

# PEMILIHAN BENTUK MODEL PENILAIAN RISIKO BENCANA GEMPA BUMI UNTUK RUAS JALAN NASIONAL DI INDONESIA

Mona Foralisa Toyfur<sup>1</sup>, Krishna S. Pribadi<sup>2</sup>, Sony S. Wibowo<sup>2</sup> dan I Wayan Sengara<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang  
E-mail: monatoyfur@gmail.com

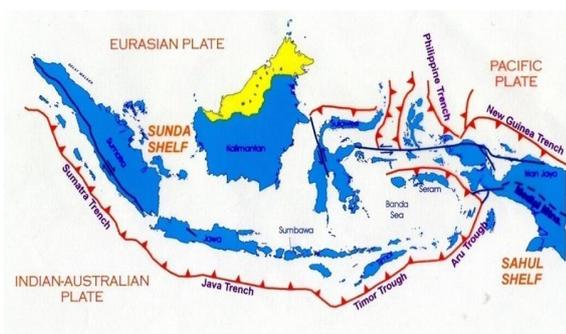
<sup>2</sup>Program Studi Magister dan Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung

**Abstrak.** Indonesia merupakan negara yang sangat rawan terhadap bencana alam. Bencana alam banjir, gempa bumi, longsor, gempa bumi, dan tsunami merupakan bencana alam yang banyak berpengaruh terhadap jalan dan jembatan di Indonesia. Gempa bumi merupakan bencana yang kejadiannya sulit diprediksi, tetapi dampak merusak gempa bumi sangat besar dibanding dengan bencana banjir yang selalu terjadi secara periodik. Pemerintah Indonesia belum memiliki manajemen risiko bencana alam yang menyeluruh untuk ruas jalan, terutama tahap mitigasi. Pada saat ini baru tersedia dan diterapkan pedoman untuk tahap tanggap darurat (setelah terjadi bencana). Pada saat ini telah berkembang model penilaian kuantitatif, kualitatif dan semi kuantitatif sebagai alat untuk menilai risiko bencana. Pemilihan bentuk model penilaian yang tepat sangat penting berkaitan dengan keluaran yang diharapkan. Masing-masing bentuk model penilaian memiliki kebutuhan masukan jumlah dan ketelitian/akurasi data. Penelitian ini bertujuan untuk memilih model penilaian risiko bencana gempa bumi untuk ruas jalan nasional. Metodologi yang digunakan adalah dengan studi literatur dan pengambilan data primer dengan wawancara. Hasil studi literatur dan pengamatan lapangan memperlihatkan bahwa model penilaian semi kuantitatif merupakan model yang paling cocok digunakan untuk Indonesia.

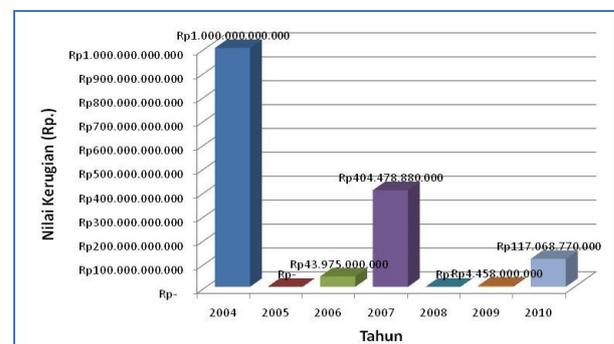
**Kata kunci:** bencana, gempa bumi, model penilaian, risiko, ruas jalan

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik yaitu lempeng Benua Asia, Benua Australia, lempeng Samudera Hindia dan Samudera Pasifik (Gambar 1). Interaksi antar lempeng ini mengakibatkan Indonesia menjadi wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi (Milson dkk, 1992).



Gambar 1. Posisi Geografis Indonesia

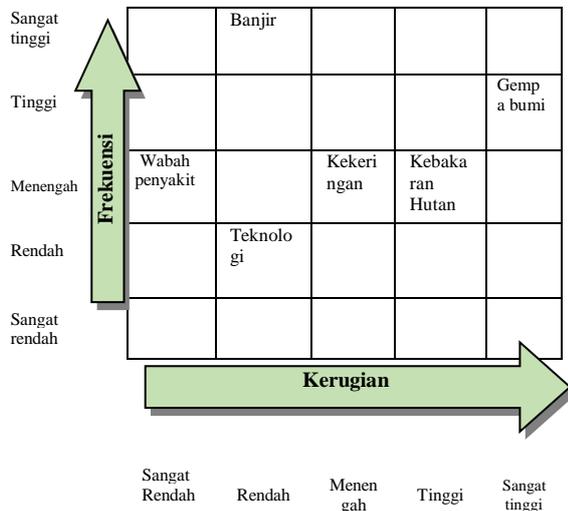


Gambar 2. Nilai kerugian bidang jalan dan jembatan

Pada kejadian bencana, infrastruktur merupakan salah satu elemen yang terdampak bencana. Infrastruktur merupakan bangunan yang digunakan untuk mendukung kegiatan masyarakat. Salah satu infrastruktur yang terdampak bencana adalah jalan dan jembatan. Kerugian pada jalan dan jembatan nasional akibat bencana alam dapat dilihat pada Gambar 2 berikut. Kerugian yang sangat besar dialami pada tahun 2004 karena adanya kejadian gempa dan tsunami

Aceh. Kerugian yang dialami diperkirakan sebesar Rp 1 Trilyun.

