Jurnal Ekonomi, Akuntansi, dan Perpajakan
Volume. 3, Nomor. 3 Agustus 2026
e-ISSN: 3046-8140; p-ISSN: 3046-8809, Hal. 64-87
DOI: https://doi.org/10.61132/jeap.v3i3.2466
Tersedia: https://ejournal.areai.or.id/index.php/JEAP

Pengaruh Investasi Teknologi Informasi terhadap Efisiensi Operasional Bank: Peran Moderasi Ukuran Perusahaan

Farhan Abdul Ghoni[1*], Fitra Dharma[2]
[1]Program Studi S1 Akuntansi, Universitas Lampung, Indonesia
[2]Program Studi S3 Akuntansi, Universitas Lampung, Indonesia
[*]*Penulis Korespondensi: farhanabg333@Gmail.com*

Abstract. *Digital transformation has increased banks' reliance on software, yet its operational efficiency consequences remain inconclusive because implementation quality and organizational capability differ across institutions. This study examines the effect of information technology investment on bank operational efficiency and tests firm size as a moderating variable. The sample comprises 26 banking companies listed on the Indonesia Stock Exchange during 2021–2025, yielding 130 balanced-panel observations selected through purposive sampling. Information technology investment is proxied by the natural logarithm of capitalized software book value, operational efficiency by the operating expenses to operating income ratio (BOPO), and firm size by the natural logarithm of total assets; non-performing loans and the loan-to-deposit ratio are included as controls. Fixed-effects panel regression with company-clustered robust standard errors is employed. Information technology investment has a negative and significant effect on BOPO (β = −0.171707; p = 0.047), indicating improved efficiency. However, the interaction between technology investment and firm size is not significant (β = −0.018114; p = 0.612). Thus, asset scale does not determine the efficiency benefit of software investment. Banks should prioritize integration quality, process redesign, and measurable technology utilization rather than relying solely on organizational size.*

Keywords: *Bank Size; Information Technology Investment; Operational Efficiency; Software Assets; Technology Productivity.*

Abstrak. Transformasi digital meningkatkan ketergantungan bank pada perangkat lunak, tetapi konsekuensinya terhadap efisiensi operasional belum konsisten karena kualitas implementasi dan kapabilitas organisasi berbeda antarbank. Penelitian ini bertujuan menguji pengaruh investasi teknologi informasi terhadap efisiensi operasional perbankan serta menganalisis ukuran perusahaan sebagai variabel moderasi. Sampel mencakup 26 perusahaan perbankan yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia selama 2021–2025 dengan 130 observasi panel seimbang yang dipilih melalui *purposive sampling*. Investasi teknologi informasi diproksikan dengan logaritma natural nilai buku perangkat lunak yang dikapitalisasi, efisiensi operasional dengan rasio BOPO, dan ukuran perusahaan dengan logaritma natural total aset; NPL dan LDR *digunakan sebagai variabel kontrol. Analisis menggunakan regresi data panel fixed effects dengan standard* error robust yang dikelompokkan pada tingkat perusahaan. Hasil menunjukkan bahwa investasi teknologi informasi berpengaruh negatif dan signifikan terhadap BOPO (β = −0,171707; p = 0,047), yang berarti efisiensi meningkat. Namun, interaksi investasi teknologi informasi dan ukuran perusahaan tidak signifikan (β = −0,018114; p = 0,612). Dengan demikian, skala aset tidak menentukan manfaat efisiensi dari investasi perangkat lunak. Bank perlu memprioritaskan kualitas integrasi, redesain proses, dan pemanfaatan teknologi yang terukur, bukan hanya mengandalkan besarnya ukuran perusahaan.

Kata kunci: Aset Perangkat Lunak; Efisiensi Operasional; Investasi Teknologi Informasi; Perbankan; Ukuran Perusahaan.

1. LATAR BELAKANG

Transformasi digital telah mengubah arsitektur layanan dan proses kerja industri perbankan. Aktivitas yang sebelumnya bergantung pada kantor cabang, dokumen fisik, dan interaksi tatap muka semakin dialihkan ke mobile banking, internet banking, komputasi awan, analitik data, otomatisasi proses, dan sistem keamanan siber. Perubahan tersebut memperluas jangkauan layanan, mempercepat pemrosesan transaksi, serta memungkinkan bank melayani nasabah tanpa menambah jaringan fisik secara proporsional. Ononiwu et al. (2024)

Naskah Masuk: 24 Mei 2026; Revisi: 28 Juni 2026; Diterima: 30 Juli 2026; Terbit: 07 Agustus 2026

menjelaskan bahwa digitalisasi membentuk kembali model operasional bank di negara berkembang. Harmelani & Cahyaningtyas, (2024) serta Suryanto et al. (2022) juga menunjukkan bahwa digitalisasi mengubah konfigurasi layanan dan berkaitan dengan kinerja keuangan bank.

Perubahan model bisnis tersebut mendorong bank meningkatkan investasi pada perangkat lunak, sistem informasi, integrasi data, aplikasi digital, dan infrastruktur pendukung. Investasi teknologi informasi tidak lagi dapat diperlakukan sebagai pengeluaran administratif biasa karena sistem digital telah menjadi bagian dari proses produksi layanan perbankan. Cho & Chen, (2021) serta Zhai et al. (2022) menjelaskan bahwa adopsi teknologi dapat meningkatkan produktivitas melalui otomatisasi, pengurangan pekerjaan manual, percepatan aliran informasi, dan penurunan risiko kesalahan manusia. Dalam laporan keuangan, sebagian investasi tersebut dicatat sebagai aset perangkat lunak yang dikapitalisasi karena memberikan manfaat ekonomi lebih dari satu periode. Nilai buku perangkat lunak dengan demikian dapat digunakan untuk menggambarkan komitmen sumber daya bank terhadap pengembangan kapabilitas digital, meskipun proksi tersebut tidak mencakup seluruh pengeluaran teknologi yang dibebankan langsung pada tahun berjalan.

Secara operasional, investasi teknologi diharapkan memperbaiki kemampuan bank menghasilkan pendapatan dengan penggunaan biaya yang lebih terkendali. Otomatisasi verifikasi, pemrosesan pembayaran, pemantauan transaksi, pelaporan, dan pelayanan nasabah dapat menekan biaya per transaksi serta mengurangi ketergantungan pada kegiatan administratif. Maryunita & Nugroho, (2022), Riani et al. (2024), serta Suryanto et al. (2022) menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi berkaitan dengan efisiensi atau produktivitas perbankan. Hubungan tersebut diamati melalui rasio Biaya Operasional terhadap Pendapatan Operasional (BOPO). Karena arah interpretasinya berlawanan dengan efisiensi, penurunan BOPO menunjukkan peningkatan efisiensi, sedangkan kenaikan BOPO menunjukkan bahwa beban operasional tumbuh lebih cepat daripada pendapatan operasional.

Namun, investasi teknologi tidak selalu menghasilkan efisiensi secara langsung. Fenomena *IT Productivity Paradox* menjelaskan bahwa peningkatan belanja teknologi dapat diikuti oleh manfaat produktivitas yang tertunda. Pada tahap pengembangan dan implementasi, bank harus menanggung biaya analisis sistem, lisensi, integrasi dengan sistem lama, migrasi data, pengujian, pelatihan pegawai, penguatan keamanan, serta pemeliharaan. Dalam kondisi tertentu, sistem lama dan sistem baru harus dijalankan secara bersamaan untuk menjaga kontinuitas layanan sehingga beban operasional justru meningkat. Ayadi et al. (2025) menunjukkan bahwa hubungan digitalisasi dan efisiensi bank dapat bersifat tidak linear,

sedangkan Chhaidar et al. (2023) memperlihatkan bahwa manfaat investasi teknologi terhadap kinerja bank dipengaruhi oleh tingkat dan efektivitas penggunaannya. Dengan demikian, besarnya investasi teknologi tidak cukup untuk menjamin perbaikan BOPO apabila teknologi belum terintegrasi dengan proses bisnis dan belum dimanfaatkan secara optimal.

Ketidakseragaman dampak digitalisasi juga terlihat pada penelitian terdahulu. Ononiwu et al. (2024), Maryunita & Nugroho, (2022), Lee et al. (2021), Wang et al. (2021), dan Putra et al. (2025) menunjukkan bahwa adopsi teknologi dapat memperbaiki proses, efisiensi, atau kinerja perbankan. Sebaliknya, Ayadi et al. (2025) menegaskan bahwa hubungan digitalisasi dan efisiensi dapat bersifat nonlinier, sedangkan Shen et al. (2025) menunjukkan bahwa manfaat efisiensi bergantung pada kualitas transformasi dan kondisi bank. Zuo et al. (2021) juga menempatkan investasi ilmu pengetahuan dan teknologi sebagai mekanisme peningkatan efisiensi yang membutuhkan pengelolaan berkelanjutan. Perbedaan temuan tersebut menegaskan bahwa hubungan investasi teknologi dan efisiensi dipengaruhi oleh model bisnis, tahap implementasi, sumber daya pendukung, serta kemampuan bank memanfaatkan teknologi secara produktif.

