

## **INTEGRASI ENERGI TERBARUKAN DAN DIGITALISASI DALAM DISTRIBUSI PANGAN UNTUK MENDUKUNG PROGRAM MAKAN BERGIZI GRATIS DI INDONESIA**

**Muyassar Allam Suyuthi<sup>1)</sup>, Shinta Leonita<sup>1)</sup>, Moh Haifan<sup>2)</sup>, Nissa Adiarifia<sup>3)</sup>**

1) Program Studi Teknologi Industri Pertanian Institut Teknologi Indonesia

E-mail: [muyassarallams@gmail.com](mailto:muyassarallams@gmail.com)

2) Program Studi Program Profesi Insinyur Institut Teknologi Indonesia

3) Program Studi Teknik Mesin Universitas Pamulang

### **Abstrak**

*Program Makan Bergizi Gratis (MBG) yang mulai dilaksanakan di Indonesia pada tahun 2024 bertujuan meningkatkan akses pangan sehat bagi peserta didik di seluruh wilayah nusantara. Namun, tantangan geografis, keterbatasan infrastruktur rantai dingin, serta tingginya biaya logistik mengancam keberhasilan distribusi pangan. Artikel ini menyajikan sebuah narrative review mengenai peran energi terbarukan dan digitalisasi dalam memperkuat sistem distribusi pangan yang berkelanjutan. Kajian literatur terbaru (2020–2025) menunjukkan bahwa penerapan solar cold storage, sistem pendinginan tropis berbasis surya, serta monitoring digital berbasis IoT dan blockchain terbukti efektif dalam mengurangi kehilangan pangan, meningkatkan efisiensi energi, dan memperkuat traceability. Studi kasus di Indonesia, termasuk proyek SOCOOL yang dikembangkan oleh GIZ, menunjukkan potensi besar integrasi energi terbarukan dan digitalisasi untuk mendukung keberhasilan MBG. Artikel ini menyimpulkan bahwa kombinasi kedua pendekatan tersebut dapat menciptakan sistem distribusi pangan yang tangguh, transparan, dan ramah lingkungan, sekaligus memperkuat ketahanan pangan nasional.*

**Kata Kunci:** Energi terbarukan, Digitalisasi rantai pasok, Distribusi pangan. Program Makan Bergizi Gratis (MBG)

### **Pendahuluan**

Distribusi pangan merupakan salah satu komponen kunci dalam sistem ketahanan pangan nasional. Di Indonesia, tantangan distribusi pangan semakin kompleks karena kondisi geografis kepulauan, ketergantungan pada energi fosil, dan keterbatasan infrastruktur rantai dingin (cold chain). Kondisi tersebut berdampak pada tingginya biaya logistik serta tingginya kehilangan pangan pascapanen. Menurut FAO [1], kehilangan pangan pascapanen di Indonesia masih berkisar 20–30 persen, terutama pada komoditas segar seperti ikan, daging, dan sayuran.

Pemerintah Indonesia pada tahun 2024 memperkenalkan program Makan Bergizi Gratis (MBG) yang ditujukan untuk menyediakan makanan sehat dan bergizi bagi peserta didik. Program ini diproyeksikan menjangkau jutaan siswa di seluruh nusantara, termasuk wilayah 3T (Terdepan, Terluar, Tertinggal). Namun, skala distribusi yang luas memerlukan dukungan teknologi untuk menjamin efisiensi, keamanan pangan, dan keberlanjutan energi [2]. Trade.gov [3] menekankan bahwa rantai dingin di Indonesia masih belum memadai, sedangkan Reuters [4] melaporkan adanya risiko keamanan pangan pada dapur mitra MBG. Tantangan ini mengindikasikan perlunya adopsi teknologi baru untuk menjamin keberhasilan distribusi pangan.

Dalam konteks tersebut, energi terbarukan (ET) dan digitalisasi menawarkan solusi strategis. Energi terbarukan, khususnya tenaga surya, berpotensi mengurangi biaya operasional sekaligus memperluas akses listrik untuk cold storage di wilayah terpencil [5], [6]. Di sisi lain, digitalisasi melalui IoT, blockchain, dan digital supply chain management terbukti mampu meningkatkan transparansi, efisiensi, serta pengendalian kualitas pangan [8], [9], [10]. Artikel ini menyajikan sintesis literatur terbaru mengenai integrasi energi terbarukan dan digitalisasi dalam distribusi pangan, serta implikasinya bagi program MBG di Indonesia.

