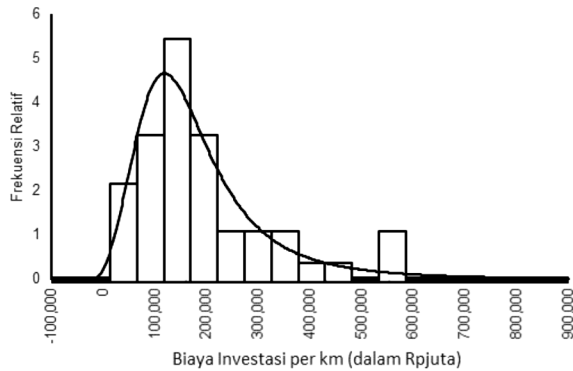
Tabel 1 memperlihatkan statistik deskriptif parameter berdasarkan data historis yang berhasil dikumpulkan untuk membangun model parametrik. Biaya investasi terdispersi sangat lebar, dengan rerata Rp. 187,94 miliar dan memiliki koefisien kemencengan yang mengonfirmasi studi-studi terdahulu yang menyatakan biaya cenderung terdistribusi tidak normal dan memiliki kemencengan positif (Chau, 1995; Irwin, 2007; Ye & Tiong, 2000). Lama konsesi dengan rerata 41,42 tahun dan IRR dengan rerata 14,41% memperlihatkan kemencengan berbeda yang dapat dijelaskan karena adanya kecenderungan kedua parameter ini memiliki *upper bound* dan banyak data yang dekat dengan batas ini. Tarif tol per km sendiri relatif simetris dengan koefisien kemencengan mendekati nilai nol.

Statistik kemencengan yang ditampilkan dalam **Tabel 1** setidaknya dapat mengindikasikan bentuk distribusi yang sesuai. **Gambar 4 - 7** menyajikan distribusi setiap parameter dan fungsi distribusinya yang paling sesuai (*fit*) dengan data berdasarkan AIC. Untuk biaya investasi per km, fungsi distribusinya adalah log-logistic yang mirip dengan distribusi lognormal dalam hal nilainya selalu positif, tarif tol per km mengikuti distribusi seragam, lama konsesi dan IRR memiliki fungsi distribusi Laplace. Diskusi lebih detail tentang distribusi-distribusi ini berada di luar ruang lingkup tulisan ini.

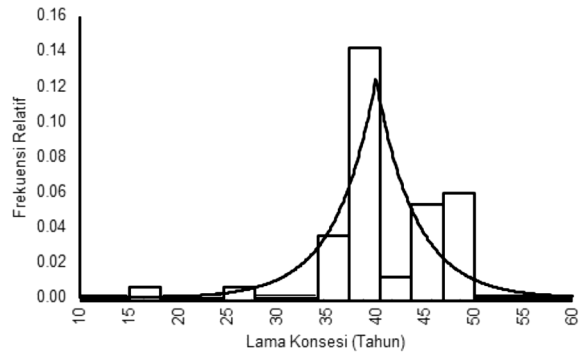
Koefisien korelasi Pearson antara tarif tol per km dengan biaya investasi per km, lama konsesi, dan IRR berturut-turut adalah 0,643 ($p = 0,000$); 0,255 ($p = 0,066$); dan 0,143 ($p = 0,327$). Berdasarkan koefisien korelasi, satu-satunya kandidat yang memenuhi kriteria awal adalah biaya investasi per km yang signifikan secara statistik pada level 0,05. Selanjutnya, MD dihitung berdasarkan kombinasi antara data tarif tol per

