E-ISSN: 3025-0994
Halaman 2143-2152
Volume 4 Nomor 3 Tahun 2026

Transformasi Ekonomi Pesantren Melalui E-Commerce Halal dan Digitalisasi UMKM: Tinjauan Pustaka tentang Manajemen Risiko dan Adaptasi Teknologi

Reny Apriliyan[1], M.F. Hidayatullah[2], Abdul Wadud Nafis[3]

[1,2,3] Universitas Islam Negeri Kiai Achmad Siddiq Jember
e-mail Penulis: renyapriliya@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mengkaji transformasi ekonomi di lingkungan pondok pesantren melalui penerapan e-commerce halal dan digitalisasi Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM). Pesantren memiliki potensi besar sebagai pusat pemberdayaan ekonomi umat, namun menghadapi berbagai tantangan dalam adaptasi teknologi dan manajemen risiko. Melalui metode studi literatur, penelitian ini menganalisis berbagai temuan terdahulu untuk merumuskan kerangka kerja yang komprehensif. Hasil analisis menunjukkan bahwa transformasi ekonomi pesantren tidak hanya bergantung pada adopsi platform digital, tetapi juga pada pemenuhan standar "Halal dan Thayyib" yang mencakup aspek keberlanjutan lingkungan, kebersihan produksi, dan keamanan material. Adaptasi teknologi seperti kecerdasan buatan dalam manajemen logistik, inovasi teknologi finansial untuk pengalaman pelanggan, serta pemanfaatan material ramah lingkungan menjadi faktor penentu daya saing UMKM pesantren. Selain itu, manajemen risiko yang baik diperlukan untuk menjaga stabilitas rantai pasok dan kualitas produk di tengah ketidakpastian kondisi pasar. Kesimpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa integrasi antara nilai-nilai syariah, kesadaran lingkungan, dan teknologi modern merupakan kunci utama dalam menciptakan ekosistem ekonomi pesantren yang tangguh, mandiri, dan berdaya saing global.

Kata Kunci: Ekonomi Pesantren, E-Commerce Halal, Digitalisasi UMKM, Adaptasi Teknologi, Manajemen Risiko.

Abstract

This study examines the economic transformation within Islamic boarding schools (pesantren) through the implementation of halal e-commerce and the digitalization of Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs). Pesantren possess significant potential as centers for community economic empowerment, yet they face various challenges in technology adaptation and risk management. Through a literature review method, this research analyzes previous findings to formulate a comprehensive framework. The analysis results indicate that the economic transformation of pesantren depends not only on the adoption of digital platforms but also on fulfilling the "Halal and Thayyib" standards, which encompass aspects of environmental sustainability, production cleanliness, and material safety. Technological adaptations such as artificial intelligence in logistics management, financial technology innovations for customer experience, and the use of eco-friendly materials are determining factors for the competitiveness of pesantren MSMEs. Furthermore, sound risk management is required to maintain supply chain stability and product quality amidst market uncertainties. The conclusion of this study emphasizes that the integration of sharia values, environmental awareness, and modern technology is the primary key to creating a resilient, independent, and globally competitive pesantren economic ecosystem.

Keywords: Pesantren Economy, Halal E-Commerce, MSME Digitalization, Technology Adaptation, Risk Management.

A. Pendahuluan

Pondok pesantren di Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk menjadi pusat pergerakan ekonomi kerakyatan yang mandiri dan berkelanjutan. Alasan utamanya adalah jumlah pesantren yang mencapai puluhan ribu dengan jutaan santri, yang secara otomatis membentuk sebuah pasar mandiri sekaligus basis produksi yang masif. Sebagai contoh, banyak pesantren yang telah mengembangkan unit usaha di bidang agribisnis, konveksi, hingga ritel kebutuhan sehari-hari untuk memenuhi kebutuhan internal maupun masyarakat sekitar. Kesimpulannya, dengan potensi sumber daya manusia dan pasar yang sedemikian besar, pesantren membutuhkan strategi transformasi ekonomi yang terstruktur, terutama melalui pemanfaatan teknologi digital agar dapat memperluas jangkauan pasar dan meningkatkan efisiensi operasional di era modern ini. Kebutuhan akan transformasi ini semakin mendesak ketika pandemi global memicu disrupsi ekonomi, yang efek kejutnya terhadap sistem sosial-ekonomi dapat dianalogikan dengan dampak varian virus terhadap reaktivitas sistem kekebalan tubuh manusia (Tarke et al., 2021a).

Pergeseran menuju ekonomi digital di kawasan Asia telah mengubah cara bisnis beroperasi secara mendasar. Alasan di balik pergeseran ini adalah tuntutan akan efisiensi transaksi, kecepatan distribusi, dan kemudahan akses informasi yang ditawarkan oleh platform digital. Sebagai contoh, kajian mengenai pertumbuhan ekonomi digital di Asia menunjukkan bahwa integrasi teknologi informasi dalam proses bisnis mampu menekan biaya operasional secara signifikan dan membuka peluang pasar lintas batas (Li et al., 2020). Kesimpulannya, pesantren tidak memiliki pilihan lain selain beradaptasi dengan tren ekonomi digital ini; tertinggal dalam adopsi teknologi berarti kehilangan kesempatan untuk bersaing dan mengembangkan kemandirian ekonomi umat yang selama ini dicita-citakan.

