

Model Replikasi Data Low-Cost Berbasis Rsync-Syncthing untuk Mitigasi Kehilangan Data pada UMKM

¹Imam Mulya, ²Desi Ramayanti, ³Geri Ramadansyah

Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Dian Nusantara, DKI Jakarta, Indonesia

¹imam@undira.ac.id; ²desi.ramayanti@undira.ac.id; ³411221161@mahasiswa.undira.ac.id

Article Info

Article history:

Received, 2026-06-23

Revised, 2026-07-08

Accepted, 2026-07-13

Kata Kunci:

replikasi_data
open source
UMKM
rsync
syncthing

Keywords:

data_replication
open source
MSME
rsync
syncthing

ABSTRAK

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) umumnya menyimpan data operasional pada satu perangkat tunggal tanpa mekanisme pencadangan terstruktur, sehingga rentan mengalami kehilangan data permanen akibat kerusakan perangkat, kesalahan pengguna, maupun serangan siber. Penelitian ini bertujuan merancang dan memvalidasi model replikasi data low-cost berbasis perangkat lunak open-source Rsync dan Syncthing sebagai solusi mitigasi kehilangan data yang dapat diterapkan secara mandiri oleh UMKM. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental mengikuti kerangka Network Development Life Cycle (NDLC). Pengujian memanfaatkan dataset transaksi riil UCI Online Retail (531.282 baris) yang direstrukturisasi menjadi tiga profil struktur file operasional UMKM (retail, kuliner, jasa) dan diuji pada empat skenario: initial sync, update inkremental, keterbatasan jaringan 512 KB/s, dan simulasi kegagalan. Hasil pengujian menunjukkan Rsync menyelesaikan initial sync dalam 0,035–0,195 detik dan update inkremental dalam 0,049–0,139 detik; overhead many-small-files terbukti secara empiris dengan throughput profil retail 11,6 kali lebih rendah dibandingkan profil jasa; mekanisme delta-transfer menghemat bandwidth hingga 90%; pada jaringan terbatas kinerja kedua tool terkonvergensi pada batas bandwidth (± 4 Mbps); serta Recovery Time Actual (RTA) tercapai 0,028–0,366 detik dengan integritas data 100% terverifikasi checksum MD5.

ABSTRACT

Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) generally store operational data on a single device without a structured backup mechanism, making them vulnerable to permanent data loss caused by hardware failure, user error, or cyberattacks. This study aimed to design and validate a low-cost data replication model based on the open-source software Rsync and Syncthing as a data loss mitigation solution that MSMEs can implement independently. The study employed a quantitative experimental approach following the Network Development Life Cycle (NDLC) framework. The tests utilized the real-world UCI Online Retail transaction dataset (531,282 rows), restructured into three MSME operational file profiles (retail, culinary, services) and evaluated under four scenarios: initial sync, incremental update, 512 KB/s network limitation, and failure simulation. The results showed that Rsync completed the initial sync in 0.035–0.195 seconds and incremental updates in 0.049–0.139 seconds; the many-small-files overhead was empirically confirmed, with the retail profile throughput 11.6 times lower than the services profile; the delta-transfer mechanism saved up to 90% of bandwidth; under a limited network, both tools converged at the bandwidth limit (± 4 Mbps); and the Recovery Time Actual (RTA) reached 0.028–0.366 seconds with 100% data integrity verified by MD5 checksum.

This is an open access article under the CC BY-SA license.



Penulis Korespondensi:

Imam Mulya,
Fakultas Teknik dan Informatika
Universitas Dian Nusantara, DKI Jakarta, Indonesia
Email: imam@undira.ac.id

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi telah mendorong transformasi digital di berbagai lapisan pelaku ekonomi, termasuk Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) [1], [2], [3], [4], [5]. Berdasarkan data Kementerian Koperasi dan UKM, terdapat lebih dari 65 juta UMKM di Indonesia yang berkontribusi sekitar 61% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional [6]. Seiring meningkatnya adopsi teknologi, UMKM semakin mengandalkan data digital untuk mengelola transaksi, inventaris, data pelanggan, dan laporan keuangan, antara lain melalui aplikasi kasir atau *Point of Sale* (POS) berbasis *open-source* yang kini semakin terjangkau [7].

