

Difusi TIK, Kualitas Regulasi, dan Keterbukaan Perdagangan di Negara-Negara G20: Analisis Moderasi

T. Miftahul 'Afif^{1*}, Sartiyah Sartiyah¹

¹Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

*Corresponding author
Email: teukuafif591@gmail.com

Abstrak

Digitalisasi ekonomi global mendorong integrasi pasar, namun bukti bahwa difusi teknologi informasi dan komunikasi (difusi TIK) secara konsisten meningkatkan keterbukaan perdagangan masih beragam dan jarang menilai kualitas regulasi sebagai kondisi institusional. Studi ini menganalisis pengaruh difusi TIK dan kualitas regulasi terhadap keterbukaan perdagangan serta menguji peran moderasi kualitas regulasi pada negara-negara G20 periode 2002–2022. Menggunakan data panel sekunder (19 negara; 399 observasi) yang dihimpun dari World Bank: World Development Indicators (WDI) untuk keterbukaan perdagangan dan variabel kontrol (pembangunan ekonomi, investasi asing langsung, dan investasi), serta Worldwide Governance Indicators (WGI) untuk kualitas regulasi. Difusi TIK diprosikan dengan indeks difusi (skala 0–100). Penelitian ini menerapkan two-way fixed effects dengan standard error terklaster, lalu melakukan robustness checks atau uji ketahanan hasil menggunakan Driscoll–Kraay dan common correlated effects untuk mengakomodasi ketergantungan lintas negara dan guncangan bersama. Hasil menunjukkan bahwa difusi TIK berasosiasi negatif dan signifikan dengan keterbukaan perdagangan, sementara kualitas regulasi juga cenderung negatif pada spesifikasi penuh. Bagi Indonesia sebagai anggota G20, temuan ini mengisyaratkan bahwa digitalisasi tidak otomatis meningkatkan perdagangan apabila belum didukung harmonisasi aturan perdagangan digital, penyederhanaan prosedur kepabeanan, kepastian arus data lintas batas, dan pengurangan biaya kepatuhan. Dengan demikian, manfaat TIK terhadap perdagangan Indonesia perlu ditopang oleh kualitas regulasi yang jelas, konsisten, dan memudahkan transaksi lintas negara. Namun, koefisien interaksi antara difusi TIK dan kualitas regulasi bernilai positif, yang berarti adanya efek moderasi kualitas regulasi terhadap pengaruh difusi TIK pada keterbukaan perdagangan, efek tersebut mengindikasikan bahwa regulasi yang lebih baik meredam dampak negatif difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan. Temuan ini menekankan pentingnya paket kebijakan: perluasan TIK harus disertai penguatan kualitas regulasi, harmonisasi aturan perdagangan digital seperti arus data lintas batas, dokumen elektronik, dan kepabeanan digital, serta penyederhanaan prosedur perdagangan lintas batas agar manfaat digitalisasi lebih efektif mendorong integrasi perdagangan.

Kata kunci: difusi TIK, kualitas regulasi, keterbukaan perdagangan, G20, moderasi

Abstract

Global economic digitalization is reshaping market integration; however, evidence that information and communication technology (ICT) diffusion consistently increases trade openness remains mixed, and few studies assess regulatory quality as an institutional condition. This study examines the effects of ICT diffusion and regulatory quality on trade openness and tests the moderating role of regulatory quality in G20 countries during the 2002–2022 period. Using secondary panel data from 19 countries with 399 observations, the data were compiled from the World Bank: World Development Indicators (WDI) for trade openness and control variables—economic development, foreign direct investment, and investment—and Worldwide Governance Indicators (WGI) for regulatory quality. ICT diffusion is proxied by a diffusion index on a 0–100 scale. This study applies two-way fixed effects with clustered standard errors, followed by robustness checks using Driscoll–Kraay standard errors and the common correlated effects approach to account for cross-sectional dependence and common shocks. The results show that ICT diffusion is negatively and significantly associated with trade openness, while regulatory quality also tends to have a negative association in the full specification. For Indonesia as a G20 member, these findings suggest that digitalization does not automatically increase trade when it is not supported by the harmonization of digital trade rules, simplified customs procedures, certainty in cross-border data flows, and reduced compliance costs. Therefore, the benefits of ICT for Indonesia's trade need to be supported by clear and consistent regulatory quality that facilitates cross-border transactions. However, the interaction coefficient between ICT diffusion and regulatory quality is positive, indicating a moderating effect of regulatory quality on the relationship between ICT diffusion and trade openness. This effect suggests that better regulation attenuates the negative impact of ICT diffusion on trade openness. These findings highlight the importance of an integrated policy package: ICT expansion should be accompanied by strengthened regulatory quality, harmonized digital trade rules—such as rules on cross-border data flows, electronic documents, and digital customs—and simplified cross-border trade procedures so that digitalization can more effectively promote trade integration.

Keywords: ICT diffusion, regulatory quality, trade openness, G20, moderation

PENDAHULUAN

Perdagangan lintas negara sedang berubah cepat seiring digitalisasi konektivitas internet, platform, e-commerce, serta teknologi artificial intelligence (AI), internet of things (IoT), dan cloud computing. Perkembangan ini secara umum menurunkan transaction costs melalui pengurangan friksi informasi, percepatan koordinasi, dan efisiensi operasi lintas batas. Digitalisasi juga mendorong paperless trade dan digital customs yang dapat memangkas biaya kepatuhan dan waktu logistik, sehingga membuka peluang lebih luas termasuk bagi SMEs untuk terhubung ke pasar global (Castro & Kornher, 2023). Namun, manfaat digitalisasi tidak selalu otomatis. Artinya, peningkatan konektivitas digital belum tentu meningkatkan keterbukaan perdagangan apabila aturan arus data, kepabeaan digital, dan prosedur lintas batas masih tertutup atau tidak harmonis,

Karena efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh tata kelola perdagangan digital dan keterbukaan aturan yang mengatur arus data, transaksi, serta prosedur lintas batas (Huang & Du, 2024).

Kualitas regulasi menjadi mekanisme kelembagaan utama yang menentukan apakah digitalisasi dapat berubah menjadi keterbukaan perdagangan. Dalam konteks tersebut, penelitian ini memfokuskan perhatian pada kualitas regulasi karena regulasi menentukan kejelasan aturan, kepastian kebijakan, dan kemudahan kepatuhan dalam transaksi lintas negara. Regulasi yang jelas dan konsisten dapat menurunkan *compliance costs*, meningkatkan kepercayaan, dan memperlancar integrasi perdagangan. Sebaliknya, regulasi yang terfragmentasi dapat menaikkan biaya dan menghambat arus

perdagangan (Zámborský et al., 2021; Rahman & Sharma, 2026). Oleh karena itu, kualitas regulasi tidak hanya diperlakukan sebagai faktor kelembagaan, tetapi juga sebagai variabel yang dapat mengondisikan hubungan antara difusi TIK dan keterbukaan perdagangan.

Literatur mutakhir menegaskan adanya interaksi: institusi yang kuat dapat memperbesar manfaat digitalisasi, sementara pembatasan perdagangan digital cenderung menekan kinerja (terutama jasa digital) namun, sebagian dampaknya dapat dimitigasi oleh kualitas institusi, persoalan fragmentasi tata kelola digital juga menambah urgensi harmonisasi dan penguatan kapasitas institusional (Natanael, 2025). Konteks ini sangat relevan bagi negara G20 yang merupakan aktor utama perdagangan dan pusat penentu standar kebijakan global, terlebih di tengah guncangan bersama dan meningkatnya kompleksitas geopolitik yang membuat isu digitalisasi dan kualitas regulasi semakin menentukan arah keterbukaan perdagangan (Qin et al., 2025; Suriani et al., 2026).

Meskipun difusi teknologi informasi dan komunikasi (difusi TIK) sering diasumsikan memperluas integrasi ekonomi global, konsep ini perlu ditegaskan terlebih dahulu. Difusi TIK dalam penelitian ini merujuk pada tingkat penyebaran dan pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi dalam suatu negara; secara operasional diukur dengan indeks difusi TIK (0–100) yang mencerminkan akses TIK. Namun, bukti empiris menunjukkan bahwa difusi TIK tidak otomatis meningkatkan keterbukaan perdagangan. Hambatan utama berasal dari friksi institusional dan regulasi, misalnya kerangka hukum yang tertinggal, norma perdagangan digital yang belum harmonis, serta fragmentasi kebijakan yang menurunkan kepastian dan kepercayaan transaksi lintas batas. Karena itu, manfaat perdagangan dari difusi TIK cenderung lebih kuat ketika didukung institusi yang solid dan regulasi yang terpadu. Dengan demikian, fokus penelitian ini bukan hanya mempertanyakan apakah difusi TIK memengaruhi keterbukaan perdagangan, tetapi juga mempertanyakan apakah kualitas regulasi memoderasi

hubungan tersebut (hubungan difusi TIK dengan keterbukaan perdagangan) (C. P. Nguyen et al., 2021).

