



ANALISIS RISIKO *COLD CHAIN* DALAM DISTRIBUSI VAKSIN COVID-19 DI WILAYAH BANDUNG MENGGUNAKAN PENDEKATAN FMEA DAN SWOT

Riskita Farida Sihaloho ^a, Wynda Gerika Panjaitan ^{b*}, Cindy Kharina Khafur ^c, Muhammad Yogi Firmansyah ^d

^a Sekolah Logistik dan Transportasi / Jurusan Manajemen Logistik; 182220145@std.ulbi.ac.id, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional; Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40151

^b Sekolah Logistik dan Transportasi / Jurusan Manajemen Logistik; 182220085@std.ulbi.ac.id, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional; Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40151

^c Sekolah Logistik dan Transportasi / Jurusan Manajemen Logistik; 182220134@std.ulbi.ac.id, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional; Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40151

^d Sekolah Logistik dan Transportasi / Jurusan Manajemen Logistik; 182220164@std.ulbi.ac.id, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional; Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40151

* Penulis Korespondensi: Wynda Gerika Panjaitan

ABSTRACT

The distribution of COVID-19 vaccines requires a cold chain system to maintain temperature stability and vaccine effectiveness. However, in practice, this system is vulnerable to various risks, especially in densely populated areas such as Bandung. This study aims to analyze the risks in the cold chain system for COVID-19 vaccine distribution in the Bandung area using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and SWOT Analysis approaches, based on a retrospective study using secondary data. The FMEA results show three high-priority risks: (1) power outages during storage (RPN = 216), (2) operational errors by officers (RPN = 192), and (3) damage to portable cooling devices (RPN = 192). The SWOT analysis revealed Strengths in inter-agency coordination, but the main Weaknesses lie in uneven cooling infrastructure and limited human resources. This study recommends technology-based mitigation (such as IoT for real-time temperature monitoring), regular training, and improvements to logistics infrastructure. These findings provide practical contributions to planning a more resilient vaccine distribution system in the face of future health emergencies

Keywords: *cold chain, vaccine distribution, FMEA, SWOT, COVID-19, Risk Management*

Abstrak

Distribusi vaksin COVID-19 memerlukan sistem rantai dingin (*cold chain*) untuk menjaga stabilitas suhu dan efektivitas vaksin. Namun, pada prakteknya, sistem ini rentan terhadap berbagai risiko, khususnya di wilayah padat penduduk seperti Bandung. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko dalam sistem *cold chain* distribusi vaksin COVID-19 di wilayah Bandung dengan menggunakan pendekatan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan SWOT Analysis, berdasarkan studi retrospektif berbasis data sekunder. Hasil FMEA menunjukkan tiga risiko prioritas tinggi: (1) pemadaman listrik saat penyimpanan (RPN = 216), (2) kesalahan operasional petugas (RPN = 192), dan (3) kerusakan alat pendingin portable (RPN = 192). Analisis SWOT mengungkap kekuatan dalam koordinasi antar lembaga, namun kelemahan utama terletak pada infrastruktur pendingin yang tidak merata dan keterbatasan sumber daya manusia. Penelitian ini merekomendasikan mitigasi berbasis teknologi (seperti IoT untuk pemantauan suhu real-time), pelatihan rutin, serta peningkatan infrastruktur logistik. Temuan ini memberikan kontribusi praktis bagi perencanaan sistem distribusi vaksin yang lebih tangguh dalam menghadapi darurat kesehatan di masa depan.

