

Model Berbasis Agen bagi Penyebaran Penyakit ISPA pada Musim Hujan di Bandung Selatan

Shimaditya Nuraeni
Dhanan Sarwo Utomo
Utomo Sarjono Putro
Sekolah Bisnis dan Manajemen
Institut Teknologi Bandung

Abstrak

Sejak terjadi perubahan tata ruang lahan untuk pengembangan area perkotaan, daerah Kabupaten Bandung Selatan (terutama kecamatan Baleendah dan Dayeuhkolot) semakin sering mengalami banjir. Tercatat sebagai banjir terburuk selama dua dekade terakhir, pada akhir bulan Januari 2010, air yang berasal dari anak sungai Citarum menggenangi 4474 rumah dan memaksa lebih dari ribuan orang mengungsi ke tempat pengungsian selama hampir 3 bulan. Kesulitan untuk mendapatkan air bersih, tingginya paparan terhadap air yang terkontaminasi dan kepadatan di tempat pengungsian dapat meningkatkan resiko terkena penyakit menular. Diare, Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA), dan penyakit kulit (seperti gatal-gatal) adalah tiga penyakit yang sering dialami oleh para korban banjir. Akan tetapi penyakit yang melibatkan interaksi antar manusia hanya ISPA. Oleh karena itu paper ini bertujuan untuk memodelkan penyebaran penyakit ISPA dengan menggunakan simulasi berbasis agen. Beberapa skenario, dengan menggunakan perbedaan lamanya waktu simulasi dan stok obat, diujicobakan untuk melihat berapa jumlah korban banjir yang mengalami ISPA atau Pneumonia.

Kata kunci : infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), pemodelan berbasis agen, manajemen penyakit, bencana banjir, kabupaten bandung selatan

Abstract

Since there was land conversion for urban development, South Bandung regency –especially Baleendah and Dayeuhkolot subdistricts– experiencing flood frequently. Noted as the worst flood for the last two decades, in the end of January 2010 water from the tributary of Citarum River inundate 4474 houses and force more than one thousand people to evacuate and stay in the temporary shelter for

almost there months. With difficulties on accessing clean water, highly exposed to contaminated water and crowding in the temporary shelter, increasing the risk of infectious diseases. Diarrhea, Acute-Respiratory-Infections (ARI), and skin diseases are three most common diseases suffered by the refugees. But only ARI is the most sensitive because the infectivity includes human interaction. So, this paper try to model the spread of ARI using agent-based modeling. Several scenarios –using different length of time and medicine stocks– are tested to monitor the number of refugees who get ARI or Pneumonia.

Keywords: acute-respiratory-infections, agent-based modeling, disease management, flood disaster, south bandung regency

1. Pendahuluan

Banjir merupakan fenomena yang lazim ditemui saat musim hujan di Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Banjir yang melanda wilayah ini pada tahun 2010 merupakan banjir terparah dalam kurun waktu lebih dari dua dekade terakhir. Hal ini disebabkan oleh curah hujan di Jawa Barat yang tinggi sedemikian sehingga Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum beserta anak sungainya tidak mampu menahan keseluruhan debit air yang mengalir.

Seperti yang dilansir oleh Antara News, sebanyak 7000 rumah penduduk di Kecamatan Baleendah, Dayeuhkolot dan Bojongsoang Kabupaten Bandung terendam banjir luapan Sungai Citarum. Tingginya air yang mengenai daerah tersebut membuat warga harus mengungsi ke gedung serba guna, mesjid, rumah warga lain yang tidak terkena banjir, hingga tenda darurat dari plastik dan terpal. Warga korban banjir di Kecamatan Baleendah yang berada di tujuh titik pengungsian berasal dari Desa Andir sebanyak 527 keluarga, yang terdiri atas 1.637 jiwa dan Kelurahan Baleendah meliputi 932 keluarga yang terdiri dari 2.936 jiwa. Warga dari daerah ini diungsikan di Gedung Juang, Kantor Camat Baleendah, gedung KNPI dan sekretariat salah satu ormas. Sedangkan warga korban banjir di Kecamatan Dayeuhkolot sebanyak 998 keluarga terdiri dari 1.785 jiwa.

Banjir yang melanda wilayah Kabupaten Bandung ini memberikan implikasi lanjutan seperti kesulitan memperoleh air bersih untuk minum dan mandi. Meski pihak pemerintah membantu dengan menyediakan truk pengangkut air PDAM, akan tetapi tidak mampu memenuhi kebutuhan setiap keluarga yang rumahnya terkena banjir. Demikian pula halnya dengan suplai makanan. Kondisi ini diperburuk dengan keadaan cuaca yang dingin sehingga mengakibatkan warga mengalami penurunan daya tahan tubuh. Kondisi-kondisi ini mempermudah masuknya kuman dan bakteri ke dalam tubuh manusia dan salah satu dampaknya adalah menyebabkan Infeksi Pernapasan Atas/Akut (ISPA).

Suhu udara yang dingin mempermudah munculnya koloni kuman di dalam tubuh manusia. Hal ini merupakan salah satu penyebab adanya kemungkinan korban banjir yang meninggal akibat ISPA yang berujung pada Pneumonia, yang merupakan proses infeksi akut yang merusak jaringan paru-paru atau *alveoli*. Oleh karena itu ISPA harus ditangani dengan baik dan cepat, disamping daya tahan tubuh tetap dijaga dengan suplai makanan yang cukup serta sanitasi yang optimal. Dalam rangka menganalisa skenario yang dapat meminimalisir jumlah penderita ISPA yang muncul pada saat banjir maka studi ini mengusulkan sebuah model simulasi berbasis agen yang dapat menggambarkan penyebaran penyakit ISPA saat banjir.

Tujuan umum yang ingin dicapai dalam studi ini dijabarkan dalam beberapa tujuan spesifik seperti menggambarkan bagaimana proses pembuatan keputusan warga dalam mengungsi dan memilih tempat pengungsian, menggambarkan proses timbul dan menyebarkan penyakit ISPA, melakukan eksperimen untuk memperoleh skenario-skenario yang bisa dilaksanakan dalam rangka mengurangi resiko yang ditimbulkan akibat penyebaran penyakit ISPA, serta menentukan jumlah stok obat minimum yang harus disediakan untuk meminimasi jumlah agen yang mengalami pneumonia dan meninggal dunia.

2. Kajian Pustaka

2.1. Bencana banjir dan penyakit menular

Bencana dalam UU no. 24 Tahun 2007 didefinisikan sebagai peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam, maupun faktor manusia, sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Menurut Undang-Undang ini, bencana dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu bencana alam (misalnya gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan dan tanah longsor), bencana non-alam (misalnya gagal teknologi, gagal modernisasi, epidemi dan wabah penyakit) dan bencana sosial (misalnya konflik sosial antara kelompok atau antar komunitas masyarakat dan terorisme).

Berdasarkan paparan dalam Undang-undang ini, peristiwa banjir sehingga menyebabkan penyebaran ISPA merupakan salah satu bentuk bencana alam. Peristiwa bencana alam merupakan bentuk bencana yang sulit untuk dihindari, akan tetapi dampaknya dapat dimitigasi. Model yang diajukan dalam studi ini merupakan salah satu upaya untuk menentukan skenario mitigasi dari penyebaran penyakit ISPA yang diakibatkan oleh bencana alam.

Banjir secara umum dapat dipahami sebagai aliran air yang relatif tinggi sedemikian hingga tidak tertampung lagi oleh alur sungai atau saluran air. Pada saat terjadi pengungsian besar-besaran akibat banjir, kondisi kebersihan baik lingkungan maupun makanan dan minuman yang dikonsumsi sangat tidak memadai. Keadaan ini memicu timbulnya penyakit. Transmisi penyakit menular akibat dari banjir dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu *Water-borne disease* (penyakit yang menyebar melalui perantara air), seperti demam tifoid, kolera, leptospirosis dan hepatitis A; dan *Vector-borne disease* (penyakit yang menyebar melalui perantara hewan), seperti malaria, demam dengue dan demam berdarah dengue, demam kuning dan demam *west nile*.

