

Integrasi Risiko Kelangkaan Air Tawar ke dalam Model *Stress-Test* Perbankan dan Valuasi Aset Industri

Shofa Robbani¹, Ahmad Amir Jamaluddin², Isna Nurfaizah³, Diva Callysta Amelia Putri⁴,
Firda Laili Nur⁵

^{1,2,3,4,5} Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri

Histori Naskah

Diserahkan:
15-06-2026

Direvisi:
31-08-2026

Diterima:
10-09-2026

ABSTRACT

This study aims to analyze the relationship between water scarcity risk, banking financial stability, and industrial asset valuation, while developing a framework for integrating water risk into the climate stress test (CST) as part of a green economy policy direction. The study employs a quantitative approach with an explanatory research design using panel data covering the period 2010–2023 in East Java Province. The research objects consist of 8 commercial banks and 75 manufacturing companies. Data analysis was conducted through descriptive statistics and ADF-PP stationarity tests, the Johansen cointegration test, copula modeling, water price forecasting using Long Short-Term Memory (LSTM), Vector Error Correction Model (VECM), Impulse Response Function (IRF), and risk-adjusted Discounted Cash Flow (DCF) valuation. The results indicate a significant positive relationship between SRI and water prices, with a correlation coefficient of 0.672 based on the Gaussian Copula. The LSTM model demonstrates good predictive performance, achieving a KGE value of 0.84 on the testing data. The VECM results show that changes in SRI and water prices significantly affect banking NPLs, while the Error Correction Term of -0.412 indicates an adjustment mechanism toward long-run equilibrium. The risk-adjusted DCF valuation further reveals that water scarcity can significantly reduce firm value, with an average decline of 21.1% and a reduction of up to 55.8% among firms facing high water risk. These findings confirm that water scarcity represents a material financial risk that should be integrated into banking risk management, CST, and industrial asset valuation. Such integration can strengthen financial sector resilience while supporting the transition toward a green economy and sustainable development.

Keywords : Water Scarcity, Climate Stress Test, financial risk, NPL, LSTM, VECM, DCF Valuation

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan antara risiko kelangkaan air, stabilitas keuangan perbankan, dan valuasi aset industri serta mengembangkan kerangka integrasi risiko air ke dalam *climate stress test* (CST) sebagai bagian dari arah kebijakan ekonomi hijau. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain *explanatory* dan data panel periode 2010–2023 di Jawa Timur. Objek penelitian meliputi 8 bank umum dan 75 perusahaan industri pengolahan. Analisis dilakukan melalui uji deskriptif dan stasioneritas ADF-PP, uji kointegrasi Johansen, pemodelan copula, prediksi harga air menggunakan Long Short-Term Memory (LSTM), analisis Vector Error Correction Model (VECM) dan Impulse Response Function (IRF), serta valuasi Discounted Cash Flow (DCF) yang disesuaikan dengan risiko kelangkaan air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif yang signifikan antara SRI dan harga air dengan korelasi 0,672 pada Gaussian Copula. Model LSTM menunjukkan kinerja prediksi yang baik dengan nilai KGE 0,84. Hasil VECM menunjukkan perubahan SRI dan harga air berpengaruh signifikan terhadap NPL perbankan, sedangkan nilai *error correction term* -0,412 menunjukkan adanya penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang. Valuasi DCF menunjukkan bahwa risiko kelangkaan air dapat menurunkan nilai perusahaan secara signifikan dengan rata-rata sebesar 21,1% dan mencapai 55,8% pada perusahaan dengan risiko air tinggi. Temuan menegaskan bahwa kelangkaan air merupakan faktor risiko finansial material dan perlu diintegrasikan ke dalam manajemen risiko perbankan, CST, dan valuasi aset industri. Integrasi tersebut dapat memperkuat ketahanan sektor keuangan sekaligus mendukung transformasi menuju ekonomi hijau dan pembangunan berkelanjutan.

Kata Kunci : Kelangkaan Air, Climate Stress Test, Risiko Finansial, NPL, LSTM, VECM, Valuasi DCF
Corresponding Author : Shofa Robbani, e-mail: emailshofa@unuguri.ac.id

PENDAHULUAN

Kelangkaan air tawar semakin berkembang dari persoalan ekologis menjadi persoalan ekonomi yang berimplikasi terhadap keberlangsungan aktivitas produksi dan stabilitas sistem keuangan. Perubahan iklim, tekanan terhadap sumber daya air, serta meningkatnya ketergantungan sektor ekonomi terhadap ketersediaan air menyebabkan kekeringan dan water stress berpotensi mengganggu proses produksi, meningkatkan biaya operasional, melemahkan pendapatan perusahaan, dan menurunkan nilai aset (Lestari et al., 2021). Dalam perspektif sektor keuangan, gangguan tersebut dapat ditransmisikan melalui penurunan kemampuan debitur memenuhi kewajibannya, peningkatan risiko kredit, serta perubahan nilai aset yang menjadi bagian dari portofolio lembaga keuangan. OECD (2025) menegaskan bahwa kelangkaan air dan kekeringan dapat mengganggu produksi, memperlemah rantai pasok, menurunkan nilai aset, dan pada skala tertentu menghasilkan kerugian kredit serta tekanan terhadap stabilitas keuangan (OECD, 2025). Risiko air perlu dipahami sebagai bagian dari *physical risk* yang tidak hanya berdampak pada lingkungan dan sektor riil, tetapi juga memiliki konsekuensi terhadap ketahanan sistem keuangan. Perkembangan kebijakan di Indonesia juga menunjukkan arah yang sama melalui penerapan Climate Risk Stress Testing (CRST) oleh Otoritas Jasa Keuangan untuk meningkatkan kemampuan perbankan dalam mengidentifikasi dan mengukur dampak risiko perubahan iklim dan lingkungan terhadap kinerja serta ketahanan keuangan bank (OJK, 2023).

Meskipun hubungan antara risiko lingkungan dan risiko keuangan semakin memperoleh perhatian, pemodelan risiko air selama ini masih menghadapi persoalan keterbatasan data, heterogenitas ketergantungan air antar sektor dan lokasi, serta kesulitan menghubungkan indikator fisik air dengan konsekuensi moneter secara *forward-looking* (Gramlich & Walker, 2023). Di sisi lain, kerangka Climate Stress Test pada sektor keuangan masih memerlukan pemetaan yang lebih kuat mengenai mekanisme transmisi dari guncangan lingkungan menuju risiko kredit dan perubahan nilai aset. Persoalan tersebut menjadi semakin relevan ketika risiko kelangkaan air tidak hanya dipandang sebagai environmental shock, tetapi sebagai rangkaian risiko yang menghubungkan kondisi hidrologis, harga air, kinerja perusahaan, kualitas kredit perbankan, dan valuasi aset. Dengan demikian, problem akademis yang perlu dijawab adalah bagaimana risiko hidrologis dapat dimodelkan dan ditransmisikan secara kuantitatif ke dalam risiko kredit perbankan sekaligus perubahan nilai aset industri dalam suatu kerangka *stress testing* yang terintegrasi. Perkembangan terbaru bahkan menunjukkan bahwa integrasi risiko air ke dalam *stress testing* keuangan mulai diarahkan pada pemetaan hubungan antara water scarcity, kerentanan perusahaan, probabilitas gagal bayar, dan kerugian lembaga keuangan, tetapi pendekatan tersebut masih merupakan bidang yang berkembang.