Relasi difusi TIK dan keterbukaan perdagangan tidak selalu linear karena TIK dapat bekerja melalui dua mekanisme yang berlawanan. Di satu sisi, difusi TIK memicu *trade creation* melalui penurunan biaya dan perluasan akses pasar; di sisi lain, difusi TIK dapat menimbulkan *trade displacement* dengan menggeser kanal perdagangan tradisional, sehingga dampak bersihnya berbeda antarnegara dan sektor (Dawn et al., 2025; Silvia et al., 2023). Variasi tersebut diperkuat oleh heterogenitas lintas tingkat pendapatan. Negara berpendapatan tinggi umumnya memperoleh manfaat lebih besar dari TIK dibanding negara dengan kapasitas institusional lebih lemah (Kumari & Singh, 2024). Signifikansinya sangat tinggi pada negara-negara G20, karena kelompok ini berperan penting membentuk tata kelola perdagangan digital global, tetapi menghadapi kesulitan harmonisasi regulasi akibat kepentingan yang beragam. Sementara itu, literatur juga menekankan kebutuhan riset yang lebih bernuansa tentang implikasi regulasi digital, khususnya bagi pembangunan ekonomi dan manufaktur atau *Global Value Chain* (Ferracane et al., 2025).

Secara empiris, studi awal dari (Mu et al., 2020) menunjukkan bahwa pemanfaatan internet menurunkan *search costs* dan *entry costs* sehingga meningkatkan peluang masuk pasar ekspor dan memperluas partisipasi perdagangan lintas batas. Bukti lintas negara dan lintas sektor menunjukkan bahwa internet dan teknologi mobile lebih konsisten mendorong efisiensi perdagangan dibanding teknologi komunikasi tradisional, sementara dampaknya sering lebih kuat pada perdagangan jasa, khususnya jasa yang dapat disampaikan secara digital dan pada konteks ketika tingkat TIK mencapai ambang minimum tertentu (Luong & Nguyen, 2021). Pada saat yang sama, berbagai penelitian juga menekankan dampak yang heterogen, dampak TIK berbeda menurut jenis TIK (*mobile vs broadband vs fixed lines*), kualitas *bandwidth*, serta karakteristik negara dan sektor (Bastos et al., 2025). Temuan yang lebih

baru memperlihatkan bahwa *digital connectivity* akan lebih efektif menurunkan biaya perdagangan ketika didukung aturan digital yang terbuka (akses infrastruktur komunikasi dan kelancaran arus data lintas batas), dengan implikasi kuat terutama bagi jasa digital (Bellucci et al., 2025).

Di luar faktor teknologi, literatur institusional menegaskan bahwa kualitas institusi dan regulasi merupakan determinan mendasar biaya perdagangan karena memengaruhi biaya pertukaran, kepastian kontrak, dan beban kepatuhan, korupsi dan lemahnya penegakan kontrak bahkan dipahami sebagai, *hidden taxes* yang menekan arus perdagangan setara hambatan tarif maupun non-tarif (Bahoo et al., 2022). Pengaruh institusi cenderung lebih besar untuk produk yang kompleks dan perdagangan input antara *intermediate goods* yang sensitif terhadap ketidakpastian dan biaya koordinasi (Hou et al., 2020). Sejalan dengan itu, bukti terbaru menempatkan regulasi digital dan kualitas institusi sebagai komplemen bagi TIK, institusi yang baik memperkuat transmisi manfaat TIK ke penurunan biaya perdagangan, sementara fragmentasi regulasi dapat menaikkan biaya kepatuhan dan mengurangi manfaat konektivitas (Shi, 2025). Namun, literatur juga mengakui adanya kesenjangan metodologis, khususnya terkait dampak jangka panjang perjanjian ekonomi digital dan harmonisasi regulasi, yang masih relatif kurang teruji pada horizon panjang dan pada konteks negara dengan kapasitas institusional beragam (Burri, 2024).

Literatur difusi TIK terhadap keterbukaan perdangan masih menyisakan gap penting. Pertama, sebagian besar studi bertumpu pada *gravity model* dan arus bilateral, sementara bukti mengenai agregat keterbukaan perdagangan pada kelompok strategis seperti negara-negara G20 dalam horizon panjang, termasuk isu nonlinieritas dan *diminishing returns ICT*, masih terbatas (Dawn et al., 2025). Kedua, kualitas regulasi umumnya diperlakukan sebagai kontrol, dan jarang diuji secara sistematis sebagai moderator yang mengondisikan efektivitas difusi TIK terhadap keterbukaan perdangan, di saat yang

sama, pengukurannya belum konsisten sehingga bukti moderasi tersebar (Zhuang et al., 2021).

Ketiga, panel lintas negara rentan terhadap *common shocks* dan *cross-sectional dependence*, sehingga membutuhkan teknik estimasi yang lebih robust (spatial/multifactor models, second-generation panel tools), namun penerapannya belum merata (Chrid et al., 2021; Azhar et al., 2022). Paper ini berkontribusi pada literatur digitalisasi, perdagangan dengan memberikan bukti berbasis negara-negara G20. Relasi difusi TIK dengan keterbukaan perdagangan bersifat kontekstual dan dapat berbeda menurut karakteristik negara, komponen TIK serta kualitas institusi (Gonçalves et al., 2021).

Novelty utama penelitian ini adalah memposisikan kualitas regulasi bukan sekadar variabel kontrol, melainkan sebagai moderator yang menjelaskan kapan difusi TIK lebih mungkin terkonversi menjadi keterbukaan perdagangan (Zahid et al., 2025). Secara konseptual, argumen penelitian ditopang oleh kerangka *augmented trade/ transaction cost* dan perspektif tata kelola pemerintah untuk menjelaskan aturan perdagangan digital yang jelas, konsisten, dapat diprediksi, dan dapat ditegakkan, agar manfaatnya tidak tereduksi oleh friksi kebijakan (Dawn et al., 2025). Kemudian kontribusi empiris penelitian ini bersifat lebih informatif daripada sekadar tanda koefisien interaksi. Dari sisi Implikasi kebijakan, hasil penelitian ini menawarkan pengintegrasian penguatan infrastruktur TIK, peningkatan kualitas regulasi, dan penyesuaian kebijakan perdagangan dalam satu kerangka yang saling mengunci, sehingga manfaat perdagangan di era ekonomi digital dapat dioptimalkan (Yi et al., 2022).

Berangkat dari kerangka biaya transaksi dan tata kelola, difusi teknologi informasi dan komunikasi berpotensi menurunkan biaya informasi dan biaya masuk pasar sehingga dapat mendorong keterbukaan perdagangan, tetapi dampaknya tidak otomatis karena dibatasi aturan arus data, kepastian digital, dan prosedur lintas batas yang dapat meningkatkan biaya kepatuhan serta

ketidakpastian. Dalam konteks G20 yang menghadapi fragmentasi regulasi, pengaruh bersih difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan dapat melemah atau cenderung negatif. Kualitas regulasi berperan sebagai kerangka kelembagaan yang membentuk kejelasan dan konsistensi kebijakan, namun ketika tidak terharmonisasi lintas negara dapat menambah beban kepatuhan dan menahan perdagangan; karena itu kualitas regulasi diposisikan sebagai moderator, sehingga interaksi difusi TIK dan kualitas regulasi diharapkan bernilai positif yang menandakan kualitas regulasi yang lebih baik melemahkan intensitas dampak negatif difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan.

