

Pemodelan Mekanisme Koordinasi Distribusi Logistik Bantuan Bencana Berbasis Integrasi GIS dan *Agent Based Modeling Simulation*

Fauzi Khair¹, Dina Fitria Murad²

¹ *Industrial Engineering Department, BINUS Online Learning,
Bina Nusantara University, Jakarta, Indonesia, 11480*

² *Information Systems Department, BINUS Online Learning,
Bina Nusantara University, Jakarta, Indonesia, 11480*

¹fauzi.khair@binus.ac.id, ²dmurad@binus.edu

Diterima: 31 Agustus 2018

Disetujui: 26 September 2018

Intisari— Penanggulangan bencana pada periode tanggap darurat merupakan salah satu kebijakan yang krusial. Pada periode ini amat membutuhkan sistem koordinasi distribusi bantuan dan sistem yang terintegritasi dengan baik dalam pengelolaannya. Setiap kesalahan dalam sistem pada periode ini akan berimbas pada peningkatan signifikan dari jumlah korban maupun kerugian materil yang ditimbulkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sistem koordinasi distribusi bantuan dengan konsep sentralisasi dan desentralisasi penanggulangan bencana erupsi Merapi. Penelitian ini mengintegrasikan metode *Agent Based Modeling (ABM)* dan *Geographic Information System (GIS)* dalam memodelkan simulasi sistem koordinasi distribusi bantuan oleh relawan dengan beberapa skenario. ABM bertujuan untuk menggambarkan perilaku *agents* (pengungsi dan relawan) saat terjadi bencana dengan karakteristik masing-masing. Penggunaan data spasial GIS bertujuan untuk menggambarkan kondisi jalanan secara nyata untuk kawasan terdampak erupsi. Hasil simulasi skenario desentralisasi dengan kombinasi 4 Posko koordinasi menunjukkan penanganan dan penyaluran bantuan menuju barak pengungsian lebih efisien dibandingkan dengan skenario sentralisasi.

Index Terms : Koordinasi, desentralisasi , GIS, ABM

I. PENDAHULUAN

Kebijakan terkait koordinasi aktivitas distribusi dan transportasi oleh relawan menuju lokasi posko bantuan dan barak pengungsian merupakan salah satu keputusan yang penting. Penentuan lokasi dan fasilitas untuk rantai pasok bantuan kemanusiaan pada fase tanggap darurat harus diperhatikan agar penyaluran bantuan dapat dilakukan dengan cepat, tepat dan efisien (Balcik et al, 2010). Penentuan dan pemilihan lokasi fasilitas tanggap bencana untuk penyimpanan persediaan darurat perlu dikelola untuk menjamin kualitas layanan kesehatan yang disediakan pasca terjadinya keadaan darurat skala besar seperti gempa bumi (Verma& Gaukler, 2015).

Penanganan pada operasi tanggap darurat membutuhkan informasi yang tepat, akurat, cepat dan dapat dipercaya supaya memudahkan komando dalam membuat keputusan. Dalam periode tanggap darurat yang perlu diperhatikan

adalah masalah waktu. Seberapa cepat suatu informasi dapat diterima kemudian disebarakan ke para relawan (Horan dan Marich, 2006). Wassenhove (2009) menjelaskan bahwa dalam penanggulangan bencana, seluruh pelaku yang terlibat dalam darurat kemanusiaan berhak mendapatkan perhatian khusus. Beberapa penelitian sebelumnya mengintegrasikan *agent based modeling (ABM)* dan GIS dalam pemodelan studi kasus beberapa bencana dalam pengelolaan dan penentuan lokasi dan fasilitas pasca bencana terjadi. ABM akan menjadi lebih lengkap apabila diintegrasikan dengan GIS (Crooks et al, 2008).

ABM merupakan model simulasi yang merepresentasikan individu atau agen dalam sebuah sistem yang dinamis. Pada konsep ABM, sebuah sistem dimodelkan sebagai kumpulan dari entitas yang dapat mengambil keputusannya sendiri yang biasa disebut *agent*. Sedangkan GIS adalah alat berbasis sistem yang digunakan untuk

mengumpulkan, menyimpan, memanipulasi dan menampilkan spasial referensi informasi yang digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan dalam berbagai konteks, termasuk perencanaan tata ruang dan pengelolaan lingkungan (Bunch et al, 2012).

Bantuan data spasial dan data visualisasi geografis dalam pemodelan *agent based modelling* menjadi salah satu cara agar model yang dibuat mampu representatif terhadap kondisi nyata di lapangan seperti alur transportasi, jalur pedestrian dan data geografis lainnya. Menunjukkan bagaimana GIS dan ABM dapat dimanfaatkan untuk mengeksplorasi bantuan kemanusiaan pada tingkat individu setelah bencana alam, seperti gempa bumi (Crooks & Wise, 2009).