Tabel 1. Statistik deskriptif parameter

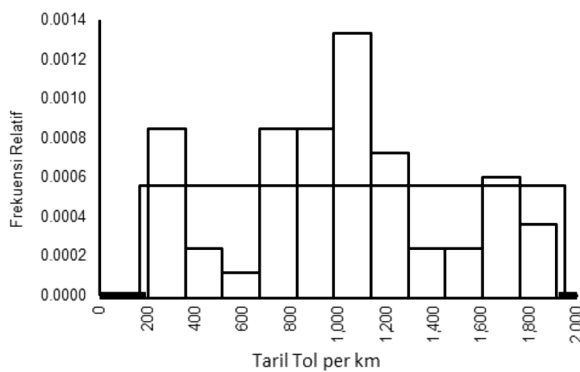
Parameter	Statistik					
	N	Minimum	Maksimum	Rerata	Deviasi Standar	Kemencengan
Biaya investasi per km (ternormalisasi; Rpjuta)	50	13.260	585.825	187.935	135.755	1,63
Lama konsesi (tahun)	50	15	50	41,42	6,35	-1,38
Tarif tol per km (Rp)	50	201	1,779	952,32	411,55	-0,05
IRR (%)	46	4	18	14,41	2,15	-2,74



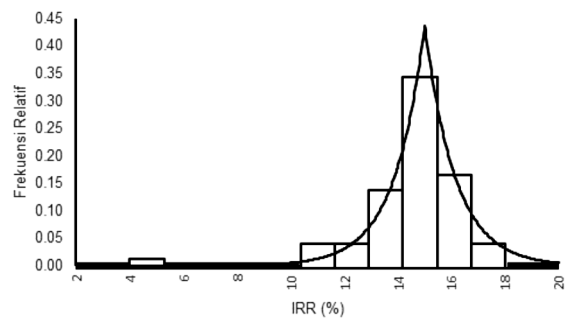
Gambar 4. Distribusi biaya investasi per km dan fungsi distribusi yang paling sesuai



Gambar 6. Distribusi lama konsesi dan fungsi distribusi yang paling sesuai



Gambar 5. Distribusi tarif tol per km dan fungsi distribusi yang paling sesuai



Gambar 7. Distribusi internal rates of return dan fungsi distribusi yang paling sesuai

km dan biaya investasi per km. Nilai MD terbesar adalah 8,751 ($p = 0,0126$) dan karena nilai p yang dihitung masih di bawah *cutoff* yang ditentukan *i.e.*, 0,001; tidak terjadi kasus *outlier* multivariat dan seluruh kasus (*cases*) dapat digunakan.

Tabel 5 menampilkan estimasi parameter batas atas tarif tol berdasarkan SFA. Nilai *log-likelihood* maksimum = -17,37 dan model signifikan secara statistik pada level 0,05 ($p = 0,0000$) dengan hasil uji LR menunjukkan hipotesis $\sigma_u = 0$ ditolak pada level 0,05 ($p = 0,000$). Galat acak tidak banyak berkontribusi, sebagaimana ditunjukkan nilai σ_u jauh lebih tinggi dibandingkan σ_v (sebagai catatan, nilai λ juga dapat dijadikan acuan).

Berdasarkan estimasi yang diperoleh dapat dibangun relasi sebagai berikut:

$$\ln T_a = 0,279593 \ln C + 3,896829 \quad (10)$$

Atau

$$T_a = \exp(0,279593 \ln C + 3,896829) \quad (11)$$

Dengan T_a = batas atas tarif tol untuk golongan I (Rp/km). **Tabel 6** menyajikan estimasi parameter menggunakan *cost frontier function* untuk estimasi batas bawah tarif tol.

Baik model maupun parameter signifikan secara statistik, namun model yang diperoleh tidak lolos pada uji LR, yang artinya model dikategorikan sebagai model Cobb-Douglas. Oleh karena itu, **Persamaan (12)** atau **(13)** tidak dapat digunakan untuk mengestimasi batas bawah tarif tol tetapi dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan rerata tarif tol.

$$\ln T = 0,3980148 \ln C + 1,996266 \quad (12)$$

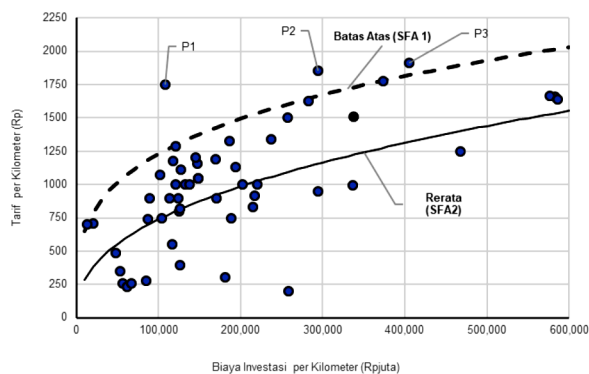
atau

Tabel 5. Estimasi parameter batas atas tarif tol berdasarkan *stochastic frontier analysis* (Model SFA1)