Salah satu karakteristik organisasi yang relevan adalah ukuran perusahaan. Bank berukuran besar umumnya memiliki total aset, basis nasabah, volume transaksi, kapasitas pendanaan, data, dan sumber daya manusia yang lebih luas. Karakteristik tersebut memungkinkan biaya tetap pengembangan perangkat lunak, sistem inti, keamanan siber, dan integrasi kanal didistribusikan pada jumlah pengguna dan transaksi yang lebih besar. Setiawan & Prakoso, (2024) menunjukkan bahwa ukuran bank berkaitan dengan dampak adopsi perbankan digital, sedangkan Chhaidar et al. (2023) menempatkan skala bank sebagai kondisi yang relevan dalam menilai hasil investasi *financial technology*. Lutfi et al. (2024) juga memperlihatkan bahwa ukuran perusahaan dapat mengubah efektivitas faktor teknologi terhadap efisiensi sistem. Namun, bank kecil dapat mengimbangi keterbatasan skala melalui struktur yang lebih sederhana dan pemilihan teknologi yang modular.

Peran ukuran perusahaan juga dapat dijelaskan melalui *Resource-Based View*. Perspektif ini menempatkan keunggulan perusahaan pada kemampuan mengombinasikan sumber daya yang bernilai dengan kapabilitas organisasi. Teknologi yang dapat dibeli oleh banyak bank belum tentu menghasilkan manfaat yang sama karena nilai ekonominya bergantung pada talenta digital, tata kelola data, desain proses, dukungan manajemen, keamanan sistem, dan kemampuan integrasi. Zhai et al. (2022) menunjukkan bahwa manfaat transformasi digital ditentukan oleh kemampuan perusahaan menerjemahkan teknologi menjadi perbaikan kinerja. Harmelani & Cahyaningtyas, (2024) serta Lutfi et al. (2024)

memperkuat argumen bahwa efektivitas sistem bergantung pada faktor organisasi dan pengguna. Dalam kerangka ini, ukuran perusahaan bukan jaminan efisiensi, melainkan indikator kapasitas untuk menyediakan sumber daya komplementer.

Kajian empiris mengenai investasi teknologi informasi masih menyisakan kesenjangan pada aspek pengukuran dan variabel hasil. Al-Amarneh et al. (2023) menguji investasi teknologi terhadap kinerja bank di Yordania dengan ukuran investasi yang menggabungkan perangkat keras dan perangkat lunak. Zelalem & Abebe, (2022) menganalisis aset tak berwujud pada bank Ethiopia, tetapi tidak secara khusus memisahkan perangkat lunak dan tidak menggunakan BOPO sebagai ukuran efisiensi. Chhaidar et al. (2023) menghubungkan investasi *financial technology* dengan profitabilitas bank Eropa, sedangkan penelitian Indonesia masih banyak menggunakan indikator adopsi kanal atau keberadaan layanan digital. Dengan demikian, diperlukan pengujian yang menggunakan data akuntansi perangkat lunak secara spesifik dan menghubungkannya langsung dengan efisiensi biaya operasional.

Kesenjangan berikutnya terdapat pada penempatan ukuran perusahaan. Sejumlah penelitian memasukkan ukuran perusahaan sebagai variabel kontrol atau dasar pengelompokan, sehingga belum menjelaskan apakah skala mengubah kekuatan hubungan antara investasi teknologi dan efisiensi. Setiawan dan Prakoso (2024) menunjukkan relevansi ukuran bank dalam hubungan adopsi digital dan kinerja, tetapi proksi teknologinya tidak berupa nilai buku perangkat lunak. Lutfi et al. (2024) menguji moderasi ukuran perusahaan pada efisiensi ERP, tetapi objeknya perusahaan industri nonperbankan. Shen et al. (2025) berfokus pada transformasi digital dan efisiensi biaya bank di Tiongkok tanpa menguji desain moderasi ukuran pada BOPO Indonesia. Ruang penelitian ini diisi dengan menguji ukuran perusahaan sebagai moderator hubungan investasi perangkat lunak dan BOPO pada bank Indonesia.

Konteks waktu penelitian juga memiliki relevansi empiris. Periode 2021-2025 merepresentasikan fase percepatan digitalisasi pascapandemi, ketika bank memperluas layanan digital sekaligus menghadapi integrasi sistem, risiko siber, perubahan perilaku nasabah, dan tekanan efisiensi. Dadoukis et al. (2021) menunjukkan bahwa kesiapan teknologi membantu daya tahan dan kinerja bank selama gangguan pandemi. Penggunaan data panel memungkinkan perubahan investasi dan BOPO diamati pada perusahaan yang sama dari waktu ke waktu. Risiko kredit dan likuiditas dikendalikan karena keduanya dapat memengaruhi beban, pendapatan, dan kemampuan intermediasi; relevansi pengendalian risiko tersebut juga ditunjukkan oleh Sanjaya & Badjuri, (2024).

Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut melalui tiga unsur kebaruan yang terintegrasi dalam satu model empiris. Pertama, investasi teknologi informasi diproksikan menggunakan logaritma natural nilai buku perangkat lunak yang dikapitalisasi dan diungkapkan dalam laporan keuangan, sehingga pengukuran didasarkan pada data akuntansi yang dapat dibandingkan antarbank. Kedua, efisiensi operasional diukur menggunakan BOPO, bukan hanya profitabilitas, sehingga analisis diarahkan pada konsekuensi biaya dari investasi teknologi. Ketiga, ukuran perusahaan diposisikan sebagai variabel moderasi untuk menguji apakah skala aset memperkuat kemampuan investasi teknologi dalam menurunkan BOPO. Model juga memasukkan NPL dan LDR sebagai variabel kontrol serta menggunakan data panel 26 perusahaan perbankan yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia selama lima tahun, dengan total 130 observasi seimbang.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh investasi teknologi informasi terhadap efisiensi operasional bank serta menguji peran ukuran perusahaan dalam memoderasi hubungan tersebut. Investasi teknologi informasi diperkirakan berpengaruh negatif terhadap BOPO, yang berarti meningkatkan efisiensi operasional, sedangkan ukuran perusahaan diperkirakan memperkuat pengaruh negatif tersebut melalui *economies of scale* dan kapasitas sumber daya komplementer. Hasil penelitian diharapkan memperluas penerapan *Resource-Based View* pada investasi digital perbankan, memberikan dasar evaluasi bagi manajemen dalam mengaitkan belanja teknologi dengan indikator operasional yang terukur, membantu regulator menilai efektivitas transformasi digital antar kelompok bank, dan menyediakan informasi tambahan bagi investor mengenai kemampuan bank mengubah aset perangkat lunak menjadi efisiensi yang berkelanjutan.

2. KAJIAN TEORITIS

Resource-Based View dan Paradoks Produktivitas Teknologi Informasi

Resource-Based View (RBV) menjelaskan bahwa perbedaan kinerja antarperusahaan ditentukan oleh kemampuan organisasi memperoleh, mengombinasikan, dan memanfaatkan sumber daya internal. Dalam konteks teknologi, perangkat lunak hanya menghasilkan nilai apabila terintegrasi dengan kompetensi manusia, proses, data, dan tata kelola. Zhai et al. (2022) menunjukkan bahwa transformasi digital berkontribusi pada kinerja ketika teknologi mengubah alur kerja dan kemampuan organisasi. Harmelani & Cahyaningtyas, (2024) serta Lutfi et al. (2024) juga menegaskan bahwa hasil digitalisasi bergantung pada efektivitas penggunaan sistem dan kesiapan organisasi, bukan sekadar kepemilikan teknologi.

Dalam perspektif RBV, investasi perangkat lunak merepresentasikan komitmen bank membangun kapabilitas digital. Infrastruktur dasar dapat diperoleh banyak perusahaan, tetapi cara bank mengintegrasikan aplikasi, data nasabah, prosedur pengendalian, pengalaman pengguna, dan kompetensi pegawai lebih sulit direplikasi. Zhai et al. (2022) menempatkan transformasi digital sebagai perubahan organisasi yang dapat meningkatkan alur kerja dan kinerja. Harmelani & Cahyaningtyas, (2024) menunjukkan bahwa digitalisasi perbankan harus dinilai dari perubahan kinerja yang dihasilkan. Oleh karena itu, nilai buku perangkat lunak diperlakukan sebagai proksi sumber daya teknologi, sedangkan ukuran perusahaan diuji sebagai kapasitas yang mungkin memperkuat pemanfaatannya.

RBV dalam penelitian ini dilengkapi oleh konsep *IT Productivity Paradox*. Konsep tersebut menjelaskan adanya kemungkinan jeda waktu antara investasi teknologi dan manfaat produktivitas yang dihasilkan. Pada tahap awal, pengembangan perangkat lunak dapat menimbulkan biaya analisis kebutuhan, lisensi, integrasi dengan sistem lama, migrasi data, pengujian, pelatihan, pengamanan, dan pemeliharaan. Bank bahkan dapat menjalankan sistem lama dan sistem baru secara bersamaan untuk menjaga kontinuitas layanan. Akibatnya, beban operasional dapat meningkat sebelum otomatisasi, peningkatan volume transaksi, dan pengurangan pekerjaan manual menghasilkan penghematan. Ayadi et al. (2025) menunjukkan bahwa hubungan digitalisasi dan efisiensi dapat bersifat tidak linear, sehingga investasi yang besar tidak selalu efisien apabila implementasinya tidak matang atau melampaui kemampuan organisasi untuk menyerap teknologi.