Sedangkan Hartmann dan Zerjav (2014) menyatakan bahwa integrasi ABM dan GIS telah efektif digunakan dalam melakukan optimasi perencanaan lokasi pelayanan kesehatan untuk karakteristik penduduk daerah perkotaan. GIS dan ABM banyak digunakan dalam membangun model simulasi dalam pengembangan populasi suatu daerah, beban dan penyebaran penyakit, infrastruktur kesehatan dan memperkirakan dampak dari keputusan investasi sumber daya terkait biaya kesehatan penduduk dan perawatan kesehatan (Kruzikas et al, 2014).

Penggunaan ABM dan GIS secara eksplisit dapat dilakukan penelusuran terhadap pola perilaku agen dan membantu pemahaman tentang proses dan akibat yang dihasilkan. Penggunaan konsep ABM dan GIS dapat digunakan untuk memperkirakan jumlah korban dan total waktu penyelamatan secara global terhadap kondisi nyata di lapangan (Anh et al, 2012). *Agent Based Modeling* (ABM) merupakan suatu metode untuk mempelajari suatu sistem yang terdiri dari *agent* yang saling berinteraksi dan memunculkan sifat baru karena interaksi. Sifat baru yang muncul tersebut tidak disimpulkan secara sederhana dengan menyatukan semua sifat yang dimiliki oleh *agent* (Axelrod, R. dan Tesfatsion, 2006).

Bencana yang menjadi objek pada penelitian ini adalah Erupsi Gunung Merapi pada tahun 2010. Erupsi Gunung Merapi pada Oktober 2010 mengakibatkan jatuhnya korban jiwa dan harta. Bencana ini merupakan yang terbesar dibandingkan dengan bencana serupa dalam lima kejadian sebelumnya (1994, 1997, 1998, 2001 dan 2006). Berdasarkan latar belakang ini, dilakukan penelitian terkait evaluasi letak dan jumlah posko bantuan dengan menggunakan ABM dan GIS untuk wilayah Kabupaten Sleman

Yogyakarta dalam penanganan Erupsi Merapi. Pengintegrasian ABM dan GIS akan memperlihatkan kondisi nyata secara lebih kompleks dan lebih representatif terkait kondisi geografis di lapangan. Pengintegrasian keduanya dalam penanggulangan bencana akan sangat membantu dalam kebijakan pengambilan keputusan terkait sistem koordinasi transportasi dalam pendistribusian bantuan menuju titik-titik barak pengungsian.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metode perumusan dan pendeskripsian dalam pemodelan dilakukan merujuk pada analisis dan kaidah ODD (*overview, design concept and detail*) protocol.

Overview

Tujuan (*purpose*) model simulasi ini adalah untuk mengetahui 13 sistem koordinasi transportasi bantuan bencana, jumlah dan lokasi yang tepat agar dengan kapasitas bantuan yang dimiliki agar mampu memenuhi permintaan (*demand*) pada barak pengungsian, memenuhi kebutuhan pengungsi selama masa tanggap darurat. Entitas yang terlibat pada pemodelan ini adalah pemerintah (BNPB, TNI, POLRI), organisasi kemanusiaan atau relawan, pengungsi (*victims*) dan titik-titik barak pengungsian (*patches*).

State variable yang terdiri dari *capacity* (kapasitas) relawan dan 13 energi yang dimiliki pengungsi dan relawan. *Scale*, periode waktu simulasi masa tanggap darurat selama 60 hari, dimana tiap satu kali pergerakan agen pada model 1 hari = 60 *ticks*. Periode pemodelan diatur selama 60 hari.

Process overview dan *scheduling* dilakukan berdasarkan jumlah dan lokasi posko bantuan yang telah diatur sebelumnya, model simulasi dibuat untuk menentukan arah pergerakan agen. Agen pengungsi akan bergerak menuju barak pengungsi dan berdiam di barak tersebut. Selanjutnya berdasarkan mekanisme tersebut agen relawan akan bergerak menuju daerah tersebut untuk memberikan bantuan sesuai dengan kapasitas yang mereka miliki. Selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.

Design Concepts

a. *Basic principles*

Prinsip dasar yang ditujukan pada pemodelan ini adalah pergerakan setiap agen (pengungsi dan relawan) menuju barak pengungsian. *Agent victims* berupa pengungsi

erupsi merapi akan melakukan pergerakan menuju titik barak pengungsian, menetap dan melaporkan kebutuhannya. Total kebutuhan dari pengungsi yang bergerak dan menetap menuju barak akan menjadi *demand* pada barak pengungsian tersebut. *Agent volunteers* akan bergegas menuju titik barak pengungsian untuk memberikan bantuan sesuai dengan kapasitas masing-masing.