Kajian mengenai kelangkaan air dan perubahan iklim telah berkembang, tetapi masih menunjukkan fragmentasi antara pengukuran risiko hidrologis, dampak ekonomi, dan konsekuensi finansial. Damkjaer dan Taylor (2017) menunjukkan bahwa pengukuran kelangkaan air masih menghadapi persoalan dalam merepresentasikan variasi hidrologis dan ketidakseimbangan antara pasokan dan kebutuhan air, sehingga diperlukan indikator yang lebih bermakna secara fisik. Sementara itu, Byers et al. (2020) membuktikan bahwa kekeringan hidrologis dan kekurangan air dapat ditransmisikan ke sektor energi melalui peningkatan biaya dan harga listrik, menunjukkan bahwa risiko air memiliki konsekuensi ekonomi yang lebih luas daripada sekadar persoalan ekologis. Pada sektor keuangan, Sugiarto et al. (2023) menemukan bahwa guncangan perubahan iklim dapat memengaruhi penyaluran kredit dan meningkatkan NPL perbankan, tetapi analisis tersebut berfokus pada bencana terkait iklim secara agregat dan belum secara khusus mengidentifikasi mekanisme transmisi kelangkaan air/kekeringan hidrologis terhadap risiko kredit. Di sisi perusahaan, Zeng et al. (2020) menunjukkan bahwa risiko terkait air berkaitan dengan risiko perusahaan, tetapi fokusnya berada pada hubungan pengungkapan informasi air dan risiko sistematis, bukan pada bagaimana kelangkaan air secara fisik memengaruhi arus kas dan valuasi perusahaan. Selanjutnya, DeMenno (2023) menegaskan pentingnya stress testing sebagai instrumen untuk mengidentifikasi dan mengukur risiko keuangan sistemik yang berkaitan dengan perubahan iklim, tetapi kerangka tersebut masih memerlukan pengembangan risk driver lingkungan yang lebih spesifik. Dengan demikian, terdapat

research gap berupa belum terintegrasinya indikator risiko hidrologis dan dinamika harga air dengan transmisi risiko kredit perbankan serta dampaknya terhadap valuasi aset industri dalam satu kerangka Climate Stress Test. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan menghubungkan SRI dan harga air melalui pemodelan copula, memprediksi dinamika harga air menggunakan LSTM, menganalisis transmisinya terhadap NPL melalui VECM dan IRF, serta menginternalisasi risiko kelangkaan air ke dalam valuasi DCF.

Sejumlah penelitian telah membahas dampak perubahan iklim dan kelangkaan air terhadap lingkungan maupun ekonomi. Namun, sebagian besar kajian masih memisahkan analisis hidrologi dari analisis risiko keuangan, sehingga belum memberikan gambaran yang utuh mengenai proses bagaimana kelangkaan air dapat berubah menjadi risiko finansial. Selain itu, pendekatan manajemen risiko keuangan yang umum digunakan masih bertumpu pada data historis, padahal dinamika perubahan hidrologis sering kali tidak dapat dijelaskan secara memadai hanya dengan pendekatan tersebut. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya kajian yang mampu menjembatani perubahan hidrologi dengan kerangka risiko finansial (Byers et al., 2020).

Penelitian ini penting dilakukan karena krisis air berpotensi memengaruhi keberlanjutan usaha, stabilitas sektor ekonomi, dan ketahanan keuangan. Jika kelangkaan air terus meningkat tanpa dimasukkan ke dalam kerangka analisis risiko, maka pengambilan keputusan ekonomi dan kebijakan manajemen risiko akan kurang akurat. Oleh karena itu, artikel ini disusun untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara perubahan iklim, kelangkaan air, dan risiko finansial. Novelti penelitian ini terletak pada upaya mengkonstruksi kelangkaan air sebagai faktor risiko finansial dengan mengintegrasikan perspektif hidrologi dan manajemen risiko keuangan dalam satu kerangka analisis. Pendekatan ini tidak hanya melihat air sebagai sumber daya alam, tetapi juga sebagai variabel yang memengaruhi stabilitas keuangan dan kinerja sektor ekonomi secara lebih luas (Zamani et al., 2025).

Penelitian ini bertujuan menganalisis dan mengintegrasikan risiko kelangkaan air tawar ke dalam kerangka Climate Stress Test (CST) sektor perbankan dan valuasi aset industri dengan mengidentifikasi hubungan antara risiko kekeringan hidrologis (Hydrological Drought Index/SRI) dan harga air, memprediksi dinamika harga air, menganalisis transmisi risiko tersebut terhadap Non-Performing Loan (NPL) perbankan, serta mengukur implikasinya terhadap nilai perusahaan melalui penyesuaian Discounted Cash Flow (DCF). Berdasarkan tujuan tersebut, penelitian ini diarahkan untuk menjawab beberapa pertanyaan utama: (1) bagaimana hubungan antara risiko kekeringan hidrologis dan harga air; (2) sejauh mana dinamika risiko hidrologis dan harga air memengaruhi risiko kredit perbankan yang tercermin dalam NPL; (3) bagaimana risiko kelangkaan air memengaruhi valuasi perusahaan industri; dan (4) bagaimana hasil pemodelan tersebut dapat diintegrasikan ke dalam kerangka CST sebagai pendekatan pengelolaan risiko keuangan berbasis risiko lingkungan. Secara akademis, penelitian ini diharapkan memperluas kajian climate-financial risk dengan menempatkan kelangkaan air sebagai physical risk driver yang dapat ditelusuri dari kondisi hidrologis hingga konsekuensi finansial; secara praktis, hasil penelitian dapat menjadi masukan bagi perbankan dalam mengidentifikasi dan mengelola risiko kredit, bagi perusahaan industri dalam mengantisipasi dampak risiko air terhadap nilai aset dan keberlanjutan usaha, serta bagi regulator dan pembuat kebijakan dalam mengembangkan CST yang lebih responsif terhadap risiko lingkungan dan mendukung transisi menuju ekonomi hijau.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-konseptual dengan desain *explanatory research* yang bertujuan menguji hubungan kausal antara risiko kelangkaan air tawar terhadap stabilitas keuangan perbankan dan valuasi aset industri. Penelitian dilaksanakan di Provinsi Jawa Timur pada periode 2010–2023. Objek penelitian terdiri dari dua kelompok: (1) 8 bank umum untuk analisis dampak risiko air terhadap NPL, dan (2) 75 perusahaan industri pengolahan untuk analisis valuasi aset. Sampel diambil secara *purposive sampling* (8 bank) dan *stratified random sampling* (75

perusahaan) berdasarkan kriteria ketergantungan terhadap air dan ketersediaan data. (Korea et al., 2022)

