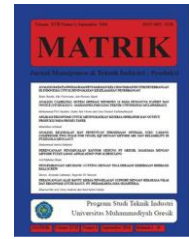




MATRIK

Jurnal Manajemen dan Teknik Industri- Produksi

Journal homepage: <http://www.journal.umg.ac.id/index.php/matriks>



Model Simulasi Hibrida untuk Koordinasi Logistik Kemanusiaan pada Bencana Banjir

Fajar Wicaksono¹, Niniet Indah Arvitrida^{2*}

Departemen Teknik Sistem dan Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Campus ITS 60111, Jl. ITS Raya, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60117, Indonesia
Email: niniet@ie.its.ac.id

INFO ARTIKEL

doi: 10.350587/Matrik
v26i2.10904

Jejak Artikel :

Upload artikel
26 November 2025
Revisi oleh reviewer
16 Desember 2025
Publish
31 Maret 2026

Kata Kunci :

Agent-Based, Humanitarian
Logistic, Hybrid Simulation,
System Dynamic, Supply Chain
Coordination

ABSTRAK

Efektivitas koordinasi antaraktor dalam logistik kemanusiaan menjadi tantangan utama, terutama pada situasi darurat seperti bencana alam. Kompleksitas sistem distribusi bantuan sering kali menimbulkan konflik dan pemborosan sumber daya apabila tidak dikelola dengan baik. Sebagian besar organisasi kemanusiaan masih berfokus pada pemetaan risiko banjir dan pemodelan aset secara terpisah tanpa analisis koordinasi yang menyeluruh. Penelitian ini bertujuan menilai efektivitas koordinasi antaraktor melalui simulasi ekspedisi pascabanjir dengan mengintegrasikan pendekatan Agent-Based Simulation (ABS) dan System Dynamics (SD). Integrasi kedua metode ini menggabungkan pendekatan bottom-up dan top-down untuk membentuk model hibrida yang memungkinkan pertukaran informasi antar subsistem. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model hibrida ABM-SD dapat meningkatkan efisiensi distribusi bantuan, mempercepat waktu tanggap, mengurangi kelebihan stok di pusat distribusi, serta menekan tingkat penderitaan korban terdampak bencana.

ABSTRACT

The effectiveness of coordination among actors in humanitarian logistics is a major challenge, especially in emergency situations such as natural disasters. The complexity of aid distribution systems often leads to conflicts and resource waste if not properly managed. Most humanitarian organizations still focus on flood risk mapping and asset modeling separately, without a comprehensive analysis of stakeholder coordination. This study aims to evaluate the effectiveness of inter-actor coordination through a post-flood expedition simulation by integrating the Agent-Based Simulation (ABS) and System Dynamics (SD) approaches. The integration of both methods combines bottom-up and top-down perspectives to create a hybrid model that enables information exchange between subsystems. The simulation results indicate that the hybrid ABM-SD model can improve the efficiency of aid distribution, accelerate response time, reduce overstock at distribution centers, and minimize the level of suffering among disaster-affected victims.



1. Pendahuluan

Eksplorasi sumber daya alam yang berlebihan akibat urbanisasi telah mendorong ketidakseimbangan ekologi ke tingkat yang lebih tinggi dan meningkatkan potensi terjadinya bencana hidrometeorologi yang mengancam kehidupan manusia. Akibatnya, banyak korban kehilangan rumah dan harta benda mereka, serta banyak lainnya yang terluka akibat banjir dan cuaca ekstrem. Kondisi ini mendorong organisasi kemanusiaan untuk segera melakukan evakuasi terhadap para korban melalui sistem logistik yang terintegrasi. Pada dasarnya, sistem logistik tersebut bertanggung jawab dalam pengadaan, penyimpanan, pengangkutan, dan distribusi makanan, obat-obatan, air, serta berbagai kebutuhan lain kepada para korban [1].