Bila ditinjau dari frekuensi, karakteristik bahaya gempa bumi sangat berbeda dengan bahaya banjir. Di Indonesia, banjir terjadi hampir setiap tahun dengan dampak kerugian yang lebih rendah daripada gempa bumi. Karakteristik frekuensi kejadian bencana gempa bumi lebih rendah daripada bencana banjir, tetapi mengakibatkan kerugian sangat besar (<http://www.emdat.be>) seperti terlihat pada skema matriks risiko bencana yang terjadi di Indonesia pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema matriks risiko bencana untuk Indonesia (<http://www.emdat.be>, 2016)

Jalan merupakan faktor penting dalam pergerakan satu daerah. Dalam Undang-undang No 38/2004 tentang Jalan, jalan sebagai bagian prasarana transportasi yang memiliki peran penting dalam segala aspek kehidupan masyarakat. Jalan berperan sebagai prasarana distribusi barang dan jasa, dan merupakan urat nadi kehidupan masyarakat, bangsa, dan negara. Jalan dengan kondisi baik diperlukan untuk dapat menjalankan peran sebagai prasarana transportasi dan prasarana distribusi barang dan jasa.

Rusaknya jalan akibat bencana alam akan menyebabkan gangguan aktivitas masyarakat. Akibat lebih parah dari kerusakan jalan dapat membuat daerah terkena bencana menjadi daerah yang tidak dapat diakses baik untuk pemberian bantuan maupun untuk jalur evakuasi. Dampak lain yang dapat terjadi adalah infrastruktur lain yang berada sepanjang jaringan jalan juga akan mengalami gangguan. Hal ini dapat menyebabkan gangguan total pada sistem infrastruktur secara keseluruhan. Kerusakan jalan juga akan mengakibatkan keterbatasan akses yang membuat tindakan untuk daerah yang terkena bencana tersebut akan terganggu atau terhambat.

Pada beberapa negara tetangga, pengelolaan risiko terhadap bencana dengan pengkhususan pada bidang jalan sudah mulai dilakukan misalnya di Filipina dan Australia. Beberapa negara ASEAN seperti Filipina telah memiliki system manajemen risiko untuk

infrastruktur berbasis *geographical information system* (GIS). Sistem ini juga memuat peringatan dini untuk bencana seperti banjir dan typhoon. Jepang dan Amerika Serikat merupakan negara-negara yang sudah memiliki sistem pengelolaan terhadap bencana untuk jalan dan jembatan secara menyeluruh yang ditangani secara khusus oleh Pemerintah (Ditjen Bina Marga, 2012).

Sampai saat ini Pemerintah Indonesia belum memiliki manajemen bencana pada sektor jalan dan jembatan secara khusus. Pelaksanaan manajemen risiko bencana alam pada sektor jalan dan jembatan diatur dalam kegiatan-kegiatan yang pelaksanaannya dikelola dan dikoordinasikan secara langsung oleh Balai Pelaksana Jalan Nasional.

Manajemen risiko bencana bertujuan untuk mengurangi dampak yang diakibatkan oleh bencana dengan mengurangi risiko pada saat sebelum terjadinya bencana dan berulang kembali apabila sesudah kejadian bencana. Penelitian tentang risiko bencana pada jaringan transportasi telah dimulai secara intensif sejak akhir tahun 1990-an terutama akibat gempa Northridge (1994) dan Kobe (1995). Dalam penelitian Kiremidjian, dkk (2007) disebutkan bahwa analisis dan penilaian risiko sangat signifikan mengurangi biaya akibat kerusakan dan kerugian yang ditimbulkan oleh bencana gempa bumi.

Analisis dan penilaian risiko bencana bermanfaat bagi pihak-pihak seperti perencana dan para pemangku kepentingan, asuransi, dan regulator untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan untuk manguangi kemungkinan kerusakan dan kerugian. Sesuai dengan kebutuhan para pihak yang membutuhkan penilaian risiko, pemodelan penilaian risiko gempa bumi berkembang dalam beberapa jenis, antara lain skenario, probabilistik dan estimasi kerugian (Coburn dan Spence, 2002).

Penilaian risiko gempa bumi diperlukan untuk mendapatkan informasi tentang risiko bencana gempa bumi yang potensial mengakibatkan kerusakan dan kerugian pada ruas jalan. Untuk melakukan penilaian risiko bencana, dibutuhkan alat bantu untuk menyederhanakan penggambaran menyeluruh terhadap faktor-faktor yang berhubungan dengan risiko. Salah satu alat bantu yang dapat digunakan adalah model penilaian risiko. Model penilaian risiko dapat berupa model kuantitatif (estimasi kerugian dan skenario kerusakan), semi kuantitatif (indeks risiko), dan kualitatif (matriks). Untuk memilih bentuk model tertentu tergantung kebutuhan informasi yang dibutuhkan oleh pengguna model baik sebagai masukan maupun keluaran dari model.

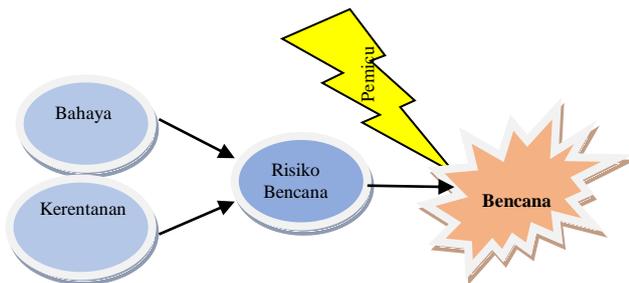
Untuk mempersiapkan ruas jalan terhadap kemungkinan terjadinya kerugian atau kerusakan tersebut diperlukan penilaian risiko kerugian/kerusakan agar pihak Pemerintah mengetahui tingkat risiko bencana gempa bumi ruas jalan. Dengan mengetahui tingkat risiko yang dihadapi oleh jalan dan jembatan, Pemerintah dapat melakukan tindakan yang dianggap perlu untuk mengurangi dampak kerusakan dan kerugian yang mungkin muncul akibat bencana.

