



JURNAL REKAYASA, TEKNOLOGI, DAN SAINS
 ISSN 2541-4720 (Print)
 ISSN 2549-984X (Online)

INFORMASI ARTIKEL

Disubmit: 30 Juli 2024

Diterima: 4 Agustus 2024

Diterbitkan: 5 Agustus 2024

at: <http://ejournalmalahayati.ac.id/index.php/teknologi/index>

Model analisis risiko dan ketidakpastian prediksi arus lalu lintas

Weka Indra Dharmawan*

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Malahayati Bandar Lampung, Indonesia

Korespondensi Penulis: Weka Indra Dharmawan*. Email: wekadharmawan@gmail.com

ABSTRAK

Risiko dan ketidakpastian adalah salah satu dari berbagai permasalahan yang menjadi perhatian dalam perencanaan transportasi. Ketidakakuratan dalam memprediksi permintaan pergerakan (*travel demand*) merupakan gambaran suatu bentuk risiko di dalam perencanaan proyek infrastruktur transportasi. Pengalaman internasional mengisyaratkan bahwa simpangan pada prediksi tersebut sangat berpengaruh pada proyek-proyek infrastruktur jalan dan dampak risikonya, yang selama ini sering diabaikan. Ada beberapa alasan yang menjadi sumber ketidakakuratan dalam memprediksi volume arus lalu lintas, diantaranya adalah terjadi *force majeure* (resesi ekonomi atau bencana alam) yang tidak terduga sebelumnya, sekenario tata guna lahan pada masa yang akan datang tidak pernah terealisasi, kecenderungan sangat optimis bagi perencanaan yang berorientasi keuntungan (*cost recovery*), kesalahan dalam menetapkan besarnya tarif terhadap kesediaan membayar (*willingness to pay*) dari pengguna jalan tol, serta adanya persaingan antar rute dan moda transportasi. Selain itu juga adanya keterbatasan dalam memilih model yang tepat (*poor models*) bisa menjadi alasan utama penyebab ketidakakuratan dalam memprediksi volume arus lalu lintas. Naskah ini dimaksudkan untuk memberikan suatu gambaran terhadap model simulasi stokastik analisis ketidakpastian (*uncertainty*) dan risiko (*risk*) secara kuantitatif yang digunakan pada perencanaan transportasi menggunakan model empat tahap (*four steps model*) di dalam memprediksi volume lalu lintas (*traffic forecasts*) dari suatu investasi proyek infrastruktur jalan. Parameter statistik yang dihasilkan dari hasil model tersebut diharapkan dapat membantu pemerintah dan para investor dalam pengambilan keputusan guna menilai kelayakan investasi proyek-proyek infrastruktur transportasi khususnya infrastruktur jalan secara ilmiah dan sistematis.

Kata Kunci: analisis ketidakpastian, prediksi permintaan pergerakan, risiko

ABSTRACT

Traffic flow prediction risk and uncertainty analysis model. Risk and uncertainty are among the many issues of concern in transportation planning. Inaccuracies in predicting travel demand represent a form of risk in planning transportation infrastructure projects. International experience suggests that deviations in these predictions significantly impact road infrastructure projects and their risk impacts, which are often overlooked. There are several reasons for

inaccuracies in forecasting traffic flows, including unforeseen force majeure (economic recession or natural disaster), future land use scenarios that never materialise, the tendency of profit-oriented planners to be very optimistic (cost recovery), errors in setting tariffs against the willingness of toll road users to pay, and competition between routes and modes of transport. In addition, limitations in choosing the right model (poor models) can be the main reason for inaccuracy in forecasting traffic flows. This paper is intended to provide an overview of a stochastic simulation model for quantitative uncertainty and risk analysis used in transport planning using the four-step model in predicting traffic forecasts for road infrastructure investment projects. The statistical parameters generated from the model results are expected to help the government and investors make decisions to scientifically and systematically assess the feasibility of investing in transport infrastructure projects, especially road infrastructure.

Keywords: *uncertainty analysis, travel demand prediction, traffic risk*

1. LATAR BELAKANG

Risiko dan ketidakpastian adalah salah satu dari berbagai permasalahan yang menjadi perhatian dalam perencanaan transportasi. Ketidakakuratan dalam memprediksi permintaan pergerakan (*travel demand*) merupakan gambaran suatu bentuk risiko di dalam perencanaan proyek infrastruktur transportasi. Pengalaman internasional mengisyaratkan bahwa simpangan pada prediksi tersebut sangat berpengaruh pada proyek-proyek infrastruktur jalan dan dampak risikonya, yang selama ini sering diabaikan (Welde, M. dan Odeck, J., 2011).