Ketergantungan terhadap data digital mendukung pada manajemen data dan informasi [8], [9], [10], [11], [12]. Laporan Veeam Data Protection Trends mencatat bahwa 85% organisasi mengalami setidaknya satu insiden kehilangan data dalam setahun, dan sebagian besar UMKM yang mengalami kehilangan data tidak mampu bertahan lebih dari enam bulan setelahnya. Pencadangan data merupakan komponen penting dalam transformasi digital pelaku UMKM, dan menjadi bagian dari strategi mitigasi risiko usaha secara keseluruhan. Namun, mayoritas UMKM Indonesia belum memiliki sistem *backup* terstruktur, sebagian besar disebabkan persepsi bahwa solusi pencadangan memerlukan investasi infrastruktur yang besar [13], [14].

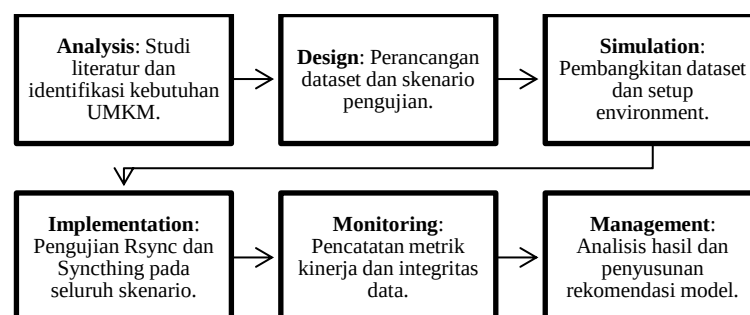
Lanskap solusi mitigasi bencana data saat ini terbagi ke dalam dua kutub besar. Pada skala *enterprise*, teknologi replikasi tingkat perangkat keras seperti *Snapmirror Relationship* mampu menjamin ketersediaan data secara instan, namun menuntut biaya investasi infrastruktur yang sangat mahal. Sebaliknya, solusi untuk skala UMKM umumnya terbatas pada layanan penyimpanan awan (*cloud storage*) publik yang memiliki kelemahan berupa beban biaya langganan jangka panjang serta ketergantungan mutlak pada stabilitas *bandwidth* jaringan publik [15], [16].

Ekosistem *open-source* menyediakan alternatif replikasi data berbiaya mendekati nol. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi replikasi basis data dan pencadangan *server* menggunakan Rsync, namun implementasinya sering kali terbatas pada sinkronisasi satu arah (*one-way sync*) yang bersifat statis dan menuntut keahlian teknis operasional. Sementara itu, pemanfaatan mekanisme sinkronisasi *peer-to-peer* seperti Syncthing mulai bermunculan, namun belum banyak dikonseptualisasikan sebagai model mitigasi bencana data untuk melindungi basis data aplikasi operasional UMKM. Pendekatan sinkronisasi data searah berbasis FTP untuk usaha mikro juga telah diusulkan, tetapi belum menyentuh aspek pemulihan bencana [17], [18], [19].

Proses *benchmarking tool* sinkronisasi file dan menemukan Rsync konsisten mengungguli Syncthing (rasio 2–4 kali) pada beban kerja *many-small-files*. Meskipun demikian, belum terdapat kajian yang membandingkan keduanya dalam konteks operasional UMKM Indonesia menggunakan data transaksi riil. Berpijak pada celah penelitian tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa model penerapan replikasi hibrida pada level aplikasi (*Hybrid Application-Level Replication*) yang menempatkan Rsync sebagai fungsi *Cold Backup* (pencadangan terjadwal untuk proteksi isolasi dari serangan *ransomware*) dan Syncthing sebagai *Hot Backup* (replikasi *real-time* untuk data transaksi berjalan), diuji menggunakan data yang direstrukturisasi secara *reproducible* [19], [20]. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengukur dan membandingkan kinerja teknis Rsync dan Syncthing pada tiga profil struktur data UMKM yang dibangun dari data transaksi riil, mengukur Recovery Time Actual (RTA) dan Recovery Point Actual (RPA) pada skenario kegagalan yang disimulasikan, serta merancang model penerapan replikasi data yang dapat diadaptasi sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan masing-masing profil UMKM.

