Sistem Peringatan Dini Kekosongan Kantor dengan Deteksi Anomali Deret Waktu: Studi Kasus Perkantoran Jakarta

Pranidhana Putra Kusdaryanto[1]
Direktorat Jenderal Kekayaan Negara, Kementerian Keuangan
Gedung Sjafruddin Prawiranegara I, Jalan Lapangan Banteng No. 2-4, Jakarta Pusat, Indonesia
Email: [1]pranidhana.putra@kemenkeu.go.id

Abstract. *Office vacancy in emerging market cities exhibits non-linear dynamics that conventional descriptive monitoring fails to capture adequately. This paper proposes an Early Warning System (EWS) designed to detect vacancy 'tipping points' by integrating time-series anomaly detection with structural-change screening. The framework is applied to quarterly Jakarta Central Business District (CBD) office market data spanning 2024–2025Q3, using two complementary indicators: vacancy rate (%) and net absorption (sqm/quarter). Empirical results reveal a gradual occupancy improvement trajectory, with vacancy declining from 26.4% (2024Q1) to 23.7% (2025Q3), alongside a notable absorption deceleration in 2025 (from 53,500 sqm in 2024Q3 to 23,700 sqm by 2025Q3). Findings contribute to the nascent literature on data-driven real estate market surveillance, offering a methodological template for asset managers, portfolio investors, and urban planning regulators in data-constrained emerging market settings.*
Keywords: *office vacancy, early-warning system, anomaly detection, change-point detection, urban informatics*

Abstrak. *Vacancy* perkantoran di kota-kota pasar berkembang menunjukkan dinamika nonlinier yang tidak dapat ditangkap secara memadai melalui pemantauan deskriptif konvensional. Artikel ini mengusulkan sistem peringatan dini (*Early Warning System*/EWS) yang interpretatif untuk mendeteksi *'tipping point'* kekosongan kantor dengan mengintegrasikan deteksi anomali deret waktu dan penyaringan perubahan struktur. Kerangka ini diterapkan pada data pasar kantor kuartalan Jakarta CBD periode 2024Q1–2025Q3 menggunakan dua indikator komplementer: *vacancy rate* (%) dan *net absorption* (sqm/kuartal). Hasil empiris menunjukkan trajektori perbaikan okupansi secara bertahap: *vacancy* menurun dari 26,4% (2024Q1) menjadi 23,7% (2025Q3), disertai deselerasi penyerapan pada 2025 (dari 53.500 sqm pada 2024Q3 menjadi 23.700 sqm pada 2025Q3). Kerangka ini dirancang untuk dapat dioperasikan secara rolling kuartalan dan dapat diperluas ke pemantauan multi-kota.
Kata Kunci: *office vacancy*; sistem peringatan dini; deteksi anomali; *change-point detection;* informatika perkotaan

1. Pendahuluan

Pasar perkantoran merupakan salah satu komponen strategis dalam ekosistem ekonomi perkotaan karena mencerminkan dinamika investasi, aktivitas bisnis, dan transformasi struktural dunia kerja. Secara global, pasar kantor mengalami tekanan yang signifikan pascapandemi COVID-19, didorong oleh perubahan fundamental dalam pola kerja, adopsi model *hybrid work*, dan evaluasi ulang strategi pemanfaatan ruang oleh korporasi [1], [2], [3]. Di Asia Tenggara, tekanan ini bervariasi menurut kota dan struktur ekonomi lokal, dengan Jakarta sebagai salah satu pusat bisnis yang mengalami penyesuaian cukup substansial dalam hal tingkat kekosongan dan penyerapan bersih ruang kantor.

Dalam praktik pasar, dua indikator utama yang digunakan untuk memantau kondisi pasar kantor adalah *vacancy rate* dan *net absorption*. *Vacancy rate* menggambarkan porsi ruang kosong terhadap total inventori sebagai ukuran stok risiko, sedangkan *net absorption* menggambarkan perubahan bersih luas ruang yang ditempati per periode sebagai ukuran arus permintaan. Ketika *vacancy* tinggi secara persisten dan *net absorption* mulai melemah, pasar berisiko memasuki fase tekanan yang dapat memicu penyesuaian cepat dalam sewa efektif, insentif kepada penyewa, dan valuasi aset—kondisi yang mencerminkan pergeseran struktur spasial urban dan evaluasi ulang

kebutuhan ruang kantor secara struktural [2], [4]. Deteksi dini atas fase ini penting bagi pemilik aset, investor, dan regulator agar langkah antisipatif dapat diambil sebelum kondisi memburuk secara signifikan.

Namun, pemantauan deskriptif konvensional menghadapi tiga keterbatasan mendasar: (1) data pasar real estat komersial sering mengandung observasi ekstrem yang sah secara bisnis, misalnya transaksi relokasi perusahaan besar, sehingga pendekatan berbasis rata-rata dan standar deviasi klasik tidak *robust* [5]; (2) perubahan rezim pasar tidak selalu muncul sebagai *structural break* yang tajam, melainkan sering berupa pelemahan momentum yang *gradual* sehingga sulit dideteksi secara visual [6], [7]; dan (3) pemangku kepentingan memerlukan sinyal yang interpretatif dan dapat ditindaklanjuti, bukan keluaran analitis yang menuntut keahlian statistik tinggi untuk diinterpretasi [8].

Dari perspektif informatika dan analitik perkotaan, ketiga tantangan tersebut mengarah pada kebutuhan sistem berbasis deret waktu yang mengintegrasikan deteksi anomali *robust*, penyaringan perubahan rezim, dan pembentukan indeks peringatan yang interpretatif [9], [10]. Literatur *anomaly detection* dan *change-point detection* telah berkembang pesat, mulai dari pendekatan statistik klasik seperti *modified Z-score* dan CUSUM hingga metode modern seperti PELT, *Isolation Forest*, dan *Bayesian change-point detection* [5], [6], [7]. Meski demikian, penerapan metode-metode tersebut pada pasar real estat komersial di negara berkembang masih terbatas, khususnya pada dataset kuartalan jangka pendek yang menjadi kendala praktis di banyak pasar [10], [11].

Celah penelitian yang diidentifikasi adalah: (a) belum tersedianya kerangka EWS yang dirancang khusus untuk karakteristik data pasar kantor di kota-kota Asia Tenggara dengan observasi terbatas; (b) kurangnya integrasi antara indikator stok (*vacancy*) dan arus (*net absorption*) dalam satu indeks peringatan yang operasional; serta (c) minimnya studi yang menerapkan pendekatan *robust* terhadap distribusi *lumpy* yang umum dijumpai pada data real estat komersial. Artikel ini berupaya menjawab ketiga celah tersebut.

1.1. Rumusan masalah

Artikel ini menjawab tiga pertanyaan penelitian berikut: (1) Bagaimana merancang kerangka EWS yang *robust* dan interpretatif untuk mendeteksi *tipping point vacancy* perkantoran menggunakan data deret waktu kuartalan? (2) Bagaimana pendekatan *modified Z-score* dan CUSUM dapat mengidentifikasi kuartal anomali serta fase tekanan pasar pada studi kasus Jakarta CBD 2024Q1–2025Q3 yang memiliki observasi terbatas? (3) Bagaimana EWI yang dibangun dapat memfasilitasi pengaitan sinyal statistik dengan konteks makro/kebijakan guna meningkatkan utilitas praktis bagi pemangku kepentingan?