Kesalahan dalam memprediksi volume arus lalu lintas bisa berakibat pada kesalahan dalam pengambilan keputusan bagi pemangku kebijakan dan investor. Prediksi permintaan pergerakan digunakan untuk menentukan ukuran kapasitas infrastruktur transportasi (seperti lebar dan jumlah lajur pada jalan, atau rencana kebutuhan jumlah angkutan transportasi masal). Ketidakakuratan prediksi tersebut bisa menyebabkan tidak efisiennya investasi yang akan diberikan. Beberapa analisis seperti perkiraan dampak sosioekonomi dan lingkungan, serta analisis biaya manfaat yang sering dilakukan pada perencanaan kegiatan pembangunan infrastruktur jalan, sangat tergantung pada keakuratan di dalam memprediksi volume arus lalu lintas (Hartgen D. T., 2013). Infrastruktur jalan tol sepenuhnya sangat bergantung pada besarnya volume lalu lintas, yang nantinya akan berdampak pada arus pendapatan (*revenue streams*). Ketidakakuratan dalam memprediksi volume arus lalu lintas merupakan risiko yang cukup signifikan di dalam berinvestasi pada infrastruktur jalan tol.

Ada beberapa alasan yang menjadi sumber ketidakakuratan dalam memprediksi volume arus lalu lintas, diantaranya adalah terjadi *force majeure* (resesi ekonomi atau bencana alam) yang

tidak terduga sebelumnya, sekenario tata guna lahan pada masa yang akan datang tidak pernah terealisasi, kecenderungan sangat optimis bagi perencana yang berorientasi keuntungan (*cost recovery*), kesalahan dalam menetapkan besarnya tarif terhadap kesediaan membayar (*willingness to pay*) dari pengguna jalan tol, serta adanya persaingan antar rute dan moda transportasi. Selain itu juga adanya keterbatasan dalam memilih model yang tepat (*poor models*) bisa menjadi alasan utama penyebab ketidakakuratan dalam memprediksi volume arus lalu lintas (Willumsen, L. G., 2005).

Model transportasi terdiri dari kombinasi antara variabel eksogen (data masukan) dan koefisien (parameter) yang menunjukkan bagaimana variabel endogen (hasil keluaran), seperti permintaan pergerakan atau arus lalu lintas pada ruas jalan tergantung pada variabel bebasnya (bahkan bisa juga tergantung dengan variabel terikat lainnya). Di dalam melakukan proses peramalan pada masa yang akan datang, prediksi terhadap variabel endogen melibatkan unsur sumber daya yang lain, dan biasanya dalam bentuk model. Oleh sebab itu unsur ketidakpastian hasil keluaran dari model disebabkan oleh :

- Unsur ketidakpastian pada proses input : prediksi di masa yang akan datang dari variabel eksogen (jumlah penduduk, pendapatan penduduk, atau perubahan tata guna lahan) yang sulit untuk dipastikan.
- Unsur ketidakpastian model :
 - a. Kesalahan di dalam persamaan model (ada variabel yang hilang, kurang tepat dalam melakukan asumsi pada bentuk persamaan statistika).
 - b. Kesalahan yang disebabkan karena penggunaan nilai parameter terhadap nilai sebenarnya.

Naskah ini dimaksudkan untuk memberikan suatu gambaran terhadap model

simulasi stokastik analisis ketidakpastian (*uncertainty*) dan risiko (*risk*) secara kuantitatif yang digunakan pada perencanaan transportasi menggunakan model empat tahap (*four steps model*) di dalam memprediksi volume lalu lintas (*traffic forecasts*) dari suatu investasi proyek infrastruktur jalan. Parameter statistik yang dihasilkan dari hasil model tersebut diharapkan dapat membantu pemerintah dan para investor di dalam melakukan evaluasi investasi pada infrastruktur jalan secara ilmiah dan sistematis.

2. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan adalah studi literatur. Metode studi literatur adalah serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengelolah bahan penelitian. Tahap metode penelitian adalah: pertama merumuskan pertanyaan penelitian yang spesifik, kedua mengidentifikasi dan menyaring sumber-sumber yang relevan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan, ketiga, menilai kualitas dan kredibilitas dari literatur yang dipilih. Ini melibatkan pemeriksaan metodologi, hasil, dan kesimpulan dari penelitian-penelitian yang dikaji, serta terakhir keempat mengorganisir dan mengintegrasikan temuan-temuan dari literatur yang berbeda. Pendekatan ini membantu peneliti untuk mendapatkan gambaran menyeluruh tentang permasalahan model analisis risiko dan ketidakpastian prediksi arus lalu lintas, serta memastikan bahwa kajian yang dilakukan didasarkan pada pemahaman yang solid tentang penelitian sebelumnya.

3. PENGERTIAN RISIKO DAN KETIDAKPASTIAN

Risiko (*risks*) mengandung arti probabilitas dari keuntungan atau kerugian yang akan terjadi sebagai hasil dari unsur ketidakpastian. Sedangkan unsur ketidakpastian (*uncertainty*) adalah suatu besaran yang memiliki lebih dari satu kemungkinan nilai. Risiko dan ketidakpastian menggambarkan suatu situasi kejadian atau kegiatan tertentu yang menghasilkan suatu keluaran yang mungkin berbeda dari nilai-nilai yang diperkirakan atau diramalkan sebelumnya.