Setiap kali bencana melanda beberapa wilayah sekaligus, banyak organisasi kemanusiaan bekerja sama satu sama lain, termasuk dalam upaya kemanusiaan yang melibatkan lebih dari satu lembaga dengan tujuan untuk menyalurkan logistik dan bantuan secara tepat. Bantuan tersebut meliputi pakaian, makanan, peralatan pertolongan pertama, obat-obatan, dan berbagai kebutuhan lainnya. Salah satu tujuan utama dalam manajemen logistik kemanusiaan adalah mengoptimalkan alokasi sumber daya agar dapat menekan biaya serta meningkatkan efektivitas respons. Kurangnya koordinasi antar pemangku kepentingan dapat menyebabkan meningkatnya biaya inventori dan biaya depresiasi, yang berujung pada kedaluwarsa atau terbuangnya barang yang tidak digunakan. Jika tidak dikelola dengan baik, kondisi ini dapat menyebabkan peningkatan limbah secara signifikan. Fleksibilitas rantai pasok dapat dicapai melalui koordinasi yang efektif, sedangkan koordinasi yang buruk justru menyebabkan distribusi barang yang tidak merata [2] [3]

Masalah lain yang timbul akibat lemahnya koordinasi dan manajemen persediaan antar pemangku kepentingan adalah konflik sosial akibat distribusi bantuan yang tidak merata. Ketimpangan ekonomi di Indonesia telah

memicu kekerasan dan konflik antarwilayah di provinsi-provinsi yang rawan. Konflik berkepanjangan dan gangguan terhadap alokasi sumber daya menunjukkan adanya ketimpangan dalam sumber daya produksi [4] [5]. Penelitian terdahulu mengenai penerapan pemodelan hibrida di bidang kemanusiaan telah mengusulkan kerangka konseptual model hibrida *Agent-Based Simulation (ABS)* dan *Discrete Event System (DES)* untuk logistik bencana, yang bertujuan mempelajari interaksi dan pengambilan keputusan pada fase kesiapsiagaan bencana [6]

Meskipun DES efektif dalam menggambarkan proses operasional dan alur seperti antrian, pelayanan, dan pergerakan entitas. DES memiliki kekurangan, ketika sistem yang dikaji memiliki dinamika makro, ketergantungan umpan balik, dan efek akumulasi kebijakan jangka panjang. DES cenderung digunakan untuk analisa operasional, sementara *system dynamic (SD)* lebih unggul dalam kebijakan strategis, karena digunakan untuk memodelkan *stock, flow, feedback loops*, dan delay dalam sistem yang kompleks [7]. Pada logistik kemanusiaan, SD digunakan untuk memetakan perubahan stok bantuan, ketidakpastian permintaan, hingga keterlambatan distribusi dalam respons bencana [8]. Para ahli masih menghadapi berbagai perdebatan dan tantangan, termasuk kebutuhan akan kerangka taksonomi yang integratif, kesulitan dalam memodelkan konsep sosio-teknikal yang kompleks, keterbatasan data empiris untuk validasi model, serta kompleksitas perilaku agen [6] [9].

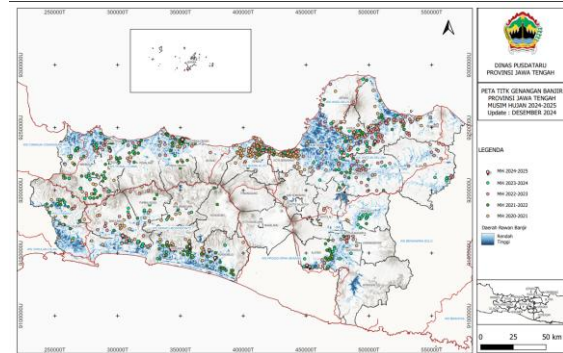
Kebaruan dari model konseptual penelitian ini terletak pada integrasi antara simulasi berbasis agen *Agent-Based Simulation (ABS)* dengan *System Dynamics (SD)* untuk mengatasi tantangan koordinasi logistik kemanusiaan, khususnya pada skenario banjir di Indonesia. Penelitian sebelumnya cenderung hanya berfokus pada satu jenis simulasi (ABS, SD, atau DES), dan para peneliti sebelumnya mengalami kesulitan dalam mengembangkan

kerangka sederhana yang dapat menggabungkan kedua metode tersebut.

Simulasi hybrid ABS–SD memungkinkan penangkapan perilaku agen heterogen sambil tetap mampu menggambarkan pola struktural jangka panjang yang tidak dapat direpresentasikan oleh ABS–DES secara memadai. Karena itu, transisi ke pendekatan hybrid ABS–SD dalam penelitian ini didasarkan pada kebutuhan untuk menangkap tidak hanya perilaku agen dalam distribusi bantuan, tetapi juga dinamika sistemik seperti ketimpangan distribusi, eskalasi konflik sosial, serta dampak kebijakan koordinasi dalam jangka panjang [10].