Apabila relawan telah menemukan barak pengungsian, kapasitas yang dimiliki akan disalurkan untuk mengurangi *demand* yang dimiliki oleh tiap-tiap barak pengungsian dengan persamaan sebagai berikut:

1. Jika kapasitas awal (C_B) > permintaan (D_B), maka:

$$C_{(B+1)} = (C_B) - (D_B) \quad (1)$$

$$D_{(B+1)} = 0$$

2. Jika kapasitas awal (C_e) < permintaan (D_e), maka:

$$D_{(B+1)} = (D_B) - (C_B) \quad (2)$$

$$C_{(B+1)} = 0$$

Apabila kapasitas bantuan yang dimiliki relawan telah habis, relawan akan bergerak menuju area posko relawan. Area posko yang ditentukan pada penelitian ini adalah *patches* dengan *pycor* tertentu pada *interface* simulasi. Setelah itu, relawan akan memiliki kapasitas kembali dan selanjutnya akan memberikan bantuan menuju barak pengungsi selanjutnya. Untuk menjamin *demand* bergerak secara wajar dan tidak menurun secara drastis, dilakukan *update demand* sesuai dengan tingkat kenaikan permintaan pada kasus Erupsi Merapi 2010:

$$D_{(B+1)update} = D_{(B+1)} + \text{Konstanta} * (\text{demand rate}) \quad (3)$$

- b. *mergence*

Para pengungsi dan relawan bergerak sesuai kecepatan dan energi masing-masing. Ukuran lebar jalan yang ditetapkan adalah 6 meter. Kepadatan maksimum jalan yang dapat dilewati adalah 6 orang/m². Sehingga jalan tidak dapat dilewati jika ada sekitar > 40 orang per *patch* pada tampilan simulasi. Sehingga adanya penumpukan atau terhambatnya pengungsi atau relawan yang akan menyalurkan bantuan adalah salah satu fenomena yang menjadi *emergence* pada penelitian ini.

Emergence utama yang dihasilkan adalah grafik rata-rata jumlah permintaan korban yang belum terpenuhi. Sejak awal kejadian $t = 0$ hari ($tick = 0$) sampai $t = 60$ hari (3600 *ticks*) ke depan sesuai dengan periode masa tanggap darurat. Rata-rata jumlah permintaan yang belum

terpenuhi akan meningkat pada fase awal bencana. Selanjutnya jumlah permintaan yang belum terpenuhi akan menurun sampai akhir periode masa tanggap darurat.

- c. *Interaction*

Model mencakup interaksi antara agen dengan lingkungannya yaitu alur jalan menuju titik barak pengungsian. Bentuk interaksi antara pengungsi dengan barak yaitu dengan melaporkan jumlah kebutuhan yang mereka butuhkan (*transfer requirement*). Sedangkan bentuk interaksi relawan dengan barak pengungsian adalah *transfer capacity* berupa penyaluran bantuan dengan cara mengalokasikan sejumlah kapasitas yang dimiliki agen untuk memenuhi permintaan bantuan dari korban pada titik barak pengungsian tersebut (sesuai dengan persamaan 1 dan persamaan 2).

- d. *Observation*

Ada dua plot yang digunakan untuk pengamatan yaitu rata-rata jumlah permintaan yang belum terpenuhi dan jumlah stok akhir kapasitas suplai bantuan sampai akhir masa periode tanggap darurat. Data dari jumlah permintaan yang belum terpenuhi digunakan untuk mengukur seberapa besar efektifitas penyaluran bantuan yang digunakan untuk setiap skenario pada model koordinasi, jumlah dan lokasi posko bantuan.

Detail

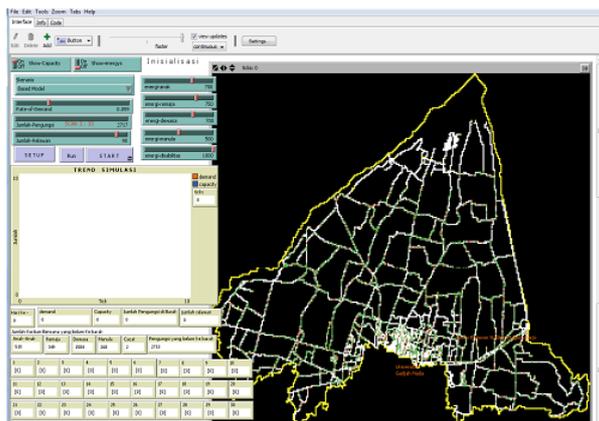
Bagian detail penelitian ini hanya mencakup inisialisasi saja dan model ini tidak memiliki input dan submodel dalam pengembangannya. Pada awal tahap inisialisasi, ditentukan jenis skenario yang digunakan yang terdiri dari 1 skenario dasar dan 4 skenario tambahan.