Rumusan permasalahan dari penelitian ini adalah pemerintah Indonesia belum memiliki manajemen risiko yang menyeluruh untuk jalan, terutama upaya mitigasi yang masih sangat terbatas. Untuk melakukan manajemen risiko mulai tahap identifikasi risiko, analisis risiko dan penilaian risiko diperlukan alat bantu yang memudahkan pengelola jalan untuk melakukan manajemen risiko. Salah satu alat bantu yang dapat memudahkan pengelola jalan adalah menggunakan model untuk melakukan identifikasi, analisis dan penilaian risiko. Diperlukan bentuk model yang tepat untuk melakukan analisis dan penilaian risiko bencana untuk ruas jalan di Indonesia agar dapat menggambarkan tingkat risiko dan menentukan tindakan terhadap risiko bencana. Model penilaian tersebut harus mempertimbangkan kemudahan penggunaan, keterbatasan sumber daya dari pengguna, dan ketersediaan data serta akses untuk menggunakan model penilaian.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Risiko Bencana

Bencana dapat terjadi karena adanya dua kondisi yang terjadi bersamaan, yaitu adanya peristiwa alam atau gangguan yang mengancam atau merusak (*hazard*) serta adanya kerentanan (*vulnerability*). Bila hanya salah satu peristiwa alam (*hazard*) saja atau hanya ada kerentanan saja tanpa adanya peristiwa alam yang mengancam maka bencana tidak terjadi. Hubungan antara ancaman bahaya, kerentanan, risiko bencana dan kejadian bencana dapat digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan bahaya, kerentanan, risiko dan kejadian bencana, (BNPB, 2007)

Risiko dapat dihubungkan sebagai suatu ketidakpastian dari satu kejadian. Risiko dapat didefinisikan sebagai gabungan dari kemungkinan terjadinya kejadian yang berbahaya dan tingkat keparahan dari konsekuensi yang diakibatkan oleh kejadian tersebut (Cafiso, 2008).

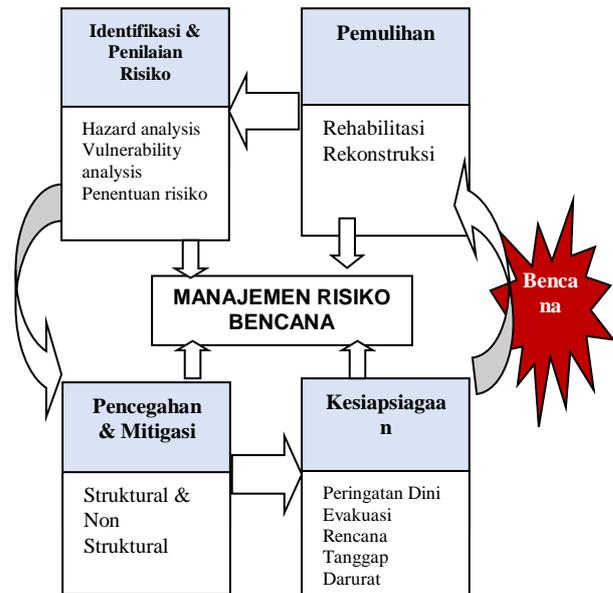
Risiko bencana merupakan besarnya kemungkinan kerugian yang ditimbulkan akibat bencana pada suatu area/daerah/kawasan dan waktu tertentu. Potensi kerugian tersebut dapat berupa kematian, luka, sakit, jiwa terancam, hilang rasa aman, mengungsi, kerusakan atau kehilangan harta, dan gangguan kegiatan masyarakat (UNISDR, 2009). Secara umum, risiko bencana dapat dirumuskan sebagai berikut (UNISDR, 2002):

$$\text{Risiko bencana} = \text{Bahaya} \times \frac{\text{Kerentanan}}{\text{Kapasitas}} \quad (1)$$

Risiko bencana dipengaruhi oleh ancaman bahaya (*hazard*), tingkat kerentanan (*vulnerability*) dan juga kapasitas (*capacity*) dari wilayah atau satu elemen dalam menghadapi peristiwa ancaman, Kapasitas merupakan bagian dari komponen kerentanan dan kapasitas yang baik dapat mengurangi tingkat kerentanan. Sebaliknya, kapasitas yang buruk dapat meningkatkan kerentanan dan meningkatkan risiko bencana.

### B. Manajemen Risiko Bencana

Manajemen risiko bencana adalah proses pengelolaan secara sistematis yang dilakukan untuk mengurangi dampak merugikan yang ditimbulkan ancaman bahaya dan kemungkinan bencana. Secara umum, siklus manajemen risiko bencana menurut UNISDR (2002) diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Siklus manajemen risiko bencana dan elemennya, (UN/ISDR 2002)

Manajemen risiko bencana meliputi tahap pra-bencana (situasi tidak terjadi bencana dan situasi tidak terdapat potensi bencana) dan tahap sesudah terjadi bencana. Situasi tidak terdapat kemungkinan/potensi terjadi bencana yaitu kondisi suatu wilayah yang berdasarkan analisis kerawanan bencana pada periode waktu tertentu tidak menghadapi bencana yang nyata.

