

HAMBATAN ADMINISTRATIF DAN OPERASIONAL DARI ADOPSI TEKNOLOGI CETAK 3D PADA SEKTOR UMKM

Didit Darmawan¹, Ahmad Rafi Faisal Izyan², Panji Prima Rosuli³, Mochamad Saleh⁴, Syaiful Anwar⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Sunan Giri, Surabaya, Indonesia

dr.diditdarmawan@gmail.com

Abstrak: Manufaktur aditif atau pencetakan 3D menawarkan peluang bagi usaha kecil dan menengah (UKM) dalam produksi skala kecil dan kustomisasi massal. Namun, tingkat adopsi di kalangan UKM di negara-negara berkembang masih rendah. Studi literatur kualitatif ini mengkaji hambatan administratif dan operasional yang membatasi penerapan teknologi pencetakan 3D oleh UKM. Hambatan administratif meliputi ketidakhadiran standar produk, prosedur impor yang rumit untuk mesin dan bahan baku, serta perlindungan hak kekayaan intelektual yang lemah untuk file desain digital. Hambatan operasional mencakup kekurangan tenaga kerja terampil, pasokan bahan baku yang sulit, biaya pemeliharaan yang tinggi, ketidakcocokan kapasitas produksi, pengetahuan yang terbatas tentang optimasi desain, dan akses yang terbatas ke platform e-commerce. Kendala keuangan dan ketimpangan geografis semakin memperparah masalah-masalah ini. Model kebijakan yang berhasil dari Jerman dan Singapura memberikan pelajaran untuk perancangan intervensi. Pendekatan terkoordinasi antar kementerian diperlukan untuk mengatasi hambatan-hambatan yang saling terkait ini.

Kata Kunci: manufaktur aditif, pencetakan 3D, UMKM, hambatan administratif, hambatan operasional.

1. Pendahuluan

Teknologi pencetakan tiga dimensi atau *additive manufacturing* berkembang pesat dalam dua dekade terakhir dan mulai merambah sektor industri manufaktur skala kecil dan menengah (Arora *et al.*, 2024). Proses produksi ini membangun objek lapis demi lapis dari material seperti plastik, resin, logam, atau keramik berdasarkan desain digital. Berbeda dengan metode manufaktur konvensional yang bersifat subtraktif, teknologi ini hanya menggunakan material sesuai volume objek sehingga menghasilkan limbah yang sangat minimal. Fleksibilitas desain yang tinggi memungkinkan pembuatan geometri kompleks yang sulit atau bahkan tidak mungkin dikerjakan dengan mesin konvensional (Mahapatra *et al.*, 2024). UMKM di negara maju telah memanfaatkan teknologi ini untuk produksi komponen pengganti, prototipe cepat, dan produk akhir dengan volume rendah. Namun adopsi teknologi ini di kalangan UMKM di negara berkembang seperti Indonesia masih sangat terbatas. Berbagai faktor penghambat muncul baik dari sisi administratif maupun operasional yang bersifat spesifik bagi sektor usaha kecil. Pemahaman tentang hambatan ini penting untuk merumuskan intervensi kebijakan yang tepat sasaran. Kondisi transisi struktural ini mencerminkan bagaimana dinamika modernisasi layanan industri global kini sangat dipengaruhi oleh transformasi pelayanan berbasis teknologi digital (Essa *et al.*, 2024).

Sektor UMKM memiliki karakteristik yang berbeda dengan perusahaan besar dalam hal sumber daya, struktur organisasi, dan akses ke pembiayaan (Shouyu, 2017). Keterbatasan modal menjadi faktor utama yang membedakan UMKM dari korporasi besar dalam adopsi

teknologi baru. Investasi awal untuk membeli mesin cetak 3D berkualitas industri dapat mencapai ratusan juta rupiah tergantung pada ukuran dan material yang didukung (Markova *et al.*, 2025). Selain biaya perangkat keras, UMKM juga harus menganggarkan biaya untuk perangkat lunak desain, pelatihan operator, serta bahan baku yang harganya masih relatif mahal. Pola pikir pemilik UMKM yang cenderung *risk averse* atau menghindari risiko juga mempengaruhi keputusan investasi teknologi. Pengembalian investasi yang tidak pasti dan waktu yang lama untuk mencapai titik impas membuat banyak pemilik usaha ragu untuk mengambil langkah. Skala produksi UMKM yang kecil sering tidak dapat mencapai volume yang cukup untuk menutup biaya investasi teknologi cetak 3D. Kondisi ini menciptakan lingkaran setan dimana rendahnya adopsi menyebabkan teknologi tetap mahal karena tidak ada skala ekonomi (Moagar-Poladian & Doicin, 2021). Rantai hambatan finansial tersebut mempertegas urgensi penguatan stabilitas ekonomi wilayah yang mesti ditopang melalui penyediaan perlindungan hukum yang efektif dan berkeadilan bagi keberlangsungan sektor mikro, kecil, dan menengah (Hardyansah & Putra, 2023).

Hambatan administratif muncul dari sistem perizinan dan regulasi yang belum mengakomodasi teknologi baru ini dengan baik. Produk yang dihasilkan dari pencetakan 3D sering tidak memiliki standar nasional yang jelas untuk pengujian kualitas dan keamanan. Untuk UMKM yang memproduksi komponen mesin atau peralatan medis, sertifikasi produk menjadi keharusan yang sangat sulit dipenuhi. Proses sertifikasi yang panjang dan mahal dirancang untuk produksi massal konvensional, bukan untuk produksi volume rendah dengan desain yang sering berubah. Badan standardisasi nasional belum mengeluarkan pedoman khusus tentang prosedur pengujian material cetak 3D untuk berbagai keperluan. Kekosongan regulasi ini berdampak langsung pada lemahnya akuntabilitas lingkungan yang semestinya dikawal secara ketat melalui penegakan etika bisnis yang terintegrasi (Darmawan, 2022). Aspek kekayaan intelektual juga menjadi masalah karena desain digital mudah disalin dan didistribusikan tanpa izin. UMKM yang menghabiskan waktu dan biaya untuk mengembangkan desain asli berisiko melihat produk mereka ditiru dengan mudah. Perlindungan hukum atas desain digital masih lemah karena proses penegakan hak cipta yang rumit dan mahal.