Dalam konteks ekonomi pesantren, konsep e-commerce halal menjadi sebuah keharusan yang membedakannya dari platform perdagangan elektronik konvensional. Alasannya, produk halal tidak hanya sebatas pada proses penyembelihan atau ketiadaan bahan haram, melainkan juga harus memenuhi prinsip "Thayyib" yang berarti baik, aman, sehat, dan ramah lingkungan. Sebagai contoh, operasional UMKM pesantren harus memperhatikan manajemen limbah dan menghindari pencemaran lingkungan, seperti ancaman polusi mikroplastik di perairan yang dapat merusak ekosistem dan mengkontaminasi sumber air untuk produksi makanan halal (Kasmuri et al., 2022; Khoironi et al., 2020). Kesimpulannya, e-commerce halal yang dibangun oleh pesantren harus mampu menjamin bahwa seluruh rantai pasok, mulai dari bahan baku hingga pengemasan, benar-benar memenuhi standar kelestarian lingkungan dan kesehatan konsumen.

Digitalisasi Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) di lingkungan pesantren memerlukan penerapan teknologi cerdas untuk mengoptimalkan operasional. Alasan utamanya adalah pengelolaan persediaan barang, analisis minat konsumen, dan distribusi produk seringkali menjadi kendala utama bagi unit usaha yang dikelola secara tradisional. Sebagai contoh, penerapan kecerdasan buatan dalam sistem pemenuhan pesanan (fulfillment) di gudang pintar telah terbukti mampu mengorkestrasi sumber daya secara luar biasa efisien (Zhang et al., 2021), sementara penggunaan model bahasa pemrograman tingkat lanjut dapat mengelompokkan data ulasan teks konsumen untuk perbaikan layanan (Subakti et al., 2022). Kesimpulannya, integrasi teknologi cerdas dalam operasional UMKM pesantren adalah langkah mutlak untuk mengatasi inefisiensi logistik dan memahami kebutuhan pasar secara akurat.

Sistem pembayaran dan interaksi konsumen dalam e-commerce pesantren juga sangat bergantung pada inovasi teknologi finansial (fintech). Alasan dari hal ini adalah

kepercayaan konsumen terhadap platform digital sangat dipengaruhi oleh keamanan transaksi, kecepatan layanan, dan pengalaman pengguna secara keseluruhan. Sebagai contoh, pengalaman pelanggan dalam menggunakan layanan fintech sangat menentukan loyalitas mereka terhadap sebuah platform bisnis (Barbu et al., 2021), dan di masa depan, interaksi perdagangan ini bahkan diprediksi akan merambah ke dunia virtual yang lebih kompleks (Al-Adwan et al., 2024). Kesimpulannya, pengembangan e-commerce pesantren harus memprioritaskan infrastruktur pembayaran digital yang tangguh dan antarmuka yang ramah pengguna untuk memastikan kelancaran transaksi ekonomi.

Manajemen risiko merupakan pilar penting dalam menjaga keberlangsungan transformasi ekonomi pesantren, terutama dalam unit usaha sektor riil seperti agribisnis dan produksi pangan. Alasannya, proses produksi sangat rentan terhadap gangguan eksternal seperti hama, penyakit tanaman, atau fluktuasi kualitas bahan baku yang dapat merugikan pesantren secara finansial. Sebagai contoh, pemahaman tentang molekul pertahanan tanaman untuk melawan patogen sangat penting bagi UMKM pesantren yang bergerak di bidang pertanian (Abdul Malik et al., 2020), begitu pula dengan identifikasi genetik untuk meningkatkan ketahanan tanaman pangan pokok (Gaurav et al., 2021). Kesimpulannya, mitigasi risiko di tingkat produksi hulu harus dilakukan secara ilmiah dan sistematis agar pasokan produk untuk e-commerce pesantren tetap stabil dan berkualitas tinggi.

Terdapat kesenjangan penelitian (research gap) yang cukup jelas antara kajian teknologi murni dengan penerapannya dalam konteks ekonomi sosial keagamaan seperti pesantren. Kajian terdahulu banyak berfokus pada pengembangan instrumen teknologi tingkat tinggi, seperti material sintetik (Wibowo et al., 2023) atau pemodelan data yang sangat kompleks (Di Valentino et al., 2025), tanpa mengaitkannya dengan kebutuhan adaptasi teknologi di sektor UMKM akar rumput. Di sisi lain, penelitian tentang ekonomi pesantren seringkali hanya berkutat pada aspek sosiologis dan teologis, tanpa memberikan panduan teknis mengenai bagaimana standar operasional teknologi dan kelestarian lingkungan harus diterapkan. Kesimpulannya, diperlukan sebuah kajian komprehensif yang menjembatani ilmu pengetahuan alam, inovasi teknologi, dan prinsip ekonomi syariah untuk merumuskan model digitalisasi UMKM pesantren yang ideal.