Unsur ketidakpastian mengandung makna membuat suatu keputusan yang harus dipilih berdasarkan informasi yang belum lengkap terhadap suatu proyek yang secara fisik belum ada (Walker, 2000). Adanya unsur ketidakpastian tersebut disebabkan oleh suatu

kejadian acak (*random*) dari beberapa sumber kesalahan, yaitu :

- Kesalahan Data (*Data Errors*).
Kesalahan data merupakan bentuk dari ketidakpastian data historis. Hal ini disebabkan karena adanya kesalahan dalam pengukuran data, pengambilan data dan *human errors*. Ketidakpastian akibat kesalahan data, dapat diukur dengan menggunakan metode statistik. Untuk mengurangi adanya kesalahan data tersebut, diperlukan pengumpulan data historis yang lebih lengkap.
- Kesalahan Prediksi (*Forecast Errors*).
Kesalahan prediksi merupakan bentuk dari ketidakpastian terhadap peristiwa dimasa yang akan datang. Usaha untuk melakukan penilaian evaluasi ekonomi dimasa mendatang adalah merupakan sesuatu yang bersifat *questionable* dan *unquantifiable*. Analisis ekonomi dengan cara konvensional seperti NPV dan IRR bertujuan untuk mengetahui kesalahan prediksi. Namun demikian, ada keterbatasan di dalam mengurangi kesalahan prediksi.
- Kesalahan model (*Model Errors*).
Kesalahan model mengandung kesalahan yang bersifat sisa (*residual errors*). Salah satu dampak yang ditimbulkan akibat kesalahan model adalah perbedaan antara hasil observasi dan model. Adanya kesalahan model diakibatkan sulitnya merepresentasikan dunia nyata kedalam pemodelan matematis. Kuantifikasi manfaat ekonomi dengan menggunakan prediksi lalu lintas dan keterlambatan, harga BBM, pendapatan negara dan nilai waktu adalah sebagian dari kesalahan model.

4. TINJAUAN LITERATUR

Pada tahun 2002, *Standard and Poor's (Infrastructure Finance Consulting)* telah melakukan penelitian di 32 sampel jalan tol yang ada di seluruh dunia. Hasil penelitian tersebut memperlihatkan adanya ketidakakuratan antara permintaan transportasi aktual terhadap hasil prediksi model dari studi kelayakannya. Menunjukkan bahwa dari 32 studi kasus yang diamati, terdapat 28 diantaranya memiliki prediksi volume arus lalu lintas Jalan Tol hasil model studi kelayakan yang lebih besar (*overestimate*) dari kondisi aktual (*Forecast Performance < 1,00*) dan hanya ada 4 studi kasus di bawah (*underestimate*) dari kondisi aktual (*Forecast Performance > 1,00*).

Risiko dari kegagalan dalam memprediksi permintaan transportasi dan hubungannya

terhadap risiko penilaian investasi menjadi perhatian utama dalam perencanaan dan proses pengambilan kebijakan. Flyvjerg dkk. (2005) melakukan studi terhadap 210 proyek infrastruktur transportasi (jalan dan kereta api) 14 negara, hasilnya menunjukkan bahwa prediksi penumpang kereta api rata-rata 106 persen lebih besar (*overestimate*) dari kondisi aktual, sedangkan untuk proyek jalan sekitar 20 persen terhadap kondisi aktual. Ketidakakuratan dalam memperediksi permintaan pergerakan terhadap penumpang kereta api dan volume lalu lintas jalan tersebut menunjukkan adanya permasalahan perencanaan yang sering terjadi pada proyek-proyek infrastruktur transportasi berbiaya tinggi.

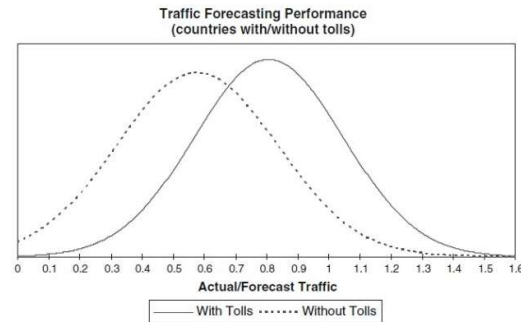
Hasil kajian literatur dari De Jong dkk. (2007) menyimpulkan bahwa studi yang mengukur ketidakpastian di dalam prediksi volume arus lalu lintas masih dirasa sangat kurang. Ketidakpastian tersebut dibedakan terhadap unsur ketidakpastian data masukan (seperti pendapatan penduduk dan kepemilikan kendaraan di masa yang akan datang) dan ketidakpastian terhadap model yang digunakan (kesalahan dalam meperkirakan nilai-nilai parameter). Pada umumnya, prediksi terhadap unsur ketidakpastian berupa analisis sensitivitas model terhadap nilai parameter tertentu yang dilakukan secara berulang kemudian dibetuk distribusi statistiknya diperoleh nilai rata-rata prediksi volume arus lalu lintas antara $\pm 18\%$ hingga $\pm 33\%$.

