Mekar: Jurnal Dinamika Manajemen dan Akuntansi Modern
Volume: 1, Nomor: 3, (2026), September: 752 - 761
Website: https://ejournal.ojs-lppm.com/index.php/Mekar/article/view/322
E-ISSN: 3124-890X

Peran Human Machine Collaboration Dalam Memediasi Pengaruh Kompetensi Digital Operator Terhadap Efektivitas Penggunaan Mesin Thermal Ink Jet (TIJ) Pada Proses Produksi di Sidoarjo

Selly Setya Agustin [1], Ari Susanto [2]
Program Studi Manajemen, Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Mahardhika Surabaya, Indonesia [1,2]
Corresponding Author: *sellysetyaagustin@gmail.com[1*], arisusanto@stiemahardhika.ac.id[2]*

Info Artikel
Received: *05 Juni 2026*
Revised : *16 Juni 2026*
Accepted: *24 Juni 2026*
Published: *07 Juli 2026*

Keywords: *digital competency, human-machine collaboration, thermal ink jet, production effectiveness, smart manufacturing.*

Abstract
The rapid advancement of digital technologies in the manufacturing sector has encouraged companies to adopt automated systems to enhance operational performance and production efficiency. In the pharmaceutical industry, one of the technologies widely implemented is the Thermal Ink Jet (TIJ) machine, which is utilized to automatically print essential product information on packaging materials. Although the use of this technology contributes to improved accuracy and faster production processes, its effectiveness largely depends on operators' ability to utilize digital technologies and the quality of collaboration established between humans and machines. This study aims to investigate the influence of operators' digital competency on the effectiveness of Thermal Ink Jet (TIJ) machine utilization and to examine the mediating role of Human-Machine Collaboration. A quantitative research approach was employed using a survey method involving 32 production and packaging operators who directly operate TIJ machines in a pharmaceutical manufacturing company located in Sidoarjo, Indonesia. Data were collected through a Likert-scale questionnaire and analyzed using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) and Smart Partial Least Squares (SmartPLS). The findings indicate that operators' digital competency positively influences Human-Machine Collaboration. Furthermore, Human-Machine Collaboration has a positive and significant effect on the effectiveness of TIJ machine utilization. The mediation analysis reveals that Human-Machine Collaboration serves as an important intermediary mechanism that strengthens the relationship between digital competency and machine utilization effectiveness. These findings suggest that efforts to improve digital competency should be accompanied by strategies that foster stronger collaboration between operators and technology in order to support more effective and sustainable smart manufacturing practices.

Kata Kunci*:* kompetensi digital, *human-machine collaboration*, *thermal ink jet*, efektivitas produksi, smart manufacturing.

Abstrak
Perkembangan teknologi digital dalam sektor manufaktur telah mendorong perusahaan untuk mengintegrasikan sistem otomatisasi guna meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses produksi. Salah satu teknologi yang banyak digunakan pada industri farmasi adalah mesin *Thermal Ink Jet (TIJ)* yang berfungsi untuk mencetak informasi produk secara otomatis pada kemasan. Meskipun teknologi tersebut mampu mendukung akurasi dan kecepatan proses produksi, keberhasilannya tetap dipengaruhi oleh kemampuan operator dalam memanfaatkan teknologi digital serta kualitas interaksi yang terjalin antara manusia dan mesin.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kompetensi digital operator terhadap efektivitas penggunaan mesin *Thermal Ink Jet (TIJ)* serta menguji peran *Human-Machine Collaboration* sebagai variabel mediasi. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode survei terhadap 32 operator produksi dan packing yang terlibat langsung dalam pengoperasian mesin TIJ pada industri manufaktur farmasi di Sidoarjo. Pengumpulan data dilakukan melalui penyebaran kuesioner berbasis skala *Likert* dan dianalisis menggunakan *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)* serta *Smart Partial Least Squares (SmartPLS)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kompetensi digital operator berpengaruh positif terhadap *Human-Machine Collaboration*. Selain itu, *Human-Machine Collaboration* terbukti memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap efektivitas penggunaan mesin TIJ. Analisis mediasi menunjukkan bahwa *Human-Machine Collaboration* berperan sebagai mediator yang memperkuat hubungan antara kompetensi digital operator dan efektivitas penggunaan mesin TIJ. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan kompetensi digital perlu diimbangi dengan penguatan kolaborasi antara manusia dan teknologi guna mendukung implementasi *smart manufacturing* yang lebih efektif dan berkelanjutan.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.
Publisher: Lembaga Penerbit Penelitian Multidisipliner

