



Digitalisasi Quality Control dan Otomatisasi Produksi: Analisis Pengaruhnya Terhadap Kualitas Produk Garment di PT Tmnc Manufacturing International Ngadirojo

Iga Yashinta^{1*}, Agus Suyatno², Harsanto³

¹⁻³Program Studi Manajemen, Fakultas Hukum dan Bisnis, Universitas Duta Bangsa, Indonesia

*Penulis Korespondensi: igayashinta2301@gmail.com

Abstract. *This study examines the effect of the Digital Quality Control System and Production Process Automation on Product Quality at PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo, a garment manufacturer whose internal records showed an average defect rate of 14.70 percent in 2025, above the 2-5 percent tolerance commonly applied in the apparel industry. A quantitative associative approach was employed, with a population of 977 employees from the Production and Quality Control divisions of Building C. Using purposive sampling and the Slovin formula with a 10 percent margin of error, 91 respondents were selected. Data were collected through a five-point Likert-scale questionnaire and analyzed using Structural Equation Modeling-Partial Least Squares (SEM-PLS) with SmartPLS 4. The measurement model showed adequate convergent and discriminant validity, with all outer loadings above 0.70 and Average Variance Extracted above 0.50, while composite reliability and Cronbach's Alpha above 0.90 confirmed strong internal consistency. The structural model indicates that the Digital Quality Control System has a positive and significant effect on Product Quality (original sample = 0.262; t-statistic = 3.126; p = 0.002), and Production Process Automation also has a positive and significant effect on Product Quality (original sample = 0.639; t-statistic = 9.810; p = 0.000). Both predictors jointly explain 64.5 percent of the variance in Product Quality, with automation showing the more dominant contribution. These findings suggest that digital quality monitoring and production automation are complementary levers for reducing defects and stabilizing quality in the garment industry, offering practical guidance for manufacturers pursuing Industry 4.0-based quality management.*

Keywords: Automation; Digital Quality; PLS-SEM; Product Quality; Smartpls.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh Sistem Digital Quality Control dan Otomatisasi Proses Produksi terhadap Kualitas Produk pada PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo, perusahaan garment yang pada tahun 2025 mencatatkan rata-rata defect rate sebesar 14,70%, di atas batas toleransi 2-5% yang lazim berlaku pada industri apparel. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif asosiatif dengan populasi karyawan bagian Produksi dan Quality Control Gedung C berjumlah 977 orang. Melalui purposive sampling dan rumus Slovin dengan margin kesalahan 10%, diperoleh sampel 91 responden. Data dikumpulkan menggunakan kuesioner skala Likert lima poin dan dianalisis menggunakan Structural Equation Modeling-Partial Least Squares (SEM-PLS) berbantuan SmartPLS 4. Hasil evaluasi model pengukuran menunjukkan seluruh outer loading di atas 0,70 dan nilai Average Variance Extracted di atas 0,50, sedangkan Composite Reliability dan Cronbach's Alpha seluruh variabel di atas 0,90 sehingga instrumen dinyatakan valid dan reliabel. Hasil pengujian model struktural menunjukkan Sistem Digital Quality Control berpengaruh positif dan signifikan terhadap Kualitas Produk (original sample 0,262; t-statistic 3,126; p 0,002), demikian pula Otomatisasi Proses Produksi (original sample 0,639; t-statistic 9,810; p 0,000). Kedua variabel independen bersama-sama menjelaskan 64,5% variasi Kualitas Produk, dengan Otomatisasi Proses Produksi memberikan kontribusi lebih dominan dibandingkan Sistem Digital Quality Control. Temuan ini menunjukkan bahwa pemantauan kualitas berbasis digital dan otomatisasi produksi saling melengkapi dalam menekan tingkat cacat produk serta menstabilkan kualitas produksi pada industri garment, sekaligus memberikan implikasi praktis bagi perusahaan manufaktur yang mengembangkan manajemen mutu berbasis Industri 4.0.

Kata kunci: Kualitas Produk; Otomatisasi Proses; Quality Control; Sem-Pls; Sistem Digital.

1. LATAR BELAKANG

Industri manufaktur menempati posisi strategis dalam perekonomian karena berperan menghasilkan berbagai produk yang dibutuhkan masyarakat. Perusahaan manufaktur dituntut mampu menjaga konsistensi kualitas produk, menjalankan proses produksi secara efisien, serta

memenuhi standar yang ditetapkan pelanggan agar mampu bertahan di tengah ketatnya persaingan industri. Pengelolaan proses produksi dan sistem pengendalian mutu menjadi dua aspek yang saling terkait dalam menjaga daya saing perusahaan.

Perkembangan teknologi mendorong sektor manufaktur bertransformasi menuju sistem produksi berbasis digital yang dikenal dengan konsep Industry 4.0. Integrasi teknologi digital ke dalam sistem pengendalian mutu dilaporkan mampu meningkatkan akurasi pencatatan cacat produk, mempercepat identifikasi penyebab ketidaksesuaian, serta memungkinkan pemantauan kualitas secara real-time (Sony et al., 2020; Javaid et al., 2022). Selain itu, otomatisasi proses produksi juga dilaporkan meningkatkan stabilitas parameter kerja mesin serta menekan variasi produksi yang disebabkan oleh intervensi manual (Chen et al., 2025; Sony et al., 2020).

Industri apparel atau garment merupakan salah satu sektor manufaktur dengan proses produksi yang kompleks karena melibatkan berbagai tahapan, mulai dari cutting, sewing, hingga finishing. Kompleksitas tersebut menyebabkan potensi cacat produk relatif tinggi apabila sistem pengendalian mutu tidak berjalan efektif, sehingga penerapan sistem digital quality control dan otomatisasi proses produksi menjadi penting untuk menjaga konsistensi kualitas produk yang dihasilkan.

PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo, sebagai salah satu perusahaan garment, telah memanfaatkan aplikasi digital untuk mencatat defect serta menginput data quality control pada seluruh bagian produksi. Sistem tersebut digunakan untuk mendokumentasikan temuan cacat, menyusun laporan mutu, serta merekapitulasi data inspeksi secara elektronik. Meskipun infrastruktur digital tersebut telah tersedia dan digunakan secara menyeluruh, data internal perusahaan menunjukkan bahwa rata-rata defect rate pada tahun 2025 masih mencapai 14,70%. Angka ini jauh melampaui kisaran toleransi cacat sebesar 2-5% yang lazim berlaku pada praktik industri garment sesuai standar buyer dan klasifikasi produk (Glock & Kunz, 2005). Deviasi tersebut mengindikasikan bahwa keberadaan sistem digital dan otomatisasi proses produksi belum sepenuhnya menjamin tercapainya standar kualitas yang diharapkan perusahaan.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan teknologi digital dalam sistem manufaktur mampu meningkatkan efektivitas pengendalian kualitas maupun efisiensi operasional. Studi Chen et al. (2025) misalnya menunjukkan bahwa teknologi digital mampu mempercepat proses identifikasi cacat produk dalam sistem manufaktur, sementara Papavasileiou et al. (2024) menunjukkan bahwa otomatisasi mampu meningkatkan konsistensi proses produksi sehingga kualitas produk menjadi lebih stabil. Namun demikian, Sebagian

besar penelitian tersebut masih menguji kedua variabel secara terpisah atau berfokus pada industri manufaktur secara umum, sedangkan penelitian yang mengintegrasikan Sistem Digital Quality Control dan Otomatisasi Proses Produksi secara simultan terhadap Kualitas Produk pada industri garment masih relatif terbatas, padahal industri ini memiliki karakteristik proses multistage dengan tingkat risiko cacat yang relatif tinggi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menguji secara empiris pengaruh Sistem Digital Quality Control dan Otomatisasi Proses Produksi terhadap Kualitas Produk pada PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengintegrasian kedua variabel dalam satu model penelitian pada objek industri garment yang masih jarang diteliti dalam konteks manufaktur digital, dengan menggunakan pendekatan Structural Equation Modeling-Partial Least Squares (SEM-PLS) untuk menganalisis hubungan antar variabel. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi teoretis dan praktis bagi pengembangan manajemen operasi berbasis teknologi digital, khususnya bagi perusahaan yang bergerak dalam industri garment.

2. KAJIAN TEORITIS

Manajemen Operasi sebagai Grand Theory

Manajemen operasi merupakan cabang ilmu manajemen yang mempelajari cara organisasi merancang, mengelola, dan mengendalikan proses produksi agar menghasilkan barang atau jasa yang bernilai bagi konsumen. Menurut Heizer, Render, dan Munson (2020), manajemen operasi berkaitan dengan penciptaan barang dan jasa melalui proses transformasi input menjadi output yang bernilai, sehingga setiap tahapan produksi harus berjalan secara efektif dan terkontrol agar produk yang dihasilkan memenuhi standar kualitas yang ditetapkan.

Seiring perkembangan teknologi industri, manajemen operasi mengalami transformasi menuju sistem produksi berbasis digital yang dikenal dengan konsep Industry 4.0, yang ditandai dengan pemanfaatan teknologi digital, otomatisasi, serta integrasi data dalam proses produksi untuk meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas produk (Javaid et al., 2022). Dalam konteks ini, penerapan Sistem Digital Quality Control memungkinkan perusahaan memantau kualitas produk secara real-time, sementara otomatisasi proses produksi membantu menjaga konsistensi kerja mesin sehingga variasi produksi dapat diminimalkan (Groover, 2016).

Dengan demikian, teori manajemen operasi memberikan landasan konseptual bahwa penerapan teknologi digital dan otomatisasi produksi memiliki keterkaitan dengan peningkatan kualitas produk dalam industri manufaktur.

Quality Control (Pengendalian Kualitas)

Quality control merupakan proses sistematis yang dilakukan perusahaan untuk memastikan produk yang dihasilkan memenuhi standar kualitas yang ditetapkan, melalui serangkaian aktivitas seperti inspeksi, pengukuran, pengujian, dan analisis terhadap produk maupun proses guna meminimalkan cacat produk. Dalam manufaktur modern, quality control tidak hanya berfokus pada inspeksi akhir produk, tetapi juga melibatkan pemantauan proses produksi secara berkelanjutan agar kesalahan dapat dicegah sejak tahap awal (Heizer et al., 2020). Pengendalian kualitas yang efektif berperan penting dalam menjaga konsistensi proses produksi, ketepatan standar inspeksi, dan ketelitian pengecekan produk, khususnya pada industri apparel yang rawan terhadap variasi hasil produksi.

Sistem Digital Quality Control

Sistem Digital Quality Control merupakan pengembangan dari sistem pengendalian kualitas konvensional yang memanfaatkan teknologi digital dalam proses pengumpulan, pencatatan, pemantauan, dan analisis data kualitas produk. Sistem ini umumnya memanfaatkan aplikasi berbasis komputer, database, sensor digital, serta integrasi data produksi untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi inspeksi kualitas (Sony et al., 2020). Digitalisasi quality control memungkinkan perusahaan melakukan monitoring secara real-time sehingga potensi kesalahan produksi dapat segera diidentifikasi dan diperbaiki, sekaligus memungkinkan pencatatan data defect secara terstruktur sebagai dasar analisis perbaikan proses (Javaid et al., 2022).

Penerapan teknologi seperti computer vision, machine learning, serta sistem monitoring berbasis data memungkinkan proses inspeksi dilakukan secara lebih akurat dan efisien dibandingkan metode manual (Chen et al., 2025), dan turut mendukung konsep Quality 4.0, yaitu integrasi teknologi digital dalam manajemen kualitas untuk meningkatkan efektivitas pengawasan produksi secara berkelanjutan (Sony et al., 2020). Berdasarkan uraian tersebut, indikator Sistem Digital Quality Control dalam penelitian ini meliputi: a) sistem pencatatan defect berbasis digital; b) kemudahan input data quality control; c) akses data kualitas produk; d) monitoring kualitas produk; e) penyimpanan data kualitas; f) identifikasi defect produk; dan g) evaluasi kualitas produk (Chen et al., 2025).

Otomatisasi Proses Produksi

Otomatisasi proses produksi merupakan penggunaan teknologi, mesin, dan sistem kontrol otomatis dalam kegiatan produksi untuk menggantikan atau mengurangi peran tenaga kerja manual. Otomatisasi bertujuan meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi kesalahan manusia, serta meningkatkan konsistensi kualitas produk yang dihasilkan (Groover, 2016). Dalam sistem produksi modern, otomatisasi tidak hanya melibatkan mesin otomatis, tetapi juga integrasi sistem berbasis teknologi informasi yang memungkinkan proses produksi berjalan secara terkoordinasi, sehingga perusahaan dapat meningkatkan kapasitas produksi sekaligus menjaga konsistensi kualitas (Papavasileiou et al., 2024).

Selain meningkatkan kualitas produk, otomatisasi juga berperan meningkatkan efisiensi operasional melalui pengurangan waktu produksi, penurunan biaya operasional, serta peningkatan produktivitas tenaga kerja (Papavasileiou et al., 2024). Dalam industri garment, otomatisasi dapat diterapkan pada berbagai tahapan produksi seperti cutting, sewing, finishing, maupun proses inspeksi. Indikator Otomatisasi Proses Produksi dalam penelitian ini meliputi: a) penggunaan mesin produksi; b) kecepatan proses produksi; c) konsistensi proses produksi; d) pengurangan human error; e) ketepatan proses produksi; f) efisiensi kerja; dan g) stabilitas proses produksi (Groover, 2016).