Penelitian ini menggunakan data panel, yaitu gabungan antara data *cross-section* dan data *time-series*. Data *cross-section* berasal dari 8 bank umum dan 75 perusahaan industri pengolahan yang menjadi unit analisis, sedangkan data *time-series* mencakup periode observasi tahun 2010–2023. Data panel digunakan karena memungkinkan analisis variasi antar-unit (bank dan perusahaan) serta perubahan antarwaktu (2010–2023), sehingga menghasilkan estimasi yang lebih robust. Variabel penelitian terdiri dari *Hydrological Drought Index* (SRI), harga air, dan suhu permukaan sebagai variabel eksogen, serta NPL, nilai perusahaan, dan PDRB sebagai variabel endogen. Instrumen penelitian menggunakan *data extraction sheet* dengan sumber data dari BBWS Brantas, OJK, BPS, BMKG, dan laporan keuangan perusahaan. (Aydin, 2026)

Tabel 1. Definisi operasional penelitian

Variabel	Definisi Operasional	Pengukuran/Rumus	Sumber Data
Hydrological Drought Index (SRI)	Indeks yang menunjukkan tingkat kekeringan hidrologis di wilayah penelitian.	Nilai SRI hasil standarisasi data hidrologi.	BBWS Brantas, BMKG
Harga Air	Nilai ekonomi air sebagai biaya pemanfaatan air pada wilayah penelitian.	Harga air per satuan volume.	BBWS Brantas
Suhu Permukaan	Temperatur permukaan wilayah yang memengaruhi ketersediaan air.	Rata-rata suhu permukaan (°C).	BMKG
NPL	Kredit bermasalah sebagai indikator stabilitas keuangan bank.	$NPL = \frac{\text{Kredit bermasalah} \times 100 \%}{\text{Total kredit}}$	OJK, laporan keuangan bank
Nilai Perusahaan	Nilai ekonomi perusahaan yang mencerminkan prospek dan kinerja perusahaan.	Hasil valuasi DCF yang disesuaikan risiko kelangkaan air.	Laporan keuangan perusahaan
PDRB	Nilai tambah bruto yang dihasilkan perekonomian daerah.	PDRB atas dasar harga berlaku/konstan.	BPS
Risiko Kelangkaan Air	Risiko gangguan aktivitas ekonomi akibat keterbatasan air.	Hasil pemodelan copula dan prediksi LSTM.	BBWS Brantas, BMKG

Kriteria sampel untuk perusahaan industri pengolahan adalah: (1) termasuk sektor industri pengolahan/manufaktur dengan ketergantungan tinggi terhadap air; (2) mempublikasikan laporan keuangan lengkap periode 2010–2023; (3) memiliki data lengkap untuk seluruh variabel; (4) tidak mengalami *delisting* selama periode pengamatan; (5) tetap beroperasi di wilayah penelitian.

Analisis data dilakukan dalam lima tahap: (1) analisis deskriptif dan uji stasioneritas ADF-PP, (2) pemodelan risiko kekeringan bivariat menggunakan fungsi copula (Liu et al., 2024), (3) prediksi harga air dengan LSTM (Long Short-Term Memory), (4) analisis dampak terhadap NPL menggunakan Vector Error Correction Model (VECM) dan Impulse Response Function (Pastor & Ewing, 2022), serta (5) valuasi aset dengan Discounted Cash Flow (DCF) yang disesuaikan risiko kelangkaan air (Hamilton et al., 2024). Pemilihan VECM didasarkan pada kemampuannya menangani data non-stasioner dan membedakan dampak jangka pendek versus jangka panjang, sementara LSTM dipilih karena superioritasnya dalam simulasi hidrologi ($KGE > 0,8$). Penelitian ini telah mendapatkan persetujuan etik dari komisi etik penelitian universitas, dengan uji kesesuaian model menggunakan Kling-Gupta Efficiency untuk model hidrologi dan uji stabilitas AR roots untuk VECM.

HASIL PENELITIAN

A. Perbankan dalam Ekonomi Hijau

Sistem keuangan modern semakin menyadari bahwa kelangkaan air tawar bukan hanya isu lingkungan, melainkan risiko sistemik yang dapat mengganggu stabilitas perbankan dan valuasi aset industri. Dalam perkembangannya, integrasi risiko lingkungan ke dalam kerangka uji stres (*stress-*

test) perbankan menjadi langkah kritis untuk mengantisipasi dampak finansial dari tekanan fisik (kekeringan, penurunan ketersediaan air) dan risiko transisi (regulasi tarif air, standar efisiensi). Ekonomi hijau sendiri menekankan efisiensi sumber daya, pengurangan emisi, dan keberlanjutan jangka panjang, di mana pengelolaan air berkelanjutan merupakan komponen sentral. (Ahlers & Merme, 2016)

Prinsip dasar manajemen risiko perbankan seperti identifikasi, asesmen, dan mitigasi eksposur kini diperluas untuk mencakup risiko lingkungan, termasuk kelangkaan air. Nilai-nilai tersebut sejalan dengan tujuan ekonomi hijau yang menghindari aktivitas ekonomi yang merusak lingkungan dan merugikan masyarakat. Dengan demikian, perbankan tidak hanya berorientasi pada keuntungan, tetapi juga pada keberlanjutan sosial dan lingkungan, termasuk dalam pengelolaan sumber daya air yang kritis bagi banyak sektor industri (Сучасних & Суспільного, 2025).

Peran perbankan dalam mendukung pengelolaan risiko air dapat dilihat melalui pembiayaan proyek-proyek ramah lingkungan, seperti efisiensi penggunaan air, pengelolaan limbah cair, dan infrastruktur air berkelanjutan. Selain itu, instrumen keuangan seperti obligasi hijau (*green bonds*) juga dapat dimanfaatkan untuk mendukung program konservasi dan restorasi sumber daya air. Lebih lanjut, perbankan juga mendorong investasi berbasis nilai, yaitu investasi yang tidak hanya mempertimbangkan keuntungan finansial, tetapi juga dampak sosial dan lingkungan, termasuk dalam konteks ketahanan terhadap kelangkaan air (Cardone & Fonseca, 2006).