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah mengubah cara perusahaan manufaktur menjalankan aktivitas operasionalnya. Dalam industri farmasi, pemanfaatan teknologi digital memiliki peran yang semakin penting karena setiap tahapan produksi harus memenuhi standar kualitas yang ketat serta mampu menjamin keamanan produk yang diterima oleh konsumen. Salah satu teknologi yang banyak digunakan untuk mendukung proses tersebut adalah mesin *Thermal Ink Jet (TIJ)* yang berfungsi mencetak informasi penting pada kemasan produk, seperti nomor batch, tanggal produksi, dan tanggal kedaluwarsa.

Pemanfaatan mesin TIJ memberikan kontribusi terhadap peningkatan kecepatan dan ketepatan proses pencetakan informasi produk. Namun, dalam praktiknya efektivitas penggunaan teknologi tersebut tidak selalu berjalan sesuai harapan. Masih ditemukan berbagai kendala operasional, seperti kesalahan pengaturan parameter mesin, ketidaksesuaian hasil pencetakan, maupun keterlambatan penanganan ketika sistem mengalami gangguan. Kondisi ini menunjukkan bahwa keberhasilan penggunaan teknologi tidak hanya ditentukan oleh kemampuan teknis perangkat yang digunakan, tetapi juga dipengaruhi oleh kemampuan operator dalam memahami serta mengelola teknologi tersebut secara optimal. Oleh karena itu, aspek kompetensi digital menjadi salah satu faktor

yang perlu diperhatikan dalam mendukung keberhasilan implementasi teknologi pada lingkungan produksi.

Proses kerja kini bukan lagi sekadar serangkaian aktivitas yang diotomisasi, melainkan ekosistem kolaboratif yang mengintegrasikan kecerdasan manusia dan mesin. Sebagaimana dinyatakan oleh (P.Daugherty & Wilson, 2022) masa depan produktivitas tidak lagi bergantung pada siapa yang lebih cepat manusia atau mesin melainkan pada seberapa efektif keduanya dapat bekerja bersama dalam menciptakan nilai baru.

Nicolaus (2025) menyimpulkan bahwa kompetensi digital merupakan sebuah kemampuan yang diperlukan untuk menguasai dan memanfaatkan teknologi digital dalam berbagai aspek kehidupan. Kompetensi digital sangat penting di era informasi saat ini, karena dapat membantu individu dan organisasi untuk beradaptasi, berinovasi, dan bersaing. Variabel kompetensi digital mencakup berbagai aspek, menurut Czeglédi & Juhász (2020) kompetensi digital mencakup manajemen informasi, komunikasi, konten digital, pengetahuan keamanan, dan penggunaan alat digital secara mandiri yang semuanya berkontribusi pada kemampuan individu untuk menyelesaikan tugas dengan lebih cepat dan akurat. Salah satu faktor yang dapat berpengaruh dari dampak baik buruknya kompetensi digital adalah efektivitas kerja karyawan.