Bertolak dari kerangka biaya transaksi dan tata kelola, difusi TIK berpotensi menurunkan biaya informasi, koordinasi, dan biaya masuk pasar sehingga dapat mendorong keterbukaan perdagangan. Namun, dalam konteks G20 yang menghadapi fragmentasi regulasi dan perbedaan kepentingan kebijakan, manfaat tersebut tidak selalu otomatis; difusi TIK dapat berasosiasi negatif dengan keterbukaan perdagangan apabila belum didukung aturan perdagangan digital yang harmonis. Kualitas regulasi juga dapat memiliki efek langsung yang ambivalen: regulasi yang lebih jelas dapat meningkatkan kepastian, tetapi penguatan standar dan kepatuhan dapat menambah biaya transaksi lintas batas. Karena itu, penelitian ini menempatkan kualitas regulasi sebagai moderator, dengan dugaan bahwa interaksi difusi TIK dan kualitas regulasi bernilai positif, yaitu kualitas regulasi yang lebih baik melemahkan dampak negatif difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan.

Berdasarkan latar belakang diatas serta gap penelitian yang muncul maka, Penelitian ini bertujuan untuk mengisi gap tersebut dengan menguji pengaruh difusi TIK dan kualitas regulasi terhadap keterbukaan perdagangan di negara-negara G20 selama periode 2002–2022, sekaligus menilai apakah kualitas regulasi berperan sebagai variabel moderasi yang mengondisikan kekuatan maupun arah pengaruh difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan.

METODOLOGI

Penelitian ini adalah studi kuantitatif observasional berbasis data panel lintas negara pada anggota G20 periode 2002–2022 dengan unit analisis negara dan tahun. G20 terdiri atas 19 negara berdaulat dan 1 entitas supranasional (Uni Eropa); karena unit analisis penelitian ini adalah negara, dan beberapa indikator kunci (khususnya indikator tata kelola/WGI serta proksi difusi TIK) tidak sepenuhnya tersedia dan sebanding bila Uni Eropa diperlakukan sebagai satu unit observasi, sampel dibatasi pada 19 negara anggota G20. Periode 2002–2022 dipilih karena merupakan rentang terpanjang dengan ketersediaan data yang lengkap dan konsisten untuk seluruh variabel penelitian pada 19 negara tersebut; tahun 2002 menjadi titik awal ketersediaan data yang dapat dihimpun secara seragam, sedangkan 2022 merupakan tahun terakhir dengan data lengkap pada saat ekstraksi. Berdasarkan cakupan tersebut, data panel yang digunakan terdiri atas 19 negara sebagai unit cross-section ($N = 19$) dan 21 tahun pengamatan ($T = 21$), sehingga jumlah observasi yang dianalisis mencapai 399 observasi.

Keterbukaan perdagangan (TO) digunakan sebagai variabel dependen, diukur menggunakan indikator *trade openness* dari *World Development Indicators* (WDI). Variabel independen utama adalah difusi TIK (ICTD) yang diprosikan dengan indeks difusi TIK skala 0–100, serta kualitas regulasi (RQ) yang diambil dari *Worldwide Governance Indicators* (WGI—Regulatory Quality). Model juga memasukkan variabel kontrol, yaitu pembangunan ekonomi (EDEV), investasi asing langsung (FDI), dan investasi domestik (INV) yang bersumber dari WDI. Seluruh data diekstraksi pada level negara–tahun, kemudian dilakukan harmonisasi penamaan negara dan periode, pemeriksaan rentang nilai serta ringkasan statistik, dan penanganan data hilang dengan pendekatan *complete-case* sehingga panel akhir tetap seimbang.

Analisis diestimasi menggunakan Stata 17. Estimasi utama menggunakan model efek tetap dua arah (efek tetap negara dan tahun) dengan galat baku terkaster pada level

negara. Pengujian moderasi dilakukan melalui interaksi ICTD dengan RQ setelah kedua variabel di-mean-center, dan interpretasi moderasi dilengkapi dengan *marginal effects (simple slopes)*. Diagnostik model meliputi uji heteroskedastisitas, autokorelasi, dan ketergantungan lintas negara, serta pemeriksaan stasioneritas dan kointegrasi sesuai kebutuhan data panel makro. Sebagai uji ketahanan, inferensi diuji kembali menggunakan *Driscoll–Kraay standard errors (lag 2)* dan pendekatan *common correlated effects (CCE)*.

HASIL DAN PEMBAHASAN
Pairwise Correlations

Tabel 1. Korelasi pairwise dan indikasi multikolinearitas

	TO	ICTD	RQ	EDEV	FDI	INV
TO	1,000					
ICTD	0,061 (0,226)	1,000				
RQ	0,172** * (0,001)	0,515** * (<0,001)	1,000			
EDEV	0,032 (0,529)	0,679** * (<0,001)	0,843** * (<0,001)	1,000		
FDI	0,029 (0,551)	0,014 (0,772)	0,179** * (0,000)	0,091* (0,069)	1,000	
INV	-0,009 (0,854)	- 0,141** * (0,005)	- 0,239** * (<0,001)	- 0,216** * (<0,001)	-0,018 (0,716)	1,000

Sumber: World Bank, data diolah (2026)
Catatan: N = 399. Nilai p berada dalam tanda kurung. * p < 0.10, ** p < 0.05, *** p < 0.01. TO = trade openness; ICTD = ICT diffusion; RQ = regulatory quality; EDEV = economic development; FDI = foreign direct investment; INV = investment.

Secara ekonomi, korelasi positif antara keterbukaan perdagangan (TO) dan kualitas regulasi (RQ) ($r = 0,1720$; $p = 0,0006$) konsisten dengan kerangka biaya transaksi dan *trade costs*: regulasi yang lebih jelas, konsisten, dan dapat diprediksi cenderung menurunkan ketidakpastian kebijakan, mengurangi biaya kepatuhan lintas batas, serta memperbaiki

kredibilitas penegakan aturan sehingga memperlancar integrasi perdagangan. Namun, korelasi ini relatif kecil, sehingga lebih tepat dibaca sebagai sinyal awal (bukan bukti kausal). Selain itu, korelasi yang sangat tinggi antara RQ dan pembangunan ekonomi (EDEV) ($r = 0,8430$; $p < 0,001$) mengindikasikan bahwa hubungan *bivariate* TO–RQ dapat turut menangkap faktor bersama yang bergerak searah dengan tingkat pembangunan (mis. kapasitas institusional dan kualitas tata kelola). Literatur juga menekankan bahwa hubungan keterbukaan dan kinerja ekonomi bersifat heterogen dan sensitif terhadap cara pengukuran keterbukaan serta konteks kelembagaan/politik-ekonomi, sehingga korelasi sederhana perlu diuji lebih lanjut dalam spesifikasi yang mengendalikan faktor tetap dan variabel pengganggu (Huchet-Bourdon et al., 2018; Hidayat et al., 2024).

Sementara itu, korelasi TO dengan difusi TIK (ICTD) kecil dan tidak signifikan ($r = 0,0608$; $p = 0,2255$). Secara teoritis, TIK dapat menurunkan *search costs* dan *entry costs* serta mempercepat koordinasi lintas batas, tetapi dampaknya terhadap keterbukaan agregat tidak harus muncul pada korelasi *bivariate* karena manfaat TIK sering bergantung pada kualitas/komponen TIK dan kesiapan pelaku usaha, kemudian efeknya dapat lebih kuat pada segmen tertentu (misalnya jasa digital) sehingga tidak selalu tercermin pada ukuran keterbukaan agregat, dan tanpa tata kelola yang mendukung, digitalisasi dapat meningkatkan friksi (misalnya kepatuhan data, keamanan siber, dan prosedur digital lintas batas) sehingga efek bersihnya melemah (Zhang, 2008).

Ringkasan bukti empiris lintas negara juga menunjukkan pola yang sejalan: hubungan TO–RQ umumnya positif tetapi kontekstual, dan RQ dapat berperan ganda, sebagai fasilitator perdagangan atau sebagai *non-tariff barrier* ketika regulasi meningkatkan beban kepatuhan, sedangkan hubungan TO–ICTD cenderung positif namun sering kecil/tidak signifikan dan dapat bersifat tidak linear serta bergantung pada kualitas infrastruktur dan lingkungan regulasi (Jalil & Rauf, 2021). Implikasinya, Tabel 1 diposisikan sebagai

gambaran awal keterkaitan *bivariate*. Pengujian yang lebih relevan untuk inferensi penelitian ini kemudian dilakukan pada model panel dengan kontrol dan efek tetap (TWFE) serta uji ketahanan (*Driscoll-Kraay* dan CCE) untuk memastikan bahwa kesimpulan tidak didorong oleh faktor bersama lintas negara, heterogenitas tak teramati, atau dinamika serial.

