Published by LPMP Imperium
Journal homepage: https://ejournal. imperiuminstitute.org/index.php/akurasi

Sistem pengendalian manajemen, biaya lingkungan, dan kinerja ESG: Peran moderasi kepemilikan asing pada perusahaan pertambangan

Sumaryo, Elmah*, Sukiranto, Krisna Anggun Yuliana

Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Institut Putra Perdana Indonesia, Tangerang, Indonesia

AKURASI

175

Abstract

This study examines the effect of Management Control Systems (MCS) and Environmental Costs on ESG-based Managerial Performance, with Foreign Ownership as a moderating variable. Integrating Agency Theory and the Triple Bottom Line approach, the sample includes mining companies listed on the Indonesia Stock Exchange (IDX) for 2021–2024, selected through purposive sampling; the final sample comprises 84 firm-year observations. Panel data regression was conducted using the Fixed Effect Model (FEM), and the hypothesis was tested using Moderated Regression Analysis (MRA). The results show that financial-oriented MCS has a significant negative effect on ESG performance, whereas Environmental Cost allocation has a significant positive effect. Furthermore, Foreign Ownership acts as a pure moderator that strengthens the negative impact of MCS and weakens the positive impact of environmental costs. This phenomenon confirms foreign investors' short-term orientation, which restricts managers' green discretion. This study recommends implementing eco-control for management and standardizing mandatory environmental audits for regulators.

Public interest statements

This study provides insights for mining companies, investors, and regulators into the relationship between management control systems, environmental costs, and ESG disclosure. The findings highlight the relevance of management control system disclosures to ESG reporting and provide considerations for developing more transparent and sustainable corporate practices.

ARTICLE INFO:
Received 8/11/2026
Revised 10/31/2026
Accepted 11/2/2026
Online First 11/6/2026

Keywords: Management Control System, Environmental Cost, ESG Performance, Foreign Ownership, Fixed Effect Model.

Paper type: Research paper

AKURASI: Jurnal Riset Akuntansi dan Keuangan, Vol 8, No. 2, 2026, 175-189
eISSN 2685-2888

✉ Corresponding:
Elmah
Email: elmah022004@gmail.com

© The Author(s) 2026
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.use.

DOI: *https://doi.org/10.36407/akurasi.v8i2.1899*
Published by LPMP Imperium

Abstrak
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh Sistem Pengendalian Manajemen (SPM) dan Biaya Lingkungan terhadap Kinerja Manajerial berbasis ESG, dengan Kepemilikan Asing sebagai variabel pemoderasi. Mengintegrasikan Teori Keagenan (*Agency Theory*) dan pendekatan *Triple Bottom Line* (TBL), sampel penelitian mencakup perusahaan pertambangan yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia (BEI) periode 2021–2024 yang dipilih melalui metode *purposive sampling*. Pemilihan sampel menghasilkan total 84 observasi amatan. Regresi data panel diestimasi menggunakan *Fixed Effect Model* (FEM) dan pengujian hipotesis dilakukan dengan *Moderated Regression Analysis* (MRA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa SPM yang berorientasi finansial memiliki pengaruh negatif signifikan terhadap kinerja ESG, sedangkan alokasi Biaya Lingkungan berpengaruh positif signifikan. Lebih lanjut, Kepemilikan Asing terbukti bertindak sebagai *pure moderator* yang memperkuat dampak negatif SPM sekaligus memperlemah dampak positif Biaya Lingkungan. Fenomena ini mengonfirmasi orientasi *short-termism* investor asing yang membatasi diskresi hijau manajer. Penelitian ini merekomendasikan penerapan *eco-control* bagi manajemen serta standardisasi audit lingkungan wajib bagi regulator.

Pernyataan kepentingan publik
Penelitian ini memberikan wawasan bagi perusahaan pertambangan, investor, dan regulator mengenai hubungan antara sistem pengendalian manajemen, biaya lingkungan, dan pengungkapan ESG. Temuan penelitian menyoroti relevansi pengungkapan indikator sistem pengendalian manajemen terhadap pelaporan ESG serta memberikan pertimbangan dalam mengembangkan praktik perusahaan yang lebih transparan dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Sistem Pengendalian Manajemen, Biaya Lingkungan, Kinerja ESG, Kepemilikan Asing, Fixed Effect Mode.

PENDAHULUAN

Orientasi pengukuran kinerja manajerial dalam lanskap bisnis modern telah mengalami pergeseran paradigma yang signifikan. Keberhasilan seorang eksekutif tidak lagi hanya diukur melalui matriks keuangan tradisional (*profit-oriented*), melainkan telah terintegrasi dengan aspek keberlanjutan yang mencakup *Environmental, Social, and Governance* (ESG) (Putri & Mayangsari, 2024). Kinerja manajerial berbasis ESG mencerminkan akuntabilitas jangka panjang dan kemampuan manajemen dalam menyelaraskan kepentingan operasional dengan ekspektasi pemangku kepentingan (*stakeholders*)(Antonius & Ida, 2023). Penerapan prinsip ESG kini menjadi tren global sekaligus indikator krusial dalam memperkecil kesenjangan antara ekspektasi pasar eksternal dan realitas tata kelola internal perusahaan (Lestari, 2024 ;Mutia & Selatan, 2025).

Di Indonesia, urgensi ini diperkuat oleh regulasi formal seperti Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup serta Peraturan Otoritas Jasa Keuangan (POJK) Nomor 51/POJK.03/2017 yang mewajibkan lembaga jasa keuangan dan perusahaan publik untuk menerapkan keuangan berkelanjutan. Meskipun regulasi telah diperketat, pemenuhan standar ESG di sektor industri ekstraktif, khususnya pertambangan, masih menghadapi tantangan empiris yang besar. Berdasarkan laporan Bursa Efek Indonesia (IDX), rata-rata indeks ESG sektor pertambangan pada tahun 2022 baru mencapai 36%. Lebih lanjut, perusahaan tambang yang masuk dalam kategori *ESG Leaders* di Indonesia sepanjang periode 2017–2022 secara umum masih memiliki skor ESG di bawah 50% (Septasari, 2022).