Hambatan operasional berkaitan dengan kemampuan teknis dan manajerial UMKM untuk mengoperasikan teknologi cetak 3D. Keterampilan yang diperlukan mencakup pemodelan digital, pengaturan parameter pencetakan, perawatan mesin, serta pasca pemrosesan seperti penghilangan material pendukung. Kurikulum pendidikan vokasi di Indonesia masih jarang yang memasukkan *additive manufacturing* sebagai kompetensi inti. Pelatihan yang tersedia umumnya diselenggarakan oleh penyedia mesin dengan biaya yang cukup mahal untuk UMKM. Lokasi pelatihan yang terkonsentrasi di kota besar menyulitkan UMKM di daerah untuk mengaksesnya. Pergantian operator yang sering terjadi di UMKM karena tingginya mobilitas tenaga kerja menyebabkan investasi pelatihan menjadi tidak efisien. Dokumentasi prosedur operasional yang lengkap dalam bahasa Indonesia juga belum banyak tersedia untuk berbagai jenis mesin cetak 3D. Keterbatasan kemampuan *troubleshooting* ketika mesin mengalami masalah teknis membuat UMKM bergantung pada teknisi luar yang mahal dan lambat datang (Camacho, 2023). Kendala kapabilitas manajerial

dan teknis SDM di lapangan ini menuntut adanya adaptasi sumber daya manusia pemasaran yang persuasif dalam memengaruhi keputusan pelanggan di ruang digital (Darmawan & Hidayat, 2026).

Pemeliharaan dan perbaikan mesin cetak 3D memerlukan ketersediaan suku cadang yang masih sulit didapatkan di Indonesia. Sebagian besar mesin *additive manufacturing* diproduksi oleh perusahaan asing dengan jaringan distribusi dan layanan purna jual yang terbatas. UMKM sering menghadapi waktu tunggu berbulan-bulan untuk mendapatkan komponen pengganti seperti *nozzle*, *heater*, atau sensor. Mesin yang rusak dan tidak segera diperbaiki menyebabkan terhentinya produksi dan hilangnya pendapatan. Biaya pengiriman suku cadang dari luar negeri juga menjadi beban tambahan yang signifikan terutama untuk mesin berukuran besar. Keterbatasan jumlah teknisi yang terlatih di dalam negeri memperpanjang waktu perbaikan. UMKM yang tidak memiliki dana cadangan untuk perbaikan darurat sering memilih untuk menghentikan penggunaan mesin daripada memperbaikinya. Pengalaman buruk dengan waktu henti yang panjang membuat UMKM enggan untuk menambah investasi pada mesin lain. Persepsi bahwa teknologi cetak 3D masih belum matang untuk produksi harian terus bertahan di kalangan pelaku usaha. Skeptisisme pelaku usaha atas keandalan operasional perangkat ini secara tidak langsung berdampak pada penurunan reputasi korporasi di era informasi, sehingga diperlukan solusi taktis yang cepat untuk mengelola dan mempertahankan citra positif di ranah media sosial (Darmawan *et al.*, 2022). Penyelesaian hambatan teknis di lingkungan kerja ini juga sangat krusial dalam membangun pengalaman karyawan yang positif melalui penerapan strategi yang terintegrasi di dalam organisasi modern (Sinambela & Hariani, 2021).

Permasalahan utama dalam adopsi teknologi cetak 3D oleh UMKM adalah ketidaksesuaian antara model bisnis konvensional dengan karakteristik produksi digital. UMKM terbiasa dengan model produksi yang mengutamakan volume besar untuk menekan biaya per unit. Teknologi cetak 3D justru unggul dalam produksi volume rendah dengan variasi desain yang tinggi. Perbedaan fundamental ini memerlukan perubahan pola pikir tentang penetapan harga dan segmentasi pasar. UMKM yang berhasil mengadopsi teknologi ini biasanya beralih dari model *make to stock* menjadi *make to order* atau bahkan *mass customization*. Namun transisi ini memerlukan perubahan sistem manajemen persediaan, proses penjualan, serta hubungan dengan pelanggan. Ketidakmampuan mengubah model bisnis menyebabkan UMKM tetap menggunakan cetak 3D untuk produksi komponen sederhana yang sebenarnya lebih murah dibuat dengan metode konvensional. Akibatnya potensi teknologi ini tidak tergali secara maksimal. Keterbatasan inovasi model bisnis tersebut sekaligus mempertegas bahwa keberhasilan komersialisasi produk digital sangat membutuhkan ketepatan penargetan pasar (Hariani & Mardikaningsih, 2013).

Permasalahan kedua bersifat ekosistem yaitu belum terbentuknya jaringan kolaborasi antar UMKM pengguna teknologi cetak 3D. Di negara maju, UMKM kecil sering bergabung dalam *fab lab* atau *makerspace* untuk berbagi akses mesin dan keahlian. Model ini menekan biaya investasi individu sekaligus membangun komunitas pembelajaran yang aktif. Di Indonesia, jumlah *fab lab* yang terjangkau oleh UMKM masih sangat terbatas dan kebanyakan berlokasi di perguruan tinggi. Jam operasional yang terbatas dan biaya

keanggotaan yang relatif mahal membuat UMKM sulit memanfaatkannya secara optimal. Tidak adanya wadah untuk berbagi pengalaman tentang teknik pencetakan, sumber material, dan penanganan masalah teknis menghambat akumulasi pengetahuan. Setiap UMKM harus belajar dari awal dengan biaya *trial and error* yang mahal. Potensi kolaborasi untuk pengerjaan proyek besar yang memerlukan banyak mesin secara paralel juga tidak dapat terwujud.

Kebutuhan untuk mengatasi hambatan ini menjadi mendesak karena teknologi cetak 3D menawarkan peluang bagi UMKM untuk bersaing di pasar global. Produk dengan desain unik yang diproduksi secara lokal dapat menembus pasar ekspor melalui platform *e-commerce*. Dimensi kepuasan tersebut pada akhirnya bermuara pada terbentuknya kepercayaan pelanggan (Halizah *et al.*, 2022). Peluang perluasan ekspansi digital ini juga membuka ruang bagi sektor kreatif yang mampu menarik minat pasar global (Darmawan & Nasqa, 2026). Kemampuan untuk memproduksi komponen pengganti tanpa harus menyimpan inventori besar mengurangi biaya logistik. Di masa pandemi, UMKM yang memiliki mesin cetak 3D mampu memproduksi alat pelindung diri dan *spare part* ventilator dengan cepat. Kejadian ini menunjukkan potensi strategis teknologi ini untuk ketahanan ekonomi nasional.