1.2. Kontribusi penelitian

Kontribusi utama artikel ini adalah: (1) mengusulkan kerangka EWS yang menggabungkan deteksi anomali *robust* (*modified Z-score* berbasis MAD) dan penyaringan *structural break* (CUSUM residual) yang dapat dioperasikan pada data kuartalan jangka pendek; (2) memformulasikan *Early Warning Index* (EWI) berbasis bobot yang mengintegrasikan indikator stok (*vacancy*) dan arus (*net absorption*) menjadi sinyal peringatan tunggal yang interpretatif; (3) menyajikan studi kasus berbasis data riil pasar kantor Jakarta CBD 2024Q1–2025Q3 dari sumber yang dapat diverifikasi dan diaudit; (4) menawarkan cetak biru implementasi sistem yang dapat direplikasi ke kota-kota lain di Indonesia maupun pasar berkembang yang memiliki data sepadan; serta (5) memperkaya literatur *urban informatics* dan pemantauan pasar properti komersial di Asia Tenggara yang masih terus berkembang.

Mengingat keterbatasan data sebesar tujuh observasi kuartalan, artikel ini menempatkan diri sebagai studi eksploratif yang menyajikan prototipe *Early Warning System* (EWS) sederhana dan interpretatif sebagai alat bantu monitoring awal, bukan sebagai estimasi ekonometrik konklusif yang mencakup siklus ekonomi lengkap.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. *Vacancy*, *absorption*, dan konsep *tipping point* pada Pasar Real Estat Komersial

Dalam literatur real estat komersial, *vacancy rate* dipahami sebagai ukuran ketidakterserapan ruang dalam inventori pasar tertentu dan sering digunakan sebagai *leading indicator* kondisi pasar sekaligus acuan dalam estimasi sewa [2], [12]. Lin [13] menyajikan bukti empiris bahwa variasi pada imbal hasil sewa secara dominan (96%) didorong oleh faktor-faktor spesifik di tingkat lokal, sementara faktor makroekonomi nasional hanya berkontribusi minimal. Hal ini mengindikasikan bahwa dinamika hunian sangat bergantung pada karakteristik unik sub-pasar dan keputusan konsumsi ruang di wilayah tersebut.

Net absorption—perubahan bersih luas ruang tersewa per periode—berfungsi sebagai indikator momentum permintaan yang melengkapi *vacancy* sebagai ukuran level [4]. Interaksi antara keduanya membentuk dinamika pasar yang sering bersifat nonlinier: periode penyerapan yang kuat dapat mendahului penurunan *vacancy*, sementara pelemahan *absorption* yang persisten dapat mendahului stagnasi atau pembalikan tren *vacancy*, sebagaimana terlihat pada fenomena pendataran gradien sewa komersial di kota-kota besar [4], [14]. Konsep *tipping point* dalam konteks ini merujuk pada fase di mana kombinasi level *vacancy* yang tinggi dan momentum *absorption* yang lemah menghasilkan perubahan cepat pada variabel *outcome* seperti sewa efektif, insentif, dan valuasi aset, yang dipicu oleh peningkatan kemungkinan perusahaan untuk mengurangi kuantitas ruang secara total dan menegosiasikan kontrak sewa yang lebih fleksibel [2].

Studi pascapandemi semakin memperkuat relevansi konsep ini. Barrero et al. [1] menunjukkan bahwa adopsi *work-from-home* secara permanen mengubah struktur permintaan kantor jangka panjang, sementara Oladiran et al. [2] mendokumentasikan heterogenitas respons pasar kantor lintas kota terhadap pandemi. Liu dan Su [3] menemukan bahwa adopsi *hybrid work* menciptakan tekanan permintaan yang asimetris pada segmen kantor kelas A dan B. Secara keseluruhan, literatur ini menegaskan bahwa pemantauan indikator pasar kantor perlu menggabungkan ukuran stok dan arus guna menangkap potensi perubahan rezim yang bersifat nonlinier.

2.2. Deteksi anomali deret waktu: statistik *robust* dan interpretabilitas

Deteksi anomali merupakan area penelitian yang krusial dalam analisis data deret waktu karena kemampuannya mengungkapkan informasi penting bagi pengambil keputusan di berbagai bidang, termasuk sektor finansial dan properti [5]. Liu et al. [5] menekankan pentingnya membedakan antara anomali titik (*point anomaly*), yang berupa penyimpangan satu titik data secara signifikan terhadap lingkungan lokalnya, dan anomali kolektif (*collective anomaly*), yaitu rangkaian titik data yang menyimpang secara terus-menerus dalam periode tertentu. Dalam konteks real estat komersial, transaksi sewa tunggal dalam skala besar dapat diidentifikasi sebagai *point anomaly* pada variabel *net absorption*, sementara pergeseran tren sewa efektif yang menyimpang dari pola historis dapat diklasifikasikan sebagai *collective anomaly*. Lebih jauh lagi, pendekatan modern ini mensyaratkan pemisahan yang jelas antara anomali dengan *change point* (titik perubahan), di mana *change point* merepresentasikan pergeseran permanen pada properti statistik data atau *concept drift*, sementara anomali bersifat fluktuasi lokal yang tidak mengubah distribusi data secara fundamental

Pendekatan berbasis *Z-score* klasik bersifat sensitif terhadap *outlier* karena ukuran variabilitas seperti standar deviasi sangat terpengaruh oleh observasi ekstrem. Sebagai alternatif yang lebih *robust*, Liu et al. [5] menekankan penggunaan MAD yang terbukti lebih stabil karena median tidak mudah terdistorsi oleh keberadaan anomali, sehingga mampu menjaga integritas analisis di tengah perubahan properti statistik data. Penerapan statistik *robust* ini menjadi sangat krusial dalam menganalisis deret waktu finansial berdurasi pendek, di mana Skamnia et al. [6] menyoroti bahwa identifikasi yang tepat terhadap berbagai tipe pencilan—seperti *Additive Outlier* (AO) dan *Innovative Outlier* (IO)—sangat penting untuk mengungkap dinamika pasar yang sebenarnya dan menghindari estimasi risiko yang bias. Pendekatan ini telah banyak diadopsi dalam *quality control*, pemantauan finansial, dan analisis deret waktu ekonomi [6].

Metode modern seperti *Isolation Forest*, *Local Outlier Factor*, dan *One-Class SVM* menawarkan kemampuan deteksi pada dimensi tinggi, namun memerlukan data dalam jumlah yang jauh lebih besar dan sulit diinterpretasi oleh pemangku kepentingan nonteknis [8].

Mengingat tujuan artikel ini adalah menghasilkan sistem yang dapat dioperasikan pada data pendek dengan tingkat interpretabilitas yang tinggi, *modified Z-score* dipilih sebagai pendekatan yang paling sesuai.