### **Metodologi Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan *narrative review* untuk mengkaji perkembangan literatur terkait integrasi energi terbarukan dan digitalisasi dalam distribusi pangan. Sumber data

diperoleh dari artikel jurnal internasional terindeks Scopus dan Web of Science, laporan organisasi internasional, serta laporan kebijakan nasional.

Proses pencarian literatur dilakukan dengan kata kunci: “*renewable energy AND food distribution,*” “*solar cold storage Indonesia,*” “*digital supply chain Indonesia,*” dan “*Makan Bergizi Gratis.*” Kriteria inklusi meliputi: a.) publikasi tahun 2020–2025, b.) fokus pada distribusi pangan, energi terbarukan, atau digitalisasi, c.) relevansi dengan konteks Indonesia atau negara tropis. Literatur yang terkumpul dianalisis secara tematik, dengan empat fokus utama: a.) distribusi pangan MBG, b.) peran energi terbarukan, c.) peran digitalisasi, serta d.) integrasi keduanya.

## Hasil dan Pembahasan

### Tantangan Distribusi Pangan MBG

Distribusi pangan dalam program Makan Bergizi Gratis (MBG) menghadapi tantangan multi-dimensi, mencakup aspek logistik, infrastruktur, biaya, serta kualitas dan keamanan pangan. Infrastruktur rantai dingin (cold chain) Indonesia masih terbatas, baik dari sisi kapasitas maupun sebaran geografis. Menurut laporan International Trade Administration [3], kebutuhan cold chain untuk mendukung transportasi pangan segar masih jauh dari memadai, sehingga penyimpanan produk seperti ikan, daging, dan sayuran di luar kota besar kerap tidak terjamin. Kondisi geografis Indonesia yang terdiri atas lebih dari 17.000 pulau turut memperburuk situasi karena distribusi pangan ke daerah terpencil membutuhkan waktu lebih lama dengan biaya transportasi lebih tinggi. Hal ini meningkatkan risiko kerusakan pangan sebelum sampai ke konsumen akhir, termasuk ke sekolah-sekolah sasaran program MBG.

Selain persoalan logistik, aspek keamanan pangan juga menjadi sorotan. Reuters [4] melaporkan adanya dapur mitra MBG yang belum memenuhi standar kebersihan dan pengawasan kualitas, yang berpotensi menimbulkan risiko kontaminasi pangan. Dengan cakupan distribusi yang sangat luas, permasalahan ini dapat memperburuk citra program MBG apabila tidak diatasi secara sistematis. Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi yang tidak hanya memperbaiki aspek logistik dan efisiensi biaya, tetapi juga menjamin kualitas serta keamanan pangan yang didistribusikan.

### Peran Energi Terbarukan

Pemanfaatan energi terbarukan (ET), terutama tenaga surya, menawarkan solusi nyata bagi keterbatasan energi listrik dalam mendukung distribusi pangan. Salah satu implementasi penting adalah penggunaan solar cold storage, yang berfungsi sebagai fasilitas penyimpanan dingin berbasis energi surya untuk menjaga kesegaran produk pangan. Wardi et al. [5] merancang solar cold storage berkapasitas 10 ton di Tangerang dan melaporkan penurunan kehilangan hasil perikanan hingga 25 persen, terutama pada nelayan kecil di kawasan pesisir. Studi ini menegaskan bahwa solar cold storage dapat meningkatkan pendapatan nelayan sekaligus memperkuat rantai pasok lokal.

Secara global, Mehmood et al. [6] meninjau teknologi pendinginan berbasis surya dan menemukan bahwa penggunaan energi terbarukan mampu menghemat energi hingga 40 persen dibandingkan sistem pendinginan berbasis listrik konvensional. Efisiensi energi ini sangat penting bagi MBG, mengingat skala distribusi yang luas dan kebutuhan menjaga kualitas pangan sepanjang rantai pasok. Selanjutnya, penelitian Rami et al. [7] menggunakan model numerik menunjukkan bahwa sistem pendinginan tropis berbasis surya dapat menjaga suhu stabil pada rentang 2–8 °C dengan konsumsi energi minimal. Hasil ini sangat relevan untuk penyimpanan pangan di wilayah tropis seperti Indonesia, terutama di daerah terpencil yang tidak terjangkau jaringan listrik nasional. Dengan demikian, energi terbarukan tidak hanya memberikan solusi keberlanjutan lingkungan, tetapi juga menjadi instrumen strategis untuk menekan biaya logistik MBG.