Pengelolaan risiko bencana berada pada fase pra-bencana yang dilakukan melalui pencegahan, mitigasi dan kesiapsiagaan. Penilaian risiko bencana dilakukan pada tahap tidak terjadi bencana pada siklus manajemen bencana. Penilaian risiko bencana merupakan satu bagian dari penerapan upaya mitigasi bencana. Mitigasi bencana merupakan salah satu komponen utama yang penting dari proses manajemen

bencana berbasis risiko. Mitigasi bencana mencakup upaya-upaya untuk mengurangi dampak kerugian, baik korban jiwa, kehilangan harta benda maupun kerugian-kerugian lainnya seperti gangguan sosial ekonomi dan kerusakan peristiwa alam (*natural hazards*) maupun akibat perbuatan manusia (*man made hazards*).

Seperti yang telah diuraikan di atas, dalam melakukan manajemen risiko, tahap awal yang dilakukan adalah identifikasi risiko. Setelah dilakukan identifikasi risiko, maka tahap selanjutnya adalah analisis risiko. Analisis risiko merupakan proses melakukan analisis terhadap kemungkinan potensi kerugian yang mungkin terjadi dari satu kejadian bencana. Analisis risiko dilakukan dengan melakukan kajian terhadap potensi bahaya yang meliputi identifikasi dan analisis potensi bahaya serta melakukan kajian kerentanan yang meliputi identifikasi dan analisis kerentanan (Sengara & Pribadi, 2009).

Analisis risiko dapat dilakukan dalam bentuk analisis kualitatif, semi-kuantitatif, atau dalam bentuk kuantitatif. Analisis risiko menggunakan model semi kuantitatif digunakan untuk kajian risiko cepat (*rapid risk analysis*) yang merupakan tahap awal kajian risiko. Analisis risiko secara kuantitatif dilakukan untuk analisis risiko secara mendetail (*in-depth risk analysis*). Analisis risiko kuantitatif dilakukan dengan analisis/kajian yang lebih mendetail serta menggunakan penerapan metode, ilmu dan teknologi untuk dapat memberikan gambaran tingkat kerusakan dan kerugian dalam bentuk nilai uang yang lebih representatif.

### C. Model-model Penilaian Risiko pada Jaringan Jalan

Terdapat jurang lebih tiga bentuk model penilaian untuk mengestimasi kerugian yang diakibatkan bencana gempa bumi. Bentuk model penilaian risiko bencana dapat dibagi menjadi (Davidson (1997); Coburn dan Spence (2002)):

- a. Model penilaian risiko kuantitatif
  - Berdasar analisis statistik probabilistik korelasi kejadian bencana, besaran bencana dengan nilai kerusakan/kerugian yang terjadi untuk setiap *element at risk*
  - Berdasar model analitik kegagalan element at risk (damage curve) yang dihubungkan dengan tingkat kerusakan yang terjadi berdasar tingkat kerentanan *element at risk (vulnerability/fragility curve)*, untuk suatu skenario bencana tertentu
- b. Model penilaian risiko kualitatif
  - Analisis SWOT
  - Analisis deskriptif skenario bencana beserta dampaknya
  - Analisis deskriptif dari faktor-faktor risiko dengan kriteria kualitatif
- c. Model penilaian risiko semi kuantitatif
  - Analisis risiko relatif menggunakan pendekatan indeks risiko.

Jenis model penilaian risiko gempa bumi antara lain yaitu indeks risiko, estimasi kerugian, dan skenario

kerusakan. Masing-masing bentuk model penilaian risiko membutuhkan masukan data maupun keluaran yang berbeda. Pengguna model maupun pengembang model dapat memilih sesuai dengan apa yang dibutuhkan.

Indeks risiko bencana gempa bumi (*Earthquake Disaster Risk Index*, EDRI) membutuhkan masukan data yang lebih sederhana, dibandingkan metoda kuantitatif lainnya yang membutuhkan informasi detail (Davidson, 1997).

Output dari model indeks merupakan nilai risiko relatif (bukan nilai risiko kuantitatif dalam bentuk uang). Output dari estimasi kerugian merupakan nilai kerugian ekonomi dan kerusakan struktural. Output yang dihasilkan dari model skenario merupakan deskripsi secara kualitatif dari kejadian yang mengikuti kejadian bencana gempa bumi.

Untuk mengembangkan model indeks, dibutuhkan jumlah data yang lebih sedikit, dibandingkan model skenario dan model estimasi kerugian.

Pada tahun 1991, FEMA mengembangkan penilaian kerentanan terhadap gempa bumi dan dampaknya terhadap jaringan-jaringan pendukung melalui ATC-25. Penilaian kerugian dilakukan untuk kerugian langsung dan tidak langsung. Kerugian langsung didefinisikan sebagai kerusakan yang dihasilkan langsung dari getaran tanah atau kerugian yang diakibatkan oleh bahaya ikutannya misalnya akibat likuifaksi. Untuk setiap kerugian langsung, dinilai dalam biaya penggantian konstruksi akibat kerusakan (*replacement cost*) yang bervariasi antara 0 % s.d 100%. Estimasi kerusakan dapat dihasilkan dari :

1. Estimasi intensitas getaran tanah dari model bahaya seismik
2. Inventarisasi data pada lokasi dan tipe fasilitas yang terdampak
3. Fungsi kerentanan yang berhubungan dengan intensitas seismic dan kondisi situs terhadap kemungkinan kerusakan yang terjadi

Luna, dkk (2008) melakukan kajian tentang estimasi kerugian langsung dan tidak langsung dari jembatan pada kawasan metropolitan St. Louis, Missouri. Beberapa skenario gempa digunakan untuk menggambarkan beberapa kondisi kemungkinan kerugian yang diperkirakan akan terjadi bila gempa dengan magnitudo tertentu terjadi. Magnitudo yang dipilih adalah magnitudo yang memiliki dampak besar/probabilitas rendah dan dampak kecil/probabilitas lebih tinggi. Selain itu jarak dan kedalaman sumber gempa juga menjadi pertimbangan dipilihnya skenario gempa. Metodologi kajian ini menggunakan bantuan HAZUS-MH (FEMA 2003). Probabilitas kejadian masing-masing skenario gempa yang dipilih akan memberikan kemungkinan kejadian dengan masing-masing *damage state*.