Selain itu, penyakit lain yang sering terjadi akibat banjir adalah diare, ISPA dan gatal-gatal. Masing-masing dari penyakit ini memiliki karakteristik yang berbeda. Diare dan gatal-gatal disebabkan oleh kurang baiknya sanitasi, sementara ISPA muncul akibat udara yang dingin yang memicu aktifnya koloni kuman di dalam tubuh sehingga menimbulkan infeksi saluran pernapasan. Terdapat tiga faktor penting yang berperan dalam penularan penyakit seperti ISPA yaitu kuman penyakit, kondisi lingkungan dan daya tahan tubuh.

Secara umum, proses perjalanan penyakit dapat dijabarkan atas beberapa tahapan. Tahap pre-patogenesis (*Stage of Susceptibility*) merupakan tahap dimana terjadi interaksi antara host, bibit

penyakit dan lingkungan. Tahap inkubasi (*Stage of Presymptomatic Disease*) merupakan tahap dimana bibit penyakit sudah masuk ke dalam tubuh inang (*host*) dan gejala penyakit belum tampak. Tahap penyakit dini (*Stage of Clinical Disease*) merupakan tahap yang terhitung dari munculnya gejala penyakit dan tubuh inang (*host*) sudah merasa sakit (meski ringan). Tahap penyakit lanjut merupakan tahap dimana penyakit bertambah hebat, penderita tidak dapat melakukan pekerjaan dan jika penderita berobat, maka umumnya memerlukan perawatan.

Tahap akhir penyakit merupakan tahap dimana perjalanan penyakit akan berhenti. Berakhirnya perjalanan penyakit ini dikelompokkan menjadi lima kondisi yaitu sembuh sempurna (baik bentuk dan fungsi tubuh kembali semula seperti keadaan sebelum sakit), sembuh dengan cacat (penderita sembuh tetapi kesembuhan tidak sempurna), ditemukan cacat (baik berupa cacat fisik, fungsional atau sosial), *carier* (perjalanan penyakit yang seolah-olah terhenti, gejala penyakit tidak tampak akan tetapi di dalam diri inang masih ditemukan bibit penyakit dan suatu saat dapat timbul kembali jika daya tahan tubuh menurun), kronis (perjalanan penyakit tampak berhenti akan tetapi gejala penyakit tidak berubah menjadi bertambah berat atau bertambah ringan), dan meninggal dunia (yaitu terhentinya perjalanan penyakit dan orang yang menderita penyakit tersebut meninggal dunia).

2.2. Infeksi saluran pernapasan akut (ISPA)

Infeksi Saluran Pernapasan Akut merupakan sekelompok penyakit kompleks dan heterogen yang disebabkan oleh berbagai penyebab dan dapat mengenai setiap lokasi di sepanjang saluran napas. ISPA merupakan salah satu penyebab utama dari tingginya angka kematian dan angka sakit pada balita dan bayi di Indonesia (Depkes, 1998). Secara klinis, ISPA adalah suatu tanda dan gejala akut akibat infeksi yang terjadi di setiap bagian saluran pernapasan dan berlangsung tidak lebih dari 14 hari. Yang termasuk dalam ISPA adalah influenza, campak, faringitis, trakeitis, bronchitis akut, bronkiolitis dan pneumonia (Yuliasuti, 1992).

Saluran pernapasan menurut anatominya dapat dibagi menjadi (Nelson, 1983; Said dkk, 1989) saluran pernapasan atas yang dimulai dari hidung sampai laring dan saluran pernapasan bawah yang dimulai dari laring sampai alveoli. Dengan demikian, infeksi saluran pernapasan akut dapat dibagi menjadi ISPA atas dan ISPA bawah. Dengan demikian, ISPA atas adalah infeksi akut yang secara primer mempengaruhi susunan saluran pernapasan di atas laring, sedangkan ISPA bawah adalah infeksi akut yang secara primer mempengaruhi saluran pernapasan bawah laring (Nelson, 1983)

Kejadian ISPA anak di negara berkembang maupun negara yang telah maju tidak berbeda, tetapi jumlah angka kematian dan kesakitan di negara berkembang lebih banyak (WHO, 1992). Berbagai laporan menyatakan bahwa ISPA merupakan penyakit yang paling sering terjadi pada anak, bahkan mencapai 50% dari semua penyakit balita dan 30% pada anak usia 5-12 tahun. Angka kematian yang tinggi karena ISPA khususnya *pneumonia* masih merupakan masalah di beberapa negara, termasuk Indonesia. WHO (1992) memperkirakan 12,9 juta balita meninggal akibat ISPA terutama *pneumonia*. Sedangkan menurut survei kesehatan rumah tangga (SKRT) ISPA merupakan penyebab utama kematian pada bayi dan penyebab nomor dua pada balita (Darmawan, 1995).

Dalam Harrison's Principle of Internal Medicine, disebutkan bahwa penyakit infeksi saluran napas akut bagian atas mulai dari hidung, nasofaring, sinus, paranasalis sampai dengan laring hampir 90%

disebabkan oleh virus (Adams dkk, 1988), sedangkan infeksi akut saluran napas bagian bawah hampir 50% diakibatkan oleh bakteri : *Streptococcus Pneumonia* (antara 70%-90%) dan *Stafilococcus Aureus* serta *H. Influenza* sekitar 10-20% (Robert, 1986). Secara umum, faktor resiko dapat dikelompokkan menjadi faktor diri (*host*) dan faktor lingkungan (Koch et al, 2003). Menurut WHO (1992) beberapa faktor yang telah diketahui mempengaruhi *pneumonia* dan kematian ISPA adalah malnutrisi, pemberian ASI kurang cukup, imunisasi tidak lengkap, defisiensi vitamin A, BBLR (berat badan lahir rendah), umur muda, kepadatan hunian, udara dingin, jumlah kuman yang banyak di tenggorokan, terpapar polusi udara oleh asap rokok, gas beracun dan lain-lain.

Faktor-faktor resiko yang berperan dalam kejadian ISPA terdiri atas dua yaitu faktor diri/ inang (*host*) dan faktor lingkungan. Yang termasuk ke dalam faktor diri adalah usia, jenis kelamin, status gizi dan status imunisasi. Kebanyakan infeksi saluran pernafasan yang sering mengenai anak usia dibawah 3 tahun, terutama bayi kurang dari 1 tahun. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa anak pada usia muda akan lebih sering menderita ISPA daripada usia yang lebih lanjut (Koch et al, 2003). Angka kesakitan ISPA sering terjadi pada usia kurang dari 2 tahun, dimana angka kesakitan ISPA anak perempuan lebih tinggi daripada laki-laki di negara Denmark (Koch et al, 2003).

Interaksi antara infeksi dan kekurangan kalori protein (KKP) telah lama dikenal, kedua keadaan ini sinergistik, saling mempengaruhi, yang satu merupakan predisposisi yang lainnya (Tupasi, 1985). Imunisasi yang lengkap dapat memberikan peranan yang cukup berarti dalam mencegah kejadian ISPA (Koch et al, 2003). Dalam faktor lingkungan, kepadatan hunian seperti luar ruang per-orang, jumlah anggota keluarga, dan masyarakat diduga merupakan faktor risiko untuk ISPA. Penelitian oleh Koch et al (2003) membuktikan bahwa kepadatan hunian (*crowded*) mempengaruhi secara bermakna prevalensi ISPA berat.