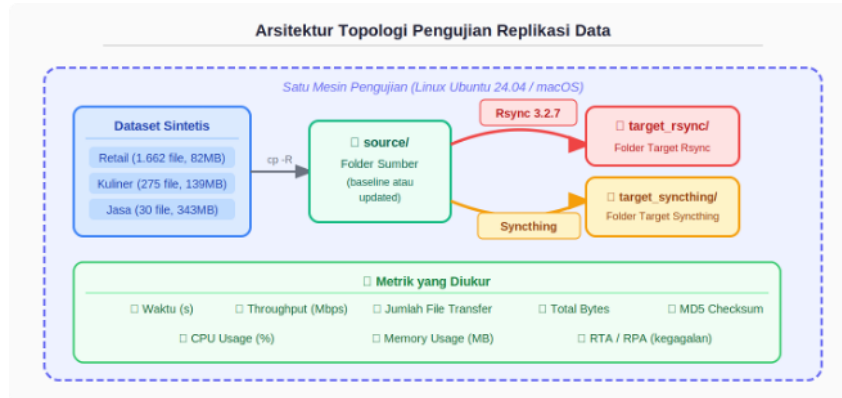
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimental, mengikuti kerangka *Network Development Life Cycle* (NDLC) yang meliputi tahapan *Analysis*, *Design*, *Simulation/Prototyping*, *Implementation*, *Monitoring*, dan *Management/Evaluation*. Kerangka merupakan adaptasi dari penelitian sistem replikasi dan sinkronisasi data. Uraian tahapan penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Alur Tahapan Penelitian

Topologi pengujian menggunakan dua folder lokal pada satu mesin (Linux Ubuntu 24.04 LTS, rsync 3.2.7) sebagai *node source* dan *node target*. Konfigurasi ini merepresentasikan skenario *low-cost* UMKM tanpa perangkat jaringan tambahan, sekaligus memungkinkan pengukuran kinerja algoritma replikasi murni tanpa gangguan variabel latensi jaringan. Rsync dipilih karena algoritma *delta-transfer* berbasis *rolling checksum* yang hanya mentransfer bagian data, sedangkan Syncthing merupakan *platform* sinkronisasi *peer-to-peer* berbasis *Block Exchange Protocol* (BEP) yang beroperasi sebagai *daemon* kontinu dengan arsitektur seperti pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Arsitektur Topologi Pengujian Replikasi Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa dataset transaksi UCI Online Retail yang berisi 531.282 baris transaksi aktual periode Desember 2010 hingga Desember 2011, mencakup 20.725 *invoice* unik, 3.940 produk unik, dan 305 hari transaksi aktif. Dataset ini telah digunakan luas dalam penelitian akademik untuk segmentasi pelanggan dan pemodelan perilaku konsumen. Karena pengujian replikasi file memerlukan struktur file yang merepresentasikan kondisi operasional UMKM, data transaksi direstrukturisasi menjadi tiga profil struktur file. Profil Retail dibentuk dengan satu file CSV untuk setiap *invoice* dan satu file JSON stok untuk setiap SKU pada 500 produk teratas sehingga menghasilkan pola *many-small-files*. Profil Kuliner menggunakan satu file CSV rekap transaksi harian yang dilengkapi rekap mingguan per SKU sehingga menghasilkan file berukuran sedang dengan frekuensi perubahan menengah. Sementara itu, profil Jasa terdiri atas satu file CSV laporan agregat bulanan dan satu file master pelanggan sehingga membentuk pola *few-large-files*. Selanjutnya, versi *baseline* dibangun menggunakan data transaksi selama 60 hari pertama (1 Desember 2010–18 Februari 2011), sedangkan versi *updated* diperoleh dari penambahan data transaksi organik selama tujuh hari berikutnya hingga 27 Februari 2011.