Ln Tarif per km	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
Ln Biaya_per_km	0,279593	2,06E-06	1,40E+05	0,000	0,279588	0,279597
_Konstanta	3,896829	0,000029	1,30E+05	0,000	3,896772	3,896886
Ln σ_v^2	-34,3265	194,4361	-0,18	0,860	-415,414	346,7613
Ln σ_u^2	-0,75654	0,2	-3,78	0,000	-1,14853	-0,36454
σ_v	3,52E-08	3,42E-06			6,22E-91	1,99E+75
σ_u	0,685047	0,068505			0,563119	0,833375
σ^2	0,46929	0,093858			0,285332	0,653248
$\lambda = \sigma_u / \sigma_v$	1,95E+07	0,068505			1,95E+07	1,95E+07

Tabel 6. Estimasi parameter batas bawah tarif tol berdasarkan *stochastic frontier analysis* (Model SFA2)

Ln Tarif per km	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
Ln Biaya_per_km	0,398015	0,089539	4,45	0,000	0,22252	0,57351
_Konstanta	1,996266	4,819483	0,41	0,679	-7,44975	11,44228
Ln σ_v^2	-1,51165	0,200137	-7,55	0,000	-1,90391	-1,11939
Ln σ_u^2	-15,7455	30921,72	0,00	1,000	-60621	60590
σ_v	0,469623	0,046994			0,38599	0,57138
σ_u	0,000381	5,890239			0,00000	,
σ^2	0,220546	0,044202			0,13391	0,30718
$\lambda = \sigma_u / \sigma_v$	0,000811	5,892162			-11,54761	11,54924



Gambar 8. Batas atas dan rerata tarif tol golongan I menurut biaya investasi

Tabel 7. Estimasi tarif tol rerata dan batas atas menurut besaran investasi

Biaya Investasi (Rp/juta/km)	Tarif Tol (Rp/km) Golongan I	
	Batas Atas (SFA1)	Rerata (SFA2)
100.000	1.231	720
150.000	1.379	846
200.000	1.495	948
250.000	1.591	1.036
300.000	1.674	1.114
350.000	1.748	1.185
400.000	1.814	1.249

$$T = \exp(0,3980148 \ln C + 1,996266) \quad (13)$$

dengan T = tarif rerata golongan I (Rp/km). Gambar 8 menampilkan kurva yang dibentuk dari model SFA1 dan model SFA2 yang masing-masing merepresentasikan batas atas dan rerata tarif tol.

Dengan mengabaikan *intercept* karena tidak signifikan secara statistik, Persamaan (12) dapat dituliskan kembali sebagai:

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \left(\frac{C_2}{C_1}\right)^{0,398} \quad (14)$$

dengan T_1 = perkiraan tarif tol ruas 1 (Rp/km), T_2 = perkiraan tarif tol ruas 2 (Rp/km), C_1 = biaya investasi

(Rp. juta/km) untuk ruas 1, C_2 = biaya investasi (Rp. juta/km) untuk ruas 2.

Persamaan (14) adalah model estimasi *Cost-to-Capacity* yang masuk dalam kelas estimasi 4 atau 5 menurut klasifikasi American Association of Cost Engineers (Baumann, 2014) dengan T_1 (Rp/km) dan T_2 (Rp/km) adalah tarif tol per km untuk ruas jalan tol 1 dan 2 jika biaya investasi per km untuk kedua ruas tersebut, berturut-turut, adalah C_1 (Rp. juta/km) dan C_2 (Rp. juta/km). Yang menarik untuk didiskusikan adalah koefisien faktor kapasitas *i.e.*, 0,398 di bawah 1,0 yang menunjukkan hubungan yang terjadi antara keduanya adalah *increasing return to scale*, yang artinya kecepatan kenaikan tarif tol per km semakin lama semakin mengecil seiring dengan bertambahnya

kenaikan biaya investasi jalan tol per km. Dengan kata lain, terjadi *economies of scale*.