Telah diketahui bahwa kepadatan penduduk dan tingkat sosioekonomi yang rendah mempunyai hubungan yang erat dengan kesehatan masyarakat. Tetapi status keseluruhan tidak ada hubungan antara status ekonomi dengan insiden ISPA, akan tetapi didapatkan korelasi yang bermakna antara kejadian ISPA berat dengan rendahnya status sosioekonomi (Darmawan,1995). Diketahui bahwa penyebab terjadinya ISPA dan penyakit gangguan pernafasan lain adalah rendahnya kualitas udara didalam rumah ataupun diluar rumah baik secara biologis, fisik maupun kimia. Perjalanan klinis penyakit ISPA ini dapat dibagi menjadi empat tahap.

Tahap *prepatogenesis* merupakan tahap dimana penyebab penyakit telah ada tetapi penderita belum menunjukkan reaksi apa-apa. Tahap inkubasi merupakan tahap dimana virus merusak lapisan epitel dan lapisan mukosa. Tubuh menjadi lemah terutama bila keadaan gizi dan daya tahan sebelumnya memang sudah rendah. Tahap dini penyakit dimulai dari munculnya gejala penyakit. Timbul gejala demam dan batuk. Tahap lanjut penyakit dibagi menjadi empat yaitu sembuh sempurna, sembuh dengan ateletaksis, menjadi kronis dan dapat meninggal akibat *pneumonia*.

2.3. Simulasi Berbasis Agen

Simulasi berbasis agen adalah metode komputasional yang memungkinkan peneliti untuk menciptakan, menganalisa dan melakukan eksperimen dengan model yang terdiri dari agen-agent yang saling berinteraksi dengan lingkungan.

Sebuah simulasi berbasis agen dapat didefinisikan sebagai simulasi dari sebuah sistem yang terdiri dari sejumlah individu perangkat lunak, yang disebut agen. Dalam simulasi ini, agen dapat berinteraksi satu sama lain dan dengan lingkungannya. Dalam model berbasis agen, agen dapat memiliki hubungan satu satu dengan seorang aktor di dunia nyata sementara, interaksi antara agen dapat juga mirip dengan interaksi antara aktor dunia nyata.

Pada simulasi berbasis agen, agen dianggap sebagai individu yang mandiri dengan batas – batas yang dapat didefinisikan (*diskrit*), dan berinteraksi secara *interdependent* karena perilaku seorang agen yang tinggal di lingkungan yang dihuni agen lain akan saling mempengaruhi dan dapat mengubah beberapa aspek dari lingkungan yang ditinggalinya. Setiap agen memiliki aturannya sendiri dan bermacam – macam strategi untuk berinteraksi dengan agen lain serta lingkungannya. Seorang agen hanya memiliki informasi yang terbatas dan hanya mampu mengumpulkan informasi dari lingkungan lokalnya (misalnya: agen tetangga).

Pada kasus bencana banjir, suatu agen dapat mewakili seseorang atau satu keluarga yang menjadi korban banjir. Masing-masing agen dapat memilih untuk mengungsi ke tenda pengungsian maupun tetap berada di rumahnya, hal ini merupakan keputusan individu yang dimiliki oleh agen. Seorang agen juga dapat berubah dari sehat menjadi sakit berdasarkan daya tahan tubuhnya terhadap penyakit. Hal ini merupakan proses internal yang terjadi dalam diri agen. Akan tetapi, ketika seorang agen yang sakit memutuskan untuk pindah ke pengungsian maka ia akan mempengaruhi kepadatan di pengungsian yang ia datangi dan mempengaruhi kemungkinan agen lain untuk tertular penyakit.

Terdapat beberapa sifat dari simulasi komputer yang akan memudahkan dalam proses pembuatan sistem yang kompleks seperti halnya fenomena bencana banjir yang dibahas dalam studi ini, yaitu dengan menggunakan simulasi komputer proses paralel dan proses yang jalannya tidak terstruktur dengan baik dapat dengan mudah diolah. Dengan menggunakan simulasi komputer akan lebih mudah untuk memodelkan banyak agen yang bersifat heterogenous. Modularitas dari simulasi komputer dapat memudahkan proses modifikasi dari model. Dengan simulasi komputer akan lebih mudah memodelkan agen yang bersifat *bounded rational*. Simulasi komputer memudahkan untuk memodelkan kondisi sosial yang turbulens.

3. Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan terlebih dahulu mendefinisikan dengan jelas permasalahan yang dihadapi ketika terjadi bencana banjir. Kurangnya ketersediaan air bersih, tempat pengungsian dengan segala keterbatasannya, jumlah pengungsi yang banyak yang terkadang tidak bisa ditampung ditempat pengungsian, ketersediaan obat untuk korban banjir yang sakit, sulitnya akses kendaraan ke tempat pengungsian untuk membawa kebutuhan logistik, menjadikan situasi ini sebagai pemicu timbulnya penyakit.

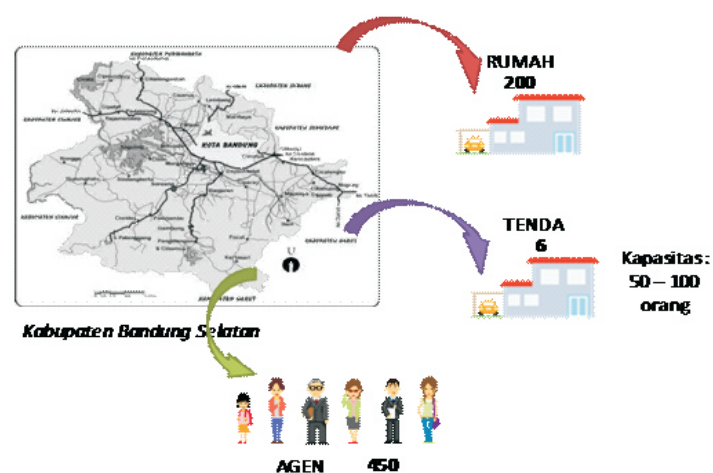
Setelah pendefinisian masalah, ditentukan pertanyaan riset dan tujuan dari penelitian. Kajian pustaka yang berkaitan dengan bagaimana membangun model simulasi diperlukan sebelum membangun sebuah model untuk disimulasikan. Data-data sekunder dibutuhkan untuk mendukung pembuatan model. Untuk penyebaran penyakit ISPA ini dibutuhkan data dari bidang kesehatan tentang patofisiologi penyakit ISPA sendiri.

Sehingga dapat ditentukan keputusan-keputusan yang dimiliki oleh masing-masing agent yang akan disimulasikan. Data kualitatif yang diperoleh melalui wawancara atau kuesioner diperlukan untuk menjadikan model simulasi lebih nyata. Seperti hal-hal apa saja yang menjadi pertimbangan orang ketika banjir menggenangi rumahnya, kemudian faktor-faktor yang mempengaruhi orang dalam memilih tempat pengungsian, aktivitas apa saja yang dilakukan oleh orang ketika berada di tempat pengungsian dan riwayat kesehatan.

Tahap selanjutnya adalah membangun simulasi berbasis agen dengan memanfaatkan informasi-informasi yang diperoleh pada tahap sebelumnya. Simulasi berbasis agen pada studi ini dibangun dengan menggunakan SOARS (*Spot Oriented Agent Role Simulator*). SOARS adalah salah satu platform yang dapat dipergunakan untuk membangun simulasi berbasis agen bagi permasalahan sosial dan organisasional. Komponen dasar dari SOARS adalah Agen dan Spot. Masing-masing dari Agen dan Spot memiliki *Role* yang dapat berubah tergantung pada situasi.

Tahap selanjutnya adalah melakukan eksperimen virtual untuk merekomendasikan kebijakan yang seharusnya dilakukan dalam rangka meminimalisir jumlah penderita ISPA saat banjir di Kabupaten Bandung. Untuk melakukan percobaan virtual yang baik, maka kaidah desain rancangan eksperimen yang harus diikuti adalah menentukan jenis-jenis kebijakan yang akan diujicobakan, melakukan analisis sensitivitas dengan mengkombinasikan beberapa skenario untuk mengetahui jenis kebijakan yang paling sensitif, dan mengusulkan jenis kebijakan yang harus dilakukan.