Hasil restrukturisasi dataset menghasilkan tiga profil struktur file yang merepresentasikan karakteristik operasional UMKM. Profil Retail memiliki struktur satu file CSV untuk setiap *invoice* dan satu file JSON untuk setiap SKU, dengan 4.002 file pada kondisi *baseline* (3,83 MB) yang meningkat menjadi 4.318 file pada kondisi *updated*. Pada profil ini terdapat 428 file yang berubah, 348 file baru, dan 32 file yang terhapus sehingga mencerminkan karakteristik *many-small-files* dengan frekuensi perubahan tinggi. Profil Kuliner menggunakan satu file CSV rekap transaksi harian dan rekap mingguan per SKU, terdiri atas 71 file pada *baseline* (5,75 MB) dan 79 file pada *updated*, dengan satu file berubah dan delapan file baru, sehingga mewakili karakteristik file berukuran sedang dengan frekuensi perubahan menengah.

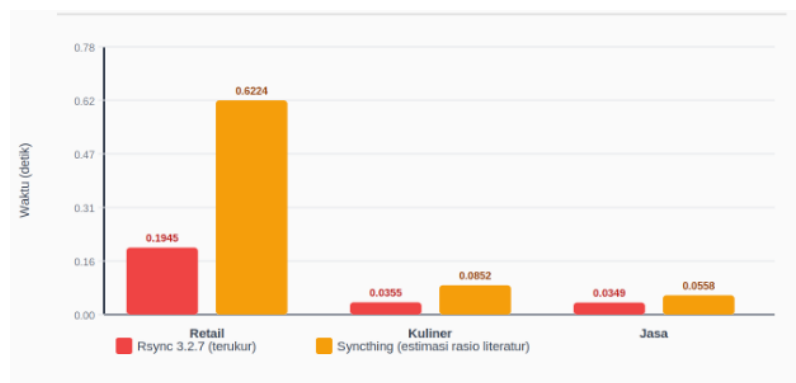
Pengujian dilakukan melalui empat skenario, yaitu Initial Sync, Update Inkremental, Keterbatasan Jaringan, dan Simulasi Kegagalan. Pada skenario Initial Sync, seluruh data direplikasi ke target yang masih kosong untuk mengukur waktu sinkronisasi awal. Skenario Update Inkremental menguji proses sinkronisasi setelah direktori sumber diperbarui menggunakan versi *updated* yang berisi perubahan organik selama tujuh hari transaksi. Skenario Keterbatasan Jaringan dilakukan dengan membatasi bandwidth sebesar 512 KB/s menggunakan parameter `--bwlimit=512` untuk mensimulasikan kondisi koneksi internet yang umum dijumpai pada UMKM. Selanjutnya, skenario Simulasi Kegagalan dilakukan dengan memberikan interupsi paksa (*SIGKILL*) saat proses sinkronisasi berlangsung serta melakukan penghapusan file secara terkontrol untuk mengukur Recovery Time Actual (RTA) dan Recovery Point Actual (RPA).

3. HASIL DAN ANALISIS

Pengujian dilaksanakan pada sistem operasi Linux Ubuntu 24.04 LTS menggunakan Rsync versi 3.2.7 dengan protokol 31. Seluruh nilai kinerja Rsync diperoleh melalui pengukuran langsung menggunakan dataset hasil restrukturisasi dari data transaksi UCI Online Retail Dataset. Hasil pengujian pada skenario Initial Sync menunjukkan bahwa Rsync mampu menyelesaikan sinkronisasi awal dengan sangat cepat pada seluruh profil dataset. Pada profil Retail yang terdiri atas 4.002 file dengan volume data 3,83 MB, waktu sinkronisasi tercatat sebesar 0,1945 detik dengan throughput 165,27 Mbps, sedangkan estimasi waktu Syncthing adalah 0,6224