Bain (2009) telah menunjukkan hasil penelitiannya terhadap lebih dari 100 proyek jalan tol dan jalan bukan tol yang ada di seluruh dunia, bahwa volume lalu lintas yang diprediksi dari hasil model umumnya lebih besar (*overestimate*) terhadap kondisi aktual di lapangan pada tahun pertama. Gambar 1 menunjukkan distribusi normal dari data aktual dan prediksi volume arus lalu lintas dengan nilai rata-rata sebesar 0,58 dan deviasi standar sebesar 0,26 untuk jalan bukan tol, sedangkan untuk jalan tol memiliki nilai rata-rata sebesar 0,81 dan deviasi standar sebesar 0,24. Kecendrungan kesalahan prediksi lebih besar terjadi terhadap jalan bukan tol. Berdasarkan atas intuisi, kesalahan tersebut dikarenakan adanya penyederhanaan kalibrasi data historis dan evaluasi terhadap hasil prediksi dari model yang digunakan.

5. MODEL PERMINTAAN PERGERAKAN

Model permintaan pergerakan terus mengalami perkembangan, beberapa perubahan mendasar baik dari segi desain dan pendekatan

serta jenis analisis ketidakpastian yang diasumsikan berbeda. Rasouli dan Timmermans (2012) mengatakan hingga saat ini masih terbuka peluang perdebatan terhadap model-model yang digunakan untuk memprediksi permintaan transportasi terutama pada pendekatan parameter yang digunakan.



Gambar 1. Distribusi Normal Rasio Volume Lalu Lintas Aktual dan Hasil Model Jalan Tol dan Jalan Bukan Tol

5.1 Pendekatan Model Empat Tahap

Model empat tahap (*four step models*) merupakan bentuk model deterministik dengan menggunakan unsur ketidakpastian sebagai parameter. Model ini terdiri dari beberapa seri submodel, yaitu bangkitan pergerakan, sebaran pergerakan, pemilihan moda, dan pemilihan rute, yang masing-masing dilakukan secara terpisah serta berurutan. Bangkitan pergerakan diprediksi menggunakan analisis regresi dari sosio demografi dan tata guna lahan sebagai variabel bebasnya. Interaksi antar ruang (spasial) menghasilkan model prediksi terhadap sebaran pergerakan (OD matriks). Pemilihan terhadap moda transportasi biasanya langsung ditentukan pada saat melakukan OD matriks. Pemilihan rute dilakukan dengan cara membebani OD matriks terhadap jaringan transportasi yang ada, dan algoritma yang digunakan untuk memprediksi volume arus lalu lintas sudah banyak tersedia. Untuk dapat mengkuantifikasi derajat ketidakspatian, model empat tahap menggunakan nilai-nilai dari variabel bebas yang terdistribusi probabilistik dan akan menghasilkan kemungkinan banyak nilai. Model monte carlo digunakan untuk membangkitkan kemungkinan banyak nilai dari hasil prediksi yang telah dilakukan ke dalam distribusi probabilistik dengan nilai deviasi standar tertentu.

Rodier dan Jhonston (2002), menggunakan persentase proyeksi populasi, lapangan pekerjaan, harga bahan bakar, dan pendapatan yang digunakan untuk memprediksi permintaan pergerakan dan tingkat emisi di wilayah Sacramento. Hasil studi tersebut

mengidentifikasi pengaruh proyeksi populasi dan lapangan pekerjaan berpengaruh paling signifikan terhadap prediksi permintaan pergerakan dan tingkat emisi. Sedangkan pendapatan rumah tangga dan perubahan harga bahan bakar tidak terlalu berpengaruh.

Armoogum (2003), melakukan studi terhadap bangkitan permintaan pergerakan yang terjadi di kota Paris dengan menggunakan analisis model varians yang sederhana. Unsur ketidakpastiannya menggunakan prediksi populasi. Teknik *Jackknifing* digunakan dalam memilih sampel yang berbeda dan memperkirakan varians serta besarnya interval tingkat kepercayaan dari prediksi frekuensi pergerakan dan jarak perjalanan per hari. Unsur ketidakpastian digunakan beberapa skenario berbeda dari prediksi populasi. Hasil studi diperoleh interval tingkat kepercayaan akan bertambah ketika parameter waktu (*time horizon*) bertambah. Tingkat kesalahan bertambah 10% hingga 30% untuk frekuensi pergerakan dengan perbedaan antara wilayah berjarak 3% hingga 10% dari jarak perjalanan. Prediksi frekuensi pergerakan bervariasi antara -5% dan 15% untuk prediksi populasi yang berbeda dan variasi tersebut akan menjadi kurang sensitif ketika jarak perjalanan terus bertambah.

