

PEMANFAATAN ILMU AKTUARIA DALAM MEWUJUDKAN JAMINAN RISIKO BANJIR DI DALAM KONSEP *SMART CITY*

Pramono Sidi

PENDAHULUAN

Smart City atau *Kota Pintar* direncanakan dengan menggunakan model referensi untuk menentukan konsep tata letak kota yang cerdas dan berkarakter. *Kota Pintar* ini pada intinya memiliki enam dimensi yaitu ekonomi yang cerdas, mobilitas cerdas, lingkungan pintar, individu yang cerdas, cerdas dalam hidup dan akhirnya pemerintahan yang cerdas pula. Konsep Kota Pintar dapat digunakan juga untuk mengevaluasi kemampuan perencanaan kota yang inovatif. Setiap wilayah yang merupakan Kota Pintar sudah seharusnya mempunyai infrastruktur yang bisa menjamin dan melayani penduduknya terhadap segala jenis risiko.

Penjaminan Risiko (Asuransi)

Dalam kehidupan sehari-hari sering kita dengar istilah 'risiko'. Berbagai macam risiko, seperti risiko kebakaran, kecelakaan berkendara di jalan, risiko terkena atau terdampak banjir di musim hujan dan sebagainya, dapat menyebabkan kita menanggung kerugian jika tidak cermat dalam mengantisipasi risiko-risiko tersebut sejak awal. Oleh karena di dalam menjalankan kegiatan hidupnya manusia akan selalu berhadapan dengan risiko, maka risiko menjadi sesuatu yang tidak dapat dipisahkan dengan kehidupan manusia. Selanjutnya, bagaimana pengertian risiko dalam asuransi?

Risiko (bahasa Inggris: "*risk*") merupakan *dasar dari asuransi* dan oleh karena itu sebelum mempelajari asuransi secara detail perlu lebih dulu dipahami arti dari risiko. Pengertian 'risiko' dalam asuransi adalah "ketidakpastian akan terjadinya suatu peristiwa yang dapat menimbulkan kerugian ekonomis (*uncertainty of loss*).

Definisi yang lebih sederhana diberikan oleh Kron (2005). Risiko didefinisikan sebagai kombinasi dari probabilitas terjadinya peristiwa tertentu dan probabilitas timbulnya kerusakan yang menimbulkan kerugian jika peristiwa tersebut terjadi (Kron, 2005). Definisi sederhana ini mengandung dua unsur yaitu: ketidakpastian (*uncertainty*) dan kerugian (*loss*). Kerugian yang dimaksudkan dalam definisi ini adalah kerugian dalam arti finansial (*financial risk*), artinya kerugian tersebut dapat diukur secara finansial atau dinilai dengan uang. Dalam artikel ini, risiko yang akan dibahas adalah risiko terhadap banjir.

Asuransi merupakan transaksi pertanggungan yang melibatkan dua pihak, yaitu tertanggung dan penanggung. Pihak penanggung menjamin pihak tertanggung, bahwa tertanggung akan mendapatkan penggantian terhadap suatu kerugian yang mungkin akan dideritanya, sebagai akibat dari suatu peristiwa yang semula belum tentu akan terjadi atau yang semula belum dapat ditentukan saat/kapan terjadinya. Sebagai kontraprestasinya, pihak tertanggung diwajibkan membayar sejumlah uang kepada pihak penanggung, yang besarnya sekian persen dari besarnya pertanggungan. Sejumlah uang yang dibayarkan oleh pihak tertanggung kepada penanggung disebut "premi".

Ditilik dari berbagai sudut pandang, maka asuransi mempunyai tujuan dan teknik pemecahan yang bermacam-macam. Dari segi ekonomi, maka asuransi bertujuan mengurangi ketidakpastian hasil usaha yang dilakukan oleh seseorang atau perusahaan dalam rangka memenuhi kebutuhan atau mencapai tujuan. Dari segi hukum, tujuan asuransi adalah memindahkan risiko yang dihadapi oleh suatu objek atau suatu kegiatan bisnis kepada pihak lain. Dari segi tata niaga, asuransi bertujuan membagi risiko yang dihadapi kepada semua peserta program asuransi. Dari segi kemasyarakatan, asuransi bertujuan menanggung kerugian secara bersama-sama antar semua peserta program asuransi. Sementara itu, dari segi matematis, tujuan asuransi adalah meramalkan besarnya probabilitas terjadinya risiko, dan hasil ramalan tersebut dipakai sebagai dasar untuk membagi/menyebarkan risiko kepada semua/sekelompok peserta program asuransi. Hal ini dilakukan dengan menghitung besarnya kemungkinan (probabilitas) dengan menggunakan Teori Kemungkinan (*Probability Theory*), yang dilakukan oleh *aktuaris* maupun *underwriter*.

Karakteristik dan representasi teoritis dari risiko dapat disajikan dalam bentuk model stokastik dengan efek yang bersifat tetap dan acak. Penanganan risiko dalam matematika dan aktuaria dilakukan dengan cara membangun model parametrik untuk distribusi banyaknya (besarnya) klaim. Harga premi yang berbasis pada biaya risiko individu merupakan prinsip penentuan (perhitungan) tingkat harga premi secara aktuaria. Harga premi yang dikenakan kepada pemegang polis (tertanggung) merupakan perkiraan biaya masa depan yang terkait dengan besarnya klaim yang akan ditanggung perusahaan asuransi (pihak penanggung).

Pendekatan premi murni mendefinisikan harga polis asuransi sebagai rasio dari estimasi semua biaya klaim waktu ke depan -yang disiapkan untuk membayar kerugian yang dicakup dalam polis asuransi- terhadap eksposur risiko, ditambah dengan beberapa biaya tambahan, seperti biaya administrasi. Penentuan tingkat harga premi asuransi kerugian didasarkan pada distribusi frekuensi klaim dan distribusi kerugian. Frekuensi klaim didefinisikan sebagai banyaknya klaim yang terjadi per unit eksposur yang diterima (Norberg, 2007).

Banjir

Banjir memiliki dua arti yaitu meluapnya air sungai disebabkan oleh debit air yang melebihi daya tampung sungai pada keadaan curah hujan tinggi, dan arti kedua adalah banjir merupakan genangan pada daerah datar yang biasanya tidak tergenang (Suherlan, 2001). Bencana banjir bisa juga merupakan aspek interaksi antara manusia dengan alam yang timbul dari proses aktifitas manusia yang mencoba menggunakan alam yang bermanfaat dan menghindari alam yang merugikan (Suwardi, 1999).

Banjir dipengaruhi oleh banyak faktor, tetapi apabila dikelompokkan akan didapatkan tiga faktor yang berpengaruh terhadap banjir, yaitu unsur meteorologi, karakteristik fisik Daerah Aliran Sungai (DAS), dan manusia. Unsur meteorologi yang berpengaruh pada timbulnya banjir adalah intensitas, distribusi, frekuensi, dan lamanya hujan berlangsung. Karakteristik DAS yang berpengaruh terhadap terjadinya banjir adalah luas DAS, kemiringan lahan, ketinggian, dan kadar air tanah. Pengaruh perubahan lahan terhadap perubahan karakteristik aliran sungai berkaitan dengan berubahnya areal konservasi dapat menurunkan kemampuan tanah dalam menahan air. Hal tersebut dapat memperbesar peluang terjadinya aliran permukaan dan erosi. Sedangkan unsur manusia berperan pada percepatan perubahan penggunaan lahan seperti hutan belukar yang lebat.

Dalam skala perkotaan, faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya banjir adalah:

1. Topografi. Kelandaian lahan sangat mempengaruhi timbulnya banjir terutama pada lokasi dengan topografi datar dan kemiringan rendah, seperti pada kota-kota pantai. Hal ini menyebabkan kota-kota pantai memiliki potensi atau peluang terjadinya banjir yang besar disamping ketersediaan saluran drainase yang kurang memadai, baik saluran utama maupun saluran yang lebih kecil.
2. Areal terbangun. Luasnya areal terbangun di kawasan perkotaan akibat tingkat pembangunan fisik yang tinggi, berdampak pada bidang peresapan tanah yang semakin mengecil.

3. Kondisi saluran drainase. Saluran drainase yang tidak memadai akibat kurangnya pemeliharaan, dan rendahnya kesadaran penduduk untuk membuang sampah pada tempatnya menyebabkan terjadinya pendangkalan (Utomo, 2004).

Banjir karena luapan sungai adalah bencana alam yang paling sering terjadi dan menimbulkan dampak kerusakan yang secara finansial sangat mahal. Banjir akibat luapan sungai memberi dampak luas pada sebagian besar negara-negara di dunia secara teratur/periodik (UNISDR, 2011; IPCC, 2012). Selama beberapa dekade terakhir, kerusakan ekonomi akibat banjir telah meningkat di sebagian besar wilayah. Beberapa penelitian menyatakan bahwa sebagian besar peningkatan ini dapat dikaitkan dengan pertumbuhan populasi dan peningkatan taraf hidup di daerah rawan banjir (Barredo, 2009; Bouwer *et al.*, 2010; Kreft, 2011; UNISDR, 2011; Barredo *et al.*, 2012).