Selanjutnya, ditentukan jumlah pengungsi yang berada dalam wilayah Sleman dengan nilai berkisar antara 0 hingga 3000 orang. Sedangkan jumlah relawan berkisar antara 0 hingga 100 orang. *Demand rate* ditentukan pada skala 0 sampai 0,1. Kemudian ditentukan nilai parameter lain seperti besarnya energi awal pengungsi berdasarkan kategori umur.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Netlogo

Berdasarkan karakteristik model yang diteliti, selanjutnya dilakukan penerjemahan karakteristik tersebut pada bahasa pemrograman (*coding*) sesuai dengan yang tersedia pada *software* yang digunakan. *Software* ABM yang digunakan pada penelitian ini adalah Netlogo 5.2.1 sesuai dengan kaidah *ODD Protocol*. Peta kawasan sleman yang telah diubah menjadi peta dengan format *raster* dan *txt*, akan menjadi *input* dalam program ini. Sementara parameter yang telah ditentukan sebelumnya dikelola dengan sebaik mungkin dalam tahapan inialisasi agar output yang dihasilkan mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Pada tampilan *interface* model, akan muncul peta kawasan Kabupaten Sleman lengkap dengan jalan raya yang dapat dilalui oleh para pengungsi (*agent victims*) dan relawan (*agent volunteers*). Jalanan ini merupakan jalur yang digunakan oleh para pengungsi menuju barak pengungsian dan para relawan dalam menyalurkan bantuan menuju barak pengungsian.



Gambar 1. User Interface

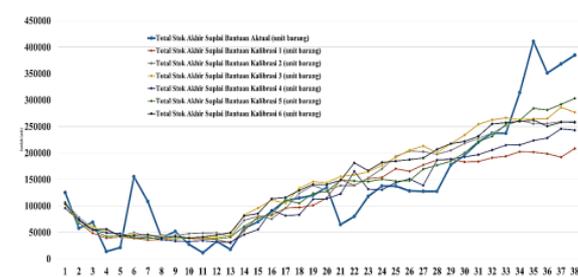
Gambar 1 merupakan tampilan (*interface*) awal dari model dan program *netlogo* yang telah diintegrasikan dengan peta menggunakan GIS.

Verifikasi dan Validasi

Verifikasi dilakukan dengan metode *structure code walk through* yaitu dengan meminta pendapat ahli mengenai koding program yang dibuat apakah telah bekerja sesuai dengan seharusnya dan memberi masukan terhadap koding program agar menampilkan dan bekerja sesuai skema kerja yang ditentukan. Kalibrasi pada model ABM bertujuan untuk perbaikan dan dokumentasi akurasi nilai parameter pada model yang dibuat.

Kalibrasi yang dilakukan pada model ini adalah dengan menguji validitas model dan *output* yang dihasilkan berdasarkan nilai parameter yang

berbeda pada *tools behavior space* pada netlogo. Nilai parameter yang mendekati kondisi nyata ditentukan berdasarkan nilai *error* maksimum yang paling kecil dan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) paling kecil dari semua simulasi yang dilakukan. Hasil akhir kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan bahwa hasil kalibrasi sudah mencerminkan kondisi nyata berdasarkan data dan kejadian di lapangan.



Gambar 2. Perbandingan total stok akhir suplai bantuan aktual dan suplai bantuan

Tabel 1. Parameter pada model hasil kalibrasi

Parameter	Nilai
Jumlah Pengungsi	2700
Jumlah relawan	90
<i>Demand rate</i>	0.05
Energi kategori anak	450
Energi kategori remaja	500
Energi kategori dewasa	700
Energi Manula	400
<i>Energy of Disabiities</i>	400

Sedangkan pada tahapan validasi dilakukan dalam metode sebagai berikut:

a. Model Calibration

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil *output* total stok akhir kapasitas bantuan hasil simulasi dengan total stok akhir bantuan pada kondisi aktual. Dengan demikian, dilakukan beberapa pengujian statistik dalam mengetahui hubungan yang signifikan antara hasil simulasi dan kondisi aktual. Dalam hal ini, pengujian *t-paired sample test* digunakan untuk mengetahui hubungan data stok akhir suplai bantuan aktual dan stok akhir suplai bantuan hasil simulasi. Sebelum dilakukan uji *t-paired sample test*, terlebih dahulu dilakukan uji asumsi klasik yaitu data harus terdistribusi secara normal dan memiliki varian yang homogen.