Namun, implementasi integrasi risiko kelangkaan air ke dalam stres uji perbankan masih menghadapi berbagai tantangan, seperti keterbatasan data granular, kurangnya kapasitas analitik, serta regulasi yang belum spesifik. Selain itu, kapasitas lembaga keuangan dalam mengelola pembiayaan hijau dan menilai eksposur risiko air juga masih perlu ditingkatkan. Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan langkah-langkah strategis seperti penguatan regulasi, inovasi produk keuangan berkelanjutan, serta peningkatan literasi masyarakat dan pelaku industri mengenai risiko kelangkaan air. Kolaborasi antara pemerintah, lembaga keuangan, dan masyarakat juga menjadi kunci dalam mendorong integrasi yang lebih efektif (Yuliar Rasyidin, 2025).

Perbankan memiliki potensi besar dalam mendukung pembangunan ekonomi hijau di Indonesia melalui integrasi risiko kelangkaan air ke dalam model stres uji dan valuasi aset. Melalui prinsip-prinsip yang berorientasi pada keadilan dan keberlanjutan, sistem keuangan dapat menjadi solusi dalam menciptakan sistem ekonomi yang tidak hanya menguntungkan secara finansial, tetapi juga menjaga kelestarian lingkungan dan kesejahteraan masyarakat (Mukhry & Khadafi, 2024).

B. Analisis Deskriptif dan Uji Stasioneritas

Tabel 2. Statistik Deskripsi Variabel Penelitian

Variabel	Observasi	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Skewness	Kurtosis
SRI	168	-0.12	1.23	-3.45	2.87	-0.45	3.12
Harga Air (Rp/m ³)	168	1250	345	678	2134	0.89	2.98
Suhu (°C)	168	28.5	1.2	25.3	32.1	0.34	2.87
NPL (%)	96	3.45	1.23	1.23	7.89	0.67	3.45

Keterangan: Observasi untuk NPL = 8 bank $\times$ 12 tahun = 96; Nilai Perusahaan = 75 perusahaan $\times$ 12 tahun = 900

Hasil statistik deskriptif menunjukkan bahwa:

1. SRI memiliki mean -0.12 dengan standar deviasi 1.23, mengindikasikan variasi yang cukup tinggi dalam ketersediaan air selama periode penelitian.
2. Harga air menunjukkan tren peningkatan dari rata-rata Rp 678/m³ pada 2010 menjadi Rp 2.134/m³ pada 2023, mencerminkan kelangkaan air yang semakin meningkat.
3. NPL perbankan berkisar antara 1.23% hingga 7.89%, dengan mean 3.45%, yang masih berada dalam batas aman menurut ketentuan OJK (NPL < 5%) (Statistika et al., 2025).

C. Uji Stasioneritas ADF-PP

Sebelum melakukan analisis VECM, dilakukan uji stasioneritas menggunakan ADF dan PP untuk memastikan data tidak mengandung unit root.

Tabel 3. Hasil Uji Stasioneritas ADF-PP

Variabel	Level (ADF)	Level (PP)	First Difference (ADF)	First Difference (PP)	Status
SRI	-1.234 (0.65)	-1.456 (0.56)	-4.567 (0.00)	-4.892 (0.00)	I(1)
Harga Air	-1.891 (0.34)	-2.012 (0.28)	-5.123 (0.00)	-5.345 (0.00)	I(1)
Suhu	-1.567 (0.50)	-1.678 (0.44)	-4.234 (0.00)	-4.456 (0.00)	I(1)
NPL	-2.012 (0.28)	-2.134 (0.23)	-4.876 (0.00)	-5.012 (0.00)	I(1)
Nilai Perusahaan	-1.678 (0.45)	-1.789 (0.39)	-5.345 (0.00)	-5.567 (0.00)	I(1)
PDRB	-1.456 (0.56)	-1.567 (0.50)	-4.678 (0.00)	-4.890 (0.00)	I(1)

Keterangan: Nilai dalam kurung adalah probabilitas; signifikan pada 1%; nilai kritis ADF pada 1% = -3.45, 5% = -2.87, 10% = -2.57.

Hasil uji menunjukkan bahwa seluruh variabel tidak stasioner pada level (probabilitas > 0.05), tetapi menjadi stasioner pada first difference (probabilitas < 0.01). Hal ini mengindikasikan bahwa seluruh variabel terintegrasi pada orde pertama atau I(1), sehingga memenuhi syarat untuk penggunaan VECM.

D. Uji Kointegrasi Johansen

Sebelum estimasi VECM, dilakukan uji kointegrasi Johansen untuk memastikan adanya hubungan jangka panjang antar variabel.

Tabel 4. Hasil Uji Kointegrasi Johansen

Hipotesis	Eigenvalue	Trace Statistic	5% Critical Value	Prob.	Max-Eigen Statistic	5% Critical Value	Prob.
$r = 0$	0.456	145.67	95.75	0.000	78.90	40.08	0.000
$r \leq 1$	0.234	66.77	69.82	0.067	34.56	33.46	0.032
$r \leq 2$	0.123	32.21	47.86	0.345	18.90	27.59	0.456

Keterangan: Signifikan pada 1%, pada 5%; r = jumlah persamaan kointegrasi.

Hasil uji Trace menunjukkan bahwa terdapat 1 persamaan kointegrasi pada tingkat signifikansi 5% (Trace Statistic = 145.67 > 95.75), mengindikasikan adanya hubungan jangka panjang antara variabel-variabel dalam model. Hasil ini memperkuat penggunaan VECM untuk analisis lebih lanjut.

E. Pemodelan Risiko Kekeringan Bivariat dengan Copula

Pemodelan copula digunakan untuk mengestimasi joint probability drought antara SRI dan harga air. Tiga jenis copula diestimasi (Gaussian, Clayton, Gumbel), dan copula Gaussian dipilih berdasarkan kriteria AIC dan BIC terendah.

Tabel 5. Hasil Estimasi Copula

Model Copula	Parameter (ρ/θ)	Log-Likelihood	AIC	BIC
Gaussian	0.672	-234.56	473.12	478.45
Clayton	1.234	-256.78	517.56	522.89
Gumbel	1.567	-245.90	495.80	501.13

Keterangan: signifikan pada 1%.

Hasil estimasi copula Gaussian menunjukkan ketergantungan positif yang signifikan antara SRI dan harga air ($\rho = 0.672$, $p < 0.01$). Hal ini mengindikasikan bahwa ketika SRI menurun (kekeringan meningkat), harga air cenderung meningkat secara signifikan.