Bencana alam khususnya banjir, frekuensi dan besarnya meningkat. Oleh karena itu, biaya untuk mitigasi dan kompensasinya pun menjadi meningkat (Munich Re [MR], 2001). Studi tentang peristiwa banjir yang sudah sering terjadi menunjukkan bahwa mayoritas kerugian timbul di daerah perkotaan, akibat gangguan struktur, besarnya biaya bisnis yang macet dan kegagalan infrastruktur (Environment Agency, 2010; Asian Development Bank and World Bank, 2010). Instansi pemerintah, perusahaan asuransi dan lembaga penelitian di banyak negara berkembang menggunakan model kerusakan karena banjir untuk menilai dampak ekonomi akibat banjir. Estimasi potensi terhadap kerusakan akibat banjir digunakan untuk perencanaan penggunaan lahan, pemetaan risiko banjir, dan analisis investasi biaya keuntungan yang dibutuhkan dalam penanggulangan banjir (Charnwood Borough Council 2003).

Kerusakan akibat banjir dapat dibagi menjadi empat jenis: kerusakan yang berwujud langsung (misalnya kerusakan fisik akibat kontak dengan air), berwujud tidak langsung (misalnya hilangnya produksi dan pendapatan), tidak berwujud langsung (misalnya hilangnya nyawa) dan tidak berwujud tidak langsung (misalnya trauma). Metodologi dalam makalah ini hanya menyoroti aspek yang

berkaitan dengan estimasi kerusakan yang nyata (berwujud) dan langsung.

Estimasi kerusakan akibat banjir yang berwujud langsung adalah proses yang kompleks, melibatkan sejumlah besar faktor-faktor hidrologi dan sosial ekonomi. Struktur, input dan output dari model kerusakan spesifik dijelaskan tidak hanya oleh data yang tersedia, tetapi juga oleh sifat-sifat model. Sebagai contoh, sementara perusahaan asuransi membuat model perkiraan kerusakan yang diasuransikan, instansi pemerintah dan akademisi lebih tertarik pada penilaian yang akurat dari total besarnya kerugian ekonomis. Semua model kerusakan yang dibangun didefinisikan berdasarkan tingkat generalisasi, tetapi dengan tingkat signifikansi di antara model yang bervariasi.

Hampir dalam semua model, faktor penentu ekspektasi kerusakan yang digunakan saat ini adalah kedalaman banjir, tapi kadang-kadang dilengkapi dengan parameter lain seperti kecepatan arus air, durasi, pencemaran air, pencegahan dan peringatan dini (Messner *et al.*, 2007). Saat ini telah dikembangkan beberapa model multi-parameter baru yang konseptual (Nicholas *et al.*, 2001) atau dikembangkan (dan divalidasi) untuk daerah yang spesifik, misalnya untuk Jepang (Zhai *et al.*, 2005) atau FLEMO untuk Jerman (Kreibich *et al.*, 2010).

Namun, metode untuk estimasi kerusakan banjir yang paling umum dan diterima secara internasional masih menggunakan metode yang menerapkan fungsi-fungsi kedalaman-kerusakan (Smith & Ward., 1988; Kelman & Spence, 2004; Meyer & Messner, 2005; Merz *et al.*, 2010; Green *et al.*, 2011). Fungsi-fungsi kedalaman-kerusakan tersebut menggambarkan hubungan antara kedalaman banjir dan kerusakan moneter yang terjadi. Fungsi kedalaman banjir diketahui memberikan ekspektasi kerugian terhadap properti yang spesifik atau terhadap jenis penggunaan lahan, baik dalam persentase nilai aset (fungsi relatif) atau langsung dalam syarat-syarat finansial (fungsi absolut).

Terdapat tingkat ketidakpastian yang signifikan yang digambarkan dalam bentuk kurva kerusakan, nilai aset dan kerangka metodologi (Merz *et al.*, 2004). Perbedaan dalam kerangka metodologi pada model-model kerusakan banjir, misalnya dalam skala spasial

(berdasarkan objek vs daerah), jenis fungsi-kerusakan (fungsi absolut vs relatif), kelas/kelompok kerusakan, berdasarkan biaya (biaya pengganti vs biaya terdepresiasi) dan termasuk sejumlah karakteristik hidrologi. Sementara beberapa model kerusakan ada yang dibangun dengan menggunakan data kerusakan empiris, dan metode/model lain yang didasarkan pada penilaian ahli dikombinasi dengan skenario genangan buatan.

Pada umumnya dampak banjir dapat bersifat langsung maupun tidak langsung. Dampak langsung relatif lebih mudah diprediksi daripada dampak tidak langsung. Dampak yang dialami oleh daerah perkotaan yang didominasi permukiman penduduk akan berbeda dengan dampak yang dialami daerah perdesaan yang didominasi oleh areal pertanian (Priyadarshinee *et al.*, 2015).

Banjir juga merupakan bencana yang relatif paling banyak menimbulkan kerugian. Kerugian yang ditimbulkan oleh banjir, terutama kerugian tidak langsung. Banjir yang menerjang suatu kawasan dapat membuat rumah menjadi berantakan, sehingga menimbulkan kerugian (Karamouz *et al.*, 2009). Penanganan kerugian akibat banjir secara menyeluruh dan berkelanjutan menjadi tugas serta tanggungjawab semua pihak, baik instansi teknis maupun lembaga lain yang terkait serta masyarakat.

Untuk melakukan pemulihan perumahan dengan pembangunan kembali, pemerintah dan organisasi kemanusiaan memang sudah memberikan bantuan biaya. Namun, biaya yang diberikan oleh pemerintah dan organisasi kemanusiaan tidak sepenuhnya dapat mencukupi semua biaya pembangunan rumah yang diperlukan (Jonkman *et al.*, 2008; Paudel *et al.*, 2013). Untuk itu, kesadaran masyarakat dalam mengantisipasi penyediaan dana untuk mengatasi biaya pembangunan kembali rumahnya yang rusak akibat banjir perlu terus ditingkatkan, baik di wilayah perdesaan maupun kota (Sagala *et al.*, 2014).

Salah satu alternatif antisipasi penyediaan dana yang dapat ditempuh adalah dengan cara menjadi peserta asuransi kerugian banjir. Asuransi merupakan mekanisme untuk menghadapi risiko dan memungkinkan kegiatan seperti pembayaran kompensasi yang dijanjikan dapat dilakukan. Mekanisme dalam manajemen asuransi

mensyaratkan bahwa mekanisme tersebut dapat dijalankan setelah bencana terjadi (Kousky & Shabman, 2014; Landry & Jahan-Parvar, 2009). Memang produk asuransi kerugian banjir ini sudah banyak ditawarkan, dan sebagian masyarakat di kota/daerah yang terdampak banjir sudah pula menjadi peserta asuransi tersebut. Ketika bencana banjir terjadi, korban dapat mengklaim pembayaran keuangan untuk mengganti dan membangun kembali rumah mereka yang hancur.

Selanjutnya, suatu hal yang perlu dilakukan oleh perusahaan asuransi adalah secara periodik mengevaluasi perhitungan penetapan besarnya premi. Hal ini penting dilakukan agar dapat dijaga keseimbangan finansial antara peserta asuransi dengan perusahaan penjaminan (Paudel *et al.*, 2013). Artinya, besarnya premi tidak memberatkan peserta asuransi, dan perusahaan asuransi juga tidak mengalami kerugian akibat sejumlah klaim yang diajukan (Ermolieva *et al.*, 2013; Jongejan & Vrijling, 2009).

Perlindungan Terhadap Risiko Bencana Banjir

Dampak sistem bumi terhadap manusia sekarang ini begitu luas sehingga sulit untuk mencari lokasi yang tidak dipengaruhi oleh interaksi antara proses sistem bumi, manusia dan alam (Palmer *et al.*, 2004; Vorosmarty *et al.*, 2004; Barnosky *et al.*, 2012; Rockstrom *et al.*, 2009). Para ahli berpendapat bahwa dampak yang dialami manusia sekarang begitu meluas. Setidaknya tiga dari sembilan batas planet kini telah berubah, yaitu yang berkaitan dengan perubahan iklim, hilangnya keanekaragaman hayati dan siklus nitrogen dan fosfor.

Dampak manusia yang disebabkan oleh pertumbuhan penduduk serta hubungannya dengan konsumsi sumber daya, transformasi habitat dan fragmentasi, konsumsi energi dan produksi serta dampak yang terkait dengan bumi dan proses atmosfer mendefinisikan batas-batas planet bumi sebagai ruang operasi yang aman bagi kemanusiaan dikaitkan dengan proses biofisik dalam sistem bumi (Barnosky *et al.*, 2012; Rockstrom *et al.* 2009).

Dalam upaya mengatasi permasalahan akibat terjadinya banjir, ada beberapa cara yang dapat dilakukan, salah satunya mengetahui sebab-sebab terjadinya banjir dan daerah sasaran banjir, yang tergantung pada karakteristik klimatologi, hidrologi, dan kondisi fisik

wilayah. Salah satu disiplin ilmu yang sangat berpengaruh dalam penanggulangan masalah banjir adalah dengan bantuan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) yang diterapkan untuk identifikasi dan pemetaan kawasan berpotensi banjir (Purnama, 2008).

Upaya-upaya untuk mengatasi banjir telah dilakukan antara lain dengan melakukan pengerukan sedimen, merehabilitasi tanggul sungai untuk menambah kapasitas daya tampung debit sungai, peningkatan kemampuan meresapnya air hujan dari setiap penggunaan lahan baik daerah hulu maupun hilir, dan menghindari daerah rawan banjir atau bantaran sungai sebagai tempat pemukiman.

Setiap terjadi banjir, pemerintah dan beberapa organisasi sosial selalu memberikan bantuan dana untuk perbaikan bangunan. Tetapi bantuan yang diberikan sangatlah terbatas, sehingga tidak dapat mencakup seluruh biaya kerugian, apalagi jika terjadi hilangnya nyawa dalam musibah banjir. Disini, kehadiran produk asuransi untuk menjamin risiko kerugian harta benda dan hilangnya nyawa sangatlah penting.