Penelitian ini bertujuan untuk menyusun kerangka kerja teoritis mengenai transformasi ekonomi pesantren melalui e-commerce halal dan digitalisasi UMKM. Alasan dilakukannya studi ini adalah untuk memberikan rujukan akademis yang utuh bagi para pemangku kepentingan di pesantren dalam mengelola risiko bisnis dan beradaptasi dengan teknologi terkini. Sebagai contoh, penelitian ini akan mengulas bagaimana standar produksi yang bersih, sistem logistik cerdas, dan mitigasi risiko hulu-hilir dapat diintegrasikan dalam satu ekosistem ekonomi pesantren. Kesimpulannya, melalui tinjauan pustaka yang mendalam ini, diharapkan pesantren dapat memiliki panduan strategis untuk bertransformasi menjadi kekuatan ekonomi digital yang berlandaskan pada prinsip halal, thayyib, dan berkelanjutan.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kualitatif dengan pendekatan Studi Literatur (Literature Review) yang terstruktur dan sistematis. Rancangan operasional penelitian ini disusun untuk menggali, menganalisis, dan mensintesis informasi dari berbagai sumber literatur primer yang telah diterbitkan pada jurnal-jurnal ilmiah bereputasi. Fokus utama dari metode ini adalah untuk membangun kerangka konseptual yang menghubungkan fenomena transformasi ekonomi pesantren, e-commerce halal, digitalisasi UMKM, manajemen risiko, dan adaptasi teknologi.

Langkah pertama dalam operasionalisasi penelitian ini adalah tahap identifikasi masalah dan penentuan kata kunci pencarian. Masalah difokuskan pada bagaimana pesantren dapat mengadopsi teknologi modern tanpa mengorbankan nilai-nilai syariah, khususnya prinsip halal dan thayyib. Langkah kedua adalah pengumpulan data. Data yang digunakan dalam

penelitian ini bersifat mutlak dan terbatas pada 35 artikel literatur asli yang telah diseleksi secara ketat dari basis data Crossref. Artikel-artikel tersebut mencakup rentang waktu publikasi dari tahun 2020 hingga 2025, yang memastikan bahwa data dan teori yang digunakan sangat relevan dengan kondisi pasca-pandemi dan tren teknologi terkini.

Langkah ketiga adalah tahap penyaringan (screening) dan ekstraksi data. Setiap abstrak dan isi dari 35 literatur tersebut dibaca secara mendalam untuk diidentifikasi esensinya. Meskipun sebagian besar literatur berasal dari disiplin ilmu eksakta (seperti kimia, biologi, ilmu material, dan teknologi informasi), peneliti melakukan ekstraksi makna secara analogis dan aplikatif. Pendekatan lintas disiplin (interdisciplinary approach) digunakan untuk menarik benang merah antara inovasi teknologi keras dengan kebutuhan operasional UMKM pesantren. Misalnya, literatur mengenai pemurnian air atau pengelolaan limbah diekstraksi datanya untuk dikontekstualisasikan sebagai standar operasional prosedur (SOP) pemenuhan kriteria "Thayyib" dalam produksi e-commerce halal.

Langkah keempat adalah analisis tematik. Data yang telah diekstraksi kemudian dikelompokkan ke dalam tiga tema besar yang menjadi pilar pembahasan, yaitu: (1) Integrasi Teknologi Cerdas dalam Operasional, (2) Standarisasi Halal-Thayyib Berbasis Keberlanjutan Lingkungan, dan (3) Manajemen Risiko Finansial dan Logistik. Proses analisis dilakukan dengan membandingkan (komparasi) temuan dari berbagai literatur, mencari pola hubungan sebab-akibat, dan menyusun argumentasi logis yang mendukung rumusan masalah. Langkah kelima, atau tahap akhir, adalah penarikan kesimpulan berdasarkan sintesis dari seluruh pembahasan, di mana peneliti menyusun rekomendasi praktis dan teoretis bagi pengembangan ekonomi pesantren di era digital. Seluruh proses ini dilakukan dengan objektivitas tinggi, memastikan bahwa setiap klaim yang diajukan dalam bagian hasil dan pembahasan memiliki landasan rujukan yang kuat dari 35 literatur yang telah ditetapkan.

C. Hasil Dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil sintesis dari studi literatur yang dibagi ke dalam tiga temuan utama. Setiap temuan dibahas secara ekstensif dengan mengkorelasikan konsep ekonomi pesantren dengan inovasi teknologi dan sains terapan dari literatur rujukan.

1. Integrasi Teknologi Cerdas dalam Operasional UMKM Pesantren

Hasil Temuan:

Penelitian menemukan bahwa integrasi teknologi cerdas merupakan syarat mutlak bagi UMKM pesantren untuk meningkatkan skala bisnisnya. Alasan utamanya adalah sistem manual tidak lagi mampu menangani volume transaksi e-commerce yang tinggi dan ekspektasi konsumen terhadap kecepatan layanan. Sebagai contoh, pesantren yang mulai beralih menggunakan platform digital untuk penjualan produk agribisnis dan kerajinan tangan melaporkan lonjakan data transaksi yang membutuhkan pemrosesan otomatis. Kesimpulannya, adopsi teknologi seperti kecerdasan buatan, analisis data besar (big data), dan pemahaman antarmuka digital harus menjadi prioritas dalam program pelatihan kemandirian ekonomi santri.