5.2 Pendekatan Model Pemilihan Diskrit

Model pemilihan diskrit untuk memprediksi permintaan pergerakan adalah model yang cukup sulit. Model ini digunakan untuk memprediksi pemilihan dari respon atau tanggapan secara terpisah (seperti pemilihan moda, pemilihan rute dll.) dengan menggunakan teori utilitas acak (*random utility theory*), yaitu alternatif pilihan yang digambarkan dalam sebuah fungsi utilitas menggunakan variabel acak atau deterministik. Asumsi bahwa suatu perilaku selalu memaksimalkan utilitas, maka probabilitas pilihan suatu alternatif akan dipilih tergantung dari bentuk distribusi komponen acak dan asumsi penilaian terhadap matriks varians dan kovarians. Aplikasi yang digunakan dalam model prediksi permintaan pergerakan banyak melibatkan persamaan *multinomial* atau *nested logit*. Pada submodel dari permodel empat tahap menggunakan model pemilihan diskrit seperti pada model agregat dari pemilihan moda dan model diskrit tujuan pergerakan.

Penggunaan model pemilihan diskrit menggunakan mikrosimulasi untuk mendefinisikan parameter ketidakpastian dan tingkat kesalahan dalam bentuk stokastik. Besar Hugosson (2004), menggunakan model ini terhadap sampling error unsur ketidakpastian

dalam tahap pemilihan moda dan tujuan pergerakan di negara Swedia. Moda yang digunakan sebagai pilihan adalah mobil pribadi, bus, kereta, kereta cepat dan pesawat terbang. Alternatif tujuan pergerakan berjumlah 20 zona wilayah tujuan. Frekuensinya alternatif adalah melakukan pergerakan atau tidak. Model menggunakan sampel acak sebanyak 999. Teknik *Bootstrapping* digunakan untuk mendefinisikan pengaruh dari unsur ketidakpastian dalam hasil keluaran dari model yang digunakan terhadap nilai deviasi standar, tingkat kesalahan, tingkat kepercayaan dari prediksi populasi. Hasil studi diperoleh total permintaan, permintaan asal tujuan dan arus pada jaringan. Ketidakpastian total permintaan bervariasi antara $\pm 8,5\%$ untuk mobil pribadi dan $\pm 13,3\%$ kereta api. Ketidakpastian dari permintaan OD matriks bervariasi antara $\pm 6,5\%$ dan 14%. Tingkat kesalahan standar cukup besar pada sample yang besar.

Yang dan Chen (2010), melakukan studi ketidakpastian dan kesalahan yang terjadi pada model permintaan pergerakan yang sudah pernah dilakukan oleh Oppenheim (1995). Model ini menggunakan persamaan program non linier yang dipakai dalam menganalisis sensitivitas dari variabel hasil keluaran dengan cara memvariasikan variabel masukan dan parameter dari model permintaan pergerakan. Hasil keluaran dari model berupa permintaan pergerakan, volume arus lalu lintas, dan biaya perjalanan. Model analisis ketidakpastian digunakan pada jaringan Sioux Fall, terdiri dari 24 simpang dan 76 ruas terhadap moda kendaraan pribadi dan angkutan umum sebagai variabel bebas yang terdistribusi normal dengan koefisien variasi ditentukan sebesar 0,3 untuk kedua variabel tersebut. Hasilnya simulasi menunjukkan koefisien variasi dari permintaan pergerakan dan volume arus lalu lintas hampir sama terhadap unsur ketidakpastian, dengan kata lain ketidakpastian pada arus di ruas berkurang pada saat proses pembebanan. Berbeda dengan koefisien variasi total waktu perjalanan dan total kendaraan mil lebih kecil dari koefisien variasi data masukan.

5.3 Pendekatan Model Berbasis Aktivitas

Permintaan pergerakan dengan menggunakan model berbasis aktivitas di turunkan jenis perjalanan yang dilakukan, sehingga harus mengetahui tujuan dari suatu aktivitas kegiatan. Perjalanan merupakan hasil dari kebutuhan turunan manusia atau struktur rumah tangga dalam melakukan kegiatan sehari-hari dalam skala ruang dan waktu. Perbedaan

antara model empat tahap dan model berbasis aktivitas adalah mempertimbangkan keterlibatan aktivitas. Prediksi permintaan pergerakan dengan menggunakan model berbasis aktivitas sepenuhnya berdasarkan kepada pilihan individu secara subyektif untuk memilih tujuan perjalanan, kapan akan dilakukan dan berapa lama, memilih moda yang digunakan atau rute apa yang akan dipilih.

Analisis ketidakpastian dari model berbasis aktivitas pada permasalahan yang kompleks dan secara komprehensif dilakukan oleh Colls dkk. (2011). Menganalisis unsur ketidakpastian dengan model FEATHERS yang dilakukan secara mikrosimulasi dengan 200 kali simulasi terhadap 10% jumlah populasi. Ketidakpastian diukur berdasarkan koefisien variasi terhadap jumlah rata-rata harian pergerakan orang dan rata-rata harian jarak perjalanan orang. Indikator performa dihitung untuk semua sampel dan segmentasi terhadap pemilihan moda, usia dan jenis kelamin. Koefisien variasi dihitung berdasarkan 200 kali melakukan simulasi dan hasilnya dibandingkan terhadap 1,27% ambang batas dari tingkat kesalahan, dengan 95% tingkat kepercayaan dan 5% nilai deviasi. Model ini banyak digunakan dalam kajian transportasi publik. Penggunaan analisis regresi linier dilakukan untuk memeriksa variabel tersegmentasi dan kompleks pada varian tingkat kesalahan mikrosimulasi. Jenis kelamin tidak berpengaruh signifikan terhadap tingkat kesalahan mikrosimulasi. Pengaruh usia terhadap tingkat kesalahan bertambah secara monoton.