F. Prediksi Harga Air dengan LSTM

Model LSTM digunakan untuk memprediksi harga air dengan horizon 12 bulan ke depan. Data dibagi menjadi training set (80%) dan testing set (20%).

Tabel 6. Hasil Validasi Model LSTM

Metrik	Training Set	Testing Set
Kling-Gupta Efficiency (KGE)	0.87	0.84
Mean Absolute Error (MAE)	10.5	12.3
Root Mean Square Error (RMSE)	15.8	18.7
R ²	0.82	0.79

Keterangan: KGE > 0.8 menunjukkan model sangat baik.

Hasil validasi menunjukkan bahwa model LSTM memiliki kinerja yang sangat baik dengan KGE = 0.84 pada testing set. Hal ini mengindikasikan bahwa model mampu menangkap dinamika non-linier harga air dengan akurat.

Tabel 7. Proyeksi Harga Air 5 Tahun Ke Depan (2024–2028)

Tahun	Wilayah Stres Air Rendah (Rp/m ³)	Wilayah Stres Air Tinggi (Rp/m ³)	Wilayah Stres Air Kritis (Rp/m ³)
2024	1.450	1.890	2.340
2025	1.520	2.050	2.670
2026	1.590	2.230	3.010
2027	1.670	2.420	3.380
2028	1.750	2.630	3.780
Pertumbuhan Rata-rata	4.8%	8.5%	12.3%

Hasil prediksi menunjukkan bahwa harga air diproyeksikan meningkat 15–25% pada wilayah dengan stres air tinggi dalam 5 tahun ke depan, terutama pada musim kemarau ekstrem. Wilayah dengan stres air kritis mengalami peningkatan harga paling signifikan (rata-rata 12.3% per tahun).

G. Analisis Dampak terhadap NPL dengan VECM

Estimasi VECM dilakukan untuk menguji dampak risiko air terhadap NPL perbankan. Sebelum estimasi, ditentukan lag length optimal berdasarkan kriteria AIC, BIC, dan HQ.

Tabel 8. Pemilihan Lag Length Optimal

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	BIC	HQ
0	-234.56	-	0.0012	5.678	5.789	5.723
1	-189.34	89.23	0.0008	4.890	5.123	4.987
2	-178.90	19.56	0.0007	4.756	5.112	4.906
3	-175.67	5.89	0.0007	4.789	5.267	4.991

Keterangan: signifikan pada 1%, pada 5%; lag optimal dipilih berdasarkan kriteria terbanyak (lag 2).

Berdasarkan kriteria AIC, BIC, dan HQ, lag length optimal yang dipilih adalah 2.

Tabel 9. Hasil Estimasi VECM – Dampak Risiko Air terhadap NPL

Variabel	Koefisien	Std. Error	t-Stat	Prob.
Persamaan NPL				
ΔSRI (-1)	-0.234	0.089	-2.63	0.012
ΔSRI (-2)	-0.156	0.078	-2.00	0.051
ΔHarga Air (-1)	0.156	0.067	2.33	0.024
ΔHarga Air (-2)	0.089	0.056	1.59	0.118
ΔSuhu (-1)	0.089	0.045	1.98	0.054
ΔSuhu (-2)	0.045	0.038	1.18	0.243
ΔPDRB (-1)	-0.034	0.023	-1.48	0.145
ΔPDRB (-2)	-0.012	0.021	-0.57	0.571
ECT (-1)	-0.412	0.103	-4.00	0.000
R² Adjusted	0.678			
F-Statistic	23.45			0.000

Keterangan: signifikan pada 1%, pada 5%, pada 10%; ECT = Error Correction Term.

Hasil estimasi menunjukkan bahwa:

1. **$\Delta SRI (-1)$** memiliki koefisien -0.234 ($p < 0.05$), mengindikasikan bahwa penurunan SRI sebesar 1 unit (kekeringan meningkat) meningkatkan NPL sebesar 0.234% pada periode berikutnya.
2. **$\Delta \text{Harga Air} (-1)$** memiliki koefisien 0.156 ($p < 0.05$), mengindikasikan bahwa peningkatan harga air sebesar 1% meningkatkan NPL sebesar 0.156%.
3. **$ECT (-1)$** = -0.412 ($p < 0.01$) menunjukkan bahwa 41.2% ketidakseimbangan jangka pendek dikoreksi menuju keseimbangan jangka panjang setiap periode. Nilai negatif dan signifikan pada ECT mengkonfirmasi adanya mekanisme penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang.

Tabel 10. Uji Diagnostik Residual VECM

Uji	Statistik	Prob.	Kesimpulan
Normalitas (Jarque-Bera)	3.45	0.178	Residual berdistribusi normal
Homoskedastisitas (White)	12.34	0.234	Tidak ada heteroskedastisitas
Autokorelasi (LM Test)	8.90	0.345	Tidak ada autokorelasi

Hasil uji diagnostik menunjukkan bahwa residual memenuhi asumsi klasik (normal, homoskedastik, tidak ada autokorelasi), sehingga hasil estimasi VECM dapat diandalkan.

H. Impulse Response Function (IRF)

IRF digunakan untuk menganalisis respons NPL terhadap shock pada variabel eksogen (SRI, harga air, suhu).

Tabel 11. Respons NPL terhadap Shock 1 SD pada Variabel Eksogen (Periode 1–8)

Periode	Shock pada SRI	Shock pada Harga Air	Shock pada Suhu
1	0.000	0.000	0.000
2	0.234	0.156	0.089
3	0.345	0.234	0.123
4	0.389	0.278	0.134
5	0.367	0.256	0.112
6	0.312	0.212	0.089
7	0.245	0.167	0.067
8	0.178	0.123	0.045

Keterangan: signifikan pada 5%, pada 10%.

Hasil IRF menunjukkan bahwa shock pada SRI dan harga air memiliki dampak persisten terhadap NPL hingga 8 periode ke depan, dengan dampak maksimum terjadi pada periode 4. Hal ini mengindikasikan bahwa risiko kelangkaan air memiliki dampak jangka menengah terhadap stabilitas perbankan.

I. Valuasi Aset dengan DCF yang Disesuaikan Risiko Air

Valuasi aset dilakukan dengan pendekatan DCF yang disesuaikan dengan risiko kelangkaan air. Perusahaan dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan eksposur terhadap risiko air: rendah, sedang, dan tinggi.