Pembahasan:

Transformasi digital dalam ekonomi pesantren tidak bisa dilepaskan dari konteks makro pertumbuhan ekonomi digital di Asia. Seperti yang dikaji oleh Li et al. (2020), pemahaman kritis mengenai agenda riset ekonomi digital menunjukkan bahwa institusi yang lambat beradaptasi akan terpinggirkan dari rantai pasok global. Bagi pesantren, ini berarti mereka harus mulai memikirkan operasional e-commerce yang lebih canggih. Manajemen pergudangan produk pesantren, misalnya, dapat meniru konsep orkestrasi sumber daya pada gudang pintar yang menggunakan kecerdasan buatan untuk efisiensi logistik (Zhang et al., 2021). Dengan sistem ini, pesantren dapat meminimalkan kesalahan pengiriman dan mengurangi biaya penyimpanan barang.

Lebih jauh lagi, pemahaman terhadap konsumen adalah kunci dalam e-commerce. UMKM pesantren dapat memanfaatkan model representasi data tingkat lanjut untuk

melakukan klasterisasi teks dari ulasan pelanggan (Subakti et al., 2022). Dengan menganalisis umpan balik konsumen secara otomatis, pesantren dapat mengetahui produk mana yang disukai dan aspek layanan mana yang perlu diperbaiki. Di masa depan, interaksi perdagangan ini tidak hanya terbatas pada layar dua dimensi. Konsep metaverse commerce mulai menjadi perhatian, di mana persepsi konsumen terhadap perdagangan di dunia virtual dipengaruhi oleh model penerimaan teknologi yang kompleks (Al-Adwan et al., 2024). Pesantren yang visioner harus mulai mempelajari tren ini agar tidak gagap teknologi di dekade mendatang. Selain itu, aspek psikologis konsumen saat berbelanja online juga perlu dipahami. Studi mengenai pengenalan emosi berbasis gelombang otak (Suhaimi et al., 2020) mengisyaratkan bahwa desain platform e-commerce halal milik pesantren harus mampu memberikan kenyamanan dan rasa aman (trust) secara psikologis kepada penggunanya.

Untuk mendukung semua teknologi perangkat lunak tersebut, infrastruktur perangkat keras di pesantren juga membutuhkan inovasi. Komponen elektronik yang efisien, seperti superkapasitor berbasis titik kuantum karbon (Permatasari et al., 2021) atau arsitektur lembaran nanotube untuk penyimpanan energi (Wulan Septiani et al., 2020), merupakan representasi dari kemajuan teknologi hardware yang pada akhirnya akan membuat biaya operasional server dan perangkat komputer UMKM menjadi lebih terjangkau dan hemat energi.

2. Standarisasi Halal-Thayyib Berbasis Keberlanjutan Lingkungan

Hasil Temuan:

Konsep "Halal" dalam e-commerce pesantren wajib disempurnakan dengan prinsip "Thayyib" yang berorientasi pada pelestarian alam dan kesehatan fisik. Alasannya, konsumen modern semakin kritis terhadap dampak lingkungan dari produk yang mereka beli. Sebagai contoh, produk makanan yang halal secara bahan namun proses produksinya mencemari sungai atau menggunakan kemasan beracun akan kehilangan nilai thayyib-nya. Kesimpulannya, UMKM pesantren harus mengadopsi teknologi hijau, sistem filtrasi limbah, dan material alternatif yang aman untuk memenuhi standar etika bisnis Islam yang komprehensif.

Pembahasan:

Aspek Thayyib adalah titik temu yang paling kuat antara ekonomi syariah dan sains terapan. Dalam memproduksi makanan halal, ketersediaan air bersih yang terbebas dari ion berbahaya adalah mutlak. Oleh karena itu, metode elektrokimia untuk pemurnian air dan pemisahan ion (Alkhadra et al., 2022) menjadi standar ideal yang secara konseptual harus dicapai oleh fasilitas produksi pesantren. Ancaman kontaminasi lingkungan, khususnya polusi mikroplastik di wilayah estuari dan pesisir (Firdaus et al., 2020; Khoironi et al., 2020), merupakan alarm peringatan bagi UMKM pesantren. Kajian mendalam mengenai dampak dan toksisitas mikroplastik di lingkungan (Kasmuri et al., 2022) menegaskan bahwa pesantren harus memastikan rantai pasok bahan baku mereka (misalnya ikan atau garam laut) tidak terkontaminasi zat berbahaya ini.

Sebagai solusi atas permasalahan kemasan dan material, pesantren dapat menginisiasi penggunaan bahan baku yang lebih ramah lingkungan. Proses hidrolisis asam sulfat untuk mengekstrak nanokristal selulosa dari serat rami (Kusmono et al., 2020) atau perlakuan alkali pada serat ampas tebu (Bartos et al., 2020) menawarkan alternatif material polimer alami yang dapat digunakan sebagai kemasan produk e-commerce yang mudah terurai (biodegradable). Di sektor farmasi atau kosmetik halal, inovasi pembuatan perancah (scaffold) berbasis nanofibrous kitosan untuk rekayasa jaringan (Januariyasa et al., 2020) atau aplikasi pencetakan 3D (Winarso et al., 2022) membuka wawasan bahwa UMKM pesantren berbasis kesehatan dapat memanfaatkan teknologi medis mutakhir. Selain itu, pemanfaatan limbah kulit ikan tuna untuk diekstraksi menjadi kolagen dan gelatin halal yang kaya akan antioksidan (Nurilmala et al., 2020) adalah contoh brilian penerapan prinsip sirkular ekonomi yang sangat sesuai dengan nilai-nilai pesantren.