Kata Kunci: *Cold chain, Distribusi Vaksin, FMEA, SWOT, COVID-19, Manajemen Risiko*

1. PENDAHULUAN

Pandemi *Coronavirus Disease 2019* (Covid-19) yang pertama kali terdeteksi di Wuhan, Tiongkok, pada akhir tahun 2019, telah menimbulkan dampak luar biasa terhadap sektor kesehatan, ekonomi, dan sosial di seluruh dunia, termasuk Indonesia. Kasus pertama Covid-19 di Indonesia dilaporkan pada bulan Maret 2020, dengan dua pasien yang berdomisili di Depok, Jawa Barat [9]. Setelah itu, penyebaran virus terjadi secara signifikan dan meluas ke berbagai daerah di Indonesia. Untuk mengatasi penyebaran virus yang sangat cepat, berbagai negara menerapkan strategi mitigasi yang mencakup pembatasan sosial, penggunaan masker, serta kampanye vaksinasi massal. Di Indonesia, program vaksinasi nasional resmi dimulai pada Januari 2021 dan menjadi pilar penting dalam membangun kekebalan komunitas (*herd immunity*), mengurangi angka kematian, serta menurunkan laju penularan Covid-19 [8].

Distribusi vaksin COVID-19 memiliki karakteristik logistik khusus karena sebagian besar vaksin bersifat suhu-sensitif dan memerlukan penanganan dalam sistem rantai dingin (*cold chain*). Menurut World Health Organization (2020), *cold chain* adalah sistem penyimpanan dan distribusi vaksin yang menjaga suhu tetap stabil sesuai standar, umumnya antara 2°C hingga 8°C, sejak vaksin diproduksi hingga disuntikkan kepada penerima [10]. Gangguan terhadap suhu selama proses penyimpanan atau transportasi dapat menyebabkan degradasi komponen aktif vaksin dan menurunkan efektivitasnya secara signifikan.

Manajemen rantai dingin di industri farmasi berkaitan dengan proses penyimpanan dan distribusi, yaitu pemeliharaan suhu baik melalui jalur udara ataupun darat [12]. Ketika suhu tidak terjaga, kandungan aktif dalam vaksin bisa rusak, mengakibatkan penurunan kualitas bahkan kehilangan fungsi vaksin (UNICEF, 2021). Dalam konteks logistik, *cold chain* termasuk dalam bagian dari *cold supply chain management*, yaitu manajemen aliran produk yang mudah rusak dan memerlukan pengendalian suhu ketat [1]. Di Indonesia, distribusi vaksin COVID-19 dilakukan melalui berbagai tahapan mulai dari gudang pusat, provinsi, kabupaten/kota, hingga fasilitas pelayanan kesehatan. Namun, di setiap tahap tersebut terdapat potensi risiko yang dapat mengganggu stabilitas suhu dan kualitas vaksin. Risiko dalam *supply chain* adalah kemungkinan munculnya peristiwa yang dapat mengganggu kelancaran aliran barang dan informasi, mulai dari gangguan logistik, fluktuasi permintaan, hingga ancaman keamanan data dalam sistem berbasis digital serta berdampak terhadap pencapaian tujuan organisasi [5]. Dalam konteks distribusi vaksin, risiko-risiko seperti keterlambatan pengiriman, kerusakan alat pendingin, hingga kesalahan prosedur oleh petugas dapat menurunkan mutu vaksin dan mengganggu program vaksinasi secara keseluruhan [2]. Risiko-risiko ini bila tidak ditangani dengan baik dapat mengancam mutu vaksin dan keberhasilan program vaksinasi.

Untuk itu, diperlukan analisis risiko sebagai langkah *preventif* dan sistematis dalam mengidentifikasi potensi kegagalan, menilai dampaknya, serta menentukan prioritas perbaikannya. Salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam industri adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), yaitu metode yang mengidentifikasi semua kemungkinan cara suatu proses dapat gagal dan mengevaluasi konsekuensinya berdasarkan *Risk Priority Number* (RPN) (Stamatis, 2003). Selain itu, pendekatan SWOT Analysis juga berguna dalam mengidentifikasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman yang dihadapi sistem distribusi di wilayah tertentu.