2.3. *Change-point detection* dan Uji Stabilitas Struktural

Perubahan struktur data (*structural break*) atau titik perubahan (*change points*) merupakan fenomena krusial dalam analisis deret waktu ekonomi dan pasar properti karena merepresentasikan pergeseran permanen pada proses yang mendasarinya. Skamnia et al. [6] menekankan bahwa identifikasi titik perubahan (*breakpoints*) dan pergeseran level (*level shifts*) sangat relevan untuk menelaah deret waktu finansial berdurasi pendek, di mana deteksi yang akurat memungkinkan pemahaman mendalam mengenai dinamika pasar serta estimasi potensi kerugian peluang (*opportunity loss*) yang diakibatkan oleh perubahan struktural tersebut.

Pada dekade terakhir, metode *change-point* modern berkembang pesat. Phiri dan Wang [15] mengembangkan kerangka *multiple structural breaks* yang memungkinkan penentuan jumlah *break* secara endogen. Xiao et al. [7] mengusulkan kerangka kerja DiffAD yang mengintegrasikan strategi identifikasi titik perubahan (*change point*) berbasis rasio kepadatan untuk secara fleksibel memilih observasi normal, sehingga meningkatkan akurasi deteksi anomali pada deret waktu meskipun dalam skenario dengan konsentrasi anomali yang intens.

Meski demikian, seluruh metode formal tersebut memerlukan jumlah observasi yang memadai. Berdasarkan kajian simulasi, uji CUSUM membutuhkan minimal 15–20 observasi untuk memperoleh kekuatan statistik yang layak [11], sementara metode Bai–Perron memerlukan jumlah yang lebih besar. Dengan hanya tujuh observasi kuartalan pada studi ini, CUSUM diperlakukan sebagai alat penyaring indikatif (*screening tool*) untuk penanganan sampel pendek.

2.4. *Early Warning System* dalam Konteks Pasar Properti dan Keuangan

EWS telah banyak dikembangkan dalam literatur keuangan untuk mendeteksi krisis perbankan, mata uang, dan properti. Al-Amary [9] menggunakan pendekatan berbasis indikator untuk mendeteksi *currency crisis*, sementara Park dan Ryu [14] membangun sistem peringatan dini (EWS) berbasis machine learning (LSTM) untuk mendeteksi tanda-tanda krisis dan gelembung pada pasar perumahan serta dampaknya terhadap pasar modal. Pada pasar properti, Lin [13] menunjukkan bahwa indikator momentum harga dan volume dapat memberikan sinyal peringatan dini atas gelembung harga (*bubble*) dan koreksi pasar.

Dalam konteks perkantoran, penerapan EWS formal masih terbatas. Studi yang ada umumnya mengandalkan pendekatan ekonometrik seperti *Vector Autoregression* (VAR) atau *Error Correction Model* (ECM) yang membutuhkan data berjangka panjang [4], [11]. Sementara itu, pendekatan berbasis *urban informatics* yang menggabungkan deteksi anomali dan indeks komposit untuk data berjangka pendek masih merupakan area yang relatif belum banyak dieksplorasi [9], [10].

2.5. Faktor Makroekonomi dan Pasar Perkantoran

Pasar kantor dipengaruhi oleh kondisi makroekonomi, mencakup suku bunga kebijakan, pertumbuhan ekonomi, dan sentimen bisnis. Białkowski et al. [16] mendokumentasikan determinan *cap rate* perkantoran secara internasional dan menemukan bahwa suku bunga jangka panjang memiliki pengaruh yang signifikan. Al-Amary [9] menunjukkan bahwa pertumbuhan lapangan kerja merupakan prediktor kuat permintaan ruang kantor, sementara Rosenthal et al. [4] menganalisis siklus pasar properti komersial dan keterkaitannya dengan siklus ekonomi makro.

Dalam kerangka EWS, variabel makro diposisikan sebagai lapisan interpretasi yang membantu menjelaskan mengapa sinyal pasar memburuk atau membaik, tanpa harus dimasukkan sebagai prediktor utama pada tahap awal ketika ketersediaan data masih terbatas. Pendekatan berlapis ini konsisten dengan rekomendasi Park dan Ryu [14] bahwa EWS yang efektif menggabungkan indikator sektoral dan makro secara hierarkis.

3. Metodologi Penelitian

3.1. Desain penelitian

Penelitian ini menggunakan desain kuantitatif berbasis deret waktu kuartalan dengan pendekatan *explanatory-analytic*. Unit analisis adalah pasar perkantoran Jakarta *Central Business*

District (CBD) yang mencakup periode 2024Q1–2025Q3 (n = 7 observasi kuartalan). Dua variabel utama digunakan, yaitu *vacancy rate* (%) sebagai indikator stok risiko pasar dan *net absorption* (sqm/kuartal) sebagai indikator tekanan permintaan. Dalam konteks pengambilan keputusan, sistem ini dirancang sebagai *Decision Support System* (DSS) yang mentransformasi data mentah pasar menjadi sinyal risiko yang objektif, guna mengurangi bias subjektif dalam evaluasi manajerial. Pendekatan penelitian diarahkan untuk menghasilkan sistem peringatan dini yang operasional, sehingga luaran yang dihasilkan tidak hanya mencakup estimasi statistik, tetapi juga indeks peringatan dan definisi sinyal yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan taktis bagi pemangku kepentingan dalam pemantauan periodik.

Pemilihan metode didasarkan pada tiga pertimbangan: (a) kompatibilitas dengan dataset berjangka pendek; (b) *robustness* terhadap distribusi non-normal dan *outlier* yang lazim dijumpai pada data real estat komersial; serta (c) interpretabilitas yang memungkinkan komunikasi hasil kepada pemangku kepentingan nonteknis. Ketiga pertimbangan tersebut secara kolektif mengarahkan pemilihan *modified Z-score* berbasis MAD untuk deteksi anomali, CUSUM residual untuk penyaringan stabilitas struktural, dan EWI berbasis standardisasi untuk sinyal komposit. Pendekatan analitik berbasis deret waktu serupa telah diterapkan pada data pasar finansial Indonesia, yang menunjukkan bahwa metode *time-series* dapat diadaptasi secara efektif pada konteks data lokal dengan karakteristik distribusi yang beragam [17].

3.2. Sumber data dan definisi variabel

Data bersumber dari laporan *MarketBeat:* Jakarta CBD *Office* yang diterbitkan oleh Cushman & Wakefield secara kuartalan untuk periode 1Q2024–3Q2025 [18]. Cushman & Wakefield merupakan konsultan properti global *Tier-1* yang metodologi pengukuran pasar dan definisi variabelnya telah terstandarisasi secara internasional, sehingga data yang digunakan dapat dianggap representatif dan dapat diaudit.

Vacancy rate didefinisikan sebagai persentase ruang kosong terhadap total inventori pada akhir kuartal, mencakup ruang yang secara fisik kosong dan tersedia untuk disewa, baik secara langsung maupun melalui *sublet*. *Net absorption* didefinisikan sebagai perubahan bersih luas ruang yang ditempati (sqm) antara awal dan akhir kuartal. *Occupancy rate* dihitung sebagai komplemen *Vacancy rate*, yakni 100% dikurangi *vacancy rate*. Variabel perubahan kuartalan (*quarter-on-quarter change*) dihitung untuk masing-masing indikator utama guna menangkap momentum pergerakan pasar.