Kualitas Produk

Kualitas produk merupakan kemampuan suatu produk memenuhi kebutuhan dan harapan konsumen sesuai standar yang ditetapkan perusahaan maupun standar industri, mencerminkan tingkat kesesuaian produk terhadap spesifikasi teknis, ketahanan, keandalan fungsi, serta kepuasan konsumen (Garvin, 1987). Kualitas produk sangat dipengaruhi oleh kualitas proses produksi; apabila proses berjalan konsisten dan terkontrol, kualitas produk yang dihasilkan akan lebih stabil dan sesuai standar (Heizer et al., 2020). Penelitian mengenai manajemen kualitas menunjukkan bahwa penerapan sistem pengendalian kualitas yang efektif serta integrasi teknologi digital dalam proses produksi membantu perusahaan menurunkan tingkat defect serta meningkatkan kualitas produk secara keseluruhan (Sony et al., 2020; Javaid et al., 2022). Indikator Kualitas Produk dalam penelitian ini meliputi: a) kesesuaian standar kualitas; b) tingkat defect produk; c) konsistensi kualitas produk; d) tingkat rework produk; e) ketelitian produk; dan f) kualitas produk secara keseluruhan (Garvin, 1987).

Hubungan Antar Variabel

1) Pengaruh Sistem Digital Quality Control terhadap Kualitas Produk digitalisasi sistem quality control memungkinkan perusahaan memantau kualitas secara real-time sehingga potensi

kesalahan produksi dapat segera diidentifikasi dan diperbaiki, serta memungkinkan pencatatan data defect yang lebih akurat sebagai dasar analisis penyebab cacat produk. Penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi digital dalam sistem quality control dapat meningkatkan akurasi inspeksi serta mengurangi kesalahan manusia dalam pencatatan data kualitas sehingga kualitas produk yang dihasilkan menjadi lebih baik (Javaid et al., 2022). 2) Pengaruh Otomatisasi Proses Produksi terhadap Kualitas Produk otomatisasi proses produksi memungkinkan proses produksi berjalan lebih stabil dan konsisten dibandingkan proses manual. Mesin otomatis mampu menghasilkan produk dengan tingkat presisi lebih tinggi sehingga potensi kesalahan produksi dapat diminimalkan. Penelitian menunjukkan bahwa integrasi sistem otomatis dalam proses produksi dapat meningkatkan efisiensi operasional sekaligus menjaga stabilitas kualitas produk yang dihasilkan (Papavasileiou et al., 2024).

Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai penerapan sistem digital dalam pengendalian kualitas dan otomatisasi proses produksi telah banyak dilakukan, baik pada skala industri manufaktur secara umum maupun pada sektor tertentu. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa digitalisasi sistem quality control mampu meningkatkan akurasi inspeksi, mempercepat deteksi cacat produk, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data (Sari & Nugroho, 2023; Wibowo & Rahman, 2024; Dutta et al., 2021). Penelitian lain menegaskan bahwa otomatisasi proses produksi dapat meningkatkan efisiensi operasional, konsistensi kualitas produk, serta menurunkan kesalahan yang disebabkan faktor manusia (Pratama et al., 2022; Kusuma & Hidayat, 2021; Nugroho et al., 2022).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya cenderung menguji digitalisasi quality control dan otomatisasi produksi secara terpisah, atau hanya menitikberatkan pada salah satu aspek teknologi, dan umumnya dilakukan pada industri manufaktur secara umum seperti otomotif maupun elektronik. Penelitian yang secara khusus mengkaji pengaruh Sistem Digital Quality Control dan Otomatisasi Proses Produksi secara simultan terhadap Kualitas Produk pada industri apparel atau garment masih relatif terbatas, padahal industri ini memiliki karakteristik proses yang kompleks dan rentan terhadap cacat produk. Tabel 1 merangkum posisi penelitian ini terhadap sejumlah studi terdahulu yang relevan.

Tabel 1. Ringkasan Penelitian Terdahulu yang Relevan

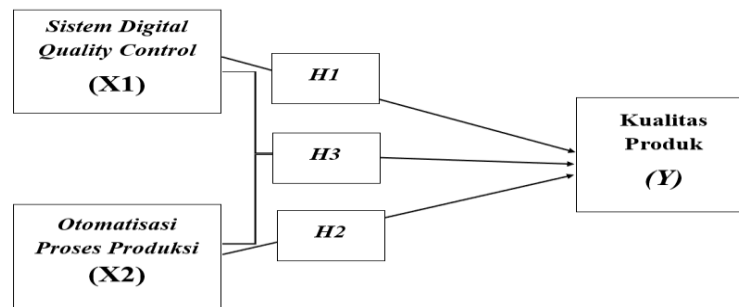
Peneliti (Tahun)	Fokus dan Metode	Perbedaan dengan Penelitian Ini
Chen et al. (2025)	Teknologi digital 4.0 untuk optimasi kualitas manufaktur (konseptual).	Menguji kuantitatif Sistem Digital Quality Control dan Otomatisasi pada industri garment.
Papavasileiou et al. (2024)	Robotika dan otomatisasi dalam quality control manufaktur.	Menguji hubungan kausal dengan SEM-PLS pada objek garment, bukan tinjauan umum.
Sari & Nugroho (2023)	Implementasi digital quality control pada manufaktur.	Mengintegrasikan variabel otomatisasi produksi dalam satu model.
Kusuma & Hidayat (2021)	Pengaruh otomatisasi produksi terhadap kualitas produk.	Menambah variabel Sistem Digital Quality Control dengan SmartPLS 4.
Wibowo & Rahman (2024)	Penerapan sistem digital dalam pengendalian kualitas.	Menguji pengaruh simultan dua variabel pada objek berbeda.

Sumber: Diolah dari berbagai sumber (2025-2026).

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, dapat diketahui tiga kecenderungan utama. Pertama, penerapan teknologi digital pada sistem manufaktur mampu meningkatkan efektivitas pengawasan kualitas produk melalui monitoring dan pencatatan data secara real-time. Kedua, otomatisasi proses produksi berperan menjaga stabilitas dan konsistensi proses kerja sehingga mampu mengurangi kesalahan produksi. Ketiga, integrasi teknologi digital dan otomatisasi proses produksi berpotensi meningkatkan kualitas produk secara berkelanjutan dalam sistem manufaktur modern. Penelitian yang menguji kedua variabel secara simultan terhadap kualitas produk pada industri garment masih relatif terbatas, sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah tersebut melalui pengujian pada PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo.

Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual penelitian ini menggambarkan hubungan antara Sistem Digital Quality Control (X1) dan Otomatisasi Proses Produksi (X2) terhadap Kualitas Produk (Y). Kedua variabel independen diprediksi berpengaruh terhadap kualitas produk: Sistem Digital Quality Control berperan meningkatkan efektivitas pengendalian kualitas melalui monitoring dan pencatatan data secara digital, sedangkan Otomatisasi Proses Produksi membantu menjaga stabilitas proses produksi sehingga kualitas produk dapat lebih konsisten (Sony et al., 2020; Papavasileiou et al., 2024).



Gambar 1. Kerangka Konseptual Penelitian

Hipotesis

1) Pengaruh Sistem Digital Quality Control terhadap Kualitas Produk: Penerapan sistem digital dalam kegiatan quality control memungkinkan pencatatan defect dilakukan secara lebih akurat, cepat, dan sistematis dibandingkan pencatatan manual, serta memungkinkan data kualitas produk disimpan secara terpusat sehingga memudahkan monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan. Chen et al. (2025) menunjukkan bahwa penerapan teknologi digital dalam sistem manufaktur mampu meningkatkan efektivitas monitoring kualitas produk serta membantu perusahaan mengidentifikasi produk cacat secara lebih cepat dan akurat.

H1: Sistem Digital Quality Control (X1) berpengaruh positif dan signifikan terhadap Kualitas Produk (Y)..... (ii) 2) Pengaruh Otomatisasi Proses Produksi terhadap Kualitas Produk

Penerapan otomatisasi dalam proses produksi bertujuan meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi human error, serta menjaga konsistensi kualitas produk. Penggunaan sistem produksi yang terotomatisasi menghasilkan proses kerja yang lebih stabil dan terstandarisasi sehingga setiap produk memiliki tingkat kualitas yang lebih konsisten dibandingkan proses manual. Nugroho, Santoso, dan Prasetyo (2022) menunjukkan bahwa penerapan otomatisasi dalam proses produksi berpengaruh positif terhadap peningkatan efisiensi operasional serta konsistensi kualitas produk pada perusahaan manufaktur. H2: Otomatisasi Proses Produksi (X2) berpengaruh positif dan signifikan terhadap Kualitas Produk (Y).....(ii) 3) Pengaruh Sistem Digital Quality Control dan Otomatisasi Proses Produksi terhadap Kualitas Produk: Kualitas produk dalam industri manufaktur tidak hanya dipengaruhi oleh sistem pengendalian kualitas, tetapi juga oleh cara proses produksi dijalankan. Sistem Digital Quality Control berperan mengidentifikasi, mencatat, dan memonitor kualitas produk secara sistematis, sedangkan Otomatisasi Proses Produksi memastikan proses produksi berjalan konsisten dan terstandarisasi. Penelitian mengenai penerapan teknologi digital dan otomatisasi dalam sistem manufaktur menunjukkan bahwa kombinasi kedua faktor tersebut mampu meningkatkan efisiensi operasional sekaligus kualitas produk yang dihasilkan (Chen

et al., 2025). H3: Sistem Digital Quality Control (X1) dan Otomatisasi Proses Produksi (X2) berpengaruh positif dan signifikan terhadap Kualitas Produk (Y).....(ii)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian asosiatif berpendekatan kausalitas. Menurut Sugiyono (2022), metode penelitian kuantitatif berlandaskan pada filsafat positivisme yang digunakan untuk meneliti populasi atau sampel tertentu dengan tujuan menguji hipotesis melalui analisis data statistik. Pendekatan kausalitas dalam penelitian ini digunakan untuk menganalisis pengaruh Sistem Digital Quality Control (X1) dan Otomatisasi Proses Produksi (X2) terhadap Kualitas Produk (Y) pada perusahaan manufaktur garment, dengan alat analisis Structural Equation Modeling-Partial Least Squares (SEM-PLS).

Objek penelitian meliputi ketiga variabel tersebut, dengan lokasi penelitian di PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo yang beralamat di Jalan Raya Ngadirojo/Wonogiri-Ponorogo, Dusun Ketonggo, Kerjo Lor, Kecamatan Ngadirojo, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. Perusahaan ini dipilih karena telah menerapkan sistem digital dalam kegiatan quality control serta menggunakan teknologi otomatisasi dalam proses produksinya.

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian ini adalah seluruh karyawan bagian Produksi dan Quality Control di Gedung C PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo yang berjumlah 977 karyawan. Kedua bagian tersebut dipilih karena memiliki keterlibatan langsung dalam proses produksi dan pengendalian kualitas sehingga dianggap memahami implementasi Sistem Digital Quality Control maupun Otomatisasi Proses Produksi (Sugiyono, 2022).

Teknik pengambilan sampel menggunakan purposive sampling dengan kriteria responden sebagai berikut: (a) karyawan bagian produksi atau quality control PT TMNC Manufacturing International; (b) memiliki masa kerja minimal satu tahun; (c) menggunakan atau terlibat dalam sistem digital quality control atau otomatisasi proses produksi; dan (d) bersedia menjadi responden penelitian. Jumlah sampel ditentukan menggunakan rumus Slovin, yaitu $n = N / (1 + N(e)^2)$, dengan N sebesar 977 karyawan dan tingkat kesalahan (e) sebesar 10%. Perhitungan tersebut menghasilkan jumlah sampel minimal sebesar 90,7 yang dibulatkan menjadi 91 responden.

Penentuan jumlah sampel juga mempertimbangkan kaidah analisis SEM-PLS yang mensyaratkan minimal 5-10 kali jumlah indikator penelitian. Dengan 20 indikator dalam penelitian ini, jumlah sampel 91 responden masih dapat diterima karena metode PLS-SEM relatif fleksibel terhadap ukuran sampel yang lebih kecil serta tetap mampu menghasilkan estimasi model yang stabil (Hair et al., 2021).

Data, Sumber Data, dan Metode Pengumpulan Data

Data penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada 91 responden karyawan bagian Produksi dan Quality Control, sedangkan data sekunder diperoleh dari dokumen dan laporan produksi perusahaan serta literatur ilmiah yang relevan. Pengumpulan data dilakukan melalui kuesioner, observasi langsung terhadap proses produksi dan sistem pengendalian kualitas, serta dokumentasi data pendukung operasional perusahaan.

Definisi Operasional Variabel

Instrumen penelitian menggunakan kuesioner dengan skala Likert lima kategori jawaban (1 = Sangat Tidak Setuju hingga 5 = Sangat Setuju) untuk mengukur sikap, persepsi, dan pendapat responden (Sugiyono, 2022). Variabel penelitian terdiri atas dua variabel independen, yaitu Sistem Digital Quality Control (X1) dan Otomatisasi Proses Produksi (X2), serta satu variabel dependen, yaitu Kualitas Produk (Y). Tabel 2 menyajikan ringkasan definisi operasional dan indikator setiap variabel.