Beberapa penelitian lainnya telah menunjukkan bahwa kompetensi digital memiliki hubungan positif dan signifikan dengan produktivitas kerja. Ashdaq & Mandasari (2022) menemukan bahwa kompetensi digital sumber daya manusia (SDM) berpengaruh positif dan signifikan terhadap efektivitas kerja pada institusi publik. Hal ini menunjukkan bahwa SDM yang memiliki kompetensi digital yang tinggi dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil kerja mereka. Menurut penelitian dari Bancin (2022) dan juga Choirinisa (2022) kompetensi digital karyawan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang relevan seperti pola pikir, komitmen perusahaan, penguasaan keterampilan digital, sistem dan proses bisnis, serta motivasi dan pemahaman.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengembangkan model yang menempatkan *Human-Machine Collaboration* sebagai variabel mediasi dalam hubungan antara kompetensi digital operator dan efektivitas penggunaan mesin Thermal Ink Jet (TIJ). Pendekatan ini memberikan perspektif yang berbeda dibandingkan penelitian sebelumnya karena tidak hanya melihat pengaruh kompetensi digital secara langsung, tetapi juga menjelaskan bagaimana kualitas interaksi antara operator dan mesin dapat memperkuat pemanfaatan teknologi dalam aktivitas produksi. Selain itu, penelitian ini dilakukan pada industri manufaktur farmasi yang masih relatif jarang menjadi objek kajian dalam penelitian terkait kolaborasi manusia dan teknologi.

Dengan mempertimbangkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menjawab beberapa pertanyaan utama. Pertama, apakah kompetensi digital operator berpengaruh terhadap Human-Machine Collaboration dalam penggunaan mesin Thermal Ink Jet (TIJ). Kedua, apakah kompetensi digital operator berpengaruh terhadap efektivitas penggunaan mesin TIJ. Ketiga, apakah Human-Machine Collaboration berpengaruh terhadap efektivitas penggunaan mesin Thermal Ink Jet (TIJ). Keempat, apakah Human-Machine Collaboration mampu menjadi mekanisme yang menjembatani pengaruh kompetensi digital operator terhadap efektivitas penggunaan mesin TIJ pada proses produksi industri farmasi. Jawaban atas pertanyaan tersebut diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis dalam pengembangan kajian Industri 5.0 serta memberikan masukan praktis bagi perusahaan dalam mengoptimalkan pemanfaatan teknologi digital di lingkungan produksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain eksplanatori untuk menganalisis pengaruh Kompetensi Digital Operator terhadap Efektivitas Penggunaan Mesin TIJ dengan *Human-Machine Collaboration* sebagai variabel mediasi. Penelitian dilaksanakan pada salah satu industri manufaktur farmasi di Sidoarjo yang telah menerapkan mesin TIJ dalam proses produksi dan pengemasan.

Populasi penelitian terdiri atas seluruh operator produksi dan packing yang terlibat langsung dalam pengoperasian mesin TIJ. Teknik pengambilan sampel menggunakan sampling jenuh, sehingga seluruh anggota populasi dijadikan responden. Jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 32 responden. Seluruh responden memiliki pengalaman dalam pengoperasian mesin TIJ sehingga dinilai mampu memberikan informasi yang relevan sesuai dengan tujuan penelitian. Data dikumpulkan melalui penyebaran kuesioner menggunakan skala Likert lima poin. Variabel Kompetensi Digital Operator (X), *Human-Machine Collaboration* (Z), dan Efektivitas Penggunaan Mesin TIJ (Y) masing-masing diukur menggunakan 10 indikator pernyataan.

Analisis data dilakukan dengan bantuan SPSS dan SmartPLS. SPSS digunakan untuk menguji validitas, reliabilitas, statistik deskriptif, korelasi, serta regresi linier. Sementara itu, SmartPLS digunakan untuk menguji model pengukuran (outer model) dan model struktural (inner model), meliputi pengujian *Cronbach's Alpha, nilai R-Square*, *path coefficient*, serta pengujian mediasi melalui metode *bootstrapping*. Hasil analisis digunakan untuk menjelaskan hubungan antarvariabel dan menguji hipotesis penelitian secara empiris.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Validitas dan Reliabilitas

Uji validitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan setiap indikator dalam mengukur konstruk yang diteliti. Pengujian menggunakan korelasi Pearson Product Moment dengan kriteria bahwa indikator dinyatakan valid apabila nilai r-hitung > r-tabel (0,349) pada tingkat signifikansi 5%.