4. Model Simulasi Berbasis Agen bagi Penyebaran Penyakit ISPA



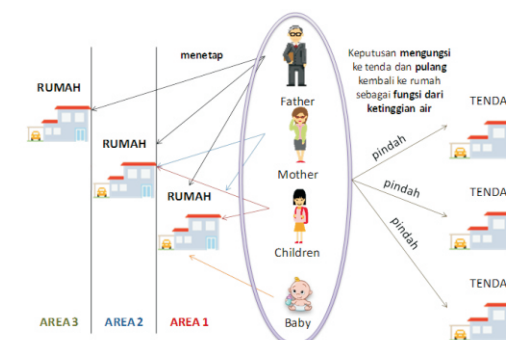
Gambar 1. Agen dan Lingkungan yang akan Dimodelkan

Agen dalam model penyebaran ISPA di Bandung Selatan pada musim hujan merepresentasikan penduduk yang tinggal di daerah Baleendah dan Dayeuhkolot. Agen-agen ini dikategorisasikan sebagai ayah, ibu, anak, bayi. Jumlah agen yang dimodelkan sebanyak 450 agen (sebagai model pendahuluan berdasarkan data yang dilaporkan dalam Media Indonesia, 25 Maret 2010), dengan komposisi sebagai berikut : 150 orang agen ayah, 150 orang agen ibu, 100 orang agen anak dan 50 orang agen bayi untuk menyederhanakan permasalahan.

Selain agen, terdapat spot/ lingkungan tempat agen berinteraksi yang terdiri dari rumah tempat tinggal agen, tenda pengungsian, PMI, rumah sakit dan TPU (tempat penampungan umum). Jumlah rumah yang di modelkan sebanyak 200 rumah dan jumlah tenda/ tempat penampungan sementara sebanyak 6 buah (empat buah seperti yang terdapat dalam Dinar 2010 dan dua lagi seperti yang tercatat dalam PMI, 2010) dengan daya tampung berkisar antara 50-100 orang.

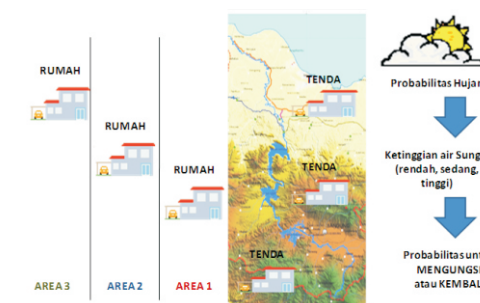
Dalam simulasi ini masing-masing tipe agen (ayah, ibu, anak dan bayi) dilengkapi dengan kerentanan terhadap penyakit yang berbeda-beda. Agen bayi, lebih rentan terhadap penyakit dibandingkan tipe anak, ayah dan ibu. Agen anak lebih rentan terhadap penyakit dibandingkan tipe ayah dan ibu. Tingkat kerentanan masing-masing agen terhadap penyakit diwakili oleh nilai probabilitas sedemikian hingga semakin rentan agen, maka semakin mudah ia terjangkit penyakit. Selain kerentanan, setiap agen memiliki probabilitas untuk terjangkit ISPA. Probabilitas ini merupakan fungsi dari daya tahan tubuh (kerentanan), kelembaban udara, serta jumlah agen lain yang sakit di lokasi yang ditempati.

$$P_{ISPA} = \text{Rata-rata} (P_{daya\ tahan} + P_{kelembaban} + P_{agen\ lain\ yang\ sakit}) \quad (1)$$



Gambar 2. Model Interaksi antar Agen

Setiap agen yang ada ditempatkan pada sejumlah rumah. Setiap rumah setidaknya diisi oleh satu ayah dan satu ibu. Setiap rumah dapat memiliki beberapa anak dan bayi. Penentuan rumah yang ditinggali oleh agen ayah, ibu, anak dan bayi dilakukan secara acak. Pada proses penempatan rumah, jika ayah1 (agen pertama yang berstatus ayah) telah menempati spot rumah1 (rumah pertama yang ada di dalam model), maka ayah2 (agen kedua yang berstatus ayah) tidak bisa lagi menempati rumah1, sehingga agen ayah2 harus mencari rumah lain untuk menetap. Metode keputusan pemilihan rumah yang dipergunakan oleh agen tipe ayah sama dengan yang dimiliki oleh agen tipe ibu. Untuk agen bertipe anak dan bayi mereka dapat menempati rumah yang sama. Hasil dari proses ini memungkinkan satu rumah memiliki anak dan bayi berjumlah nol, satu atau lebih.



Gambar 3. Model Lingkungan

Setiap rumah yang dibentuk dalam model simulasi ini menempati 3 jenis wilayah. Wilayah 1 dikategorikan sebagai wilayah yang paling dekat dengan sungai dan wilayah 3 dikategorikan sebagai wilayah yang paling jauh dengan sungai. Karena studi ini bertujuan untuk menggambarkan penyebaran penyakit ISPA di musim hujan, maka lingkungan tempat agen berinteraksi memiliki probabilitas untuk terjadinya hujan.

Curah hujan yang terjadi digenerasi secara acak mengikuti distribusi normal dengan menggunakan data rata-rata dan simpangan baku curah hujan di kabupaten Bandung pada tahun 2010. Curah hujan dihasilkan akan mempengaruhi ketinggian air pada sungai dan kelembaban udara. Ketinggian air sungai akan menentukan tingginya air yang merendam masing-masing wilayah rumah. Untuk menyederhanakan permasalahan, ketinggian air yang dapat merendam masing-masing rumah kemudian dikategorikan menjadi *rendah*, *sedang* dan *tinggi*. Ketinggian air inilah yang nantinya akan mempengaruhi keputusan agen untuk pindah ke tempat pengungsian.

Agen ayah melakukan pengecekan terhadap ketinggian air yang menggenangi wilayah rumahnya setiap hari. Ketinggian air ini akan menentukan probabilitas suatu keluarga untuk mengungsi ke tempat pengungsian (persamaan 2). Untuk menyederhanakan permasalahan, probabilitas untuk mengungsi ditetapkan sebesar 0.3 jika ketinggian air berada pada level rendah, 0.5 jika ketinggian air berada pada level sedang, dan 0.8 jika ketinggian air berada pada level tinggi.

$$P_{\text{mengungsi}} = f(\text{ketinggian air}) \quad (2)$$

Keputusan suatu keluarga untuk mengungsi ini ditentukan oleh agen *ayah*. Sehingga, jika agen *ayah* memutuskan untuk pindah, maka seluruh anggota keluarga (*agen ibu, anak dan/ atau bayi*) akan turut serta mengungsi. Apabila suatu keluarga memutuskan untuk mengungsi, maka mereka dapat memilih satu dari tenda pengungsian yang disediakan oleh pemerintah. Untuk menyederhanakan permasalahan, keputusan keluarga untuk memilih tempat pengungsian, dilakukan secara acak.