Tabel 7 menyajikan contoh perhitungan tarif rerata dan batas atas; misal, jika biaya investasi per km suatu ruas jalan tol adalah Rp. 150 miliar, tarif tol per km dapat direncanakan antara Rp. 846 dan setinggi-tingginya Rp. 1.379. Saat data yang dimiliki sudah semakin lengkap, estimasi tarif dapat ditinjau kembali dengan mempertimbangkan ketersediaan data dan hasil perhitungan *financial modeling*.

5. Kesimpulan

1. Tulisan ini menyajikan model parametrik untuk menentukan batas atas tarif tol berdasarkan *benchmarking* menggunakan metode SFA dan data empiris yang tersedia. Sebagai parameter adalah biaya investasi karena parameter ini signifikan secara statistik berkorelasi dengan tarif tol sementara parameter lainnya *i.e.*, lama konsesi dan IRR ternyata tidak berkorelasi secara signifikan. Di sisi lain, dengan parameter tunggal, model yang dibangun menjadi sederhana. Model dapat dimanfaatkan untuk kepentingan estimasi awal tarif tol guna penyusunan studi pendahuluan yang mana ketersediaan data menjadi salah satu tantangan terbesar. Berdasarkan acuan ini, Pemerintah dapat menginvestigasi lebih lanjut faktor-faktor penyebab saat tarif tol yang diusulkan melebihi batas atas yang dihitung menggunakan model ini *e.g.*, ruas-ruas jalan tol yang dinotasikan P1, P2, dan P3 pada **Gambar 8**. Investigasi faktor-faktor ini berada di luar ruang lingkup studi ini.
2. Karena sifatnya parametris, estimasi tarif tol tentunya tidak bisa dibandingkan dengan estimasi tarif tol secara definitif saat penyusunan OBC dan FBC dengan data dan asumsi yang jauh lebih detail, *e.g.*, *capital expenditure*, *operation expenditure*, *cost of equity*, *cost of debt*, porsi utang dalam struktur pendanaan, perkiraan volume kendaraan, risiko-risiko selama masa konsesi, tingkat pajak, kesediaan dan kemampuan membayar calon pengguna tol, besar keuntungan biaya operasional kendaraan, dan asumsi-asumsi indikator makroekonomi *e.g.*, laju inflasi, nilai tukar, tingkat suku bunga, serta *rate of return* minimum yang bisa diterima. Namun, dengan adanya batas atas ini, Pemerintah setidaknya telah memiliki acuan tarif yang wajar jika biaya investasi dapat diperkirakan.
3. Penentuan batas atas dan bawah tarif tol juga dapat dikaitkan dengan rencana sistem jaringan jalan dan dampak pembangunan jalan sebagai penunjang pertumbuhan ekonomi yang memungkinkan tarif tol dapat diterima secara luas oleh pengguna jalan. Hal ini mengingatkan citra jalan tol yang tidak lagi berfungsi menjadi jalan alternatif, melainkan bagian dari jaringan jalan untuk mempercepat waktu tempuh. Selain itu, penentuan batas tarif ini juga relevan dengan konsep pengembangan wilayah sehingga perkiraan volume lalu lintas

menjadi salah satu isu penting dengan mempertimbangkan kewajaran tarif tol.