Wilayah Bandung sebagai pusat layanan kesehatan dan distribusi logistik di Jawa Barat memiliki kompleksitas tersendiri, seperti kepadatan penduduk, variasi topografi, dan keterbatasan fasilitas penyimpanan dingin di beberapa lokasi [4]. Meskipun metode FMEA dan SWOT telah digunakan dalam berbagai konteks manajemen risiko, penelitian ini memberikan kontribusi original melalui integrasi kedua pendekatan tersebut dalam menganalisis cold chain vaksin COVID-19 di tingkat lokal perkotaan khususnya di wilayah Bandung yang memiliki tantangan operasional unik seperti kemacetan yang padat, fluktuasi suhu akibat mobilitas tinggi, serta ketimpangan infrastruktur antar faskes. Berbeda dari studi sebelumnya yang menggunakan FMEA secara terpisah (Purbowasito dkk., 2022) atau HOR dan simulasi sistem dinamis (Anggarini, 2022), penelitian ini menggabungkan dimensi teknis (FMEA) dan strategis (SWOT) untuk menghasilkan rekomendasi mitigasi yang tidak hanya berbasis prioritas risiko, tetapi juga kontekstual terhadap kondisi lokal.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko yang terdapat dalam sistem cold chain distribusi vaksin COVID-19 di wilayah Bandung dengan menggunakan pendekatan metode FMEA dan SWOT. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar perbaikan sistem distribusi vaksin yang lebih andal, aman, dan berkelanjutan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini berfokus pada penemuan masalah, analisis risiko, dan pembuatan strategi mitigasi berbasis data. Karena itu, studi retrospektif (kualitatif) atau analisis dokumen dari data sebelumnya digunakan pada penelitian ini. Fokus penelitian ini adalah vaksin yang dikirim dari Dinas Kesehatan Kota Bandung ke puskesmas dimana merupakan fasilitas kesehatan tingkat pertama di Bandung dan daerah sekitarnya. Dalam hal ini komponen utamanya adalah Risiko pelaksanaan *Cold chain* dimana berarti setiap situasi atau kondisi yang dapat menyebabkan suhu vaksin turun dari rentang aman selama pengiriman. Fokus penelitian adalah menentukan jenis risiko, penyebab, dan efeknya, serta mengevaluasi kapasitas sistem untuk mendeteksi dan mencegah risiko tersebut.

Penelitian ini dilakukan di wilayah Kota Bandung, Jawa Barat dengan objek utama di Dinas Kesehatan Kota Bandung, beberapa Puskesmas dan mitra logistik yang terlibat dalam distribusi. Populasi dalam penelitian ini adalah petugas logistik vaksin, tenaga kesehatan, dan operator *cold storage* yang terlibat dalam rantai distribusi vaksin di wilayah Bandung. Karena waktu penelitian yang jauh dari kejadian maka sampel diambil secara *Purposive sampling* dengan kriteria utama informan yang memiliki pengetahuan langsung tentang situasi *cold chain* pada masa distribusi vaksin tersebut. Total informan yang diwawancarai sebanyak 10-15 orang. Untuk mengevaluasi tingkat prioritas risiko yang terjadi, digunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dan SWOT. Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) merupakan metode yang dimana setiap risiko diidentifikasi mode kegagalannya, efek, dan penyebabnya yang kemudian dinilai berdasarkan skala *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) [3]. Hasil dari risiko tersebut dihitung dalam bentuk RPN (Risk Priority Number) untuk menentukan prioritas risiko yang perlu ditangani. Sedangkan untuk metode SWOT digunakan untuk mengidentifikasi situasi internal dan eksternal dalam pelaksanaan *cold chain* distribusi vaksin.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan *cold chain* dalam distribusi vaksin di wilayah Bandung pada masa awal pandemi menghadapi berbagai tantangan yang cukup signifikan. Berdasarkan hasil data yang telah ada dan hasil wawancara dengan petugas logistik dan tenaga kesehatan pada saat itu masih ada sampai sekarang, sistem *cold chain* pada masa itu masih bergantung pada alat pendingin portabel seperti *vaccine carrier* dan *cold box* serta *ice pack* untuk menjaga suhu vaksin tetap stabil selama perjalanan. Meskipun demikian, beberapa kendala seperti waktu tempuh yang panjang, kemacetan lalu lintas, serta kurangnya kendaraan khusus *cold chain* menyebabkan risiko pemutusan rantai dingin (*cold chain break*) cukup tinggi. Maka dilakukan uji dengan metode FMEA dan SWOT Analysis.