Dalam perkembangannya, pola atau gaya hidup masyarakat perkotaan di Indonesia saat ini sudah mulai berubah, yaitu menuju pada kesadaran bahwa hidup manusia selalu mengandung risiko. Besar kecilnya risiko tergantung dari perilaku manusia itu sendiri. Salah satu yang terlihat signifikan adalah kesadaran masyarakat tentang bagaimana masyarakat meminimalkan risiko yang dianggap penting agar dapat menjalani kehidupan yang lebih baik (Sidi, 2016). Disinilah peranan ilmu aktuaria dalam mewujudkan sistem pertanggungan atau jaminan terhadap risiko, khususnya pada risiko banjir.

Perlindungan terhadap bencana banjir membutuhkan koordinasi yang terencana. Di negara maju, penanganan bencana banjir diatur oleh suatu program yang dibuat oleh pemerintah yaitu Program Asuransi Banjir. Program Asuransi Banjir dari pemerintah ini saling bersubsidi dengan program asuransi banjir yang tersedia bagi pemilik *real estate* atau rumah dan pemilik mobil yang terletak di daerah bahaya banjir, sejauh komunitas peserta program asuransi banjir turut

berpartisipasi dalam Program Asuransi Banjir yang digagas pemerintah.

Program Asuransi Banjir membutuhkan pemerintah sebagai badan pengatur (regulator) keuangan dan pembuat peraturan asuransi banjir. Aksi Perlindungan Bencana Banjir mengadopsi peraturan yang telah dibuat pemerintah, dan melarang lembaga pemberi pinjaman swasta untuk turut serta melakukan pengaturan (regulasi) –mulai dari pembuatan, peningkatan, perluasan atau pembaharuan pinjaman dengan cara meningkatkan jaminan *real estate* atau rumah, meningkatkan jaminan mobil yang terletak atau berada di daerah bahaya banjir- kepada komunitas yang berpartisipasi dalam Program Asuransi Banjir, kecuali pihak properti memberikan pinjaman yang aman yang di dalamnya mencakupi asuransi banjir.

Program Asuransi Banjir didisain untuk meningkatkan partisipasi warga negara dalam Program Asuransi Banjir, dan meningkatkan kepatuhan warga negara terhadap pemenuhan persyaratan asuransi banjir sehingga keikutsertaan dalam program ini membantu memberikan dana tambahan kepada Dana Asuransi Banjir dalam rangka mengurangi beban keuangan dampak korban banjir.

Program Asuransi Banjir mempunyai dua bentuk yang berbeda, yaitu program darurat dan program reguler. Program Darurat Banjir diperuntukkan bagi komunitas yang pertama kali masuk dalam Program Asuransi Banjir. Program ini adalah program interim yang menyediakan tingkat asuransi banjir yang lebih rendah pada struktur yang memenuhi syarat untuk disubsidi. Dalam program ini dikeluarkan peta daerah bahaya banjir yang menetapkan batas-batas bahaya banjir untuk menentukan apakah properti berlokasi di daerah dataran banjir. Selanjutnya, suatu komunitas yang telah menjadi anggota Program Darurat Banjir akan diterima di Program Reguler setelah melengkapi persyaratan khusus. Program Reguler menyediakan cakupan asuransi penuh untuk struktur yang memenuhi syarat dan memerlukan tambahan tanggung jawab manajemen banjir bagi masyarakat.

Untuk masuk dalam Program Reguler, suatu komunitas akan diteliti dan dipelajari secara rinci, serta apabila telah dinyatakan lengkap akan langsung masuk dalam Program Reguler. Selanjutnya,

peta tingkat asuransi banjir untuk wilayah segera dikeluarkan oleh Pemangku Daerah Bahaya Banjir. Peta pada Program Reguler menggambarkan masyarakat disertai tingkat bahaya dari peluang banjir, serta mencakup identifikasi wilayah yang lebih spesifik dibandingkan peta batas bahaya banjir yang digunakan pada Program Darurat Banjir. Peta tersebut juga menunjukkan dasar peningkatan banjir yang menggambarkan kedalaman atau ketinggian banjir.

Program Asuransi Banjir meng-*cover* (mencakupi, melingkupi) properti perumahan yang terletak atau berada di daerah yang memiliki bahaya banjir khusus. Pada umumnya setiap struktur yang diasuransikan memberlakukan polis asuransi yang terpisah, meskipun Daerah Bahaya Banjir tidak memberikan pertimbangan khusus untuk beberapa bangunan non hunian. Berikut jenis struktur yang memenuhi syarat untuk cakupan Program Asuransi Banjir:

- a. bangunan perumahan, industri, komersial, dan pertanian dengan struktur ber dinding dan beratap, dan yang terutama berdiri atas tanah,
- b. bangunan berkonstruksi dengan pinjaman pembangunan digunakan untuk membangun dan melakukan perbaikan bangunan di atas tanah, dan dalam hal ini asuransi dibeli dengan mengikuti konstruksi bangunan baru,
- c. kondominium, dan
- d. cakupan asuransi banjir juga disediakan untuk properti pribadi dan peraturan asuransi lain untuk *real property*. Properti yang diasuransikan kondisinya harus memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan dalam peraturan asuransi

Struktur-struktur yang tidak memenuhi syarat untuk Program Asuransi Banjir adalah:

- a. tanah kosong, jembatan, bendungan dan jalan,
- b. tenda untuk kemah,
- c. bus atau van,
- d. seluruh isi bangunan di dalam atau di atas air, dan
- e. bangunan baru.

Skema kompensasi yang efektif untuk penanganan bencana banjir disiapkan agar dapat memperbaiki dampak banjir. Pasar asuransi di negara-negara Masyarakat Eropa ditata dengan berbagai aturan, dan skema kompensasi kerugian banjir tersebut berbeda-beda untuk masing-masing negara (Schwarze & Wagner, 2009). Perbedaan ini sebagian muncul dari adanya beragam pandangan tentang peran asuransi swasta atau sektor publik yang harus bermain pada kompensasi kerugian bencana alam, dan juga mungkin dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik dari risiko banjir yang dihadapi oleh masing-masing negara (Bouwer *et al.*, 2007).

Sebuah kendala yang mungkin akan menghambat sistem asuransi banjir berfungsi dengan baik adalah keberadaan individu-individu tidak "memainkan peran" dalam sistem asuransi tersebut dan membeli asuransi. Beberapa studi menunjukkan bahwa dalam praktiknya banyak individu tidak berfikir secara rasional dalam menimbang antara biaya asuransi (premi) yang harus dikeluarkan/dibayarkan dengan besarnya manfaat yang akan diperoleh sehingga dapat mengurangi tingkat risiko.

Ekspektasi asuransi dalam mengurangi tingkat risiko telah diasumsikan dalam teori utilitas yang merupakan salah satu teori dalam ekonomi tradisional tentang pengambilan keputusan individual di bawah tekanan risiko (Kunreuther, 1973; Kunreuther & Pauly, 2004; Krantz & Kunreuther, 2007). Fakta di negara maju seperti Amerika Serikat tidak sejalan dengan teori utilitas ini.

Contoh ketidakmampuan masyarakat Amerika Serikat berpikir rasional adalah banyaknya pemilik rumah di negara tersebut yang tidak membeli asuransi banjir, bahkan untuk membeli premi atas ekspektasi kerugian yang sudah di depan mata, atau bahkan dalam beberapa kasus preminya disubsidi (Dixon *et al.*, 2006). Fakta tersebut bertentangan dengan ekspektasi teori utilitas yang memprediksi bahwa individu akan meminimalkan risiko dengan membeli premi asuransi banjir. Dengan demikian, banyak orang yang mengabaikan peluang mengurangi risiko terhadap bencana banjir. Penelitian-penelitian lain menyimpulkan bahwa banyak juga orang yang terlalu melebih-lebihkan dengan berpendapat bahwa peluang mengurangi risiko banjir dengan membeli asuransi atas banjir justru berdampak

tinggi dalam menambah kerugian bagi pembeli polis asuransi, apalagi jika preminya jauh di atas kerugian yang diperkirakan (Botzen *et al.*, 2009;. Laury *et al.*, 2009).

Untuk mengevaluasi program pinjaman dan asuransi, digunakan data nilai properti yang dikumpulkan oleh Survei Properti Residensial dan Komersial (Robillard, 1975). Setiap properti yang digunakan untuk penelitian diklasifikasikan menurut ukuran dan kondisi bangunan, nilai perabot interior, dan ada atau tidaknya ruang bawah tanah. Dengan data dan informasi tahap-tahap kerusakan, dimungkinkan untuk memperkirakan potensi kerusakan berdasarkan nilai tunai aktual dari setiap properti.

Pemodelan Matematika

Pemodelan Matematika merupakan salah satu tahap dari pemecahan masalah matematika. Model merupakan simplifikasi atau penyederhanaan fenomena-fenomena nyata dalam bentuk matematika. Model matematika yang dihasilkan, dapat berupa bentuk persamaan, pertidaksamaan, sistem persamaan atau lainnya terdiri atas sekumpulan lambang yang disebut variabel atau besaran yang kemudian di dalamnya digunakan operasi matematika seperti tambah, kali, kurang, atau bagi. Dengan prinsip-prinsip matematika tersebut, dapat dilihat apakah model yang dihasilkan telah sesuai dengan rumusan sebagaimana formulasi masalah nyata yang dihadapi. Hubungan antara komponen-komponen dalam suatu masalah yang dirumuskan dalam suatu persamaan matematik yang memuat komponen-komponen itu sebagai variabelnya, dinamakan model matematik, dan proses untuk memperoleh model dari suatu masalah dikatakan pemodelan matematika.