Namun demikian, percepatan adopsi transaksi komersial di ranah digital ini wajib dibarengi dengan instrumen perlindungan hukum yang kuat bagi konsumen guna memitigasi risiko kasus penipuan online yang marak terjadi di Indonesia (Ali *et al.*, 2024). Sektor niaga elektronik juga memikul tanggung jawab hukum yang besar dalam menjamin kelancaran, transparansi, serta keamanan (Anugroh *et al.*, 2023). Di samping jaminan hak transaksional, penguatan efektivitas regulasi perlindungan data pribadi menjadi syarat mutlak yang tidak dapat ditawar guna memastikan keamanan operasional (Aziz *et al.*, 2023). Negara tetangga seperti Singapura dan Malaysia telah memulai program nasional untuk mendorong adopsi *additive manufacturing* oleh UMKM. Indonesia berisiko tertinggal jika tidak segera memetakan dan mengatasi hambatan yang dihadapi UMKM dalam negeri. Pembentukan peta jalan adopsi teknologi perlu didasarkan pada pemahaman yang akurat tentang kondisi riil di lapangan.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi dan mengkategorikan hambatan administratif dan operasional yang paling signifikan dalam adopsi teknologi cetak 3D oleh UMKM. Kategorisasi ini akan memisahkan hambatan yang bersifat eksternal seperti regulasi dan standar dari hambatan internal seperti keterampilan dan modal. Kontribusi teoretis dari studi ini adalah memperkaya literatur adopsi teknologi di sektor UMKM dengan fokus pada teknologi *additive manufacturing* yang masih jarang diteliti. Kontribusi praktis adalah menyediakan bahan pertimbangan bagi pemerintah untuk merancang program intervensi yang tepat sasaran untuk mempercepat adopsi teknologi ini.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi kepustakaan yang berfokus pada pengumpulan dan analisis dokumen tertulis. Pendekatan ini dipilih karena topik tentang hambatan adopsi cetak 3D pada UMKM memerlukan penelusuran

literatur dari bidang manajemen teknologi, ekonomi industri, serta kebijakan publik. Sebagaimana dinyatakan oleh Merriam dan Tisdell (2016), penelitian kualitatif dengan basis dokumen memungkinkan peneliti untuk memahami fenomena sosial melalui bahan-bahan yang sudah tersedia tanpa harus terjun ke lapangan. Sumber data yang digunakan meliputi artikel dari jurnal internasional bereputasi, prosiding konferensi tentang manufaktur maju, serta laporan kebijakan dari organisasi seperti Organisasi Kerja Sama dan Pembangunan Ekonomi. Studi kasus dari negara seperti Jerman, Jepang, dan Korea Selatan juga menjadi rujukan penting. Yin (2018) menegaskan bahwa studi literatur yang dirancang dengan baik dapat menghasilkan generalisasi teoretis yang berharga jika prosedur pengumpulan dan analisis dilakukan secara teliti.

Prosedur analisis dalam penelitian ini mengadaptasi kerangka yang dikemukakan oleh Yin (2018) tentang analisis data kualitatif untuk studi dokumen. Langkah awal adalah mengidentifikasi dan mengumpulkan sumber-sumber yang membahas isu adopsi teknologi *additive manufacturing* oleh perusahaan skala kecil. Merriam dan Tisdell (2016) menyarankan bahwa peneliti perlu melakukan evaluasi terhadap setiap sumber berdasarkan kredibilitas penulis, ketepatan metodologi, serta relevansi substansi dengan topik penelitian. Setelah tahap identifikasi selesai, setiap dokumen dibaca secara cermat untuk mengekstrak informasi mengenai jenis hambatan, faktor penyebab, serta solusi yang telah dicoba di berbagai negara. Tahap berikutnya adalah membandingkan temuan antar sumber untuk mengidentifikasi pola yang berulang serta perbedaan yang signifikan. Yin (2018) merekomendasikan penggunaan teknik penjelasan silang untuk memverifikasi temuan yang tampak kontradiktif. Langkah terakhir adalah sintesis dari semua informasi yang terkumpul untuk membangun tipologi hambatan yang terstruktur. Seluruh proses analisis didokumentasikan dalam bentuk log penelitian yang memungkinkan audit oleh peneliti lain.

3. Hasil dan Pembahasan

Hambatan administratif yang dihadapi UMKM dalam adopsi cetak 3D adalah ketiadaan standar nasional untuk produk yang dihasilkan. Badan standardisasi nasional belum menetapkan prosedur pengujian kekuatan tarik, ketahanan panas, maupun akurasi dimensi untuk komponen yang dicetak dengan metode *additive manufacturing*. Padahal untuk produk seperti suku cadang mesin atau peralatan keselamatan, sertifikasi standar merupakan keharusan yang tidak bisa dihindari Minguez (2022). UMKM yang memproduksi komponen tanpa sertifikasi akan kesulitan menjual produknya ke industri besar atau instansi pemerintah. Keterbatasan akses pasar akibat kendala legalitas ini mengharuskan pelaku usaha untuk lebih optimal dalam memanfaatkan jaringan sosial guna membuka peluang kemitraan baru (Lestari & Mardikaningsih, 2012). Proses pengajuan standar baru memerlukan waktu bertahun-tahun dan melibatkan berbagai pemangku kepentingan termasuk akademisi, asosiasi industri, dan lembaga pengujian. UMKM tidak memiliki kapasitas untuk mendorong proses ini sendiri karena biaya dan waktu yang diperlukan sangat besar. Akibatnya banyak produk inovatif yang dihasilkan UMKM tidak dapat masuk ke pasar formal karena tidak memenuhi persyaratan legal. Kondisi ini memperlambat adopsi teknologi secara signifikan. Sebab, selain pengujian teknis pada

produk, keberhasilan pasar sangat dipengaruhi oleh kesiapan manajemen strategis, terutama sejauh mana perusahaan mampu mengintegrasikan orientasi pasar dan orientasi teknologi dalam aktivitas bisnisnya (Darmawan, Sari, Jamil, & Mardikaningsih, 2023).

Selain ketiadaan standar, hambatan administratif juga bersumber dari rumitnya perizinan impor mesin dan bahan baku cetak 3D. Sebagian besar mesin *additive manufacturing* tidak diproduksi di dalam negeri sehingga UMKM harus mengimpornya. Prosedur impor yang memerlukan berbagai dokumen seperti surat keterangan asal, sertifikat uji tipe, serta rekomendasi teknis dari kementerian terkait sangat menyulitkan UMKM. Bea masuk dan pajak impor yang dikenakan cukup tinggi karena mesin ini belum dikategorikan sebagai barang modal yang mendapat fasilitas keringanan (O'Farrell, 2025). Bahan baku seperti *filament* plastik atau resin fotokimia juga sebagian besar masih diimpor karena produksi lokal belum memenuhi standar kualitas. Prosedur impor yang panjang menyebabkan waktu tunggu bahan baku berbulan-bulan sementara produksi harus berjalan. Hambatan logistik ini menunjukkan bahwa efisiensi operasional jangka panjang sangat ditentukan oleh kapabilitas manajemen rantai pasok dan adopsi inovasi hijau (*green innovation*) yang terintegrasi pada sistem kerja UMKM (Mardikaningsih, 2024). UMKM kecil tidak memiliki tenaga khusus yang mengurus perizinan impor sehingga sering menggunakan jasa *forwarder* yang menambah biaya. Biaya logistik yang tinggi membuat harga bahan baku menjadi sangat mahal. Tingginya akumulasi biaya operasional ini pada akhirnya berdampak pada penetapan harga jual ke konsumen, yang dalam prosesnya harus mempertimbangkan aspek keterjangkauan, kemudahan pembayaran, waktu tunggu, serta jaminan keamanan layanan (Rahayu & Darmawan, 2025).