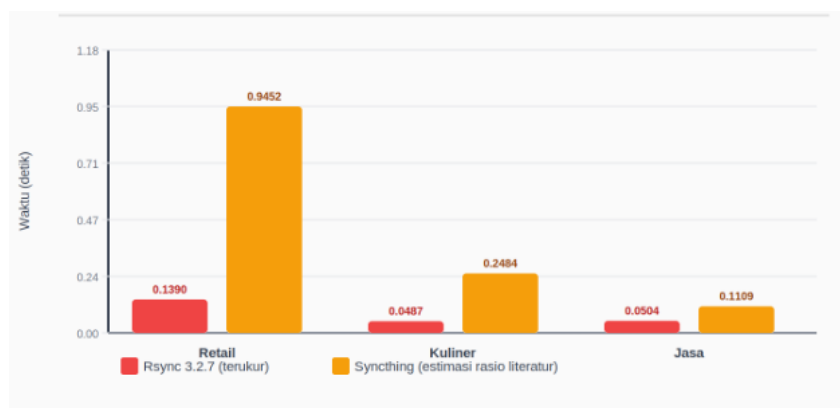
detik, atau sekitar 3,2 kali lebih lambat dibandingkan Rsync. Pada profil Kuliner yang terdiri atas 71 file dengan volume 5,75 MB, Rsync menyelesaikan sinkronisasi dalam 0,0355 detik dengan throughput 1.359,65 Mbps, sementara estimasi Syncthing mencapai 0,0852 detik atau sekitar 2,4 kali lebih lambat. Adapun pada profil Jasa yang hanya terdiri atas empat file dengan volume 7,98 MB, Rsync mencatat waktu sinkronisasi tercepat, yaitu 0,0349 detik dengan throughput 1.918,37 Mbps, sedangkan estimasi Syncthing adalah 0,0558 detik atau sekitar 1,6 kali lebih lambat.

Meskipun profil Retail memiliki volume data paling kecil, yaitu hanya 3,83 MB, proses *initial sync* memerlukan waktu paling lama, yakni 0,1945 detik, dengan throughput hanya 165,27 Mbps. Sebaliknya, profil Jasa yang memiliki volume data lebih dari dua kali lipat (7,98 MB) mampu disinkronkan hanya dalam 0,0349 detik dengan throughput mencapai 1.918,37 Mbps, atau sekitar 11,6 kali lebih tinggi dibandingkan profil Retail. Temuan ini menunjukkan bahwa pada proses sinkronisasi, jumlah file lebih berpengaruh terhadap durasi replikasi dibandingkan volume data total, khususnya pada beban kerja UMKM sektor retail yang menghasilkan ribuan file transaksi berukuran kecil. Perbandingan visual waktu *initial sync* untuk ketiga profil ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 3 Perbandingan Waktu Initial Sync (detik, lebih rendah lebih baik)

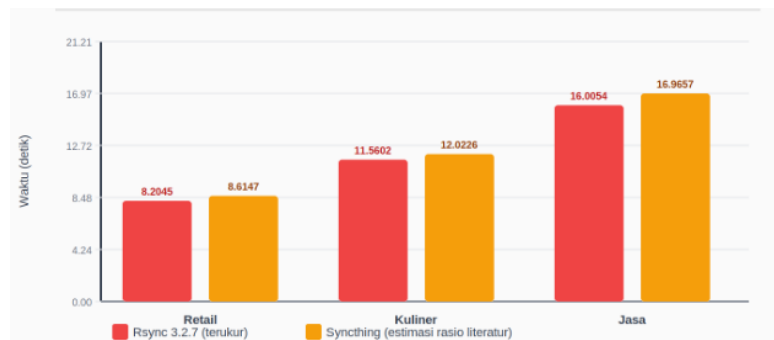
Skenario *update* inkremental paling merepresentasikan operasi *backup* harian UMKM, dan perubahan datanya berasal dari transaksi bisnis nyata berupa 7 hari operasional tambahan. Hasilnya disajikan pada Tabel 3. Rsync menunjukkan efisiensi *delta-transfer* yang sangat baik: pada profil Retail, hanya 776 dari 4.318 file yang ditransfer (18%) dengan volume hanya 393 KB dari total 3,9 MB, atau penghematan *bandwidth* sebesar 90%. Jumlah file yang ditransfer (776) tepat sama dengan jumlah file yang berubah (428) ditambah file baru (348), yang memverifikasi akurasi mekanisme deteksi perubahan Rsync berbasis ukuran dan *mtime*. Pada profil Jasa, dua file yang berubah (laporan bulan berjalan dan *master* pelanggan) ditransfer dalam 0,05 detik. Perbandingan visual disajikan pada **Gambar 5**.