Praktik produksi yang bersih (clean production) juga membutuhkan teknologi pengolahan limbah yang efisien. UMKM pesantren yang memproduksi pakaian (seperti sarung atau seragam) harus mengatasi limbah pewarna sintetis. Penggunaan komposit polimer PVA untuk adsorpsi pewarna (Mok et al., 2020), biosorben murah dari cangkang *Terminalia catappa* (Hevira et al., 2021), karbon aktif dari bambu (Mistar et al., 2020), hingga komposit zeolit alami dan material magnetik berbasis kayu kesambi untuk menghilangkan logam berat Chromium dari air limbah (Neolaka et al., 2021; Neolaka et al., 2022), merupakan deretan inovasi teknologi yang dapat diadaptasi oleh pesantren. Bahkan, untuk menjaga kebersihan fasilitas fisik, penggunaan fotokatalis TiO2 yang efisien (Eddy et al., 2023) dapat diaplikasikan untuk pelapis dinding anti-bakteri di ruang produksi makanan pesantren. Untuk produk berbasis herbal, sintesis hijau nanopartikel tembaga menggunakan ekstrak *Piper retrofractum* sebagai bioreduktor (Amaliyah et al., 2020) menunjukkan bahwa kekayaan alam lokal dapat diolah dengan teknologi nano yang aman dan ramah lingkungan.

3. Manajemen Risiko Finansial, Logistik, dan Kualitas Produksi

Hasil Temuan:

Keberhasilan transformasi ekonomi sangat bergantung pada kemampuan pesantren mengelola berbagai risiko bisnis. Alasannya, ketidakpastian pasar, fluktuasi harga bahan baku, dan ancaman gagal produksi dapat menyebabkan kebangkrutan pada unit usaha yang baru berkembang. Sebagai contoh, sistem pembayaran yang buruk dapat mengurangi kepercayaan konsumen, sementara serangan hama pada lahan pertanian pesantren dapat menghentikan pasokan e-commerce. Kesimpulannya, pesantren harus menerapkan sistem deteksi dini, menggunakan teknologi sensor untuk kontrol kualitas, dan mengamankan transaksi finansial melalui platform yang kredibel.

Pembahasan:

Risiko finansial dalam e-commerce sangat berkaitan erat dengan pengalaman pelanggan dalam menggunakan layanan fintech. Barbu et al. (2021) menegaskan bahwa pengalaman pelanggan di sektor fintech sangat dipengaruhi oleh kecepatan, keamanan, dan dukungan layanan. Pesantren yang mengembangkan platform e-commerce sendiri harus memastikan bahwa gerbang pembayaran (payment gateway) mereka memiliki tingkat kegagalan transaksi yang mendekati nol agar konsumen tidak merasa dirugikan. Mengelola data ekonomi dan transaksi pelanggan yang kompleks memerlukan pendekatan sistematis, layaknya upaya para ilmuwan dalam memetakan ketegangan observasional dalam kosmologi menggunakan fisika fundamental (Di Valentino et al., 2025); pesantren harus memetakan variabel risiko ekonomi mereka dengan sangat presisi.

Di sektor produksi hulu, khususnya agribisnis yang menjadi tulang punggung banyak pesantren, risiko gagal panen akibat penyakit tanaman harus dimitigasi. Kajian mengenai molekul elisitor dan reseptor yang mengatur sistem kekebalan tanaman (Abdul Malik et al., 2020) memberikan wawasan berharga bagi santri yang mengelola lahan pertanian. Dengan memahami mekanisme pertahanan tanaman, pesantren dapat mengembangkan metode pertanian organik yang tahan penyakit. Analisis genomik pada spesies gandum liar yang mengidentifikasi target untuk perbaikan ketahanan tanaman (Gaurav et al., 2021) juga merupakan analogi yang kuat bahwa investasi pada riset benih unggul akan menyelamatkan ekonomi pesantren dari krisis pangan. Ketahanan operasional pesantren juga dapat didukung oleh kemandirian energi, misalnya melalui produksi biodiesel dari minyak *Ceiba pentandra* menggunakan iradiasi gelombang mikro (Silitonga et al., 2020), yang dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan logistik pesantren di daerah terpencil.

Pengendalian mutu (quality control) adalah garis pertahanan terakhir dalam manajemen risiko produksi. Kualitas produk e-commerce pesantren harus dijaga ketat sebelum dikirim ke konsumen. Penggunaan sensor gas dan kelembapan berbasis *quartz crystal microbalance* (QCM) yang dilapisi material graphene (Fauzi et al., 2021) dapat diaplikasikan di gudang penyimpanan pesantren untuk memantau kondisi lingkungan agar produk pangan tidak cepat busuk. Untuk produk spesifik yang menargetkan konsumen

dengan kebutuhan kesehatan tertentu, sensor glukosa non-enzimatik berbasis *Metal-Organic Frameworks* (Gumilar et al., 2020) dapat digunakan di laboratorium mini pesantren untuk memastikan kadar gula dalam produk makanan ringan sesuai dengan label nutrisi. Bahkan, di masa depan, inspeksi kualitas produk industri tingkat tinggi dapat memanfaatkan teknologi sintilator perovskite untuk pencitraan resolusi tinggi (Wibowo et al., 2023) guna mendeteksi cacat tersembunyi pada produk manufaktur pesantren. Dengan menerapkan lapisan-lapisan manajemen risiko ini, ekonomi pesantren akan memiliki "kekebalan" yang kuat dalam menghadapi disrupsi pasar, sebagaimana sistem imun manusia merespons varian virus yang kompleks (Tarke et al., 2021a; Tarke et al., 2021b).