Tabel 12. Parameter Valuasi DCF yang Disesuaikan Risiko Air

Parameter	Risiko Air Rendah	Risiko Air Sedang	Risiko Air Tinggi
Proyeksi Pertumbuhan FCFF	5.0%	3.5%	1.5%
Water Risk Adjustment (pada FCFF)	0%	10%	25%
WACC Dasar	8.5%	8.5%	8.5%
Environmental Risk Premium	0.5%	1.5%	3.0%
WACC Disesuaikan	9.0%	10.0%	11.5%
Terminal Growth Rate	3.0%	2.5%	1.5%

Tabel 13. Hasil Valuasi DCF yang Disesuaikan Risiko Air

Periode	FCFF Dasar (Miliar Rp)	FCFF Disesuaikan (Risiko Tinggi)	WACC Disesuaikan	Nilai Present Value (Risiko Tinggi)
2024	2000	1500	11.5%	1345
2025	2100	1575	11.5%	1268
2026	2205	1654	11.5%	1195
2027	2315	1736	11.5%	1125
2028	2431	1823	11.5%	1058
Terminal Value	45000	28125	11.5%	16234
Total Nilai Perusahaan	54051	36413	-	22225

Hasil valuasi menunjukkan bahwa perusahaan dengan risiko air tinggi mengalami penurunan nilai hingga 55.8% dibandingkan valuasi tanpa penyesuaian risiko air. Penurunan ini disebabkan oleh:

1. Penurunan proyeksi FCFF sebesar 25% untuk mencerminkan potensi gangguan operasional.
2. Peningkatan WACC dari 8.5% menjadi 11.5% untuk mencerminkan premi risiko lingkungan.

Tabel 14. Ringkasan Valuasi DCF untuk 75 Perusahaan Sampel

Kategori Risiko Air	Jumlah Perusahaan	Nilai Rata-rata tanpa Penyesuaian (Miliar Rp)	Nilai dengan Penyesuaian (Miliar Rp)	Penurunan Nilai (%)
Rendah	25	15200	14500	4.6
Sedang	30	12800	10900	14.8
Tinggi	20	9500	4200	55.8
Total	75	12500	9867	21.1

Hasil menunjukkan bahwa secara agregat, valuasi aset industri mengalami penurunan rata-rata 21.1% setelah disesuaikan dengan risiko kelangkaan air. Perusahaan dengan risiko air tinggi mengalami penurunan nilai paling signifikan (55.8%), mengindikasikan bahwa eksposur terhadap risiko air merupakan faktor material dalam penilaian aset.

J. Integrasi Risiko Air Tawar ke dalam Model Stress-Test sebagai arah Kebijakan Ekonomi Hijau dalam sektor Perbankan (in BOS, 12 pt, single space)

Integrasi risiko kelangkaan air tawar ke dalam model *stress-test perbankan* merupakan pengembangan penting dalam kerangka *Climate Stress Test (CST)* sebagai instrumen kebijakan ekonomi hijau. Risiko air sebagai bagian dari risiko fisik perubahan iklim memiliki potensi signifikan dalam memengaruhi stabilitas sistem keuangan melalui transmisi ke sektor riil, khususnya industri yang bergantung pada ketersediaan air seperti pertanian, energi, dan manufaktur. Dalam konteks ini, CST tidak hanya berfungsi sebagai alat pengujian ketahanan bank, tetapi juga sebagai mekanisme untuk mengidentifikasi *risk driver* baru yang dapat memperkuat risiko kredit dan risiko pasar secara simultan (Mores, 2026).

Kerangka *Climate Risk Stress Testing (CRST)* dan *Climate Risk Management & Scenario Analysis (CRMS)* menuntut integrasi variabel lingkungan ke dalam parameter keuangan seperti *Probability of Default (PD)*, *Loss Given Default (LGD)*, dan *Exposure at Default (EAD)*. Dalam hal ini, kelangkaan air dapat meningkatkan probabilitas gagal bayar pada sektor industri tertentu akibat terganggunya proses produksi dan meningkatnya biaya operasional. Hal tersebut menunjukkan bahwa risiko lingkungan tidak lagi bersifat eksternal, melainkan telah menjadi bagian inheren dalam sistem manajemen risiko perbankan modern. Selain itu, integrasi risiko air juga berimplikasi terhadap valuasi aset industri. Aset yang berada pada wilayah dengan tingkat stres air tinggi cenderung mengalami penurunan nilai akibat meningkatnya risiko operasional dan regulasi lingkungan yang lebih ketat. Dalam perspektif ekonomi hijau, hal ini memperkuat peran perbankan sebagai *financial intermediary* yang tidak hanya menyalurkan kredit, tetapi juga mengarahkan alokasi pembiayaan ke sektor-sektor yang berkelanjutan. Dengan demikian, CST berfungsi sebagai instrumen strategis untuk mendorong transformasi struktural ekonomi menuju model pembangunan rendah karbon dan efisien sumber daya (Zeng et al., 2020).

Namun demikian, implementasi integrasi risiko kelangkaan air dalam stress-test perbankan masih menghadapi tantangan utama berupa keterbatasan data yang akurat dan terintegrasi. Ketersediaan data hidrologi, proyeksi kekeringan, dan distribusi penggunaan air antar sektor menjadi prasyarat penting dalam memastikan validitas hasil stress-test. Oleh karena itu, diperlukan kolaborasi lintas lembaga antara regulator, perbankan, dan institusi teknis untuk memperkuat basis data risiko lingkungan sebagai fondasi kebijakan ekonomi hijau yang efektif dan adaptif. (Khan et al., 2025)

PEMBAHASAN

A. Integrasi Risiko Kelangkaan Air sebagai Dimensi Baru dalam Climate Stress Test

Temuan penelitian menunjukkan bahwa risiko kelangkaan air tawar merupakan faktor lingkungan yang memiliki pengaruh signifikan terhadap stabilitas sistem keuangan melalui mekanisme transmisi ke sektor riil. Integrasi variabel hidrologi ke dalam model Climate Stress Test (CST) memperluas cakupan analisis risiko yang selama ini lebih banyak berfokus pada emisi karbon dan perubahan iklim secara umum. Hasil ini mengindikasikan bahwa kelangkaan air tidak hanya menjadi isu lingkungan, tetapi telah berkembang menjadi faktor risiko finansial yang mampu memengaruhi kualitas aset perbankan dan keberlanjutan aktivitas ekonomi. (Damkjaer & Taylor, 2017)

Temuan tersebut sejalan dengan keterbatasan sumber daya air dapat meningkatkan biaya operasional dan menurunkan produktivitas sektor industri. Namun demikian, penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengintegrasikan indikator risiko hidrologi, prediksi harga air berbasis Long Short-Term Memory (LSTM), serta analisis dampaknya terhadap Non-Performing Loan (NPL) dalam satu kerangka analisis yang terintegrasi. Dengan demikian, penelitian ini memberikan pendekatan yang lebih komprehensif dibandingkan studi sebelumnya yang umumnya hanya mengkaji dampak lingkungan secara parsial (Taufik et al., 2022).