Gambar 4 Perbandingan Waktu Update Inkremental (detik)

Pada skenario keterbatasan jaringan dengan pembatasan 512 KB/s yang merepresentasikan koneksi UMKM lambat atau berbagi, *throughput* kedua *tool* terkonvergensi mendekati batas *bandwidth* (3,92–4,18 Mbps) dan durasi menjadi proporsional terhadap volume data, bukan jumlah file, sebagaimana disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 7. *Overhead many-small-files* profil Retail yang dominan pada kondisi tanpa pembatasan menjadi tersamarkan sepenuhnya oleh *bottleneck* jaringan. Implikasi praktisnya, untuk UMKM dengan koneksi

internet terbatas, pemilihan *tool* tidak signifikan memengaruhi durasi *backup*, sehingga faktor kemudahan penggunaan menjadi lebih determinan dengan waktu akses seperti pada **Gambar 6**.



Gambar 5 Perbandingan Waktu pada Jaringan Terbatas 512 KB/s (detik)

Pada skenario interupsi paksa, proses replikasi dihentikan paksa saat baru 765 dari 4.002 file tersalin (19%), meninggalkan RPA sebesar 3.237 file. Namun RTA penyelesaian replikasi terputus hanya 0,366 detik karena Rsync melanjutkan dari titik terakhir tanpa mentransfer ulang 765 file yang sudah tersalin. Pada skenario penghapusan file, termasuk file laporan bulanan jasa sebesar 6,8 MB, seluruh data dipulihkan dari folder *target* dengan RTA 0,028–0,043 detik dan integritas 100% terverifikasi.

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, disusun matriks perbandingan antara Rsync dan Syncthing sebagai dasar penyusunan model penerapan replikasi data yang disesuaikan dengan karakteristik UMKM. Dari aspek kinerja, Rsync menunjukkan keunggulan pada hampir seluruh parameter teknis, yaitu memiliki kecepatan *initial sync* sekitar 1,6–3,2 kali lebih cepat, efisiensi *delta-transfer* yang mampu menghemat bandwidth hingga 90%, waktu pemulihan (Recovery Time Actual/RTA) sebesar 0,028–0,366 detik, serta konsumsi memori yang relatif rendah, yaitu sekitar 7–12 MB per proses. Sebaliknya, Syncthing memiliki kebutuhan memori lebih besar, sekitar 90–130 MB sebagai layanan (*daemon*), dan menunjukkan kinerja yang kurang optimal terutama pada struktur data dengan banyak file berukuran kecil. Namun demikian, Syncthing menawarkan keunggulan dari sisi kemudahan penggunaan melalui antarmuka berbasis web, sinkronisasi otomatis secara kontinu tanpa memerlukan penjadwalan manual, serta fasilitas pemantauan (*monitoring*) secara real-time sehingga lebih mudah digunakan oleh pengguna nonteknis. Pada kondisi jaringan terbatas, kedua solusi menunjukkan performa yang relatif setara. Dari sisi biaya, keduanya sama-sama merupakan perangkat lunak open-source tanpa biaya lisensi.