Tabel 2. Definisi Operasional Variabel

Variabel	Definisi Operasional	Jumlah Indikator	Skala
Sistem Digital Quality Control (X1)	Sistem pengendalian kualitas berbasis teknologi digital dalam pencatatan, pemantauan, dan pengolahan data kualitas produk secara terintegrasi (Sony et al., 2020).	7	Likert
Otomatisasi Proses Produksi (X2)	Tingkat penggunaan mesin atau sistem otomatis dalam proses produksi untuk meningkatkan efisiensi dan konsistensi kualitas produk (Groover, 2016).	7	Likert
Kualitas Produk (Y)	Tingkat kemampuan produk memenuhi standar kualitas yang ditetapkan perusahaan serta kebutuhan pelanggan (Garvin, 1987).	6	Likert

Sumber: Diadaptasi dari kajian teori (2026).

Metode Analisis Data

Data yang terkumpul dianalisis menggunakan Structural Equation Modeling berbasis Partial Least Squares (SEM-PLS) dengan bantuan aplikasi SmartPLS 4. Pemilihan SEM-PLS didasarkan pada beberapa pertimbangan. Pertama, SEM-PLS mampu menguji model dengan

konstruk multidimensional yang sesuai dengan kompleksitas hubungan antar variabel dalam penelitian ini, karena mampu mengestimasi hubungan struktural secara simultan (Sarstedt et al., 2021). Kedua, PLS-SEM lebih unggul dibandingkan regresi tradisional dalam menganalisis model dengan banyak konstruk dan indikator karena mampu menguji hubungan antar variabel secara komprehensif dalam satu model terpadu.

Ketiga, SEM-PLS tidak mensyaratkan distribusi data normal secara ketat dan dapat digunakan pada ukuran sampel yang relatif kecil, karena bersifat variance-based sehingga lebih fleksibel terhadap asumsi normalitas dibandingkan covariance-based SEM (Sarstedt et al., 2021). Keempat, SEM-PLS mampu menganalisis validitas dan reliabilitas instrumen (outer model) serta hubungan antar variabel (inner model) dalam satu tahap analisis yang komprehensif (Sarstedt et al., 2021). Kelima, penggunaan SmartPLS sesuai dengan tujuan penelitian yang bersifat prediktif dan eksploratif untuk mengetahui besarnya pengaruh Sistem Digital Quality Control dan Otomatisasi Proses Produksi terhadap Kualitas Produk (Hair et al., 2021).

Evaluasi Model Pengukuran (Outer Model)

Evaluasi outer model dilakukan melalui pengujian convergent validity (dilihat dari nilai loading factor $> 0,70$ dan Average Variance Extracted/AVE $> 0,50$), discriminant validity melalui cross loading, serta uji reliabilitas menggunakan Composite Reliability dan Cronbach's Alpha dengan ambang batas di atas 0,70 (Hair et al., 2021).

Evaluasi Model Struktural (Inner Model)

Evaluasi inner model dilakukan melalui pengujian koefisien determinasi (R^2), effect size (f^2), path coefficient, dan pengujian hipotesis. Nilai R^2 sebesar 0,75 menunjukkan model kuat, 0,50 model moderat, dan 0,25 model lemah (Hair et al., 2021), sedangkan nilai f^2 sebesar 0,02; 0,15; dan 0,35 masing-masing menunjukkan pengaruh kecil, sedang, dan besar. Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan teknik bootstrapping pada SmartPLS dengan kriteria penerimaan hipotesis apabila nilai t-statistic $> 1,96$ dan p-value $< 0,05$.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Data penelitian merupakan data primer yang diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada 91 karyawan PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo yang dipilih menggunakan purposive sampling sesuai kriteria yang telah ditetapkan. Seluruh responden bekerja pada bagian Produksi dan Quality Control, telah menggunakan Sistem Digital Quality

Control dalam aktivitas kerja, serta memiliki masa kerja minimal satu tahun. Data yang terkumpul diolah menggunakan SEM-PLS dengan bantuan SmartPLS 4, meliputi analisis deskriptif karakteristik dan persepsi responden, dilanjutkan dengan evaluasi outer model dan inner model.

Analisis Deskriptif

Karakteristik Responden

Karakteristik responden dikelompokkan berdasarkan jenis kelamin, usia, tingkat pendidikan, bagian kerja, masa kerja, dan jabatan sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Responden (n = 91)

Kategori	Kelompok	Frekuensi	Persentase
Jenis Kelamin	Perempuan	73	80,2%
	Laki-laki	18	19,8%
Usia	< 20 tahun	2	2,2%
	20-25 tahun	48	52,7%
	26-30 tahun	30	33,0%
	> 30 tahun	11	12,1%
Pendidikan Terakhir	SMA/SMK	64	70,3%
	Diploma	4	4,4%
	Sarjana (S1)	23	25,3%
Bagian Kerja	Produksi	55	60,4%
	Quality Control	36	39,6%
Masa Kerja	< 1 tahun	13	14,3%
	1-3 tahun	22	24,2%
	4-6 tahun	39	42,9%
	> 6 tahun	17	18,7%
Jabatan	Operator	57	62,6%
	ADM	14	15,4%
	Staff	11	12,1%
	Supervisor	9	9,9%

Sumber: Data primer yang diolah (2026).

Mayoritas responden berjenis kelamin perempuan (80,2%), sebuah kondisi yang wajar mengingat PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo bergerak di bidang garment di mana tenaga kerja perempuan umumnya lebih banyak ditempatkan pada bagian produksi maupun quality control karena pekerjaan tersebut membutuhkan ketelitian dan ketekunan. Responden didominasi kelompok usia 20-25 tahun (52,7%) yang tergolong usia produktif dengan kemampuan adaptasi tinggi terhadap teknologi digital, serta berpendidikan SMA/SMK (70,3%), sesuai dengan karakteristik tenaga kerja pada posisi operator di industri manufaktur.

Responden lebih banyak berasal dari bagian Produksi (60,4%) dengan masa kerja mayoritas 4-6 tahun (42,9%) dan menjabat sebagai Operator (62,6%), yang menunjukkan bahwa data diperoleh dari karyawan yang memiliki pengalaman dan keterlibatan langsung dengan Sistem Digital Quality Control maupun Otomatisasi Proses Produksi di perusahaan.