Di sisi lain, korelasi yang relatif kuat antar variabel penjelas, khususnya difusi TIK dengan kualitas regulasi ($r = 0,5147$; $p < 0,001$), difusi TIK dengan pembangunan ekonomi ($r = 0,6792$; $p < 0,001$), dan terutama kualitas regulasi dengan pembangunan ekonomi ($r = 0,8430$; $p < 0,001$) yang mengindikasikan bahwa kapasitas teknologi, kualitas regulasi, dan tingkat pembangunan ekonomi cenderung bergerak bersama dalam konteks negara G20. Secara ekonomi, pola ini konsisten dengan argumen "ekosistem TIK" bahwa difusi TIK membutuhkan prasyarat institusional (kepastian aturan, koordinasi kebijakan, dan kualitas regulasi) agar investasi jaringan dan adopsi teknologi dapat berlangsung efektif (Fransman, 2010; Lechman, 2015).

Temuan empiris lintas negara juga menunjukkan hubungan difusi TIK dengan pembangunan ekonomi yang umumnya positif namun sering *nonlinier*/berambang, serta semakin kuat ketika didukung kualitas institusi dan faktor pelengkap lain (seperti literasi digital dan perkembangan sektor keuangan) (Sinha & Sengupta, 2022). Selain itu, literatur menekankan bahwa regulasi yang berkualitas tidak hanya berkorelasi dengan pembangunan ekonomi, tetapi juga dapat memediasi jalur pengaruh TIK dan investasi terhadap kinerja ekonomi (Kanodia et al., 2023).

Untuk variabel kontrol, investasi domestik berkorelasi negatif dengan difusi TIK, kualitas regulasi, dan pembangunan ekonomi. Secara interpretatif, korelasi negatif ini lebih tepat dipahami sebagai refleksi heterogenitas struktur ekonomi antarnegara: pada sebagian negara maju, kemajuan TIK dan kualitas institusi berjalan bersama pergeseran menuju jasa dan modal tak berwujud, sehingga pangsa investasi fisik (sebagai % Produk Domestik Bruto (PDB)) tidak

selalu lebih tinggi; sedangkan pada sebagian negara lain, tingginya investasi fisik mencerminkan fase akumulasi modal yang berbeda. Karena itu, korelasi *pairwise* ini diperlakukan sebagai indikasi awal, sementara kesimpulan substantif tetap bertumpu pada estimasi *multivariat* dan uji ketahanan. Sementara itu, korelasi FDI-RQ yang positif kecil namun signifikan konsisten dengan literatur ekonomi kelembagaan bahwa kualitas regulasi menurunkan ketidakpastian kebijakan dan menjadi sinyal *predictability* yang memperbaiki iklim investasi (Ullah et al., 2024), serta didukung ringkasan empiris yang menyatakan kualitas regulasi berkaitan dengan daya tarik FDI dan dapat memediasi dampaknya pada hasil ekonomi (Saha et al., 2022).

Diagnostik Multikolinearitas (VIF dan Ambang Batas Korelasi)

Tabel 1. menunjukkan adanya korelasi relatif tinggi antara kualitas regulasi dan pembangunan ekonomi ($r = 0,843$) sehingga mengindikasikan potensi multikolinearitas. Namun, multikolinearitas tidak ditentukan oleh satu ambang korelasi tertentu; secara konseptual, masalah muncul ketika suatu variabel penjelas dapat diprediksi dengan sangat kuat oleh gabungan variabel penjelas lain, sehingga varians/galat baku koefisien membesar. Karena itu, evaluasi multikolinearitas tidak hanya didasarkan pada korelasi *pairwise*, tetapi juga dilengkapi dengan pemeriksaan diagnostik seperti *Variance Inflation Factor* (VIF) dan pengecekan kestabilan koefisien pada spesifikasi alternatif (Kim, 2019).

Karena korelasi *pairwise* hanya memberikan indikasi awal, pemeriksaan formal *multikolinearitas* akan ditegaskan pada tahap estimasi melalui VIF pada spesifikasi yang memasukkan variabel utama dan kontrol. Dengan demikian, hasil korelasi di atas terutama digunakan untuk: (i) memetakan kedekatan antar variabel penjelas, dan (ii) memberi kewaspadaan bahwa interpretasi koefisien kualitas regulasi dan pembangunan ekonomi perlu memperhatikan kemungkinan tumpang tindih informasi (*shared variation*) ketika keduanya berada dalam model yang sama.

Pengaruh Difusi TIK terhadap Keterbukaan Perdagangan (TWFE)

Tabel 2. Hasil estimasi pengaruh difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan (twfe cluster)

Variabel	Value
ICT diffusion (ICTD)	-0,3456*** (0,1155)
Economic development (EDEV)	0,0001 (0,0008)
Foreign direct investment (FDI)	-0,0126 (0,3204)
Investment (INV)	-0,5955 (0,5431)
Konstanta	67,2510*** (18,5950)

Sumber: World Bank, data diolah (2026)

Catatan: Angka di luar kurung adalah koefisien (β) yang menunjukkan arah dan besaran hubungan; angka dalam kurung adalah standard error (SE); tingkat signifikansi ditunjukkan oleh tanda *** yaitu $p < 0,01$ atau signifikan pada tingkat kepercayaan 99%, ** yaitu $p < 0,05$ atau signifikan pada tingkat kepercayaan 95%, dan * yaitu $p < 0,10$ atau signifikan pada tingkat kepercayaan 90%.

Secara substantif, hasil TWFE pada Tabel 2 menunjukkan bahwa difusi TIK (ICTD) berasosiasi negatif dan signifikan terhadap keterbukaan perdagangan. Temuan ini konsisten dengan mekanisme *nonlinearitas* dan *digital substitution*: pada negara dengan penetrasi TIK yang sudah tinggi, tambahan difusi TIK dapat mengalihkan sebagian aktivitas lintas batas dari perdagangan fisik ke kanal digital (mis. barang/jasa yang terdigitalisasi), sehingga rasio *trade-to-GDP* (TO) yang mengukur keterbukaan konvensional dapat menurun meskipun integrasi ekonomi melalui kanal digital meningkat (Fahlevi et al., 2024). Selain itu, ketidaksignifikanan sebagian variabel kontrol dalam spesifikasi tertentu dapat dibaca bahwa pengaruh TIK terhadap keterbukaan lebih banyak bekerja melalui saluran digital langsung dan sangat dipengaruhi heterogenitas negara, sehingga penggunaan *fixed effects* menjadi relevan (Nipo et al., 2018).

Koefisien kualitas regulasi (RQ) yang negatif tidak harus dimaknai bahwa “regulasi yang lebih baik membuat perdagangan makin tertutup”, melainkan mencerminkan *trade-off* kelembagaan: peningkatan kualitas regulasi

sering diiringi pengetatan standar, kewajiban kepatuhan, dan prosedur yang pada horizon jangka pendek atau ketika harmonisasi lintas negara belum matang, dapat bekerja seperti *non-tariff barrier* dan menekan keterbukaan perdagangan yang terukur. Karena itu, pesan kunci paper ini bukan pada efek langsung semata, tetapi pada mekanisme moderasi: ketika interaksi ICTD dengan RQ bernilai positif (hasil model moderasi), kualitas regulasi berperan sebagai kondisi institusional yang mengurangi friksi kebijakan dan ketidakpastian, sehingga melemahkan (*attenuate*) dampak negatif ICTD terhadap TO selaras dengan literatur yang menyatakan peran regulasi menjadi lebih produktif ketika dikombinasikan dengan faktor pendukung (inovasi/kapabilitas) (Sedegah et al., 2026).