4. KESIMPULAN

Rsync menunjukkan kinerja yang sangat baik pada seluruh profil struktur data UMKM yang dibangun dari data transaksi riil UCI Online Retail: *initial sync* diselesaikan dalam 0,035–0,195 detik dan *update* inkremental dalam 0,049–0,139 detik, sementara bukti empiris *overhead many-small-files* teramati nyata melalui *throughput* profil Retail (4.002 file kecil) yang 11,6 kali lebih rendah dari profil Jasa (4 file besar) meskipun volumenya lebih kecil. Mekanisme *delta-transfer* Rsync terverifikasi akurat pada perubahan data organik: dari 7 hari transaksi riil tambahan, Rsync mentransfer tepat 776 file yang berubah atau baru (18% dari total file, 10% dari total volume) pada profil retail, atau penghematan *bandwidth* 90% dibandingkan transfer penuh. Pada jaringan terbatas 512 KB/s, kinerja terkonvergensi pada batas *bandwidth* (± 4 Mbps) sehingga perbedaan algoritma antar *tool* menjadi tidak signifikan dan kemudahan penggunaan menjadi faktor penentu utama pemilihan *tool* bagi UMKM berkoneksi lambat. Model replikasi terbukti andal untuk mitigasi kehilangan data dengan RTA 0,028–0,366 detik pada seluruh skenario kegagalan dan integritas data 100% (MD5). Rekomendasi model penerapan bersifat diferensial: Rsync untuk UMKM dengan dukungan teknis dan volume file tinggi (retail), sedangkan Syncthing untuk UMKM yang memprioritaskan kemudahan operasional tanpa keahlian TI. Penelitian lanjutan diarahkan pada pengujian Syncthing secara langsung, validasi pola restrukturisasi terhadap data operasional UMKM Indonesia riil, pengujian topologi jaringan nyata untuk skenario *backup offsite*, kuantifikasi aspek keamanan enkripsi, serta pengembangan panduan implementasi praktis berbahasa Indonesia untuk diseminasi kepada komunitas UMKM.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (LRPM) Universitas Dian Nusantara yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Penelitian Dosen Pemula tahun pelaksanaan 2025/2026, serta kepada mahasiswa yang terlibat dalam survei dan implementasi teknis penelitian.