3.3. Dataset riil

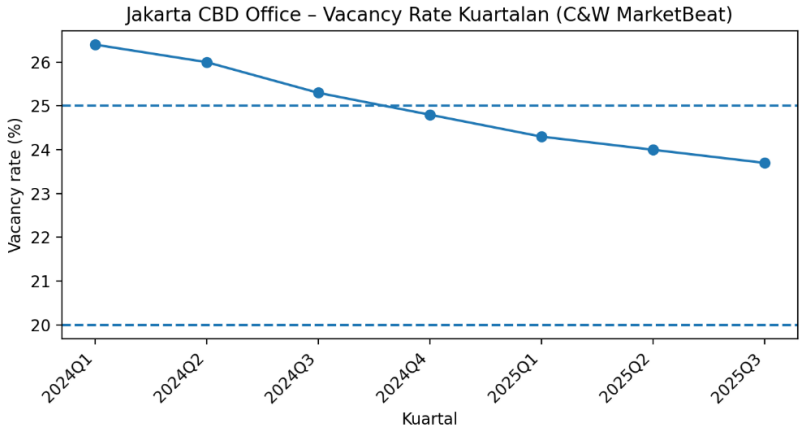
Tabel 1 menyajikan deret waktu kuartalan yang digunakan dalam analisis.

Tabel 1. Deret waktu kuartalan Jakarta CBD *Office*.

Kuartal	*Vacancy rate* (%)	Δ*Vacancy* (pp)	*Net absorption* (sqm)	Δ*Absorption* (sqm)	*Occupancy* (%)
2024Q1	26,4	—	36.600	—	73,6
2024Q2	26,0	−0,4	33.700	−2.900	74,0
2024Q3	25,3	−0,7	53.500	+19.800	74,7
2024Q4	24,8	−0,5	37.800	−15.700	75,2
2025Q1	24,3	−0,5	31.400	−6.400	75,7
2025Q2	24,0	−0,3	23.900	−7.500	76,0
2025Q3	23,7	−0,3	23.700	−200	76,3

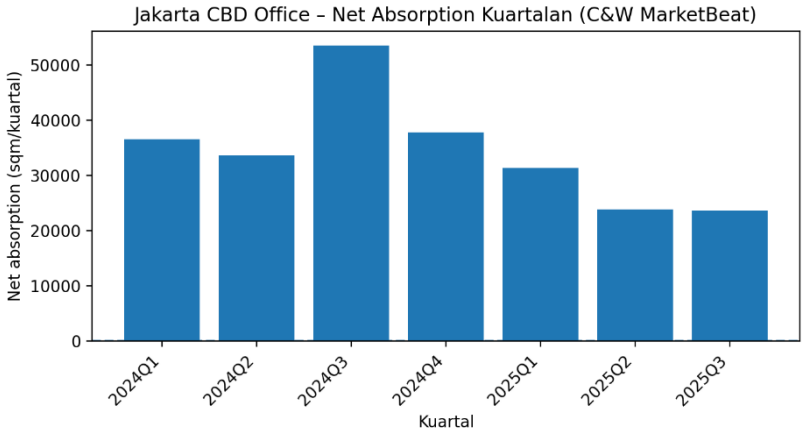
Sumber: Diolah dari Cushman & Wakefield MarketBeat Jakarta CBD Office, 1Q2024–3Q2025 [18]

Dinamika *vacancy rate* selama periode pengamatan disajikan secara visual pada Gambar 1. Terlihat bahwa *vacancy* mengalami penurunan yang monoton dari 26,4% pada 2024Q1 menuju 23,7% pada 2025Q3, dengan garis ambang 25% dan 20% sebagai referensi tekanan pasar.



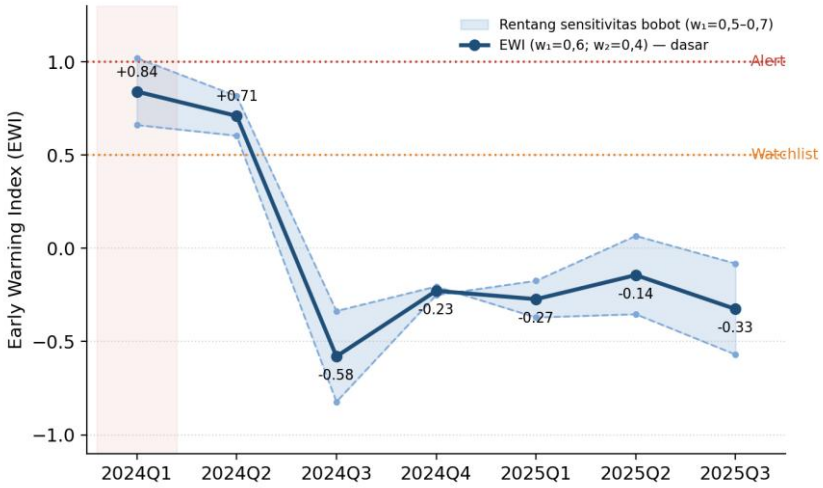
Gambar 1. *Vacancy rate* kuartalan Jakarta CBD dan ambang 20%–25%.

Pola pergerakan *net absorption* per kuartal ditampilkan pada Gambar 2. Lonjakan yang signifikan terlihat pada 2024Q3 (53.500 sqm), diikuti deselerasi yang persisten memasuki tahun 2025 hingga mencapai 23.700 sqm pada 2025Q3.



Gambar 2. *Net absorption* kuartalan Jakarta CBD (sqm/kuartal).

Hasil perhitungan *Early Warning Index* (EWI) untuk seluruh periode pengamatan dengan berbagai skenario pembobotan disajikan pada Gambar 3. EWI menunjukkan nilai tertinggi pada 2024Q1–2024Q2 dengan kategori *Watchlist* ketika *vacancy* masih berada di atas ambang 25%, kemudian turun tajam ke zona Normal pada 2024Q3 sebagai konsekuensi dari lonjakan *net absorption* yang anomalus pada kuartal tersebut (lihat Tabel 2), dan tetap berada pada zona *Normal* secara stabil hingga 2025Q3 meskipun *absorption* terus melambat.



Gambar 3. *Early Warning Index* (EWI).

Secara deskriptif, *vacancy* menunjukkan tren menurun yang monoton selama tujuh kuartal, namun laju penurunan melambat dari rata-rata 0,53 pp/kuartal pada 2024 menjadi 0,30 pp/kuartal pada 2025. *Net absorption* tetap positif sepanjang periode, tetapi menunjukkan deselerasi yang persisten sejak puncaknya pada 2024Q3 sebesar 53.500 sqm. Pola asimetri ini menjadi sinyal kunci yang dianalisis dalam kerangka EWS.