Hasil uji normalitas data menggunakan *Shapiro-Wilk test* dengan bantuan *software* SPSS 16 menunjukkan data stok akhir suplai bantuan aktual dan total stok akhir suplai bantuan hasil simulasi memiliki nilai *Shapiro-Wilk* lebih besar dari $\alpha = 0,05$. Berdasarkan hasil ini, dapat diketahui bahwa tidak ada cukup bukti untuk menolak H_0 , sehingga data yang digunakan terdistribusi secara normal pada taraf signifikansi 0,05. Sedangkan hasil uji homogenitas, didapatkan hasil pengujian statistik dengan nilai signifikansi 0,483. Nilai signifikansi 0,483 lebih besar dari $\alpha = 0,05$. Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa variansi data stok akhir suplai bantuan aktual dan total stok akhir suplai bantuan hasil simulasi adalah homogen (sama).

Tabel 2. Hasil uji *t-paired sample test*

Paired Differences		95% Confidence interval of the difference		t	df	Sig. (2-tailed) ^{e)}	
Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	lower				upper
4.89	44972.3	7295.463	-9892.76	19671.3	0.6	37	0.507

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa nilai $t_{hitung} = 0,6$ lebih kecil dari $t_{table} = 2,2069$ dan nilai signifikansi *2-tailed* sebesar 0,507 lebih besar dari $\alpha = 0,05$, sehingga dapat disimpulkan tidak ada cukup bukti untuk menolak H_0 . Hasil ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara total stok akhir suplai bantuan aktual dengan total stok akhir suplai bantuan hasil simulasi Netlogo.

b. *Face Validation*

Pada tahapan ini, model simulasi yang dibuat dianalisis oleh *expert* untuk mengetahui apakah model telah disusun dengan sistematis, model dibuat sesuai kerangka kerja, dan *output* simulasi sudah benar dan menggambarkan kondisi nyata.

Analisis perubahan nilai parameter

Berdasarkan proses kalibrasi yang dilakukan sebelumnya dimana dilakukan perubahan beberapa nilai parameter dalam penelitian ini dapat dilakukan beberapa analisis diantaranya:

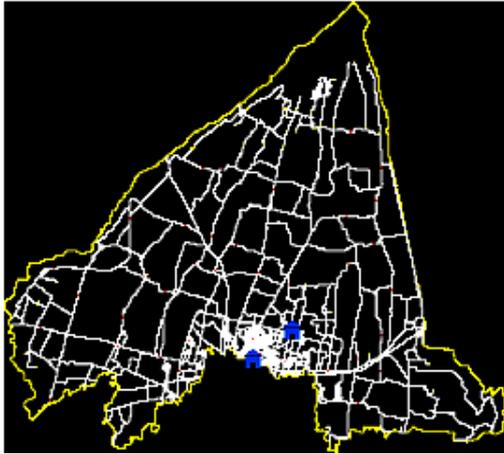
- a) Peningkatan *demand rate* akan memperlambat masa tanggap darurat

seiring dengan peningkatan jumlah demand barak pengungsian yang harus dipenuhi dan berlaku sebaliknya.

- b) Peningkatan jumlah relawan memiliki nilai yang sebanding dengan nilai stok akhir suplai bantuan dan lamanya fase tanggap darurat. Hal yang sama dapat diasumsikan berlaku pada pengurangan dan peningkatan jumlah pengungsi. Semakin besar jumlah pengungsi akan meningkatkan demand yang harus dipenuhi dan akan berpengaruh pada lamanya fase tanggap darurat.
- c) Tren output simulasi menunjukkan pola yang sama untuk masing-masing skenario dan menghasilkan pola yang sama untuk setiap dinamika nilai total demand yang belum terpenuhi dan total kapasitas stok akhir suplai bantuan.
- d) Kalibrasi yang dilakukan menunjukkan bahwa model yang dibuat mampu mensimulasikan keadaan nyata dengan baik
Total stok akhir suplai bantuan selalu berada dengan nilai total lebih besar dibandingkan dengan demand yang belum terpenuhi di barak pengungsian. Nilai stok akhir suplai bantuan meningkat untuk peningkatan jumlah relawan dan terjadi penurunan jika terjadi peningkatan demand rate.