Deskripsi Variabel Penelitian

Interpretasi skor rata-rata jawaban responden menggunakan skala interval sebesar 0,80 yang dihitung dari rentang skor (5-1) dibagi jumlah kategori (5), sehingga diperoleh kategori: 1,00-1,80 (Tidak Baik), 1,81-2,60 (Kurang Baik), 2,61-3,40 (Cukup Baik), 3,41-4,20 (Baik), dan 4,21-5,00 (Sangat Baik) (Sugiyono, 2022). Hasil rekapitulasi tanggapan responden terhadap ketiga variabel penelitian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Skor Rata-Rata Variabel Penelitian

Variabel	Jumlah Indikator	Skor Rata-rata	Kategori
Sistem Digital Quality Control (X1)	7	3,033	Cukup Baik
Otomatisasi Proses Produksi (X2)	7	3,050	Cukup Baik
Kualitas Produk (Y)	6	3,042	Cukup Baik

Sumber: Data primer yang diolah (2026).

iga variabel berada pada kategori Cukup Baik dengan skor rata-rata berkisar antara 3,03 hingga 3,05. Kondisi ini menunjukkan bahwa penerapan Sistem Digital Quality Control dan Otomatisasi Proses Produksi di PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo sudah berjalan, namun masih terdapat ruang untuk peningkatan agar kedua sistem tersebut dapat mendukung Kualitas Produk secara lebih optimal, sejalan dengan temuan defect rate yang masih berada di atas standar toleransi industri.

Analisis Kuantitatif

Model Pengukuran (Outer Model)

Pengujian convergent validity dilakukan dengan melihat nilai factor loading setiap indikator, di mana nilai loading dinyatakan valid apabila lebih besar dari 0,70 (Ghozali, 2021). Tabel 5 menunjukkan bahwa seluruh indikator pada ketiga variabel penelitian memiliki nilai loading di atas 0,70 (berkisar 0,844-0,946), sehingga seluruh indikator dinyatakan valid dan layak digunakan dalam pengujian model selanjutnya.

Tabel 5. Ringkasan Factor Loading dan Average Variance Extracted (AVE)

Variabel	Rentang Factor Loading	Nilai AVE	Keterangan
Sistem Digital Quality Control (X1)	0,844 - 0,927	0,787	Valid
Otomatisasi Proses Produksi (X2)	0,877 - 0,927	0,809	Valid

Variabel	Rentang Factor Loading	Nilai AVE	Keterangan
Kualitas Produk (Y)	0,880 - 0,946	0,829	Valid

Sumber: Data primer yang diolah dengan SmartPLS 4 (2026).

Seluruh nilai Average Variance Extracted (AVE) pada Tabel 5 berada di atas ambang batas minimum 0,50 (Toyo et al., 2024), yang berarti masing-masing variabel mampu menjelaskan lebih dari 50% varians indikator pembentuknya. Pengujian discriminant validity melalui cross loading juga menunjukkan bahwa setiap indikator memiliki nilai loading tertinggi pada konstruksya sendiri dibandingkan konstruk lain, sehingga validitas diskriminan telah terpenuhi (Ghozali, 2021).

Uji reliabilitas dilakukan menggunakan nilai Composite Reliability dan Cronbach's Alpha, dengan ambang batas reliabel di atas 0,70 (Ghozali, 2021). Tabel 6 menunjukkan bahwa Sistem Digital Quality Control memiliki Cronbach's Alpha 0,955 dan Composite Reliability 0,963; Otomatisasi Proses Produksi memiliki Cronbach's Alpha 0,961 dan Composite Reliability 0,967; sedangkan Kualitas Produk memiliki Cronbach's Alpha 0,959 dan Composite Reliability 0,967. Seluruh nilai tersebut jauh di atas ambang minimum sehingga instrumen penelitian dinyatakan memiliki konsistensi internal yang sangat baik dan layak digunakan untuk pengujian model struktural.

Tabel 6. Composite Reliability dan Cronbach's Alpha

Variabel	Cronbach's Alpha	Composite Reliability	Keterangan
Sistem Digital Quality Control (X1)	0,955	0,963	Reliabel
Otomatisasi Proses Produksi (X2)	0,961	0,967	Reliabel
Kualitas Produk (Y)	0,959	0,967	Reliabel

Sumber: Data primer yang diolah dengan SmartPLS 4 (2026).

Model Struktural (Inner Model)

Pengujian R-Square menunjukkan bahwa Sistem Digital Quality Control dan Otomatisasi Proses Produksi mampu menjelaskan variasi Kualitas Produk sebesar 0,645 atau 64,5%, sedangkan sisanya sebesar 35,5% dipengaruhi oleh faktor lain di luar model penelitian. Nilai tersebut tergolong kategori moderat menurut kriteria Hair et al. (2021). Hasil pengujian f-Square menunjukkan bahwa Sistem Digital Quality Control memberikan pengaruh sebesar 0,143 (mendekati kategori sedang), sedangkan Otomatisasi Proses Produksi memberikan pengaruh sebesar 0,849 (kategori besar), yang mengindikasikan bahwa Otomatisasi Proses Produksi memiliki kontribusi yang lebih dominan terhadap Kualitas Produk.

Tabel 7. Koefisien Determinasi (R^2) dan Effect Size (f^2)

Variabel Dependen	R Square	Kategori	f^2 (X1)	f^2 (X2)
Kualitas Produk (Y)	0,645	Moderat	0,143	0,849

Sumber: Data primer yang diolah dengan SmartPLS 4 (2026).

Hasil path coefficient menunjukkan koefisien jalur Sistem Digital Quality Control terhadap Kualitas Produk sebesar 0,262 dan Otomatisasi Proses Produksi terhadap Kualitas Produk sebesar 0,639, keduanya bernilai positif sehingga peningkatan penerapan kedua variabel akan diikuti peningkatan Kualitas Produk. Pengujian hipotesis dilakukan melalui teknik bootstrapping dengan kriteria t-statistic $> 1,96$ dan p-value $< 0,05$ (Rahayu et al., 2025). Hasil pengujian hipotesis disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Hipotesis (Path Coefficient dan Bootstrapping)

Hubungan Antar Variabel	Original Sample	T-Statistics	P-Values	Keterangan
Sistem Digital Quality Control (X1) → Kualitas Produk (Y)	0,262	3,126	0,002	H1 Diterima
Otomatisasi Proses Produksi (X2) → Kualitas Produk (Y)	0,639	9,810	0,000	H2 Diterima

Sumber: Data primer yang diolah dengan SmartPLS 4 (2026).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa Sistem Digital Quality Control berpengaruh positif dan signifikan terhadap Kualitas Produk (t-statistic $3,126 > 1,96$; p-value $0,002 < 0,05$), sehingga H1 diterima. Otomatisasi Proses Produksi juga berpengaruh positif dan signifikan terhadap Kualitas Produk (t-statistic $9,810 > 1,96$; p-value $0,000 < 0,05$), sehingga H2 diterima. Mengingat nilai R-Square sebesar 0,645 menunjukkan bahwa kedua variabel independen secara bersama-sama menjelaskan proporsi yang cukup besar dari variasi Kualitas Produk, serta kedua koefisien jalur bernilai positif dan signifikan, maka H3 yang menyatakan Sistem Digital Quality Control dan Otomatisasi Proses Produksi secara simultan berpengaruh positif dan signifikan terhadap Kualitas Produk juga diterima. Nilai koefisien jalur Otomatisasi Proses Produksi yang lebih besar dibandingkan Sistem Digital Quality Control menunjukkan bahwa variabel tersebut merupakan prediktor yang paling dominan terhadap peningkatan Kualitas Produk pada PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo.