6. VARIABEL MODEL PREDIKSI VOLUME LALU LINTAS

Di dalam melakukan pemodelan transportasi, ada tiga variabel terukur yang dianggap mendominasi, yaitu sistem tata guna lahan (*land use*), sistem prasarana transportasi dan sistem pergerakan lalu lintas. Sistem tata guna lahan merupakan faktor sosioekonomi yang diantaranya adalah jumlah penduduk, lapangan kerja, pendapatan dan karakteristik pemilikan kendaraan. Sistem prasarana transportasi dapat berupa waktu tempuh dan biaya perjalanan. Sedangkan sistem pergerakan lalu lintas adalah jumlah penumpang, barang atau kendaraan (Tamin, O.Z., 2000).

Sistem tata guna lahan adalah variabel eksogen (data masukan), karena intensitasnya bervariasi untuk setiap lahan yang berbeda dan juga berubah sebagai fungsi dari waktu. Begitu juga sistem prasarana transportasi yang merupakan variabel eksogen (hasil keluaran), hal ini dikarenakan kualitas dan kuantitasnya

bervariasi secara geografis serta berubah sebagai fungsi dari waktu, sebagai contoh adanya pembangunan jalan baru dan peningkatan pelayanan angkutan umum. Sistem pergerakan (arus lalu lintas) merupakan variabel endogen yang merupakan hasil dari interaksi antara kedua sistem tersebut (sistem tata guna lahan dan sistem prasarana transportasi).

7. ANALISIS RISIKO KUANTITATIF (*QUANTITATIVE RISK ANALYSIS*)

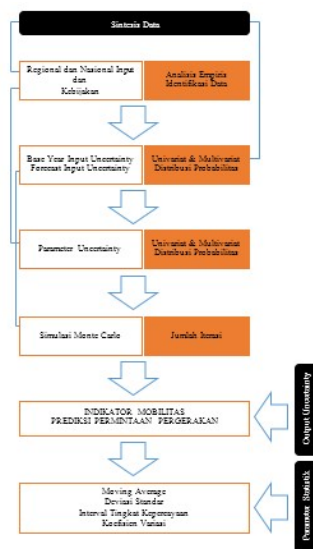
Penilaian analisis risiko kuantitatif dalam suatu proyek dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain adalah dengan metode analisis skenario (*scenario analysis*), analisis kepekaan (*sensitivity analysis*) dan penilaian berdasarkan probabilitas (*probability based assessment*). Dua yang terakhir dari ketiga analisis penilaian tersebut merupakan rekomendasi dari *The World Road Congress Committee on Economic and Financial* (1983) yang digunakan sebagai penilaian analisis risiko suatu proyek jalan.

Secara garis besar metodologi singkat dari ketiga analisis penilaian tersebut adalah :

- Analisis Skenario (*Scenario Analysis*). Analisis skenario atau dikenal dengan istilah “*what if scenario*” dapat digunakan untuk menilai ketidakpastian dan risiko terhadap prediksi dimasa yang akan datang (Walker, 2000). Beberapa alternatif skenario diusulkan, kemudian dilakukan analisis penilaian untuk mendapatkan informasi skenario mana yang memiliki ketidakpastian dan risiko yang paling minimal, manfaat yang paling besar, biaya yang paling efektif dan efisien. Penilaian skenario tidak memprediksi dan menghitung besarnya probabilitas ketidakpastian dan risiko yang akan terjadi dari suatu proyek dimasa mendatang. Analisis skenario hanya mengindikasikan apa yang dapat terjadi dari alternatif skenario yang berbeda.
- Analisis Kepekaan (*Sensitivity Analysis*). Analisis kepekaan dilakukan untuk mengetahui pengaruh utama suatu variabel masukan (*input variables*) serta pengaruh dari interaksi antar variabel terhadap suatu hasil (*output*) yang diperhitungkan. Hasil analisis kepekaan bersifat deterministik atau nilai tunggal (*single value*). Ketidakpastian dari kesalahan data dan kesalahan prediksi dapat diperoleh dari analisis kepekaan. *The World Road Congress Committee on Economic and Financial* (1983) telah melakukan identifikasi dan mengklasifikasikan variabel-variabel masukan yang berpotensi sebagai sumber kesalahan di dalam pemodelan lalu lintas

dengan cara analisis kepekaan. Dari hasil analisis tersebut diindikasikan bahwa penyebab ketidakpastian (*uncertainty*) lebih didominasi oleh kesalahan terhadap prediksi (*forecasting errors*) dari pada kesalahan terhadap data (*data errors*) atau kesalahan model (*model errors*). Kesalahan terhadap prediksi tersebut paling banyak dipengaruhi oleh faktor prediksi pertumbuhan ekonomi (GDP) dan perubahan harga BBM.