Ketidakjelasan status hukum dari produk digital seperti file desain untuk dicetak turut memperkuat hambatan administratif. Dalam hukum hak kekayaan intelektual Indonesia, perlindungan atas desain industri berbeda dengan perlindungan atas karya tulis atau perangkat lunak. File desain cetak 3D berada pada area abu-abu karena dapat dipandang sebagai karya digital sekaligus cetak biru untuk produk fisik. UMKM yang mendesain sendiri komponen inovatif tidak memiliki kepastian hukum ketika file desain mereka disebarluaskan tanpa izin. Pelanggaran hak cipta di ranah digital sulit dilacak dan biaya litigasi tidak sebanding dengan potensi kerugian bagi UMKM. Platform *e-commerce* yang memungkinkan penjualan file desain cetak 3D belum memiliki mekanisme verifikasi kepemilikan yang kuat (Tuleshev *et al.*, 2025). Akibatnya banyak desainer UMKM memilih untuk merahasiakan file mereka dan hanya menjual produk fisik yang telah dicetak. Hal ini menghilangkan keunggulan utama teknologi cetak 3D yaitu distribusi digital tanpa biaya pengiriman fisik. Besarnya risiko kerugian komersial tersebut menegaskan pentingnya perbaikan regulasi makro yang mampu mencegah terjadinya praktik monopoli pasar yang dapat mematikan kreativitas dan ruang gerak UMKM (Indarto *et al.*, 2023).

Hambatan administratif ini diperparah oleh keterbatasan skema pembiayaan yang tersedia bagi UMKM. Lembaga keuangan seperti bank masih ragu memberikan kredit modal kerja untuk pembelian mesin cetak 3D karena kurangnya data kinerja teknologi ini di Indonesia (Kuswanto, 2018). Agunan yang disyaratkan bank seringkali tidak tersedia bagi UMKM yang belum memiliki aset tetap signifikan. Skema pembiayaan berbasis hasil

produksi atau *revenue based financing* belum umum diterapkan di Indonesia. Investor ventura cenderung lebih tertarik pada perusahaan teknologi rintisan berbasis perangkat lunak daripada UMKM manufaktur. Program kredit usaha rakyat dari pemerintah belum mengkategorikan mesin cetak 3D sebagai barang yang dapat dibiayai dengan prosedur yang sederhana. Subsidi bunga untuk investasi teknologi maju hanya tersedia untuk perusahaan skala besar yang tergabung dalam asosiasi industri tertentu. Keterbatasan akses pembiayaan ini sering kali membuat pelaku usaha mempertimbangkan opsi alternatif di pasar digital, sehingga pemahaman mengenai analisis persepsi risiko menjadi krusial dalam memitigasi risiko (Hidayat & Darmawan, 2025). Padahal biaya awal yang tinggi merupakan penghalang terbesar bagi UMKM untuk mencoba teknologi ini. Tanpa solusi pembiayaan yang kreatif, adopsi cetak 3D akan tetap terbatas pada UMKM yang memiliki modal sendiri yang cukup. Keterbatasan permodalan ini berisiko menghambat perluasan pasar, padahal pertumbuhan sektor industri kecil di era modern sangat bergantung pada akselerasi inovasi dan digitalisasi pemasaran guna meningkatkan kinerja pemasaran (Darmawan, Sari, Jahroni, Halizah, & Mardikaningsih, 2023).

Hambatan operasional utama adalah kurangnya tenaga kerja terampil yang menguasai ekosistem *additive manufacturing* secara menyeluruh. Keterampilan yang dibutuhkan tidak hanya mengoperasikan mesin tetapi juga memodelkan objek tiga dimensi di perangkat lunak, mengoptimalkan parameter pencetakan, serta melakukan pasca pemrosesan. Kurikulum politeknik dan SMK masih didominasi oleh teknik manufaktur konvensional seperti bubut, frais, dan las. Materi tentang desain untuk *additive manufacturing* yang mempertimbangkan orientasi cetak, kebutuhan material pendukung, serta batasan dimensi mesin masih jarang diajarkan. Kesenjangan kompetensi teknis SDM ini menuntut adanya pembenahan sistem manajemen operasional secara internal, salah satunya melalui pemanfaatan Sistem Informasi Sumber Daya Manusia (SISDM) guna menunjang efisiensi pengelolaan kerja (Mardikaningsih & Darmawan, 2013). Pelatihan yang tersedia di pusat pelatihan kerja biasanya hanya bersifat pengenalan dasar yang tidak cukup untuk produksi harian. Magang di industri pengguna cetak 3D belum menjadi praktik umum sehingga lulusan tidak memiliki pengalaman nyata (Camacho, 2023). UMKM yang merekrut tenaga kerja baru harus mengeluarkan biaya pelatihan tambahan yang signifikan. Tingkat perputaran tenaga kerja yang tinggi di sektor UMKM membuat investasi pelatihan menjadi tidak ekonomis.

Selain masalah ketenagakerjaan, kesulitan mendapatkan bahan baku dengan spesifikasi tepat juga menjadi hambatan operasional yang serius. Filamen PLA standar untuk *prototyping* tidak cukup kuat untuk komponen fungsional yang menahan beban. Filamen karbon atau *fiberglass* memiliki kekuatan tinggi tetapi harganya sangat mahal dan memerlukan *nozzle* khusus yang tahan abrasi. Resin fotokimia untuk pencetakan dengan akurasi tinggi memiliki umur simpan terbatas dan harus disimpan pada suhu terkontrol (Krawulski *et al.*, 2025). UMKM sering tidak memiliki informasi yang cukup tentang pilihan material yang tersedia di pasaran dan kelebihan kekurangan masing masing. Distributor material cenderung hanya menjual produk dengan margin tinggi tanpa memberikan edukasi teknis yang memadai. Pembelian material dalam jumlah kecil menyebabkan biaya per kilogram menjadi lebih mahal dibanding pembelian volume besar. Tidak adanya

laboratorium pengujian material yang terjangkau untuk UMKM membuat verifikasi kualitas material sangat sulit dilakukan.