Setiap keluarga yang telah berada di tempat pengungsian, memiliki probabilitas untuk pindah (kembali) ke rumah masing-masing yang dipengaruhi oleh tinggi air yang merendam wilayah rumahnya. Probabilitas keluarga (beserta anggota keluarganya) untuk kembali ke rumah jika ketinggian air berada di level tinggi sebesar 0.3, level sedang sebesar 0.5 dan level rendah sebesar 0.8 (sama seperti probabilitas untuk mengungsi).

$$P_{\text{pulang}} = f(\text{ketinggian air}) \quad (3)$$

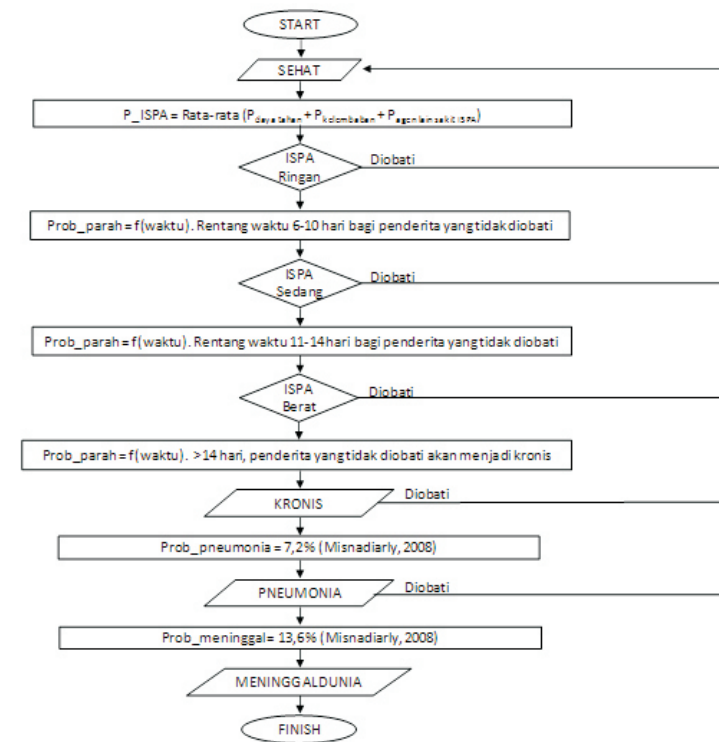
Jumlah tempat pengungsian yang dibuat lebih sedikit dibandingkan jumlah rumah untuk masing-masing agen. Dengan adanya kondisi seperti ini, maka peluang untuk terjadinya ISPA di tempat pengungsian cukup tinggi. Peluang terjadinya ISPA ini digambarkan sebagai fungsi terhadap daya tahan tubuh, kelembaban udara, kepadatan agen lain yang sakit di lokasi yang ditempati (fungsi ini yang dimiliki oleh masing-masing agen).

Begitu seseorang berubah kondisi dari sehat menjadi sakit, maka variabel lamanya sakit (berapa lama agen sakit) akan bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah hari dalam simulasi. Semakin lama agen yang sakit tidak mendapatkan pengobatan maka derajat sakitnya akan semakin meningkat ke stadium yang lebih tinggi.

Seperti yang telah diuraikan pada kajian pustaka, maka tahap / stadium penyakit ISPA adalah ISPA ringan, ISPA sedang, ISPA berat, Kronis dan diakhiri dengan Pneumonia. Waktu yang dibutuhkan seseorang hingga mencapai tahap ISPA berat adalah 14 hari (seperti yang disebutkan pada kajian pustaka). Setiap hari, agen yang sakit memiliki probabilitas untuk pergi ke dokter. Probabilitas ini dipengaruhi oleh berapa lama orang tersebut telah sakit dengan asumsi bahwa semakin sakit agen maka semakin *concern* agen tersebut untuk pergi ke dokter. Ini dapat diartikan bahwa jika agen masih berada pada tahap penyakit ISPA ringan, probabilitas untuk pergi ke dokter lebih rendah dibandingkan agen yang telah berada pada tahap ISPA berat.

Apabila agen memutuskan untuk pergi ke dokter, maka ada 2 jenis perlakuan yang diberikan. Kemungkinan pertama adalah berobat jalan (untuk jenis penyakit ISPA ringan, sedang dan berat) dan kemungkinan kedua adalah berobat inap atau diungsikan ke rumah sakit (untuk agen yang sudah pada status kronis atau pneumonia). Untuk agen yang dirawat jalan, akan diberikan obat dengan jumlah dan jenis yang sesuai dengan taraf penyakitnya. Agen dengan status sakit ISPA ringan akan diberikan 1 macam obat selama 3 hari. Agen dengan status sakit ISPA sedang akan diberikan 1 macam obat untuk 5 hari.

Agen dengan status sakit ISPA berat akan diberikan 2 macam obat untuk 5 hari. Pada studi ini, jenis obat yang diberikan dihitung dalam jumlah unit. Setiap obat yang diberikan akan mengurangi persediaan obat yang dimiliki oleh klinik/ PMI di lapangan. Untuk agen yang sakit dengan status kronis dan dirujuk ke rumah sakit, ia memiliki probabilitas 7.2% untuk menjadi pneumonia. Sementara agen yang sakit dengan status pneumonia, akan memiliki probabilitas 13.6% untuk meninggal.



Gambar 4. Diagram alir perkembangan penyakit ISPA yang diderita agen

5. Eksperimen

Model yang dibangun mengacu pada data yang dilaporkan dalam Media Indonesia (25 Maret 2010) yaitu jumlah rumah terendam sebanyak 6500 rumah dan pengungsi sebanyak 4500 orang. Sebagai initial model, jumlah pengungsi yang disimulasikan menggunakan skala 1 : 10, dengan demikian jumlah agen yang berperan sebagai pengungsi sebanyak 450 orang. Dari 450 agen, ditetapkan agen ayah dan ibu masing-masing sebanyak 150 agen, anak 100 agen dan bayi sebanyak 50 agen. Masing-masing agen memilih rumah berdasarkan *decision rule* yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Tahap eksperimen ini dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama bertujuan untuk menguji sensitivitas model terhadap perubahan nilai variabel. Terdapat dua buah variabel yang diujikan sensitivitasnya yaitu variabel lamanya waktu banjir dan variabel stok obat yang disediakan. Perilaku yang ditunjukkan oleh model dalam analisa sensitivitas ini haruslah dapat diterima secara logika dalam kondisi optimal. Bagian kedua dari tahap eksperimen bertujuan untuk menentukan jumlah stok obat minimum yang harus disediakan sedemikian hingga tidak terdapat agen yang mengalami pneumonia dan meninggal.

5.1. Analisa sensitivitas

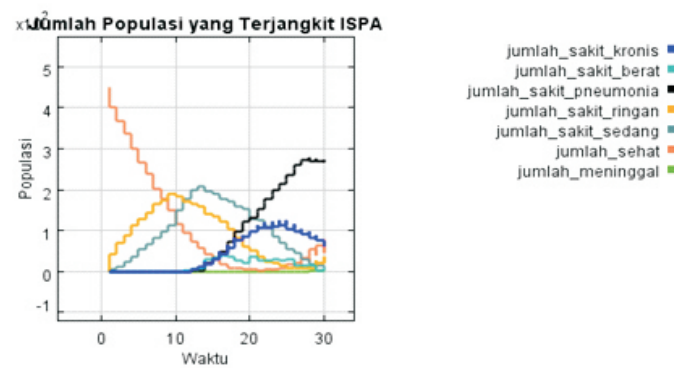
Dalam analisa sensitivitas ini diuji 3 buah skenario lamanya waktu banjir yaitu 30 hari, 60 hari, dan 90 hari. Untuk masing-masing durasi lamanya waktu banjir dieksperimenkan 3 skenario stok obat sebagaimana dijabarkan pada tabel berikut.