- Penilaian Berdasarkan Probabilitas (*Probability Based Assessment*). Penilaian berdasarkan probabilitas adalah suatu penilaian yang menggunakan model stokastik dari metode statistik, sebagai cara untuk mengetahui besarnya risiko dengan melibatkan unsur ketidakpastian. Langkah awal dalam melakukan metode ini adalah menetapkan model matematika yang berhubungan dengan faktor-faktor di dalam pengambilan keputusan. Kemudian, ketidakpastian dari variabel-variabel masukan (*input variables*) dikuantifikasi serta dimodelkan ke dalam distribusi probabilitas dan parameter-parameter statistik. Hasil keluaran analisis tersebut berupa distribusi probabilitas dan parameter-parameter statistik.



Gambar 2. Kerangka Konsep Model Analisis Risiko Kuantitatif

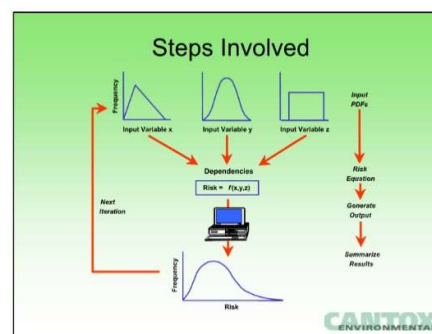
Gambar 2 menunjukkan kerangka konsep pemodelan analisis risiko kuantitatif yang digunakan dalam memprediksi permintaan pergerakan lalu lintas.

8. ANALISIS RISIKO MODEL SIMULASI STOKASTIK

Pemikiran dasar dari simulasi adalah memodelkan suatu proses dan mencurahkan perhatian terhadap berbagai kejadian yang terjadi selama proses tersebut berjalan (Morlok, E. K., 1984). Ada dua jenis simulasi yang dilakukan untuk memodelkan suatu proses, yaitu :

- Simulasi deterministik, yang berarti semua kejadian ditetapkan dengan pasti.
- Simulasi stokastik, yaitu suatu teknik simulasi di mana variabel-variabel masukan (*input variables*) dianggap mengandung unsur ketidakpastian (*uncertainty*) terhadap suatu model tertentu, kemudian disajikan dalam bentuk distribusi probabilitas sehingga mendapatkan keluaran (*output*) yang diinginkan dalam bentuk distribusi probabilitas pula. Simulasi stokastik yang saat ini cukup populer adalah model simulasi stokastik *Monte Carlo*.
- Saat ini model stokastik sering digunakan untuk menganalisis penilaian risiko kuantitatif dari suatu proyek infrastruktur. **Gambar 3** menjelaskan bagaimana tahapan dari model stokastik tersebut.

- Variabel-variabel masukan (*input*) yang merupakan unsur ketidakpastian dimodelkan kedalam fungsi distribusi probabilitas atau *probability distribution functions* (PDF). Kemudian fungsi distribusi probabilitas tersebut disimulasikan terhadap persamaan model (fungsi obyektif) dari analisis risiko secara komputasi. Proses komputerisasi digunakan untuk mengiterasi yang dilakukan secara acak dari setiap variabel-variabel masukan tersebut. Hasil keluaran (*output*) dari model simulasi stokastik adalah dalam bentuk fungsi distribusi probabilitas (PDF). Model simulasi stokastik yang umumnya digunakan adalah dengan menggunakan model simulasi *Monte Carlo*.



Gambar 3. Diagram Alir Model Stokastik (Sumber : Moore, Dwayne R.J.)

Struktur aritmatik dari model simulasi stokastik *Monte Carlo* adalah sangat sederhana. Sama seperti pada model persamaan deterministik yang menggunakan perkalian, pembagian, penjumlahan dan pengurangan. Di dalam aplikasinya, model simulasi *Monte Carlo* dapat dilakukan secara komputerisasi. Program aplikasi yang umumnya sering digunakan untuk menganalisis risiko adalah @RISK.

9. SIMPULAN

Makalah ini meringkas beberapa studi tentang analisis ketidakpastian dalam prediksi permintaan pergerakan pada infrastruktur transportasi. Berdasarkan hasil kajian terhadap literatur yang ada, masih sangat terbatas jumlah literatur yang berhungun dengan model analisis kuantifikasi ketidakpastian dalam memprediksi permintaan pergerakan lalu lintas. Analisis kajian dibedakan antara variabel eksogen sebagai masukan unsur ketidakpastian (seperti kondisi sosio ekonomi, kondisi demografi, kondisi tata guna lahan dan lain sebagainya yang terjadi di masa mendatang) dan model dari ketidakpastian itu sendiri.