REFERENSI

- [1] A. Suhendi and V. Ayumi, "Development of Web-Based Cash Management System (CMS) Based on Cash Processing Center (CPC) at PT. XYZ," *JSAI (Journal Sci. Appl. Informatics)*, vol. 8, no. 2, pp. 503–508, 2025.
- [2] S. Mailana and V. Ayumi, "Aplikasi ConTrack Untuk Manajemen dan Monitoring Data Stok Barang di Perusahaan Jasa Konstruksi," *JSAI (Journal Sci. Appl. Informatics)*, vol. 8, no. 2, pp. 520–525, 2025.
- [3] I. P. D. W. Darmawan, G. A. Pradnyana, and I. B. N. Pascima, "Optimasi Parameter Support Vector Machine Dengan Algoritma Genetika Untuk Analisis Sentimen Pada Media Sosial Instagram," *SINTECH (Science Inf. Technol. J.)*, vol. 6, no. 1, pp. 58–67, 2023.
- [4] D. C. Wulan and B. Prabowo, "Application of Branding Through Product Photography To Develop Digital-Based MSMEs In Medokan Semampir, Surabaya," *JATI EMAS (Jurnal Apl. Tek. dan Pengabd. Masyarakat)*, vol. 7, no. 3, p. 51, Aug. 2023, doi: 10.36339/je.v7i3.782.
- [5] Y. Cahyaningrum, D. R. Puspananda, B. Irhadanto, M. Zainudin, F. A. Saputra, and F. Shulton, "Pelatihan Pembuatan Website Wix Untuk UMKM," *Pengabd. Kpd. Masy. Indones. SEAN (ABDIMAS SEAN)*, vol. 1, no. 02, pp. 80–84, 2023.
- [6] L. M. Harahap, A. B. B. J. Saragih, R. Ramadhan, O. M. Surbakti, and J. Gerald, "Peran UMKM dalam sistem perekonomian Indonesia: Tantangan dan peluang pasca pandemi," *J. Ilmu Manajemen, Bisnis dan Ekon.*, vol. 3, no. 1, pp. 78–85, 2025.
- [7] E. K. Wenardi, A. A. Wijayanti, D. Hajar, and P. M. Nusantara, "Implementasi Sistem Enterprise Resource Planning Odoo untuk Optimalisasi Pencatatan Transaksi pada Swalayan Ani Mart," *Median. Indones. J. Creat. Bus. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 31–45, 2025.
- [8] B. Y. Geni, A. Supriyadi, H. Khotimah, and W. I. Yanti, "Rancang Bangun Company Profile Berbasis Web Menggunakan Metode Waterfall (Studi Kasus: APM Frozen Food)," *J. RESTIKOM Ris. Tek. Inform. dan Komput.*, vol. 6, no. 1, pp. 75–85, 2024.
- [9] M. M. Kananga and V. Ayumi, "Perancangan Sistem Untuk Monitoring Operasional Kontainer dengan Implementasi Metode Agile dan Decision Tree," *JUSIBI (Jurnal Sist. Inf. dan E-Bisnis)*, vol. 8, no. 1, pp. 31–37, 2026.
- [10] B. Y. Geni, D. Ramayanti, and A. Ratnasari, "Implementasi Sistem Poin of Sale Terintegrasi Berbasis Python," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 8, no. 4, pp. 4387–4393, 2024.
- [11] M. Purba, J. Junaidi, L. Iryani, N. Umilizah, H. Noprisson, and N. Ani, "An Ensemble Boosting Approach with Boruta Feature Selection for Predicting E-Payment Adoption," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 17, no. 4, p. 403, 2026.
- [12] N. Luhana and V. Ayumi, "Model Sistem Manajemen Proyek Sosial Media di Perusahaan Periklanan Menggunakan Metode Waterfall," *JUKOMIKA (Jurnal Ilmu Komput. dan Inform.)*, vol. 8, no. 2, pp. 136–141, 2025.
- [13] S. Hukom, N. Humi, and I. Lukman, "The urgency of legal regulation for personal data protection in Indonesia in the big data era," *Hakim J. Ilmu Huk. Dan Sos.*, vol. 3, no. 1, pp. 974–992, 2025.
- [14] V. A. Putri, V. Almalik, and R. D. Iqklimah, "Peran Cloud Computing dalam Mengurangi Risiko Kehilangan Data pada Sistem Informasi UMKM: Pendekatan Risk-Based Analysis," *J. Sains dan Teknol. 4.0*, vol. 3, no. 1, pp. 6–12, 2025.
- [15] N. Qolbi, "Perancangan Jaringan Komputer Berbasis WSN Berbiaya Rendah untuk UMKM," *Karapan Netw. J. J. Comput. Technol. Mob. Ad Hoc Netw.*, vol. 1, no. 01, 2025.
- [16] I. Mulya, D. Ramayanti, and P. Gatsu, "Penerapan Data Protection Dengan Metode Replikasi Snapmirror Relationship Pada Perusahaan XYZ," *Arcitech J. Comput. Sci. Artif. Intell.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–15, 2023.
- [17] H. K. Rahmat, "Strategi Ketahanan Bisnis pada Usaha Kecil dan Menengah (UKM) Menghadapi Bencana," *J. Curr. Res. Manag. Policy, Soc. Stud.*, vol. 2, no. 2, pp. 65–72, 2025.
- [18] M. Sulthan and M. Sajidin, "Cross-Sector Communication Strategy in Supporting the Implementation of the Food Security and Free Nutritious Meals (MBG) Program in Majene Regency," *J. ASPIKOM*, vol. 11, no. 1, pp. 13–29, 2026.
- [19] S. Wu *et al.*, "Fastsync: a fast delta sync scheme for encrypted cloud storage in high-bandwidth network environments," *ACM Trans. Storage*, vol. 19, no. 4, pp. 1–22, 2023.
- [20] J. A. Prescott, "Advancing Transient Fault Mitigation in Multicore Systems Through Software Replication and Hybrid Resilience Techniques," *Emerg. Front. Libr. Am. J. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 12, pp. 60–67, 2023.