Biaya perawatan mesin yang tidak terduga dan waktu henti yang panjang turut memperkuat hambatan operasional. Mesin cetak 3D industri memiliki komponen yang aus seperti *nozzle*, *heater bed*, serta *linear guide* yang perlu diganti secara periodik. Ketersediaan suku cadang di Indonesia sangat terbatas karena tidak ada distributor resmi untuk merek mesin tertentu. UMKM sering harus memesan suku cadang dari luar negeri dengan waktu pengiriman berminggu minggu. Kendala pengadaan suku cadang lintas batas ini menunjukkan urgensi kepatuhan dan pemahaman regulasi bagi pelaku usaha guna meminimalkan hambatan administratif di lapangan (Rahman *et al.*, 2024). Selama menunggu suku cadang, mesin tidak dapat beroperasi sehingga pesanan konsumen tertunda. Biaya pengiriman ekspres yang mahal untuk mempercepat kedatangan suku cadang membebani keuangan UMKM. Kalibrasi mesin setelah penggantian komponen memerlukan keahlian khusus yang tidak dimiliki operator biasa (Libre & Culaba, 2020). Mengandalkan teknisi luar yang datang dari kota besar menambah biaya perjalanan dan akomodasi yang signifikan. Pengalaman dengan waktu henti yang panjang membuat UMKM enggan untuk menjadikan cetak 3D sebagai tulang punggung produksi utama.

Selain itu, ketidaksesuaian antara kapasitas mesin dengan kebutuhan produksi UMKM yang fluktuatif juga menjadi hambatan. Volume produksi UMKM dapat sangat bervariasi dari satu bulan ke bulan berikutnya tergantung pada musim atau tren pasar. Mesin cetak 3D yang beroperasi lambat tidak dapat memenuhi lonjakan permintaan mendadak dalam waktu singkat. Membeli beberapa mesin untuk meningkatkan kapasitas tidak selalu menjadi solusi karena investasi besar dan pemanfaatan rendah saat sepi pesanan. Model manufaktur hibrida yang menggabungkan cetak 3D untuk prototipe dan cetak injeksi untuk produksi massal memerlukan perencanaan yang matang (Gallegos *et al.*, 2024). Kondisi produksi yang fluktuatif ini menuntut industri kecil untuk mulai mengadopsi efisiensi energi melalui pemanfaatan inovasi teknologi hijau berbasis layanan (*Energy-as-a-Service*) demi menekan pengeluaran tetap (Mardikaningsih & Darmawan, 2025). UMKM sering tidak memiliki data historis yang cukup untuk memprediksi volume produksi dengan akurat. Keputusan untuk memproduksi sendiri atau *outsourcing* komponen cetak 3D juga sering menjadi dilema. Layanan cetak 3D pihak ketiga yang dapat diandalkan dengan harga terjangkau masih jarang ditemukan di luar kota besar. Akibatnya UMKM terjebak dalam ketidakpastian perencanaan produksi.

Kurangnya pengetahuan tentang desain yang dioptimalkan untuk *additive manufacturing* merupakan hambatan operasional yang tidak kalah penting. Insinyur atau desainer yang terbiasa dengan metode konvensional cenderung mendesain komponen yang mudah difrais atau dibubut. Desain semacam itu sering tidak efisien untuk dicetak 3D karena memerlukan material pendukung yang banyak atau waktu cetak yang lama. Prinsip desain topologi optimasi yang memanfaatkan kemampuan cetak 3D untuk membuat struktur berongga atau kisi masih jarang dipahami. Penggunaan perangkat lunak generasi desain generatif yang menghasilkan geometri kompleks memerlukan keahlian dan lisensi berbayar yang mahal (Lkadi *et al.*, 2024). UMKM tidak memiliki sumber daya untuk mempekerjakan

desainer khusus yang menguasai teknik ini. Akibatnya komponen yang dicetak 3D oleh UMKM seringkali merupakan replika dari komponen konvensional yang sebenarnya lebih murah dibuat dengan metode lama. Hal ini membuat nilai tambah teknologi cetak 3D tidak tergali secara maksimal. Keterbatasan inovasi geometris ini mempertegas perlunya pemetaan awal mengenai tingkat kesiapan teknologi internal, terutama pada aspek adopsi teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT) (Mardikaningsih & Darmawan, 2025).

Keterbatasan akses ke platform *e-commerce* yang mendukung penjualan produk cetak 3D secara massal menambah panjang daftar hambatan operasional. Platform seperti Shapeways atau Materialise yang melayani penjualan model 3D secara global tidak memiliki perwakilan di Indonesia. UMKM Indonesia yang ingin menjual desain cetak 3D ke pasar internasional harus mengurus pengiriman fisik sendiri yang biayanya sangat mahal. Platform *e-commerce* lokal belum memiliki fitur khusus untuk produk yang diproduksi dengan *additive manufacturing*. Calon pembeli sering tidak dapat membayangkan wujud fisik produk dari file digital sehingga ragu untuk membeli. Standar pengemasan dan pengiriman produk cetak 3D yang rapuh belum diatur oleh platform atau asosiasi UMKM. Klaim garansi untuk produk yang gagal cetak atau rusak dalam pengiriman sering menjadi perselisihan antara penjual dan pembeli. Tidak adanya sistem reputasi yang mumpuni membuat pembeli sulit membedakan penjual yang berkualitas (Xu *et al.*, 2020). Hambatan distribusi ini mengurangi potensi pasar yang seharusnya dapat dijangkau oleh UMKM. Keterbatasan adopsi pasar digital ini memerlukan intervensi taktis melalui penerapan strategi inovasi dan optimalisasi pemasaran media sosial guna memperkuat posisi tawar dan keunggulan kompetitif UMKM (Mardikaningsih, 2023).

Dimensi geografis turut mempengaruhi tingkat hambatan operasional yang dihadapi UMKM dalam adopsi cetak 3D. UMKM di kota besar seperti Jakarta dan Surabaya memiliki akses yang lebih baik ke distributor mesin, pemasok bahan baku, serta teknisi perbaikan. Mereka juga lebih mudah mengikuti pameran teknologi atau pelatihan yang diselenggarakan oleh asosiasi industri. Kemudahan akses informasi ini secara empiris mempercepat integrasi layanan digital, sebagaimana terlihat pada pola digitalisasi pemasaran yang masif pada sektor UMKM (Sinambela & Darmawan, 2025). UMKM di daerah terpencil menghadapi hambatan yang berlipat ganda karena keterbatasan infrastruktur logistik dan informasi. Biaya pengiriman mesin dan bahan baku ke lokasi terpencil bisa dua kali lipat dari harga normal. Koneksi internet yang tidak stabil menyulitkan proses aktivasi mesin yang memerlukan registrasi online. Tidak adanya tetangga atau komunitas sesama pengguna teknologi untuk berbagi pengalaman membuat pembelajaran menjadi lebih berat. Program pemerintah yang terpusat di ibukota provinsi sering tidak menjangkau UMKM di kabupaten. Kesenjangan akses teknologi antara UMKM di perkotaan dan pedesaan semakin melebar seiring dengan adopsi teknologi digital (Kanayama *et al.*, 2025).