3.1. FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) merupakan metode analisis risiko proaktif yang digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan kegagalan dalam proses, produk, atau sistem, serta mengevaluasi dampaknya [6]. Metode ini membantu dalam merancang langkah mitigasi sebelum terjadinya kegagalan nyata. Langkah awal pada metode ini yakni mendeteksi risiko dengan menentukan kriteria-kriteria dari kejadian risiko yang dikumpulkan berasal dari referensi dan beberapa asumsi serta akan meminta pendapat dari narasumber yang menangani *cold chain* vaksin Covid-19. Kemudian tiap-tiap kejadian risiko bisa diberi skor dan bisa ditentukan nilai RPN yang didapatkan dari perkalian antara skor S,O,D dan didapatkan hasilnya seperti tabel dibawah ini:

Failure Mode	Effect	Cause	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)	RPN = S*O*D
Listrik padam saat penyimpanan vaksin	Vaksin rusak karena suhu tidak terkontrol	Gangguan generator yang tidak berfungsi	9	6	4	216
Kerusakan kemasan vaksin	Vaksin terpapar suhu tidak sesuai	Usia alat dan kurangnya perawatan	8	5	3	120
Tidak terdeteksinya suhu tidak sesuai	Vaksin disimpan lama di luar rentang aman	Tidak ada alat monitoring real-time	9	5	3	135
Kesalahan operasional petugas	Vaksin tersimpan di suhu yang salah	Kurang pelatihan atau kesalahan prosedur	8	6	4	192
Alat pendingin portabel rusak	Vaksin terpapar suhu tidak stabil selama distribusi	Pemakaian berlebihan atau kurang perawatan	8	6	4	192

Gambar 1. Interpretasi RPN

Interpretasi RPN (*Risk Priority Number*)

- a. RPN > 250 : Risiko Tinggi (Perlu Segera Diatasi)
- b. RPN 150-250 : Risiko Sedang (Perlu Perhatian)
- c. RPN < 150 : Risiko Rendah

Berdasarkan gambar 1. Interpretasi RPN terdapat nilai risiko yang memunculkan nilai tertinggi dari 5 *Failure Mode* yang dianalisis. Nilai risiko tertinggi tersebut memiliki pengaruh penggunaan *cold chain* pada distribusi vaksin di wilayah Bandung yang dimana terdapat 3 nilai risiko tertinggi dari 5 *Failure Mode* diantaranya sebagai berikut.

1. Nilai untuk *Failure Mode* listrik padam saat penyimpanan vaksin menghasilkan *Severity 9, Occurrence 6, Detection 4*. Maka dihasilkan nilai RPN nya yaitu (RPN: 216). Nilai RPN ini merupakan nilai tertinggi yang terdapat pada kejadian risiko nya karena kegagalan diakibatkan dari listrik padam saat penyimpanan vaksin. Usulan perbaikannya para penanggung jawab harus lebih hati-hati dalam mengontrol vaksin dengan memastikan listrik yang digunakan aman dan suhu tetap stabil.
2. Nilai untuk *Failure Mode* kesalahan operasional petugas menghasilkan *Severity 8, Occurrence 6, Detection 4*. Maka dihasilkan nilai RPN nya yaitu (RPN: 192). Nilai yang dihasilkan ini merupakan nilai tertinggi kedua yang diakibatkan karena kesalahan dari petugas operasional yang menyimpan vaksin dalam suhu yang salah. Usulan perbaikannya adalah memberikan pelatihan kepada petugas operasional agar lebih profesional dan melakukan penyimpanan vaksin sesuai dengan SOP.
3. Nilai untuk *Failure Mode* alat pendingin portable rusak menghasilkan *Severity 8, Occurrence 6, Detection 4*. Maka dihasilkan nilai RPN nya yaitu (RPN: 192). Nilai yang dihasilkan ini merupakan nilai tertinggi ketiga yang diakibatkan karena alat pendingin yang rusak oleh sebab itu vaksin terpapar oleh suhu tidak stabil selama proses pengiriman. Usulan perbaikannya adalah menyediakan alat kontrol suhu saat pendistribusian dan selalu mengecek keadaan alat pengecek suhu tersebut.