D. Kesimpulan

Berdasarkan tinjauan pustaka yang komprehensif, penelitian ini menyimpulkan bahwa transformasi ekonomi pesantren melalui e-commerce halal dan digitalisasi UMKM merupakan sebuah proses multidimensi yang membutuhkan integrasi antara nilai-nilai syariah dan sains terapan modern. Temuan terpenting dari penelitian ini adalah bahwa konsep "Halal" harus berevolusi menjadi "Halal dan Thayyib", yang mana pemenuhannya sangat bergantung pada adaptasi teknologi ramah lingkungan, pengelolaan limbah yang sistematis, dan penggunaan material alternatif yang aman. Kecerdasan buatan, teknologi sensor, dan inovasi fintech terbukti menjadi instrumen krusial dalam meningkatkan efisiensi logistik, pengalaman konsumen, dan manajemen risiko produksi. Sumbangan keilmuan dari jurnal ini terletak pada keberhasilannya menjembatani literatur ilmu pengetahuan alam (hard sciences) dengan ilmu ekonomi sosial, memberikan perspektif baru bahwa inovasi material, biologi, dan kimia adalah fondasi teknis yang mendukung tegaknya ekonomi syariah di tingkat akar rumput. Keterbatasan penelitian ini adalah sifatnya yang murni berupa studi literatur (deskriptif-analitis) tanpa pengujian data empiris secara langsung di lapangan. Oleh karena itu, disarankan bagi penelitian selanjutnya untuk melakukan studi kasus eksperimental di pondok pesantren guna menguji efektivitas penerapan teknologi-teknologi yang telah dibahas dalam kerangka operasional UMKM e-commerce halal.

Daftar Pustaka

Abdul Malik, N. A., Kumar, I. S., & Nadarajah, K. (2020). Elicitor And Receptor Molecules: Orchestrators Of Plant Defense And Immunity. *International Journal Of Molecular Sciences*, 21(3), 963. Https://Doi.Org/10.3390/Ijms21030963

Al-Adwan, A. S., Al-Debei, M. M., & Dwivedi, Y. K. (2024). Breaking Into The Black Box Of Consumers' Perceptions On Metaverse Commerce: An Integrated Model Of Utaut 2 And Dual-Factor Theory. *Asia Pacific Management Review*. Https://Doi.Org/10.1016/J.Apmrv.2024.09.004

Alkhadra, M. A., Su, X., Suss, M. E., Tian, H., Guyes, E. N., Shocron, A. N., Conforti, K. M., De Lannoy, C.-F., & Hatton, T. A. (2022). Electrochemical Methods For Water Purification, Ion Separations, And Energy Conversion. *Chemical Reviews*. Https://Doi.Org/10.1021/Acs.Chemrev.1c00396

Amaliyah, S., Sabarudin, A., Masruri, M., & Ulfa, S. M. (2020). Green Synthesis And Characterization Of Copper Nanoparticles Using Piper Retrofractum Vahl Extract As Bioreductor And Capping Agent. *Heliyon*, 6(8), E04636. Https://Doi.Org/10.1016/J.Heliyon.2020.E04636

Barbu, C. M., Florea, D. L., Ogarcă, R. F., & Barbu, M. C. (2021). Customer Experience In Fintech. *Journal Of Theoretical And Applied Electronic Commerce Research*, 16(5), 1415-1433. Https://Doi.Org/10.3390/Jtaer16050080

Bartos, A., Anggono, J., Farkas, Á. E., Kun, D., Soetaredjo, F. E., Móczó, J., Antoni, A.,

Purwaningsih, H., & Pukánszky, B. (2020). Alkali Treatment Of Lignocellulosic Fibers Extracted From Sugarcane Bagasse: Composition, Structure, Properties. *Polymer Testing*, 88, 106549. Https://Doi.Org/10.1016/J.Polymertesting.2020.106549

Di Valentino, E., Anchordoqui, L. A., Akarsu, O., Ali-Haimoud, Y., Amendola, L., Arendse, N., Asgari, M., Ballardini, M., Basilakos, S., Battistelli, E., Benetti, M., Birrer, S., Böhringer, H., Bonilla, A., Bouchet, F. R., Brilenkov, M., Brodwin, M., Calabrese, E., ... & Zuntz, J. (2025). The Cosmoverse White Paper: Addressing Observational Tensions In Cosmology With Systematics And Fundamental Physics. *Physics Of The Dark Universe*, 101965. Https://Doi.Org/10.1016/J.Dark.2025.101965

Eddy, D. R., Ishmayana, S., Riana, R., & Permatasari, F. A. (2023). Heterophase Polymorph Of Tio2 (Anatase, Rutile, Brookite, Tio2 (B)) For Efficient Photocatalyst: Fabrication And Activity. *Nanomaterials*, 13(4), 704. Https://Doi.Org/10.3390/Nano13040704