Hasil Simulasi

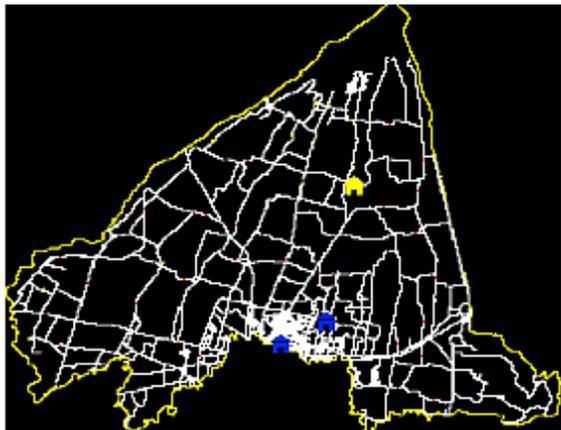
Model pergerakan skenario awal, skenario 1, skenario 2, skenario 3 dan skenario 4 adalah sama. Hal yang membedakan antara masing-masing skenario adalah jumlah posko utama dan jumlah relawan masing-masing posko. Jumlah relawan tiap-tiap posko utama relawan dibagi seimbang sesuai dengan jumlah posko utama. Skenario awal untuk model simulasi pada penelitian ini menunjukkan bahwa posko utama relawan berpusat di Stadion Maguwoharjo (sentralisasi). Relawan berkumpul pada posko utama ini dan kemudian menyalurkan bantuan yang didapatkan sebelumnya menuju titik barak pengungsian. Skenario awal pada gambar 3 menunjukkan bahwa posisi posko pada skenario awal berada pada UGM dan stasiun Maguwoharjo.



Gambar 3. Skenario awal

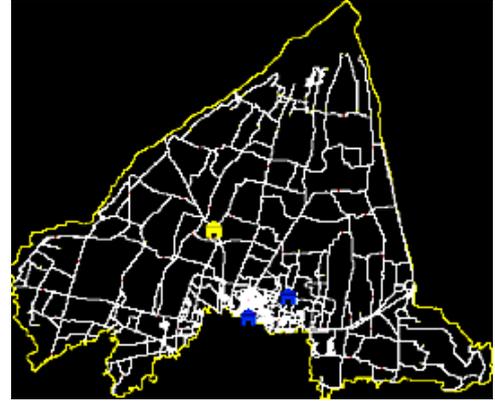
Pada simulasi yang dilakukan, relawan atau pihak DERU UGM, TNI dan POLRI bersiap-siaga dalam memberikan bantuan pasca terjadi bencana. Untuk setiap skenario dilakukan inisialisasi awal sesuai dengan nilai parameter yang didapatkan dari hasil kalibrasi. Skenario awal selanjutnya dijalankan dengan replikasi sebanyak 10 kali.

Selanjutnya, skenario awal yang terdiri dari posko utama sebelumnya kemudian dikembangkan dengan penambahan posko koordinasi desentralisasi lainnya sehingga total posko adalah kombinasi 3 posko atau kombinasi 4 posko dengan lokasi yang berbeda. 2 pilihan posko koordinasi tersebut adalah Posko Utama Pakem dan Posko Utama Tagana.



Gambar 4. Skenario alternatif 1

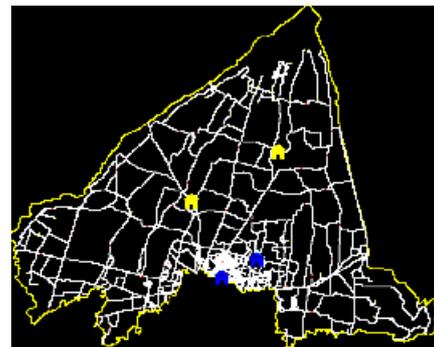
Skenario alternatif 1 pada Gambar 4 menunjukkan posisi posko berada pada UGM, stadion maguwoharjo dan Posko Pakem



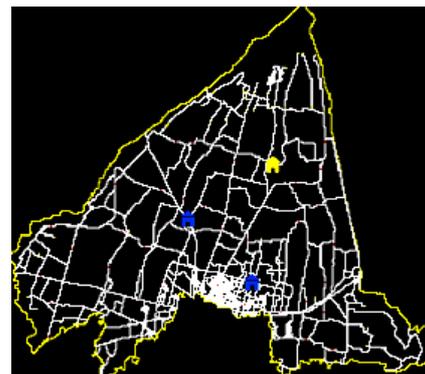
Gambar 5. Skenario alternatif 2

Skenario alternatif 2 pada gambar 5 menunjukkan bahwa posisi posko berada pada UGM, Maguwoharjo dan Posko Tagana. Sedangkan pada gambar 6, posko utama terdiri dari UGM, maguwoharjo, Pakem dan Tagana.

Hal ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan penyaluran bantuan menuju barak pengungsian dengan tiga dan empat posko koordinasi yang berbeda. Selain itu, skenario 1 sampai skenario 4 mengasumsikan jumlah relawan terbagi secara merata untuk setiap posko. Untuk nilai masing-masing parameter disesuaikan dengan nilai parameter hasil kalibrasi sebelumnya. Masing-masing skenario pada penelitian ini dijalankan dengan replikasi sebanyak 10 kali.