3.4. Kerangka sistem peringatan dini (EWS)

Kerangka EWS dalam penelitian ini dibangun sebagai *pipeline* yang dapat diimplementasikan secara berulang setiap kuartal, mencakup empat tahap berikut: (1) pengumpulan dan validasi data guna memastikan konsistensi antarwaktu; (2) rekayasa fitur deret waktu yang menangkap level indikator dan perubahan kuartalan; (3) penerapan modul deteksi yang mencakup deteksi anomali *robust* dan penyaringan indikasi perubahan struktur menggunakan CUSUM; serta (4) pembentukan sinyal ringkas melalui *Early Warning Index* (EWI) yang mengintegrasikan dua indikator utama menjadi satu skor tunggal. Tahap akhir ini krusial dalam metode pengambilan keputusan, di mana EWI memetakan sinyal statistik ke dalam kategori operasional, yang secara otomatis memicu protokol respons yang telah ditentukan sebelumnya oleh manajemen aset atau pengambil kebijakan.

Kerangka ini sengaja dirancang sebagai *transparent pipeline* yang menghindari model *black-box*, agar dapat dijelaskan kepada pemangku kepentingan dan tetap dapat berfungsi pada data berjangka pendek. Desain ini konsisten dengan rekomendasi Molnar [8] mengenai *interpretable machine learning* dan prinsip *explainability* dalam sistem pengambilan keputusan.

3.5. Deteksi anomali dengan *modified Z-score* (*robust*)

Deteksi anomali pada *net absorption* menggunakan *modified Z-score*. Jika deret *net absorption* dinotasikan sebagai x_t, median deret dihitung sebagai $m = median(x)$. Selanjutnya, median absolute deviation dihitung sebagai $MAD=median(|x-m|)$. *Modified Z-score* untuk kuartal ke-t kemudian dihitung dengan persamaan sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1):

$$Mz_t = 0{,}6745 \times \frac{x_t - m}{MAD} \quad (1)$$

Koefisien 0,6745 digunakan agar *modified Z-score* sebanding dengan Z-*score* pada distribusi normal. Ambang $|Mz_t| \geq 3{,}5$ dipakai sebagai indikasi anomali kuat. Dalam konteks pasar kantor, anomali positif berarti penyerapan jauh lebih kuat dari pola median, sedangkan anomali negatif berarti pelepasan ruang bersih yang tidak lazim dan memerlukan investigasi lebih lanjut.

Penggunaan MAD dalam Persamaan (1) mengurangi pengaruh *outlier* pada proses standardisasi. Hal ini penting mengingat *net absorption* dapat bersifat *lumpy* akibat sejumlah transaksi besar yang terkonsentrasi pada satu kuartal tertentu.

3.6. Uji stabilitas tren (CUSUM) sebagai indikator break

Untuk menyaring kemungkinan perubahan struktur, penelitian ini melakukan regresi tren linier sederhana untuk masing-masing indikator. *Vacancy* dinyatakan sebagai fungsi waktu kuartal sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2):

$$vacancy_t=\alpha+\beta_t+\varepsilon_t \quad (2)$$

dan *net absorption* dinyatakan pada Persamaan (3):

$$abs_t=\alpha+\beta_t+\varepsilon_t \quad (3)$$

Residual ε_t dari regresi pada Persamaan (2) dan Persamaan (3) kemudian digunakan untuk membentuk statistik CUSUM. Intuisi CUSUM adalah bahwa jika residual mulai bergeser secara sistematis, jumlah kumulatifnya akan menyimpang dari nol dan berpotensi melampaui batas kepercayaan. Dalam dataset pendek ini, CUSUM diperlakukan semata-mata sebagai screening tool indikatif untuk menandai potensi ketidakstabilan data, bukan sebagai uji structural break yang konklusif secara statistik.

Pendekatan ini tetap bernilai dalam EWS karena dapat menjadi "alarm kedua": jika EWI meningkat dan CUSUM dari Persamaan (2) atau Persamaan (3) juga menunjukkan instabilitas, keyakinan terhadap sinyal meningkat. Sebaliknya, jika EWI meningkat tetapi CUSUM stabil, sinyal dapat dikategorikan sebagai watchlist dan memerlukan pengamatan tambahan.

3.7. Perancangan *Early Warning Index* (EWI)

Karena pemangku kepentingan sering membutuhkan sinyal ringkas, penelitian ini membangun EWI yang mengintegrasikan *vacancy* dan *net absorption*. *Vacancy* merepresentasikan stok risiko, sedangkan *net absorption* merepresentasikan tekanan permintaan. Untuk menyamakan skala, masing-masing indikator distandarisasi (*Z-score*). Tekanan permintaan diwujudkan dengan membalik tanda *net absorption* sehingga *absorption* yang kecil (atau negatif) menjadi nilai "risiko" yang lebih tinggi.

EWI didefinisikan sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (4):

$$EWI_t=w_1 \cdot z(vacancy_t)+w_2 \cdot z(-absorption_t) \quad (4)$$

dengan bobot awal w_1=0,6 dan w_2=0,4. Rasionalisasi bobot dalam Persamaan (4) adalah memberikan penekanan lebih pada *vacancy* sebagai indikator level yang lebih "*inertial*" dan sering menjadi sumber tekanan pasar ketika tinggi. *Net absorption* tetap penting sebagai indikator momentum, tetapi karena fluktuasinya dapat dipengaruhi transaksi besar, bobotnya dibuat sedikit lebih kecil pada tahap awal.

Perlu ditegaskan bahwa transformasi $z(-absorption_t) = -z(absorption_t)$ bersifat satu arah: *net absorption* yang rendah menghasilkan nilai $z(-absorption)$ yang positif dan menaikkan skor risiko, sedangkan *net absorption* yang tinggi menghasilkan nilai $z(-absorption)$ yang negatif dan menurunkan skor risiko. Desain ini konsisten dengan tujuan EWI sebagai indikator tekanan permintaan yang melemah. EWI pada Tabel 3 secara khusus mengukur eskalasi risiko yang berasal dari pelemahan permintaan.

Penelitian ini juga menggunakan ambang operasional *vacancy* sebesar 25% sebagai *cut-off* praktis untuk menandai fase tekanan tinggi. Ambang ini bersifat heuristik dan dapat dikalibrasi berdasarkan sejarah pasar, perilaku sewa efektif, atau standar internal institusi.

4. Hasil dan Diskusi

4.1. Dinamika *vacancy rate*: pemulihan bertahap dengan momentum yang melemah

Sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 1*, vacancy rate* Jakarta CBD menunjukkan tren penurunan yang monoton dari 26,4% (2024Q1) ke 23,7% (2025Q3), total penurunan 2,7 poin persentase dalam tujuh kuartal. Namun, disagregasi laju penurunan mengungkapkan pola yang signifikan secara EWS: penurunan rata-rata 0,53 pp/kuartal pada 2024 melambat menjadi 0,30

pp/kuartal pada 2025, perlambatan sekitar 43%. Pola deselerasi ini konsisten dengan dinamika pemulihan bertahap yang didokumentasikan Oladiran et al. [2] pada pasar kantor pascapandemi di pasar berkembang.

Meskipun menunjukkan perbaikan, level *vacancy* pada kisaran 23-26% tergolong tinggi jika dibandingkan dengan tingkat natural *vacancy* yang diestimasi untuk pasar kantor kelas A di Asia Tenggara—umumnya 8-12% [19]. Deviasi *vacancy* aktual dari natural *vacancy* sebesar 14-17 poin persentase mengindikasikan kondisi oversupply yang substansial, yang meningkatkan kerentanan pasar terhadap *tipping point* apabila terjadi guncangan permintaan negatif.