Tabel 1. *Hasil Uji Validitas Ketiga Variabel*

Indikator	r-hitung	r-tabel	Keterangan
X1	0,818	0,349	Valid
X2	0,851	0,349	Valid
X3	0,830	0,349	Valid
X4	0,886	0,349	Valid
X5	0,854	0,349	Valid
X6	0,892	0,349	Valid
X7	0,757	0,349	Valid
X8	0,820	0,349	Valid
X9	0,792	0,349	Valid
X10	0,808	0,349	Valid
Y1	0,747	0,349	Valid
Y2	0,751	0,349	Valid
Y3	0,744	0,349	Valid
Y4	0,874	0,349	Valid
Y5	0,731	0,349	Valid
Y6	0,732	0,349	Valid
Y7	0,873	0,349	Valid
Y8	0,892	0,349	Valid
Y9	0,906	0,349	Valid
Y10	0,907	0,349	Valid

Indikator	r-hitung	r-tabel	Keterangan
Z1	0,857	0,349	Valid
Z2	0,694	0,349	Valid
Z3	0,765	0,349	Valid
Z4	0,819	0,349	Valid
Z5	0,821	0,349	Valid
Z6	0,767	0,349	Valid
Z7	0,861	0,349	Valid
Z8	0,768	0,349	Valid
Z9	0,821	0,349	Valid
Z10	0,734	0,349	Valid

Hasil pengujian validitas menunjukkan bahwa seluruh indikator pada variabel Kompetensi Digital Operator, Human-Machine Collaboration, dan Efektivitas Penggunaan Mesin TIJ memiliki nilai r-hitung yang lebih besar dibandingkan nilai r-tabel sebesar 0,349. Temuan tersebut

mengindikasikan bahwa seluruh item pernyataan mampu merepresentasikan konstruk yang diukur secara memadai. Dengan demikian, seluruh indikator dinyatakan valid dan dapat digunakan dalam tahap analisis berikutnya.

Tabel 2. *Hasil Uji Reliabilitas*

Variabel	Cronbach's Alpha	Standar Alpha	Keterangan
Kompetensi Digital Operator (X)	0,962	0,700	Reliabel
Human-Machine Collaboration (Z)	0,949	0,700	Reliabel
Efektivitas Penggunaan Mesin TIJ (Y)	0,957	0,700	Reliabel

Berdasarkan Tabel 2, seluruh variabel penelitian memiliki nilai Cronbach's Alpha di atas 0,90. Nilai tersebut menunjukkan bahwa instrumen penelitian memiliki tingkat konsistensi internal yang sangat tinggi. Dengan demikian, seluruh indikator yang digunakan mampu menghasilkan data yang stabil dan konsisten dalam mengukur variabel penelitian. Hasil ini menegaskan bahwa instrumen penelitian layak digunakan untuk menguji hubungan antarvariabel dalam model penelitian.

Analisis Deskriptif Variabel Penelitian

Analisis deskriptif dilakukan untuk mengetahui gambaran umum persepsi responden terhadap variabel yang diteliti.

T*abel 3.* *Statistik Deskriptif Variabel Penelitian*

Variabel	Mean
Kompetensi Digital Operator (X)	3,628
Human-Machine Collaboration (Z)	3,838
Efektivitas Penggunaan Mesin TIJ (Y)	3,762

Berdasarkan Tabel 3, seluruh variabel memperoleh nilai rata-rata di atas 3,49 yang menunjukkan bahwa responden memberikan penilaian positif terhadap kompetensi digital, kualitas kolaborasi manusia dan mesin, serta efektivitas penggunaan mesin TIJ. Nilai rata-rata tertinggi ditemukan pada variabel *Human-Machine Collaboration* sebesar 3,84. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa interaksi antara operator dan mesin telah berjalan dengan baik sehingga mampu mendukung aktivitas produksi secara optimal.