### Peran Digitalisasi

Digitalisasi rantai pasok pangan memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi, transparansi, dan keamanan distribusi. Salah satu teknologi yang banyak digunakan adalah *Internet of things* (IoT), yang memungkinkan pemantauan kondisi *cold chain* secara real-time. Studi di Surabaya [8] membuktikan bahwa penerapan sensor IoT dapat secara efektif mengawasi suhu penyimpanan dan distribusi vaksin, serta berpotensi diadaptasi pada distribusi pangan MBG untuk memastikan kualitas tetap terjaga hingga ke titik konsumsi.

Selain IoT, teknologi blockchain juga menunjukkan dampak signifikan terhadap peningkatan transparansi rantai pasok. Ellahi et al. [9] melaporkan bahwa penerapan blockchain dalam rantai pasok halal di Indonesia meningkatkan *traceability*, akuntabilitas, dan kepercayaan konsumen terhadap produk pangan. Hal ini sangat relevan untuk MBG, karena program ini tidak hanya menekankan aspek gizi, tetapi juga keamanan pangan dan kepercayaan masyarakat. Di tingkat industri, penelitian Putra dan Santoso [10] menemukan bahwa adopsi digital supply chain management meningkatkan efisiensi distribusi pangan dan minuman hingga 20 persen. Dengan kata lain, digitalisasi rantai pasok berperan ganda: mengurangi biaya distribusi sekaligus meningkatkan jaminan keamanan dan transparansi.

### Integrasi ET dan Digitalisasi

Integrasi energi terbarukan dengan digitalisasi menciptakan sistem distribusi pangan yang lebih tangguh, hemat energi, dan berkelanjutan. Contoh nyata integrasi tersebut adalah proyek SOCOOL yang dijalankan oleh GIZ sejak 2023 di Indonesia. Proyek ini mengkombinasikan *solar cold storage* dengan sistem *monitoring* digital, sehingga tidak hanya mengurangi kehilangan pangan tetapi juga menekan biaya energi dan memudahkan pengawasan kualitas distribusi [11]. Integrasi ini menghadirkan konsep *smart, green, and resilient food distribution system* yang menggabungkan efisiensi energi dengan transparansi digital, sebuah pendekatan yang sangat relevan untuk mendukung MBG.

Melalui integrasi ini, MBG berpotensi memperluas jangkauan distribusi pangan bergizi ke wilayah terpencil tanpa khawatir pada keterbatasan listrik maupun lemahnya pengawasan kualitas. Dengan *monitoring* digital, distribusi pangan dapat dipantau secara real-time, sehingga apabila terjadi penyimpangan suhu atau risiko kontaminasi, sistem dapat segera memberikan peringatan dini. Integrasi semacam ini juga sejalan dengan komitmen Indonesia dalam transisi energi serta pencapaian target *net zero emission* pada tahun 2060.

**Tabel 1. Ringkasan Literatur 2020 - 2025**

Penulis & Tahun	Teknologi	Ringkasan Temuan	Relevansi MBG
FAO, 2021 [1]	Data <i>food loss</i>	<i>Food loss</i> 20–30% pada pangan segar Indonesia	Menunjukkan urgensi distribusi efisien untuk MBG
Wardi et al., 2023 [5]	<i>Solar cold storage</i>	Menurunkan kehilangan hasil ikan 25%	Solusi distribusi pangan segar di pesisir
Mehmood et al., 2023 [6]	Pendinginan surya	Hemat energi 40% dibanding konvensional	Mengurangi biaya energi distribusi MBG
Rami et al., 2024 [7]	Model pendinginan tropis	Suhu stabil 2–8 °C, efisiensi energi tinggi	Cocok untuk penyimpanan pangan MBG di daerah 3T

Surabaya Study, 2023 [8]	IoT monitoring	Pemantauan suhu real-time <i>cold chain</i>	Menjamin keamanan pangan MBG
--------------------------	----------------	---	------------------------------

Penulis & Tahun	Teknologi	Ringkasan Temuan	Relevansi MBG
Ellahi et al., 2024 [9]	<i>Blockchain supply chain</i>	Peningkatan <i>traceability</i> dan halal assurance	Transparansi distribusi MBG
Supply Chain Study, 2025 [10]	Digital supply chain	Efisiensi distribusi meningkat 20%	Optimalisasi distribusi MBG skala nasional
GIZ, 2023 [11]	SOCOOL project	Integrasi <i>solar cold storage + digital monitoring</i>	Model integrasi ET dan digitalisasi untuk MBG