Kerugian langsung dinyatakan sebagai biaya penggantian akibat kerusakan agar kembali pada kondisi semula (kondisi 100%). Kerugian tidak langsung yang diakibatkan oleh bencana gempa bumi pada jaringan lalu lintas adalah berupa gangguan terhadap fungsi jalan dan jembatan, sehingga

mengakibatkan penurunan kapasitas jalan. Gangguan lalu lintas berdampak pada pengguna jalan yang mengakibatkan adanya perubahan waktu tempuh yang diakibatkan perubahan kapasitas jalan, penambahan biaya operasi akibat adanya terjadi perubahan rute, serta adanya perubahan jarak tempuh yang harus dilalui oleh pengguna jalan. Dampak lainnya adalah adanya gangguan ekonomi akibat penurunan produksi dari wilayah yang menggunakan jalan yang terkena dampak bencana (Enke, dkk, 2008). Pada penelitian ini, Enke dkk melakukan kajian terhadap model transportasi yang ditransisi dari data HAZUS-MH. Output dari kajian ini adalah model jaringan transportasi dengan perubahan pada waktu tempuh dan jarak tempuh apabila terjadi bencana dengan skenario gempa tertentu. Perubahan waktu tempuh dan perubahan jarak tempuh ini dikalkulasikan dengan nilai uang yang harus dikeluarkan oleh pengguna jalan. Persentase besaran kerugian ekonomi ini diperkirakan sebesar 30% dibandingkan dengan kerugian langsung infrastruktur (kerusakan akibat bencana).

Tsuchiya, dkk (2007) melakukan penelitian tentang penilaian kerugian ekonomi yang diakibatkan adanya gangguan terhadap jaringan transportasi jalan dan kereta api. Model yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah model yang membahas tentang sektor produksi, perdagangan antar daerah, dan pendapatan rumah tangga dengan meninjau pergerakan penumpang dan barang. Output dari penelitian ini menghasilkan nilai kerugian yang diakibatkan oleh adanya gangguan terhadap transportasi jalan dan kereta api menggunakan skenario gempa berdasarkan rute-rute yang dihubungkan.

Nagae, dkk (2012) melakukan penelitian yang berkaitan dengan strategi yang dilakukan pada jaringan jalan perkotaan agar jaringan menjadi lebih tahan terhadap bencana gempa. Dua hal penting yang dilakukan adalah bagaimana mengevaluasi keandalan jaringan jalan perkotaan menghadapi bencana gempa bumi dengan magnitude yang besar dan bagaimana melakukan mitigasi terhadap jaringan jalan yang rawan bencana agar terhindar dari kerugian yang besar akibat bencana gempa bumi yang merusak. Aspek penting dari dampak bencana gempa bumi adalah adanya ketidakpastian dan adanya kerusakan satu bagian dari jaringan jalan yang akan memengaruhi jaringan jalan lainnya serta pola kerusakan yang tidak dapat diantisipasi sebelumnya.

Model yang digambarkan pada penelitian Nagae, dkk (2012) ini memperlihatkan bahwa pada satu jaringan jalan akan meningkat kerentanannya bila ada banyak fasilitas transportasi yang menghubungkan misalnya jembatan, terowongan, viaduct, embankment dan lain-lain. Tahap pengembangan model dilakukan dengan terlebih dahulu menilai jaringan jalan dari berapa banyak fasilitas transportasi yang berada pada jaringan tersebut. Dengan menggunakan beberapa skenario gempa bumi dan distribusi intensitas seismik yang terjadi maka dilanjutkan dengan menilai vulnerability dari jaringan jalan. Penilaian vulnerability ini menghasilkan kemungkinan penutupan jaringan dan

pola kerusakan jaringan.

Tahapan selanjutnya adalah mengembangkan strategi yang berhubungan dengan jaringan jalan dengan fasilitas transportasi yang sudah diperkuat dan tidak diperkuat. Tahapan ini juga menghasilkan pola kemungkinan kerusakan pada jaringan jalan berdasarkan jumlah fasilitas transportasi yang sudah diperkuat atau tidak diperkuat. Dengan menggunakan bantuan system informasi geografis, maka didapatkan strategi untuk mengoptimalkan jaringan jalan yang tahan terhadap gempa bumi. Hasil dari penelitian ini adalah berapa banyak link pada jaringan jalan yang tidak dihubungkan dan dihubungkan oleh jembatan beserta kondisi jembatan dengan beberapa skenario gempa bumi. Pengujian kasus ini dilakukan pada jaringan jalan kota Kobe. Penggunaan metode ini sulit diterapkan pada jaringan jalan dengan skala besar dan fasilitas dengan jumlah ratusan. Keterbatasan ini disebabkan oleh penggunaan persamaan matematika untuk mendapatkan persamaan optimal mendapatkan nilai optimum untuk strategi perkuatan pada jaringan jalan. Persamaan ini dapat menjadi optimum lokal, tidak optimum untuk seluruh kondisi.