B. Pengaruh Risiko Air terhadap Risiko Kredit Perbankan

Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan risiko kekeringan berpotensi meningkatkan probabilitas gagal bayar debitur, terutama pada sektor-sektor yang memiliki ketergantungan tinggi terhadap ketersediaan air. Gangguan produksi akibat keterbatasan air menyebabkan penurunan pendapatan perusahaan sehingga kemampuan pembayaran kewajiban kredit menjadi lebih rendah. Kondisi tersebut tercermin melalui peningkatan risiko kredit yang pada akhirnya dapat meningkatkan rasio NPL perbankan (Dunz & Power, 2021).

Temuan ini mendukung teori financial stability yang menjelaskan bahwa guncangan pada sektor riil dapat ditransmisikan ke sektor keuangan melalui penurunan kualitas aset kredit. Penelitian Pastor dan Ewing (2022) juga menunjukkan bahwa perubahan faktor lingkungan dapat memengaruhi stabilitas perbankan dalam jangka panjang. Dalam konteks penelitian ini, risiko kelangkaan air terbukti berperan sebagai risk driver baru yang perlu dipertimbangkan dalam manajemen risiko perbankan modern. Oleh karena itu, integrasi variabel lingkungan ke dalam sistem pengawasan dan pengelolaan risiko menjadi semakin penting untuk meningkatkan ketahanan sektor keuangan terhadap risiko non-tradisional (Sugiarto et al., 2023).

C. Dampak Risiko Kelangkaan Air terhadap Valuasi Aset Industri

Penelitian ini juga menemukan bahwa risiko kelangkaan air berpengaruh terhadap valuasi aset industri melalui penurunan proyeksi arus kas dan peningkatan tingkat diskonto. Perusahaan yang beroperasi pada wilayah dengan tingkat stres air tinggi menghadapi risiko operasional yang lebih besar sehingga nilai intrinsik perusahaan mengalami penyesuaian ke bawah. Temuan ini memperkuat konsep asset repricing yang menyatakan bahwa pasar akan menginternalisasi risiko lingkungan ke dalam penilaian aset (Byers et al., 2020).

Hasil penelitian konsisten dengan temuan OECD (2021) yang menyatakan bahwa risiko lingkungan semakin menjadi pertimbangan utama investor dalam menentukan nilai perusahaan. Akan tetapi, penelitian ini memberikan kontribusi baru dengan memasukkan risiko kelangkaan air secara

eksplisit ke dalam pendekatan Discounted Cash Flow (DCF). Pendekatan tersebut memungkinkan estimasi nilai perusahaan yang lebih realistis karena mempertimbangkan potensi gangguan operasional akibat keterbatasan sumber daya air di masa mendatang. (Hasan et al., 2024)

Tabel 15. Analisis Risiko Kelangkaan Air & Dampak Valuasi Aset

Periode / Tren	Proyeksi Arus Kas / Linkage Program (Nilai)	Dampak pada Return on Assets (ROA %)	Status Risiko Wilayah (Water Scarcity)	Konsep Keuangan (Asset Repricing)
Awal (1)	2000	1,7%	Rendah / Normal	Valuasi Aset Optimal
Tahap 2	1766	2,7%	Mulai Meningkat	Penyesuaian Arus Kas
Tahap 3	1200	3,0%	Stres Air Tinggi	Tingkat Diskonto Naik
Akhir (4)	300	4,1%	Kritis / Kelangkaan Air	Penurunan Nilai Intrinsik

D. Implikasi terhadap Pengembangan Ekonomi Hijau dan Perbankan

Temuan penelitian menunjukkan bahwa integrasi risiko kelangkaan air tawar dalam stres uji perbankan memiliki relevansi kuat dengan agenda ekonomi hijau. Melalui identifikasi risiko lingkungan yang lebih akurat, perbankan dapat mengarahkan alokasi pembiayaan kepada sektor usaha yang lebih berkelanjutan dan memiliki ketahanan lingkungan yang lebih baik, sejalan dengan prinsip kehati-hatian (*prudence*) dan tanggung jawab sosial dalam manajemen risiko keuangan. Dalam kerangka ini, sistem perbankan menempati posisi strategis karena prinsip manajemen risikonya selaras dengan konsep keberlanjutan, keadilan distributif, dan tanggung jawab sosial yang menjadi landasan pembangunan berkelanjutan (DeMenno, 2023).

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa instrumen keuangan berkelanjutan, seperti obligasi hijau (green bonds) dan sukuk hijau (green sukuk), berpotensi menjadi mekanisme pendanaan yang efektif untuk mendukung investasi ramah lingkungan dan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan. Dengan demikian, perbankan tidak hanya berfungsi sebagai lembaga intermediasi keuangan, tetapi juga sebagai katalisator transformasi menuju ekonomi hijau. Selain itu, integrasi risiko kelangkaan air ke dalam stres uji memungkinkan penyesuaian valuasi aset industri yang lebih akurat, dengan memperhitungkan eksposur terhadap tekanan fisik (*physical risk*) dan transisi regulasi terkait sumber daya air, yang pada gilirannya memperkuat ketahanan portofolio pembiayaan. Temuan ini memperluas literatur mengenai hubungan antara keuangan berkelanjutan dan pembangunan berkelanjutan dengan menempatkan risiko kelangkaan air tawar sebagai salah satu aspek penting dalam pengambilan keputusan investasi dan pembiayaan.

PENUTUP

Penelitian ini menunjukkan bahwa risiko kelangkaan air tawar merupakan faktor risiko finansial yang material bagi sektor perbankan dan perusahaan industri. Hasil pemodelan Gaussian Copula menunjukkan adanya hubungan positif yang signifikan antara Hydrological Drought Index (SRI) dan harga air dengan koefisien korelasi sebesar 0,672, sedangkan model LSTM mampu memprediksi harga air dengan kinerja baik yang ditunjukkan oleh nilai KGE sebesar 0,84 pada testing set. Selanjutnya, hasil VECM menunjukkan bahwa perubahan SRI dan harga air berpengaruh terhadap NPL perbankan, dengan Error Correction Term sebesar -0,412 yang mengindikasikan adanya mekanisme penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang. Dampak risiko kelangkaan air juga terlihat pada valuasi perusahaan, di mana penyesuaian DCF menghasilkan penurunan nilai perusahaan secara agregat sebesar 21,1%, sementara perusahaan dengan tingkat risiko air tinggi mengalami penurunan nilai sebesar 55,8%. Temuan tersebut menegaskan bahwa kelangkaan air tidak lagi dapat diposisikan semata-mata sebagai persoalan ekologis, tetapi perlu dipertimbangkan sebagai risk driver dalam manajemen risiko keuangan. Oleh karena itu, integrasi indikator risiko hidrologi, proyeksi harga air, dan eksposur sektor industri ke dalam Climate Stress Test (CST) dapat menjadi pendekatan strategis untuk memperkuat ketahanan perbankan, meningkatkan akurasi valuasi aset, dan mendukung arah kebijakan ekonomi hijau.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri Bojonegoro serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, masukan, dan bantuan selama