Oleh karena itu, model ini tidak hanya menjelaskan interaksi dan perilaku antaraktor, tetapi juga menangkap dinamika kompleks dan jangka panjang dari pengambilan keputusan para aktor. Harapannya, dengan adanya kerangka ini, penelitian selanjutnya akan memiliki “blueprint” yang jelas untuk menggabungkan kekuatan SD dan ABM, sehingga mempermudah penelitian lanjutan dalam pengembangan model simulasi yang lebih komprehensif di bidang logistik kemanusiaan dan mitigasi banjir.

Beberapa peristiwa banjir, khususnya di Pulau Jawa, kerap terjadi di wilayah Jawa Tengah. Masalah banjir di provinsi ini bersifat kompleks karena dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kondisi hidrologi dan geomorfologi, perubahan penggunaan lahan, serta keterbatasan infrastruktur pengendali banjir. Studi kasus penelitian berfokus pada Wilayah Sungai (WS) Jratunseluna, yang meliputi Kota Semarang dan Kota Salatiga, serta Kabupaten Semarang, Kendal, Demak, Grobogan, Blora, Pati, Kudus, Jepara, dan sebagian Boyolali. Kawasan ini lebih rentan terhadap kejadian banjir akibat kombinasi intensitas curah hujan yang tinggi, karakteristik topografi yang rendah, dan keberadaan aliran sungai besar yang bermuara ke Laut Jawa (dapat dilihat pada gambar **Gambar 1**).



Gambar 1 Peta Titik Genangan Banjir Jawa Tengah

Berdasarkan latar belakang tersebut, terdapat beberapa permasalahan yang menyoroiti kelemahan dalam koordinasi logistik kemanusiaan yang berpotensi menimbulkan pemborosan dan konflik sosial. Penelitian-penelitian sebelumnya telah menerapkan simulasi ABS, DES, dan SD dalam koordinasi rantai pasok kemanusiaan. Namun, pendekatan-pendekatan tersebut belum mampu memodelkan koordinasi kompleks di antara setiap agen secara signifikan, sehingga belum dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan solusi melalui pendekatan pemodelan simulasi hibrida dalam bentuk model konseptual untuk menyederhanakan koordinasi rantai pasok kemanusiaan selama proses distribusi bantuan, dengan harapan dapat mengurangi potensi pemborosan dan konflik sosial.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *hybrid simulation* yang mengintegrasikan ABS dan SD untuk memodelkan koordinasi logistik kemanusiaan pada situasi bencana banjir di Indonesia. Model tersebut dikembangkan berdasarkan studi literatur dan wawancara dengan pakar logistik bencana yang memiliki pengalaman lebih dari sepuluh tahun di bidang koordinasi kemanusiaan dan pemodelan sistem.

Penelitian ini mengacu pada 5 pakar dari berbagai sektor seperti NGO, sektor swasta, dan BUMN dilibatkan dalam penelitian ini. Mereka memiliki Mereka memiliki kompetensi mendalam di bidangnya masing-masing, mencakup organisasi seperti PMI Indonesia, BPBD, dan lembaga internasional seperti *World*

Food Programme (WFP). Selain aktif sebagai praktisi kemanusiaan, beberapa di antaranya juga berkontribusi dalam dunia akademis sebagai narasumber. Reputasi mereka yang kuat, ditopang oleh pengalaman luas dan pemahaman yang matang, menjadikan pandangan mereka sangat berharga. Salah satu pakar rujukan dalam penelitian ini adalah Bapak Ikhsan dari WFP, yang memiliki keahlian mendalam dalam humanitarian logistics serta merupakan penyintas bencana Aceh 2003.

Adapun kajian literatur dilakukan terhadap penelitian yang membahas *push strategy* dan *pull strategy* dalam distribusi bantuan bencana, konsep simulasi hibrida SD-ABM, serta indikator kinerja logistik seperti *deprivation cost*. *Push strategy* digunakan pada tahap awal tanggap darurat karena bersifat cepat dan berbasis perkiraan kebutuhan, sedangkan *pull strategy* diterapkan pada tahap pemulihan ketika data permintaan lebih akurat. Kombinasi keduanya diperlukan untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi pemborosan, dan menyeimbangkan distribusi bantuan antarwilayah.