Guerreiro dan Azevedo (2004), Kiremidjian, dkk (2005) dan Nillson (2008) menggunakan pendekatan skenario untuk melakukan penilaian risiko yang dihasilkan dari beberapa level magnitude gempa. Guerreiro dan Azevedo (2004), menggunakan *fragility curves* dengan dua skenario dengan PGA dan kemungkinan terjadinya likuifaksi dengan klasifikasi HAZUS99. Kiremidjian, dkk, (2005) melakukan analisis risiko pada gempa dengan magnitude 7.0 Mw sedangkan Nillson (2008) menggunakan magnitude 4; 5,5, dan 7 Mw dengan probabilitas terlampaui 2%, 5%, dan 10% dalam waktu 50 tahun.

Werner, dkk (2004; 2008) mengembangkan analisis risiko seismik (*seismic risk analysis/ SRA*) pada sistem *highway*. Metodologi yang digunakan dalam SRA dapat diterapkan secara multidisciplinary dan menggunakan beberapa modul sebagai masukan. SRA ini juga menggunakan pemodelan untuk skenario gempa bumi, *hazard*, fragilitas/kerentanan jembatan, dan analisis jaringan transportasi. Werner, dkk (2004; 2008) mengembangkan model ini dengan memperbaiki prosedur yang dikembangkan oleh *Federal Highway Administration* (FHWA). Metodologi SRA menggunakan masukan modul sistem, modul hazard, modul ekonomi, dan modul komponen. Metodologi SRA ini dapat diterapkan baik secara probabilitistik maupun deterministik.

Penelitian Hosseini dan Vayeghan (2008) mengembangkan Earthquake Disaster Risk Index (EDRI) dari Davidson (1997) untuk ruas jalan antar kota. Parameter yang digunakan untuk menghitung risiko terdiri dari dua jenis yaitu yang berhubungan dengan bahaya, dan *vulnerability* dari gempa bumi serta yang berhubungan dengan layanan transportasi.

Cafiso (2010) menggunakan indeks kerusakan yang dikembangkan dari faktor potensi bahaya, faktor kerentanan, dan faktor keterpaparan. Keterpaparan merupakan jumlah pengguna jalan baik langsung

maupun tidak langsung yang terganggu akibat adanya bencana gempa bumi.

Pada masa tanggap darurat, jaringan jalan berfungsi sebagai akses terhadap daerah yang terkena bencana. Pada beberapa gempa besar misalnya Kobe (1995) terjadi gangguan terhadap akses jaringan jalan sehingga mengakibatkan tindakan tanggap darurat terhadap daerah yang terkena bencana menjadi terganggu. Akibatnya kerusakan tidak langsung akibat kebakaran setelah gempa sebanding dengan kerusakan langsung akibat gempa. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka indirect exposure dapat didefinisikan sebagai jumlah pengguna jalan yang mengalami keterlambatan dalam penanganan pada masa tanggap darurat akibat gangguan pada jaringan jalan. Kajian yang dilakukan Cafiso ini dapat diterapkan pada *highway/jembatan* dan tidak dilakukan kajian pada jalan biasa.

Kementerian Pekerjaan Umum (2012) melakukan analisis risiko bencana ini pada jaringan jalan di sepanjang ruas nasional lintas barat Sumatera menggunakan indeks risiko. Indeks risiko dinilai dari analisis potensi bahaya, analisis kerentanan dan analisis ketahanan. Faktor-faktor risiko dalam kajian ini dinilai dari sub-sub faktor. Untuk potensi bahaya ditinjau potensi bahaya gempa, banjir, abrasi, letusan gunung api, dan gerakan tanah. Analisis bahaya (hazard) bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat bahaya di masing-masing bencana. Data yang dipergunakan merujuk pada pengalaman-pengalaman bencana yang pernah terjadi sebelumnya dan hasil pengamatan langsung di lapangan. Penentuan tingkat bahaya suatu bencana dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter, yaitu: faktor penyebab bencana, besarnya tenaga perusak, frekuensi perulangan bencana, kecepatan terjadinya bencana, luasan dampak bencana, potensi kerusakan yang ditimbulkan akibat bencana, jumlah kejadian yang tercatat (Kementerian PU, 2012). Model penilaian risiko bencana alam yang digunakan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga ini masih memiliki banyak indikator yang harus ditinjau kembali mengingat tidak langsung berhubungan dengan ruas jalan sebagai *element at risk*.

Model lain yang digunakan untuk menilai risiko dari beberapa bahaya (*multi-hazard*) adalah *Risk Matrix Analysis*. *Risk matrix analysis* menggunakan pendekatan kualitatif yang memperlihatkan peringkat risiko-risiko yang dikaji. Metoda ini memperlihatkan tingkat seberapa sering terjadinya kejadian bahaya dan tingkat keparahan kerugian bencana yang dapat terjadi. Metoda ini dapat dikembangkan dari pengalaman dan opini para pakar serta catatan histori kerugian akibat bencana. Perbandingan kebutuhan input dan output masing-masing model penilaian risiko bencana dapat dilihat pada Tabel 1.

### III. METODOLOGI

#### A. Identifikasi Bentuk Model Penilaian Risiko

Identifikasi bentuk model penilaian risiko bencana dilakukan dengan studi literatur. Penentuan model yang

dipilih berdasarkan pertimbangan berikut:

- Kemudahan penggunaan model
- Kemudahan pemahaman terhadap model
- Ketersediaan data yang dapat digunakan untuk membuat model