4.2. Dinamika *net absorption*: tetap positif, tetapi terjadi deselerasi pada 2025

Net absorption tetap positif selama seluruh periode observasi, menandakan bahwa secara agregat ruang tersewa terus bertambah. Namun, trajektori *absorption* pada Gambar 2 mengungkapkan tiga sub-fase: (i) *baseline* moderat pada 2024Q1-Q2 (33.700-36.600 sqm); (ii) lonjakan anomali pada 2024Q3 (53.500 sqm); dan (iii) deselerasi persisten pada 2024Q4-2025Q3 (23.700-37.800 sqm, tren menurun).

Deselerasi *absorption* pada 2025, meskipun tidak mencapai *territory* negatif, merupakan sinyal *early warning* yang penting. Dalam logika *tipping point*, momentum permintaan yang melemah secara persisten ketika *vacancy* masih tinggi menciptakan kondisi *'double vulnerability'*: *supply slack* yang besar bertemu dengan demand momentum yang melemah [2], [4]. Jika *absorption* terus turun mendekati nol, bahkan sedikit peningkatan supply baru atau sub-leasing oleh tenant eksisting dapat membalik tren *vacancy* sebagaimana yang tampak pada Gambar 1.

4.3. Hasil deteksi anomali: 2024Q3 sebagai anomali penyerapan positif

Tabel 2 menyajikan hasil kalkulasi *modified Z-score* menggunakan Persamaan (1) untuk seluruh kuartal.

Tabel 2. Hasil *Modified Z-score* (Mz) untuk *Net absorption*

Kuartal	*Net absorption* (sqm)	Deviasi dari Median	Mz *Score*	Status
2024Q1	36.600	+2.900	+0,48	Normal
2024Q2	33.700	0	0,00	Normal
2024Q3	**53.500**	**+19.800**	**+3,26***	**Watchlist**
2024Q4	37.800	+4.100	+0,67	Normal
2025Q1	31.400	−2.300	−0,38	Normal
2025Q2	23.900	−9.800	−1,61	Normal
2025Q3	23.700	−10.000	−1,65	Normal

*Catatan: Median net absorption = 33.700 sqm; MAD = 4.100 sqm. *Mz melewati ambang watchlist = |Mz| ≥ 2,0. Ambang anomali kuat = |Mz| ≥ 3,5.*

Hasil kalkulasi Persamaan (1) menunjukkan bahwa tidak ada kuartal yang melampaui ambang anomali kuat |Mz| ≥ 3,5, namun 2024Q3 memiliki Mz tertinggi (+3,26) yang berada sedikit di bawah ambang batas anomali kuat. Dalam praktik EWS, nilai Mz ini mengindikasikan bahwa penyerapan 2024Q3 berada pada tingkat yang secara statistik tidak lazim, konsisten dengan hipotesis adanya transaksi relokasi besar atau clustering keputusan sewa yang tertunda. Penting untuk dicatat bahwa anomali positif ini bukan sinyal risiko, melainkan episode permintaan luar biasa yang perlu diidentifikasi agar tidak mendistorsi estimasi tren baseline.

Dari perspektif EWS, identifikasi 2024Q3 sebagai *outlier* positif memiliki implikasi penting: jika tidak dikenali, nilai ini dapat menggembungkan estimasi mean *absorption* dan menyembunyikan deselerasi yang sesungguhnya terjadi pada 2025 sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Pendekatan MAD-*based detection* berhasil mengisolasi episode ini tanpa mendistorsi estimasi baseline, memvalidasi pilihan metode *robust*.

4.4. Hasil CUSUM: Indikasi Awal Instabilitas pada Deret *Net absorption*

Analisis CUSUM residual dari Persamaan (2) dan Persamaan (3) pada regresi tren linier menunjukkan bahwa statistik CUSUM untuk *vacancy rate* bergerak relatif terkontrol di sekitar nol sepanjang tujuh kuartal, konsisten dengan stabilitas tren penurunan yang monoton sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Untuk *net absorption*, statistik CUSUM menunjukkan deviasi positif yang lebih besar pada paruh 2024 (didorong anomali 2024Q3) sebelum menurun

pada 2025, mengindikasikan bahwa asumsi tren linier mungkin tidak sepenuhnya menangkap dinamika *absorption*.

Sebagaimana ditekankan sebelumnya, dengan n = 7 observasi interpretasi hasil Persamaan (2) dan Persamaan (3) ini harus sangat hati-hati. Nilai CUSUM yang diperoleh tidak dapat dijadikan dasar klaim statistical break yang signifikan. Namun, dalam konteks EWS, temuan ini berfungsi sebagai *'flag'* yang memotivasi monitoring lebih ketat pada kuartal 2025 dan seterusnya—konsisten dengan fungsi CUSUM sebagai early warning tool yang direkomendasikan Skamnia et al. [6].

4.5. *Early Warning Index* (EWI): Interpretasi dan Implikasi Kebijakan

Tabel 3 menyajikan kalkulasi EWI menggunakan Persamaan (4) untuk seluruh periode observasi. Pola EWI juga dapat diamati secara visual pada Gambar 3.

Tabel 3. *Early Warning Index* (EWI) Kuartalan Jakarta CBD

Kuartal	z(Vacancy)	z(−Absorption)	EWI (w_1=0,6;w_2=0,4)	EWI (w_1=0,5;w_2=0,5)	EWI (w_1=0,7;w_2=0,3)	Status EWS
2024Q1	**+1,56**	**−0,24**	**+0,84**	**+0,66**	**+1,02**	**Watchlist**
2024Q2	**+1,14**	**+0,07**	**+0,71**	**+0,60**	**+0,82**	**Watchlist**
2024Q3	+0,39	−2,04	−0,58	−0,82	−0,34	Normal
2024Q4	−0,14	−0,37	−0,23	−0,25	−0,21	Normal
2025Q1	−0,67	+0,32	−0,27	−0,17	−0,37	Normal
2025Q2	−0,98	+1,12	−0,14	+0,07	−0,35	Normal
2025Q3	−1,30	+1,14	−0,33	−0,08	−0,57	Normal

Catatan: Alert = EWI ≥ 1,0; Watchlist = 0,5 ≤ EWI < 1,0; Normal = EWI < 0,5.

Hasil Persamaan (4) pada Tabel 3 menunjukkan bahwa fase *Watchlist* pada 2024Q1–Q2 didorong oleh komponen *z(vacancy)* yang tinggi, ketika level *vacancy* masih di atas 25%. Pada 2024Q3, EWI justru turun tajam ke −0,58 dan menunjukkan status EWS Normal karena lonjakan *net absorption* yang sangat tinggi pada kuartal tersebut menghasilkan *z(−absorption)* sebesar −2,04. Penurunan EWI ini harus dibaca secara hati-hati karena hal tersebut merupakan artefak dari satu kuartal anomali (Mz = +3,26 pada Tabel 2), bukan indikasi perbaikan struktural yang permanen, dan pengguna EWS disarankan untuk selalu memeriksa Tabel 2 sebelum menginterpretasikan penurunan tajam semacam ini sebagai perbaikan pasar yang *genuine*.