Integrasi SD dan ABM dilakukan untuk menutupi kelemahan masing-masing metode. SD unggul dalam menjelaskan hubungan sebab-akibat dan kebijakan makro, sedangkan ABM menggambarkan perilaku adaptif tiap agen secara mikro. Model hibrida ini memungkinkan simulasi dua arah antara sistem dan agen, sehingga dapat menangkap dinamika interaksi dan pola perilaku yang muncul (*emergent behaviour*).

Selain itu, penelitian ini menggunakan konsep *deprivation cost* sebagai indikator utama efisiensi logistik kemanusiaan. *Deprivation Cost* menggambarkan nilai ekonomi dari penderitaan korban akibat keterlambatan distribusi bantuan, yang meningkat secara eksponensial seiring bertambahnya waktu penundaan atau tidak terpenuhinya kondisi tidak terpenuhinya logistik kemanusiaan, yang dimodelkan dalam kerangka SD sebagai variabel agregat yang berpusat pada *stock* dan *flow*. *Deprivation cost* diukur sebagai stok komulatif dari *unmet demand* yang terus bertambah melalui *flow*

masuk dan akan berkurang melalui *flow* keluar berdasarkan tingkat bantuan yang terdistribusi. Dalam SD, laju biaya deprivasi dihitung berdasarkan nilai stock dikalikan bobot kerugiannya. Misalnya, deprivasi tinggi dapat memicu umpan balik positif yang mempercepat krisis, atau umpan balik negatif yang memicu percepatan respons bantuan.

Berbeda dengan SD yang bersifat agregat, *agentbased simulation* (ABS) memodelkan biaya sebagai *emergent* yang muncul akibat perilaku individual *agent survivor*. Setiap agent memiliki atribut, *variable*, dan *parameter* bawaan sebagai contoh *health status*, *received aid*, titik Lokasi survivor, *demand amount*, dan *request product*. Sebagai salah satu contohnya adalah kondisi kesejahteraan masing-masing *survivor* yang di lambangkan dengan Health status. Status ini akan mencatat penurunan kesehatan individu yang terjadi karena kegagalan atau keterlambatan interaksi dengan bantuan, yang secara langsung merefleksikan *deprivasi*.

Oleh karena itu, jika agent (korban bencana) tidak mendapatkan bantuan segera yang diperlukan, tingkat *health status* per individu akan menurun terus, dan laju biaya deprivasi akan meningkat secara agregat di masing-masing POD. Jumlah *deprivation cost* dalam ABS adalah hasil dari agregasi semua kerugian status di antara seluruh populasi Agen Korban. Dalam model *hybrid*, perilaku dan status Agen Korban ABS inilah yang menentukan laju Aliran Keluar (Tingkat Bantuan yang Terdistribusi) dalam model SD, menghubungkan detail perilaku mikro dengan dinamika kebijakan makro secara keseluruhan.

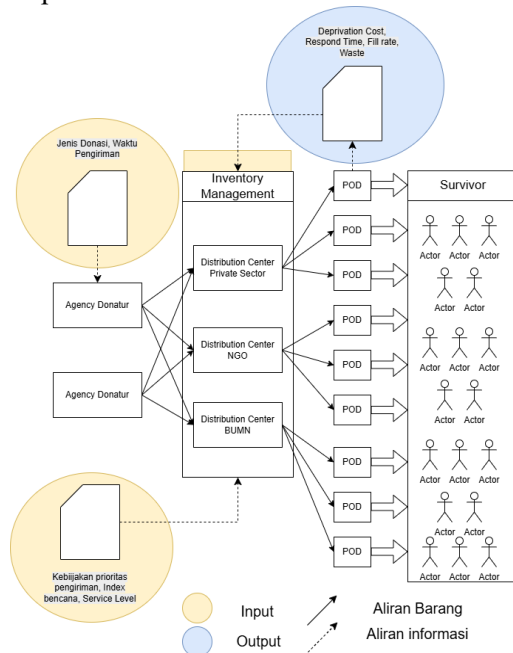
Hasil dari tahap ini berupa kerangka konseptual model koordinasi logistik kemanusiaan yang dapat dijadikan dasar pengembangan simulasi komprehensif menggunakan platform AnyLogic pada penelitian lanjutan.