Uji Korelasi Pearson

Tabel 4. *Hasil Uji Korelasi Pearson*

Hubungan	r	Sig.
X → Y	0,440	0,012
X → Z	0,674	0,000
Z → Y	0,766	0,000

Hubungan antara Kompetensi Digital Operator dan Human-Machine Collaboration berada pada kategori kuat. Sementara itu, hubungan Human-Machine Collaboration terhadap Efektivitas Penggunaan Mesin TIJ menunjukkan korelasi paling tinggi, sehingga mengindikasikan bahwa efektivitas operasional lebih banyak dipengaruhi oleh kualitas kolaborasi manusia dan teknologi.

Uji Linier Berganda

Tabel 5. *Nilai Koefisien Determinasi*

R	R Square	Adjusted R Square
0,773	0,597	0,570

Nilai R Square sebesar 0,597 menunjukkan bahwa 59,7% variasi efektivitas penggunaan mesin TIJ dapat dijelaskan oleh Kompetensi Digital Operator dan *Human-Machine Collaboration*. Sisanya sebesar 40,3% dipengaruhi oleh faktor lain di luar model penelitian.

Uji F (ANOVA)

Tabel 6. *Hasil Uji F*

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	4,357	2	2,179	21,522	0,00000186
Residual	2,936	29	0,101		
Total	7,293	31			

Nilai F hitung sebesar 21,522 dengan tingkat signifikansi di bawah 0,05 menunjukkan bahwa model penelitian secara simultan mampu menjelaskan hubungan antara variabel independen dan dependen secara signifikan.

Uji T (Coefficients)

Tabel 7. *Hasil Coefficients*

Variabel	B	t	Sig.
Konstanta	0,713	1,419	0,167
Kompetensi Digital (X)	-0,133	-0,884	0,384
Human-Machine Collaboration (Z)	0,921	5,397	0,000

Berdasarkan hasil analisis diperoleh persamaan regresi linier berganda sebagai berikut: *Y=0,713 - 0,133X+ 0,921Z*

Keterangan:

Y = Efektivitas Penggunaan Mesin Thermal Ink Jet (TIJ)

X = Kompetensi Digital Operator

Z = Human-Machine Collaboration

Hasil regresi menunjukkan bahwa Human-Machine Collaboration memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap efektivitas penggunaan mesin TIJ. Sebaliknya, pengaruh langsung Kompetensi Digital Operator tidak signifikan setelah variabel Human-Machine Collaboration dimasukkan ke dalam model.

Temuan ini mengindikasikan bahwa keberhasilan pemanfaatan teknologi produksi tidak hanya ditentukan oleh kemampuan digital individu, tetapi lebih dipengaruhi oleh kemampuan operator dalam membangun interaksi yang efektif dengan teknologi yang digunakan.

Pengujian Hipotesis (Bootstrapping)

Tabel 8. *Pengujian Jalur Pengaruh Langsung*

Hubungan	Path Coefficient	T Statistics	P Values
Kompetensi Digital → Human-Machine Collaboration	0,674	5,122	0,000
Kompetensi Digital → Efektivitas TIJ	0,440	2,668	0,012
Human-Machine Collaboration → Efektivitas TIJ	0,766	6,425	0,000

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh hubungan antarvariabel memiliki nilai T Statistics lebih besar dari 1,96 dan nilai P Values lebih kecil dari 0,05. Dengan demikian seluruh hipotesis penelitian dapat diterima.

Efek tidak langsung sebesar 0,516 (0,674×0,766) menunjukkan bahwa *Human-Machine Collaboration* memediasi hubungan antara Kompetensi Digital Operator dan Efektivitas Penggunaan Mesin TIJ. Selain itu, ketika variabel mediasi dimasukkan ke model regresi, pengaruh langsung Kompetensi Digital menjadi tidak signifikan (p = 0,384).