Tabel 1. Skenario eksperimen dalam simulasi

Durasi	Stok Obat		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
30 hari	0	Sejumlah agen	2 x Jumlah agen
60 hari	0	Sejumlah agen	4 x Jumlah agen
90 hari	0	Sejumlah agen	6 x Jumlah agen

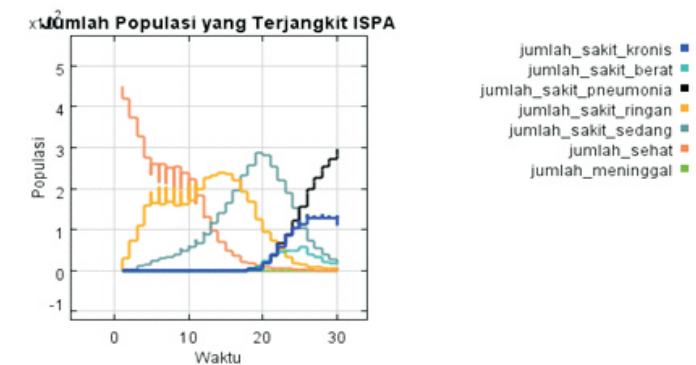
5.1.1. Eksperimen untuk durasi waktu banjir 30 hari

Hasil eksperimen pertama menunjukkan bahwa apabila peristiwa banjir terjadi selama 30 hari dan tanpa adanya stok obat maka, hampir 300 agen dari total 450 agen akan terserang Pneumonia diakhir simulasi walaupun tidak berakibat kematian. Hasil eksperimen ini ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil eksperimen 1 tanpa stok obat

Hasil eksperimen kedua menunjukkan bahwa apabila peristiwa banjir terjadi selama 30 hari dan stok obat yang tersedia sama dengan jumlah agen maka, hampir 300 agen dari total 450 agen akan terserang Pneumonia diakhir simulasi walaupun tidak berakibat kematian. Hasil eksperimen ini ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil eksperimen 2 dengan stok obat sama dengan jumlah agen

Hasil eksperimen ketiga menunjukkan bahwa apabila peristiwa banjir terjadi selama 30 hari dan stok obat yang tersedia sebesar dua kali jumlah agen maka jumlah agen yang terserang pneumonia diakhir simulasi hanya akan mencapai 50 agen dan sama sekali tidak berakibat kematian. Hasil eksperimen ini ditunjukkan pada Gambar 7.

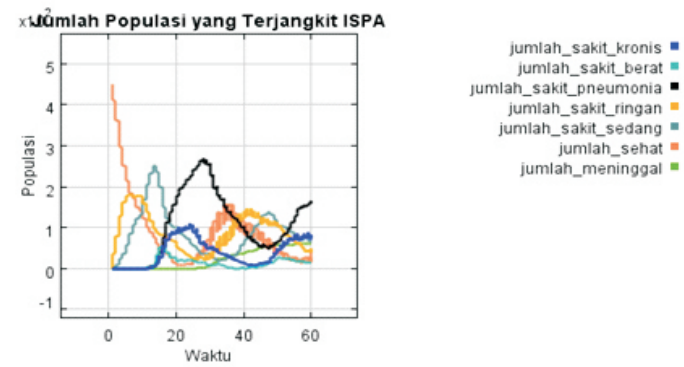


Gambar 7. Hasil eksperimen 3 dengan stok obat dua kali jumlah agen

Dengan membandingkan ketiga eksperimen ini maka dapat disimpulkan bahwa banjir yang durasinya hanya berkisar 30 hari tidak akan berpotensi pada kematian agen dalam simulasi, akan tetapi untuk meminimalisir jumlah agen yang menderita pneumonia perlu disediakan stok obat setidaknya dua kali dari jumlah agen.

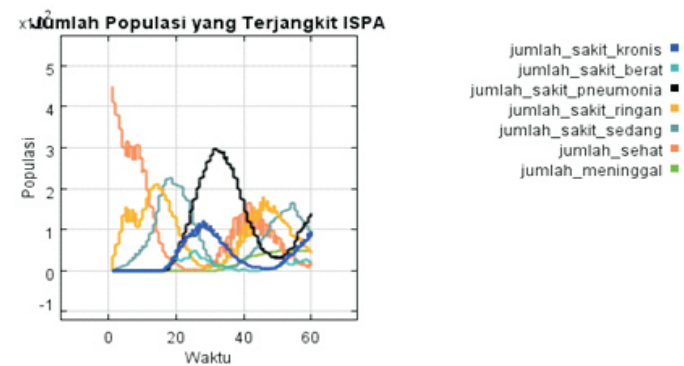
5.1.2. Eksperimen untuk durasi waktu banjir 60 hari

Hasil eksperimen keempat menunjukkan bahwa apabila peristiwa banjir terjadi selama 60 hari dan tanpa adanya stok obat maka, hampir 150 agen dari total 450 agen akan terserang Pneumonia dan 50 agen akan meninggal diakhir simulasi. Hasil eksperimen ini ditunjukkan pada Gambar 8.



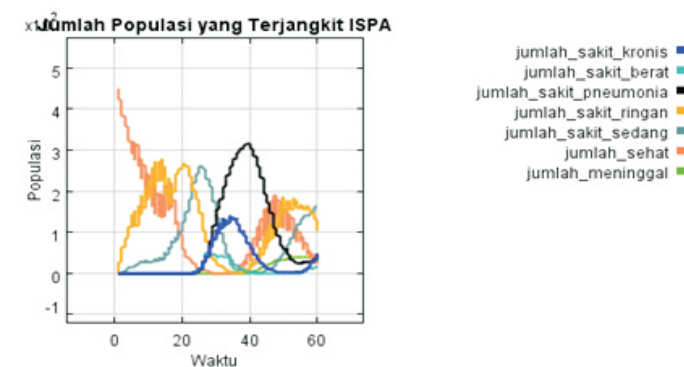
Gambar 8. Hasil eksperimen 4 tanpa stok obat

Hasil eksperimen kelima menunjukkan bahwa apabila peristiwa banjir terjadi selama 60 hari dan stok obat yang tersedia sama dengan jumlah agen maka, hampir 150 agen dari total 450 agen akan terserang Pneumonia dan 50 agen akan meninggal diakhir simulasi. Hasil eksperimen ini ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil eksperimen 5 dengan stok obat sama dengan jumlah agen

Hasil eksperimen keenam menunjukkan bahwa apabila peristiwa banjir terjadi selama 60 hari dan stok obat yang tersedia adalah empat kali dari jumlah agen maka, 50 agen dari total 450 agen akan terserang Pneumonia dan 50 agen akan meninggal diakhir simulasi. Hasil eksperimen ini ditunjukkan pada Gambar 10.

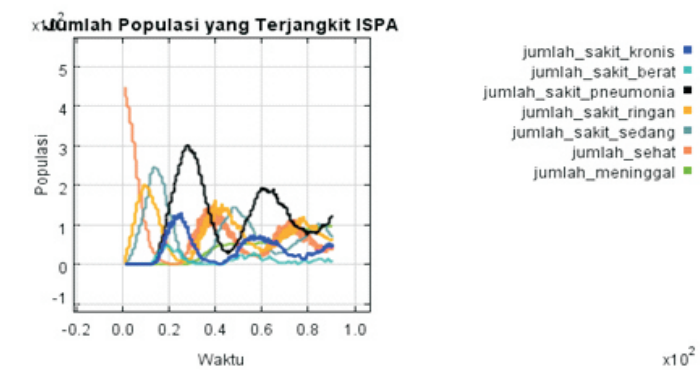


Gambar 10. Hasil eksperimen 6 dengan stok obat empat kali jumlah agen

Dengan membandingkan hasil eksperimen keempat sampai dengan keenam maka dapat disimpulkan bahwa banjir yang durasinya berkisar 60 hari berpotensi menyebabkan kematian pada agen dalam simulasi. Walaupun tersedia obat sampai dengan empat kali dari jumlah agen dalam simulasi jumlah kematian tidak dapat dikurangi, hanya jumlah agen yang mengalami pneumonia yang dapat ditekan.