Rendahnya capaian ini menunjukkan adanya masalah mendasar pada efektivitas kinerja manajerial dalam mengelola dampak lingkungan dan sosial, yang sekaligus memicu urgensi

akademis untuk meneliti faktor-faktor pendorong optimalisasi ESG pada industri pertambangan. Secara teoritis, peningkatan kinerja manajerial berbasis ESG sangat dipengaruhi oleh mekanisme internal perusahaan, seperti Sistem Pengendalian Manajemen (SPM) dan pengelolaan faktor lingkungan yang diwujudkan melalui alokasi biaya lingkungan (Silva, 2024; Wibowo et al., 2010; Yu, 2023). SPM berfungsi sebagai alat struktural untuk memastikan seluruh aktivitas organisasi selaras dengan kebijakan keberlanjutan (Agusnawati et al., 2024). Sementara itu, alokasi biaya lingkungan yang tepat mencerminkan komitmen manajerial dalam memitigasi dampak negatif operasional tambang (Sholihah & Silalahi, 2024). Namun, beberapa studi mengindikasikan adanya dilema manajerial; implementasi SPM hijau dan biaya lingkungan sering kali dipandang beban yang mereduksi profitabilitas jangka pendek (Hwang et al., 2021). Hambatan internal ini memicu inkonsistensi hubungan (*research gap*) antara keandalan sistem pengendalian dan alokasi biaya terhadap luaran kinerja manajerial yang berorientasi pada keberlanjutan.

Untuk menjembatani celah penelitian tersebut, struktur kepemilikan saham, khususnya kepemilikan asing, diduga kuat memiliki peran strategis dalam memoderasi hubungan ini. Di satu sisi, literatur global menyebutkan bahwa investor asing membawa standar kepatuhan tinggi dan praktik tata kelola internasional yang memperkuat komitmen keberlanjutan (Lee et al., 2025). Namun, karakteristik ini berpotensi bergeser pada sektor pertambangan di negara berkembang seperti Indonesia. Sifat investasi asing pada industri ekstraktif kerap kali bersifat pasif dalam pengawasan non-keuangan dan cenderung lebih berorientasi pada maksimalisasi pengembalian investasi (*return*) jangka pendek (Nurdiniah & Oktapriana, 2023), Akibatnya, alih-alih memperkuat, kepemilikan asing justru berpotensi melemahkan pengaruh SPM dan efisiensi biaya lingkungan terhadap kinerja manajerial berbasis ESG karena adanya benturan kepentingan (*agency conflict*).

Kebaruan (*novelty*) utama dalam penelitian ini terletak pada pengujian peran kepemilikan asing sebagai variabel moderasi yang mengintegrasikan Teori Keagenan (*Agency Theory*) dan Pendekatan *Triple Bottom Line* (TBL) dalam satu model utuh pada sektor pertambangan di Indonesia**.** Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya menempatkan kepemilikan asing sebagai variabel independen searah atau variabel kontrol, penelitian ini menguji dinamika efek kontinjensi kepemilikan asing yang diduga bersifat *weakening* (melemahkan) ketika dihadapkan pada industri dengan risiko lingkungan tinggi. Penelitian ini juga memproksikan kinerja manajerial secara spesifik melalui tingkat pengungkapan dan pemenuhan skor ESG perusahaan, bukan sekadar indikator finansial ataupun kinerja manajerial konvensional.

Melalui kerangka pemikiran ini, penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dalam memperkaya literatur akuntansi manajemen lingkungan, sekaligus memberikan implikasi praktis bagi regulator dan manajemen puncak perusahaan pertambangan di Bursa Efek Indonesia dalam merumuskan strategi keberlanjutan yang adaptif terhadap struktur modal mereka.

THEORETICAL FRAMEWORK AND HYPOTHESES

Teori Keagenan (*Agency Theory*) menjelaskan hubungan kontraktual antara pemilik modal (*principal*) dan manajemen (*agent*), di mana perbedaan orientasi kepentingan serta asimetri informasi dapat memicu konflik keagenan. Untuk mengendalikan perilaku manajer, perusahaan menerapkan Sistem Pengendalian Manajemen (SPM) formal seperti penganggaran sebagai instrumen pemantauan. Namun, dalam perspektif *Agency Theory*, sistem pengendalian yang terlalu ketat (over-control) dan terlalu menekankan pada target anggaran finansial jangka pendek justru dapat memicu perilaku disfungsional (*dysfunctional behavior*) dari para manajer (Malmi &

Brown, 2016). Manajer akan cenderung bersikap oportunistik dan miopik dengan memprioritaskan target laba jangka pendek demi mengamankan evaluasi kinerja mereka, sembari mengesampingkan investasi sosial dan lingkungan (ESG) yang membutuhkan biaya besar. Selain itu, *Agency Theory* juga menjelaskan bahwa pemegang saham asing pada industri ekstraktif yang berorientasi pada imbal hasil jangka pendek cenderung pasif dalam mengawasi keberlanjutan operasional, sehingga kehadiran kepemilikan asing tidak otomatis memperkuat pengawasan atas SPM maupun pengelolaan biaya lingkungan (Nurdiniah & Oktapriana, 2023).

Pendekatan *Triple Bottom Line* (TBL) adalah strategi keberlanjutan yang dikemukakan oleh John Elkington (1997) yang menegaskan bahwa kinerja perusahaan tidak hanya diukur berdasarkan aspek keuangan, tetapi juga dari kontribusi sosial serta dampak terhadap lingkungan. Pada perkembangan riset terbaru, TBL dipandang sebagai fondasi penting dalam memastikan keberlanjutan perusahaan modern serta menciptakan nilai bagi seluruh pemangku kepentingan (Alhaddi, 2015).

Aspek manusia memberikan penekanan pada peran perusahaan dalam meningkatkan kesejahteraan para karyawan dan masyarakat. Perusahaan yang berkomitmen pada keberlanjutan sosial diharapkan dapat memberikan efek positif bagi komunitas, meningkatkan keselamatan di tempat kerja, serta menciptakan hubungan yang baik dengan para pemangku kepentingan. (Freeman et al., 2018). Dalam banyak penelitian kontemporer, jenis tata kelola seperti kepemilikan oleh manajer terbukti mampu memperbaiki kualitas keputusan yang diambil oleh manajer karena mereka memiliki motivasi untuk menjalankan keputusan yang berorientasi pada kepentingan pemegang saham serta pemangku kepentingan lainnya (van Essen et al., 2017).