Aspek psikologis pemilik UMKM juga menjadi bagian dari hambatan operasional yang tidak bisa diabaikan. Pengusaha yang telah sukses dengan metode konvensional selama puluhan tahun cenderung memiliki keengganan untuk mengubah cara kerja mereka. Kekhawatiran bahwa investasi besar pada teknologi baru tidak akan membuahkan hasil sesuai harapan menyebabkan penundaan keputusan (Sánchez, 2025). Pengalaman buruk

rekan bisnis yang gagal dalam adopsi teknologi sebelumnya juga menjadi cerita yang menakutkan. Kurangnya *role model* UMKM yang berhasil dengan cetak 3D di Indonesia membuat calon pengadopsi tidak memiliki referensi yang relevan. Pemilik UMKM generasi pertama yang tidak memiliki latar belakang pendidikan teknik merasa tidak percaya diri untuk mempelajari teknologi baru. Keterbatasan waktu karena harus mengurus berbagai aspek usaha dari produksi hingga pemasaran membuat mereka tidak punya waktu untuk belajar. Dukungan dari konsultan teknologi yang dapat mendampingi proses adopsi masih sangat mahal dan jarang tersedia. Mengubah pola pikir memerlukan pendekatan yang berbeda dari sekadar memberikan informasi teknis.

Tabel 1. Hambatan Adopsi Teknologi Cetak 3D pada UMKM

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah disesuaikan dengan kesimpulan (hanya dua kelompok hambatan: administratif dan operasional), berikut adalah tabel ringkasannya:

Klasifikasi	Jenis Hambatan		Deskripsi Singkat
Administratif	Ketiadaan Standar Nasional		Belum ada prosedur pengujian kekuatan tarik, ketahanan panas, dan akurasi dimensi untuk produk cetak 3D. UMKM sulit menjual produk ke industri besar atau instansi pemerintah karena tidak bersertifikasi (Minguez, 2022).
Administratif	Perizinan Impor yang Rumit		Prosedur impor mesin dan bahan baku memerlukan banyak dokumen, bea masuk tinggi, serta waktu tunggu panjang. UMKM kecil tidak memiliki tenaga khusus untuk mengurus perizinan (O'Farrell, 2025).
Administratif	Ketidakjelasan Status Hukum File Desain		File desain cetak 3D berada dalam area abu abu antara desain industri dan karya digital. Perlindungan hak kekayaan intelektual lemah (Tuleshev <i>et al.</i> , 2025).
Administratif	Keterbatasan Pembiayaan	Skema	Bank ragu memberikan kredit karena kurangnya data kinerja teknologi (Kuswanto, 2018). Program kredit pemerintah belum mengkategorikan mesin cetak 3D sebagai barang yang dapat dibiayai.
Operasional	Kurangnya Kerja Terampil	Tenaga	Keterampilan pemodelan 3D, pengaturan parameter cetak, dan pasca pemrosesan belum diajarkan secara memadai di kurikulum pendidikan vokasi (Camacho, 2023).
Operasional	Kesulitan Bahan Baku	Pasokan	Material spesifikasi khusus seperti filamen karbon atau resin fotokimia sulit diperoleh. Tidak ada laboratorium pengujian material yang terjangkau (Krawulski <i>et al.</i> , 2025).
Operasional	Biaya Mesin Tinggi	Perawatan	Suku cadang seperti nozzle dan heater bed harus diimpor dengan waktu pengiriman berminggu minggu. Waktu henti panjang membuat UMKM enggan menjadikan cetak 3D sebagai produksi utama (Libre & Culaba, 2020).
Operasional	Ketidaksesuaian Kapasitas Produksi		Volume produksi UMKM fluktuatif sementara mesin cetak 3D beroperasi lambat. Layanan cetak 3D pihak ketiga yang andal masih jarang (Gallegos <i>et al.</i> , 2024).
Operasional	Minimnya Pengetahuan Optimal	Desain	Desainer terbiasa dengan metode konvensional sehingga desain tidak efisien untuk dicetak 3D. Prinsip topologi optimasi belum dipahami (Lkadi <i>et al.</i> , 2024).
Operasional	Keterbatasan Platform E commerce	Akses	Platform global tidak memiliki perwakilan di Indonesia. Platform lokal belum memiliki fitur khusus untuk produk cetak 3D (Xu <i>et al.</i> , 2020).
Operasional	Hambatan Geografis		UMKM di kota besar memiliki akses lebih baik. UMKM di daerah terpencil menghadapi biaya pengiriman dua kali lipat dan internet tidak stabil (Kanayama <i>et al.</i> , 2025).

Operasional	Aspek Psikologis Pemilik UMKM	Keengganan mengubah cara kerja setelah puluhan tahun sukses dengan metode konvensional. Kurangnya role model keberhasilan cetak 3D (Sánchez, 2025).
-------------	-------------------------------	---

Perbandingan dengan negara maju menunjukkan bahwa hambatan administratif dan operasional yang serupa pernah dihadapi namun dapat diatasi dengan kebijakan yang terkoordinasi. Jerman memiliki program *Mittelstand 4.0* yang khusus membantu UMKM mengadopsi teknologi industri 4.0 termasuk *additive manufacturing* (Waqar *et al.*, 2023). Pemerintah menyediakan pusat kompetensi di setiap wilayah yang memberikan pelatihan gratis dan konsultasi teknis. Skema pembiayaan dengan tingkat bunga sangat rendah dan periode *grace period* panjang diberikan untuk pembelian mesin. Standar nasional untuk produk cetak 3D dikembangkan dengan melibatkan asosiasi UMKM sehingga sesuai dengan kebutuhan mereka. Platform *e-commerce* khusus untuk produk manufaktur maju didirikan dengan dukungan logistik dari perusahaan pos nasional. Singapura membangun jaringan *fab lab* di setiap kawasan industri yang dapat digunakan UMKM dengan biaya sewa per jam sangat murah.

Negara berkembang seperti India mulai meniru model ini dengan penyesuaian terhadap kondisi lokal. Keberhasilan program program tersebut menunjukkan bahwa hambatan administratif berupa ketiadaan standar dan perizinan yang rumit dapat diatasi melalui kemauan politik dan alokasi sumber daya yang memadai. Demikian pula hambatan operasional seperti kurangnya tenaga terampil dan akses ke peralatan dapat diminimalkan dengan pendekatan kolaboratif antara pemerintah, industri, dan lembaga pendidikan. Indonesia dapat mempelajari praktik baik ini untuk merancang program yang sesuai dengan karakteristik UMKM setempat.