Uji sensitivitas terhadap dua skema bobot alternatif (w_1=0,5;w_2=0,5 dan w_1=0,7;w_2=0,3) menunjukkan bahwa status Normal pada 2024Q3 dan seluruh kuartal 2025 konsisten di ketiga skema, mengonfirmasi *robustness* temuan utama bahwa tidak terdapat fase risiko tinggi pasca-2024Q2. Namun, status 2024Q1 sensitif terhadap bobot: pada skema w_1=0,7, EWI mencapai +1,02 dengan status EWS *Alert*, sedangkan pada w_1=0,6 dan w_1=0,5 tetap *Watchlist.* Hal ini menunjukkan bahwa interpretasi periode awal observasi lebih bergantung pada pilihan bobot dibandingkan periode berikutnya.

Berdasarkan hasil tersebut, kerangka EWS yang diusulkan terbukti dapat diandalkan sebagai instrumen pemantauan awal dalam kondisi keterbatasan data. Temuan ini menjadi dasar bagi diskusi selanjutnya mengenai pentingnya integrasi data makroekonomi yang lebih luas di masa depan.

4.6. Pengaitan Sinyal dengan Konteks Makro dan Kebijakan

Interpretasi sinyal EWS tidak dapat dilepaskan dari konteks makroekonomi. Bank Indonesia mempertahankan suku bunga acuan BI *Rate* pada level yang relatif tinggi sepanjang 2024 sebagai respons terhadap tekanan inflasi dan nilai tukar, yang berdampak pada peningkatan biaya modal bagi pengembang dan penyewa korporat [20]. Di sisi pertumbuhan, ekonomi Indonesia tumbuh sekitar 5,0-5,1% pada 2024 menurut Badan Pusat Statistik [21], menyediakan fondasi permintaan yang cukup untuk menopang penyerapan positif pada Gambar 2, meskipun dalam tren deselerasi.

Pengaitan ini memiliki implikasi praktis: deselerasi *absorption* pada 2025 yang teridentifikasi EWS tidak serta merta mengindikasikan krisis, melainkan kemungkinan mencerminkan kombinasi (a) normalisasi setelah episode clustering keputusan sewa pada 2024Q3, (b) dampak suku bunga tinggi pada keputusan ekspansi korporat, dan (c) cautious

approach penyewa dalam menghadapi ketidakpastian global. Pengaitan makro semacam ini mencegah overreaction dan membantu mengkalibrasi respons kebijakan secara proporsional [14].

5. Kesimpulan dan saran

Artikel ini mengusulkan kerangka sistem peringatan dini (EWS) yang interpretatif dan operasional untuk mendeteksi *tipping point vacancy* perkantoran menggunakan deret waktu kuartalan. Kerangka ini mengintegrasikan deteksi anomali *robust* berbasis *modified Z-score* (MAD), penyaringan stabilitas struktural menggunakan CUSUM residual, dan *Early Warning Index* (EWI) komposit yang menggabungkan indikator stok dan arus secara berbobot. Ketiga rumusan masalah yang diajukan dapat dijawab melalui kerangka ini: rancangan EWS yang *robust* dan interpretatif berhasil dioperasikan pada data kuartalan jangka pendek, pendekatan *modified Z-score* dan CUSUM mampu mengidentifikasi kuartal anomali serta fase tekanan pasar meskipun dengan keterbatasan observasi, dan EWI terbukti dapat memfasilitasi pengaitan sinyal statistik dengan konteks makro/kebijakan secara terstruktur.

Studi kasus pada pasar kantor Jakarta CBD 2024Q1–2025Q3 menunjukkan bahwa *vacancy* menurun 2,7 poin persentase dari 26,4% menjadi 23,7% dengan laju yang melambat pada 2025, mengindikasikan pemulihan yang berlanjut namun dengan momentum yang melemah. *Net absorption* tetap positif sepanjang periode, namun mengalami deselerasi signifikan dari 53.500 sqm pada 2024Q3 menjadi 23.700 sqm pada 2025Q3. Kuartal 2024Q3 teridentifikasi sebagai episode anomali penyerapan positif ($Mz \approx 3{,}26$) yang kemungkinan mencerminkan transaksi besar atau *clustering* keputusan sewa. EWI menandai fase *Watchlist* pada 2024Q1–Q2 ketika *vacancy* berada di atas 25%, kemudian turun tajam ke zona *Normal* pada 2024Q3 sebagai konsekuensi dari anomali *absorption* tersebut, dan tetap berada pada zona *Normal* secara stabil hingga 2025Q3. Kontribusi metodologis utama adalah pembuktian bahwa pendekatan berbasis MAD dapat berfungsi efektif pada data real estat komersial yang bersifat *lumpy* dan pendek, serta bahwa integrasi indikator stok dan arus dalam EWI menghasilkan sinyal yang lebih stabil dibandingkan pemantauan indikator tunggal.

Implikasi praktis kerangka EWS ini dapat dimanfaatkan oleh tiga kelompok pemangku kepentingan. Bagi pemilik aset dan manajer *leasing*, EWS membantu mendeteksi pelemahan permintaan lebih dini sehingga strategi retensi penyewa dapat diaktifkan lebih awal, misalnya melalui fleksibilitas luas sewa, penawaran *fitted space*, atau segmentasi *tenant*. Bagi investor dan manajer portofolio, EWI menyediakan ringkasan risiko pasar yang dapat diintegrasikan ke dalam proses pemantauan portofolio, termasuk sebagai pemicu *stress-test* arus kas dan input penentuan *risk premium* dalam valuasi aset. Bagi regulator dan pengelola kota, sinyal EWS dapat menjadi dasar pertimbangan kebijakan adaptasi bangunan, peningkatan kualitas kawasan, maupun strategi diversifikasi fungsi kawasan dalam konteks perencanaan kota.

Meskipun studi kasus berfokus pada Jakarta CBD, kerangka EWS dirancang agar dapat direplikasi ke kota lain. Kota-kota dengan potensi replikasi dalam jangka pendek meliputi Surabaya, Bandung, dan Medan yang memiliki laporan pasar kuartalan dari konsultan properti internasional maupun nasional. Strategi generalisasi yang direkomendasikan mengikuti dua tahap, yaitu replikasi individual per kota untuk membangun *baseline* EWI masing-masing dengan standardisasi *within-city*, dilanjutkan normalisasi lintas kota menggunakan *percentile rank* atau *robust scaling* untuk menghasilkan *dashboard* komparasi nasional. Apabila *net absorption* tidak tersedia secara publik, proksi yang transparan dapat digunakan, seperti perubahan ruang tersewa yang dikalkulasi dari inventori total dikurangi ruang kosong, data *leasing activity* sebagai proksi sisi permintaan, atau data izin penggunaan bangunan dari catatan administratif, dengan catatan bahwa penggunaan proksi harus disertai diskusi eksplisit mengenai keterbatasan dan uji sensitivitas.