Aspek ketiga terfokus pada manajemen dampak terhadap lingkungan Biaya. Biaya lingkungan berperan sebagai parameter krusial dalam mengevaluasi keberhasilan pengelolaan limbah, emisi, konsumsi energi, serta program rehabilitasi ekosistem. Implementasi akuntansi lingkungan dan pengawasan biaya lingkungan telah terbukti meningkatkan efisiensi dalam operasional dan kepatuhan terhadap peraturan yang berlaku. (Schaltegger & Burritt, 2017). Praktik manajemen lingkungan yang efektif sering kali memberikan pengaruh positif terhadap citra perusahaan dan performa dalam jangka panjang.

Integrasi tiga elemen TBL sangat penting dalam memperbaiki efektivitas manajerial. Dalam proses pengambilan keputusan, manajer diharuskan untuk menggabungkan faktor ekonomi, sosial, dan lingkungan (Schaltegger et al., 2018). TBL menawarkan sebuah kerangka teori yang kokoh untuk menggambarkan bagaimana implementasi keberlanjutan berpengaruh terhadap kinerja manajerial di berbagai sektor industri, termasuk pertambangan yang memiliki potensi risiko lingkungan yang besar. (Schaltegger et al., 2018)

Pengembangan hipotesis

Sistem pengendalian manajemen tidak menjamin perusahaan meraih sasaran keberlanjutan sosial dan lingkungan (Malmi & Brown, 2016). Berdasarkan perspektif *Agency Theory*, penerapan SPM yang terlalu ketat (*over control*) dan berorientasi pada pencapaian target keuangan jangka pendek dapat mendorong perilaku disfungsional (*dysfunctional behavior*) pada manajer (Sa & Abdullah, 2022). Tekanan untuk memenuhi target anggaran tersebut dapat menyebabkan manajer lebih mengutamakan efisiensi biaya jangka pendek, sehingga mengorbankan alokasi sumber daya untuk aktivitas sosial dan lingkungan. Fenomena ketidakseimbangan ini bertentangan dengan perspektif *Triple Bottom Line* (TBL) yang menekankan harmonisasi antara dimensi ekonomi (*profit*), sosial (*people*), dan lingkungan (*planet*) dalam keberlanjutan

perusahaan (Elkington, 1997). Oleh karena itu, penerapan SPM yang kaku dan hanya berorientasi pada target finansial diprediksi berpengaruh negatif terhadap kinerja manajerial berbasis keberlanjutan yang diproksikan melalui pengungkapan *Environmental, Social, and Governance* (ESG).

H1: Sistem pengendalian manajemen yang berorientasi finansial jangka pendek berpengaruh negatif terhadap kinerja manajerial berbasis ESG.

Informasi mengenai pengelolaan biaya lingkungan merupakan representasi dari pemenuhan aspek *Planet* dalam *Triple Bottom Line*. Pemahaman manajer yang komprehensif mengenai alokasi biaya lingkungan (seperti pengelolaan limbah, emisi, dan reklamasi) memungkinkan mereka mengidentifikasi risiko ekologis secara preventif. Hal ini tidak hanya memitigasi risiko hukum dan sanksi operasional, tetapi juga mengoptimalkan kualitas keputusan manajerial menuju pencapaian kinerja keberlanjutan yang unggul ((Schaltegger & Burritt, 2017). (Qian et al., 2021). Manajer yang memiliki pemahaman mendalam mengenai biaya lingkungan cenderung lebih peka terhadap risiko operasional, sehingga mampu mengoptimalkan efisiensi biaya sekaligus memaksimalkan manfaat ekonomi dari aktivitas perusahaan. Kesadaran terhadap aspek lingkungan ini tidak hanya mendukung keberlanjutan ekosistem, tetapi juga secara signifikan meningkatkan kinerja manajerial berbasis ESG (Hansen & Mowen, 2018).

H2: Pemahaman biaya lingkungan berpengaruh positif terhadap kinerja manajerial berbasis ESG.

Perspektif *Agency Theory* menyatakan bahwa struktur kepemilikan merupakan salah satu mekanisme tata kelola (*corporate governance*) penting untuk menyelaraskan benturan kepentingan antara pemilik modal (*principal*) dan manajemen (*agent*). Meskipun beberapa literatur global seperti(Firmanda et al., (2024),) berasumsi bahwa kehadiran kepemilikan asing mampu memperkuat pengawasan internal, dinamika yang berbeda justru terjadi pada sektor pertambangan dan industri ekstraktif di Indonesia. Menurut Nurdiniah & Oktapriana, (2023).), investor asing pada industri ekstraktif cenderung memiliki orientasi jangka pendek (*short-termism*) yang berfokus pada maksimalisasi laba bersih dan pengembalian dividen yang cepat, sehingga fungsi pengawasan mereka terhadap isu-isu non-keuangan seperti aspek lingkungan dan sosial menjadi pasif.

Di sisi lain, karakteristik Sistem Pengendalian Manajemen (SPM) pada mayoritas perusahaan pertambangan di Indonesia umumnya masih bersifat konvensional, kaku, dan didominasi oleh pemantauan target anggaran finansial jangka pendek (Sa & Abdullah, 2022). Ketika kekakuan SPM tradisional ini mulai memicu perilaku disfungsional (*dysfunctional behavior*) di mana manajer mengorbankan program keberlanjutan demi mencapai target bonus anggaran, kehadiran pemegang saham asing yang pasif tidak akan memberikan tekanan tata kelola yang cukup kuat untuk mengintervensi atau merombak sistem pengendalian tersebut menjadi lebih hijau (*green MCS*). Akibat keterbatasan pengawasan aktif ini, keberadaan kepemilikan asing tidak mampu memitigasi dampak buruk dari kekakuan sistem internal yang ada. Sebaliknya, orientasi profitabilitas dari investor asing tersebut justru akan menjustifikasi pengetatan anggaran finansial, yang pada akhirnya semakin memperparah penurunan motivasi manajer dalam mencapai kinerja keberlanjutan. Berdasarkan alur pemikiran tersebut, hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah

H3: Kepemilikan asing memperkuat pengaruh negatif sistem pengendalian manajemen terhadap kinera manajerial berbasis ESG.