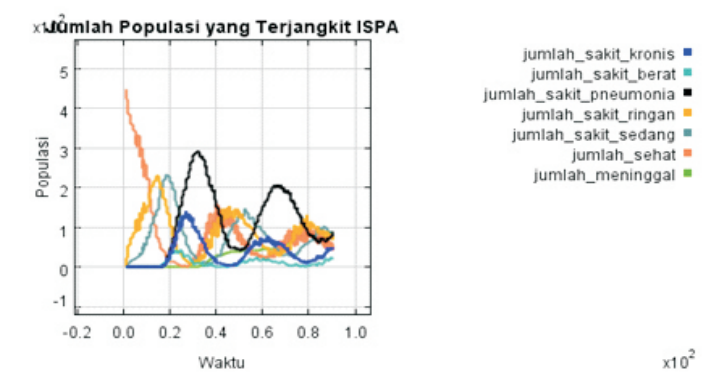
5.1.3. Eksperimen untuk durasi waktu banjir 90 hari

Hasil eksperimen ketujuh menunjukkan bahwa apabila peristiwa banjir terjadi selama 90 hari dan tanpa adanya stok obat maka, hampir 100 agen dari total 450 agen akan terserang Pneumonia dan 100 agen akan meninggal diakhir simulasi. Hasil eksperimen ini ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil eksperimen 7 tanpa stok obat

Hasil eksperimen ketujuh menunjukkan bahwa apabila peristiwa banjir terjadi selama 90 hari dan stok obat yang tersedia sama dengan jumlah agen dalam simulasi maka, hampir 100 agen dari total 450 agen akan terserang Pneumonia dan 100 agen akan meninggal diakhir simulasi. Hasil eksperimen ini ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil eksperimen 8 dengan stok obat sama dengan jumlah agen

Hasil eksperimen ketujuh menunjukkan bahwa apabila peristiwa banjir terjadi selama 90 hari dan stok obat yang tersedia enam kali dari jumlah agen dalam simulasi maka, hampir 100 agen dari total 450 agen akan terserang Pneumonia dan 75 agen akan meninggal diakhir simulasi. Hasil eksperimen ini ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil eksperimen 9 dengan stok obat enam kali jumlah agen

Dengan membandingkan hasil eksperimen ketujuh sampai dengan kesembilan maka dapat disimpulkan bahwa banjir yang durasinya berkisar 90 hari berpotensi menyebabkan kematian pada agen dalam simulasi. Walaupun tersedia obat sampai dengan enam kali dari jumlah agen dalam simulasi jumlah agen yang terserang pneumonia tidak dapat dikurangi, hanya saja strategi ini dapat mengurangi resiko kematian pada agen. Dari proses pengujian sensitivitas ini dapat disimpulkan bahwa model yang dibangun sensitif terhadap perubahan nilai variabel lamanya waktu banjir dan stok obat yang disediakan.

Model dapat menunjukkan bahwa semakin lama durasi banjir yang terjadi maka akan semakin tinggi jumlah agen yang mengalami pneumonia dan meninggal dunia. Model juga menunjukkan sensitivitas terhadap nilai variabel jumlah stok obat yang disediakan. Semakin tinggi jumlah stok obat yang disediakan maka akan mengurangi potensi agen yang mengalami pneumonia dan meninggal dunia. Perilaku model ini secara logika dapat diterima walaupun tidak mungkin untuk diamati atau diujikan secara empiris di dunia nyata (tidak mungkin melaksanakan eksperimen atau melakukan pengamatan yang menyebabkan hilangnya nyawa manusia).

5.2. Analisa jumlah stok obat minimum

Pada eksperimen ini akan dicari jumlah stok obat minimum yang harus disediakan sedemikian hingga tidak terdapat agen yang mengalami pneumonia dan meninggal dunia untuk setiap skenario durasi waktu banjir. Untuk tujuan ini maka eksperimen dibagi menjadi 3 bagian berdasarkan durasi waktu banjir. Pada setiap set eksperimen jumlah stok obat yang disediakan dinaikkan sedikit demi sedikit dan jumlah agen yang mengalami pneumonia dan meninggal dunia diakhir simulasi diamati. Eksperimen akan dihentikan ketika sudah tidak terdapat lagi agen yang mengalami pneumonia dan meninggal dunia pada suatu nilai variabel stok obat tertentu. Total eksperimen yang dilakukan dalam tahap ini adalah 66 eksperimen.

5.2.1. Jumlah stok obat minimum untuk durasi waktu banjir 30 hari

Hasil yang diperoleh dari eksperimen-eksperimen jumlah stok obat minimum apabila banjir terjadi selama 30 hari dibalekan dalam Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Luaran jumlah agen yang mengalami pneumonia dan meninggal dunia akibat variasi jumlah stok obat untuk durasi banjir 30 hari

Skenario	Stok obat	Pneumonia	Meninggal
1	0 unit	275	0
2	225 unit (50% jumlah agen)	300	0
3	450 unit (100% jumlah agen)	300	0
4	900 unit (200% jumlah agen)	250	0
5	1350 unit (300% jumlah agen)	250	0
6	1800 unit (400% jumlah agen)	50	0
7	2250 unit (500% jumlah agen)	50	0
8	2700 unit (600% jumlah agen)	50	0
9	3150 unit (700% jumlah agen)	0	0
10	3600 unit (800% jumlah agen)	0	0

Dari hasil eksperimen ini dapat disimpulkan bahwa apabila banjir berlangsung selama 30 hari maka jumlah stok obat minimum yang harus disediakan adalah 7 kali dari jumlah agen dalam simulasi.

5.2.2. Jumlah stok obat minimum untuk durasi waktu banjir 60 hari

Hasil yang diperoleh dari eksperimen-eksperimen jumlah stok obat minimum apabila banjir terjadi selama 60 hari dibalekan dalam Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Luaran jumlah agen yang mengalami pneumonia dan meninggal dunia akibat variasi jumlah stok obat untuk durasi banjir 60 hari

Skenario	Stok obat	Pneumonia	Meninggal
11	0 unit	175	75
12	225 unit (50% jumlah agen)	175	50
13	450 unit (100% jumlah agen)	150	50
14	900 unit (200% jumlah agen)	150	50
15	1350 unit (300% jumlah agen)	75	50
16	1800 unit (400% jumlah agen)	30	30
17	2250 unit (500% jumlah agen)	30	30
18	2700 unit (600% jumlah agen)	30	30
19	3150 unit (700% jumlah agen)	30	30
20	3600 unit (800% jumlah agen)	50	30
21	4050 unit (900% jumlah agen)	50	30
22	4500 unit (1000% jumlah agen)	75	20
23	4950 unit (1100% jumlah agen)	200	20
24	5400 unit (1200% jumlah agen)	300	0
25	5850 unit (1300% jumlah agen)	300	0
26	6300 unit (1400% jumlah agen)	275	0
27	6750 unit (1500% jumlah agen)	275	0
28	7200 unit (1600% jumlah agen)	250	0
29	7650 unit (1700% jumlah agen)	175	0
30	8100 unit (1800% jumlah agen)	100	0
31	8550 unit (1900% jumlah agen)	20	0
32	9000 unit (2000% jumlah agen)	0	0

Dari hasil eksperimen ini dapat disimpulkan bahwa apabila banjir berlangsung selama 60 hari maka jumlah stok obat minimum yang harus disediakan adalah 20 kali dari jumlah agen dalam simulasi.