3. Hasil dan Pembahasan

Desain model konseptual merupakan gagasan utama dari sebuah model yang digunakan untuk merepresentasikan sistem di dunia nyata. Model konseptual berfungsi sebagai implikasi dari sistem nyata berdasarkan

deskripsi non-perangkat lunak untuk menyederhanakan proses pengenalan.

Dengan menggabungkan beberapa referensi yang membahas strategi koordinasi *push* dan *pull* dari sumber relevan dalam penelitian sebelumnya [11] dan kemudian mengintegrasikannya dengan konsep simulasi hibrida ABS dan SD [12] sesuai dengan kajian literatur, untuk mengembangkan model konseptual.



Gambar 2 Desain Model Konseptual

Untuk memastikan validitas dan kredibilitas, model konseptual (Gambar 2) dibangun berdasarkan sintesis komprehensif dari literatur yang relevan di bidang simulasi hibrida dan logistik kemanusiaan dengan mengidentifikasi komponen utama, hubungan kausal, dan perilaku aktor yang relevan, termasuk

- **Perilaku Aktor (Agen)**

Pada model simulasi distribusi bantuan ini, setiap aktor direpresentasikan sebagai agent dengan atribut dan perilaku spesifik yang menggambarkan perannya dalam sistem logistik kemanusiaan. Atribut-atribut kunci tersebut mencerminkan karakteristik dasar aktor, kebutuhan mereka, serta hubungan antar entitas dalam alur distribusi.

1. *Survivor* (Korban Bencana)

Aktor ini merepresentasikan populasi korban yang terdampak bencana. Mereka memiliki beberapa atribut utama seperti: Lokasi geografis yang menunjukkan titik

tempat tinggal atau keberadaan korban. Tingkat kebutuhan yang menentukan jumlah bantuan yang harus dipenuhi. Jenis kebutuhan yang menunjukkan tipe produk bantuan yang diperlukan. Kondisi kesehatan yang menurun seiring waktu akibat situasi bencana, sehingga dapat mempengaruhi prioritas dan urgensi permintaan. Status penerimaan bantuan, sebagai indikator apakah kebutuhan sudah terpenuhi.

Survivor akan mengirim permintaan bantuan ke POD dan, ketika siap bergerak, atribut akan terpicu untuk mengarahkan survivor menuju POD terdekat. Pada skenario tertentu, kondisi kesehatan mereka dapat memburuk melalui event *worsenHealth*, yang dapat memperbesar tingkat urgensi.

2. *Point of Distribution* (POD)

POD berperan sebagai titik distribusi yang melayani permintaan bantuan dari survivor. Atribut utama POD meliputi: Kapasitas dan kondisi stok untuk dua tipe produk bantuan. Inventori awal sebagai nilai dasar dalam simulasi. Permintaan masuk, yang menunjukkan jumlah dan jenis produk yang diminta survivor. Perhitungan *deprivation cost* untuk mengukur tingkat keterlambatan pemenuhan bantuan. Identitas survivor yang sedang dilayani. Selain itu, POD terhubung dengan *Distribution Center* (DC) untuk mengirimkan pesan reorder ketika stok tidak mencukupi.

3. *Distribution Center* (DC)

DC bertanggung jawab dalam penyediaan ulang stok dan mendistribusikan bantuan ke POD. Atribut utama DC antara lain: Stok bantuan yang dipengaruhi oleh inventory awal dan kapasitas restock. Mekanisme restock yang memastikan ketersediaan bantuan dalam jangka waktu simulasi. Informasi permintaan dari POD yang memungkinkan redistribusi stok jika terdapat DC yang kekurangan pasokan. Pengaturan tujuan pengiriman. *Agent vehicle* untuk mengeksekusi proses distribusi. DC dapat berperilaku berbeda sesuai skenario simulasi, misalnya ketika aktivasi

koordinasi vertikal, horizontal, atau eksisting diterapkan.

4. *Vehicle* (Kendaraan Distribusi)

Vehicle berfungsi sebagai aktor yang menyalurkan barang bantuan dari DC ke POD. Perilaku kendaraan dikendalikan oleh parameter-parameter yang menunjukkan: Jumlah barang yang dapat dikirim. Informasi terkait rute dan target. Kendaraan bergerak berdasarkan instruksi dari DC melalui variabel *myVehicles*, yang berfungsi sebagai jembatan komunikasi antara kedua aktor.