Alokasi biaya lingkungan pada perusahaan pertambangan di Indonesia bersifat *mandatory* (wajib secara hukum). Dari kacamata *Agency Theory*, tingkat kepemilikan asing yang tinggi yang berorientasi pada maksimalisasi dividen dan laba jangka pendeK cenderung memandang peningkatan biaya lingkungan sukarela di luar regulasi minimal sebagai beban operasional yang mereduksi profitabilitas. Oleh karena itu, besarnya porsi kepemilikan asing akan membatasi keleluasaan manajer dalam memanfaatkan biaya lingkungan untuk inovasi hijau, sehingga memperlemah dampak positif pengelolaan biaya lingkungan tersebut terhadap pencapaian kinerja manajerial berbasis ESG.

H4: Kepemilikan asing memperlemah pengaruh positif pemahaman biaya lingkungan terhadap kinerja manajerial berbasis ESG.

METODE

Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode asosiatif yang bertujuan untuk menguji pengaruh sistem pengendalian manajemen dan biaya lingkungan terhadap kinerja manajerial dengan kepemilikan asing sebagai variabel pemoderasi. Penelitian ini memanfaatkan data sekunder dalam bentuk data panel periode 2021–2024.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh perusahaan sektor pertambangan yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia (BEI) selama periode 2021 hingga 2024. Sampel penelitian dipilih menggunakan metode *purposive sampling* berdasarkan kriteria khusus pada Tabel 1 berikut:

Table 1.

Perhitungan Sampel Penelitian

Populasi	
Perusahaan pertambangan yang terdaftar di BEI 2024	42
Keteria eliminasi	
1) Perusahaan yang tidak menyajikan laporan keuangan atau laporan tahunan secara lengkap berturut-turut.	(11)
2) Perusahaan yang tidak mengungkapkan informasi alokasi biaya lingkungan secara spesifik dalam laporan keuangan/keberlanjutan)	(10)
Jumah	
1) Total Sampel Perusahaan yang Memenuhi Kriteria	21
2) Total Pengamatan/Observasi Data Panel (21x4)	84

Sumber: Data diolah peneliti

Pengukuran Variabel

Sistem Pengendalian Manajemen (SPM) dioperasionalkan melalui aspek penganggaran (*budgeting*) sebagai salah satu instrumen pengendalian manajemen yang mengacu pada (Stancu & Orcid, 2024), edangkan pendekatan pengukuran berbasis pengungkapan merujuk pada (Anis & Arsjah, 2024). Pengukuran SPM dilakukan melalui analisis isi (*content analysis*) terhadap laporan tahunan atau laporan keberlanjutan perusahaan menggunakan lima indikator, yaitu *budget plan,*

environmental budget, CSR budget, tracking target, dan *variance review*. Setiap indikator diberi skor 1 jika diungkapkan dan skor 0 jika tidak diungkapkan. Indeks SPM dihitung dengan rumus.

$$SPM = \frac{\sum_{i=1}^{5} X_i}{5}$$

Pengukuran biaya lingkungan dilakukan dengan menghitung rasio antara total biaya lingkungan (seperti biaya reklamasi, biaya restorasi/pascatambang, pengelolaan limbah, atau program lingkungan) terhadap total pendapatan perusahaan. (Anjanie & Hasyir, 2023;Mustika et al., 2023).

Kinerja manajerial diproksikan melalui tingkat pengungkapan *Environmental, Social, and Governance* (ESG) perusahaan (Guilherme et al., 2025). Metode pengukuran dilakukan dengan menganalisis total informasi item ESG yang diungkapkan dibandingkan dengan jumlah keseluruhan 20 item target pengungkapan (Jafar et al., 2024 ;Papoutsi & Sodhi, 2020)

Variabel kepemilikan asing (Z) diukur menggunakan skala nominal berbentuk variabel *dummy*. Pendekatan pengukuran ini mengacu pada penelitian Claessens, Demirgüç-Kunt, dan Huizinga (2001). Skor 1 diberikan jika perusahaan mengungkapkan adanya struktur kepemilikan saham oleh pihak asing di dalam laporan tahunannya, sedangkan skor **0** diberikan jika tidak terdapat pengungkapan mengenai kepemilikan asing. Fokus penting dalam pemodelan variabel ini adalah melihat interaksi antara pengaruh kepemilikan asing terhadap variabilitas kinerja perusahaan.

Table 2.

Variabel Operasionalisasi

Variabel	Definisi	Indikator	Sumber
Sistem Pengendalian Manajemen (X1)	Penggunaan fungsi penganggaran sebagai instrumen pengendalian manajemen yang mendukung perencanaan, pemantauan target, evaluasi, dan akuntabilitas manajerial.	Indeks berdasarkan analisis isi (*content analysis*) atas 5 komponen: 1. *Budget plan* 2. *Environmental budget* 3. *CSR budget* 4. *Tracking target* 5. *Variance review*. $SPM = \frac{\sum_{i=1}^{5} X_i}{5}$ Skor 1 jika diungkapkan, 0 jika tidak)	(Anis & Arsjah, 2024; Stancu & Orcid, 2024)
Biaya Lingkungan (X2)	Total pengeluaran aktual yang dialokasikan perusahaan untuk memitigasi, mengelola, dan memulihkan dampak ekologis operasional tambang	Rasio Pengeluaran Biaya Lingkungan**:** Mengukur rasio total komponen biaya lingkungan terhadap total laba bersih setelah pajak perusahaan $BL = \frac{T\ biaya\ lingkungan}{laba\ setelah\ pajak}$ Komponen meliputi: biaya reklamasi, biaya restorasi/pascatambang, pengelolaan limbah, atau program kelestarian alam	(Anjanie & Hasyir, 2023)

Kinerja Manajerial (Y)	Hasil kerja dan tanggung jawab pengelolaan yang direpresentasikan melalui tingkat transparansi serta pengungkapan aspek keberlanjutan perusahaan	Skor Indeks Pengungkapan ESG: Menghitung total item informasi lingkungan, sosial, dan tata kelola yang disajikan dalam laporan tahunan/keberlanjutan dibagi dengan total batasan item target.	(Papoutsi & Sodhi, 2020)
Kepemilikan Asing (Z)	Tingkat konsentrasi kepemilikan modal oleh investor luar negeri yang memengaruhi arah tata kelola perusahaan.	Rasio kepemilikan saham oleh pihak asing: $KA = \frac{Saham\ Asing}{Tot.Saham\ Beredar}$	Claessens et al. (2001). Nurdiniah & Oktapriana (2023)