Ada beberapa model matematika yang akan diperkenalkan oleh penulis dalam kaitannya dengan kemampuan model tersebut mengatasi masalah banjir, seperti yang akan dijelaskan secara singkat berikut ini.

Pengendalian banjir dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu metode struktur dan non-struktur. Metode struktur secara garis besar dapat dilakukan dengan cara perbaikan, pengaturan sistem sungai dan mendirikan bangunan pengendali banjir. Sedangkan metode non-

struktur dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan melakukan prediksi potensi terjadinya banjir, dan ini bisa menggunakan suatu pemodelan matematika.

Penggunaan model matematika dapat untuk mengurangi kesalahan dan mengefisienkan waktu dalam proses perhitungannya. Salah satu model yang sangat terkenal, yang dapat digunakan untuk melakukan prediksi potensi terjadinya banjir adalah model Muskinghum (Hendri & Inra, 2007). Model Muskinghum termasuk model yang cukup akurat dalam memperkirakan debit banjir dengan tingkat kesalahan 14 persen, dan kesalahan prediksi waktu debit puncak rata-rata 0,16 jam (Hendri & Inra, 2007).

Prinsip dasar penyelesaian perhitungan banjir dengan metode Muskinghum adalah kelengkapan data pengukuran debit pada bagian hulu dan hilir sungai yang didapatkan pada waktu bersamaan. Pengukuran ini sangat penting untuk mendapatkan nilai tampungan yang terjadi pada penampang sungai yang ditinjau. Nilai ini yang akan digunakan untuk menentukan besar faktor pembobot x dan koefisien tampungan k (Arifiani, 2008).

Pada umumnya, perhitungan dalam penelusuran banjir melalui palung sungai secara manual sukar untuk diselesaikan dalam waktu singkat, karena waktu t harus dibagi menjadi periode-periode Δt yang lebih kecil. Periode waktu tersebut dinamakan periode penelusuran (*routing period*), dan memerlukan penyelesaian dengan model numerik untuk menghasilkan nilai yang lebih valid (Hendri & Inra, 2007).

Penggunaan metode Muskinghum dalam penelusuran banjir dilakukan dengan asumsi bahwa:

- (a) tidak ada anak sungai yang masuk ke dalam bagian memanjang dari palung sungai yang diobservasi, dan
- (b) penambahan dan berkurangnya air karena curah hujan, aliran masuk dan keluar air tanah, serta evaporasi, dianggap tidak ada.

Dalam model ini, untuk bagian sungai yang memanjang, waktu tempuh t dibagi menjadi periode-periode penelusuran Δt yang lebih kecil, sehingga selama periode penelusuran Δt , puncak kejadian banjir tidak dapat menutup bagian memanjang sungai secara

menyeluruh. Selanjutnya, secara umum persamaan kontinuitas yang digunakan dalam penelusuran banjir adalah:

$$\frac{dS}{dt} = I - Q \quad (1)$$

dengan I adalah debit air yang masuk ke dalam permulaan bagian memanjang palung sungai yang diobservasi dengan satuan m^3/s ; Q adalah debit yang keluar dari akhir bagian memanjang palung sungai yang diobservasi dengan satuan m^3/s ; dS adalah perubahan besarnya daya tampung (*storage*) dalam bagian panjang palung sungai yang diobservasi dengan satuan m^3 ; dan dt adalah periode penelusuran dengan satuan detik, menit, jam atau hari.

Jika periode penelusuran diubah dari dt menjadi Δt , maka persamaan-persamaan yang digunakan adalah:

$$I = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad \text{dan} \quad Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} \quad (2)$$

Karena $dS = S_2 - S_1$, maka persamaan (1) dapat dinyatakan sebagai

$$dS = S_2 - S_1 = \frac{I_1 + I_2}{2} + \frac{Q_1 + Q_2}{2} \quad (3)$$

dengan I_1 debit air masuk pada saat permulaan periode penelusuran, dan I_2 debit air masuk pada saat akhir periode penelusuran. Besarnya I_1 dan I_2 dapat diketahui dari pengukuran dengan hidrograf debit air masuk. Besarnya Q_1 dan S_1 diketahui dari periode, sedangkan Q_2 dan S_2 belum diketahui ukurannya sehingga memerlukan pengukuran.

Menurut Hendri dan Inra (2007), hubungan antara S dan Q pada palung sungai dapat dinyatakan dengan

$$S = k \{ xI + (1-x)Q \} \quad (4)$$

dengan k konstanta dan x bobot (*weight*) yang besarnya $0 < x < 1$ (biasanya $x < 0,5$); dan dalam banyak hal nilai x besarnya kira-kira 0,3. Menurut Hendri dan Inra (2007), untuk sungai-sungai yang terjadi karena bentukan alam maka besarnya x adalah $0,2 < x < 0,3$. Semakin curam kemiringan sungai, semakin besar nilai x , dan pada kasus tertentu x dapat bernilai negatif. Jika S berdimensi volume, I dan Q berdimensi debit air, maka k harus berdimensi waktu (detik, menit, jam atau hari).

Berdasarkan persamaan (4), dapat dibuat persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$S_1 = k \{ xI_1 + (1-x)Q_1 \} \quad (5)$$

$$S_2 = k \{ xI_2 + (1-x)Q_2 \} \quad (6)$$

Selanjutnya, berdasarkan persamaan-persamaan (2), (3), (5) dan (6) dapat dibentuk persamaan sebagai berikut:

$$Q_2 = \{ c_0I_0 + c_1I_1 + c_2I_2 \} Q_1 \quad (7)$$

dengan

$$c_0 = \frac{kx - 0,5\Delta t}{k - kx + 0,5\Delta t} \quad (8)$$

$$c_1 = \frac{kx + 0,5\Delta t}{k - kx + 0,5\Delta t} \quad (9)$$

$$c_2 = \frac{k - kx - 0,5\Delta t}{k - kx + 0,5\Delta t} \quad (10)$$

dan memenuhi

$$c_0 + c_1 + c_2 = 1 \quad (11)$$

Konstanta k dan bobot x harus ditentukan secara empiris dari pengamatan debit air masuk dan keluar dalam waktu bersamaan.

Analisis statistika yang sering dimanfaatkan untuk melihat hubungan antara dua variabel atau lebih yang saling berkorelasi dalam suatu DAS adalah analisis regresi (Asdak, 2010). Ada beberapa cara untuk menentukan seberapa jauh model matematis yang berupa analisis regresi sederhana mampu menjelaskan data yang ada. Sesuai

atau tidaknya model matematis tersebut dengan data yang digunakan dapat ditunjukkan dengan mengukur besarnya nilai r^2 yang disebut koefisien determinasi (*coefficient of determination*). Koefisien determinasi dalam statistika dapat diinterpretasikan sebagai proporsi dari variasi yang ada dalam nilai y yang dijelaskan oleh model persamaan regresi. Dengan kata lain, koefisien determinasi menunjukkan seberapa jauh kesalahan dalam memperkirakan besarnya nilai y dapat direduksi dengan menggunakan informasi yang dimiliki variabel x . Model persamaan regresi dianggap sempurna apabila nilai $r^2 = 1$. Sebaliknya, apabila variasi yang ada pada nilai y tidak ada yang bisa dijelaskan oleh model persamaan regresi yang diajukan, maka nilai $r^2 = 0$. Dengan demikian, model persamaan regresi dikatakan semakin baik apabila besarnya r^2 mendekati 1 (Asdak, 2010).

Secara matematis, besarnya koefisien determinasi dihitung dengan rumus yang diberikan pada persamaan (12) berikut ini:

$$r^2 = \frac{\left[\sum(x_i y_i) - \frac{\{(\sum x_i)(\sum y_i)\}}{n} \right]^2}{\left[\sum x_i^2 - \frac{\{\sum x_i\}^2}{n} \right] \left[\sum y_i^2 - \frac{\{\sum y_i\}^2}{n} \right]} \quad (12)$$

dengan r^2 = koefisien determinasi, n = jumlah data, dan x_i, y_i = data pengamatan lapangan.

Selain koefisien determinasi, terdapat koefisien korelasi yang dapat menunjukkan kuatnya hubungan antara dua variabel, misalnya fluktuasi debit dengan curah hujan atau tataguna lahan. Kedua variabel ini mempunyai hubungan sebab-akibat. Koefisien korelasi merupakan ukuran kuantitatif untuk menunjukkan “kuat”nya hubungan antara kedua variabel tersebut. Meskipun demikian, fakta lapangan menunjukkan bahwa fluktuasi debit aliran yang berkorelasi dengan presipitasi atau tataguna lahan tidak selalu memberikan implikasi bahwa setiap perubahan pola presipitasi atau tataguna lahan akan selalu mengakibatkan terjadinya perubahan debit aliran (Asdak,

2010). Selain menggunakan model regresi linier sederhana, kerugian material yang diakibatkan oleh banjir dapat dievaluasi dengan menggunakan model regresi linear ganda.

Pemodelan matematika juga digunakan untuk menganalisis model evaluasi premi asuransi terhadap risiko kerusakan bangunan akibat banjir. Misalkan F adalah himpunan variabel acak non-negatif yang didefinisikan pada ruang probabilitas (Ω, K, P) . Variabel acak F disebut sebagai risiko yang dihadapi oleh penanggung (*insurer*), dalam hal ini adalah perusahaan asuransi. Misalkan pula H adalah fungsi yang dijadikan sebagai dasar perhitungan premi, artinya fungsi H merupakan pemetaan dari himpunan F yang nilai-nilainya berada dalam himpunan bilangan real non-negatif. Dalam hal ini, fungsi H menyatakan suatu nilai dari variabel risiko, yaitu premi asuransi.