4. Model ini memiliki keterbatasan. Pertama, sampel data yang digunakan diakui masih sangat terbatas. Terpilihnya biaya investasi sebagai satu-satunya parameter, misal, bisa diakibatkan keterbatasan ini. Masa konsesi, misal, seharusnya memiliki pengaruh terhadap tarif tol. Kedua, data tarif tol yang digunakan adalah tarif saat ini yang diasumsikan merefleksikan tarif saat suatu ruas kali pertama dioperasikan. Asumsi ini memang tidak akurat karena penyesuaian tarif tidak selalu mengikuti Perjanjian Pengusahaan Jalan Tol, terutama antara tahun 1992 dan 2002 (baca, misal, Wibowo (2005)). Ketiga, tarif tol yang diestimasi adalah tarif tol golongan I dengan asumsi golongan inilah yang memberikan kontribusi terbesar pendapatan tol. Namun, tarif tol kendaraan lain juga seharusnya tidak bisa diabaikan karena memengaruhi biaya operasi dan pemeliharaan secara substansial akibat *e.g.*, dimensi dan beban kendaraan berlebih. Keterbatasan-keterbatasan studi ini dapat memberikan arah bagi studi lanjutan dengan melibatkan parameter-parameter lain dan sampel data yang memadai.

Daftar Pustaka

- Akaike, H. (1998). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In E. Parzen, K. Tanabe, & G. Kitagawa (Eds.), *Selected papers of Hirotugu Akaike* (pp. 199–214). Springer.
- Alfiansyah, A. D., Karsaman, R. H., & Rasyid, H. Al. (2021). Kajian investasi pembangunan jalan tol menggunakan dana haji (Studi kasus: jalan tol Gempol-Pandaan). *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 28(1), 63–72. <https://doi.org/10.5614/jts.2020.28.1.7>
- Arsyad, M., & Wibowo, A. (2015). Mengukur efisiensi kontraktor di sektor konstruksi nasional menggunakan Data Envelopment Analysis. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 22(2), 115–126. <https://doi.org/10.5614/jts.2015.22.2.5>
- Badan Pengatur Jalan Tol. (2021). *Transformasi jalan tol merajut nusantara*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. <https://bpjt.pu.go.id/berita/launching-buku-laporan-tahunan-2020-bpjt-transformasi-jalan-tol-merajut-nusantara>
- Baten, A., & Hossain, I. (2014). Stochastic frontier model with distributional assumptions for rice production technical efficiency. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(3), 481–496.
- Baumann, C. T. (2014). Cost-to-Capacity method: Applications and considerations. *The M&TS Journal*, 30(1), 49–56.