5.2.3. Jumlah stok obat minimum untuk durasi waktu banjir 90 hari

Hasil yang diperoleh dari eksperimen-eksperimen jumlah stok obat minimum apabila banjir terjadi selama 90 hari dibalekan dalam Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Luaran jumlah agen yang mengalami pneumonia dan meninggal dunia akibat variasi jumlah stok obat untuk durasi banjir 90 hari

Skenario	Stok obat	Pneumonia	Meninggal
33	0 unit	150	100
34	225 unit (50% jumlah agen)	100	100
35	450 unit (100% jumlah agen)	90	80
36	900 unit (200% jumlah agen)	90	80
37	1350 unit (300% jumlah agen)	50	80
38	1800 unit (400% jumlah agen)	50	80
39	2250 unit (500% jumlah agen)	50	80
40	2700 unit (600% jumlah agen)	90	80
41	3150 unit (700% jumlah agen)	120	80
42	3600 unit (800% jumlah agen)	150	80
43	4050 unit (900% jumlah agen)	180	50
44	4500 unit (1000% jumlah agen)	200	50
45	4950 unit (1100% jumlah agen)	180	50
46	5400 unit (1200% jumlah agen)	240	50
47	5850 unit (1300% jumlah agen)	180	50
48	6300 unit (1400% jumlah agen)	180	50
49	6750 unit (1500% jumlah agen)	100	50
50	7200 unit (1600% jumlah agen)	50	50
51	7650 unit (1700% jumlah agen)	80	50
52	8100 unit (1800% jumlah agen)	20	50
53	8550 unit (1900% jumlah agen)	20	50
54	9000 unit (2000% jumlah agen)	50	50
55	9450 unit (2100% jumlah agen)	80	50
56	9900 unit (2200% jumlah agen)	80	50
57	10350 unit (2300% jumlah agen)	200	0
58	10800 unit (2400% jumlah agen)	150	0
59	11250 unit (2500% jumlah agen)	280	0
60	11700 unit (2600% jumlah agen)	320	0
61	12150 unit (2700% jumlah agen)	300	0
62	12600 unit (2800% jumlah agen)	240	0
63	13050 unit (2900% jumlah agen)	200	0
64	13500 unit (3000% jumlah agen)	180	0
65	13950 unit (3100% jumlah agen)	150	0
66	14400 unit (3200% jumlah agen)	0	0

Dari hasil eksperimen ini dapat disimpulkan bahwa apabila banjir berlangsung selama 90 hari maka jumlah stok obat minimum yang harus disediakan adalah 320 kali dari jumlah agen dalam simulasi.

6. Simpulan

Dalam studi ini telah dibangun suatu simulasi berbasis agen mengenai penyebaran penyakit ISPA disaat banjir dengan menggunakan kasus banjir yang terjadi di Kabupaten Bandung. Model yang dibangun mengkolaborasi aspek cuaca, pengambilan keputusan agen dalam memilih tempat pengungsian dan aspek patologis dari penyakit ISPA. Melalui model ini dapat digambarkan dinamika jumlah agen yang sehat, agen yang mengalami ISPA ringan, agen yang mengalami ISPA sedang, agen yang mengalami ISPA berat, agen yang mengalami ISPA kronis, agen yang mengalami pneumonia dan agen yang meninggal. Dari proses pengujian sensitivitas model dapat disimpulkan bahwa model yang dibangun sensitif terhadap perubahan nilai variabel lamanya waktu banjir dan stok obat yang disediakan.

Model dapat menunjukkan bahwa semakin lama durasi banjir yang terjadi maka akan semakin tinggi jumlah agen yang mengalami pneumonia dan meninggal dunia. Model juga menunjukkan sensitivitas terhadap nilai variabel jumlah stok obat yang disediakan. Semakin tinggi jumlah stok obat yang disediakan maka akan mengurangi potensi agen yang mengalami pneumonia dan meninggal dunia. Perilaku model ini secara logika dapat diterima walaupun tidak mungkin untuk diamati atau diujikan secara empiris di dunia nyata (tidak mungkin melaksanakan eksperimen atau melakukan pengamatan yang menyebabkan hilangnya nyawa manusia). Dengan mengetahui sensitivitas terhadap variabel-variabel yang diujikan maka model ini dapat dipergunakan untuk menggenerasi skenario-skenario dalam meminimasi jumlah agen yang menderita pneumonia dan meninggal dunia.

Melalui eksperimen lanjutan dengan model ini dapat diidentifikasi bahwa apabila tujuan dari pemerintah atau pengambil keputusan yang berwenang adalah untuk meminimasi jumlah agen yang meninggal maka dapat diambil strategi mitigasi seperti diawal bencana banjir disediakan stok obat sejumlah tujuh kali dari jumlah agen yang menjadi korban banjir. Jumlah obat ini merupakan jumlah minimum yang diperlukan untuk mencegah agen mengalami pneumonia dan meninggal dunia. Apabila durasi bencana banjir yang terjadi melewati batas durasi 30 hari maka stok obat perlu ditambah sebanyak 5 kali dari jumlah agen yang mengalami bencana banjir, sedemikian hingga jumlah obat yang disediakan sejak awal bencana mencapai 12 kali dari jumlah agen yang menjadi korban banjir. Apabila durasi bencana banjir yang terjadi melewati batas durasi 60 hari maka stok obat perlu ditambah sebanyak 11 kali dari jumlah agen yang mengalami bencana banjir, sedemikian hingga jumlah obat yang disediakan sejak awal bencana mencapai 23 kali dari jumlah agen yang menjadi korban banjir.

Skenario lain yang dapat diperoleh melalui model ini adalah, apabila tujuan dari pemerintah atau pengambil keputusan yang berwenang adalah untuk meminimasi jumlah agen yang mengalami pneumonia maka dapat diambil strategi seperti diawal bencana banjir disediakan stok obat sejumlah tujuh kali dari jumlah agen yang menjadi korban banjir. Jumlah obat ini merupakan jumlah minimum yang diperlukan untuk mencegah agen mengalami pneumonia dan meninggal dunia. Apabila durasi bencana banjir yang terjadi melewati batas durasi 30 hari maka stok obat perlu ditambah sebanyak 13 kali dari jumlah agen yang mengalami bencana banjir, sedemikian hingga jumlah obat yang disediakan sejak awal bencana mencapai 20 kali dari jumlah agen yang menjadi korban banjir. Apabila durasi bencana banjir yang terjadi melewati batas durasi 60 hari maka stok obat perlu ditambah sebanyak 12 kali dari jumlah agen yang mengalami bencana banjir, sedemikian hingga jumlah obat yang disediakan sejak awal bencana mencapai 32 kali dari jumlah agen yang menjadi korban banjir.

Daftar Pustaka

- Antara. (2010, Februari 01). 700 korban banjir terserang ISPA dan Gatal-gatal. *www.antara.com*, hal. antarajawabarat.com/lihat/cetak/20705.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1989). SK SNI M-18-1989-F (*Metode Perhitungan Debit Banjir*. Bandung: Yayasan LPMB.
- Dinar, A. (2010, Desember 13). *Tidak ada Dana Buka Dapur Umum*. Suara Karya.
- Epstein, J. M. (1999). Agent-Based Computational Models And Generative Social Science. *Complexity*, 4 (5): 41-60.
- Gilbert, N. (2004, Desember 18). *Agent-based Social Simulation: Dealing With Complexity*. Dipetik Oktober 28, 2008, dari <http://www.agsm.unsw.edu.au/bobm/teaching/SimSS/ABSS-dealingwithcomplexity-1-1.pdf>
- Jennings, N. R., Faratin, P., Johnson, M. J., Norman, T. J., O'Brien, P., & Wiegand, M. E. (1996). Agent-Based Business Process Management. *International Journal of Cooperative Information Systems*: 105-130.
- Macy, M. W., & Willer, R. (2002). From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-based Modeling. *Annual Review of Sociology*: 143-166.
- Misnadiary. (2008). *Penyakit Infeksi Saluran Napas Pneumonia pada Balita, Orang Dewasa, Usia Lanjut*. Jakarta: Pustaka Obor Populer.
- Palang Merah Indonesia (PMI). (2010, Pebruary 19). Hampir Satu Bulan, Bandung Selatan Tergenang Banjir. *pmi_news*.
- Smith, E. R., & Conrey, F. R. (2007). Agent-Based Modeling: A New Approach for Theory Building in Social Psychology. *Personality and Social Psychology Review* 11 (87): 87-104.
- Srblijinović, A., & Škunca, O. (2003). An Introduction to Agent Based Modelling and Simulation of Social Process. *Interdisciplinary Description of Complex Systems* 1: 1-8.
- Undang-Undang Republik Indonesia No 24. (2007).
- WHO. (2006). *Pneumonia : The Forgotten Kiler of Children*.