3.2. SWOT Analysis

SWOT atau *Strengths* (Kekuatan), *Weaknesses* (Kelemahan), *Opportunities* (Peluang), dan *Threats* (Ancaman) [11] merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis situasi internal dan eksternal dalam sistem *cold chain* dimana membantu dalam merancang strategi mitigasi berdasarkan kekuatan, kelemahan, peluang dan ancaman.

Kategori	Deskripsi
Strengths (Kekuatan)	Infrastruktur kesehatan yang cukup memadai di Kota Bandung pada masa awal pandemi
Weaknesses (Kelemahan)	Tidak semua fasilitas dilengkapi sistem pemantau suhu digital secara real-time
Opportunities (Peluang)	Kemajuan teknologi IoT yang memungkinkan monitoring suhu berbasis aplikasi
Threats (Ancaman)	Cuaca ekstrim (hujan, panas) yang dapat mempengaruhi stabilitas suhu selama pengiriman

Gambar 2. Analisis SWOT

Berdasarkan gambar 2 terdapat analisis SWOT yang dilakukan untuk menemukan faktor-faktor situasi internal dan eksternal nya. Maka dari itu interpretasi analisis SWOT nya sebagai berikut.

- a. **Strengths (Kekuatan)** : Meskipun pada masa awal pandemi terdapat banyak tantangan yang dimana kota Bandung memiliki pondasi yang cukup kuat dalam hal koordinasi dan kesiapan dalam hal infrastruktur.
- b. **Weaknesses (Kelemahan)** : Infrastruktur pendingin belum merata, serta keterbatasan armada dan SDM menjadi hambatan utama dalam menjaga keutuhan *cold chain*.
- c. **Opportunities (Peluang)** : Ada potensi besar untuk perbaikan melalui investasi infrastruktur, pelatihan SDM, dan adopsi teknologi pemantau suhu modern.
- d. **Threats (Ancaman)** : Faktor eksternal seperti cuaca, kemacetan, dan risiko kesalahan manusia tetap menjadi ancaman nyata yang harus dikelola dengan baik.

Hasil penelitian pelaksanaan *cold chain* dalam distribusi vaksin di wilayah Bandung pada masa awal pandemi menghadapi berbagai tantangan yang cukup signifikan dimana penelitian ini dilakukan pada data yang sudah ada pada distribusi vaksin di wilayah Bandung menggunakan *Cold chain*. Pada hal ini dijelaskan bahwa *cold chain* berfungsi untuk menjaga kestabilan suhu vaksin selama proses transportasi yang ditandai dengan hasil semakin baik pengelolaan *cold chain* maka semakin baik distribusi yang dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *cold chain* berpengaruh terhadap distribusi vaksin dimana distribusi vaksin dan penggunaan sistem *cold chain* yang baik akan menghasilkan kualitas vaksin yang tetap sama dari produsen hingga penerima vaksin.

Hasil penelitian ini mengatakan bahwa penanganan dan pengelolaan vaksin pada sebuah manajemen rantai dingin sangat perlu dilakukan karena dengan ada atau tidaknya rantai dingin akan mempengaruhi kualitas vaksin. Berdasarkan pengelolaan rantai dingin vaksin bahwa peralatan yang sesuai dapat menjaga potensi vaksin sampai ke penerima vaksin. Menurut Pedoman CDOB pada Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (2020) dijelaskan bahwa rantai dingin yang meliputi peralatan, petugas, pemeliharaan dan operasional berfungsi untuk menjaga suhu vaksin agar tidak berkurangnya potensi vaksin [7]. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan *cold chain* berpengaruh terhadap kualitas vaksin dimana *cold chain* ini digunakan untuk memelihara dan mendistribusikan vaksin dalam melindungi kualitas vaksin sampai ke penerima.