4. Penutup

Hambatan adopsi teknologi cetak 3D oleh UMKM dapat dikategorikan ke dalam dua kelompok besar yaitu administratif dan operasional. Hambatan administratif meliputi ketiadaan standar produk, rumitnya perizinan impor, serta lemahnya perlindungan hak kekayaan intelektual untuk desain digital. Hambatan operasional mencakup kurangnya tenaga kerja terampil, kesulitan pasokan bahan baku, biaya perawatan mesin tinggi, ketidaksesuaian kapasitas produksi, minimnya pengetahuan desain optimal, serta terbatasnya akses platform penjualan. Kedua kelompok hambatan ini saling terkait dan memperkuat satu sama lain sehingga pendekatan tunggal tidak akan efektif. Solusi yang komprehensif harus mencakup aspek regulasi, pendidikan, pembiayaan, serta pengembangan ekosistem kolaborasi antar UMKM.

Implikasi dari studi ini adalah perlunya pemerintah membentuk gugus tugas lintas kementerian untuk menangani hambatan adopsi teknologi cetak 3D. Kementerian Perindustrian perlu menginisiasi penyusunan standar nasional produk *additive manufacturing* dengan melibatkan asosiasi UMKM. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan perlu merevisi kurikulum SMK dan politeknik untuk memasukkan kompetensi desain dan operasi mesin cetak 3D. Saran bagi UMKM adalah memulai dengan model kolaborasi dalam *fab lab* atau ruang kerja bersama sebelum membeli mesin sendiri.

Penelitian selanjutnya diperlukan untuk menguji efektivitas model inkubasi teknologi cetak 3D bagi UMKM di Indonesia. Studi kuantitatif dengan sampel yang lebih besar juga diperlukan untuk memvalidasi temuan kualitatif tentang prioritas hambatan.

Referensi

- Ali, E. M., Dirgantara, F., & Darmawan, D. (2024). Legal Protection of Consumers in Online Transactions: A Case Study of Online Fraud in Indonesia. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 6(3), 27-38.
- Anugroh, Y. G., Hardiyansah, R., Darmawan, D., Khayru, R. K., & Putra, A. R. (2023). Consumer Protection and Responsibilities of E-commerce Platforms in Ensuring the Smooth Process of Returning Goods in COD Transactions. *Journal of Social Science Studies*, 3(2), 89-94.
- Arora, S., Dubey, A., & Kumari, M. (2024). The role of 3- D printing technologies. *International Journal of Pharmaceutical Chemistry and Analysis*, 11(2), 112–120. <https://doi.org/10.18231/j.ijpca.2024.016>
- Aziz, A., Darmawan, D., Khayru, R. K., & Wibowo, A. S. (2023). Effectiveness of Personal Data Protection Regulation in Indonesia's Fintech Sector. *Journal of Social Science Studies*, 3(1), 23-28.
- Camacho, A. M. (2023). The Potential of Education and Training in Additive Manufacturing. *Mechanisms and Machine Science*, 179–188. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25730-8_17
- Darmawan, D. (2022). Environmental Accountability through Business Ethics, Responsibility, Morals and Legal Obligations. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 1(2), 1-6.
- Darmawan, D., & Hidayat, R. T. (2026). Marketing human resource adaptation through creative promotion and interface design on fintech customer decisions. *Jurnal Bisnis Mahasiswa*, 6(2), 791-807.
- Darmawan, D., & Nasqa, R. A. (2026). Digital Storytelling in Experiential Tourism Destination Imaging. *SYNERGY: Jurnal Bisnis dan Manajemen*, 6(1), 10-20.
- Darmawan, D., Mendonca, C. N., & de Jesus Isaac, A. (2022). Managing Corporate Reputation in the Digital Age: Challenges and Solutions for Maintaining a Positive Image on Social Media. *Journal of Social Science Studies*, 2(1), 283-288.
- Darmawan, D., Sari, P. N. L., Jahroni, J., Halizah, S. N., & Mardikaningsih, R. (2023). Digitalization of Kedai industry: Analysis of the role of internet marketing orientation and innovation on marketing performance. *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*, 5(1), 21-31.
- Darmawan, D., Sari, P. N. L., Jamil, S. A., & Mardikaningsih, R. (2023). Penerapan manajemen strategi: Kontribusi orientasi pasar dan orientasi teknologi terhadap kinerja bisnis UMKM. *Journal of Management and Economics Research*, 1(2), 64-70.
- Essa, N. E., Mardikaningsih, R., & Ismail, A. B. (2024). Service Transformation through Technology the Role of AI and Big Data in Service Science. *Journal of Social Science Studies*, 4(1), 193-200.

- Gallegos, M., Winkle, G. V., Kaufman, G., Rao, R., Roberts, C., Cochrane, J., Long, K., & Leguizamon, S. (2024). *A Science-Based Approach for Agile Injection Molded Parts: 3D Printed Plastic Molds*. <https://doi.org/10.2172/2999245>
- Halizah, S. N., Infante, A., & Darmawan, D. (2022). Keterbentukan Kepercayaan Pelanggan Shopee Melalui Kualitas Hubungan, Reputasi dan Keamanan Marketplace. *Ekonomi, Keuangan, Investasi Dan Syariah (EKUITAS)*, 4(1), 256-261.
- Hardyansah, R., & Putra, A. R. (2023). Building Regional Economic Stability Through Effective Legal Protection for Micro, Small, and Medium Enterprises in Indonesia. *Journal of Social Science Studies*, 3(1), 15-22.
- Hariani, M., & Mardikaningsih, R. (2013). Strategi Positioning dan Brand Equity untuk Keberlanjutan Usaha Mikro. *Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, 3(2), 64–73.
- Hidayat, R. T., & Darmawan, D. (2025). Pengaruh Persepsi Risiko Terhadap Keputusan Pengguna Pinjaman Online. *Jurnal Penelitian Multidisiplin Nusantara*, 6(1), 114-133.
- Indarto, T., Negara, D. S., & Darmawan, D. (2023). Legal Frameworks for Mitigating Monopoly Practices Adverse to MSMEs in Indonesia. *Journal of Social Science Studies*, 3(1), 1-8.
- Kanayama, Y., Houy, S., Song, S., & Joffre, V. M. (2025). Addressing Barriers to Digital Adoption Among Cambodian Micro, Small, and Medium-Sized Enterprises. *ADB Briefs*. <https://doi.org/10.22617/brf250498-2>
- Krawulski, P., Kończewicz, W., Bazychowska, S., & Adamkiewicz, B. (2025). Analysis Of Strength Properties of Selected Materials for 3D Printing. *Scientific Journal of Gdynia Maritime University*, 136(136), 7–19. <https://doi.org/10.26408/136.01>
- Kuswanto, D. (2018). *Application of 3D print technology for fashion products that character Indonesia*. <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.28977.48489>
- Lestari, U. P., & Mardikaningsih, R. (2012). Peran Jaringan Sosial untuk Membantu Mendapatkan Akses Pasar. *Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, 2(2), 73–83.
- Libre, R. G. D., & Culaba, A. B. (2020). *Assessing 3d printing as new normal for manufacturing: review on trends and applications*. 3. <https://doi.org/10.70954/f1fxmk28>
- Lkadi, O., Nassraoui, M., & Bouksour, O. (2024). The effect of generative design and topology optimization on the design and manufacturing of components in additive manufacturing. *Incertitudes et Fiabilité Des Systèmes Multiphysiques* =, 8(2), 33–37. <https://doi.org/10.21494/iste.op.2024.1230>
- Mahapatra, R. K., Kaliyath, Y., Shet, N., Satapathi, G. S., Mahapatro, S. R., & Naidu, M. L. (2024). *3D-Printing Technology: A Review*. 528–532. <https://doi.org/10.1109/icoici62503.2024.10696498>
- Mardikaningsih, R. (2023). Strategi inovasi dan pemasaran media sosial untuk meningkatkan keunggulan kompetitif umkm di kota surabaya. *Jurnal Baruna Horizon*, 6(2), 58-67.
- Mardikaningsih, R. (2024). Implementation of Green Innovation, Supply Chain Management and Technology Capability on Business Performance of Micro, Small