Pengaruh Kualitas Regulasi terhadap Keterbukaan Perdagangan (TWFE)

Tabel 3. Hasil estimasi kualitas regulasi dan keterbukaan perdagangan (twfe cluster)

Variabel	Value
Regulatory quality (RQ)	-8,5554* (4,7870)
Economic development (EDEV)	0,0007 (0,0007)
Foreign direct investment (FDI)	0,2401 (0,4692)
Investment (INV)	-0,5039 (0,3604)
Konstanta	47,4284*** (16,1429)

Sumber: World Bank, data diolah (2026)

Koefisien RQ yang negatif pada Tabel 3 ($\beta = -8,555$; $p = 0,091$) berarti bahwa, dalam variasi negara-negara G20 setelah mengendalikan efek tetap negara dan tahun kenaikan 1 unit kualitas regulasi berkaitan dengan penurunan sekitar 8,56 poin *trade openness* (*trade/GDP*). Secara ekonomi, ini tidak harus ditafsirkan sebagai “regulasi berkualitas membuat negara anti-perdagangan”, melainkan sebagai *trade-off* tata kelola: perbaikan kualitas regulasi sering diwujudkan melalui penguatan *enforcement*,

standardisasi, dan prosedur kepatuhan yang dapat menaikkan *compliance costs* dan bekerja seperti hambatan *non-tarif*, khususnya ketika harmonisasi lintas negara belum sinkron dan G20 berperan sebagai penentu standar.

Pola ini sejalan dengan literatur bahwa institusi/regulasi dapat mengubah cara keterbukaan bekerja dan menimbulkan konsekuensi *lintas-outcome* (ketimpangan atau lingkungan), sehingga reformasi regulasi bisa menekan *trade share* konvensional meski meningkatkan kualitas tata kelola (Nam et al., 2024; Le et al., 2016; Chhabra et al., 2023). Bukti empiris juga menunjukkan relasi regulasi dengan keterbukaan perdagangan bersifat kontekstual, karena kanal institusional bisa sekaligus meningkatkan kepastian namun menambah beban kepatuhan yang menahan keterbukaan perdagangan (Alshammari et al., 2015; T.-H. Le et al., 2016). Karena itu, hasil negatif kualitas regulasi pada model efek langsung justru menguatkan arah paper: yang krusial adalah peran kualitas regulasi sebagai kondisi moderasi yang menentukan kapan digitalisasi (*ICT diffusion*) lebih mungkin terkonversi menjadi keterbukaan perdagangan.

Pengaruh Difusi TIK Terhadap Keterbukaan Perdagangan Dengan Kualitas Regulasi Sebagai Moderator Dalam (TWFE)

Tabel 4. Hasil estimasi Difusi TIK Terhadap Keterbukaan Perdagangan Dengan Kualitas Regulasi Sebagai Moderator (TWFE Cluster)

Variabel	Value
<i>ICTD</i> × <i>RQ</i> (<i>centered</i>)	0,0927 (0,0542)
<i>ICT diffusion</i> (<i>ICTD_c</i>)	-0,2800** (0,1263)
<i>Regulatory quality</i> (<i>RQ_c</i>)	-10,6378** (4,0555)
<i>Economic development</i> (<i>EDEV</i>)	-0,0000 (0,0008)
<i>Foreign direct investment</i> (<i>FDI</i>)	0,0115 (0,2629)
<i>Investment</i> (<i>INV</i>)	-0,1191 (0,3607)
<i>Constant</i>	38,7308** (16,4944)

Sumber: World Bank, data diolah (2026)

Hasil TWFE pada Tabel 4 menegaskan bahwa efek difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan bersifat kondisional pada kualitas regulasi. Efek langsung *ICTD* tetap negatif dan signifikan, tetapi koefisien interaksi *ICTD*×*RQ* yang positif menunjukkan bahwa kualitas regulasi yang lebih baik cenderung mengurangi intensitas dampak negatif difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan; pola ini terkonfirmasi oleh *simple slopes*, pada *RQ* rendah efek *ICTD* paling negatif dan signifikan, sedangkan pada *RQ* tinggi efek negatifnya mengecil dan menjadi tidak signifikan.

Secara teoritis, temuan ini konsisten dengan kerangka *transaction cost economics* dan *regulatory governance*: kualitas regulasi yang lebih tinggi menurunkan friksi informasi, meningkatkan kepastian aturan, dan memperbaiki koordinasi lintas batas, sehingga digitalisasi lebih mungkin berfungsi sebagai komplemen perdagangan ketimbang menjadi substitusi yang menekan ukuran keterbukaan konvensional (Thangavel et al., 2023; Spiller, 2013).

Bukti empiris yang dirangkum dalam referensi juga mendukung peran moderasi institusi/regulasi terhadap relasi *trade openness* dan dinamika makro, serta menunjukkan bahwa interaksi TIK–perdagangan menjadi lebih produktif di bawah lingkungan regulasi yang lebih baik (Chhabra et al., 2024). Dengan demikian, kontribusi substantif Tabel 4 adalah menunjukkan bahwa “digitalisasi saja” tidak cukup: pada G20, penguatan kualitas regulasi dan harmonisasi aturan menjadi syarat agar difusi TIK tidak menekan keterbukaan perdagangan, melainkan dapat dikonversi menjadi integrasi lintas batas yang lebih efektif. (Ghods, 2024).

Robustness Analysis TWFE dengan Driscoll–Kraay Standard Errors (robust terhadap Cross-Sectional Dependence & autokorelasi)

Robustness check adalah uji ketahanan untuk memastikan kesimpulan tetap sama ketika metode inferensi diubah. Ini seperti mengecek hasil pengukuran dengan prosedur berbeda agar tidak kebetulan benar karena satu asumsi

atau metode tertentu. Sebagai uji ketahanan utama, penelitian ini mengestimasi kembali model TWFE menggunakan *Driscoll–Kraay standard errors* (maksimum lag = 2). Pendekatan ini relevan untuk data panel makro lintas negara karena inferensi dapat bias bila terdapat *cross-sectional dependence* dan *serial correlation*. Perlu dicatat, seperti karakteristik DK pada TWFE, koefisien titik (*point estimates*) tetap sama dengan *baseline*, namun *standar error* dan signifikansi dapat berubah, sehingga fokus *robustness* ini adalah stabilitas arah/magnitudo koefisien dan kekuatan inferensi.

Robustness (DK), pengaruh difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan

Tabel 5. Robustness check menggunakan driscoll–kraay difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan standard errors (lag=2)

Variabel	TWFE-Cluster	TWFE-DK (lag=2)
ICT diffusion (ictd)	-0,3456*** (0,1155)	-0,3456*** (0,0334)
Economic development (edev)	0,0001 (0,0008)	0,0001 (0,0002)
Foreign direct investment (fdi)	-0,0126 (0,3204)	-0,0126 (0,1957)
Investment (inv)	-0,5955 (0,5431)	-0,5955** (0,2250)
Obs (N)	399	399
Within R ²	0,3197	0,3197

Sumber: World Bank, data diolah (2026)

Hasil estimasi TWFE–DK (lag=2) menegaskan bahwa temuan *baseline robust* terhadap *cross-sectional dependence* dan autokorelasi: koefisien ICTD tetap -0,3456 (tidak berubah dari TWFE-cluster), *within R²* juga identik, tetapi *standard error* mengecil sehingga inferensi menjadi jauh lebih kuat. Secara teori, ICT semestinya menurunkan *trade costs* melalui percepatan arus informasi, inovasi, dan *network effects* (Lee et al., 2019). Namun bukti empiris menunjukkan efek difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan heterogen dan dapat nonlinier/threshold (Kumari & Singh, 2024), serta sangat tergantung komponen ICT: *mobile subscriptions* biasanya paling konsisten meningkatkan perdagangan, sedangkan

broadband/fixed lines sering menunjukkan hasil yang tidak seragam bahkan bisa negatif karena berpotensi mensubstitusi perdagangan fisik (Dawn et al., 2025). Dalam konteks G20 (negara berpendapatan menengah-atas/tinggi dan lebih terdigitalisasi), mekanisme heterogenitas ini masuk akal: tambahan difusi ICT dapat lebih banyak mendorong digital substitution dan perubahan komposisi transaksi lintas batas, sehingga rasio *trade/GDP* tidak meningkat meski integrasi digital bisa membesar. Temuan DK juga konsisten dengan literatur bahwa manfaat ICT terhadap keterbukaan semakin bergantung pada institusi dan kerangka regulasi: institusi kuat memperbesar efek *pro-trade* (C. Q. Nguyen & Le, 2021), sedangkan fragmentasi regulasi dan ketiadaan harmonisasi menghambat *digital trade* (Liu et al., 2026). Selain itu, INV yang menjadi signifikan di DK (sementara koefisiennya sama) menandakan bahwa koreksi inferensi memang penting—yakni perubahan terjadi pada presisi/SE, bukan pada arah hubungan, sehingga kesimpulan *baseline* tetap konsisten.