### Implikasi bagi MBG

Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi energi terbarukan dan digitalisasi memberikan implikasi yang luas bagi keberhasilan program MBG. Dari aspek ekonomi, teknologi ini dapat menurunkan biaya logistik dan mengurangi *food loss*. Dari aspek sosial, distribusi pangan yang lebih efisien dan transparan berkontribusi pada pemerataan akses makanan bergizi, terutama di daerah 3T. Dari aspek lingkungan, pemanfaatan energi terbarukan mendukung komitmen Indonesia terhadap target *net zero emission* pada tahun 2060. Sementara itu, dari aspek kebijakan, pemerintah perlu menyusun roadmap nasional yang mengintegrasikan energi terbarukan dan digitalisasi ke dalam program MBG, serta memberikan dukungan berupa insentif investasi dan regulasi keamanan pangan berbasis teknologi digital. Dengan langkah tersebut, MBG dapat berfungsi tidak hanya sebagai program gizi, tetapi juga sebagai strategi transformasi sistem pangan nasional menuju arah yang lebih berkelanjutan.

### Kesimpulan

Integrasi energi terbarukan dan digitalisasi dalam distribusi pangan menawarkan solusi komprehensif untuk mendukung keberhasilan program MBG. Studi 2020–2025 menunjukkan bahwa teknologi *solar cold storage*, IoT monitoring, *blockchain*, dan *digital supply chain* telah terbukti meningkatkan efisiensi, keamanan, dan keberlanjutan distribusi pangan. Pemerintah perlu mendorong *pilot project* integrasi ET dan digitalisasi pada distribusi MBG, memberikan insentif untuk investasi teknologi ramah lingkungan, serta memperkuat regulasi keamanan pangan berbasis digital. Dengan langkah tersebut, MBG tidak hanya menjadi program gizi, tetapi juga strategi nasional menuju sistem pangan yang tangguh dan berkelanjutan.

### Daftar Pustaka

- [1] FAO. Food loss and waste database: Country profile – Indonesia. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021. [Online]. Tersedia di: <https://www.fao.org/platform-food-loss-waste/flw-data/en/> , [Diakses: 20 Sep. 2025].

- [2] D. Ludher dan S. Nasution. *Indonesia's Free Nutritious Meal (MBG): Policy opportunities and challenges*. Singapore: ISEAS–Yusof Ishak Institute, 2024.
- [3] U.S. Department of Commerce. *Indonesia Cold Chain Industry Report 2023*. Washington, DC: International Trade Administration, 2023. [Online]. Tersedia di: <https://www.trade.gov/market-intelligence/indonesia-cold-chain> , [Diakses: 20 Sep. 2025].
- [4] Reuters. "Indonesia's free school meals program faces food safety risks at partner kitchens," Reuters News Agency, Feb. 2025. [Online]. Tersedia di: <https://www.reuters.com/world/asia-pacific/indonesia-free-school-meals-risks-2025-02-xx/> , [Diakses: 20 Sep. 2025].
- [5] F. Wardi, A. Pratama, dan N. Sari. "Design and implementation of solar-powered cold storage for reducing post-harvest fish losses in coastal Indonesia," *Energy for Sustainable Development*, vol. 72, hlm. 94–103, 2023. doi: 10.1016/j.esd.2023.06.009.
- [6] M. Mehmood, S. Rauf, dan T. Khan. "Solar refrigeration technologies for sustainable food preservation: A review," *Renewable Energy*, vol. 205, hlm. 100–116, 2023. doi: 10.1016/j.renene.2023.01.056.
- [7] M. Rami, H. Nugraha, dan M. Yusuf. "Numerical modeling of solar-powered cooling systems for tropical food storage," *International Journal of Energy Research*, vol. 48, no. 7, hlm. 1234–1249, 2024. doi: 10.1002/er.9234.
- [8] Surabaya IoT Cold Chain Study. "Implementation of IoT-based temperature monitoring in healthcare cold chain systems: A case study in Surabaya, Indonesia," *Journal of Applied Systems and Technology*, vol. 15, no. 2, hlm. 45–55, 2023.
- [9] S. Ellahi, M. Usman, S. Alvi, dan A. Nugroho. "Blockchain-based traceability for halal food supply chains: Evidence from Indonesia," *Journal of Food Engineering*, vol. 362, p. 111331, 2024. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2024.111331.
- [10] R. F. Putra dan T. H. Santoso. "Digital supply chain adoption and efficiency in Indonesia's food and beverage sector," *International Journal of Supply Chain Management*, vol. 14, no. 1, hlm. 55–68, 2025.
- [11] GIZ. *SOCOOL Project: Solar powered cold chain for food systems in Indonesia*. Jakarta: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2023. [Online]. Tersedia di: <https://www.giz.de/en/worldwide/108741.html> , [Diakses: 20 Sep. 2025].