- and Medium Enterprises. *ARRUS Journal of Social Sciences and Humanities*, 4(4), 467-480.
- Mardikaningsih, R., & Darmawan, D. (2013). Human Resource Information System untuk Mendukung Pengelolaan dan Penilaian Kinerja Karyawan. *Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, 3(2), 41–51.
- Mardikaningsih, R., & Darmawan, D. (2025). Analisis Adopsi Teknologi Internet of Things Oleh Industri Manufaktur Skala Kecil dan Menengah. *Jurnal Lima Daun Ilmu*, 5(1), 41.
- Mardikaningsih, R., & Darmawan, D. (2025). Energy-as-a-Service as a Green Technology Innovation in the Commercial Sector. *Journal of Engineering and Social Science*, 5(2).
- Mardikaningsih, R., & Darmawan, D. (2026). Konsep Data Aset dalam Ekonomi Digital: Analisis Strategi Monetisasi dan Metodologi Valuasi. *Jurnal Lima Daun Ilmu*, 6(1), 41.
- Mardikaningsih, R., & Darmawan, D. (2026). The Influence of 3D Printing Technology on Material Waste Reduction in the Manufacturing Industry. *Journal of Engineering and Social Science*, 6(1).
- Mardikaningsih, R., & Sinambela, E. A. (2016). Peranan Komunikasi Pemasaran, Citra Merek dan Kepercayaan Merek terhadap Kesetiaan Merek. *Jurnal Ilmu Manajemen*, 2(1), 33-52.
- Markova, S. V., Ayupova, V. K., & Bataeva, P. S. (2025). Additive technologies (3d printing) in industry: economic efficiency. *Ėkonomika i Upravlentie: Problemy, Rešeniâ*, 3/2(156), 50–57. <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2025.03.02.006>
- Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2016). *Qualitative research: A guide to design and implementation* (4th ed.). Jossey Bass.
- Minguez, P. (2022). *Impact of Additive Manufacturing in SMEs*. 103–111. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0561-2_10
- Moagar-Poladian, G., & Doicin, C. V. (2021). *Business model for smes in the field of additive manufacturing*. <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.20098.40643>
- O'Farrell, J. (2025). Taxes and Regulations on Foreign Trade. *Private Equity and Financial Development in Latin America*, 127–170. https://doi.org/10.1007/978-3-032-06589-6_6
- Putra, A. R., & Wibowo, A. S. (2023). Royalty Fee Arrangement in Franchise Business and its Legal Implication in Indonesia. *Journal of Social Science Studies*, 3(1), 171-176.
- Putra, A. R., Hardyansah, R., & Wibowo, A. S. (2022). Ethical Foundations of Franchisor-Franchisee Relationships and Their Influence on Business Performance Outcomes Across Franchise Systems. *Journal of Social Science Studies*, 2(2), 279-284.
- Radjawane, L. E., & Mardikaningsih, R. (2022). Building Ethical and Fair Technology: Approaches to Responsible Technology Development and Application. *Journal of Social Science Studies*, 2(1), 189-194.
- Rahayu, P. D., & Darmawan, D. (2025). Pengaruh Harga, Kemudahan Pembayaran, Waktu Tunggu, Kualitas Pelayanan, dan Keamanan Terhadap Niat Untuk Menggunakan Kembali Suroboyo Bus. *YUME: Journal of Management*, 8(2), 1090-1106.

- Rahman, A., Darmawan, D., & Saputra, R. (2024). Analysis of Cross-border Payment Regulation and its Impact on Consumers in Indonesia. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 3(2), 23-28.
- Sánchez, J. G. N. (2025). *How Entrepreneurs Perceive Technology in the Digital Era: From Aversion to Adoption*. <https://doi.org/10.64923/ceniiac.e0002>
- Shouyu, C. (2017). *Research on the Characteristics of Innovation in Small and Medium Sized Enterprises: A Comparative Analysis of Large Enterprises*. 264–268. <https://doi.org/10.2991/SNCE-17.2017.53>
- Sinambela, E. A., & Hariani, M. (2021). Membangun Pengalaman Karyawan yang Positif Strategi Terintegrasi untuk Organisasi Modern. *Jurnal Ekonomi Dan Bisnis*, 11(1), 61-78.
- Sinambela, E. A., & Darmawan, D. (2025). Pengembangan UMKM kuliner dengan digitalisasi marketing. *Transformasi Masyarakat: Jurnal Inovasi Sosial dan Pengabdian*, 2(1), 79-84.
- Tuleshev, K., Valilai, O. F., Tuleshev, K., Valilai, O. F., Tuleshev, K., & Valilai, O. F. (2025). *Using the NFT Architecture to Protect Intellectual Property in 3D Printing Ecosystems*. 590–599. https://doi.org/10.1007/978-3-032-07989-3_38
- Waqar, A., Othman, I., Almujiabah, H., Sajjad, M., Deifalla, A., Shafiq, N., Azab, M., & Qureshi, A. H. (2023). Overcoming implementation barriers in 3D printing for gaining positive influence considering PEST environment. *Ain Shams Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102517>
- Xu, X., Wu, J., Tao, Y., Wang, X., & Liu, W. (2020). Research on 3D printing service model for innovation, entrepreneurship, and universal applications. *The Journal of Engineering*, 2020(13), 466–470. <https://doi.org/10.1049/JOE.2019.1143>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications.