

Mekanisme Transmisi Risiko Iklim dan Transisi Air Baku terhadap Rasio Operasi (BOPO) Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang: Studi Kasus Eksplanatori Sekuensial Periode 2023–2024

Ady Setiawan

Universitas Teknologi Surabaya, Indonesia

Email: pakdeairnew03@gmail.com

Keywords:

Operating Ratio (BOPO); Climate Risk; Raw Water Transition; Non-Revenue Water; Financial Resilience of Regional-Owned Enterprises (BUMD).

Abstract

Climate change systematically transmits environmental physical risks into corporate financial vulnerabilities for municipally owned water utilities in coastal regions, yet the transmission pathways to micro-level cost-efficiency indicators remain under-explored. This study traces the causal mechanisms linking climate risks (upstream raw-water turbidity and downstream land subsidence) and ecological raw-water transition policies—shifting from groundwater to surface water under a Public–Private Partnership (PPP) scheme—to the Operating Ratio (BOPO) of Perumda Air Minum Tirta Moedal, Semarang City, for 2023–2024. Employing a sequential explanatory mixed-methods single-case design, the research relies on Bayesian causal process tracing and accounting cost-variance decomposition to establish internal mechanistic validity. BOPO rose from 0.83 (2023) to 0.84 (2024) as operating expenses outpaced operating revenues (10.86% versus 10.20%). The primary driver was a 21.97% surge in bulk-water purchase costs (to IDR 120.70 billion) due to rigid take-or-pay terms of the ecological transition, followed by a 13.52% increase in chemical costs (to IDR 13.48 billion) from turbidity spikes up to 6,000–10,000 NTU, heavily magnified by a 44.64% Non-Revenue Water (NRW) rate driven by structural pipe fractures from coastal subsidence. The novelty lies in anchoring macro-hydrological risks into micro-cost accounting structures, highlighting blended resilience financing and climate-adaptive Full Cost Recovery (FCR) tariff restructuring.

Kata Kunci:

Rasio Operasi (BOPO); Risiko Iklim; Transisi Air Baku; Non-Revenue Water; Ketahanan Finansial BUMD.

Abstrak

Perubahan iklim secara sistemik mentransmisikan risiko fisik lingkungan menjadi kerentanan finansial bagi Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) air minum di kawasan pesisir. Namun demikian, jalur transmisi risiko tersebut ke indikator efisiensi biaya mikro korporat jarang dipetakan secara eksplisit. Penelitian ini bertujuan menelusuri mekanisme kausal yang menghubungkan risiko iklim (kekeruhan ekstrem air baku di hulu dan penurunan muka tanah di hilir) serta kebijakan transisi ekologis sumber air baku—dari Air Bawah Tanah (ABT) ke air permukaan melalui skema Kerja Sama Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU)—dengan pergerakan Rasio Operasi (*Operating Ratio*/BOPO) Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang periode 2023–2024. Desain penelitian menggunakan studi kasus eksplanatori sekuensial (*mixed-methods*) tunggal dengan pendekatan mekanistik (*causal process tracing*) berbasis logika Bayesian guna menguji rigor internal rantai kausal, dilengkapi dekomposisi varians biaya akuntansi. Hasil menunjukkan BOPO naik dari 0,83 (2023) menjadi 0,84 (2024) karena beban operasional tumbuh 10,86%, melampaui pertumbuhan pendapatan operasional 10,20%. Faktor pendorong dominan adalah lonjakan beban pembelian air curah 21,97% (menjadi Rp120,70 miliar) akibat

kebijakan transisi ekologis berskema take-or-pay, disusul kenaikan biaya bahan kimia 13,52% (menjadi Rp13,48 miliar) akibat volatilitas kekeruhan sungai 6.000–10.000 NTU, serta diperparah akumulasi kehilangan air (*Non-Revenue Water/NRW*) 44,64% yang dipicu kerusakan pipa struktural akibat amblesan pesisir. Kebaharuan penelitian terletak pada integrasi model akuntansi biaya mikro dengan risiko hidrologis makro. Rekomendasi strategis mencakup formulasi blended resilience financing dan restrukturisasi tarif *Full Cost Recovery* (FCR) berbasis mitigasi risiko iklim.

PENDAHULUAN

Penyediaan air minum perkotaan di negara berkembang menghadapi tekanan ganda (*double-squeeze*) yang signifikan. Di satu sisi, ekspansi demografis dan urbanisasi masif menuntut perluasan cakupan pelayanan secara konstan. Di sisi lain, sistem penyediaan air domestik dihadapkan pada disrupsi hidrologis kronis dan akut akibat variabilitas perubahan iklim global. Sektor *Water, Sanitation, and Hygiene* (WASH) diidentifikasi sebagai salah satu infrastruktur publik paling rentan karena stabilitas operasionalnya bergantung pada kontinuitas kuantitas dan kualitas sumber daya air (World Bank, 2021; World Bank Group, 2025). Literatur mutakhir menegaskan bahwa eskalasi bencana hidrometeorologis tidak sekadar mengganggu keandalan distribusi teknis, melainkan mentransmisikan bahaya fisik lingkungan menjadi guncangan laporan laba-rugi korporat yang menekan solvabilitas, profitabilitas, serta kelayakan kredit (*creditworthiness*) operator air bersih (Lyle et al., 2026; U.S. EPA, 2024).

Dalam konteks tata kelola air pesisir di Indonesia, Kota Semarang merepresentasikan “laboratorium empiris yang kompleks” untuk mengamati bekerjanya rantai transmisi risiko tersebut. Karakteristik topografis kota yang terbagi atas wilayah dataran tinggi (hulu) dan dataran rendah pesisir (hilir) menciptakan paparan risiko iklim ganda. Di kawasan hulu, Daerah Aliran Sungai (DAS) Garang dan DAS Babon mengalami degradasi daya dukung lingkungan akibat alih fungsi lahan yang terdokumentasi secara spasial (Novianti et al., 2024). Ketika curah hujan berintensitas ekstrem terjadi, limpasan permukaan (*surface runoff*) memicu erosi tebing masif yang melarutkan padatan suspensi ke badan sungai. Akibatnya, kekeruhan (*turbidity*) air baku pada intake Instalasi Pengolahan Air (IPA) melonjak drastis dari batas normal (<600 NTU) hingga 6.000–10.000 NTU, melampaui ambang desain pengolahan konvensional yang rata-rata dirancang untuk kekeruhan di bawah 3.500 NTU. Secara operasional, fenomena ini memaksa penghentian produksi reaktif (*forced shutdown*) atau peningkatan dosis koagulan eksponensial guna mempertahankan standar kualitas air minum (Qiu et al., 2019; Sharp et al., 2006).

Sementara itu di wilayah hilir pesisir, deplesi akuifer dalam akibat ekstraksi Air Bawah Tanah (ABT) komersial selama beberapa dekade memicu amblesan tanah (*land subsidence*) kronis. Studi geodetik berbasis interferometri radar mendokumentasikan laju amblesan di pesisir utara Semarang mencapai 6–7 cm per tahun, bahkan menembus belasan sentimeter di titik kritis (Abidin et al., 2013). Implikasi mekanisnya adalah pergeseran tanah (*ground movement*) yang menekan, menekuk, dan mematahkan jaringan pipa transmisi dan distribusi bawah tanah. Patahnya infrastruktur ini melipatgandakan angka kehilangan air atau *Non-Revenue Water* (NRW)—inefisiensi struktural di mana air yang telah diproduksi dengan biaya energi dan kimia tinggi terbuang tanpa menghasilkan pendapatan retribusi (Nanda & Robialta, 2024).

Guna meredam laju amblesan, Pemerintah Kota Semarang menginisiasi kebijakan transisi ekologis sumber air baku yang radikal: pelarangan penyedotan sumur dalam secara bertahap dan pengalihan ke air permukaan makro. Langkah ini diwujudkan melalui skema Kerja Sama Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU) pada Proyek SPAM Semarang Barat yang memasok air curah olahan Bendungan Jatibarang (Sungai Kreo) berkapasitas 1.000 liter per detik (lps) (Adiyanti & Fathurrahman, 2021). Kendati kokoh secara pemulihan hidrogeologis makro, implementasinya memicu disrupsi biaya mikro pada laporan keuangan BUMD. Struktur kontrak KPBU yang kaku dengan klausul *take-or-pay* menggeser struktur beban dari ekstraksi mandiri berbiaya marjinal rendah menjadi pembelian air curah pihak ketiga yang tinggi dan bersifat tetap (*fixed cost burden*) (Purbo, Smith, & Bianchi, 2020; World Bank, 2023).

Berdasarkan telaah penelitian terdahulu tersebut, masih terdapat kesenjangan penelitian yang cukup jelas. Sebagian besar studi mengenai risiko iklim berhenti pada analisis aspek hidrologi, kualitas air, maupun kerusakan infrastruktur tanpa menghubungkannya dengan indikator efisiensi keuangan perusahaan. Sebaliknya, penelitian mengenai BOPO dan kinerja keuangan Perumda Air Minum umumnya hanya mengkaji pengaruh biaya operasional, tarif, ataupun kehilangan air tanpa menjelaskan mekanisme bagaimana risiko iklim ditransmisikan menjadi perubahan pada struktur biaya perusahaan. Dengan demikian, belum banyak penelitian yang mengintegrasikan perspektif perubahan iklim, transisi sumber air baku, Non-Revenue Water, serta akuntansi biaya dalam satu kerangka mekanisme kausal yang utuh. Kekosongan inilah yang menjadi ruang ilmiah bagi penelitian ini untuk memberikan kontribusi baru terhadap pengembangan literatur manajemen utilitas air.

Urgensi penelitian ini semakin tinggi mengingat banyak pemerintah daerah di Indonesia sedang melaksanakan kebijakan transisi penggunaan air bawah tanah menuju pemanfaatan air permukaan sebagai bagian dari strategi adaptasi perubahan iklim dan pengendalian amblesan tanah. Kebijakan tersebut memang memiliki manfaat ekologis dalam jangka panjang, namun berpotensi meningkatkan beban pembelian air curah, biaya pengolahan, serta biaya distribusi apabila tidak diikuti dengan penyesuaian tata kelola keuangan perusahaan. Apabila mekanisme transmisi risiko tersebut tidak dipahami secara menyeluruh, maka perusahaan air minum akan menghadapi tekanan terhadap efisiensi operasional yang pada akhirnya mengurangi kemampuan perusahaan dalam melakukan investasi jaringan, meningkatkan kualitas pelayanan, dan mempertahankan keberlanjutan penyediaan air minum bagi masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang mampu menjelaskan hubungan sebab-akibat antara risiko iklim, kebijakan transisi air baku, dan perubahan struktur biaya operasional secara lebih mendalam.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pengembangan model mekanisme transmisi risiko yang mengintegrasikan risiko fisik perubahan iklim, kebijakan transisi sumber air baku, tingkat Non-Revenue Water, dan struktur biaya operasional ke dalam analisis efisiensi keuangan yang diukur menggunakan rasio BOPO. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang cenderung memisahkan aspek lingkungan, teknik, dan keuangan, penelitian ini menghubungkan seluruh variabel tersebut melalui pendekatan *causal process tracing* berbasis logika Bayesian sehingga mampu menjelaskan bagaimana perubahan kondisi hidrologi dan kebijakan transisi ekologis diterjemahkan menjadi perubahan pada pos-pos biaya operasional perusahaan. Pendekatan tersebut diharapkan dapat memberikan kontribusi konseptual baru

dalam pengembangan kajian akuntansi keberlanjutan, manajemen risiko iklim, dan tata kelola perusahaan air minum.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis mekanisme transmisi risiko iklim dan kebijakan transisi sumber air baku terhadap perubahan struktur biaya operasional yang membentuk rasio BOPO pada Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang selama periode 2023–2024. Selain itu, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi jalur kausal yang menghubungkan perubahan kondisi hidrologi, peningkatan biaya operasional, kehilangan air, dan efisiensi keuangan perusahaan sebagai dasar penyusunan strategi penguatan ketahanan finansial perusahaan air minum. Secara teoretis, hasil penelitian diharapkan memperkaya literatur mengenai integrasi antara perubahan iklim, manajemen risiko, dan akuntansi biaya pada sektor utilitas publik. Secara praktis, penelitian ini diharapkan menjadi dasar penyusunan kebijakan tarif, strategi penurunan Non-Revenue Water, pengembangan pembiayaan adaptasi iklim, serta pengambilan keputusan bagi pemerintah daerah dan pengelola Perumda Air Minum dalam mewujudkan sistem penyediaan air minum yang berkelanjutan dan tangguh terhadap perubahan iklim.

METODE PENELITIAN

Desain Studi Kasus Eksplanatori Mekanistik

Penelitian ini menerapkan desain studi kasus eksplanatori dengan pendekatan *mixed-methods* sekuensial (*sequential explanatory design*) (Creswell & Plano Clark, 2018; Yin, 2018). Analisis diarahkan pada satu unit tunggal, yaitu Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang, dengan batasan waktu tahun buku 2023 dan 2024. Pilihan kasus tunggal dengan dua titik observasi tahunan membawa konsekuensi metodologis mendasar: konfigurasi data tidak memenuhi asumsi pengujian kausalitas berbasis statistik-inferensial konvensional (regresi linier, analisis jalur, atau model panel ekonometrika) karena keterbatasan derajat kebebasan (*degrees of freedom*) dan ketiadaan variasi lintas unit.

Oleh karena itu, rigor penarikan kesimpulan kausal dibangun melalui metode Penelusuran Proses Kausal (*Causal Process Tracing*) berbasis logika Bayesian (Beach & Pedersen, 2019). Pendekatan ini menguji keberadaan, kelengkapan, dan kekuatan bukti tiap tautan (*link*) dalam rantai mekanisme sebab-akibat yang dihipotesiskan. Inferensi kausal dinilai absah apabila bukti empiris mikro mampu meloloskan pengujian bukti ketat (*Hoop Test* dan *Smoking-Gun Test*) untuk menyingkirkan penjelasan alternatif, sehingga mengutamakan validitas internal kasus secara mendalam daripada generalisasi statistik makro.

Sumber Data, Formulasi Cost Variance, dan Operasionalisasi

Tahap kuantitatif utama (QUAN) menggunakan data keuangan mikro dari Laporan Hasil Evaluasi Kinerja Auditan BPKP Perwakilan Provinsi Jawa Tengah tahun buku 2023 dan 2024 (BPKP, 2024, 2025), dianalisis dengan teknik dekomposisi biaya akuntansi (*accounting cost variance analysis*). Formulasi pergerakan BOPO dan kontribusi sektoral beban operasional disusun sebagai berikut:

$$BOPO_t = \text{Total Beban Operasional}_t / \text{Total Pendapatan Operasional}_t$$

Total beban operasional (BO_t) didekomposisikan menjadi enam pos utama:

$$BO_t = PC_t + KC_t + MC_t + PE_t + DP_t + OL_t$$

Kontribusi relatif (CRi) tiap perubahan pos biaya spesifik terhadap total deviasi pertumbuhan beban dihitung dengan: $CRi = \Delta \text{Komponen Biaya}_i / \Delta \text{Total Beban Operasional}$. Operasionalisasi variabel diringkas pada Tabel 1. Tahap kualitatif (qual) mengintegrasikan parameter fisik lingkungan dari Laporan Penilaian Risiko Iklim Korporat (Perumda Air Minum Tirta Moedal & Urban Water Catalyst Initiative, 2026), data hidrometeorologis BMKG, serta hasil triangulasi Focus Group Discussion (FGD) pemangku kepentingan lintas sektor (Bappeda Jawa Tengah, Dinas PUSDATARU, BBWS Pemali Juana, dan Perum Jasa Tirta I).

Tabel 1. Operasionalisasi variabel penelitian

Konstruk	Indikator/Proksi	Sumber data	Peran
Risiko iklim fisik	Kekeruhan air baku (NTU); laju amblesan (cm/th); frekuensi kerusakan pipa	Dok. penilaian risiko iklim; BMKG; FGD	Pemicu (hulu–hilir)
Kebijakan transisi air baku	Volume & harga air curah KPBU; realisasi <i>take-or-pay</i> (lps)	BPKP; perjanjian SPAM	Pemicu (transisi)
Biaya operasional sektoral	Biaya air curah (PC), bahan kimia (KC), pemeliharaan (MC), dll.	BPKP 2023 & 2024	Mediasi
NRW	Rasio kehilangan air (%); volume hilang (m ³)	BPKP 2023 & 2024	Pengali
Kinerja finansial	BOPO = Beban Operasional / Pendapatan Operasional	BPKP 2023 & 2024	Hasil (dependen)

Sumber: diolah penulis (2025).

Validitas dan Keterbatasan

Validitas konstruk dijaga melalui penggunaan data auditan dan triangulasi sumber; validitas internal ditegakkan melalui uji bukti (*Hoop* dan *Smoking-Gun Test*) pada tiap tautan mekanisme. Keterbatasan utama adalah unit tunggal dengan rentang dua tahun sehingga temuan bersifat generalisasi analitis (ke teori), bukan generalisasi statistik (ke populasi). Penelitian lanjutan disarankan menggunakan data panel lintas Perumda multi-tahun agar kausalitas dapat diuji secara ekonometrika.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Varians Struktur Keuangan Kuantitatif dan Eskalasi BOPO

Berdasarkan hasil audit kinerja, total pendapatan operasional 2024 mencapai Rp386,96 miliar, tumbuh 10,20% dari Rp351,16 miliar (2023). Ekspansi ini didorong penambahan 5.627 sambungan rumah (SR) aktif baru yang didukung program Instruksi Presiden (Inpres) Nomor 1 Tahun 2024. Namun, pertumbuhan pendapatan tidak mampu mengimbangi akselerasi beban operasional yang melonjak 10,86%, dari Rp293,01 miliar menjadi Rp324,84 miliar. Akibat ketimpangan pertumbuhan (*growth mismatch*) ini, BOPO memburuk dari 0,83 menjadi 0,84 (Tabel 2).

Tabel 2. Analisis kinerja keuangan komparatif dan dekomposisi varians beban operasional, 2023–2024

Komponen Akuntansi	2023 (Rp)	2024 (Rp)	Δ Mutlak	Δ %	CRi
Pendapatan Operasional	351,16 M	386,96 M	+35,80 M	+10,20	—
Beban Operasional Total (BO)	293,01 M	324,84 M	+31,83 M	+10,86	100,00%
— Pembelian Air Curah (PC)	98,96 M	120,70 M	+21,74 M	+21,97	68,30%
— Input Bahan Kimia (KC)	11,87 M	13,48 M	+1,61 M	+13,52	5,06%
— Pemeliharaan Jaringan (MC)	26,40 M	28,15 M	+1,75 M	+6,63	5,50%
— Pegawai, Depresiasi, & Lainnya	155,78 M	162,51 M	+6,73 M	+4,32	21,14%
Rasio Operasi (BOPO)	0,83	0,84	+0,01	+1,20	—

Sumber: diolah dari BPKP (2024, 2025). *M* = miliar rupiah; *CRi* = Δ Komponen/ Δ BO.

Hasil dekomposisi varians membongkar fakta krusial: pemburukan BOPO bukan dipicu inefisiensi internal manajemen (*internal mismanagement*), melainkan bersumber dari guncangan faktor lingkungan eksternal dan konsekuensi biaya adaptasi ekologis. Biaya pembelian air curah (PC) dan bahan kimia (KC) secara agregat menyumbang 73,36% total kenaikan beban operasional selama periode pengamatan—memvalidasi bekerjanya model transmisi risiko iklim langsung ke pos laba-rugi utilitas publik (Lyle et al., 2026).

Jalur Risiko Transisi Ekologis: Klausul KPBU dan Lonjakan Air Curah

Penonaktifan sumur dalam (*deep wells*) di Cabang Barat dan Utara demi kepatuhan pembatasan ABT memicu lonjakan biaya air curah (PC) sebesar 21,97%, dari Rp98,96 miliar ke Rp120,70 miliar pada 2024. Kenaikan bersih Rp21,74 miliar ini menjadi kontributor tunggal paling dominan yang mendikte 68,30% total pembengkakan beban. Melalui penelusuran proses kausal ditemukan mekanisme kontraktual di balik lonjakan: realisasi penyerapan air curah SPAM Semarang Barat 2024 menyentuh 734,79 lps, melampaui ambang kewajiban kontrak (*take-or-pay threshold*) 707,45 lps. Harga beli air curah swasta ditetapkan jauh lebih tinggi per meter kubik dibanding biaya marjinal ekstraksi mandiri. Struktur tata kelola *multi-level governance* tanpa mekanisme kompensasi fiskal dari pemerintah daerah memaksa Perumda menyerap seluruh inflasi biaya transisi tersebut, yang secara mekanistik mendongkrak posisi beban pembentuk BOPO (Adiyanti & Fathurrahman, 2021; Purbo et al., 2020; World Bank, 2023).

Jalur Risiko Fisik Hulu: Volatilitas Kekeruhan dan Biaya Kimia

Jalur transmisi risiko fisik akut terkonfirmasi pada biaya bahan kimia (KC) yang membengkak 13,52%, dari Rp11,87 miliar (2023) menjadi Rp13,48 miliar (2024). Catatan operasional IPA Kaligarang dan Pucang Gading menunjukkan bahwa selama musim hujan intens berdurasi pendek, kawasan tangkapan air hulu DAS Garang dan Babon yang terdegradasi mengalami limpasan erosi parah, mentransmisikan lonjakan padatan suspensi sehingga kekeruhan meroket dari rata-rata ratusan NTU menjadi 6.000–10.000 NTU, bahkan melampaui 30.000 NTU pada intake Babon. Guna menjaga kepatuhan mutu air sesuai

Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 (Kementerian Kesehatan, 2023), dosis koagulan (aluminium sulfat/PAC), flokulan polimer, dan kaporit dinaikkan hingga tiga kali lipat. Konvergensi antara data kenaikan pengeluaran kimia korporat dan literatur eksperimental global (Hurst, Edwards, Chipps, Jefferson, & Parsons, 2004; Qiu et al., 2019) meloloskan tautan mekanistik ini dalam *Smoking-Gun Test*: volatilitas cuaca ekstrem iklim hulu terbukti mentransmisikan inflasi biaya operasional langsung melalui penambahan kuantitas input kimia di hilir.

Faktor Pengali Kebocoran Air (NRW) Akibat Amblesan Pesisir

Mekanisme transmisi diperparah kerentanan struktural internal berupa tingginya NRW. Pada 2024 NRW tercatat 44,64%, hanya turun marginal dari 45,46% (2023) dan jauh melampaui batas toleransi nasional 25%. Dari 107,20 juta m³ air yang dialirkan, hanya 59,35 juta m³ terkonversi menjadi penjualan berbayar, sedangkan 47,86 juta m³ hilang tanpa arus kas masuk. Triangulasi data geodetik dan dokumen pemeliharaan memverifikasi bahwa pemicu struktural terbesar kehilangan fisik (menyumbang 27,20% dari total kehilangan) adalah patahnya sambungan pipa, keretakan pipa pembawa, dan korosi dipercepat di pesisir Semarang Utara—berkorelasi linier dengan laju amblesan yang memicu deformasi tegangan geser tanah (Abidin et al., 2013). Inefisiensi ini bertindak sebagai *multiplier* biaya: 44,64% dari pengeluaran energi pompa (Rp31,22 miliar) dan input kimia hulu berakhir sia-sia tanpa komersialisasi.

Untuk menguji sensitivitas dampak *multiplier* NRW, dilakukan simulasi skenario akuntansi manajemen (Tabel 3). Bila program penurunan kebocoran diakselerasi ke standar nasional 25%, volume kehilangan ditekan masif dan Harga Pokok Air (HPA) turun dari Rp5.113,47/m³ menjadi Rp3.774,45/m³. Penurunan biaya per unit ini memangkas agregat beban operasional dan menurunkan proyeksi BOPO secara radikal dari 0,84 ke bawah 0,75—memosisikan korporasi pada klaster utilitas yang sangat sehat dan mandiri.

Tabel 3. Simulasi sensitivitas penurunan NRW terhadap efisiensi HPA dan BOPO, 2024

Metrik Efisiensi Finansial-Teknis	Kondisi Riil (NRW 44,64%)	Skenario Target (NRW 25%)	Diferensiasi
Volume air terdistribusi (m ³)	107,20 Juta	107,20 Juta	0 (konstan)
Volume kehilangan/NRW (m ³)	47,86 Juta	26,80 Juta	−21,06 Juta
Volume air terjual (m ³)	59,35 Juta	80,40 Juta	+21,05 Juta
Harga Pokok Air (HPA per m ³)	Rp5.113,47	Rp3.774,45	−Rp1.339,02
Proyeksi Rasio Operasi (BOPO)	0,84	0,74	−0,10

Sumber: simulasi penulis berbasis data BPKP (2025).

Sintesis Mekanisme Kausal

Rangkaian bukti pada Subbab 4.2–4.4 disintesis menjadi rantai transmisi terverifikasi (Tabel 4). Setiap tautan didukung minimal satu bukti kuantitatif (perubahan pos biaya) dan satu bukti kualitatif/literatur (mekanisme fisik), memenuhi kriteria kelengkapan penelusuran proses dan lolos uji *Smoking-Gun* (Beach & Pedersen, 2019).

Tabel 4. Rantai transmisi kausal risiko iklim–biaya–BOPO

Pemicu	Mekanisme fisik	Komponen biaya	Dampak BOPO
Kebijakan transisi (KPBU)	Peralihan ABT → air curah permukaan (<i>take-or-pay</i>)	Air curah +21,97%	Dominan (68,30% ΔBO)
Curah hujan ekstrem	Erosi hulu → kekeruhan 6.000–10.000 NTU	Bahan kimia +13,52%	Signifikan (5,06% ΔBO)
Penurunan muka tanah	Patah/korosi pipa → NRW 44,64%	Pemeliharaan & energi terbuang	Pengali (multiplier)

Sumber: sintesis penulis dari BPKP (2024, 2025); Qiu et al. (2019); Abidin et al. (2013).

Implikasi tata kelola dan model kebijakan solutif

Implikasi Teoretis: Trade-Off Risiko Lintas Dimensi

Temuan empiris ini menjembatani jurang akademis antara akuntansi keuangan berkelanjutan dan hidrologi terapan. Studi ini membuktikan eksistensi *trade-off* kerentanan lintas dimensi (*cross-dimensional resilience trade-off*): mitigasi ekologis makro yang berhasil meredam krisis fisik (penurunan penyedotan ABT demi menahan amblesan) secara simultan dapat mengekspos utilitas pada kerentanan keuangan mikro baru (*high-cost fixed contract*) bila ekosistem tata kelola tidak adaptif. Hal ini memperluas aplikasi teori kapabilitas dinamis (Teece et al., 1997) dan ketahanan organisasi (Linnenluecke, 2017): ketahanan ekologis yang kokoh menuntut sinkronisasi rekonfigurasi model penetapan harga dan perlindungan aset infrastruktur secara paralel.

Implikasi Praktis dan Solusi Kebijakan Struktural

1. *Restrukturisasi regulasi tarif FCR adaptif iklim.* Meski tarif rata-rata Rp6.115,30/m³ secara normatif telah melampaui HPA eksisting, margin pembentuknya rapuh terhadap inflasi biaya air curah KPBU. Pemerintah Kota bersama Perumda perlu merumuskan penyesuaian tarif berkala yang otomatis memperhitungkan eskalasi biaya variabel lingkungan (*climate-indexed tariff adjustments*) sesuai mandat Permendagri Nomor 21 Tahun 2020 (Kementerian Dalam Negeri, 2020).
2. *Akselerasi penurunan NRW berbasis smart water network.* Alihkan fokus belanja modal ke perlindungan pipa di zona kritis amblesan melalui pembentukan *District Meter Area* (DMA) presisi, sensor tekanan digital untuk deteksi dini kebocoran, serta percepatan kalibrasi meter pelanggan yang saat ini baru terealisasi 7,05% dari total sambungan.
3. *Formulasi blended resilience financing dan konservasi hulu–hilir kolaboratif.* Kekeruhan ekstrem hulu tidak dapat dibebankan sebagai biaya internal Perumda. Terapkan skema pendanaan terintegrasi (*blended resilience financing*) memanfaatkan Pajak Air Permukaan (PAP) dan Pajak Air Tanah (PAT) daerah untuk membiayai konservasi kolaboratif (sumur resapan, rorak, reboisasi hutan tangkapan air) lintas institusi (BPDAS Pemali Jratun, Perum Perhutani, dan Perum Jasa Tirta I) guna memotong beban koagulan hilir secara permanen.

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa peningkatan Rasio Operasi (BOPO) Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang pada periode 2023–2024 tidak semata-mata disebabkan oleh inefisiensi internal perusahaan, melainkan merupakan konsekuensi dari mekanisme transmisi risiko iklim dan kebijakan transisi sumber air baku yang saling berinteraksi. Risiko fisik berupa peningkatan kekeruhan air baku akibat curah hujan ekstrem meningkatkan biaya bahan kimia pengolahan, sementara kebijakan transisi dari air bawah tanah menuju air permukaan melalui skema KPBU menyebabkan lonjakan biaya pembelian air curah. Kondisi tersebut semakin diperparah oleh tingginya tingkat *Non-Revenue Water* (NRW) akibat kerusakan jaringan distribusi yang dipengaruhi amblesan tanah di kawasan pesisir, sehingga memperbesar pemborosan biaya operasional dan menekan efisiensi perusahaan. Temuan ini menegaskan bahwa risiko hidrologis makro telah ditransmisikan secara nyata ke dalam struktur biaya mikro perusahaan, sehingga penguatan ketahanan finansial Perumda Air Minum memerlukan integrasi antara strategi adaptasi perubahan iklim, pengelolaan aset infrastruktur, pengendalian NRW, serta kebijakan tarif berbasis *Full Cost Recovery* yang adaptif terhadap dinamika risiko iklim.

Penelitian selanjutnya disarankan memperluas cakupan kajian dengan menggunakan data panel lintas Perumda Air Minum di berbagai wilayah dan periode pengamatan yang lebih panjang agar hubungan kausal dapat diuji menggunakan pendekatan ekonometrika serta menghasilkan temuan yang memiliki tingkat generalisasi lebih tinggi. Selain itu, penelitian mendatang perlu mengembangkan model yang mengintegrasikan indikator risiko iklim, tata kelola perusahaan, investasi infrastruktur adaptif, mekanisme pembiayaan ketahanan (*resilience financing*), serta kebijakan tarif dalam kerangka analisis yang lebih komprehensif. Pendekatan tersebut diharapkan mampu menghasilkan rekomendasi kebijakan yang lebih kuat bagi pemerintah daerah maupun perusahaan penyedia air minum dalam meningkatkan efisiensi operasional, memperkuat ketahanan finansial, dan mendukung keberlanjutan penyediaan layanan air minum di tengah meningkatnya dampak perubahan iklim.

REFERENSI

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Sidiq, T. P., & Fukuda, Y. (2013). Land subsidence in coastal city of Semarang (Indonesia): characteristics, impacts and causes. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 4(3), 226–240.
- Adiyanti, N. P., & Fathurrahman, R. (2021). Assessing critical success factors for PPP water project in Indonesia: Lessons from West Semarang. *Policy & Governance Review*, 5(2), 164–181.
- Badan Pengawasan Keuangan dan Pembangunan (BPKP) Perwakilan Provinsi Jawa Tengah. (2024). *Laporan evaluasi kinerja Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang Tahun 2023* (No. PE.09.03/LHP-227/PW11/4.1/2024). Semarang: BPKP.
- Badan Pengawasan Keuangan dan Pembangunan (BPKP) Perwakilan Provinsi Jawa Tengah. (2025). *Laporan hasil evaluasi penyelenggaraan SPAM perpipaan perkotaan pada Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang Tahun 2024* (No. PE.09.03/LHP-514/PW11/4.1/2025). Semarang: BPKP.
- Beach, D., & Pedersen, R. B. (2019). *Process-tracing methods: Foundations and guidelines* (2nd ed.). Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). Thousand Oaks: SAGE Publications.

- Hurst, A. M., Edwards, M. J., Chipps, M., Jefferson, B., & Parsons, S. A. (2004). The impact of rainstorm events on coagulation and clarifier performance in potable water treatment. *Science of the Total Environment*, 321(1–3), 219–230. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.08.016>
- Istichori, I. P. A. W., Wiguna, I. P. A., & Masduqi, A. (2018). Analisis penentuan tarif air minum PDAM Kabupaten Lamongan berdasarkan prinsip full cost recovery. *Journal of Civil Engineering*, 33(1), 10–19.
- Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 21 Tahun 2020 tentang Perubahan atas Permendagri Nomor 71 Tahun 2016 tentang Perhitungan dan Penetapan Tarif Air Minum*. Jakarta: Mendagri.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2023). *Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Kemenkes.
- Linnenluecke, M. K. (2017). Resilience in business and management research: A review of influential publications and a research agenda. *International Journal of Management Reviews*, 19(1), 4–30. <https://doi.org/10.1111/ijmr.12076>
- Lyle, Z. J., VanBriesen, J. M., & Samaras, C. (2026). Climate change risk index and municipal bond disclosures of United States drinking water utilities. *Communications Earth & Environment*, 7(1), 68. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-03044-z>
- Nanda, & Robialta. (2024). Analisis tingkat Non-Revenue Water (NRW) pada jaringan distribusi SPAM Pusat Perumda Air Minum Palangka Raya. *Jurnal Teknik Sipil Giratory UPGRI*, 6(1).
- Novianti, T. C., Armijon, Tridawati, A., & Samri, A. S. (2024). Analisis perubahan tutupan lahan tahun 2013–2022 di Kota Semarang menggunakan Google Earth Engine. *Jurnal Ilmiah Tekno Global*, 13(1), 21–27.
- Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang & Urban Water Catalyst Initiative. (2026). *Laporan penilaian risiko iklim (Climate Risk Assessment) Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang*. Semarang: VEI Dutch Water Operator & Perumda Air Minum Tirta Moedal.
- Purbo, R. K., Smith, C., & Bianchi, R. J. (2020). Local government and public–private partnerships: Experiencing multilevel governance issues in Indonesian water supply provision. *International Journal of Water Resources Development*, 36(1), 27–49. <https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1625754>
- Qiu, F., Lv, H., Zhao, X., & Zhao, D. (2019). Impact of an extreme winter storm event on the coagulation/flocculation processes in a prototype surface water treatment plant: Causes and mitigating measures. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(15), 2808. <https://doi.org/10.3390/ijerph16152808>
- Samosir, M., Sitorus, E. T., & Nainggolan, R. P. (2023). Feasibility analysis of rates of PDAM South Halmahera district based on full cost recovery. *AKURASI: Jurnal Riset Akuntansi dan Keuangan*, 5(2).
- Sharp, E. L., Parsons, S. A., & Jefferson, B. (2006). Seasonal variations in natural organic matter and its impact on coagulation in water treatment. *Science of the Total Environment*, 363(1–3), 183–194. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.05.032>
- Task Force on Climate-related Financial Disclosures. (2017). *Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures: Final report*. Basel: Financial Stability Board.
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z)

- U.S. Environmental Protection Agency. (2024). *Climate change in the drinking water and wastewater sectors and the impact on financial resilience, insurability, and credit and investment quality* (EPA 810R23003). Washington, DC: U.S. EPA.
- World Bank. (2021). *Planning for an uncertain future: Strengthening the resilience of Indonesian water utilities* (Technical report). Washington, DC: World Bank Group.
- World Bank. (2023). *Indonesia: Support to national urban water supply* (Report No. AUS0003418). Washington, DC: World Bank Group.
- World Bank Group. (2025). *Climate risk country profile: Indonesia*. Washington, DC: World Bank.
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). Thousand Oaks: SAGE Publications.