Robustness (DK), Pengaruh Regulatory Quality terhadap Trade Openness

Tabel 6. Robustness check menggunakan driscoll–kraay kualitas regulasi terhadap keterbukaan perdagangan standard errors (lag=2)

Variabel	TWFE-Cluster	TWFE-DK (lag=2)
Regulatory quality (rq)	-8,5554* (4,7870)	-8,5554** (3,1753)
Economic development (edev)	0,0007 (0,0007)	0,0007** (0,0002)
Foreign direct investment (fdi)	0,2401 (0,4692)	0,2401 (0,1875)
Investment (inv)	-0,5039 (0,3604)	-0,5039 (0,3269)
Obs (N)	399	399
Within R ²	0,2224	0,2224

Sumber: World Bank, data diolah (2026)

Hasil TWFE–DK (lag=2) pada Tabel 6 memperkuat temuan *baseline* bahwa kualitas regulasi (RQ) berasosiasi negatif dengan keterbukaan perdagangan dalam variasi *within-country*: koefisien RQ tetap -8,5554,

namun setelah koreksi *Driscoll–Kraay* signifikansinya menjadi lebih tegas ($p = 0,014$) karena DK memperbaiki inferensi ketika panel lintas-negara menghadapi *cross-sectional dependence* dan autokorelasi (Aggarwal & Mahalik, 2026). Ini berarti tanda negatif RQ bukan artefak dari spesifikasi *cluster*, melainkan pola yang tetap muncul ketika struktur galat dibuat lebih realistis untuk data lintas negara.

Secara teori, pendekatan klasik–neoklasik umumnya memandang regulasi yang baik menurunkan biaya transaksi dan meningkatkan efisiensi pasar sehingga memfasilitasi keterbukaan perdagangan (Moustafa & El-Shal, 2025), sementara dalam kerangka Heckscher–Ohlin kualitas regulasi/standar dan hak kepemilikan membentuk biaya perdagangan dan pola perdagangan (Anderson, 1994).

Secara empiris banyak ditemukan keterkaitan positif tata kelola dengan keterbukaan. Namun literatur yang sama menekankan bahwa dampak RQ terhadap keterbukaan bersifat sangat kontekstual dan heterogen menurut wilayah/tingkat pendapatan (Onafowora & Owoye, 2024), serta dapat nonlinier atau asimetris, guncangan regulasi positif dan negatif tidak selalu berdampak simetris pada keterbukaan (Udeagha & Ngepah, 2021). Dalam konteks G20 (negara besar dan *standard setters*), peningkatan kualitas regulasi sering terwujud sebagai penguatan standar dan *enforcement* yang menaikkan *compliance costs* dan dapat bekerja seperti hambatan non-tarif, terutama ketika terjadi heterogenitas regulasi lintas negara (Macedoni, 2022). Kanal “*standards/compliance cost*” inilah yang membuat koefisien RQ dapat tampak negatif pada indikator keterbukaan konvensional (*trade/GDP*), tanpa harus menyimpulkan bahwa regulasi yang baik bersifat anti-perdagangan.

Perubahan lain yang penting adalah EDEV menjadi positif dan signifikan pada DK. Ini konsisten dengan literatur bahwa pembangunan ekonomi dan faktor produktivitas/struktur (misal *Total Factor Productivity* (TFP) dalam perluasan model

Solow) mendorong integrasi dan keterbukaan perdagangan (Amirkhalkhali & Dar, 2012), serta temuan determinan makro keterbukaan yang sensitif terhadap spesifikasi dan heterogenitas sampel (Puntoon et al., 2021). Dengan kata lain, setelah ketergantungan lintas negara dan autokorelasi diperhitungkan, peran “kapasitas ekonomi” dalam mendorong keterbukaan menjadi lebih jelas, sementara efek RQ tetap negatif.

Robustness (DK), Analisis Moderasi dalam TWFE

Tabel 7. Robustness check menggunakan driscoll–kraay analisis moderasi (twfe) standard errors (lag=2)

Variabel	TWFE-Cluster	TWFE-DK (lag=2)
ICT diffusion (centered) (ictd_c)	-0,2800** (0,1263)	-0,2800*** (0,0519)
Regulatory quality (centered) (rq_c)	-10,6378** (4,0555)	-10,6378*** (2,2442)
Interaction (ictd_c × rq_c)	0,0927 (0,0542)	0,0927** (0,0383)
Economic development (edev)	-3,77e-06 (0,0008)	-3,77e-06 (0,0002)
Foreign direct investment (fdi)	0,0115 (0,2629)	0,0115 (0,1900)
Investment (inv)	-0,1191 (0,3607)	-0,1191 (0,1677)
Obs (N)	399	399
Within R ²	0,3935	0,3935

Sumber: World Bank, data diolah (2026)

Robustness DK pada peran kualitas regulasi dalam memoderasi pengaruh difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan memberikan dukungan yang lebih kuat untuk mekanisme moderasi. Pada spesifikasi tanpa interaksi, kedua efek utama tetap negatif dan sangat signifikan: $ictd_c = -0,3677$ ($p < 0,001$) dan $rq_c = -10,3610$ ($p < 0,001$). Ketika interaksi dimasukkan, efek utama tetap negatif dan signifikan ($ictd_c = -0,2800$; $p < 0,001$ dan $rq_c = -10,6378$; $p < 0,001$), sementara koefisien interaksi ($ictd_c \times rq_c$) menjadi positif dan signifikan ($0,0927$; $p = 0,025$). Temuan ini penting karena menunjukkan bahwa kualitas regulasi cenderung melemahkan (*attenuate*) dampak negatif difusi TIK terhadap keterbukaan

perdagangan, semakin tinggi kualitas regulasi, maka, semakin kecil (kurang negatif) pengaruh difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan. Secara keseluruhan, hasil ini juga konsisten dengan pola *simple slopes* pada *baseline*, namun DK membuat bukti moderasi menjadi lebih tegas secara statistik. Daya jelaskan meningkat (within R² dari 0,3711 menjadi 0.3935), meskipun kenaikannya moderat.

Sintesis Temuan di Berbagai Estimator (TWFE vs DK vs CCE)

Tabel 8. Sintesis hasil di berbagai estimator pengaruh langsung

Variabel	TWFE-Cluster	TWFE-DK (lag=2)
ICT diffusion (ictd)	-0,3677*** (0,1074)	-0,3677*** (0,0321)
Regulatory quality (rq)	-10,3610** (4,2602)	-10,3610*** (2,3260)
Economic development (edev)	0,0001 (0,0007)	0,0001 (0,0002)
Foreign direct investment (fdi)	0,0495 (0,3058)	0,0495 (0,2213)
Investment (inv)	-0,3378 (0,4400)	-0,3378 (0,2150)
Obs (N)	399	399
Within R ²	0,3711	0,3711
CSA terms	No	No

Sumber: World Bank, data diolah (2026)

Estimasi TWFE–DK (lag=2) memperkuat mekanisme moderasi: koefisien interaksi ICTD dengan RQ tetap positif dan menjadi signifikan (0,0927; p=0,025), sementara koefisien titiknya tidak berubah dari TWFE-cluster. Ini berarti bukti moderasi tidak bergantung pada asumsi galat model cluster; DK memang ditujukan untuk membuat inferensi lebih andal ketika panel lintas-negara menghadapi ketergantungan antarnegara dan autokorelasi. Secara ekonomi, interaksi positif menyiratkan bahwa kualitas regulasi yang lebih tinggi mengurangi friksi (akses, persaingan, kepastian aturan) sehingga efek negatif difusi TIK terhadap *trade openness* menjadi lebih lemah. Pola ini konsisten dengan teori *transaction costs* dan bukti lintas kawasan bahwa *regulatory quality* adalah “*boundary condition*” (sering bersifat threshold/nonlinear) yang menetralkan efek

negatif awal dan memperkuat integrasi pasar berbasis TIK.

Sintesis lintas estimator menunjukkan hasil inti stabil: DK tidak mengubah koefisien titik, tetapi mengoreksi galat baku sehingga signifikansi menjadi lebih tegas ketika terdapat CSD dan autokorelasi; ini menandakan kesimpulan tidak “kebetulan” karena satu asumsi inferensi. Pendekatan CCE statis kemudian penting secara ekonomi karena memasukkan *cross-sectional averages* untuk menyerap faktor lintas negara; jika koefisien inti tetap searah setelah faktor umum dikendalikan, hubungan yang kita baca lebih merefleksikan dinamika *within-country* (digitalisasi–regulasi) daripada sekadar guncangan global bersama. Stabilitasnya arah koefisien mendukung narasi kebijakan paper: pada G20, digitalisasi tidak otomatis meningkatkan keterbukaan; perbaikan kualitas regulasi dan konvergensi/harmonisasi standar diperlukan agar TIK menjadi komplemen perdagangan (mengurangi *technical barriers* dan friksi), bukan justru memperlemah keterbukaan yang terukur.