Pembahasan

Validitas dan reliabilitas instrumen dievaluasi terlebih dahulu sebelum pengujian model struktural, karena keduanya merupakan syarat utama agar hasil pengujian inner model dapat dipercaya dan dijadikan dasar penarikan kesimpulan (Akbar & Zahfa, 2025). Setelah validitas dan reliabilitas terpenuhi, pengujian pengaruh antar variabel dilakukan melalui bootstrapping

untuk memperoleh nilai t-statistic dan p-value sebagai dasar penerimaan hipotesis. Hasil pengujian kemudian diinterpretasikan dan dibandingkan dengan teori serta temuan penelitian sebelumnya untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai fenomena yang diteliti.

Pengaruh Sistem Digital Quality Control terhadap Kualitas Produk

Hasil pengujian hipotesis pertama menunjukkan bahwa Sistem Digital Quality Control berpengaruh positif dan signifikan terhadap Kualitas Produk pada PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo, sehingga H1 diterima. Temuan ini menunjukkan bahwa semakin baik penerapan Sistem Digital Quality Control, semakin baik pula kualitas produk yang dihasilkan perusahaan. Sistem Digital Quality Control memungkinkan pengendalian kualitas dilakukan secara lebih efektif melalui pencatatan data inspeksi secara digital, pemantauan kualitas secara real-time, serta penyimpanan data yang lebih akurat dan mudah diakses, sehingga perusahaan dapat mendeteksi produk yang tidak sesuai standar sejak tahap awal produksi dan melakukan tindakan perbaikan dengan lebih cepat.

Meskipun demikian, nilai koefisien jalur Sistem Digital Quality Control (0,262) masih lebih rendah dibandingkan Otomatisasi Proses Produksi (0,639), yang mengindikasikan bahwa sistem digital berperan sebagai sistem pengawasan dan pengendalian mutu yang mendukung kualitas produk, namun peningkatan kualitas produk juga sangat dipengaruhi oleh efektivitas proses produksi itu sendiri. Hasil penelitian ini sejalan dengan Chen et al. (2025) yang menyatakan bahwa penerapan teknologi digital dalam sistem manufaktur mampu meningkatkan efektivitas monitoring kualitas produk serta membantu perusahaan mengidentifikasi produk cacat secara lebih cepat dan akurat. Temuan ini juga mendukung Sony et al. (2020) yang menjelaskan bahwa penerapan teknologi digital pada sistem pengendalian kualitas merupakan salah satu karakteristik penting implementasi Industri 4.0, yang memungkinkan perusahaan memperoleh data lebih akurat, meningkatkan transparansi proses produksi, serta mempercepat pengambilan keputusan dalam pengawasan kualitas.

Pengaruh Otomatisasi Proses Produksi terhadap Kualitas Produk

Hasil pengujian hipotesis kedua menunjukkan bahwa Otomatisasi Proses Produksi berpengaruh positif dan signifikan terhadap Kualitas Produk, sehingga H2 diterima. Semakin tinggi tingkat penerapan Otomatisasi Proses Produksi, semakin tinggi pula kualitas produk yang dihasilkan PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo. Otomatisasi meningkatkan konsistensi pelaksanaan setiap tahapan produksi karena sebagian besar pekerjaan dilakukan menggunakan mesin dan sistem yang telah diprogram sesuai standar operasional, sehingga

mengurangi variasi hasil produksi, meminimalkan human error, serta meningkatkan ketelitian dan ketepatan proses produksi.

Nilai koefisien jalur Otomatisasi Proses Produksi (0,639) dan f-Square sebesar 0,849 menunjukkan bahwa variabel ini merupakan prediktor paling dominan terhadap Kualitas Produk dalam penelitian ini. Temuan ini konsisten dengan Papavasileiou et al. (2024) yang menunjukkan bahwa penerapan robotika dan sistem otomatis dalam proses produksi dapat meningkatkan konsistensi proses kerja, mengurangi kesalahan manusia, serta meningkatkan efektivitas quality control dalam industri manufaktur. Hasil ini juga mendukung teori Groover (2016) bahwa otomatisasi bertujuan meningkatkan efisiensi produksi dan konsistensi kualitas produk yang dihasilkan.

Pengaruh Sistem Digital Quality Control dan Otomatisasi Proses Produksi terhadap Kualitas Produk

Hasil pengujian menunjukkan bahwa Sistem Digital Quality Control dan Otomatisasi Proses Produksi secara bersama-sama mampu menjelaskan 64,5% variasi Kualitas Produk (H_3 diterima). Kedua variabel bersifat saling melengkapi: Sistem Digital Quality Control memungkinkan data kualitas produk dipantau secara real-time, sedangkan Otomatisasi Proses Produksi membantu menjaga stabilitas proses produksi sehingga potensi cacat produk dapat diminimalkan. Kondisi ini menunjukkan bahwa integrasi kedua sistem tersebut memungkinkan perusahaan melakukan pengendalian kualitas secara lebih efektif dan efisien dibandingkan penerapan salah satu sistem saja.