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diakui. Karena keterbatasan data, model ini belum teruji pada berbagai siklus ekonomi yang lengkap (seperti krisis atau ekspansi ekstrem). Panjang deret waktu yang sangat pendek ($n = 7$) secara fundamental membatasi kekuatan statistik seluruh uji formal yang diterapkan, sehingga hasil deteksi anomali dan CUSUM harus diperlakukan sebagai sinyal indikatif, bukan kesimpulan konfirmatori. Selain

itu, hasil ini bersifat eksploratif dan merupakan prototipe awal yang memerlukan validasi lebih lanjut saat data deret waktu yang lebih panjang tersedia. Variabel yang digunakan terbatas pada *vacancy* dan *net absorption*, sementara faktor-faktor penting lain seperti sewa efektif, insentif, kualitas gedung, *pipeline supply*, dan tingkat pra-komitmen belum dimasukkan karena keterbatasan data publik. Bobot EWI ($w_1 = 0{,}6$; $w_2 = 0{,}4$) juga masih ditentukan berdasarkan pertimbangan teoritis, belum dikalibrasi secara empiris terhadap *outcome* yang dapat diobservasi. Selain itu, keterkaitan dengan variabel makro dalam artikel ini bersifat interpretatif naratif dan belum diuji secara kausal, serta cakupan studi yang terbatas pada satu segmen pasar memerlukan validasi terpisah sebelum hasil dapat digeneralisasi.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, agenda penelitian lanjutan diarahkan pada perluasan horizon historis ke 10–15 tahun kuartalan agar *change-point detection* formal dapat dilakukan dengan kekuatan statistik yang memadai, penambahan variabel pasar dan makro yang relevan, implementasi metode *change-point* modern seperti PELT atau *Bayesian Online Changepoint Detection* [5] pengembangan prosedur kalibrasi bobot EWI berbasis *backtesting* terhadap *outcome* historis, serta replikasi kerangka pada pasar kantor kota-kota Indonesia lain untuk menguji generalisasi *threshold* dan metode yang diusulkan.

6. Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Kekayaan Negara, Kementerian Keuangan Republik Indonesia atas dukungan institusional yang diberikan selama proses penelitian berlangsung.

Referensi

[1] J. M. Barrero, N. Bloom, and S. J. Davis, "Why working from home will stick," National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, Working Paper 28731, Apr. 2021, doi: 10.3386/w28731.

[2] O. Oladiran, P. Hallam, and L. Elliott, "The COVID-19 pandemic and office space demand dynamics", *IJSPM*, vol. 27, no. 1, pp. 35–49, Mar. 2023, doi: 10.3846/ijspm.2023.18003.

[3] Y. Liu and Q. Su, "Hybrid work and commercial real estate: Implications for office demand in the post-pandemic era," *Journal of Real Estate Research*, vol. 45, no. 2, pp. 145–172, 2023.

[4] S. S. Rosenthal, W. C. Strange, and J. A. Urrego, "JUE insight: Are city centers losing their appeal? Commercial real estate, urban spatial structure, and COVID-19," *Journal of Urban Economics*, vol. 127, p. 103381, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.jue.2021.103381.

[5] J. Liu, D. Yang, K. Zhang, H. Gao, and J. Li, "Anomaly and change point detection for time series with concept drift," *World Wide Web*, vol. 26, pp. 3229–3252, Jul. 2023, doi: 10.1007/s11280-023-01181-z.

[6] E. Skamnia, P. Economou, and S. Bersimis, "Detect outliers, breakpoints and level shifts in short financial time series," *Communications in Statistics: Case Studies, Data Analysis and Applications*, vol. 10, no. 1, pp. 94–105, 2024, doi: 10.1080/23737484.2023.2293691.

[7] C. Xiao, Z. Gou, W. Tai, K. Zhang, and F. Zhou, "Imputation-based time-series anomaly detection with conditional weight-incremental diffusion models," in *Proceedings of the 29th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '23)*, Long Beach, CA, USA, Aug. 2023, pp. 2742–2751, doi: 10.1145/3580305.3599391.

[8] C. Molnar, *Interpretable Machine Learning: A Guide for Making Black Box Models Explainable*, 2nd ed. Munich: Leanpub, 2022. [Online]. Available: https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/.

[9] O. Al-Amary, "AI-driven Early Warning Systems for real estate bubbles," *Discover Artificial Intelligence*, vol. 6, no. 198, pp. 1–24, Feb. 2026, doi: 10.1007/s44163-026-00899-9.

[10] L. Shang, S. Dermisi, Y. Choe, H. W. Lee, and Y. Min, "Assessing office building marketability before and after the implementation of energy benchmarking and disclosure policies: Lessons learned from major U.S. cities," *Sustainability*, vol. 15, no. 11, p. 8883, May 2023, doi: 10.3390/su15118883.

[11] D. K. Huriso, B. B. Anjullo, and D. A. Teni, "Modeling the long-run and short-run dynamics of economic indicators in Ethiopia using a vector error correction model," *Discover Global Society*, vol. 4, p. 39, Mar. 2026, doi: 10.1007/s44282-026-00383-w.
[12] M. Letdin, G. S. Sirmans, G. T. Smersh, and T. Zhou, "The role of tenant characteristics in retail cap rate variation," *Journal of Real Estate Finance and Economics*, vol. 70, no. 3, pp. 429–456, Apr. 2025, doi: 10.1007/s11146-023-09958-9.
[13] P. T. Lin, "The local nature of housing markets: New evidence," *Regional Studies, Regional Science*, vol. 12, no. 1, pp. 456–471, 2025, doi: 10.1080/21681376.2025.2477267.
[14] D. Park and D. Ryu, "A machine learning-based Early Warning System for the housing and stock markets," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 68131–68142, May 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3077962.
[15] E. Phiri and W. Wang, "Time series analysis and structural break detection: A case of Zambia's CPI," *International Journal of Economic Policy*, vol. 2, no. 1, pp. 33–43, 2022.
[16] J. Białkowski, S. Titman, and G. Twite, "The determinants of office cap rates: The international evidence," *Real Estate Economics*, vol. 51, pp. 539–572, 2023, doi: 10.1111/1540-6229.12424.
[17] R. S. Santoso, F. K. Sari Dewi, and Kartika, "Konfigurasi model Prophet untuk prediksi harga saham sektor teknologi di Indonesia yang akurat," *Jurnal Buana Informatika*, vol. 15, no. 1, pp. 50–58, Apr. 2024, doi: 10.24002/jbi.v15i1.8634.
[18] Cushman & Wakefield, "MarketBeat: Jakarta CBD Office, 1Q2024–3Q2025," Quarterly Market Report, Cushman & Wakefield Indonesia, Jakarta, 2024–2025.
[19] Jones Lang LaSalle (JLL), "Asia Pacific *Office* Property Clock Q3 2024," Research Report, Jones Lang LaSalle Asia Pacific, Singapore, 2024.
[20] Bank Indonesia, "Laporan Kebijakan Moneter Triwulan IV 2024," Bank Indonesia, Jakarta, Jan. 2025. [Online]. Available: https://www.bi.go.id
[21] Badan Pusat Statistik (BPS), "Produk Domestik Bruto Indonesia Triwulanan 2022–2024," BPS, Jakarta, Feb. 2025. [Online]. Available: https://www.bps.go.id