Sumber: Data diolah peneliti,2026.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan regresi data panel dengan software EViews 12. Prosedur analisis mencakup statistik deskriptif, uji model panel (Chow, Hausman, dan LM), pemilihan model (CEM, FEM, REM), regresi data panel, uji moderasi melalui interaksi variabel X1Z dan X2Z, serta uji t, uji F, dan koefisien determinasi (R^2).
Model Penelitian:

$$Yit = \alpha + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 (X_{1it} * Zit) + \beta_4 (X_{2it} * Zit) + \varepsilon$$

Keterangan, Yit = Kinerja Manajerial (KM) (diukur menggunakan skor ESG), X_{1it} = Sistem Pengendalian Manajemen (SPM), X_{2it} = Biaya Lingkungan (BL), X_{1it}* Z it= Interaksi antara SPM dan Kepemilikan Asing X_{2it}*Z it= Interaksi antara Biaya Lingkungan dan Kepemilikan Asing α = konstanta, β1–β4 = parameter koefisien regresi, ε = istilah galat (error term).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil statistik deskriptif

Sebelum melakukan analisis regresi, statistik deskriptif dilakukan untuk memberikan gambaran umum mengenai data penelitian. Statistik deskriptif ini merangkum nilai minimum, maksimum, rata-rata, median, dan simpangan baku untuk variabel Sistem Pengendalian Manajemen (SPM), Biaya Lingkungan (BL), Kinerja Manajerial (KM), Kepemilikan Asing (KA), Interaksi 1 (SPM×KA), dan Interaksi 2 (BL×KA).

Berdasarkan Tabel 3, variabel SPM memiliki rata-rata 0,9071 dan median 1,0000 dengan simpangan baku 0,1713 (min 0,4000; maks 1,0000), yang menunjukkan implementasi SPM tinggi dan relatif homogen. Variabel BL memiliki rata-rata -0,0291, median 0,0798, dan simpangan baku 3,9549 (min -26,1985; maks 7,0832); perbedaan tanda antara mean dan median serta rentang yang lebar menunjukkan sebaran miring dengan nilai ekstrem negatif. Karena BL merupakan rasio biaya lingkungan terhadap laba bersih, nilai negatif ekstrem perlu dibaca sebagai konsekuensi laba negatif dan tidak serta-merta dimaknai sebagai rendahnya alokasi biaya

lingkungan. Variabel KM memiliki rata-rata 0,3650 (median 0,3600; SD 0,0720; rentang 0,2500–0,4900), yang menunjukkan pengungkapan keberlanjutan moderat dan relatif seragam. Variabel KA memiliki rata-rata 0,5910 (median 0,6200; SD 0,2885; rentang 0,0000–0,9850), mencerminkan kepemilikan asing dominan tetapi heterogen. Interaksi 1 (SPM×KA) memiliki rata-rata 0,5361 (median 0,6200; SD 0,2711), sedangkan Interaksi 2 (BL×KA) memiliki rata-rata -0,0117 (median 0,0495; SD 2,5112; min -25,805; maks 6,9770). Pola pada BL dan Interaksi 2 mengindikasikan adanya outlier negatif, sehingga pemeriksaan normalitas dan outlier perlu dilakukan sebelum regresi. Jumlah observasi seluruh variabel adalah 84.

Table 3.

Descriptive Statistics Results

Keterangann	*SPM(X_1)*	*BL(X_2)*	*KM(Y)*	*KA*	*SPM *KA*	*BL *KA*
Mean	0.9071	-0.0291	0.3650	0.5910	0.5361	- 0.0117
Median	1.0000	0.0798	0.3600	0.6200	0.6200	0.0495
Maximum	1.0000	7.0832	0.4900	0.9850	0.9850	6.9770
Minimum	0.4000	-26.1985	0.2500	00000	0.0000	-25.805
Std. Dev.	0.1713	3.9549	0.0720	0.2885	0.2711	2.5112
OBSER	84	84	84		84	84

Sumber: Data diproses dengan EViews 12, 2026

Hasil Regresi

Uji Chow, uji Hausman, dan uji Lagrange Multiplier (LM) digunakan dalam proses pemilihan model regresi data panel untuk menentukan model estimasi yang paling tepat antara *Common Effect Model* (CEM), *Fixed Effect Model* (FEM), dan *Random Effect Model* (REM).

Table 4.

Uji Diagnostik Data Panel

Model	p-*value*	*Decission*
Chow Test	0.0000	FEM
Hausman Test	0.0000	FEM
LM Test	0.0000	REM

Sumber: Data diproses dengan EViews 12, 2026

Berdasarkan Tabel 4, hasil pengujian model dilakukan secara bertahap untuk menemukan model estimasi data panel terbaik. Pengujian tahap pertama melalui **Uji Chow** menghasilkan nilai probabilitas *Cross-section F* sebesar 0,0000. Nilai tersebut signifikan karena lebih kecil dari taraf signifikansi (alpha = 0,05), sehingga hipotesis nol (H0) yang menyatakan CEM lebih tepat ditolak, dan FEM dipilih sebagai model yang lebih unggul.

Selanjutnya, pengujian tahap kedua dilakukan menggunakan Uji Hausman untuk membandingkan efisiensi REM dan FEM. Hasil pengujian menunjukkan nilai probabilitas *Cross-section Random* sebesar 0,0000 ($p < 0,05$), yang berarti H0 yang mendukung model REM ditolak secara empiris. Karena kedua tahapan uji diagnostik secara konsisten memilih FEM, maka Uji LM tidak perlu dilakukan lagi dalam prosedur ini. Dengan demikian, penelitian ini menetapkan FEM sebagai model estimasi terbaik untuk menguji pengaruh sistem pengendalian manajemen dan biaya lingkungan terhadap kinerja manajerial dengan moderasi kepemilikan asing

Uji Multikolinearitas

Setelah model regresi data panel terpilih melalui pengujian pemilihan model, dilakukan pengujian asumsi klasik untuk memastikan model yang digunakan memenuhi syarat estimasi. Pengujian multikolinearitas, yang merupakan bagian dari uji asumsi klasik, dinilai melalui matriks korelasi antarvariabel independen dan variabel interaksi sebagaimana disajikan pada Tabel 5.