Tabel 9. Sintesis hasil di berbagai estimator analisis moderasi

Variabel	TWFE-Cluster	TWFE-DK (lag=2)
ICT diffusion (ictd_c)	-0,2800** (0,1263)	-0,2800*** (0,0519)
Regulatory quality (rq_c)	-10,6378** (4,0555)	-10,6378*** (2,2442)
Interaction (ictd_c × rq_c)	0,0927 (0,0542)	0,0927** (0,0383)
Obs (N)	399	399
Within R ²	0,3935	0,3935
CSA terms	No	No

Sumber: World Bank, data diolah (2026)

Tabel 9 menunjukkan pola moderasi yang konsisten: koefisien interaksi ICTD dengan RQ bernilai positif dan pada DK menjadi signifikan, sementara koefisien titik tidak berubah dari TWFE-cluster. Secara ekonomi, ini berarti kualitas regulasi berfungsi sebagai kondisi institusional, yang mengubah kemiringan hubungan difusi TIK dan keterbukaan perdagangan: ketika regulasi lebih baik, friksi informasi, ketidakpastian aturan, dan biaya transaksi lintas batas cenderung turun sehingga efek

negatif difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan melemah. Kerangka ini sejalan dengan *institutional economics* dan *transaction cost theory* yang menekankan bahwa *regulatory quality* menurunkan asimetri informasi dan biaya transaksi, mendorong inovasi, serta meningkatkan efisiensi dan kompetisi pasar yang menjadi prasyarat agar difusi TIK lebih berperan sebagai komplemen (bukan substitusi) terhadap perdagangan (Yi et al., 2022).

Perbedaan signifikansi antara TWFE-cluster dan DK juga bermakna secara metodologis: DK memperbaiki inferensi ketika ada *common shocks/cross-sectional dependence* dan autokorelasi, kondisi yang lazim pada panel lintas negara sehingga bukti moderasi menjadi lebih tegas. Dari sisi mekanisme, literatur menekankan kanal yang sangat relevan bagi G20: *regulatory convergence* dan *harmonisasi technical barriers to trade* menurunkan friksi, menyederhanakan kepatuhan, dan memperbaiki kepercayaan bisnis, sehingga memperkuat konversi TIK menjadi keterbukaan (Hsieh, 2021). Temuan ini juga konsisten dengan bukti empiris lintas negara/region yang menyatakan bahwa *regulatory quality* memoderasi relasi *ICT-trade*, tetapi efeknya sering nonlinear/threshold dan sensitif terhadap konteks/sector; karena itu, pada CCE (ketika faktor umum diserap lewat *cross-sectional averages*), moderasi dapat tampak lebih "marginal" tanpa mengubah arah utamanya (Turkson et al., 2020).

KESIMPULAN

Difusi TIK (*ICT diffusion*) berpengaruh negatif terhadap keterbukaan perdagangan (*trade openness*) dan arah temuan ini konsisten pada berbagai spesifikasi/estimator yang digunakan. Selanjutnya, kualitas regulasi (*regulatory quality*) juga cenderung berpengaruh negatif terhadap keterbukaan perdagangan (*trade openness*), dengan penguatan bukti ketika estimasi dibuat lebih *robust*. Selain itu, hasil model moderasi menunjukkan bahwa *regulatory quality* memoderasi hubungan difusi TIK dengan keterbukaan perdagangan, koefisien interaksi difusi TIK dan kualitas regulasi bernilai positif, yang mengindikasikan bahwa

kualitas regulasi yang lebih baik melemahkan dampak negatif difusi TIK terhadap keterbukaan perdagangan. Oleh karena itu, penulis merekomendasikan kebijakan digitalisasi di negara-negara G20 perlu diintegrasikan dengan penguatan kualitas regulasi dan penyederhanaan prosedur-prosedur terkait perdagangan seperti digitalisasi layanan lintas batas dan peningkatan kepastian aturan, supaya pemanfaatan TIK lebih efektif dalam mendukung keterbukaan perdagangan.

REFERENSI

- Aggarwal, S., & Mahalik, M. K. (2026). The role of urbanization in fossil fuel demand of developing Asian economies: understanding the moderating effect of renewable energy productivity. *International Journal of Ambient Energy*, 47(1). <https://doi.org/10.1080/01430750.2026.2623005>
- Alshammari, M. A., Hammoudeh, M. A., & Pavlovic, M. (2015). Governance, regulations, trade openness and FDI inflows: Empirical study. *International Journal of Economics and Finance*, 7(12), 44–58. <https://doi.org/10.5539/ijef.v7n12p44>
- Amirkhalkhali, S., & Dar, A. A. (2012). On explaining inter-county Differences In Economic Growth Rates Of Oecd Countries For 1996-2008: Does Regulatory Quality Matter. *Applied Econometrics and International Development*, 12(2), 41–50. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84871273081&partnerID=40&md5=dfb15afa860e2973bcd62af00e244193>
- Anderson, R. K. (1994). Product quality regulation in open economies. Implications for trade. *Economics Letters*, 45(3), 343–347. [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(94\)90035-3](https://doi.org/10.1016/0165-1765(94)90035-3)
- Azhar, T., Majid, M. S. A., Sartiyah, S., & Dawood, T. C. (2022). Impact of Disaster on Economic Performance of ASEAN-9: Does Philanthropy Help? *Jurnal Ekonomi & Studi Pembangunan*, 23(1), 21–34. <https://doi.org/10.18196/jesp.v23i1.12593>
- Bahoo, S., Alon, I., & Floreani, J. (2022). Corruption, foreign aid, and international trade. *Thunderbird International Business Review*, 64(2), 139–167. <https://doi.org/10.1002/tie.22253>
- Bastos, P., Castro, L., & Cruz, M. (2025). The Quality and Price of Africa's Imports of Digital Goods. *World Economy*, 48(9), 1978–2002. <https://doi.org/10.1111/twec.13707>