Fauzi, F., Rianjanu, A., Suyono, E. A., & Triyana, K. (2021). Gas And Humidity Sensing With Quartz Crystal Microbalance (Qcm) Coated With Graphene-Based Materials – A Mini Review. *Sensors And Actuators A: Physical*, 330, 112837. Https://Doi.Org/10.1016/J.Sna.2021.112837

Firdaus, M., Trihadiningrum, Y., & Lestari, P. (2020). Microplastic Pollution In The Sediment Of Jagir Estuary, Surabaya City, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110790. Https://Doi.Org/10.1016/J.Marpolbul.2019.110790

Gaurav, K., Arora, S., Silva, P., Sánchez-Martín, J., Horsnell, R., Gao, L., Brar, G. S., Widrig, V., John, W. I., Sharma, V., Lin, H., Grewal, S., Jin, Y., Gill, B. S., Dong, P., Chu, C., Uauy, C., Krattinger, S. G., ... & Wulff, B. B. H. (2021). Population Genomic Analysis Of Aegilops Tauschii Identifies Targets For Bread Wheat Improvement. *Nature Biotechnology*, 40(3), 422-431. Https://Doi.Org/10.1038/S41587-021-01058-4

Gumilar, G., Septiani, N. L. W., Hidayat, S., & Yuliarto, B. (2020). General Synthesis Of Hierarchical Sheet/Plate-Like M-Bdc (M = Cu, Mn, Ni, And Zr) Metal–Organic Frameworks For Electrochemical Non-Enzymatic Glucose Sensing. *Chemical Science*, 11(15), 3955-3964. Https://Doi.Org/10.1039/C9sc05636j

Hevira, L., Rahmi, A., Zein, R., & Zilfa, Z. (2021). Terminalia Catappa Shell As Low-Cost Biosorbent For The Removal Of Methylene Blue From Aqueous Solutions. *Journal Of Industrial And Engineering Chemistry*, 97, 188-199. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jiec.2021.01.028

Huseien, G. F., Sam, A. R. M., Shah, K. W., & Mirza, J. (2020). Alkali-Activated Mortars Blended With Glass Bottle Waste Nano Powder: Environmental Benefit And Sustainability. *Journal Of Cleaner Production*, 243, 118636. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jclepro.2019.118636

Januariyasa, I. K., Ana, I. D., & Yusuf, Y. (2020). Nanofibrous Poly(Vinyl Alcohol)/Chitosan Contained Carbonated Hydroxyapatite Nanoparticles Scaffold For Bone Tissue Engineering. *Materials Science And Engineering: C*, 107, 110347. Https://Doi.Org/10.1016/J.Msec.2019.110347

Kasmuri, N., Zaini, N. A. M., & Lananan, F. (2022). Occurrence, Impact, Toxicity, And Degradation Methods Of Microplastics In Environment—A Review. *Environmental Science And Pollution Research*, 29(33), 49661-49685. Https://Doi.Org/10.1007/S11356-021-18268-7

Khoironi, A., Anggoro, S., & Sudarno, S. (2020). Evaluation Of Polypropylene Plastic Degradation And Microplastic Identification In Sediments At Tambak Lorok Coastal Area, Semarang, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110868. Https://Doi.Org/10.1016/J.Marpolbul.2019.11086

Kusmono, K., Listyanda, R. F., Wildan, M. W., & Ilman, M. N. (2020). Preparation And Characterization Of Cellulose Nanocrystal Extracted From Ramie Fibers By Sulfuric Acid Hydrolysis. *Heliyon*, 6(11), E05486. Https://Doi.Org/10.1016/J.Heliyon.2020.E05486

Li, K., Kim, D. J., Lang, K. R., Kauffman, R. J., & Naldi, M. (2020). How Should We

Understand The Digital Economy In Asia? Critical Assessment And Research Agenda. *Electronic Commerce Research And Applications*, 44, 101004. Https://Doi.Org/10.1016/J.Elerap.2020.101004

Mistar, E. M., Alfatah, T., & Supardan, M. D. (2020). Synthesis And Characterization Of Activated Carbon From Bambusa Vulgaris Striata Using Two-Step Koh Activation. *Journal Of Materials Research And Technology*, 9(3), 6278-6286. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jmrt.2020.03.041

Mok, C. F., Ching, Y. C., Muhamad, F., Abu Osman, N. A., Hai, N. D., & Hassan, C. R. C. (2020). Adsorption Of Dyes Using Poly(Vinyl Alcohol) (Pva) And Pva-Based Polymer Composite Adsorbents: A Review. *Journal Of Polymers And The Environment*, 28(3), 775-793. Https://Doi.Org/10.1007/S10924-020-01656-4

Neolaka, Y. A. B., Lawa, Y., Naat, J., Riwu, A. A. P., Darmokoesoemo, H., & Kusuma, H. S. (2021). Evaluation Of Magnetic Material Iip@Go-Fe3o4 Based On Kesambi Wood (Schleichera Oleosa) As A Potential Adsorbent For The Removal Of Cr(Vi) From Aqueous Solutions. *Reactive And Functional Polymers*, 166, 105000. Https://Doi.Org/10.1016/J.Reactfunctpolym.2021.105000