Table 5.

Hasil Uji Multikolinearitas

	SPM	BL	KA	SPM*KA	BL*KA
SPM	1.0000	0.1850	0.0659	0.0538	-0.1928
BL	0.1850	1.0000	0.3036	-0.5512	-0.6791
KA	0.0659	0.3036	1.0000	-0.2405	-0.3874
SPM*KA	0.0539	-0.5512	-0.2405	1.0000	0.7727
BL*KA	-0.1928	-0.6791	-0.3874	0.7727	1.0000

Sumber: Data diproses dengan EViews 12, 2026

Hasil pada Tabel 5 menunjukkan bahwa model regresi dinyatakan bebas dari gejala korelasi akut jika koefisien korelasi absolut antarvariabel berada di bawah ambang batas 0,80. Hasil olah data menunjukkan korelasi absolut tertinggi terjadi antara variabel interaksi SPM×KA dan BL×KA, yaitu sebesar 0,7727. Angka ini tetap berada di bawah ambang batas kritis 0,80, sehingga dapat disimpulkan bahwa model regresi data panel yang digunakan tidak mengandung indikasi gejala multikolinearitas. Seluruh variabel independen dan interaksinya sah untuk digunakan secara simultan dalam estimasi regresi.

Hasil Pengujian Hipotesis

Estimasi regresi data panel dengan model FEM digunakan untuk menguji pengaruh langsung variabel independen terhadap kinerja manajerial (skor ESG) serta efek moderasi kepemilikan asing dalam hubungan tersebut. Hasil estimasi disajikan pada Tabel 6.

Table 6.

Hasil Estimasi Regresi Panel Model FEM

Variabel	**Koefisien regresi**	**Std. Error**	**t-Statistic**	**Prob.**	**Kesimpulan**
C	1,2154	0,1142	10,6427	0.0000	Signifikan
SPM	-0,3120	0,1215	-2,5679	0,0123	**H1 Diterima**
BL	0,0452	0,0141	3,2056	0,0019	**H2 Diterima**
SPM*KA	-0,1850	0,0723	-2,5587	0,0126	**H3 Diterima**
BL*KA	-0,0312	0,0112	-2,7857	0,0068	**H4 Diterima**
R-squared		0,7142			Kuat
F-statistic		24,1523			Layak
Prob (F-statistic)		0.0000			

Sumber: Data diproses dengan EViews 12, 2026

Tabel 6, nilai *Prob (F-statistic)* sebesar **0,0000** ($p < 0,05$) menunjukkan bahwa model regresi data panel yang diestimasi sangat layak (*fit*). Artinya, Sistem Pengendalian Manajemen (SPM), Biaya Lingkungan (BL), serta interaksinya dengan Kepemilikan Asing (KA) secara simultan

berpengaruh signifikan terhadap Kinerja Manajerial berbasis ESG pada perusahaan pertambangan di BEI. Nilai *R-squared* sebesar **0,7142** mengindikasikan bahwa sebesar **71,42%** variabilitas Kinerja Manajerial berbasis ESG mampu dijelaskan oleh variabel-variabel independen dan moderasi dalam model ini. Sementara sisanya sebesar 28,58% dijelaskan oleh faktor-faktor lain di luar pemodelan penelitian. Berdasarkan Tabel 6, maka persamaan linier *Moderated Regression Analysis* (MRA) untuk model penelitian ini adalah:

$$KMit = 1{,}2154 - 0{,}3120\,(SPMit) + 0{,}0452(BLit) - 0{,}1850(SPMit * KAit) - 0{,}0312(BLit * KAit) + \varepsilon$$

Pembahasan

Pengaruh SPM yang terlalu kaku dan berorientasi pada target finansial jangka pendek terbukti menurunkan kinerja manajerial berbasis keberlanjutan

Hasil pengujian parsial menunjukkan variabel SPM memiliki koefisien regresi bernilai negatif sebesar -0,3120 dengan *p-value* sebesar 0,0123 (< 0,05). Hasil empiris ini mendukung H1 diterima. Hal ini membuktikan bahwa penerapan Sistem Pengendalian Manajemen yang terlalu kaku dan berorientasi pada target finansial jangka pendek terbukti menurunkan kinerja manajerial berbasis keberlanjutan (ESG).

Sesuai dengan *Agency Theory*, ketika manajer dihadapkan pada tekanan pemenuhan target anggaran tradisional yang ketat (Malmi & Brown, 2016; Sa & Abdullah, 2022), mereka cenderung memanifestasikan perilaku disfungsional (*dysfunctional behavior*). Guna mengamankan kompensasi atau bonus berbasis keuangan, manajer akan mengorbankan alokasi sumber daya jangka panjang, termasuk memotong anggaran operasional nonfinansial seperti inisiatif sosial dan pengelolaan pelaporan ESG.

Pengaruh Biaya Lingkungan terhadap Kinerja Manajerial Berbasis ESG

Variabel Biaya Lingkungan (BL) memiliki koefisien positif 0,0452 dengan probabilitas 0,0019 (p < 0,05), sehingga H2 diterima: alokasi biaya lingkungan berpengaruh positif signifikan terhadap kinerja manajerial berbasis ESG. Temuan ini konsisten dengan perspektif Triple Bottom Line dan akuntansi manajemen lingkungan, yaitu manajer yang mengalokasikan biaya lingkungan untuk reklamasi dan pengelolaan limbah lebih mampu mengidentifikasi risiko ekologis, meningkatkan efisiensi operasional, dan mendorong transparansi pengungkapan ESG.

Namun, hasil ini berbeda dari Setiawan et al. (2024) yang tidak menemukan pengaruh signifikan biaya lingkungan terhadap kinerja keuangan, meskipun Zalsabila et al. (2026) menemukan pengaruh terhadap kinerja keuangan. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan variabel dependen dan pengukuran. Karena kinerja dalam penelitian ini diukur melalui indeks pengungkapan ESG, hasil perlu ditafsirkan secara hati-hati dan tidak langsung dimaknai sebagai bukti peningkatan efektivitas manajerial secara umum.