Fungsi H memiliki sifat-sifat dasar sebagai berikut (Mircea *et al.*, 2008):

- a. independensi, artinya bahwa $H[X]$ hanya bergantung pada fungsi distribusi kumulatif dari variabel acak X ,
- b. risiko beban (*loading risk*), artinya $H[X] \geq E[X]$, untuk setiap $X \in F$, dengan $E[X]$ adalah nilai ekspektasi dari variabel acak X ,
- c. kerugian maksimum (*maximum loss*), artinya bahwa $H[X] \leq H[\sup[X]]$, untuk setiap $X \in F$, sehingga besar premi tidak melebihi nilai perhitungan dasar untuk kemungkinan besarnya kerugian,
- d. translasi invarian, artinya $H[X + a] = H[X] + a$, untuk setiap $X \in F$ dan untuk setiap $a \geq 0$,
- e. skala invarian atau homogenitas derajat satu (*homogeneity of degree one*), yang menyatakan $H[bX] = bH[X]$, untuk setiap $X \in F$ dan untuk setiap $b \geq 0$,
- f. kemonotonan (*monotony*), artinya jika $X(\omega) \leq Y(\omega)$, untuk setiap $\omega \in \Omega$, maka $H[X] \leq H[Y]$,
- g. kedominanan stokastik tingkat pertama (*the first order stochastic dominance*), berarti jika $S_x(X) \leq S_y(t)$, untuk setiap $t \geq 0$, maka

$H[X] \leq H[Y]$, dengan $S_x(t) = \Pr(X > t)$ merupakan fungsi survival.

- h. kontinuitas (*continuity*), artinya $\lim_{a \rightarrow 0^+} H[\max(X - a; 0)] = H[X]$,
 dan $\lim_{a \rightarrow \infty} H[\max(X, a)] = H[X]$.

Selanjutnya, untuk perhitungan premi dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode pendekatan. Mengacu pada Mircea *et al.* (2008), perhitungan besarnya nilai ekspektasi premi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (13):

$$H[X] = (1 + \theta)E[X], \quad \theta \geq 0 \tag{13}$$

Sedangkan besarnya nilai variansi premi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$H[X] = E[X] + \lambda(\text{Var}[X]), \quad \lambda > 0 \tag{14}$$

Dengan demikian, besarnya nilai standar deviasi premi dihitung menggunakan persamaan:

$$H[X] = E[X] + \eta\sqrt{\text{Var}[X]}, \quad \eta > 0 \tag{15}$$

Selain perhitungan besar premi dengan persamaan ((13), (14), dan (15)), terdapat metode perhitungan premi lainnya seperti metode Esscher (persamaan(16)), pendekatan *proportional hazard* (persamaan (17)), model Wang (persamaan (19)), model Swiss (persamaan (20)), dan model Dutch (persamaan (21)).

Perhitungan besar premi dengan metode Esscher dilakukan dengan menggunakan persamaan (16) berikut ini:

$$H[X] = \frac{E[X \cdot e^{\lambda \cdot X}]}{E[e^{\lambda \cdot X}]} \tag{16}$$

Berdasarkan pendekatan *proportional hazard*, premi merupakan fungsi yang berbentuk:

$$H[X] = \int_0^{\infty} [S_x(t)]^c dt, \quad 0 < c < 1 \quad (17)$$

dengan $S_x(t)$ fungsi survival.

Selanjutnya, dalam prinsip kesetaraan, utilitas u dinyatakan pada persamaan (18):

$$u(w) = E[u(w - X + H)] \quad (18)$$

dimana $u(\cdot)$ adalah fungsi utilitas (tidak menurun dan cembung) dari penanggung, dan w adalah cadangan (*endowment*) awal. Prinsip ini didasarkan pada asumsi bahwa H adalah premi minimum yang bersedia diterima penanggung untuk menutupi risiko yang diajukan oleh tertanggung. Ruas kanan persamaan (18) merupakan nilai ekspektasi dari utilitas asuransi dalam kasus penanggung menerima untuk risiko X dan premi H .

Perhitungan premi menurut model Wang disajikan pada persamaan (19) berikut ini:

$$H[X] = \int_0^{\infty} g[S_x(t)] dt \quad (19)$$

dengan $g: [0,1] \rightarrow [0,1]$ adalah fungsi naik dan cembung.

Sedangkan, perhitungan premi model Swiss diberikan pada persamaan (20):

$$E[u(X - pH)] = u((1-p)H) \quad (20)$$

dengan fungsi $u(\cdot)$ mempunyai karakteristik suatu fungsi utilitas, yaitu tak-turun dan cembung, serta parameter $p \in (0,1)$.

Selanjutnya, perhitungan premi model Dutch dinyatakan pada persamaan (21) sebagai:

$$H[X] = E[X] + \theta \cdot E\left[\left(X - \lambda \cdot E[X]\right)_+\right], \quad \lambda > 0 \text{ dan } 0 < \theta \leq 1 \quad (21)$$

Variabel acak X mempunyai berbagai penafsiran, seperti jumlah kerugian, ukuran kompensasi kerusakan, indeks kompensasi (yaitu rasio antara jumlah penggantian klaim dan nilai pertanggungan). Dalam model Dutch, dipertimbangkan risiko bencana yang terjadi pada setiap tahun j . Selanjutnya, untuk keperluan perhitungan digunakan notasi berikut ini:

π_j premi satuan (biasanya untuk tertanggung 1 satuan moneter) untuk tahun j .

$R_c(j)$ cadangan provisi yang diakumulasikan hingga tahun j , digunakan untuk meng-cover risiko kerusakan terhadap bangunan akibat banjir.

λ bagian yang dihitung dari premi, untuk menambah cadangan dana.

u_0 cadangan awal (*endowment*).

γ kuota risiko yang digunakan (diambil) pada reasuransi.

c proporsi dari premi yang diterima (kontan) dalam tahun j yang diberikan untuk pembayaran kompensasi.

N_j banyaknya kontrak asuransi dalam tahun j .

V_j nilai rata-rata dari suatu kontrak, dalam tahun j .

n_j banyaknya klaim *reimbursements* yang diberikan (*offered*) dalam tahun j .

v_j nilai ekspektasi dari suatu pembayaran kompensasi.

dengan jumlah uang semuanya dinyatakan dalam unit moneter (*monetary unit*) yang sama.

Selanjutnya, evaluasi perhitungan premi dilakukan menggunakan persamaan (22) berikut (Mircea *et al.*, 2008):

$$\begin{aligned}
 & (1-\gamma_k) \cdot n_k \cdot v_k - R_c(k) - (1-\gamma_k) \cdot c \cdot N_k \cdot V_k \cdot \Pi_k \\
 & = \sum_{j=k+1}^{k+n} \beta_j \cdot N_j \cdot V_j \cdot \pi_j \cdot (1-\gamma_j) \cdot \frac{1}{(1+i)^{j-k-1}} \quad (22)
 \end{aligned}$$

dengan $R_c(k) = u_0 + \sum_{j=1}^{k-1} \beta_j \cdot N_j \cdot V_j \cdot \Pi_j \cdot (1-\gamma_j) \cdot (1+i)^{k-j-1}$ dan i tingkat bunga tahunan.

Program bantuan alternatif telah dievaluasi dengan membandingkan biaya penyediaan bantuan bencana untuk korban banjir sehingga rasio tersebut setara antara swasta dan pemerintah. Biaya swasta untuk individu dapat diukur secara langsung melalui biaya premi asuransi yang dibayar individu. Sedangkan biaya pemerintah timbul ketika dimunculkan subsidi untuk mengurangi premi yang dibayar oleh individu, dengan ketentuan biaya asuransinya dikalkulasi berdasarkan perhitungan aktuarial. Manfaat bagi individu tergantung pada tingkat penggantian nantinya terhadap kerugian karena banjir.

Pinjaman tidaklah sama dengan asuransi "murni" karena pada pinjaman tidak ada beban sebelum kerugian. Program pinjaman tidak mengurangi ketidakpastian kerugian yang dialami, tetapi hanya mengurangi besarnya biaya yang dikeluarkan untuk kerugian yang tidak terjadi. Pelaksanaan program pinjaman memungkinkan individu untuk menggeser beban kerugian kepada pemerintah pada saat bencana, dan dengan demikian asumsinya menunda ulang kerugian sampai pembayaran pinjaman kembali.

Evaluasi program pinjaman terpusat pada biaya pengembalian yang didiskon atas dasar pembayaran tahunan, seperti yang dinyatakan dalam model matematika pada persamaan (23) berikut ini.

$$C^* = (LN) \left[\frac{i}{1-(1+i)^{-N}} \right] \left[\sum_{k=1}^N \frac{1}{(1+r)^k} \right] \quad (23)$$

dengan N adalah masa jatuh tempo, i adalah tingkat pinjaman kredit, r adalah biaya pinjaman individu, dan LN adalah jumlah

pokok pinjaman sama dengan jumlah kerugian yang terjadi (Selby, 1968).

Jika $i = r$ maka nilai sekarang dari biaya pengembalian sama dengan pokok pinjaman. Dalam kasus pasar modal yang tidak sempurna, maka $i < r$, artinya nilai sekarang biaya pinjaman kurang dari pokok pinjaman awal. Perbedaan ini (subsidi implisit) memungkinkan pinjaman berfungsi sebagai alternatif untuk asuransi banjir.