Dalam konteks logistik kesehatan, khususnya distribusi vaksin metode FMEA digunakan sebagai alat analisis risiko yang sistematis dan proaktif dimana membantu dalam mengidentifikasi potensi kegagalan dalam sistem, evaluasi dampak serta merancang langkah mitigasi untuk mencegah kegagalan sebelum terjadi secara nyata. Dari hasil analisis yang telah dilakukan maka dapat diidentifikasi bahwa listrik padam saat penyimpanan vaksin merupakan risiko tertinggi dengan nilai RPN sebesar 216 diikuti oleh kesalahan operasional petugas (RPN: 192), dan alat pendingin portable rusak (RPN: 192). Risiko-risiko ini berpotensi menyebabkan kerusakan vaksin saat dilakukan distribusi vaksin. Berdasarkan hasil analisis FMEA nya perlu adanya tindakan mitigasi seperti pengadaan generator cadangan untuk mengatasi risiko mati listrik, pelatihan rutin bagi petugas dan pemantauan suhu berbasis IoT. Metode FMEA memberikan pendekatan yang sistematis dan objektif dalam menilai risiko dalam pelaksanaan *cold chain* distribusi vaksin Hasil analisis menunjukkan bahwa risiko tertinggi terjadi selama transportasi dan penyimpanan vaksin oleh sebab itu dengan menggunakan nilai RPN, dapat menentukan prioritas risiko dan merancang strategi mitigasi yang tepat untuk meningkatkan efektivitas distribusi vaksin dan menjaga kualitas vaksin hingga ke tangan penerima.

Selain metode FMEA, dilakukan SWOT Analysis dimana metode ini memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi internal dan eksternal dalam pelaksanaan *cold chain* distribusi vaksin di wilayah Bandung. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun terdapat fondasi yang kuat, ternyata masih banyak kelemahan yang perlu diperbaiki terutama dalam hal infrastruktur dan kapasitas SDM. Dengan memanfaatkan peluang yang ada dan mengelola ancaman secara proaktif, sistem distribusi vaksin di Bandung dapat ditingkatkan menjadi lebih efektif dan berkelanjutan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini mengidentifikasi bahwa sistem *cold chain* distribusi vaksin COVID-19 di wilayah Bandung menghadapi risiko operasional signifikan yang mengancam kestabilan suhu dan efektivitas kualitas vaksin. Melalui hasil pendekatan FMEA, ditemukan beberapa risiko dengan tingkat tinggi yang mempengaruhi pendistribusian vaksin antara lain, ketidakstabilan pasokan listrik (RPN : 216). Ketidakstabilan ini terjadi ketika pemadaman listrik pada tempat penyimpanan vaksin. Risiko selanjutnya ada pada keterbatasan

kompetensi SDM yang dimana terdapat beberapa kesalahan yang dilakukan oleh operasional petugas (RPN : 192) dan yang terakhir ada risiko alat pendingin portabel yang rentan rusak (RPN : 192). Ketiga hal tersebut merupakan risiko golongan prioritas tinggi (RPN 192–216), sehingga memerlukan intervensi segera. Risiko-risiko yang terjadi ini dapat menurunkan efektivitas vaksin COVID-19 yang akan mengakibatkan terganggunya kestabilan suhu vaksin selama proses distribusi karena tergolong pada tingkat risiko tinggi (RPN 192 -216), sehingga memerlukan intervensi segera.

Analisis yang dilakukan lainnya adalah analisis SWOT dimana hasilnya menunjukkan meskipun terdapat kekuatan seperti koordinasi dan infrastruktur dasar yang cukup baik dari pihak yang bertugas, sistem *cold chain* masih menghadapi kelemahan signifikan antara lain terbatasnya peralatan, kendaraan dan sumber daya manusianya. Untuk peluang terdapat pada perbaikan terbuka melalui investasi teknologi dan dilakukannya pelatihan untuk para petugas. Namun, ancaman eksternal tetap dapat mengganggu distribusi vaksin seperti cuaca dan lalu lintas yang wajib dikelola secara serius.