proses penelitian dan penyusunan artikel ini. Shofa Robbani berkontribusi dalam perumusan ide penelitian dan supervisi, Ahmad Amir Jamaluddin dalam kajian literatur dan metodologi penelitian, Isna Nurfaizah dalam pengumpulan dan analisis data serta penulisan naskah, Diva Callysta Amelia Putri dalam pengolahan data dan penyuntingan naskah, serta Firda Laili Nur Hikmah dalam telaah pustaka dan penyempurnaan artikel. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui naskah akhir serta menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahlers, R., & Merme, V. (2016). Financialization, water governance, and uneven development. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(6), 766–774. <https://doi.org/10.1002/wat2.1166>
- Aydin, C. (2026). *Beyond Growth: Sectoral Water Use Efficiency as the Decisive Factor for Reversing Water Stress in the EU toward Sustainable Development Goals – A PSTR Approach*.
- Byers, E. A., Coxon, G., Freer, J., & Hall, J. W. (2020). Drought and climate change impacts on cooling water shortages and electricity prices in Great Britain. *Nature Communications*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16012-2>
- Cardone, R., & Fonseca, C. (2006). Financing facilities for the water sector. *Thematic Overview Paper / IRC*, 13(May), vii, 51 p.; 6 fig.; 1 tab.; 3 boxes.
- Damkjaer, S., & Taylor, R. (2017). The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *Ambio*, 46(5), 513–531. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0912-z>
- DeMenno, M. B. (2023). Environmental sustainability and financial stability: Can macroprudential stress testing measure and mitigate climate-related systemic financial risk? *Journal of Banking Regulation*, 24(4), 445–473. <https://doi.org/10.1057/s41261-022-00207-2>
- Dunz, N., & Power, S. (2021). Climate-related Risks for Ministries of Finance: An overview. *World Bank for Helsinki Principle*, (May).
- Gramlich, D., & Walker, T. (2023). Water risk modeling: A framework for finance. *Journal of Environmental Management*, 342, 117991. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117991>
- Hasan, M. B., Uddin, G. S., Ali, M. S., Rashid, M. M., Park, D., & Kang, S. H. (2024). Examining time–frequency quantile dependence between green bond and green equity markets. *Financial Innovation*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40854-024-00641-3>
- Khan, M. A., Uddin, I., & Othman, N. S. (2025). Factors determining water stress: Do environmental distress, energy consumption and industrialization matter? *Environment, Development and Sustainability*, 27(10), 25273–25297. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04653-y>
- Korea, S., Korea, S., & Author, C. (2022). *Pr ep rin t n ot pe er re v Pr ep rin t n er ed*. 1–27.
- Lestari, R. I., Ramadhani, R., Sherawali, S., & Yudha, A. T. R. C. (2021). Air dan Dampak Kelangkaannya bagi Perekonomian Masyarakat Urban: Studi Pustaka Pulau Jawa. *OECOMICUS Journal of Economics*, 6(1), 38–48. <https://doi.org/10.15642/oje.2021.6.1.38-48>
- Mores, R. (2026). Continuous Training and Development Program in Hospitality Industries. *Journal of Current Research in Business and Economics*, 5(1), 3629–3671.
- Mukhry, B., & Khadafi, M. (2024). Peran Bank BUMN dalam Program Green Finance. *Management Studies and Business Journal*, 1(2), 20–26. <https://doi.org/10.63462/qxjzq537>
- OECD. (2025). Embedding Water-related Risks in Financial Stability Frameworks. *OECD Studies on Water*. <https://doi.org/10.1787/ee1757f9-en>
- OJK. (2023). *Panduan Climate Risk Stress Testing (CRST) Perbankan 2023*. <https://ojk.go.id/id/berita-dan-kegiatan/publikasi/Pages/Panduan-Climate-Risk-Stress-Testing-%28CRST%29-Perbankan-2023.aspx?utm>
- Statistika, P. S., Teknologi, I., & Muhammadiyah, B. (2025). *Habill Putra Sangnandha , Wellie Sulistijanti daya alam melimpah. Sektor pertanian dan perkebunan memegang peranan metabolisme tanaman dan menurunkan hasil panen (Chaniago , 2023). 19(2), 192–207*.

- Sugiarto, A., Puspani, N. N., & Trisilia, M. S. (2023). The Shocks of Climate Change on Bank Loans. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 13(5), 493–514. <https://doi.org/10.32479/ijep.14773>
- Taufik, M., Khairina, E., Hidayat, R., Kalalinggi, R., & Iqbal, M. (2022). *Study of f Government ' s Strategy on n Clean Water Availability in Indonesia*. 21(1), 111–121.
- YULIAR RASYIDIN, E. (2025). Dinamika Perkembangan Keuangan Berkelanjutan di Indonesia: Tantangan dan Peluang Transisi Hijau. *MUQADDIMAH: Jurnal Ekonomi, Manajemen, Akuntansi Dan Bisnis*, 3(3), 46–62. <https://doi.org/10.59246/muqaddimah.v3i3.1596>
- Zamani, N., Gonzalez, I. E., Mallepally, K. R., Siva, A., Pamula, P., & Akbari, S. (2025). *Impacts of Drought on Stock Market Indices: Evaluating Lag Effects Across Agriculture , Water Management , Industrial Manufacturing , and Food Services Impacts of Drought on Stock Market Indices: Evaluating Lag Effects Across Agriculture , Water*. 0–13. <https://doi.org/10.20944/preprints202502.0638.v1>
- Zeng, H., Zhang, T., Zhou, Z., Zhao, Y., & Chen, X. (2020). Water disclosure and firm risk: Empirical evidence from highly water-sensitive industries in China. *Business Strategy and the Environment*, 29(1), 17–38. <https://doi.org/10.1002/bse.2347>
- Сучасних, С., & Суспільного, К. (2025). *PhD student , principle engineer of State Organization « Institute of Market and Economic & Ecological Research of the National Academy of Sciences of Ukraine » GREENING OF ECONOMIC RELATIONS IN THE WATER USE SECTOR AS A COMPONENT changes in the economy , . 27(1), 100–112.*