5. *Event* dan Parameter Koordinasi Sistem

Selain atribut individu dari tiap aktor, model ini juga dilengkapi elemen yang menggambarkan aktivasi bencana di region tertentu. Parameter koordinasi sistem berfungsi untuk mengatur dinamika interaksi antar aktor dalam skenario tertentu. Parameter seperti mengontrol kapasitas antrian pada POD.

- **Hubungan dan variabel sistem dinamis**

Komponen sistem dinamis yang menggambarkan aliran bantuan, biaya kekurangan, jenis donor, dan indeks bencana diambil dari model SD yang ada dalam literatur. Peneliti mengintegrasikan poin-poin ini untuk menangkap efek umpan balik dan dinamika jangka panjang.

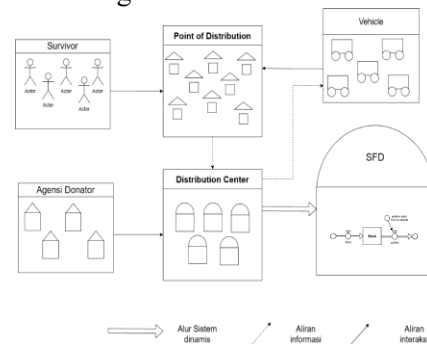
- **Aturan pengambilan Keputusan**

Keputusan didasarkan pada praktik terbaik yang dijabarkan dalam berbagai pedoman pelaporan pascabencana serta peraturan atau kebijakan lokal.

Terdapat banyak implementasi desain model konseptual, termasuk gambar, diagram, dan deskripsi yang memungkinkan pengguna model memahami sistem representasi. Model konseptual dalam penelitian ini menggambarkan kondisi pada saat bencana dengan menggunakan skenario strategi *push and pull* pada awal bencana, yang merupakan konsep terpusat. Dalam konsep ini, aliran informasi berasal dari atas, dengan LSM, perusahaan, atau BUMN sebagai pengambil keputusan. Setelah situasi terkendali, skenario akan berubah menjadi strategi *pull* untuk meminimalkan pengeluaran.

Penelitian ini dimulai dengan menganalisis perilaku donor terhadap DC. Ketidakpastian yang dihadapi pada tahap ini adalah variasi tingkat kedatangan pasokan, terutama untuk barang konsumsi seperti makanan, air, obat-obatan, dan uang. Model pasokan dari donor dan koordinasi oleh strategi tingkat tinggi akan memengaruhi kebijakan produksi di DC, sehingga langkah selanjutnya adalah memodelkan pola produksi pada setiap DC dalam mengonversi setiap diferensiasi produk untuk memenuhi kebutuhan korban, agar DC memperoleh ketepatan kombinasi kebutuhan yang dapat meningkatkan daya tanggap dan kinerja distribusi. Peran manajer DC adalah membuat keputusan yang berkaitan dengan pengaturan ketersediaan, target persediaan maksimum, tingkat *safety stock*, kebijakan prioritas pengiriman, tingkat layanan, dan jumlah kendaraan yang tersedia. Tantangan terbesar bagi bagian strategi tingkat tinggi adalah memastikan bahwa semua ketidakpastian permintaan dapat dipenuhi secara merata tanpa menimbulkan konflik.

Langkah selanjutnya adalah menentukan keputusan yang dibuat pada POD yang tersebar di seluruh area terdampak sebagai perpanjangan dari DC untuk membantu distribusi barang bantuan dan merespons kedatangan korban yang mencari barang bantuan di sekitar area terdampak bencana. Pertimbangan utama meliputi penentuan lokasi, jumlah pelayan (*server*) per POD, kapasitas persediaan POD, dan setelah memahami secara menyeluruh masalah terkait persediaan dan distribusi barang bantuan, konsep ini kemudian dikembangkan dengan merancang skenario kolaborasi antar pemangku kepentingan dalam mengelola distribusi barang bantuan.