Hasil Hipotesis

Tabel 9. *Ringkasan Hipotesis*

Hipotesis	Pernyataan	Hasil
H1	Kompetensi Digital Operator berpengaruh positif terhadap Human-Machine Collaboration	Diterima
H2	Kompetensi Digital Operator berpengaruh positif terhadap Efektivitas Penggunaan Mesin TIJ	Diterima
H3	Human-Machine Collaboration berpengaruh positif terhadap Efektivitas Penggunaan Mesin TIJ	Diterima
H4	Human-Machine Collaboration memediasi pengaruh Kompetensi Digital Operator terhadap Efektivitas Penggunaan Mesin TIJ	Diterima

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengujian peran *Human-Machine Collaboration* sebagai variabel mediasi dalam hubungan antara Kompetensi Digital Operator dan Efektivitas Penggunaan Mesin TIJ pada industri manufaktur farmasi. Model tersebut belum banyak dikaji pada penelitian sebelumnya yang umumnya hanya menitikberatkan pada pengaruh langsung kompetensi digital terhadap kinerja. Temuan ini menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi teknologi produksi lebih ditentukan oleh kualitas kolaborasi antara operator dan mesin dibandingkan oleh kompetensi digital secara langsung, sehingga memberikan perspektif baru dalam pengembangan konsep smart manufacturing dan Industri 5.0.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa Kompetensi Digital Operator berpengaruh positif terhadap *Human-Machine Collaboration,* sedangkan *Human-Machine Collaboration* berpengaruh positif dan signifikan terhadap Efektivitas Penggunaan Mesin *Thermal Ink Jet* (TIJ). Namun, pengaruh langsung Kompetensi Digital Operator terhadap efektivitas penggunaan mesin tidak signifikan setelah variabel mediasi dimasukkan ke dalam model.

Hasil penelitian juga membuktikan bahwa Human-Machine Collaboration berperan sebagai variabel mediasi yang memperkuat hubungan antara Kompetensi Digital Operator dan Efektivitas Penggunaan Mesin TIJ. Selain itu, kedua variabel mampu menjelaskan 59,7% variasi efektivitas penggunaan mesin.

Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan efektivitas penggunaan mesin TIJ tidak hanya bergantung pada kompetensi digital operator, tetapi juga pada kemampuan membangun kolaborasi yang efektif antara manusia dan teknologi. Penelitian ini memberikan kontribusi baru dengan menegaskan pentingnya *Human-Machine Collaboration* sebagai faktor kunci dalam mendukung implementasi smart manufacturing di industri manufaktur farmasi.

DAFTAR PUSTAKA

Al Faridzi, M. A. (2024). *Pengaruh kompetensi digital terhadap produktivitas kerja dengan self-efficacy sebagai variabel intervening pada karyawan generasi Z di Kota Malang* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).

Bancin, B. (2022). Pengaruh Kompetensi, Transformas Digital Dan Pembaruan Keterampilan Terhadap Kinerja Pegawai Pada Dinas Sumber Daya Air, Cipta Karya Dan Tata Ruang Provinsi Sumatera Utara. Tesis Magister Manajemen Universitas Sumatera Utara.

Choirinisa, A. A. (2022). Pengaruh Penggunaan Aplikasi Digital Terhadap Efektivitas Kerja Pegawai. Transekonomika: Akuntansi, Bisnis Dan Keuangan, 2(5). Https://Doi.Org/10.55047/Transekonomika.V2i5.239

Christiani, N., Ciptaningsih, E. M. S. S., & Kurniawan, D. (2026). *HUMAN & MACHINE Kolaborasi Cerdas dalam Manajemen Bisnis Modern*. PT KIMHSAFI ALUNG CIPTA.

Nicolaus Nong Wilfrid Wada, N. N. W. W. (2025). *Peran Kompetensi Digital Dalam Memediasi Pengaruh Kualitas Sistem Dan Kualitas Layanan Terhadap Kinerja Pegawai di KSOP Laurentius Say Maumere* (Doctoral dissertation, Stiamak Barunawati Surabaya).

Saputro, E. P. (2024). Kolaborasi Manusia Dan Sumber Daya Robotik Menuju Masa Depan Manufaktur Berkelanjutan Industri 5.0. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, *4*(1), 2504-2516.