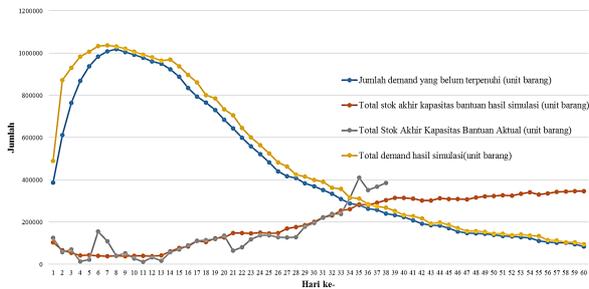


Gambar 6. Skenario alternatif 3

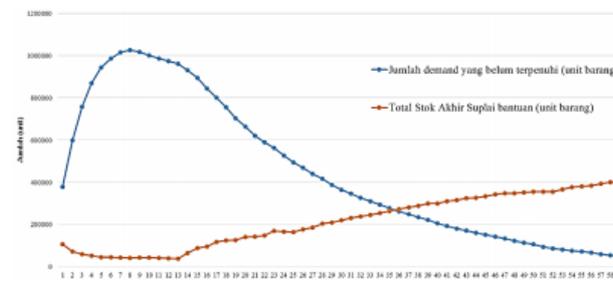


Gambar 7. Skenario alternatif 4

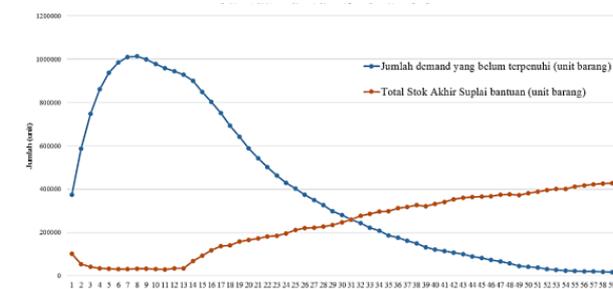
Sedangkan kombinasi posko pada alternatif 4 pada gambar 7 terdiri dari UGM, Tagana dan Pakem.



Gambar 8. Hasil Simulasi dan stok akhir suplai bantuan actual



Gambar 9. Nilai *demand* yang belum terpenuhi dan total stok akhir suplai bantuan untuk Skenario Dasar



Gambar 10. Nilai *demand* yang belum terpenuhi dan total stok akhir suplai bantuan untuk Skenario 4

Hasil akhir simulasi menunjukkan skenario 4 koordinasi desentralisasi memiliki *demand* yang belum terpenuhi paling kecil dibandingkan dengan skenario lainnya yaitu sebesar 14054 unit dengan persentase 68,42% lebih sedikit dibandingkan dengan total demand yang tidak terpenuhi scenario sentralisasi. Sedangkan total nilai stok akhir suplai bantuan akhir simulasi sebesar 429779 unit (7,29% lebih banyak suplai yang tersisa dibandingkan skenario dasar) dan skenario ini menunjukkan jumlah relawan yang masih dapat beroperasi dan menyalurkan bantuan pada akhir simulasi sebanyak 89 orang atau 2,30% lebih besar dibandingkan jumlah relawan akhir simulasi skenario dasar.

Berdasarkan hasil ini, skenario 4 merupakan skenario yang cukup baik dalam memenuhi *demand* barak pengungsian. Selain itu, berdasarkan hasil pembobotan, skenario alternatif terbaik adalah skenario 4 yang memiliki bobot terbesar dibandingkan skenario lainnya. Skenario 4 meliputi kawasan UGM, stadion Maguwoharjo, Posko TAGANA dan Posko Utama Pakem dengan bobot 0.357.

Akan tetapi, semua skenario alternatif menunjukkan jumlah stok akhir suplai bantuan yang masih dapat disalurkan relawan selalu lebih besar dibandingkan dengan skenario dasar. Sehingga terdapat kelebihan kapasitas bantuan yang belum tersalurkan. Pada kondisi nyata hal ini tentu menimbulkan penumpukan barang dan memungkinkan bantuan akan menjadi rusak. jika prioritas utama adalah pemenuhan kebutuhan para pengungsi, maka alternatif skenario cukup efektif dalam pemenuhan *demand*.

Sedangkan kelebihan kapasitas akhir relawan dan jumlah relawan pada akhir simulasi menjadi kelemahan dalam pemodelan skenario alternatif pada model ini. Terdapat beberapa kelemahan yang mungkin dapat terjadi dalam penerapan skenario 1, skenario 2, skenario 3 dan skenario 4 dalam kegiatan distribusi bantuan diantaranya:

- a. Penerapan skenario 1, skenario 3 dan skenario 4 hanya dapat dilakukan jika erupsi merapi yang terjadi tidak tergolong eksplosif. Kondisi erupsi yang bersifat eksplosif memungkinkan area posko utama pakem tidak dapat digunakan. Hal ini disebabkan regulasi untuk menghindari kawasan Gunung Merapi atau berada dalam kawasan aman dengan radius 15 km hingga 20 km.
- b. Penambahan lokasi dan jumlah posko utama membutuhkan biaya dan perencanaan yang matang. Sehingga faktor biaya menjadi isu penting yang perlu dipertimbangkan.