Tabel 1. Perbandingan output dan input model penilaian

Model	Output	Input
<b>Skenario</b> (Nillsson, 2008) (Geurreiro & Azevedo, 2004)	Dapat mengetahui kemungkinan kerusakan maupun kerugian pada jaringan jalan dengan skenario gempa yang ditentukan Dapat dilakukan secara probabilistik maupun deterministik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dibutuhkan data kejadian bencana gempa bumi yang lengkap (sumber gempa, jarak &amp; kedalaman sumber gempa)</li> <li>Dibutuhkan inventarisasi data jalan &amp; jembatan yang sangat detail, serta dalam jumlah besar</li> </ul>
<b>Estimasi kerugian</b> (Luna,dkk; 2008) (Werner, 2004) (Enke,dkk; 2008) (Tsuchiya, 2007)	Dapat mengetahui perkiraan kerugian (langsung dan tak langsung) untuk jaringan jalan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dibutuhkan data kejadian bencana gempa bumi yang lengkap (sumber gempa, jarak &amp; kedalaman sumber gempa) untuk mendapatkan probabilitas kerusakan untuk masing-masing <i>damage state</i></li> <li>Dibutuhkan inventarisasi data jalan &amp; jembatan yang sangat detail, serta dalam jumlah besar.</li> <li>Dibutuhkan data kerugian yang diakibatkan oleh bencana</li> </ul>
<b>Indeks Risiko</b> Ditjen Bina Marga Kem PU (2012) Cafiso (2010) Hosseini dan Vayeghan (2008)	Nilai yang dihasilkan adalah indeks relatif yang tidak memperlihatkan kuantitas secara absolut dan harus dibandingkan dengan nilai pada ruas lainnya	Data yang dibutuhkan dalam jumlah rendah Dapat digunakan untuk ruas jalan

Model penilaian risiko bencana gempa bumi untuk ruas jalan ini diharapkan akan dapat digunakan oleh pengelola jalan dalam hal ini Direktorat Jenderal Bina Marga untuk jalan nasional yang diwakili oleh Balai di daerah dan Dinas Bina Marga untuk jalan daerah.

Kemudahan penggunaan dan kemudahan pemahaman terhadap model diperlukan mengingat kemampuan sumber daya yang beragam. Mengingat keberagaman dan ketersediaan sumber daya manusia maupun alat yang dapat digunakan untuk melakukan penilaian risiko, maka model akan disusun secara sederhana dan mudah untuk digunakan oleh pengguna.

Untuk menyederhanakan lingkup kajian, penelitian ini dibatasi untuk lingkup ruas jalan. Ruas jalan merupakan bagian dari satu sistem jaringan jalan. Dari penilaian risiko pada satu ruas jalan, akan dapat dibandingkan risiko satu ruas jalan satu dengan ruas jalan lainnya pada satu jaringan jalan.

### B. Pemilihan Bentuk Model

Untuk mendapatkan bentuk model penilaian risiko yang tepat, maka harus dilakukan observasi terhadap pengelola jaringan jalan sebagai pengguna model penilaian risiko bencana. Ketersediaan data yang dibutuhkan untuk masing-masing bentuk model harus diidentifikasi terlebih dahulu. Hal ini dapat diketahui dengan melakukan wawancara dan membuat daftar (*Check List*) kebutuhan data untuk setiap bentuk model penilaian risiko.

## IV. PEMILIHAN BENTUK MODEL

Hasil kajian dari survei yang telah dilakukan pada Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional (BBPJJN IV Pelaksana II Jawa Barat), BBPJJN I Medan, BPJJN II Sumatera Barat, ketersediaan data yang dibutuhkan untuk mengimplementasikan model skenario dan model estimasi kerugian sangat sulit pada saat ini. Selain ketersediaan data yang terbatas, diharapkan model yang akan digunakan oleh pengguna merupakan model yang sederhana dan mudah dimengerti.

Pada model skenario kerusakan, data yang harus tersedia adalah data ruas jalan & data jembatan (termasuk kondisi eksisting jalan & jembatan), peta jaringan jalan & jembatan, data kejadian bencana gempa bumi, peta bencana untuk skenario baik secara probabilistic maupun deterministik. Untuk menghasilkan model kuantitatif seperti yang digunakan *Federal Highway Administration* (FHWA), dibutuhkan data dalam jumlah besar dan detail. Ketersediaan data *Peak Ground Acceleration* (PGA) juga dibutuhkan untuk menilai *fragility curves* untuk masing-masing jenis jalan termasuk material struktur jembatan. Hal ini akan menyulitkan model ini diterapkan pada saat ini, disebabkan Indonesia tidak memiliki data tersebut.

Pada model indeks risiko, data yang dibutuhkan adalah data ruas jalan & data jembatan (termasuk kondisi eksisting jalan & jembatan), peta ruas jalan & jembatan, dan peta bencana. Masing-masing faktor pada model ini memiliki nilai yang berpengaruh pada nilai risiko bencana. Model ini dapat diterapkan pada ruas jalan. Masing-masing ruas jalan akan memiliki nilai risiko yang akan dibandingkan untuk mendapatkan tingkat risiko karena nilai yang dihasilkan merupakan indeks relatif, bukan nilai absolut yang dapat menggambarkan tingkat risiko secara langsung. Model ini mudah dipahami dan digunakan karena faktor-faktor risiko dan indikatornya diperlihatkan untuk menentukan nilai risikonya. Data yang dibutuhkan untuk model ini tidak dalam jumlah besar dan detail.