Gambar 3 Model Interaksi Antar Agen

Dalam simulasi distribusi bantuan yang mengandalkan *agent-based simulation*, terdapat empat agen yang berkontribusi, yaitu kendaraan, DC, POD, dan korban, di mana keempat agen ini akan saling berinteraksi. Awalnya, proses distribusi dimulai ketika donor, baik individu, organisasi, maupun lembaga, menyediakan berbagai jenis bantuan yang terbatas pada makanan, air, obat-obatan, dan beberapa peralatan sekali pakai. Bantuan ini kemudian dikirim ke DC yang berfungsi sebagai pusat logistik utama dan otoritas pengambil keputusan tertinggi dalam distribusi barang bantuan.

DC bertanggung jawab untuk memproses input secara dinamis dan menghasilkan output berupa kebijakan stok yang relevan yang disesuaikan dengan kondisi dan skala bencana tertentu. Selanjutnya, barang yang diterima oleh setiap DC dikirim ke POD terdekat (dalam konteks ini, setiap DC memiliki POD sendiri dan belum berkolaborasi dengan DC lain) untuk memenuhi kebutuhan mereka. Distribusi yang dilakukan oleh DC akan dibantu oleh kendaraan sebagai agen pengangkut barang. Korban kemudian berjalan ke POD terdekat untuk mengambil barang bantuan yang telah disediakan. Dalam kondisi tertentu, ketika stok barang bantuan di POD habis, agen korban secara otomatis mengirimkan informasi ke POD, dan agen POD akan meneruskan informasi ini ke DC untuk melakukan pemesanan ulang (*reorder*).

Model konseptual yang kami kembangkan sesuai dengan prinsip simulasi hibrida yang dijelaskan dalam [13] [14] [15] [16] yang menekankan koordinasi antara organisasi di dalam model melalui aliran informasi dan interaksi antar agen. *Face validation* dilakukan melalui diskusi terstruktur

dengan tiga pakar logistik, dua di antaranya adalah akademisi dan satu orang praktisi dengan pengalaman lebih dari 10 tahun di Perserikatan Bangsa-Bangsa. Beberapa wawasan yang diperoleh peneliti meliputi kompleksitas perilaku agen korban yang sulit diprediksi dan bagaimana konflik muncul akibat kepentingan masing-masing perusahaan. Representasi model dipastikan melalui penggunaan data empiris yang dikumpulkan

secara kolektif dari hasil survei dan wawancara, yang berfungsi sebagai contoh perilaku agen, aturan, dan keputusan yang dibuat, serta dikembangkan berdasarkan analisis transkrip wawancara.

4. Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah *blueprint* model konseptual berbasis *hybrid simulation* yang mengintegrasikan *Agent-Based Simulation* (ABS) dan *System Dynamics* (SD) untuk merepresentasikan koordinasi logistik kemanusiaan. Intergasi ini memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai interaksi antar-aktor, dinamika permintaan – survivor, distribusi logistic, serta potensi timbulnya konflik sosial akibat ketidakseimbangannya *supply* dan *demand*.

Model yang dikembangkan menjelaskan peran utama setiap agen, *survivor*, POD, DC, dan kendaraan—beserta pola koordinasi yang terjadi pada empat skenario Koordinasi Pergerakan *Survivor*, Koordinasi Vertikal, Koordinasi Horizontal, dan Koordinasi Vertikal–Horizontal. Setiap skenario dirancang untuk menangkap tantangan nyata dalam logistik banjir, khususnya terkait keterlambatan distribusi, keterbatasan stok, kesenjangan antarwilayah, dan risiko konflik akibat ketidakmerataan distribusi, sehingga memberikan pendekatan struktural untuk memahami kompleksitas sistem logistik kemanusiaan secara lebih komprehensif

Meskipun penelitian ini belum menyajikan analisis kuantitatif maupun hasil simulasi, kontribusinya terletak pada penjelasan mengenai pembagian tugas setiap agen, logika pengambilan keputusan, serta batasan sistem yang relevan dengan kondisi bencana di Indonesia. Model ini dapat dijadikan acuan bagi peneliti dan praktisi dalam mengkaji fenomena yang muncul (*emergent phenomena*) maupun dalam menguji berbagai kebijakan melalui simulasi yang lebih mendalam.

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengimplementasikan model ini ke dalam lingkungan simulasi nyata, melakukan validasi dengan data empiris, serta mengeksplorasi berbagai skenario kebencanaan untuk

mendukung pengambilan keputusan yang lebih efektif. Implementasi model direncanakan menggunakan perangkat lunak *AnyLogic* versi 8.9.2 sebagai platform pemodelan terpadu.

Daftar Pustaka

- [1] P. Kumar Tarei, T. Manohar Gumte, R. Patnaik dan S. Oktari, "Analysing Barriers to Humanitarian Logistics for Distributing Relief Aid in Pre- and Post-Disaster Situations," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 104, p. 104388, 2024.
- [2] N. Sharmile, I. Nuamah, L. Davis, F. Samanlioglu, S. Jiang dan C. Crain, "Predicting and Optimizing the Fair Allocation of Donations in hunger relief supply chains," *International Journal of Forecasting*, vol. 41, no. 1, pp. 31-50, 2025.
- [3] C. Wankmüller dan G. Reiner, "Identifying Challenges and Improvement Approaches for More," *Sustainability*, vol. 13, no. 4, 2021.
- [4] Z. Rongtian, W. Daoping, G. Yong, Z. Mo, Z. Die dan C. Maris, "Cascade effects of global supply chains induced by regional conflicts increase global inequality," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 209, p. 107740, 2024.
- [5] M. Z. Tadjoeeddin, A. Yumna, S. E. Gultom dan M. F. Rakhmadi, "Inequality and violent conflict: new evidence from selected provinces in Post-Soeharto Indonesia," *Journal of the Asia Pacific Economy*, vol. 26, no. 3, pp. 552-573, 2021.
- [6] Z. Lyu, D. Pons, G. Palliparampil dan Y. Zhang, "Optimising Urban Freight Logistics Using Discrete-Event Simulation and Cluster Analysis: A Stochastic Two-Tier Hub-and-Spoke Architecture Approach," *Smart Cities*, vol. 6, no. 5, p. 2347–2366, 2023.
- [7] K. Naeem, A. Zghibi, A. Elomri, A. Mazzoni dan ChefTriki, "A Literature Review on System Dynamics Modeling for Sustainable Management of Water Supply and Demand," *Sustainability*, vol. 15, no. 8, 2023.
- [8] S. Nugroho dan T. Uehara, "Systematic Review of Agent-Based and System Dynamics Models for Social-Ecological System Case Studies," *System*, vol. 11, no. 11, p. 503, 2023.
- [9] F. Alidoost, N. Mustafee, T. Monks dan A. Harper, "Simulation in healthcare supply chains with perishable products: a scoping review," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 66, no. 4, 2025.
- [10] K. Karuppiah, B. Sankaranarayanan, S. M. Ali dan S. K. Paul, "Key challenges to sustainable humanitarian supply chains: Lessons from the COVID-19 pandemic," *Sustainability*, vol. 13, no. 11, p. 5850, 2021.
- [11] J. Reyes, J. Mula dan M. Diaz-Madroñero, "Quantitative insights into the integrated push and pull production problem for lean supply chain planning 4.0," *International Journal of Production Research*, vol. 62, no. 17, pp. 6251-6275, 2024.
- [12] H. Liao, J. Holguín-Veras dan O. Calderón, "Comparative analysis of the performance of humanitarian logistic structures using agent-based simulation," *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 90, 2023.
- [13] S. P. Langarudi, B. B. R. Paul Sabie dan A. G. Fernald, "A Literature Review of Hybrid System Dynamics and Agent-Based Modeling in a Produced Water Management Context," *Modelling*, vol. 2, no. 2, pp. 224-239, 2021.

- [14] D. Hosseinnezhad dan C. Heavey,
“APPLICATION OF HYBRID AGENT-
BASED MODELING AND SYSTEM
DYNAMICS SIMULATION:
COLLABORATION TO IMPROVE
SUPPLY CHAIN RESILIENCE,”
*Proceedings of the Operational Research
Society Simulation Workshop*, 2025.
- [15] L. K. N. Nguyen, S. Howick dan I.
Megiddo, “A framework for
conceptualising hybrid system dynamics
and agent-based simulation models,”
*European Journal of Operational
Research*, vol. 315, no. 3, pp. 1153-1166,
2024.
- [16] S. Hwang, S. Ahn dan S. H. Lee, “Agent-
embedded system dynamics (aeSD)
modelling approach for analysing worker
policies: a research case on construction
worker absenteeism,” *Construction
Innovation*, vol. 21, no. 3, pp. 379-397,
2021.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