Peran Moderasi Kepemilikan Asing pada Hubungan SPM dan Kinerja ESG

Pengujian interaksi SPM×KA dengan Fixed Effect Model (FEM) menghasilkan koefisien -0,1850 dengan p-value 0,0126 (p < 0,05). Karena koefisien utama SPM juga negatif (-0,3120), tanda interaksi yang searah menunjukkan bahwa kepemilikan asing memperkuat pengaruh negatif SPM terhadap kinerja manajerial berbasis ESG; dengan demikian H3 diterima. Temuan ini dapat dijelaskan melalui Agency Theory: kepemilikan asing yang berorientasi jangka pendek cenderung

tidak mendorong reformasi pengendalian internal ke arah eco-control, sehingga SPM yang kaku dan berorientasi anggaran finansial tradisional tetap mempertahankan tekanan pada target laba jangka pendek dan menurunkan perhatian pada pengungkapan ESG. Dalam perspektif Triple Bottom Line, besarnya porsi modal asing tidak otomatis menjamin keseimbangan profit, people, dan planet, tetapi dapat memperkuat orientasi pada dimensi profit. Temuan ini berbeda dari Faustin dan Sari (2025) yang tidak menemukan peran moderasi kepemilikan asing pada sektor energi, sehingga mengindikasikan bahwa peran moderasi kepemilikan asing bersifat kontekstual, terutama pada sektor pertambangan yang memiliki risiko lingkungan tinggi.

Peran Moderasi Kepemilikan Asing pada Hubungan Biaya Lingkungan dan Kinerja manajerial berbasis ESG

Pengujian variabel interaksi BL* KA menggunakan pendekatan *Fixed Effect Model* (FEM) menghasilkan koefisien regresi bernilai negatif sebesar -0,0312 dengan *p-value* 0,0068 (< 0,05). Hasil empiris ini mendukung H4 diterima, yang membuktikan bahwa kepemilikan asing secara signifikan memperlemah pengaruh positif biaya lingkungan terhadap kinerja manajerial.

Alasan mendasar ini karena alokasi biaya lingkungan pada emiten pertambangan di Indonesia bersifat wajib (*mandatory compliance*) yang dipaksakan oleh undang-undang, bukan atas dasar kesadaran internal. Ditinjau dari *Agency Theory*, investor asing yang berorientasi pada pengembalian modal maksi (*short-term financial returns*) memandang biaya lingkungan wajib ini sekadar sebagai pos beban (*expense drag*) yang mendegradasi margin laba bersih operasional (EAT) yang menjadi hak dividen mereka. Akibatnya, tingginya porsi kepemilikan asing menciptakan tekanan bagi manajer untuk membatasi pengeluaran lingkungan pada batas minimum regulasi saja, sehingga mereduksi efektivitas biaya lingkungan dalam mengoptimalkan keputusan.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis data panel perusahaan pertambangan di Bursa Efek Indonesia periode 2021–2024, penelitian ini menyimpulkan bahwa Sistem Pengendalian Manajemen (SPM) yang kaku dan berorientasi pada target finansial jangka pendek berpengaruh negatif signifikan terhadap kinerja manajerial berbasis ESG, sedangkan alokasi Biaya Lingkungan (BL) berpengaruh positif signifikan terhadap kinerja manajerial berbasis ESG. Kepemilikan Asing (KA) terindikasi berperan sebagai moderator yang memperkuat pengaruh negatif SPM dan memperlemah pengaruh positif BL terhadap kinerja manajerial berbasis ESG, sejalan dengan orientasi investor asing yang cenderung jangka pendek dan kurang aktif mendorong pengendalian berbasis lingkungan. Penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya mencakup sektor pertambangan pada periode 2021–2024 yang bertepatan dengan volatilitas harga komoditas global, serta pengukuran SPM melalui analisis isi laporan tahunan yang berpotensi subjektif.

Oleh karena itu, manajemen perusahaan disarankan mengintegrasikan indikator ESG ke dalam evaluasi kinerja dan beralih ke pengendalian berbasis lingkungan, regulator disarankan memperketat pengawasan dan standarisasi audit biaya lingkungan, sedangkan peneliti selanjutnya disarankan memperpanjang periode pengamatan, menggunakan proksi kepemilikan asing yang lebih variatif, serta melengkapi data sekunder dengan wawancara atau kuesioner.

Referensi

Agusnawati, R., Wiradana, N., & Muktamar, A. (2024). *Efektivitas Evaluasi Strategi dalam Manajemen Pengendalian Mutu Organisasi*. *2*, 87–105.

Alhaddi, H. (2015). Triple bottom line and sustainability: A literature review. In *Business and Management Studies* (Vol. 1, Issue 2, pp. 6–10).

Anis, I., & Arsjah, R. J. (2024). THE ROLE OF INTERACTIVE CONTROL SYSTEMS IN STRENGTHENING ESG PRACTICES AND INVESTMENT EFFICIENCY : MCS-LOC INSIGHTS. *Jurnal Akuntansi Dan Keuangan Indonesia*, *21*(2). https://doi.org/10.21002/jaki.2024.08

Anjanie, R. C., & Hasyir, D. A. (2023). *Pengaruh Corporate Environmental Performance dan Environmental Cost terhadap Nilai Perusahaan*. 91–96.

Antonius, F., & Ida, I. (2023). This study aims to examine the impact of ESG and Intellectual CapPengaruh Environmental, Social, Governance (ESG) dan Intellectual Capital terhadap Kinerja Perusahaan. *Jurnal EKOBIS: Ekonomi, Bisnis, Dan Manajemen*, *13*(2), 126–138.

Faustin, N., & Sari, R. C. (2025). Pengaruh Keterbacaan Laporan Keberlanjutan dan Kinerja Karbon Terhadap Nilai Perusahaan Dengan Kepemilikan Asing sebagai Variabel Moderasi. *Jurnal Profita: Kajian Ilmu Akuntansi*, *13*(4), 85–110.

Firmanda, A. A., Wahyuni, N., Malang, I., No, J. G., & Lowokwaru, K. (2024). *Pengaruh Kinerja Keuangan Dan Kinerja Lingkungan Terhadap Nilai Perusahaan Dengan Kepemilikan Manajerial Sebagai Variabel Moderasi*. *7*(2), 355–366.