Untuk mengkuantifikasi variabel eksogen beberapa literatur melakukan dengan cara mikrosimulasi dengan menggunakan variabel acak untuk mendapatkan nilai-nilai distribusi statistika. Membangkitkan variabel acak tersebut dengan melakukan iterasi sebanyak mungkin agar mendapatkan hasil yang optimal. Unsur ketidakpastian dinilai dari varians dari nilai distribusi variabel eksogen tersebut.

Nilai varians dari variabel endogenus diperoleh dari parameter variabel eksogen yang terdistribusi probabilistik. Teknik *The Jackknife* dan *Bootstrap* pada variabel eksogen untuk menentukan nilai t-rasio atau *standar error*. Berdasarkan nilai-nilai tersebut digunakan untuk mengkoreksi parameter dari variabel eksogen dan besarnya iterasi yang akan dilakukan, sehingga akan diperoleh hasil model yang optimal.

Analisis model risiko kuantitatif untuk memprediksi permintaan pergerakan lalu lintas dapat membantu baik pemerintah ataupun para investor guna menilai kelayakan proyek-proyek infrastruktur transportasi. Model tersebut juga bisa digunakan pada permasalahan yang kompleks dikarenakan berbasis komputasi.

DAFTAR PUSTAKA

Armoogum, J. (2003), *Measuring the impact of uncertainty in travel demand modelling with a demographic approach, Paper*

- presented at the European Transport Conference, Strasbourg, France.*
- Bain, R. (2002). *Credit Implication of Traffic Risk in Start Up Toll Facilities*. Standard & Poors, London.
- Bain, R. (2003). *Traffic Forecasting Risk : Study Update 2003*. Standard & Poors, London.
- Bain, R. (2004). *Traffic Forecasting Risk : Study Update 2004*. Standard & Poors, London.
- Beser Hugosson, M. (2004), *Quantifying uncertainties in the SAMPERS long distance forecasting system, paper presented at WCTR 2004, Istanbul.*
- Cools, M., B. Kochan, T. Bellemans, D. Janssens and G. Wets (2011), *Assessment of the effect of microsimulation error on key travel indices: Evidence from the activity-based model Feathers, Transportation Research Record 1558, to appear.*
- Day, A. (2003). *Mastering Risk Modeling (A Practical Guide to Modeling Uncertainty With Excel)*. Prentice Hall, Great Britain.
- Fitriani, H., Farida, P. and Wibowo, A. (2006). *Kajian Penerapan Model NPV at Risk Sebagai Alat Untuk Melakukan Evaluasi Investasi Pada Proyek Infrastruktur Jalan Tol. Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan. Vol. II, No. 1, 1 – 12.*
- Kennedy, J. B. and Nevile, A. M. (1976). *Basic Statistical Methods*. Harper & Row Publishers, New York.
- Lam, W. H. K. and Tam, M. L. (1998). *Risk Analysis of Traffic and Revenue Forecasts for Road Investment Project. Journal of Infrastructure System. 19 – 27. China.*
- Loh, J. (2003). *Rating Methodology : Toll Road Project*. Rating Agency Malaysia Berhard, Kuala Lumpur.
- Morlok, E. K. (1984). *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Muchsin, H. (2007). *Investasi Jalan Tol (Pemahaman Atas Struktur Perusahaan, Kelayakan, Persaingan Usaha dan Kredit Investasi*. Badan Penerbit Fakultas Hukum Universitas Indonesia, Jakarta.
- Ortuzar, J. D. and Willumsen, L. G. (1994). *Modeling Transport, Second Edition*. Jhon Wiley & Sons Ltd, England.
- Piyatrapoomi, N., Kumar, A. and Setunge, S. *Framework for Investment Decision Making under Risk and Uncertainty for Infrastructure Asset Management*. RMIT University, Melbourne, Australia.
- Rodger, C and Petch, J. (1999). *Uncertainty & Risk Analysis*. Pricewaterhouse Coopers, United Kingdom.

- Rodier, C.J. and R.A. Johnston (2002), *Uncertain socioeconomic projections used in travel demand and emissions models : could plausible errors result in air quality nonconformity?*, *Transportation Research A*, 36, 613-631.
- Tamin, O. Z. (2000). *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, Edisi II. Penerbit ITB, Bandung.
- Vose, D. (1996). *Quantitative Risk Analysis (A Guide to Monte Carlo Simulation Modelling)*. Jhon Wiley & Sons Ltd, England.
- Vassallo, M. J. (2007). *Traffic Risk Mitigation in Highway Concession Project*. Centro De Investigación Del Transporte Universidad Politécnica De Madrid Universidad Politecnica, Linköping (Sweden).
- Wibowo, A. *Manajemen Risiko Dalam Industri Jalan Tol yang Didanai Sektor Swasta di Indonesia*. Departemen Teknik Sipil ITB, Bandung.
- World Bank (2005). *Risk & Uncertainty Analysis*. Transport Note No. TRN 7, Washington, DC.
- Yang, C. and A. Chen. (2011), *Sensitivity-based uncertainty analysis of a combined travel demand model*. *Transportation Research Record*, 1535.