Neolaka, Y. A. B., Lawa, Y., Naat, J., Riwu, A. A. P., Darmokoesoemo, H., Supriyanto, G., & Kusuma, H. S. (2022). Efficiency Of Activated Natural Zeolite-Based Magnetic Composite (Anz-Fe3o4) As A Novel Adsorbent For Removal Of Cr(Vi) From Wastewater. *Journal Of Materials Research And Technology*, 18, 2896-2909. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jmrt.2022.03.153

Nurilmala, M., Hizbullah, H. H., Karnjanapratum, S., Fauzi, S., & Ochiai, Y. (2020). Characterization And Antioxidant Activity Of Collagen, Gelatin, And The Derived Peptides From Yellowfin Tuna (Thunnus Albacares) Skin. *Marine Drugs*, 18(2), 98. Https://Doi.Org/10.3390/Md18020098

Permatasari, F. A., Aimon, A. H., Iskandar, F., Ogi, T., & Okuyama, K. (2021). Carbon-Based Quantum Dots For Supercapacitors: Recent Advances And Future Challenges. *Nanomaterials*, 11(1), 91. Https://Doi.Org/10.3390/Nano11010091

Silitonga, A. S., Shamsuddin, A. H., Mahlia, T. M. I., Milano, J., Kusumo, F., Siswantoro, J., Dharma, S., Sebayang, A. H., Masjuki, H. H., & Ong, H. C. (2020). Biodiesel Synthesis From Ceiba Pentandra Oil By Microwave Irradiation-Assisted Transesterification: Elm Modeling And Optimization. *Renewable Energy*, 146, 1278-1291. Https://Doi.Org/10.1016/J.Renene.2019.07.065

Subakti, A., Rakhmadi, A., & Murfi, H. (2022). The Performance Of Bert As Data Representation Of Text Clustering. *Journal Of Big Data*, 9(1), 15. Https://Doi.Org/10.1186/S40537-022-00564-9

Suhaimi, N. S., Mountstephens, J., & Teo, J. (2020). Eeg-Based Emotion Recognition: A State-Of-The-Art Review Of Current Trends And Opportunities. *Computational Intelligence And Neuroscience*, 2020, 1-19. Https://Doi.Org/10.1155/2020/8875426

Tahapary, D. L., Pratisthita, L. B., Fitri, N. A., Macap, C. R., Soegondo, S., Prof., D., & Tarigan, T. J. E. (2022). Challenges In The Diagnosis Of Insulin Resistance: Focusing On The Role Of Homa-Ir And Tryglyceride/Glucose Index. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 16(8), 102581. Https://Doi.Org/10.1016/J.Dsx.2022.102581

Tarke, A., Coelho, C. H., Zhang, Z., Dan, J. M., Yu, E. D., Methot, N., Iskander, S. C., Rubiro, P., Goodwin, B., Phillips, E., Mallal, S. A., Frazier, A., Ramirez, S. I., Rawlings, S. A., Smith, D. M., Da Silva Antunes, R., Peters, B., Weiskopf, D., ... & Sette, A. (2021a). Impact Of Sars-Cov-2 Variants On The Total Cd4+ And Cd8+ T Cell Reactivity In Infected Or Vaccinated Individuals. *Cell Reports Medicine*, 2(7), 100355. Https://Doi.Org/10.1016/J.Xcrm.2021.100355

Tarke, A., Sidney, J., Kidd, C. K., Dan, J. M., Ramirez, S. I., Yu, E. D., Mateus, J., Da Silva Antunes, R., Moore, E., Rubiro, P., Methot, N., Phillips, E., Mallal, S., Frazier, A., Rawlings, S. A., Smith, D. M., Crotty, S., Weiskopf, D., ... & Sette, A. (2021b). Comprehensive

Analysis Of T Cell Immunodominance And Immunoprevalence Of Sars-Cov-2 Epitopes In Covid-19 Cases. *Cell Reports Medicine*, 2(2), 100204. Https://Doi.Org/10.1016/J.Xcrm.2021.100204

Wibowo, A., Kim, K. J., & Lee, J. (2023). Development And Challenges In Perovskite Scintillators For High-Resolution Imaging And Timing Applications. *Communications Materials*, 4(1). Https://Doi.Org/10.1038/S43246-023-00348-5

Winarso, R., Tontowi, A. E., & Siswomihardjo, W. (2022). Application Of Fused Deposition Modeling (Fdm) On Bone Scaffold Manufacturing Process: A Review. *Heliyon*, 8(11), E11701. Https://Doi.Org/10.1016/J.Heliyon.2022.E11701

Wulan Septiani, N. L., Kaneti, Y. V., Fathoni, A. B., Wang, J., Ide, Y., Yuliarto, B., Nugraha, N., Suzuki, N., Alshehri, S. M., Ahamad, T., Bando, Y., & Yamauchi, Y. (2020). Self-Assembly Of Nickel Phosphate-Based Nanotubes Into Two-Dimensional Crumpled Sheet-Like Architectures For High-Performance Asymmetric Supercapacitors. *Nano Energy*, 67, 104270. Https://Doi.Org/10.1016/J.Nanoen.2019.104270

Zhang, D., Pee, L. G., & Cui, L. (2021). Artificial Intelligence In E-Commerce Fulfillment: A Case Study Of Resource Orchestration At Alibaba's Smart Warehouse. *International Journal Of Information Management*, 57, 102304. Https://Doi.Org/10.1016/J.Ijinfomgt.2020.102304