Penggabungan RBV dan *IT Productivity Paradox* memberikan dasar teoretis yang lebih memadai. RBV menjelaskan mengapa bank dengan sumber daya dan kapabilitas komplementer yang berbeda dapat memperoleh hasil yang berbeda dari investasi teknologi yang relatif serupa. Sementara itu, *IT Productivity Paradox* menjelaskan mengapa manfaat tersebut mungkin tidak muncul pada periode investasi yang sama. Dalam model penelitian ini, ukuran perusahaan digunakan untuk menangkap sebagian perbedaan kapasitas sumber daya dan skala operasi yang dapat mempercepat atau memperlambat konversi investasi teknologi menjadi efisiensi.

Investasi Teknologi Informasi

Investasi teknologi informasi merupakan alokasi sumber daya untuk memperoleh, mengembangkan, memperbarui, dan memelihara sistem yang mendukung pengolahan informasi serta penyediaan layanan perusahaan. Dalam perbankan, investasi tersebut mencakup perangkat lunak inti, aplikasi mobile banking, internet banking, sistem pembayaran, analitik data, otomasi proses, komputasi awan, keamanan siber, dan integrasi antarsistem. Cho

& Chen, (2021) serta Ononiwu et al. (2024) menjelaskan bahwa teknologi digital dapat meningkatkan kecepatan transaksi, memperluas jangkauan layanan, mengurangi ketergantungan pada kantor fisik, dan memperbaiki akurasi proses. Oleh karena itu, investasi teknologi merupakan *input* produksi yang relevan bagi bank, bukan semata-mata biaya pendukung administratif.

Pengukuran investasi teknologi dapat menggunakan belanja teknologi yang dibebankan pada periode berjalan, intensitas transformasi digital berbasis pengungkapan teks, rasio pengeluaran teknologi terhadap aset, atau nilai aset perangkat lunak yang dikapitalisasi. Penelitian ini menggunakan logaritma natural nilai buku perangkat lunak yang dicatat dalam aset tak berwujud. Proksi tersebut dipilih karena bersumber dari laporan keuangan dan Catatan atas Laporan Keuangan, relatif dapat dibandingkan antarbank, serta menggambarkan sumber daya perangkat lunak yang masih memiliki manfaat ekonomi pada akhir periode. Penggunaan logaritma natural diperlukan untuk mengurangi perbedaan skala nominal antarbank yang sangat lebar.

Proksi nilai buku perangkat lunak tetap memiliki batas konseptual. Nilai tersebut tidak mencakup seluruh biaya teknologi, seperti layanan *cloud* yang dibebankan langsung, perangkat keras, keamanan siber, konsultasi, integrasi, dan pengembangan kompetensi digital. Selain itu, nilai buku dipengaruhi kebijakan kapitalisasi, umur manfaat, amortisasi, dan penghentian aset. Zelalem & Abebe, (2022) menunjukkan bahwa aset tak berwujud berhubungan dengan kebijakan dan kinerja bank, sedangkan Amarneh et al. (2023) serta Chhaidar et al. (2023) menggunakan ukuran investasi teknologi yang berbeda. Perbedaan pengukuran ini menegaskan bahwa hasil penelitian harus ditafsirkan sebagai pengaruh komponen perangkat lunak yang dikapitalisasi, bukan keseluruhan investasi digital bank.

Efisiensi Operasional Perbankan

Efisiensi operasional menunjukkan kemampuan bank menghasilkan layanan dan pendapatan dengan biaya yang terkendali. Efisiensi bukan sekadar mengurangi pengeluaran, tetapi memastikan setiap sumber daya menghasilkan *output* yang memadai. Maryunita & Nugroho, (2022) menunjukkan hubungan inovasi fintech dan efisiensi bank Indonesia, Riani et al. (2024) menilai peran kemajuan teknologi terhadap efisiensi dan produktivitas perbankan ASEAN, sedangkan Lee et al. (2021), Wang et al. (2021), dan Zuo et al. (2021) memperlihatkan bahwa fintech serta investasi teknologi dapat meningkatkan efisiensi bank. Temuan tersebut mendukung penggunaan efisiensi operasional sebagai hasil utama penelitian.

Penelitian ini memproksikan efisiensi operasional menggunakan rasio Biaya Operasional terhadap Pendapatan Operasional (BOPO). Rasio tersebut membandingkan beban operasional dengan pendapatan operasional. Interpretasinya bersifat terbalik: BOPO yang lebih rendah menunjukkan bahwa bank membutuhkan biaya yang lebih kecil untuk menghasilkan pendapatan operasional, sedangkan BOPO yang lebih tinggi menunjukkan tingkat inefisiensi yang lebih besar. BOPO dipilih karena langsung menangkap konsekuensi biaya dan pendapatan dari perubahan proses operasional serta lazim digunakan dalam evaluasi kinerja perbankan Indonesia.

Investasi teknologi dapat menurunkan BOPO melalui beberapa mekanisme. Otomatisasi mengurangi pekerjaan berulang dan kesalahan manual; kanal digital meningkatkan volume transaksi tanpa pertumbuhan kantor dan pegawai secara proporsional; integrasi data mempercepat pengambilan keputusan; dan analitik meningkatkan ketepatan pemantauan risiko serta pemasaran. Namun, teknologi juga dapat meningkatkan BOPO pada tahap awal akibat amortisasi, pemeliharaan, penguatan keamanan, dan biaya transisi. Karena itu, arah pengaruh empiris ditentukan oleh keseimbangan antara biaya implementasi dan manfaat produktivitas yang berhasil direalisasikan. Rasio BOPO juga tidak dapat menilai seluruh dimensi efisiensi teknis sebagaimana Data *Envelopment Analysis*, tetapi lebih sesuai dengan fokus penelitian yang menilai beban operasional relatif terhadap pendapatan.

Ukuran Perusahaan sebagai Variabel Moderasi

Ukuran perusahaan menggambarkan skala sumber daya dan kegiatan ekonomi bank. Dalam penelitian perbankan, ukuran umumnya diproksikan dengan logaritma natural total aset karena aset mencerminkan kapasitas pendanaan, penyaluran kredit, infrastruktur, jangkauan layanan, dan kemampuan menanggung risiko. Setiawan & Prakoso, (2024) serta Sudrajat & Setiyawati, (2021) menjelaskan bahwa ukuran perusahaan berkaitan dengan kapasitas organisasi dalam membiayai investasi dan memanfaatkan skala ekonomi. Pada konteks digitalisasi, total aset juga mencerminkan kemampuan relatif bank dalam menyediakan infrastruktur, tenaga ahli, pengendalian, dan dana pemeliharaan yang diperlukan agar teknologi dapat berfungsi secara berkelanjutan.

Peran moderasi ukuran perusahaan terutama dijelaskan melalui *economies of scale*. Pengembangan aplikasi, sistem inti, pusat data, dan keamanan siber mengandung biaya tetap yang besar. Bank dengan basis nasabah dan volume transaksi yang lebih luas dapat mendistribusikan biaya tersebut pada jumlah layanan yang lebih besar. Setiawan & Prakoso, (2024) menunjukkan bahwa ukuran bank relevan dalam hubungan adopsi digital dan kinerja. Chhaidar et al. (2023) serta Lutfi et al. (2024) juga menempatkan ukuran sebagai kondisi yang

dapat mengubah hasil investasi atau penggunaan teknologi. Namun, Shen et al. (2025) mengingatkan bahwa efisiensi biaya ditentukan oleh kualitas transformasi, sehingga skala aset tidak selalu cukup untuk menjamin manfaat.

Ukuran yang besar tetap tidak menjamin efisiensi secara otomatis. Struktur organisasi yang kompleks, sistem warisan yang berlapis, proses pengambilan keputusan yang panjang, dan biaya koordinasi dapat menimbulkan *diseconomies of scale*. Karena itu, ukuran perusahaan diposisikan sebagai faktor yang memperkuat pengaruh investasi teknologi hanya apabila skala aset diikuti kemampuan integrasi dan pemanfaatan teknologi. Penempatan ukuran sebagai moderator lebih tepat daripada sekadar variabel kontrol karena penelitian ingin menguji apakah dampak investasi teknologi terhadap BOPO berubah pada tingkat ukuran bank yang berbeda.

Penelitian Terdahulu dan Posisi Penelitian

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa hubungan teknologi dan kinerja bank belum menghasilkan kesimpulan tunggal. Perbedaan proksi investasi, indikator hasil, negara, periode, serta karakteristik sampel menyebabkan hasil yang beragam. Sebagian penelitian menemukan perbaikan efisiensi dan profitabilitas, sedangkan penelitian lain menunjukkan manfaat yang tertunda atau hubungan tidak linear. Ringkasan penelitian yang paling relevan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Penelitian Terdahulu.

Peneliti	Temuan Utama/Relevansi	Perbedaan dan Celah Penelitian
Al-Amarneh et al. (2023)	Investasi teknologi informasi berkaitan dengan kinerja dan efisiensi biaya bank komersial Yordania.	Investasi TI bersifat agregat; ukuran perusahaan hanya kontrol; objek bukan bank Indonesia.
Ayadi et al. (2025)	Digitalisasi memengaruhi efisiensi bank Eropa dan dapat membentuk hubungan yang tidak linear.	Tidak menggunakan nilai buku perangkat lunak, BOPO, dan moderasi ukuran dalam konteks Indonesia.
Ononiwu et al. (2024)	Transformasi digital memperbaiki proses dan jangkauan operasional bank di negara berkembang.	Tidak menguji data akuntansi perangkat lunak dan tidak menggunakan regresi moderasi.
Maryunita dan Nugroho (2022)	Inovasi fintech berhubungan dengan efisiensi bank konvensional di Indonesia.	Menggunakan adopsi fintech, bukan nilai buku perangkat lunak, dan tidak menguji ukuran sebagai moderator.
Setiawan dan Prakoso (2024)	Ukuran bank berkaitan dengan dampak adopsi digital terhadap kinerja bank Indonesia.	Proksi digitalisasi bukan investasi perangkat lunak yang dikapitalisasi dan hasil tidak berfokus pada BOPO sebagai variabel utama.
Shen et al. (2025)	Transformasi digital meningkatkan efisiensi biaya bank komersial di Tiongkok.	Tidak menguji moderasi ukuran perusahaan dan tidak menggunakan BOPO perbankan Indonesia.

Lutfi et al. (2024)	Ukuran perusahaan diuji dalam hubungan faktor teknologi dan efisiensi sistem ERP.	Objek perusahaan industri Yordania, bukan bank dan bukan investasi TI berbasis laporan keuangan.

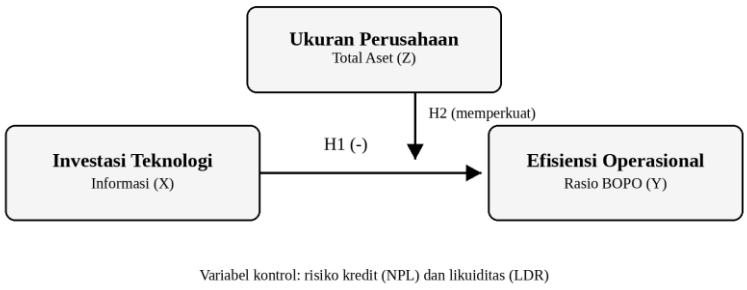
Sumber: Diolah dari penelitian terdahulu (2026).

Pemetaan tersebut menunjukkan tiga kesenjangan utama. Pertama, banyak penelitian mengukur digitalisasi menggunakan indeks, adopsi kanal, atau pengeluaran teknologi agregat, sedangkan pengukuran berbasis nilai buku perangkat lunak masih terbatas. Kedua, sebagian penelitian menggunakan profitabilitas sebagai variabel hasil, sehingga konsekuensi biaya operasional belum dianalisis secara langsung. Ketiga, ukuran perusahaan umumnya hanya digunakan sebagai kontrol atau dasar klasifikasi, bukan sebagai variabel yang mengubah kekuatan hubungan investasi teknologi dan efisiensi. Penelitian ini menempatkan ketiga aspek tersebut dalam satu model dengan menggunakan data panel perusahaan perbankan yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia selama 2021–2025.

Posisi penelitian ini adalah menguji apakah sumber daya perangkat lunak yang tercermin dalam laporan keuangan mampu menurunkan BOPO serta apakah pengaruh tersebut menjadi lebih kuat pada bank dengan total aset yang lebih besar. Risiko kredit dan likuiditas dikendalikan karena keduanya dapat memengaruhi biaya dan pendapatan operasional. Dengan demikian, kebaruan penelitian tidak hanya terletak pada periode pengamatan, tetapi pada kombinasi proksi investasi teknologi, indikator efisiensi, dan desain moderasi ukuran perusahaan.

Kerangka Konseptual dan Pengembangan Hipotesis

Kerangka konseptual penelitian menempatkan investasi teknologi informasi sebagai variabel independen, efisiensi operasional yang diproksikan dengan BOPO sebagai variabel dependen, dan ukuran perusahaan sebagai variabel moderasi. Risiko kredit dan likuiditas dimasukkan sebagai variabel kontrol karena dapat memengaruhi struktur biaya dan pendapatan bank. Hubungan antarvariabel disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Konseptual Penelitian.

Sumber: Diolah penulis (2026).

Pengaruh Investasi Teknologi Informasi terhadap Efisiensi Operasional

Teknologi informasi memungkinkan bank mengotomatisasi proses, mempercepat transaksi, menurunkan kesalahan, dan memperluas layanan tanpa menambah sumber daya fisik secara proporsional. Ketika perangkat lunak terintegrasi dan digunakan secara optimal, peningkatan produktivitas diperkirakan lebih besar daripada biaya implementasi dan pemeliharaan. Temuan Cho & Chen, (2021), Lee et al. (2021), Wang et al. (2021), Maryunita & Nugroho, (2022), Ononiwu et al. (2024), serta Zuo et al. (2021) mendukung potensi teknologi dalam memperbaiki proses dan efisiensi, meskipun manfaatnya dapat tertunda pada fase implementasi.

H1: Investasi teknologi informasi berpengaruh negatif terhadap rasio BOPO, yang menunjukkan peningkatan efisiensi operasional bank.

Peran Moderasi Ukuran Perusahaan

Bank berukuran besar memiliki aset, basis nasabah, volume transaksi, kapasitas pendanaan, dan sumber daya komplementer yang lebih luas. Skala tersebut memungkinkan biaya tetap teknologi didistribusikan pada aktivitas yang lebih besar dan mempercepat pencapaian *economies of scale*. Oleh sebab itu, investasi perangkat lunak diperkirakan menghasilkan penurunan BOPO yang lebih kuat pada bank besar daripada bank kecil. Setiawan & Prakoso, (2024), Chhaidar et al. (2023), dan Lutfi et al. (2024) memberikan dasar empiris bahwa ukuran dapat berkaitan dengan efektivitas adopsi teknologi, sedangkan Shen et al. (2025) menunjukkan bahwa manfaat efisiensi tetap bergantung pada karakter transformasi bank.

H2: Ukuran perusahaan memperkuat pengaruh negatif investasi teknologi informasi terhadap rasio BOPO.

3. METODE PENELITIAN

Desain Penelitian dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain eksplanatori kausal untuk menguji pengaruh investasi teknologi informasi terhadap efisiensi operasional serta peran ukuran perusahaan dalam mengubah kekuatan hubungan tersebut. Unit analisis adalah perusahaan sektor perbankan yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia, sedangkan unit observasi merupakan data perusahaan-tahun selama periode 2021–2025. Struktur data menggabungkan dimensi lintas perusahaan (*cross-section*) dan runtut waktu (*time-series*), sehingga analisis dilakukan menggunakan regresi data panel. Pendekatan tersebut memungkinkan estimasi

mempertimbangkan heterogenitas antarbank dan perubahan kondisi masing-masing bank dari tahun ke tahun.

Data penelitian merupakan data sekunder kuantitatif yang dikumpulkan melalui metode dokumentasi. Data diperoleh dari laporan tahunan, laporan keuangan auditan, dan Catatan atas Laporan Keuangan perusahaan yang tersedia melalui Bursa Efek Indonesia serta laman hubungan investor masing-masing bank. Informasi yang dicatat meliputi nilai buku perangkat lunak, beban operasional, pendapatan operasional, total aset, kredit bermasalah, total kredit, dan dana pihak ketiga. Pengolahan dan estimasi model dilakukan menggunakan Stata 17.

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian mencakup seluruh perusahaan sektor perbankan yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia. Sampel ditentukan dengan *purposive sampling* agar setiap observasi memiliki data yang sesuai dengan kebutuhan pengukuran dan analisis. Perusahaan dimasukkan ke dalam sampel apabila terdaftar selama periode pengamatan, menerbitkan laporan tahunan dan laporan keuangan auditan untuk tahun 2021–2025, serta mengungkapkan secara konsisten data nilai buku perangkat lunak, BOPO, total aset, *Non-Performing Loan* (NPL), dan *Loan to Deposit Ratio* (LDR). Data awal terdiri atas 136 observasi. Setelah observasi yang tidak lengkap dikeluarkan, diperoleh 26 bank dengan lima tahun pengamatan atau 130 observasi. Setiap bank menyumbang lima observasi sehingga data yang digunakan dalam estimasi merupakan *balanced* panel.

Definisi Operasional dan Pengukuran Variabel

Variabel dependen penelitian adalah efisiensi operasional yang diproksikan dengan rasio Biaya Operasional terhadap Pendapatan Operasional (BOPO). Rasio BOPO memiliki arah interpretasi terbalik, yaitu nilai yang lebih rendah menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi. Variabel independen adalah investasi teknologi informasi (ITI) yang diproksikan dengan logaritma natural nilai buku perangkat lunak yang dikapitalisasi. Ukuran perusahaan (SIZE) diposisikan sebagai variabel moderasi dan dihitung menggunakan logaritma natural total aset. Risiko kredit (NPL) dan likuiditas (LDR) digunakan sebagai variabel kontrol karena keduanya dapat memengaruhi struktur biaya dan pendapatan operasional bank. Ringkasan operasionalisasi variabel disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Operasionalisasi Variabel Penelitian.

Variabel	Simbol/Posisi	Pengukuran	Interpretasi dan Sumber Data
Efisiensi operasional	BOPO Dependen (Y)	Beban operasional / Pendapatan operasional × 100%	BOPO yang lebih rendah menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi. Data berasal dari laporan tahunan atau laporan keuangan bank.
Investasi teknologi informasi	ITI Independen (X)	Ln(nilai buku perangkat lunak)	Menggambarkan nilai tercatat software/sistem komputer yang dikapitalisasi dalam aset tak berwujud pada akhir tahun.
Ukuran perusahaan	SIZE Moderasi (Z)	Ln(total aset)	Menggambarkan skala sumber daya dan kegiatan operasional bank berdasarkan total aset.
Risiko kredit	NPL Kontrol	Kredit bermasalah / Total kredit × 100%	NPL yang lebih tinggi menunjukkan risiko kredit dan potensi beban pencadangan yang lebih besar.
Likuiditas	LDR Kontrol	Total kredit / Dana pihak ketiga × 100%	Menggambarkan intensitas penyaluran kredit relatif terhadap sumber dana pihak ketiga.

Sumber: Operasionalisasi variabel berdasarkan rancangan penelitian (2026).

Secara matematis, pengukuran variabel utama dirumuskan sebagai berikut:

$BOPO_{it}$ = (Beban $Operasional_{it}$ / Pendapatan $Operasional_{it}$) × 100%.....(i)

ITI_{it} = Ln(Nilai Buku $Perangkat\ Lunak_{it}$).....(ii)

$SIZE_{it}$ = Ln(Total $Aset_{it}$).....(iii)

Indeks i menunjukkan perusahaan perbankan dan indeks t menunjukkan tahun pengamatan. Nilai buku perangkat lunak dan total aset dinyatakan dalam satuan rupiah sebelum ditransformasikan ke logaritma natural. Transformasi logaritma digunakan untuk memperkecil rentang nominal antarbank dan mengurangi dominasi observasi dengan skala aset yang sangat besar.

Teknik Analisis Data

Analisis diawali dengan statistik deskriptif untuk menyajikan jumlah observasi, nilai rata-rata, standar deviasi, nilai minimum, dan nilai maksimum setiap variabel. Estimasi mempertimbangkan *Common Effect Model* (CEM), *Fixed Effect Model* (FEM), dan *Random Effect Model* (REM). Pemilihan model dilakukan melalui Uji Chow untuk membandingkan CEM dengan FEM, Uji Hausman untuk membandingkan FEM dengan REM, serta Uji *Lagrange Multiplier* untuk membandingkan CEM dengan REM. Model akhir ditentukan dengan mempertimbangkan keseluruhan hasil pengujian pada tingkat signifikansi 5%.

Potensi gangguan estimasi dievaluasi melalui *Variance Inflation Factor* (VIF) untuk mendeteksi multikolinearitas dan *Breusch-Pagan/Cook-Weisberg test* untuk mendeteksi heteroskedastisitas. Karena heteroskedastisitas teridentifikasi pada kedua persamaan, inferensi

akhir menggunakan *cluster-robust standard errors* pada tingkat perusahaan. Pendekatan tersebut mempertahankan koefisien estimasi, tetapi menyesuaikan standar eror, statistik t, dan probabilitas agar pengujian hipotesis lebih andal.

Model Regresi Data Panel dan Moderated Regression Analysis

Pengujian hipotesis menggunakan *Moderated Regression Analysis* (MRA) dalam kerangka regresi data panel. Model pertama menguji pengaruh langsung investasi teknologi informasi terhadap BOPO dengan memasukkan ukuran perusahaan dan variabel kontrol. Model kedua menambahkan interaksi ITI × SIZE untuk menguji apakah ukuran perusahaan memperkuat atau memperlemah pengaruh investasi teknologi informasi terhadap BOPO. Persamaan yang diestimasi adalah sebagai berikut:

Model 1: $BOPO_{it} = \alpha + \beta_1 ITI_{it} + \beta_2 SIZE_{it} + \beta_3 NPL_{it} + \beta_4 LDR_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$.....(iv)

Model 2: $BOPO_{it} = \alpha + \beta_1 ITI_{it} + \beta_2 SIZE_{it} + \beta_3 (ITI_{it} \times SIZE_{it}) + \beta_4 NPL_{it}$

$+ \beta_5 LDR_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$.....(v)

Dalam persamaan tersebut, α adalah konstanta; β_1 sampai β_5 merupakan koefisien regresi; μ_i merepresentasikan efek individual perusahaan yang tidak berubah sepanjang waktu; dan ε_{it} merupakan komponen galat. Pada Model 1, hipotesis pertama didukung apabila koefisien ITI bernilai negatif dan signifikan, karena penurunan BOPO menunjukkan peningkatan efisiensi. Pada Model 2, keberadaan moderasi ditentukan oleh signifikansi koefisien interaksi ITI × SIZE. Hipotesis kedua didukung apabila koefisien interaksi bernilai negatif dan signifikan, yang berarti peningkatan ukuran perusahaan memperkuat kemampuan investasi teknologi informasi dalam menurunkan BOPO.

Pengujian Hipotesis dan Kelayakan Model

Pengujian parsial menggunakan statistik t dengan tingkat signifikansi 5% untuk menilai pengaruh masing-masing variabel. Pengujian simultan menggunakan statistik F untuk menilai apakah seluruh variabel dalam model secara bersama-sama berhubungan dengan BOPO. Kemampuan model dalam menjelaskan perubahan BOPO dinilai melalui within R^2 karena estimasi panel menitikberatkan variasi yang terjadi di dalam perusahaan sepanjang waktu. Keputusan hipotesis didasarkan pada arah koefisien, nilai probabilitas, dan konsistensinya dengan konstruksi BOPO sebagai indikator yang berlawanan arah dengan efisiensi operasional.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Sampel Penelitian

Pengolahan data dilakukan menggunakan Stata 17. Data awal berjumlah 136 observasi dan teridentifikasi sebagai panel tidak seimbang karena beberapa perusahaan-tahun tidak memiliki seluruh data yang diperlukan. Setelah observasi tidak lengkap dikeluarkan, estimasi akhir menggunakan 130 observasi dari 26 perusahaan perbankan selama 2021–2025. Setiap perusahaan memiliki lima observasi, sehingga data yang benar-benar masuk ke dalam model membentuk *balanced panel*. Struktur ini memungkinkan perubahan variabel di dalam bank yang sama dianalisis secara konsisten dari tahun ke tahun.

Tabel 3. Struktur Sampel Penelitian.

Keterangan	Jumlah
Data awal yang terkumpul	136 observasi
Perusahaan dalam estimasi akhir	26 perusahaan
Periode pengamatan	2021–2025
Observasi per perusahaan	5 observasi
Total observasi estimasi	130 observasi
Struktur panel estimasi	*Balanced panel*

Sumber: Data Olahan Stata (2026).

Distribusi observasi juga seimbang menurut tahun. Masing-masing tahun dari 2021 sampai 2025 menyumbang 26 observasi atau 20% dari keseluruhan data. Oleh karena itu, hasil estimasi tidak didominasi oleh satu periode tertentu dan dapat menggambarkan dinamika investasi teknologi informasi, ukuran perusahaan, risiko kredit, likuiditas, dan BOPO sepanjang periode penelitian.

Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan pusat dan penyebaran data sebelum dilakukan pengujian inferensial. Ringkasan meliputi jumlah observasi, nilai rata-rata, standar deviasi, nilai minimum, dan nilai maksimum dari variabel dependen, independen, moderasi, interaksi, serta kontrol.

Tabel 4. Statistik Deskriptif Variabel Penelitian.

Variabel	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maksimum
BOPO	130	0,926	0,384	0,420	3,100
ITI (*lnX*)	130	11,450	2,117	6,780	15,810
SIZE (*lnZ*)	130	17,547	1,637	15,290	21,760
ITI × SIZE	130	203,223	52,844	106,680	337,710
NPL	130	0,0327	0,0249	0,0001	0,1409
LDR	130	0,976	0,403	0,400	3,740

Sumber: Data Olahan Stata (2026).

Rata-rata BOPO sebesar 0,926 atau 92,62% menunjukkan bahwa bank dalam sampel mengeluarkan biaya operasional sekitar Rp92,62 untuk menghasilkan setiap Rp100,00 pendapatan operasional. Karena BOPO berlawanan arah dengan efisiensi, nilai yang lebih rendah menunjukkan pengelolaan biaya yang lebih baik. Rentang BOPO dari 42,00% sampai 310,00% dan standar deviasi 38,40 poin persentase menunjukkan perbedaan efisiensi yang lebar antarbank dan antartahun. BOPO di atas 100% pada observasi tertentu berarti pendapatan operasional belum mampu menutup seluruh biaya operasional.

Investasi teknologi informasi memiliki rata-rata logaritma natural sebesar 11,450 dengan rentang 6,780–15,810. Variasi tersebut menggambarkan perbedaan nilai buku perangkat lunak, skala pengembangan sistem, umur aset, kebijakan kapitalisasi, dan tahapan transformasi digital. Ukuran perusahaan memiliki rata-rata 17,547 dengan rentang 15,290–21,760, yang menegaskan keberagaman skala aset dalam sampel. Variabel interaksi memiliki rata-rata 203,223 dan digunakan untuk menguji apakah skala aset mengubah pengaruh investasi perangkat lunak terhadap BOPO.

NPL memiliki rata-rata 3,27% dengan nilai maksimum 14,09%, sehingga kualitas kredit antarbank tidak homogen. LDR rata-rata mencapai 97,60%, tetapi rentangnya sangat lebar, yaitu 40,00%–374,00%. Nilai maksimum tersebut menunjukkan adanya observasi dengan penyaluran kredit yang sangat tinggi dibandingkan dana pihak ketiga. Keragaman variabel kontrol ini perlu dipertimbangkan karena risiko kredit dan intensitas intermediasi dapat memengaruhi struktur biaya serta pendapatan operasional.

Pemilihan Model dan Pengujian Diagnostik

Pemilihan model dilakukan secara terpisah untuk Persamaan I, yaitu model pengaruh langsung, dan Persamaan II, yaitu model moderasi. Uji Chow membandingkan *Common Effect Model* dengan *Fixed Effect Model,* Uji Hausman membandingkan *Fixed Effect Model* dengan *Random Effect Model*, sedangkan Uji *Lagrange Multiplier* membandingkan *Common Effect Model* dengan *Random Effect Model.*

Tabel 5. Ringkasan Pemilihan Model Regresi Data Panel.

Persamaan	Pengujian	Statistik	p-value	Keputusan Parsial	Model Akhir
I	Uji Chow	F = 2,73	0,0002	FEM	FEM
I	Uji Hausman	χ^2 = 22,02	0,0002	FEM	FEM
I	Uji LM	chibar² = 3,22	0,0365	REM dibanding CEM	FEM
II	Uji Chow	F = 2,36	0,0015	FEM	FEM
II	Uji Hausman	χ^2 = 18,64	0,0022	FEM	FEM
II	Uji LM	chibar² = 1,94	0,0817	CEM dibanding REM	FEM

Sumber: Data Olahan Stata (2026).

Uji Chow dan Uji Hausman pada kedua persamaan secara konsisten memilih *Fixed Effect Model.* Hasil tersebut menunjukkan bahwa karakteristik khusus masing-masing bank perlu dikendalikan dan berkorelasi dengan variabel penjelas. Walaupun Uji LM memberikan hasil perbandingan CEM–REM yang berbeda pada kedua persamaan, uji tersebut tidak membandingkan REM dengan FEM. Oleh karena itu, model akhir untuk pengujian hipotesis tetap menggunakan *Fixed Effect Model.*

Tabel 6. Ringkasan Pengujian Diagnostik.

Persamaan	Pengujian	Hasil Utama	Kesimpulan dan Tindakan
I	Multikolinearitas	Mean VIF = 1,49; VIF maksimum = 1,93	Tidak terdapat multikolinearitas serius.
I	Heteroskedastisitas	$\chi^2 = 27,98$; p = 0,0000	Heteroskedastisitas; gunakan cluster-robust standard errors.
I	Normalitas	Obs. = 130; Pr(*Skewness*) = 0,0000; Pr(*Kurtosis*) = 0,0000; Adj. $\chi^2(2) = 52,57$; Prob > χ^2 = 0,0000	Tidak berdistribusi normal.
II	Multikolinearitas	Mean VIF = 144,36; VIF interaksi = 439,85	Multikolinearitas non-esensial akibat variabel interaksi yang belum dipusatkan.
II	Heteroskedastisitas	$\chi^2 = 31,37$; p = 0,0000	Heteroskedastisitas; gunakan cluster-robust standard errors.
II	Normalitas	Obs. = 130; Pr(*Skewness*) = 0,0000; Pr(*Kurtosis*) = 0,0000; Adj. $\chi^2(2) = 52,93$; Prob > χ^2 = 0,0000	Tidak berdistribusi normal.

Sumber: Data Olahan Stata (2026).

Persamaan I tidak mengalami multikolinearitas karena seluruh nilai VIF berada jauh di bawah 10. Persamaan II menunjukkan VIF sangat tinggi pada ITI, SIZE, dan ITI × SIZE. Kondisi tersebut merupakan *non-essential multicollinearity* yang lazim muncul ketika variabel interaksi dibentuk dari dua prediktor yang tidak *di-mean-centering*. Multikolinearitas ini tidak dengan sendirinya menyebabkan koefisien interaksi menjadi bias, tetapi dapat memperbesar standar eror dan menyulitkan interpretasi koefisien efek utama. Karena kedua persamaan juga mengalami heteroskedastisitas, seluruh keputusan inferensial menggunakan FEM dengan *standard error robust* yang diklaster pada 26 perusahaan.

Hasil Pengujian Hipotesis

Persamaan I digunakan untuk menguji pengaruh langsung investasi teknologi informasi terhadap BOPO dengan mengendalikan ukuran perusahaan, NPL, dan LDR. Persamaan II menambahkan interaksi ITI × SIZE untuk menguji moderasi. Hasil estimasi kedua persamaan disajikan secara komparatif pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Estimasi *Fixed Effect Model* dengan *Cluster-Robust Standard Errors*.

Variabel	Persamaan I Koef. (SE)	p-value	Persamaan II Koef. (SE)	p-value
ITI	−0,171707 (0,082156)	0,047	0,143609 (0,597258)	0,812
SIZE	0,173704 (0,209627)	0,415	0,409656 (0,530979)	0,448
ITI × SIZE	–	–	−0,018114 (0,035282)	0,612
NPL	2,506581 (1,812748)	0,179	2,632592 (1,992198)	0,198
LDR	−0,158737 (0,055939)	0,009	−0,135994 (0,063227)	0,041
Konstanta	−0,082622 (3,324115)	0,980	−4,178436 (8,914087)	0,643
F-statistik	2,95	0,0399	2,95	0,0315
Within R^2	0,1510	–	0,1547	–
Observasi/perusahaan	130 / 26	–	130 / 26	–

Sumber: Data Olahan Stata (2026).

Persamaan I: $BOPO_{it} = -0{,}082622 - 0{,}171707ITI_{it} + 0{,}173704SIZE_{it}$

$+ 2{,}506581NPL_{it} - 0{,}158737LDR_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$.....(vi)

Persamaan II: $BOPO_{it} = -4{,}178436 + 0{,}143609ITI_{it} + 0{,}409656SIZE_{it}$

$- 0{,}018114(ITI \times SIZE)_{it} + 2{,}632592NPL_{it} - 0{,}135994LDR_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$.....(vii)

Pengujian Pengaruh Langsung Investasi Teknologi Informasi

Persamaan I memiliki nilai F sebesar 2,95 dengan probabilitas 0,0399, sehingga model secara simultan signifikan pada taraf 5%. Nilai within R^2 sebesar 0,1510 menunjukkan bahwa perubahan ITI, SIZE, NPL, dan LDR di dalam perusahaan yang sama menjelaskan 15,10% perubahan BOPO selama periode pengamatan. Sisanya dipengaruhi faktor lain, efek waktu, dan komponen residual yang tidak dimasukkan dalam model.

Koefisien ITI sebesar −0,171707 dengan *p-value* 0,047 menunjukkan pengaruh negatif dan signifikan terhadap BOPO. Karena BOPO memiliki arah yang berlawanan dengan efisiensi, hasil tersebut berarti peningkatan nilai buku perangkat lunak berkaitan dengan peningkatan efisiensi operasional. Dalam model semi-log, kenaikan nilai buku perangkat lunak sebesar 1% berkaitan dengan penurunan BOPO sekitar 0,001717 dalam skala rasio atau sekitar 0,172 poin persentase, dengan variabel lain dan karakteristik tetap bank dikendalikan. Dengan demikian, H1 diterima.

Ukuran perusahaan dan NPL tidak berpengaruh signifikan terhadap BOPO pada Persamaan I karena masing-masing memiliki *p-value* 0,415 dan 0,179. Sebaliknya, LDR berpengaruh negatif dan signifikan dengan koefisien −0,158737 dan *p-value* 0,009. Hasil

variabel kontrol tersebut menunjukkan bahwa peningkatan intensitas intermediasi di dalam bank yang sama berkaitan dengan penurunan BOPO, meskipun hubungan ini bukan fokus utama hipotesis penelitian.