Berdasarkan analisis SWOT dan FMEA, risiko utama dalam pelaksanaan *cold chain* distribusi vaksin di wilayah Bandung dapat diminimalkan melalui sejumlah rekomendasi strategis. Solusi tersebut meliputi pengadaan tambahan *cold storage* di puskesmas dan fasilitas kesehatan pinggiran, penyediaan cadangan energi, pelatihan rutin bagi petugas, serta pengadaan kendaraan logistik khusus *cold chain* untuk distribusi jarak jauh. Selain itu, perlu dilakukan perawatan dan penggantian alat pendingin yang rusak, serta pemasangan sistem monitoring suhu berbasis IoT untuk pemantauan *real-time* selama distribusi. Efektivitas *cold chain* sangat bergantung pada penerapan strategi mitigasi yang tepat dan terintegrasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam memperkuat sistem distribusi vaksin yang lebih tangguh, andal, dan berkelanjutan di masa depan, sehingga menjamin kualitas dan ketersediaan vaksin bagi masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. M. Aung and Y. Chang, "Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives," *Food Control*, vol. 39, pp. 172–184, 2014, doi: 10.1016/j.foodcont.2013.11.007.
- [2] K. N. Bell, C. J. Hogue, C. Manning, and A. P. Kendal, "Risk factors for improper vaccine storage and handling in private provider offices," *Pediatrics*, vol. 107, no. 6, p. E100, 2001, doi: 10.1542/peds.107.6.e100.
- [3] D. Daryanto, "Penerapan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) pada industri pelayaran dalam mengidentifikasi potensi kegagalan komponen mesin induk (studi kasus di kapal XYZ)," *Zona Laut: Jurnal Inovasi Sains dan Teknologi Kelautan*, pp. 256–265, 2024, doi: 10.62012/zl.v5i3.42087.
- [4] P. S. Kurniati and C. Nurnovianti, "Public health facility provision in Bandung City: A policy evaluation and future challenges," in *Proceeding of International Conference on Business, Economics, Social Sciences, and Humanities*, vol. 7, no. 1, pp. 685–689, 2024, doi: 10.34010/icobest.v7i.579.
- [5] Z. Latuconsina, *Supply Chain Management: Integrasi Teknologi dan Analisis Kuantitatif*, 2025.
- [6] Z. Liu, X. Mou, H.-C. Liu, and L. Zhang, "Failure mode and effect analysis based on probabilistic linguistic preference relations and gained and lost dominance score method," *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 53, no. 3, pp. 1566–1577, 2023, doi: 10.1109/TCYB.2021.3105742.
- [7] A. J. Long and M. S. Hayney, "Best practices essential for storage and temperature monitoring of refrigerated vaccines," *Journal of the American Pharmacists Association*, vol. 53, no. 6, pp. 660–661, 2013, doi: 10.1331/JAPhA.2013.13537.
- [8] N. M. Nasir, I. S. Joyosemito, B. Boerman, and I. Ismaniah, "Kebijakan vaksinasi COVID-19: Pendekatan pemodelan matematika dinamis pada efektivitas dan dampak vaksin di Indonesia," *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat UBJ*, vol. 4, no. 2, pp. 191–204, 2021, doi: 10.31599/jabdimas.v4i2.662.
- [9] D. Nayak, R. Kumar, and C. Savalia, "The socio-economic impacts of the COVID-19 pandemic: A review," *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, vol. 9, pp. 562–566, 2020, doi: 10.20546/ijemas.2020.911.069.
- [10] E. Purssell, "Reviewing the importance of the cold chain in the distribution of vaccines," *British Journal of Community Nursing*, vol. 20, no. 10, pp. 481–486, 2015, doi: 10.12968/bjcn.2015.20.10.481.
- [11] R. Syahlepi and Nugraha, "Perancangan strategi pemasaran menggunakan analisis SWOT dan business model canvas (BMC) di CV Omah Keramik," *Bandung Conference Series: Industrial Engineering Science*, vol. 3, no. 1, pp. 367–375, 2023, doi: 10.29313/bcsies.v3i1.6840.
- [12] Y. R. Yoon, "Cold chain management in pharmaceutical industry: Logistics perspective," *Journal of Distribution Science*, vol. 12, pp. 33–40, 2014, doi: 10.15722/jds.12.5.201405.3