Temuan ini sejalan dengan Papavasileiou et al. (2024) yang menjelaskan bahwa keberhasilan implementasi teknologi digital dalam industri manufaktur tidak hanya bergantung pada penggunaan sistem pengendalian kualitas atau otomatisasi secara terpisah, tetapi juga pada integrasi keduanya dalam mendukung proses produksi yang lebih efektif dan efisien. Hasil ini juga memperkuat teori Manajemen Operasi yang dikemukakan Heizer et al. (2020), yang menyatakan bahwa penerapan teknologi dalam pengendalian kualitas dan proses produksi merupakan bagian penting pengelolaan operasi untuk menghasilkan produk yang memenuhi standar kualitas sekaligus meningkatkan efisiensi dan daya saing perusahaan. Dengan demikian, PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo perlu terus mengoptimalkan kedua sistem tersebut secara terpadu, dengan prioritas pada pengembangan otomatisasi proses produksi mengingat kontribusinya yang paling dominan, tanpa mengabaikan penguatan Sistem Digital Quality Control sebagai instrumen pengawasan mutu yang berkelanjutan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis data menggunakan Structural Equation Modeling-Partial Least Squares (SEM-PLS) melalui SmartPLS 4, dapat disimpulkan bahwa Sistem Digital Quality Control berpengaruh positif dan signifikan terhadap Kualitas Produk pada PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo, yang menunjukkan bahwa penerapan sistem digital dalam pencatatan, pemantauan, dan evaluasi kualitas mampu mendukung peningkatan kualitas produk. Otomatisasi Proses Produksi juga terbukti berpengaruh positif dan signifikan terhadap Kualitas Produk, mengindikasikan bahwa penerapan otomatisasi mampu meningkatkan konsistensi proses kerja dan mengurangi kesalahan yang disebabkan faktor manusia. Selain itu, kedua variabel tersebut secara bersama-sama memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan Kualitas Produk dengan kemampuan menjelaskan 64,5% variasinya, di mana Otomatisasi Proses Produksi menunjukkan kontribusi yang lebih dominan dibandingkan Sistem Digital Quality Control.

Temuan ini mengandung implikasi bahwa peningkatan kualitas produk pada industri garment tidak cukup hanya mengandalkan sistem pengendalian mutu berbasis digital, tetapi juga memerlukan penguatan otomatisasi pada proses produksi itu sendiri agar konsistensi hasil produksi dapat terjaga. Perusahaan disarankan untuk terus mengoptimalkan penerapan Sistem Digital Quality Control dan Otomatisasi Proses Produksi melalui peningkatan integrasi sistem, pembaruan teknologi secara berkala, pemeliharaan mesin, serta pelatihan berkelanjutan bagi karyawan dan operator. Mengingat Otomatisasi Proses Produksi merupakan variabel dengan pengaruh paling besar, perusahaan perlu memprioritaskan pengembangannya untuk menekan produk cacat dan meningkatkan efisiensi proses, tanpa mengabaikan penguatan integrasi antara kedua sistem agar pengambilan keputusan menjadi lebih cepat dan kualitas produk tetap konsisten sesuai standar perusahaan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada cakupan objek yang hanya mencakup satu perusahaan garment serta model yang hanya melibatkan dua variabel independen, sehingga generalisasi hasil penelitian perlu dilakukan secara hati-hati. Peneliti selanjutnya disarankan untuk mengembangkan penelitian ini dengan menambahkan variabel lain yang berpotensi memengaruhi Kualitas Produk, seperti kompetensi sumber daya manusia, budaya kualitas, pemeliharaan mesin, maupun inovasi teknologi, serta memperluas objek penelitian pada sektor industri yang berbeda dan mempertimbangkan penggunaan variabel mediasi atau moderasi agar hasil penelitian memiliki tingkat generalisasi dan kedalaman analisis yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT TMNC Manufacturing International Ngadirojo atas kesempatan pelaksanaan penelitian serta data dan informasi yang diberikan, kepada Universitas Duta Bangsa Surakarta atas dukungan akademik selama proses penelitian, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu proses pengumpulan data dan penyusunan naskah ini. Artikel ini merupakan bagian dari skripsi penulis pada Program Studi Manajemen, Fakultas Hukum dan Bisnis, Universitas Duta Bangsa Surakarta.

DAFTAR REFERENSI

- Akbar, A., & Zahfa, F. (2025). Validitas dan reliabilitas instrumen penelitian. *Jurnal Intelek Insan Cendikia*, 2(5), 8781–8787.
- Chen, Y., Liu, H., & Zhang, T. (2025). Digital 4.0 technologies for quality optimization in manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- Dutta, G., Kumar, R., Sindhwani, R., & Singh, R. K. (2021). Digitalization priorities of quality control processes for SMEs: A conceptual study in perspective of Industry 4.0 adoption. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(6), 1679–1698. <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01783-2>
- Garvin, D. A. (1987). *Competing on the eight dimensions of quality*. Harvard Business School Press.
- Ghozali, I. (2021). *Partial least squares: Konsep, teknik dan aplikasi menggunakan program SmartPLS 3.2.9* (3rd ed.). Universitas Diponegoro.
- Glock, R. E., & Kunz, G. I. (2005). *Apparel manufacturing: Sewn product analysis*. Prentice Hall.
- Groover, M. P. (2016). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Pearson Education.
- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2021). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (3rd ed.). Sage Publications.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations management: Sustainability and supply chain management* (13th ed.). Pearson Education.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Industrial revolution 4.0 and its applications in manufacturing sectors. *Materials Today: Proceedings*.
- Kusuma, H., & Hidayat, T. (2021). Pengaruh otomatisasi proses produksi terhadap kualitas produk. *Jurnal Manajemen Industri*.
- Nugroho, A., Santoso, B., & Prasetyo, D. (2022). Pengaruh otomatisasi produksi terhadap efisiensi dan kualitas produk. *Jurnal Teknik Industri*.
- Papavasileiou, A., Michalos, G., & Makris, S. (2024). Quality control in manufacturing: Review and challenges on robotic applications. *Procedia Manufacturing*.
- Pratama, R., Wijaya, S., & Firmansyah, A. (2022). Analisis otomatisasi produksi dalam meningkatkan efisiensi operasional. *Jurnal Teknik Industri*.

- Rahayu, E. P., Rahmawati, E. D., & Gunaningrat, R. (2025). Pengaruh promosi penjualan terhadap keputusan pembelian dengan citra merek sebagai variabel intervening. *Jurnal Bisnis Manajemen dan Akuntansi (BISMAK)*, 5(1), 16–29.
- Sari, D., & Nugroho, A. (2023). Implementasi digital quality control dalam industri manufaktur. *Jurnal Sistem Industri*.
- Sarstedt, M., Ringle, C. M., & Hair, J. F. (2021). Partial least squares structural equation modeling. In C. Homburg, M. Klarmann, & A. Vomberg (Eds.), *Handbook of market research* (pp. 587–632). Springer.
- Sony, M., Antony, J., & Naik, S. (2020). Key ingredients for the implementation of Quality 4.0: A narrative review. *Total Quality Management & Business Excellence*.
- Sugiyono. (2022). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Toyo, E. M., Nazasyayidina, A., Indrasari, F., Rustaman, H., Wicaksono, A., & Huda, N. (2024). Menggunakan metode hot fit di rumah sakit jiwa daerah Dr. Amino Gondohutomo Semarang.
- Wibowo, A., & Rahman, F. (2024). Penerapan sistem digital dalam pengendalian kualitas produk. *Jurnal Manajemen Teknologi*.