Pengujian Peran Moderasi Ukuran Perusahaan

Persamaan II memiliki nilai F sebesar 2,95 dengan probabilitas 0,0315, sehingga model moderasi secara keseluruhan signifikan. Namun, koefisien interaksi ITI × SIZE sebesar −0,018114 memiliki *p-value* 0,612. Arah negatif hanya menunjukkan kecenderungan matematis, tetapi tidak dapat dinyatakan sebagai efek moderasi karena tidak signifikan secara statistik. Oleh sebab itu, ukuran perusahaan tidak terbukti memperkuat maupun memperlemah pengaruh investasi teknologi informasi terhadap BOPO dan H2 ditolak.

Nilai within R^2 hanya meningkat dari 0,1510 menjadi 0,1547 setelah variabel interaksi dimasukkan. Tambahan daya jelas sebesar 0,0037 atau 0,37 poin persentase sangat terbatas dan konsisten dengan koefisien interaksi yang tidak signifikan. Koefisien ITI pada Persamaan II tidak digunakan untuk menilai kembali H1 karena koefisien tersebut merupakan efek bersyarat ketika SIZE bernilai nol dan Persamaan II mengalami multikolinearitas non-esensial yang tinggi. Pengujian H1 tetap didasarkan pada Persamaan I.

Tabel 8. Ringkasan Keputusan Hipotesis.

Hipotesis	Hubungan yang Diuji	Hasil Statistik Utama	Keputusan
H1	ITI → BOPO	β = −0,171707; p = 0,047	Diterima
H2	ITI × SIZE → BOPO	β = −0,018114; p = 0,612	Ditolak

Sumber: Data Olahan Stata (2026).

Pembahasan

Pengaruh Investasi Teknologi Informasi terhadap Efisiensi Operasional

Hasil penelitian membuktikan bahwa investasi teknologi informasi berpengaruh negatif dan signifikan terhadap BOPO. Arah negatif bukan menunjukkan penurunan kinerja, tetapi peningkatan efisiensi karena bank menggunakan biaya operasional yang lebih rendah relatif terhadap pendapatan operasional. Penggunaan Fixed Effect Model membuat temuan ini terutama menjelaskan perubahan internal bank dari waktu ke waktu. Artinya, ketika nilai buku perangkat lunak meningkat pada bank yang sama, BOPO cenderung menurun setelah ukuran perusahaan, NPL, LDR, dan karakteristik tetap bank dikendalikan.

Temuan tersebut mendukung *Resource-Based View* yang menempatkan teknologi informasi sebagai sumber daya strategis apabila diintegrasikan dengan sumber daya manusia, proses bisnis, tata kelola data, dan kemampuan organisasi. Perangkat lunak tidak otomatis menghasilkan efisiensi hanya karena dicatat sebagai aset. Nilai ekonominya muncul ketika

sistem digunakan untuk mengotomatisasi proses, mempercepat transaksi, mengurangi kesalahan manual, memperbaiki pengolahan informasi, serta meningkatkan kapasitas layanan tanpa kenaikan biaya yang sebanding. Oleh karena itu, koefisien negatif ITI terhadap BOPO lebih tepat dipahami sebagai hasil konversi aset digital menjadi kapabilitas operasional.

Hasil ini juga dapat dijelaskan melalui *IT Productivity Paradox*. Investasi teknologi pada tahap awal dapat menambah biaya pengembangan, integrasi dengan sistem lama, keamanan siber, pemeliharaan, dan pelatihan. Namun, koefisien negatif dan signifikan menunjukkan bahwa secara rata-rata manfaat produktivitas perangkat lunak selama 2021-2025 lebih dominan daripada beban implementasinya. Temuan ini sejalan dengan Ononiwu et al. (2024), Maryunita & Nugroho, (2022), Zuo et al. (2021), dan Ayadi et al. (2025), yang menunjukkan bahwa teknologi dapat memperbaiki efisiensi meskipun manfaatnya bergantung pada tahap investasi dan kualitas pengelolaan. Hasil tersebut juga konsisten dengan Shen et al. (2025) mengenai kontribusi transformasi digital terhadap efisiensi biaya bank.

Temuan ini tidak berarti setiap kenaikan investasi perangkat lunak selalu menghasilkan efisiensi dalam besaran yang sama. Within R^2 sebesar 15,10% menunjukkan bahwa sebagian besar variasi BOPO masih dijelaskan oleh struktur pendapatan, kecukupan modal, kualitas tata kelola digital, kompetensi pegawai, kondisi makroekonomi, persaingan, dan strategi operasional. Selain itu, proksi ITI hanya menangkap perangkat lunak yang dikapitalisasi dan belum mencakup biaya *cloud*, keamanan siber, konsultasi, pemeliharaan, serta pelatihan yang dibebankan langsung. Implikasi praktisnya, bank perlu mengevaluasi investasi teknologi berdasarkan indikator pemanfaatan, seperti biaya per transaksi, tingkat otomatisasi, waktu pemrosesan, stabilitas sistem, pengguna aktif, dan kontribusi kanal digital terhadap pendapatan.

Peran Ukuran Perusahaan dalam Hubungan Investasi Teknologi Informasi dan BOPO

Pengujian tidak menemukan bukti bahwa ukuran perusahaan memoderasi hubungan antara investasi teknologi informasi dan BOPO. Koefisien interaksi yang tidak signifikan menunjukkan bahwa besarnya total aset belum cukup untuk menjelaskan perbedaan kemampuan bank dalam mengubah investasi perangkat lunak menjadi efisiensi. Hasil ini juga diperkuat oleh tidak signifikannya pengaruh langsung SIZE pada Persamaan I.

Secara teoretis, *economies of scale* mengasumsikan bahwa bank besar dapat mendistribusikan biaya tetap teknologi kepada basis nasabah dan volume transaksi yang lebih luas. Namun, skala besar juga dapat disertai sistem warisan yang berlapis, struktur organisasi kompleks, biaya kepatuhan tinggi, dan proses integrasi yang lebih sulit. Sebaliknya, bank berukuran lebih kecil dapat memanfaatkan arsitektur modular, layanan *cloud*, struktur

pengambilan keputusan yang lebih pendek, dan fokus pasar yang lebih spesifik. Dua mekanisme yang berlawanan tersebut dapat menyebabkan efek moderasi ukuran perusahaan tidak muncul secara konsisten.

Temuan ini berbeda dengan dugaan Setiawan & Prakoso, (2024), Chhaidar et al. (2023), dan Lutfi et al. (2024), yang memberikan dasar bahwa ukuran perusahaan dapat mengubah efektivitas adopsi atau investasi teknologi. Perbedaan dapat timbul karena proksi teknologi, karakteristik sampel, periode penelitian, dan tingkat kesiapan digital tidak sama. Hasil penelitian ini lebih dekat dengan penekanan Shen et al. (2025) bahwa efisiensi biaya dipengaruhi kualitas transformasi, bukan skala semata. Total aset hanya menggambarkan besarnya sumber daya, bukan kualitas implementasi, kompetensi teknologi, tata kelola proyek, budaya organisasi, atau kesesuaian sistem dengan proses bisnis.

Interpretasi moderasi tetap perlu memperhatikan tingginya VIF pada Persamaan II. *Mean-centering* ITI dan SIZE direkomendasikan untuk mengurangi multikolinearitas non-esensial dan memperjelas makna koefisien efek utama. Namun, dasar penolakan H2 tidak hanya bertumpu pada VIF, melainkan pada *p-value* interaksi sebesar 0,612 dan peningkatan within R^2 yang hanya 0,37 poin persentase. Hasil ini menunjukkan bahwa tambahan informasi dari interaksi ukuran perusahaan sangat terbatas. Oleh sebab itu, strategi digital bank sebaiknya tidak didasarkan pada asumsi bahwa bank besar otomatis memperoleh manfaat efisiensi yang lebih kuat. Fokus harus diarahkan pada kualitas integrasi sistem, kompetensi pengguna, tata kelola data, desain proses, dan disiplin evaluasi manfaat pascaimplementasi.

Secara keseluruhan, penelitian memberikan dua temuan utama. Pertama, investasi perangkat lunak berkaitan dengan penurunan BOPO dan peningkatan efisiensi operasional. Kedua, manfaat tersebut tidak terbukti bergantung pada ukuran perusahaan. Kombinasi hasil ini menunjukkan bahwa teknologi dapat memberikan nilai bagi bank dalam berbagai skala, tetapi realisasi nilainya lebih mungkin ditentukan oleh cara teknologi diimplementasikan dan dimanfaatkan daripada semata-mata oleh besarnya aset.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan Penelitian terhadap 26 perusahaan perbankan dengan 130 observasi selama 2021-2025 menghasilkan dua kesimpulan utama. Investasi teknologi informasi yang diproksikan dengan logaritma natural nilai buku perangkat lunak berpengaruh negatif dan signifikan terhadap BOPO dengan koefisien -0,171707 dan *p-value* 0,047. Karena BOPO berlawanan arah dengan efisiensi, hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan investasi perangkat lunak berkaitan dengan peningkatan efisiensi operasional, sehingga H1 diterima.