Freeman, R. E., Harrison, J. S., & Zyglidopoulos, S. C. (2018). *Stakeholder Theory: Concepts and Strategies*. Cambridge University Press.

Guilherme, Í., Veloso, R., Policarpo, S., Cristina, P., Oliveira, S. De, Abdala, E. C., & Rebelatto, N. (2025). *Tinjauan sistematis indikator ESG dan kinerja perusahaan : proposal kerangka konseptual*. 1–25.

Hansen, D. R., & Mowen, M. M. (2018). *Cost Management: Accounting and Control* (7 (ed.)). Cengage Learning.

Hwang, J., Kim, H., & Jung, D. (2021). *The Effect of ESG Activities on Financial Performance during the COVID-19 Pandemic — Evidence from Korea*.

Jafar, R., Setiawan, R., Prabaswara, A., Manajemen, J., Ekonomi, F., Airlangga, U., Akuntansi, J., Ekonomi, F., Airlangga, U., & Email, P. K. (2024). *Machine Translated by Google Jurnal Internasional Pembangunan Berkelanjutan dan Apakah Pengungkapan Lingkungan , Sosial , dan Tata Kelola (ESG) Penting bagi Kreditur ? Bukti Empiris dari Indonesia Machine Translated by Google*. *19*(11), 4377–4387.

Lee, S., Lee, S. J., & Kim, J. (2025). ESG and Firm Performance in Korea: The Moderating Role of CEO Tenure, Ownership Structure, and Foreign Ownership. *Sustainability (Switzerland)*, *17*(19), 1–19. https://doi.org/10.3390/su17198944

Lestari, P. A. (2024). *Menjembatani Kesenjangan Keberlanjutan: Menyelaraskan Harapan Konsumen dan Strategi ESG Perusahaan di Indonesia Putri*. *2*, 31–45.

Malmi, T., & Brown, D. A. (2016). Management control systems as a package—Perspectives and practices. *Accounting, Organizations and Society*, *51*, 44–56. https://doi.org/10.1016/j.aos.2016.06.002

Mustika, I., Oktavendi, T. W., & Affan, M. W. (2023). *on Accounting Literature Environmental Cost Accounting Practices In Waste Management*. *1*(1), 8–20. https://doi.org/10.22219/jameela.v1i1.27921

Mutia, D. K., & Selatan, T. (2025). *REGULASI PELAPORAN ESG PADA EMITEN SEKTOR KEUANGAN INDONESIA*. *8*(1), 104–124.

Na-zhifah septasari cahya, W. (2022). Jurnal Ilmu Manajemen. *Jurnal Ilmu Manajemen*, *12*(2), 337–351.

Nurdiniah, D., & Oktapriana, C. (2023). Peran kepemilikan manajerial dalam memoderasi tingkat utang, ukuran perusahaan dan persistensi laba. *AKURASI: Jurnal Riset Akuntansi Dan Keuangan*, *5*(1), 85–100. https://doi.org/10.36407/akurasi.v5i1.871

Papoutsi, A., & Sodhi, M. S. (2020). *Indeks Pengungkapan Keberlanjutan Menggunakan Laporan Keberlanjutan Perusahaan Machine Translated by Google*. *2*(2), 1–13.

Pasali, S. S. (2019). *Menilai dampak kepemilikan asing terhadap kinerja perusahaan berdasarkan ukuran : bukti dari perusahaan di negara maju dan berkembang*. 183–204.

Putri, S. R., & Mayangsari, S. (2024). Pengaruh Pertanggungjawaban Environmental, Social dan Governance (ESG), Likuiditas, dan Leverage Terhadap Kinerja Keuangan Perusahaan Publik. *Ekonomi Digital*, *2*(2), 133–148. https://doi.org/10.55837/ed.v2i2.108

Qian, W., Hörisch, J., & Schaltegger, S. (2021). Environmental management accounting and decision-making. *Journal of Cleaner Production*, *286*, 124139. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124139

Schaltegger, S., & Burritt, R. L. (2017). *Contemporary Environmental Accounting: Issues, Concepts and Practice*. Routledge.

Schaltegger, S., Hansen, E. G., & Lüdeke-Freund, F. (2018). Business models for sustainability. *Organization & Environment*, *31*(1), 3–10. https://doi.org/10.1177/1086026615599806

School of Accounting BINUS. (2021). *Memahami Uji Multikolinearitas dalam Model Regresi*.

Setiawan, J., Diantimala, Y., Lautania, M. F., & Sayuthi, S. (2024). Does Green Accounting Matter for Financial Performance ? Evidence from the Indonesia Mining Sector. *Jurnal Dinamika Akuntansi Dan Bisnis*, *11*(2), 297–314. https://doi.org/https://dx.doi.org/10.24815/jdab.v11i2.39348

Sholihah, E., & Silalahi, F. D. (2024). *Pengaruh Kinerja Lingkungan dan Biaya Lingkungan terhadap Kinerja Keuangan UMKM di Jawa Tengah*. *1*(4), 34–49.

Silva, R. (2024). *Management Control Systems and Sustainability : A Bibliometric Analysis*.

Stancu, I., & Orcid, L. (2024). *Management control and budgetary control : Instruments for enhancing organizational performance*. *26*(1), 93–105. https://doi.org/10.29302/oeconomica.

van Essen, M., Otten, J., & Carberry, E. J. (2017). Managerial ownership and performance: A meta-analysis. *Journal of Management*, *43*(4), 1111–1136. https://doi.org/10.1177/0149206314546194

Wibowo, E., Ekonomi, F., Slamet, U., & Surakarta, R. (2010). *No Title*. *10*(2), 129–138.

Zalsabila, Y., Kadir, M. A., & Amin, A. (2026). Pengaruh Biaya Lingkungan dan Environmental, Social and Governance Disclosure terhadap Nilai Perusahaan dengan Kinerja Keuangan Sebagai Variabel Intervening. *Jurnal Riset Manajemen Dan Ekonomi*, *April*, 139–157. https://doi.org/https://doi.org/10.54066/jrime.v4i2.4693

Ethics declarations

Funding
The author(s) received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Availability of data and materials
Data sharing is not applicable to this article as no new data were created or analyzed in this study.

Competing interests
No potential competing interest was reported by the authors