Berdasarkan kondisi di lapangan, skenario dasar juga memiliki kelemahan dalam hal manajemen distribusi penyaluran bantuan yaitu banyaknya barang bantuan pada posko utama yang belum tersalurkan. Sehingga bantuan kadang kala menjadi rusak dan tentu ini sangat merugikan kegiatan penanggulangan bencana. Oleh karena itu, diperlukan sinkronasi yang baik antara semua pihak yang terlibat dalam operasi kemanusiaan dan operasi penanggulangan bencana. Pihak pemerintah harus menetapkan regulasi dan kebijakan terkait kemudahan dalam

penerimaan dan penyaluran bantuan. Penentuan lokasi dan jumlah posko bantuan utama hendaknya perlu lebih lanjut diperhatikan seperti faktor biaya, perilaku para penduduk, perspektif kebencanaan masyarakat, kecepatan penyaluran dan distribusi barang, efisiensi kegiatan distribusi logistik bencana dan efektivitas distribusi bantuan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya:

1. 4 (empat) skenario koordinasi desentralisasi distribusi bantuan menunjukkan hasil yang lebih baik dalam penanganan dan penyaluran bantuan menuju barak pengungsian dibandingkan dengan skenario awal.
2. Periode untuk mencapai titik keseimbangan antara *demand* yang tidak terpenuhi dan total stok akhir kapasitas bantuan menunjukkan skenario 1, skenario 2, skenario 3 dan skenario 4 lebih cepat dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik keseimbangan untuk skenario dasar atau skenario awal.
3. Skenario alternatif (1,2,3 dan 4) menunjukkan jumlah kapasitas stok akhir suplai bantuan pada akhir simulasi lebih besar dibandingkan dengan skenario awal. Hal ini menunjukkan bahwa skenario 1, skenario 2, skenario 3 dan skenario 4 memiliki kelemahan berupa jumlah bantuan yang tersisa lebih banyak dan belum efisien

REFERENSI

- [1] Anh, N.T.N., Daniel, Z.J., Hung, M.N. dan Alexis, D., 2012, Simulation of Emergency Evacuation of Pedestrians Along The Road Networks In Nhatrang City, *International Conference on Research, Innovation, and Vision for the Future (RIVF)*, pp. 309-314
- [2] Axelrod, R. dan Tesfatsion, L., 2006, A Guide For Newcomers to Agent-Based Modeling in The Social Sciences, Kenneth L. Judd and Leigh Tesfatsion (eds.), *Handbook of Computational Economics*, vol. 2, North-Holland
- [3] Balcik, B., Beamon, B. M., Krejci, C. C., Muramatsu, K. M. dan Ramirez, M., 2010, Coordination in Humanitarian Relief Chains: Practices, Challenges and Opportunities. *International Journal Production Economics*, No. 126, pp. 22–34
- [4] Bunch, M.J., Kumaran, T.V. dan Joseph, R., 2012, Using Geographic Information Systems (GIS) For Spatial Planning and Environmental Management in India: Critical Considerations, *International Journal of Applied Science and Technology*, Vol. 2 No. 2, pp.40-54
- [5] Crooks, A., Castle, C. dan Batty, M., 2008, Key Challenges in Agent-Based Modelling For Geo-Spatial Simulation, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol 32, pp. 417-430
- [6] Crooks, A. dan Wise, S., 2013, GIS and Agent-Based Models for Humanitarian Assistance, *Journal of Computer, Environment and Urban System*, Vol. 41, pp.100-111
- [7] Hartmann, T. dan Zerjav, V., 2014, Optimizing the Location of Out-Care Centers in Urban Space Using Agent-Based Modeling, *Construction Research Congress 2014* ©ASCE, pp. 2375-2384
- [8] Horan, T. A. dan Marich, M., 2006, Time-critical information services: analysis and workshop findings on technology, organizational, and policy dimensions to emergency response and related governmental services. *International Conference on Digital Government Research*, San Diego, CA
- [9] Kruzikas, D.T., Higashi, M.K., Edgar, M., Macal, C.M, Graziano, D.J., North, M.J. dan Collier., N.T., 2014, Using Agent-Based Modeling to Inform Regional Health Care System Investment and Planning, *International Conference on Computational Science and Computational Intelligence*, pp.1-4
- [10] Verma, A., Gaukler, G.M., 2015, Pre-positioning disaster response facilities at safe locations: An evaluation of deterministic and stochastic modeling approaches, *Computers & Operations Research*, Vol.62, pp. 197– 209
- [11] Wassenhove, V.L.N., 2009, Blackett Memorial Lecture Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 57, No. 5, pp. 475-489