Sebaliknya, interaksi investasi teknologi informasi dan ukuran perusahaan memiliki koefisien -0,018114 dengan *p-value* 0,612. Dengan demikian, ukuran perusahaan tidak terbukti memperkuat maupun memperlemah pengaruh investasi teknologi informasi terhadap BOPO dan H2 ditolak. Nilai *within R-squared* sebesar 15,10% pada model langsung dan 15,47% pada model moderasi menunjukkan bahwa investasi teknologi, ukuran perusahaan, NPL, LDR, dan interaksi yang diuji hanya menjelaskan sebagian perubahan BOPO di dalam bank sepanjang periode pengamatan.

Implikasi secara teoretis, temuan mendukung pandangan bahwa perangkat lunak dapat menjadi sumber daya produktif ketika diintegrasikan dengan proses bisnis, tata kelola data, kompetensi pengguna, dan pengendalian operasional. Tidak signifikannya moderasi ukuran perusahaan menegaskan bahwa total aset bukan indikator yang memadai untuk menilai kesiapan digital atau kemampuan bank mengonversi teknologi menjadi efisiensi. Secara manajerial, evaluasi investasi tidak boleh berhenti pada besarnya nilai aset perangkat lunak. Bank perlu mengukur biaya per transaksi, tingkat otomatisasi, jumlah pengguna aktif, waktu pemrosesan, stabilitas sistem, pengurangan pekerjaan manual, dan kontribusi kanal digital terhadap pendapatan. Regulator dan investor juga perlu membaca kenaikan aset perangkat lunak bersama tren BOPO, kualitas aset, likuiditas, tata kelola teknologi, serta indikator pemanfaatan sistem.

Keterbatasan penelitian Proksi investasi teknologi hanya menangkap nilai buku perangkat lunak yang dikapitalisasi dan belum mencakup perangkat keras, layanan *cloud*, keamanan siber, konsultasi, pemeliharaan, integrasi, maupun pengembangan kompetensi digital yang dibebankan langsung. Sampel terbatas pada bank yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia dan periode lima tahun, sehingga generalisasi terhadap bank nonpublik atau kondisi ekonomi lain harus dilakukan secara hati-hati. Variabel interaksi dibentuk tanpa *mean-centering* dan menghasilkan multikolinearitas non-esensial yang tinggi, meskipun keputusan H2 tetap didasarkan pada koefisien interaksi yang tidak signifikan dan tambahan *within R-squared* yang sangat kecil. Model juga belum menguji jeda waktu investasi, hubungan nonlinier, kualitas tata kelola digital, struktur pendapatan, kecukupan modal, kondisi makroekonomi, dan ketergantungan lintas bank.

Manajemen bank perlu mengaitkan persetujuan dan evaluasi proyek teknologi dengan indikator manfaat operasional yang terukur serta melakukan evaluasi pascaimplementasi secara periodik. Bank berukuran kecil dapat memprioritaskan arsitektur modular, layanan bersama, dan *cloud* yang terukur agar memperoleh fleksibilitas tanpa menanggung biaya tetap yang terlalu besar, sedangkan bank besar perlu mengendalikan kompleksitas sistem warisan

dan koordinasi organisasi. Penelitian berikutnya perlu memperluas proksi investasi teknologi, memperpanjang periode pengamatan, melakukan *mean-centering* sebelum membentuk interaksi, serta menguji efek lag, ambang, atau bentuk nonlinier. Penambahan variabel seperti kecukupan modal, profitabilitas, kualitas tata kelola digital, struktur pendapatan, intensitas transaksi digital, dan kondisi makroekonomi juga diperlukan. Penyajian marginal *effects* dan grafik interaksi disarankan agar mekanisme moderasi dapat dinilai secara lebih presisi.

DAFTAR REFERENSI

Al-Amarneh, A., Yaseen, H., Bani Atta, A., & Khalaf, L. (2023). Nexus between information technology investment and bank performance: The case of Jordan. *Banks and Bank Systems, 18*(1), 68–76. https://doi.org/10.21511/bbs.18(1).2023.06

Ayadi, R., Chiaramonte, L., Cucinelli, D., & Migliavacca, M. (2025). Digitalization and banks' efficiency: Evidence from a European analysis. *International Review of Financial Analysis, 97*, 103837. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2024.103837

Chhaidar, A., Abdelhedi, M., & Abdelkafi, I. (2023). The effect of financial technology investment level on European banks' profitability. *Journal of the Knowledge Economy, 14*(3), 2959–2981. https://doi.org/10.1007/s13132-022-00992-1

Cho, T.-Y., & Chen, Y.-S. (2021). The impact of financial technology on China's banking industry: An application of the metafrontier cost Malmquist productivity index. *The North American Journal of Economics and Finance, 57*, 101414. https://doi.org/10.1016/j.najef.2021.101414

Dadoukis, A., Fiaschetti, M., & Fusi, G. (2021). IT adoption and bank performance during the COVID-19 pandemic. *Economics Letters, 204*, 109904. https://doi.org/10.1016/j.econlet.2021.109904

Harmelani, I., & Cahyaningtyas, S. R. (2024). The role of banking digitalization in improving financial performance. *Formosa Journal of Multidisciplinary Research, 3*(11), 4327–4342. https://doi.org/10.55927/fjmr.v3i11.12077

Lee, C.-C., Li, X., Yu, C.-H., & Zhao, J. (2021). Does fintech innovation improve bank efficiency? Evidence from China's banking industry. *International Review of Economics & Finance, 74*, 468–483. https://doi.org/10.1016/j.iref.2021.03.009

Lutfi, A., Alqudah, H., Al-Daoud, K. I., Zaqeeba, N., Alrawad, M., & Almaiah, M. A. (2024). Technology factors and ERP system efficiency in the Jordanian industrial firms: Does company size matter? *Humanities and Social Sciences Communications, 11*, 674. https://doi.org/10.1057/s41599-024-03198-9

Maryunita, L., & Nugroho, I. T. (2022). Fintech innovation and bank efficiency in Indonesia. *Khazanah Sosial, 4*(4), 626–635. https://doi.org/10.15575/ks.v4i4.20239

Ononiwu, M. I., Onwuzulike, O. C., Shitu, K., & Ojo, O. O. (2024). The impact of digital transformation on banking operations in developing economies. *World Journal of Advanced Research and Reviews, 23*(3), 460–474. https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.23.3.2706

Putra, A. A., Aulia, D., Kristanto, T., & Putri, S. W. (2025). Pengaruh *financial technology* terhadap kinerja keuangan perbankan konvensional periode 2018–2023. *Indo-Fintech Intellectuals: Journal of Economics and Business, 5*(3), 6616–6628. https://doi.org/10.54373/ifijeb.v5i3.4011

Riani, R., Ikhwan, I., & Rusydiana, A. S. (2024). Evaluating Islamic bank efficiency and productivity in ASEAN: Does technological advancement play a role? *Al-Muzara'ah, 12*(2), 233–255. https://doi.org/10.29244/jam.12.2.233-255

Sanjaya, S. A. K., & Badjuri, A. (2024). Pengaruh tingkat kecukupan modal dan efisiensi operasional terhadap profitabilitas bank dengan risiko kredit sebagai variabel moderasi pada perusahaan perbankan yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia tahun 2019–2022. *Jurnal Ilmiah Manajemen, Ekonomi, & Akuntansi, 8*(1), 1861–1880. https://doi.org/10.31955/mea.v8i1.3754

Setiawan, R., & Prakoso, L. (2024). Digital banking adoption, bank size, and bank performance in Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Bisnis Airlangga, 34*(2), 196–207. https://doi.org/10.20473/jeba.v34i22024.196-207

Shen, C., Wu, J., Li, Y., & Chen, Q. (2025). Does digital transformation improve the cost efficiency of commercial banks? Evidence from China. *Finance Research Letters, 73*, 106619. https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.106619

Sudrajat, J., & Setiyawati, H. (2021). Role of firm size and profitability on capital structures and its impact over firm value. *Dinasti International Journal of Economics, Finance & Accounting, 2*(1), 13–27. https://doi.org/10.38035/dijefa.v2i1.737

Suryanto, S., Muhyi, H. A., Kurniati, P. S., & Mustapha, N. (2022). Banking financial performance in the industry financial technology era. *Journal of Eastern European and Central Asian Research, 9*(5), 889–900. https://doi.org/10.15549/jeecar.v9i5.1075

Wang, Y., Xiuping, S., & Zhang, Q. (2021). Can fintech improve the efficiency of commercial banks? An analysis based on big data. *Research in International Business and Finance, 55*, 101338. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2020.101338

Zelalem, B. A., & Abebe, A. A. (2022). Does intangible assets affect the financial performance and policy of commercial banks in the emerging market? *PLOS ONE, 17*(8), e0272018. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272018

Zhai, H., Yang, M., & Chan, K. C. (2022). Does digital transformation enhance a firm's performance? Evidence from China. *Technology in Society, 68*, 101841. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101841

Zuo, L., Strauss, J., & Zuo, L. (2021). The digitalization transformation of commercial banks and its impact on sustainable efficiency improvements through investment in science and technology. *Sustainability, 13*(19), 11028. https://doi.org/10.3390/su131911028