- Chau, K. W. (1995). The validity of the triangular distribution assumption in Monte Carlo simulation of construction costs: Empirical evidence from Hong Kong. *Construction Management and Economics*, 13(1), 15–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01446199500000003>
- Chen, C., & Doloi, H. (2008). BOT application in China: Driving and impeding factors. *International Journal of Project Management*, 26(4), 388–398. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.07.002>
- Daito, N., & Gifford, J. L. (2014). U.S. highway public private partnerships: Are they more expensive or efficient than the traditional model? *Managerial Finance*, 40(11), 1131–1151. <https://doi.org/10.1108/MF-03-2014-0072>
- Hermawan, R., Frazila, R. B., Awang, A., & Jihanny, J. (2013). Hubungan antara variasi tarif tol dengan pendapatan dan tingkat pelayanan. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 20(1), 55. <https://doi.org/10.5614/jts.2013.20.1.7>
- Irwin, T. (2007). *Government guarantees: allocating and valuing risk in privately financed infrastructure projects*. World Bank.
- Jerome, A. (2011). Infrastructure, economic growth and poverty reduction in Africa. *Journal of Infrastructure Development*, 3(2), 127–151. <https://doi.org/10.1177/097493061100300203>
- Kodongo, O., & Ojah, K. (2016). Does infrastructure really explain economic growth in Sub-Saharan Africa? *Review of Development Finance*, 6(2), 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.rdf.2016.12.001>
- Kumbhakar, S. C., Wang, H.-J., & Horncastle, A. (2015). *A practitioner's guide to stochastic frontier analysis using STATA*. Cambridge University Press.
- Leys, C., Delacre, M., Mora, Y. L., Lakens, D., & Ley, C. (2019). How to classify, detect, and manage univariate and multivariate outliers, with emphasis on pre-registration. *International Review of Social Psychology*, 32(1), 1–10. <https://doi.org/10.5334/irsp.289>
- Murillo, K. P., Rocha, E., & Rodrigues, M. F. (2019). Construction sectors efficiency analysis on seven European countries. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(8), 1801–1819. <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2018-0287>
- Nguyen, H. T. (2020). A closer look at stochastic frontier analysis in economics. *Asian Journal of Economics and Banking*, 4(3), 3–28. <https://doi.org/10.1108/AJEB-07-2020-0032>
- Organisation for Economic Cooperation and Development. (2014). *Public-private partnerships in the Middle East and North Africa: A handbook for policy makers*. Organisation for Economic Cooperation and Development.
- Rohman, M. A. (2021). Assessment of the government's role performance in public-private partnership (PPP) toll road projects in Indonesia. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, ahead-of-p(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/JFMPC-07-2019-0065>
- Sari, N. F. A., & Widyastuti, H. (2019). Analisis kelayakan ekonomi dan finansial pembangunan Jalan Tol Pandaan-malang. *Jurnal Teknik ITS*, 8 (1), E13-19.
- Schwab, K., & Zahidi, S. (2020). The global competitiveness report: How countries are performing on the road to recovery. In *World Economic Forum*. World Economic Forum. www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2020.pdf
- Shen, L., Tam, V. W. Y., Gan, L., Ye, K., & Zhao, Z. (2016). Improving sustainability performance for public-private-partnership (PPP) projects. *Sustainability (Switzerland)*, 8(289), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su8030289>
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2018). *Using multivariate statistics* (7th.). Pearson Education. https://doi.org/10.1007/978-3-540-47648-1_3905
- U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. (2008). *Congestion pricing*. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. <https://doi.org/10.4324/9781315726786>
- Venkadasalam, S., Mohamad, A., & Sifat, I. M. (2020). Operational efficiency of shipping companies. *International Journal of Emerging Markets*, 15 (5), 875–897. <https://doi.org/10.1108/IJOEM-07-2019-0493>
- Vishwakarma, A., Kulshrestha, M., & Kulshreshtha, M. (2012). Efficiency evaluation of municipal solid waste management utilities in the urban cities of the state of Madhya Pradesh, India, using stochastic frontier analysis. *Benchmarking: An International Journal*, 19(3), 340–357. <https://doi.org/10.1108/14635771211242996>
- Wibowo, A. (2005). *Private participation in transport: Case of Indonesia's Build, Operate, Transfer (BOT) toll roads* (B. Kochendoerfer (ed.)). TU Berlin-Universitaetsverlag.
- Wibowo, A. (2010). Regulasi tarif sistem hibrid alternatif untuk proyek privatisasi infrastruktur

- berisiko tinggi. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 13(2), 67. <https://doi.org/10.5614/jts.2006.13.2.2>
- Wibowo, A. (2012). Inflasi dalam analisis finansial investasi jalan tol: Perlakuan dan pengaruhnya bagi badan usaha dan pemerintah. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 19(1), 15. <https://doi.org/10.5614/jts.2012.19.1.2>
- Wibowo, A., & Alfen, H. W. (2015). Benchmarking the efficiencies of Indonesia's municipal water utilities using stackelberg data envelopment analysis. *Benchmarking*, 22(4). <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2014-0009>
- Wirahadikusumah, R. D., Sapitri, S., Susanti, B., & Soemardi, B. W. (2013). Isu strategis pada pengadaan perusahaan jalan tol dalam kerjasama pemerintah dan swasta. *Jurnal Teknik Sipil*, 20(3), 233. <https://doi.org/10.5614/jts.2013.20.3.7>
- Ye, S., & Tiong, R. L. K. (2000). NPV-at-risk method in infrastructure project investment evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(June), 227–233. [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2000\)126:3\(227\)](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2000)126:3(227))
- Yu, C. (2016). Airline productivity and efficiency: Concept, measurement, and applications. In *Airline Efficiency* (Vol. 5, pp. 11–53). <https://doi.org/10.1108/S2212-160920160000005002>
- Zangoueznezhad, A., & Azar, A. (2014). How public-private partnership projects impact infrastructure industry for economic growth. *International Journal of Social Economics*, 41(10), 994–1010. <https://doi.org/10.1108/IJSE-04-2013-0083>