Pengembalian modal bersih dari bantuan hibah diketahui tetap, sedang manfaat dari program pinjaman ditentukan oleh perbedaan antara suku bunga kredit aktual dengan biaya pinjaman secara individu [lihat persamaan (27)].

Jika suku bunga kredit sama dengan biaya pinjaman pemerintah, maka manfaat pinjaman ini diberikan tanpa biaya eksplisit terhadap pemerintah. Hal ini serupa dengan subsidi pinjaman yang terbentuk oleh penghapusan ketidakekuitasan yang terjadi di pasar uang. Jika suku bunga kredit ditetapkan di bawah biaya pinjaman berdasar aturan pemerintah, secara eksplisit tetap ada biaya yang diakibatkannya.

Tingkat subsidi tambahan mengharuskan pemerintah membayar perbedaan biaya yaitu antara biaya tahunan peminjam pada suku bunga kredit aktual (i) dengan jumlah peminjam yang akan dibayar dengan tingkat bunga dari pemerintah, yang didefinisikan oleh (g). Diskon selama masa pinjaman sebagai biaya subsidi pinjaman pemerintah ini secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan (24) sebagai berikut:

$$S_G = LN \left\{ 1 - \left[\frac{i}{1 - (1+i)^{-N}} \right] \left[\sum_{k=1}^N \frac{1}{(1+g)^k} \right] \right\} \quad (24)$$

Bentuk subsidi kedua yang terlibat dalam program pinjaman adalah pengurangan kewajiban pajak untuk kerugian korban dan pembayaran bunga. Jika individu memiliki tarif pajak efektif (t), unsur kerugian korban secara sederhana dinyatakan dengan

$$S_{cl} = (LN)(t) \quad (25)$$

dengan LN adalah jumlah kerugian yang tidak diganti, seperti dugaan sebelumnya. Nilai sekarang dari pajak untuk pembayaran bunga pinjaman dihitung dengan menggunakan model persamaan matematis (26) sebagai berikut

$$S_{ip} = (LN)(t)(i) \sum_{k=1}^N \left[\frac{1 - (1+i)^{-N+k-1}}{1 - (1+i)^{-N}} \right] \left[\frac{1}{(1+g)^k} \right] \quad (26)$$

dengan besaran dalam tanda kurung pertama adalah proporsi saldo pinjaman dalam periode dan diskonto dihitung pada suku bunga pinjaman yang lebih rendah g untuk menjamin evaluasi subsidi yang sama baik oleh pemerintah maupun individu. Dengan demikian, total nilai transfer subsidi pajak menjadi

$$S_T = (LN)(t) \left\{ 1 + (i) \sum_{k=1}^N \left[\frac{1 - (1+i)^{-N+k-1}}{1 - (1+i)^{-N}} \right] \left[\frac{1}{(1+g)^k} \right] \right\} \quad (27)$$

Bentuk subsidi yang ketiga melibatkan bantuan hibah pemerintah untuk mengurangi jumlah modal terhadap pengembalian. Ketersediaan hibah bantuan tersebut umumnya bervariasi sesuai dengan keprihatinan tentang besar dan keparahan terhadap kerugian bencana.

Secara keseluruhan, biaya program pinjaman kepada individu ditentukan oleh tingkat bunga pinjaman, biaya pinjaman individu, dan tarif pajak individu. Model matematis untuk menyatakan biaya ini diberikan pada persamaan (28) sebagai berikut (Rettger & Boisvert, 1978).

$$C' = C^* - S_T \quad (7d) \quad (28)$$

Faktor-faktor serupa yang menentukan biaya program pinjaman kepada pemerintah dapat dihitung dengan menggunakan model matematis (29) sebagai berikut

$$S' = S_G + S_T \quad (29)$$

Namun, jika bantuan hibah tersedia, dasar perhitungan biaya pinjaman adalah $(LN - F)$, dengan perubahan yang mempengaruhi baik biaya dari program pinjaman individu dan pemerintah.

Evaluasi langsung dari program-program alternatif ini adalah sulit karena kerusakan banjir bervariasi dari tahun ke tahun dan tidak dapat diprediksi dengan pasti. Oleh karena itu, perkiraan empiris biaya program dan penggantian ditentukan dengan menggunakan model simulasi. Beberapa metode pendekatan tersebut di atas digunakan untuk menghitung dan mengevaluasi premi dalam studi kasus-studi kasus yang membahas tentang premi asuransi banjir. Masih banyak model-model matematik yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat kerugian karena banjir.

Masalah Penjaminan Risiko terhadap Banjir di Indonesia

Dalam buku *Catastrophe! The 100 Greatest Disasters of All Time* karya Stephen J. Spignesi, dua bencana di Indonesia masuk peringkat ke-22 dan 30. Letusan Gunung Tambora di Sumbawa tahun 1815 merenggut 150.000 jiwa dan menurunkan suhu bumi. Adapun letusan Gunung Krakatau tahun 1883 menelan 36.000 nyawa. Jika buku tersebut disusun setelah tsunami Aceh, bencana yang merenggut nyawa sekitar 300.000 jiwa itu akan bertengger di posisi ke-18.

Pada tanggal 27 Mei 2006 gempa meluluhlantakkan Yogyakarta dan sekitarnya. Info yang dirilis oleh *website* Satuan Koordinasi Pelaksana (Satskorlak) per 27 Juni 2006, terdapat 5.778 korban tewas dan 37.883 luka. Sebanyak 612.000 lebih rumah dan fasilitas umum rusak. Kerugian material diperkirakan Rp 29,2 triliun. Sejak tsunami Aceh pada akhir 2004 hingga saat ini, setidaknya terjadi lima bencana besar, seperti longsor di TPA Leuwigajah, gempa Nias, gempa Yogyakarta, lumpur panas Sidoarjo, dan banjir di Sinjai dan sekitarnya.

Perbincangan mengenai gempa bumi dan tsunami di wilayah selatan Pulau Jawa dan dampak negatifnya serta kesulitan yang dihadapi pemerintah dalam menolong rakyatnya masih terus dilakukan. Data korban jiwa dan harta benda belum selesai dihimpun. Entah berapa lagi korban manusia dan harta benda yang tertelan peristiwa itu. Dari aspek geografis, klimatologis, dan geologis, Indonesia berada di bawah ancaman bencana alam. Berada di antara dua benua dan dua samudra, serta puluhan gunung api aktif, Indonesia sangat rawan tanah longsor, badai, dan letusan gunung berapi. Belum lagi ancaman banjir dan kekeringan.

Posisi Indonesia yang terletak pada pertemuan tiga lempeng benua, yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik, menjadikan wilayah Indonesia termasuk dalam *Pacific Ring of Fire* yang bisa menimbulkan gempa dahsyat. Dari aspek demografis, besarnya populasi dapat memicu bencana kerusakan atau bencana akibat ulah manusia (*man made disaster*). Atas dasar itulah Rancangan Undang-Undang Penanggulangan Bencana (RUUPB) diusulkan DPR. Penyelenggaraan penanggulangan bencana direncanakan meliputi empat bidang, yaitu pengurangan risiko bencana, penanganan tanggap darurat, rehabilitasi dan rekonstruksi, serta penatakelolaan bencana. RUUPB didesain untuk menggeser cara pandang respons darurat yang berorientasikan jangka pendek menuju ke arah manajemen risiko bencana (*catastrophe risk management*) yang lebih menjamin keberlangsungannya (*sustainability*). Namun sayang, RUUPB sama sekali tidak menyinggung aspek asuransi.

Sebagai salah satu teknik pengelolaan risiko, tak perlu disangsikan bahwa asuransi dapat berkontribusi pada tahap mitigasi risiko bencana, tahap rehabilitasi dan rekonstruksi pascabencana. Pada tahapan mitigasi risiko, perusahaan asuransi bisa berpartisipasi sebagai pihak yang memberikan edukasi kepada masyarakat mengenai cara-cara memperkecil kerugian akibat bencana. Dalam kasus bencana alam, beberapa jenis asuransi bisa memberikan ganti rugi, dengan frekuensi tersering dimulai dari asuransi harta benda, asuransi kendaraan bermotor, asuransi kecelakaan diri, asuransi jiwa, atau asuransi kesehatan.

Asuransi harta benda yang diperluas dengan jaminan risiko gempa bumi, rusaknya bangunan akibat gempa bumi atau tsunami bisa mendapatkan penggantian dari perusahaan asuransi. Juga tersedia asuransi bencana, seperti banjir, tanah longsor, letusan gunung berapi, atau bahkan kerusakan sosial, yang selalu inheren dengan bencana adalah korban manusia. Asuransi kecelakaan diri bisa memberikan penggantian biaya pengobatan atau memberi santunan cacat. Jika korban tewas, asuransi jiwa akan memberikan santunan kepada ahli waris. Bencana juga selalu menimbulkan pengungsi yang sering kali rentan terserang penyakit, maka disinilah pentingnya asuransi kesehatan. Pengungsi bisa berobat ke rumah sakit dengan biaya ditanggung perusahaan asuransi.

Pada tahap rehabilitasi dan rekonstruksi, setiap terjadi bencana, pemerintah selalu mengambil/menggunakan dana APBN untuk rehabilitasi dan rekonstruksi. Untuk Yogyakarta dan sekitarnya, pemerintah menggelontorkan sedikitnya Rp 6 triliun, dan PBB pun membantu lebih dari 80 juta dollar AS. Pada situasi ini, perusahaan asuransi bisa berkontribusi lebih banyak. Biaya rekonstruksi dan rehabilitasi dalam bentuk pembangunan rumah atau fasilitas umum tidak semuanya akan menjadi tanggungan pemerintah.