Berdasarkan perbandingan data yang dibutuhkan

dengan ketersediaan data, kesederhanaan model, kemudahan penggunaan model dan konsep dalam ruang lingkup adalah ruas jalan maka dipilih model semi kuantitatif dalam bentuk model indeks lebih tepat untuk diterapkan. Data sekunder yang tersedia pada pengelola jalan atau instansi lainnya dapat digunakan. Indikator-indikator yang dipilih dalam model dapat dipilih yang berhubungan langsung dengan risiko bencana gempa untuk ruas jalan.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian pemilihan bentuk model maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

- a. Model semi kuantitatif dalam bentuk indeks risiko. Pertimbangan dilakukan pemilihan terhadap model semi kuantitatif bahwa ketersediaan data untuk mengembangkan model masih sangat terbatas pada saat ini sehingga model semi kuantitatif merupakan bentuk model penilaian risiko terbaik yang dapat dikembangkan saat ini di Indonesia. Pertimbangan lainnya dalam pemilihan model adalah yaitu kemudahan penggunaan model, sederhana dan input data yang digunakan untuk mengembangkan model lebih sedikit daripada menggunakan model kuantitatif. Pengembangan model penilaian risiko untuk ruas jalan diadopsi dari model EDRI (*Earthquake Disaster Risk Index*) yang dikembangkan Davidson (1997) dan Hosseini dan Vayeghan (2008).
- b. Model penilaian risiko dengan model indeks dapat digunakan untuk melakukan penilaian awal risiko hanya dapat digunakan untuk menilai risiko secara cepat, sehingga apabila digunakan untuk menilai risiko secara detail harus menggunakan model kuantitatif dan analisis yang lebih mendalam.
- c. Manfaat dari model yang telah dikembangkan ini adalah pengguna dapat melakukan penilaian risiko bencana dengan memanfaatkan data sekunder yang tersedia. Hasil dari penilaian risiko ini dapat digunakan untuk pengambilan keputusan dalam rangka tindakan mitigasi. Indeks risiko sebagai keluaran dari model merupakan nilai relatif yang harus dibandingkan dengan indeks risiko ruas-ruas jalan sesuai tanggung jawab pengguna model sebagai penyelenggara jalan
- d. Kelemahan model indeks ini menghasilkan nilai relatif yang tidak memperlihatkan potensi nilai kerusakan atau kerugian yang mungkin terjadi seperti pada model kuantitatif. Nilai risiko relatif yang dihasilkan harus dibandingkan terlebih dahulu untuk beberapa ruas jalan untuk memperlihatkan tingkat risiko pada ruas-ruas jalan yang dinilai risikonya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cafiso, S., 2010, *Assessment of seismic risk and reliability of road network*  
[http://cdn.intechopen.com/pdfs/11745/InTech-Assessment\\_of\\_seismic\\_risk\\_and\\_reliability\\_of\\_road\\_n](http://cdn.intechopen.com/pdfs/11745/InTech-Assessment_of_seismic_risk_and_reliability_of_road_n)

- etwork.pdf. (diakses 17 Desember 2012).
- Davidson, R. A., 1997, *An Urban Earthquake Disaster Risk Index*. The John A. Blume Earthquake Engineering Centre. Report no. 121. Stanford University, California
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum. 2012, *Laporan Akhir Penyusunan Manajemen Bencana Alam Bidang Jalan dan Jembatan*. Jakarta : Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum, 2013, *Pedoman Pelaksanaan Tanggap Darurat Bencana Alam Yang Berdampak Pada Jalan Dan Jembatan*. Jakarta Jakarta : Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum. 2014, *Pedoman Dan Petunjuk Pelaksanaan Analisis Risiko Bencana Alam Yang Berdampak Pada Jalan Dan Jembatan*. Jakarta : Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Enke, D. L., Tirasirichai C., dan Luna, R., 2008, Estimation of earthquake loss due to bridge damage in the St. Louis Metropolitan Area. II: Indirect losses, *Natural Hazards Review*. Vol. 9, hlm, 12-19
- Guerreiro, L., dan Azevedo, J., 2004, Seismic Vulnerability Assessment of Highway And Railroads -Application To The Great Lisbon area. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada. Paper no. 2035
- Hosseini, M dan Vayeghan, F.Y., 2008, A Risk management model for inter-city road systems. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. Beijing, China.
- Kiremidjian, AS, Stergiou E, dan Lee, R. (2007): Issues in seismic risk assessment of transportation networks. *Earthquake Geotechnical Engineering*, Chapter 19. Springer, Netherlands, 461-480
- Luna, R., Hoffman, D., Lawrence, W.T., 2008, Estimation of earthquake loss due to bridge damage in the St. Louis Metropolitan Area. I: Direct Losses, *Natural Hazard Review*, Vol 9, hlm. 1-11.
- Nilsson, E., 2008, *Seismic Risk Assessment of The Transportation Network in Charleston SC*. Thesis. Georgia Institute of Technology.
- Sengara, I.W., dan Pribadi K.S, 2009, Kajian Risiko Untuk Pencegahan dan Mitigasi Bencana Gempa di Indonesia. *Mengelola risiko bencana di Negara Maritim Indonesia: Upaya Mengurangi Risiko Bencana*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Tsuciya, S, Tatano, H., dan Okada, N., 2007, Economic Loss Assessment Due to Railroad and Highway Disruptions. *Economic Systems Research* Vol. 19, No. 2, June 2007, hlm. 147-162
- UNISDR, 2009, *Terminologi Pengurangan Risiko Bencana* [www.unisdr.org/files/7817\\_isdrindonesia.pdf](http://www.unisdr.org/files/7817_isdrindonesia.pdf) (diakses 20 Maret 2014)
- UNISDR, 2002, *Living with Risk, A Global Review Of Disaster Reduction Initiatives*. [www.adrc.asia/publications/LWR/LWR\\_pdf/index.pdf](http://www.adrc.asia/publications/LWR/LWR_pdf/index.pdf) (diakses 12 Desember 2012)
- Werner, S.D., Cho, S., Eguchi, R.T., 2008, *Analysis of Risk to Southern California Highway System*. The ShakeOut Scenario, USGS Report 2008-1150. Oakland, CA.