Melalui RUUPB, pemerintah bisa menstimulus, bahkan bila perlu mewajibkan masyarakat (secara bertahap) agar mengasuransikan harta benda dan jiwanya. Sebagian masyarakat kita masih berpikir asuransi adalah nomor kesekian dalam prioritas hidupnya. Apalagi masyarakat menengah ke bawah yang masih lebih fokus pada pemenuhan kebutuhan dasarnya.

Saat terjadi bencana, Departemen Sosial mengambil peran yang pertama adalah mengoordinasi evakuasi korban dan bantuan sosial, dan kedua, memfungsikan jaminan sosial yang menjamin asuransi jiwa dan asuransi kesehatan. Adapun untuk kerusakan aset tidak tersedia jaminan sosial, oleh karena itu diperlukan asuransi wajib. Subsidi pembangunan rumah dari pemerintah pascabencana hanya bersifat jangka pendek. Idealnya, pemerintah membuat skema asuransi wajib untuk risiko bencana yang merupakan perluasan dari asuransi kebakaran.

Beberapa negara berkembang seperti Turki, Iran, dan China telah mempunyai asuransi wajib. Di Turki misalnya, pemerintah mewajibkan asuransi gempa bumi pada rumah, ruko, maupun apartemen melalui *The Turkish Catastrophic Pool*. Untuk kasus ini, pada tahun 2000 ditetapkan limit harga pertanggungan sebesar 50.000 dollar AS, dengan premi tahunan sebesar 47 dollar AS.

Dalam setiap bencana, persentase klaim asuransi hanya sebagian kecil dari total kerugian. Ini tidak hanya terjadi di Indonesia. Di Amerika Serikat, yang masyarakatnya sadar berasuransi (*insurance minded*), tidak semua mengasuransikan rumahnya terhadap ancaman bencana. Hasil riset *National Hurricane Survival Initiative* yang dirilis 16 Mei 2006 menyatakan, sepertiga rumah di wilayah rentan badai tidak ada asuransinya.

Hal yang sama terjadi di Jepang. Gempa bumi yang mengguncang Kobe pada Januari 1995 menghancurkan 100.000 bangunan dan 6.500 orang tewas dengan kerugian material lebih dari 110 miliar dollar AS. Klaim asuransi “hanya” 6 juta dollar AS atau kurang dari 5 persen bangunan yang diasuransikan.

Dimasukkannya aspek asuransi dalam RUUPB akan memberikan banyak manfaat bagi korban bencana, pemerintah, dan industri asuransi. Dorongan berasuransi oleh pemerintah akan meningkatkan kesadaran masyarakat Indonesia. Efeknya, pertumbuhan industri asuransi di Indonesia semakin baik.

Tahap awal, yang paling mendesak adalah asuransi bencana terhadap rumah tinggal. Selanjutnya melangkah pada asuransi kecelakaan diri, asuransi jiwa, dan seterusnya. Asosiasi asuransi (umum dan jiwa) hendaknya berinisiatif untuk mengajukan usulan konkret semacam *Catastrophe Risk Management* kepada pemerintah yang antara lain untuk mengetahui besar kecilnya risiko suatu daerah terhadap bencana tertentu, serta cara penanggulangan risiko katastrofik dengan memanfaatkan metodologi manajemen risiko. Bank Dunia juga telah mengirim utusannya ke Indonesia untuk membicarakan asuransi bencana ini, dan siap memberikan asistensi.

Pemerintah Indonesia tengah mengupayakan untuk mengeluarkan aturan terkait asuransi bencana alam seperti banjir. Hal itu dilakukan untuk mengantisipasi kerugian dan mencegah

ketidakpastian akibat bencana. Namun, sampai sekarang masih berbentuk format, dan karena belum ada bentuk yang resmi, maka belum menjadi aturan. Tetapi, pada intinya adalah daripada mengandalkan dana cadangan yang jumlahnya terlalu kecil sedangkan bencana yang terjadi menimbulkan kerugian yang besar, lebih baik mengambil amannya saja, yaitu menggunakan asuransi sebagai sesuatu yang lebih pasti (Brojonegoro, 2013).

PENUTUP

Uraian diatas menjelaskan peranan ilmu aktuarial, khususnya menyangkut penjaminan risiko penduduk/warga kota/daerah terhadap bencana banjir. Dimulai dengan sepintas penjelasan tentang Kota Pintar (*Smart City*), dipaparkan enam dimensi yang mendukung suatu kota/daerah disebut sebagai Kota Pintar.

Berkaitan dengan pengertian penjaminan terhadap segala macam risiko bagi masyarakat yang bertempat tinggal di kota pintar, penulisan difokuskan pada penjaminan terhadap risiko banjir, yang dimasukkan dalam risiko bencana alam.

Untuk mengantisipasi kerugian dan mencegah ketidakpastian akibat bencana, maka perlu dibuat asuransi khusus bencana alam, lebih spesifik disebut sebagai asuransi banjir. Meskipun peserta asuransi ini harus membayar premi lebih mahal, namun asuransi bencana justru lebih membantu karena bisa meringankan beban jika suatu saat terjadi bencana.

Sebagai masukan kepada pembaca, mengutip pernyataan dari Stefan Koeberle, Kepala Perwakilan Bank Dunia untuk Indonesia; Kornelius Simanjuntak, Ketua Dewan Asuransi Indonesia; dan P. S. Srinivas, Ekonom Keuangan Utama Bank Dunia di Indonesia, bahwa kejadian-kejadian tak terduga dalam hidup seperti jatuh sakit, kecelakaan, kehilangan pekerjaan, gagal panen, atau kematian, memiliki dampak besar bagi siapapun, namun dampak dari kejadian-kejadian tersebut jauh lebih parah bagi rumah tangga berpendapatan rendah. Maka dari itu, sangat penting halnya bagi keluarga miskin untuk dapat mendukung diri mereka sendiri dan memitigasi risiko-risiko tersebut, tanpa beban keuangan tambahan.

Untuk itu, Indonesia sudah saatnya perlu mengembangkan produk-produk asuransi yang berbiaya premi rendah, yang kemudian disebut dengan Asuransi Mikro (*Micro Insurance*). Bursa asuransi mikro adalah kesempatan bagi para pemangku kepentingan di Indonesia untuk belajar dari pengalaman internasional dalam menyediakan perlindungan bagi masyarakat miskin dari sisi keuangannya. Penting halnya agar solusi asuransi mikro untuk Indonesia muncul dari negara ini, oleh karena itu bursa ini juga memberikan ruang bagi para pelaku industri di tingkat akar rumput untuk menunjukkan inovasi mereka.

Asuransi mikro bagi kelompok keluarga berpendapatan rendah berpotensi untuk menstimulasi industri asuransi dalam menciptakan produk-produk yang inovatif dan kompetitif. Hal ini juga akan memberikan alternatif bagi pemerintah untuk membayarkan Bantuan Langsung Tunai bagi masyarakat miskin dengan lebih efisien. Asuransi Mikro adalah salah satu komponen kunci bagi keuangan secara inklusif, dan Bank Dunia akan membantu pengembangan inisiatif ini serta membagi pengetahuan dan pengalaman internasional bagi Indonesia.

Penulisan lanjutan tentang Asuransi Mikro akan dilaksanakan pada kegiatan penulisan Buku Wisuda Mahasiswa Universitas Terbuka tahun 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifiani, N. (2008). *Kajian debit banjir pada Daerah Aliran Sungai Tulang Bawang dengan metode kinematis Muskinghum*. Skripsi Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Asian Development Bank & The World Bank. (2010). *Pakistan floods 2010: Preliminary damage and needs assessment*. Islamabad: Asian Development Bank.
- Barnosky, A. D., Hadly, E. A., Basompte, J., Berlow, E. L., Brown, J. H., Fortelius, M., Getz, W. M., Harte, J., Hastings, A., Marquet, P. A., Martinez, N. D., Mooers, A., Roopnarine, P., Vermeij, G., Williams, J. W., Gillespie, R., Kitzes, J. U., Marshall, C., Matzke, N., Mindell, D. P., Revilla, E., & Smith, A. B. (2012). Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature*, 486, 52–58. <http://dx.doi:10.1038/nature11018>.
- Barredo, J. I. (2009). Normalised flood losses in Europe: 1970–2006. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 97–104. <http://dx.doi:10.5194/nhess-9-972009>.
- Barredo, J. I., Saurí, D., & Llasat, M. C. (2012). Assessing trends in insured losses from floods in Spain 1971–2008. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 1723–1729. <http://dx.doi:10.5194/nhess-12-17232012>.
- Botzen, W. J. W., Aerts, J. C. J. H., & van den Bergh, J. C. J. M. (2009). Willingness of homeowners to mitigate climate risk through insurance. *Ecol. Econom.*, 68, 2265–2277.

- Bouwer, L. M., Bubeck, P., & Aerts, J. C. J. H. (2010). Changes in future flood risk due to climate and development in a Dutch polder area. *Global Environ. Chang.*, 463–471.
- Bouwer, L. M., Huitema, D., & Aerts, J. C. J. H. (2007). Adaptive flood management: The role of insurance and compensation in Europe. *Report of the NeWater Project*. Institute for Environmental Studies, VU University Amsterdam.
- Brojonegoro, B. (2013). Seminar Protokol Manajemen Krisis: Tameng Ketahanan Lembaga Keuangan Nasional Terhadap Ancaman Krisis Ekonomi. Tanggal 30 Januari 2013, di Ball Room Hotel Crowne Plaza Jakarta. Warta Ekonomi Event
- Charnwood Borough Council. (2003). *Anstey flood alleviation scheme: Project appraisal report*. Loughborough: Borough of Charnwood.
- Dixon, L., Clancy, N., Seabury, S. A., & Overton, A. (2006). *The National flood insurance program's market penetration rate: Estimates and policy implications*. Washington, DC: American Institutes for Research.
- Environment Agency. (2010). *The costs of the summer 2007 floods in England*. Bristol: Environment Agency.
- Ermolieva, T., Filatova, T., Ermoliev, Y., Obersteiner, M., de Bruijn, K. M., & Jeuken, A. (2013). Flood catastrophe model for designing optimal flood insurance program: Estimating location specific premiums in the Netherlands. *International Institute for Applied Systems Analysis*, 2361, Schlossplatz 1, Laxenburg, Austria.
- Green, C. H., Viavattene, C., & Thompson, P. (2011). *Guidance for assessing flood losses: CONHAZ report*. Flood Hazard Research Centre – Middlesex University, Middlesex.

Hendri, A., & Inra, M. S. (2007). *Pemodelan penlusuran banjir dengan Metode Muskinghum*. Paper. Lembaga Penelitian Universitas Riau, Riau.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: A special report of working groups I and II of the intergovernmental panel on climate change*. Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G. K., Allen, S. K., Tignor, M., and Midgley, P. M. (Eds). Cambridge and New York: Cambridge University Press.

Jongejan, R. B., & Vrijling, J. K. (2009). The optimization of system safety: Rationality, Insurance, and Optimal Protection. In Martorell *et al.* (Eds.), *Safety, reliability and risk analysis: Theory, methods and applications*. © 2009 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-48513-5.

Jonkman, S.N., Bočkarjova, M., Kok, M., & Bernardini, P. (2008). Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands. *Ecologi Economics*, 66, 77 – 90. Retrieved from <http://www.elsevier.com/locate/ecocon>.

Karamouz, M., Imani, M., Ahmadi, A., & Moridi, A. (2009). Optimal flood management options with probabilistic optimization: A case study. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering*, 33(B1), 109-121.

Kelman, I. and Spence, R. (2004). An overview of flood actions on buildings. *Eng. Geol.*, 73, 297–309.

Kousky, C., & Shabman, L. (2014). Pricing flood insurance: How and why the NFIP differs from a private insurance company. *Discussion Papers*. October 2014, RFF DP 14-37.

- Krantz, D. H. & Kunreuther, H. C. (2007). Goals and plans in decision making. *Judgment Decision Making*, 2, 137–168.
- Kreft, M. (2011). *Quantifying the impacts of climate related natural disasters in Australia and New Zealand*. Wellington: Munich Re.
- Kreibich, H., Seifert, I., Merz, B., & Thieken, A. H. (2010). Development of FLEMOcs: A new model for the estimation of flood losses in companies. *Hydrological Sciences Journal, J. Sci. Hydrol.*, 55, 1302–1314.
- Kron, W. (2005). Flood risk, hazard, exposure and vulnerability. *International Water Resources Association*, 58–68.
- Kunreuther, H. (1973). *Recovery from natural disasters: Insurance or federal aid*. Washington, DC. American Enterprise Institute for Public Policy Analysis.
- Kunreuther, H. C. & Pauly, M. (2004). Neglecting disaster: Why don't people insure against large losses? *J. Risk Uncertain*, 28, 5–21.
- Landry, C. E., & Jahan-Parvar, M. R. (2009). Flood insurance coverage in the coastal zone. *Journal of Risk and Insurance*. October 2009. Department of Economics working paper ecu0804. Revise and resubmit – 2nd round, Journal of Risk and Insurance
- Laury, S. K., Morgen-McInnes, M., & Swarthout, J. T. (2009). Insurance decisions for low- probability losses. *J. Risk Uncertain*, 39, 17–44.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., & Thieken, A. (2010). Review article “Assessment of economic flood damage”. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 1697–1724. <http://dx.doi:10.5194/nhess-10-16972010>.
- Merz, B., Kreibich, H., Thieken, A., & Schmidtke, R. (2004). Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings. *Nat.*

Hazards Earth Syst. Sci., 4, 153–163. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-4-1532004>.

Messner, F., Penning-Rowsell, E. C., Green, C., Meyer, V., Tunstall, S. M., & van der Veen, A. (2007). *Evaluating flood damages: Guidance and recommendations on principles and methods*. Wallingford, UK: FLOODsite.

Meyer, V. & Messner, F. (2005). *National flood damage evaluation methods: A review of applied methods in England, the Netherlands, the Czech Republic and Germany*. Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, Leipzig: Department of Economics (42 – 44). UFZ-Discussion Papers.

Mircea, I., Serban, R., & Covrig, M. (2008). On some evaluation methods of insurance premiums for catastrophic risks. *Working Paper*. International Conference on Applied Economics – ICOAE 2008.

Munich Re. (2001). *Annual Review: Natural Catastrophes 2000*. Retrieved from <http://munichre.com>.

Nicholas, J., Holt, G. D., & Proverbs, D. (2001). Towards standardizing the assessment of flood damaged properties in the UK. *Struct. Survey*, 19, 163–172.

Norberg, R. (2007). *Actuarial modelling of claim counts: risk classification, credibility and bonus-malus systems*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.

Palmer, M., Bernhardt, E., Chornesky, E., Collins, S., Dobson, A., Duke, C., Gold, B., Jacobson, R., Kingsland, S., Kranz, R., Mappin, M., Martinez, M. L., Micheli, F., Morse, J., Pace, M., Pascual, M., Palumbi, S., Reichman, O. J., Simons, A., Townsend, A., & Turner, M. (2004). Ecology for a crowded planet. *Science*, 304, 1251–1252.

- Paudel, Y., Botzen, W. J. W., , and J. C. J. H. Aerts, J. C. J. H. (2013). Estimation of insurance premiums for coverage against natural disaster risk: an application of Bayesian Inference. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13, 737–754. Retrieved from <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/737/2013>.
- Priyadarshinee, K. I., Sahoo, & Mallick, C. (2015). Flood prediction and prevention through Wireless Sensor Networking (WSN): A survey. *International Journal of Computer Applications*, 113(9), Volume 113 – No. 9(0975 – 8887).
- Purnama, A. (2008). Pemetaan kawasan rawan banjir di Daerah Aliran Sungai Cisadane menggunakan Sistem Informasi Geografis. (Skripsi). Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Rettger, M. J., & Boisvert, R. N. (1978). Economics of federal flood insurance and loan programs. *Bull. Agr. Econ*, 6(2), Vol. 6, No. 2, Cornell University.
- Robillard, P. D. A. (1975). *Partial flood reduction program for Binghamton*. New York. Deps. Agr. Econ. and Agr. Eng., Cornell University.
- Rockstrom, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin III, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sorlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Science*, 461, 472–475.
- Sagala, S., Wimbardana, R., & Dodon (2014). Adaptasi non struktural penduduk penghuni permukiman padat terhadap bencana banjir: Studi Kasus Kecamatan Bale Endah, Kabupaten Bandung.

Resilience Development Initiative Indonesia. Working Paper No. 5 / February 2014 Series.

Schwarze, R. & Wagner, G. G. (2009). Natural hazards insurance in Europe: Tailored responses to climate change needed. *Working Papers in Economics and Statistics 2009-06*. University of Innsbruck. Retrieved from <http://www.uibk.ac.at/fakultaeten/volkswirtschaftundstatistik/forschung/wopec/repec/inn/wpaper/2009-06.pdf>.

Selby, S. (1968). *Standard Mathematical Tables*. Cleveland, Ohio: Chemical Rubber Co.

Sidi, P. (2016). *Penerapan ilmu matematika dalam perlindungan kehidupan terhadap risiko*. Dalam Buku Wisuda Universitas Terbuka: Peran Matematika, Sains, dan Teknologi dalam Mendukung Gaya Hidup Perkotaan (Urban Life) yang Berkualitas. Mohammad Toha, et al. (Eds.), Edisi Kesatu. (hal. 243-270). Jakarta: Penerbit Universitas Terbuka.

Smith, K., & Ward, R. (1988). *Floods: Physical processes and human impacts*. Chichester: John Wiley and Sons.

Spignesi, Stephen, J. Catastrophe! The 100 Greatest Disasters of All Time

Suherlan, E. (2001). *Zonasi tingkat kerentanan banjir Kabupaten Bandung* (Skripsi). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Suardi. (1999). *Identifikasi dan pemetaan kawasan rawan banjir di sebagian Kotamadya Semarang dengan menggunakan sistem informasi geografis* (Tesis). Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

- UNISDR (2011). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – Revealing risk, redefining development*, United Nations, Geneva.
- Utomo, W. Y. (2004). *Pemetaan Kawasan Berpotensi Banjir di DAS Kaligarang Semarang dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis*. (Skripsi). Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Vorosmarty, C., Lettenmaier, D., Leveque, C., Meybeck, M., PahlWostl, C., Alcamo, J., Cosgrove, W., Grassl, H., Hoff, H., Kabat, P., Lansigan, F., Lawford, R., and Naiman, R. (2004). Humans transforming the global water system. *EOS*, 85, 509–520.
- Zhai, G., Fukuzono, T., & Ikeda, S. (2005). Modeling flood damage: case of Tokai Flood 2000. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 41, 77–92.