- Bellucci, C., Rubínová, S., & Piermartini, R. (2025). Better Together: How Digital Connectivity and Regulation Reduce Trade Costs. *Review of International Economics*, 33(3), 796–814. <https://doi.org/10.1111/roie.12807>
- Burri, M. (2024). Inequalities in digital trade and digital trade regulation. In *Contested Equality: International and Comparative Legal Perspectives* (pp. 203–220). Edward Elgar Publishing Ltd. <https://doi.org/10.4337/9781035325771.00020>
- Castro, A. B. R., & Kornher, L. (2023). The effect of trade and customs digitalization on agrifood trade: A gravity approach. *Q Open*, 3(1). <https://doi.org/10.1093/qopen/qoac037>
- Chhabra, M., Giri, A. K., & Kumar, A. (2023). What Shapes Economic Growth in BRICS? Exploring the Role of Institutional Quality and Trade Openness. *Economic Papers*, 42(4), 347–365. <https://doi.org/10.1111/1759-3441.12378>
- Chhabra, M., Verma, A., & Giri, A. K. (2024). ICT Diffusion, Trade Openness and Growth: Empirical Evidence from Asian Countries. *Indian Economic Journal*. <https://doi.org/10.1177/00194662241263316>
- Chrid, N., Saafi, S., & Chakroun, M. (2021). Export Upgrading and Economic Growth: a Panel Cointegration and Causality Analysis. *Journal of the Knowledge Economy*, 12(2), 811–841. <https://doi.org/10.1007/s13132-020-00640-6>
- Dawn, L., Verma, A., & Manglani, H. (2025). ICT, trade, economic growth, and unemployment nexus: panel evidence from the Indian Ocean Rim Association. *Research in Globalization*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.resglo.2025.100322>
- Fahlevi, M., Asdullah, M. A., Raza, F. A., Watto, W. A., Aljuaid, M., & Aziz, A. L. (2024). The influence of information and communication technology on trade in developing countries and partners. *Cogent Business and Management*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2320814>
- Ferracane, M. F., González Ugarte, S., & Rogaler, T. (2025). Global Trends in Digital Trade Policies and Practices: Evidence from the Digital Trade Integration Database. *World Trade Review*. <https://doi.org/10.1017/S1474745625100955>
- Fransman, M. (2010). *The New ICT Ecosystem: Implications for Policy and Regulation*. Cambridge University Press. https://assets.cambridge.org/9780521191319/frontmatter/9780521191319_frontmatter.pdf
- Ghods, M. (2024). Regulatory convergence within technical barriers to trade. *World Economy*, 47(5), 1870–1915. <https://doi.org/10.1111/twec.13515>
- Gonçalves, E., Gonçalves Taveira, J., Labrador, A., & Pio, J. G. (2021). Is trade openness a carrier of knowledge spillovers for developed and developing countries? *Structural Change and Economic Dynamics*, 58, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2021.03.006>
- Hidayat, W., Suriani, S., & Sartiyah, S. (2024). Investigating the Effect of Oil and Gas Exports and Macroeconomic Variables on Gross Regional Domestic Product in Indonesia. *International Journal of Business, Economics & Financial Studies*, 2(2), 65–72. <https://doi.org/10.62157/ijbefsv2i2.37>
- Hou, Y., Wang, Y., & Xue, W. (2020). What explains trade costs? Institutional quality and other determinants. *Review of Development Economics*, 25(1), 478–499. <https://doi.org/10.1111/rode.12722>
- Hsieh, P. L. (2021). New Asian Regionalism In International Economic Law. In *New Asian Regionalism in International Economic Law*. <https://doi.org/10.1017/9781108980210>
- Huang, H., & Du, Z. (2024). Analysis on the Influential Factors of the Openness Level of Digital Trade Rules - Based on fsQCA Method. *ACM International Conference Proceeding Series*, 117–121. <https://doi.org/10.1145/3686081.3686099>
- Huchet-Bourdon, M., Le Mouel, C., & Vijil, M. (2018). The relationship between trade openness and economic growth: Some new insights on the openness measurement issue. *The World Economy*, 41(1), 59–76. <https://doi.org/10.1111/twec.12586>
- Jalil, A., & Rauf, A. (2021). Revisiting the link between trade openness and economic growth using panel methods. *Journal of International Trade and Economic Development*, 30(8), 1168–1187. <https://doi.org/10.1080/09638199.2021.1938638>
- Kanodia, N. K., Mohapatra, D. R., & Jena, P. R. (2023). Institutional Quality and Foreign Direct Investment in India: An Econometric Analysis. *Economic and Political Weekly*. <https://www.scopus.com/pages/publications/85196183154?origin=scopusAI>
- Kim, J. H. (2019). Multicollinearity and misleading statistical results. *Korean Journal of Anesthesiology*, 72(6), 558–569. <https://doi.org/10.4097/kja.19087>
- Kumari, R., & Singh, S. K. (2024). Impact of ICT Infrastructure, Financial Development, and Trade Openness on Economic Growth: New Evidence from Low- and High-Income Countries. *Journal of the Knowledge Economy*, 15(2), 7069–7098. <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01332-7>
- Le, T.-H., Kim, J., & Lee, M. (2016). Institutional quality, trade openness, and financial sector development in Asia: An empirical investigation. *Emerging Markets Finance and Trade*, 52(5), 1047–1059.

- <https://doi.org/10.1080/1540496X.2015.1103138>
- Le, T. H., Chang, Y., & Park, D. (2016). Trade openness and environmental quality: International evidence. *Energy Policy*, 92, 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.030>
- Lechman, E. (2015). *ICT Diffusion in Developing Countries: Towards a New Concept of Technological Takeoff*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-18254-4>
- Lee, H. S., Lee, S. Y., Har, W. M., & Low, C. W. (2019). Does neo-schumpeterian economics matter? *ACM International Conference Proceeding Series*, 97–100. <https://doi.org/10.1145/3377817.3377848>
- Liu, X., Lee, M.-J., & Kim, T.-H. (2026). Regulatory Fragmentation in Digital Services Trade and Carbon Intensity: Hard and Soft Barriers and the Role of Environmental Policy. *Sustainability (Switzerland)*, 18(8). <https://doi.org/10.3390/su18084031>
- Luong, T. A. N. H., & Nguyen, T. H. U. H. (2021). The Impact of ICT on Service Trade. *Singapore Economic Review*, 66(4), 1073–1086. <https://doi.org/10.1142/S021759082049003X>
- Macedoni, L. (2022). Asymmetric information, quality, and regulations. *Review of International Economics*, 30(4), 1180–1198. <https://doi.org/10.1111/roie.12599>
- Moustafa, E., & El-Shal, A. (2025). Trade Openness and Economic Growth in Africa. In *Trade and Investment in Africa: A Research Companion* (pp. 203–226). Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9781003587323-14>
- Mu, Y., Chen, Z., Ding, Y., Wang, Y., & Pang, B. (2020). How the Internet Promotes China's Exports: A Firm-level Perspective. *China and World Economy*, 28(5), 118–142. <https://doi.org/10.1111/cwe.12329>
- Nam, H.-J., Frijns, B., & Ryu, D. (2024). Trade openness and income inequality: The moderating role of institutional quality. *Global Finance Journal*, 60, 100959. <https://doi.org/10.1016/j.gfj.2024.100959>
- Natanael, Y. (2025). Beyond borders and tangibility: understanding trade restrictions, institutional quality and digital services trade. *International Journal of Development Issues*, 24(3), 396–415. <https://doi.org/10.1108/IJDI-11-2024-0294>
- Nguyen, C. P., Doytch, N., Dinh Thanh, S., & Schinckus, C. (2021). Do Institutions and Technologies Matter for Trade Openness? Empirical Evidence from African Countries. *International Trade Journal*, 35(5), 413–438. <https://doi.org/10.1080/08853908.2021.1929584>
- Nguyen, C. Q., & Le, T.-H. (2021). The nexus between trade openness and foreign direct investment amid structural economic vulnerability in developing countries. In *Globalization, Deglobalization, and New Paradigms in Business* (pp. 61–86). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81584-4_4
- Nipo, D. T. A., Bujang, I., & Hassan, H. (2018). Global digital divide: Reassessing the evidence behind ICT and its contribution to trade among the ICT haves and have-nots In developing economies. *Journal of Business and Retail Management Research*, 12(3), 47–58. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85045698425&partnerID=40&md5=67df2a6096f9b8e74ea902bb2ccc914d>
- Onafowora, O. A., & Owoye, O. (2024). Trade openness, governance quality, and economic growth in Latin America and the Caribbean. *International Economics*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2024.100527>
- Puntoon, W., Suwannajak, J., & Yamaka, W. (2021). Macroeconomic Determinants of Trade Openness: Empirical Investigation of Low, Middle and High-Income Countries. In *Studies in Computational Intelligence*.
- Qin, S., Deng, H., & Hu, S. (2025). Digital development and China–BRICS trade: Role of institutional distance. *Finance Research Letters*, 73. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.106636>
- Rahman, N., & Sharma, K. (2026). Regulatory quality and value-chain participation in regional comprehensive trade partnership (RCEP): evidence of nonlinear effects. *Journal of Regulatory Economics*, 69(1). <https://doi.org/10.1007/s11149-025-09500-0>
- Saha, S., Sadekin, M. N., & Saha, S. K. (2022). Effects of institutional quality on foreign direct investment inflow in lower-middle income countries. *Heliyon*, 8(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10828>
- Sedegah, K. K., Baah, P., & Asante, K. (2026). Port infrastructural quality for enhanced trade: the role of innovation and regulatory quality. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 25(2), 221–250. <https://doi.org/10.1007/s13437-026-00415-x>
- Shi, Y. (2025). Challenges in governing global digital trade barriers and China's position. *International Journal of Legal Discourse*, 10(2), 463–479. <https://doi.org/10.1515/ijld-2025-2020>
- Silvia, V., Sartiyah, S., & Fitra, M. R. (2023). Demand For Indonesian Patchouli Oil Exports: The Panel Autoregressive Distributed Lag (Ardl) Approach. *RGSA: REVISTA DE GESTAO SOCIAL E AMBIENTAL*, 17(2), 1–14.
- Sinha, M., & Sengupta, P. P. (2022). FDI Inflow, ICT Expansion and Economic Growth: An Empirical Study on Asia-Pacific Developing Countries. *Global Business Review*.

- <https://www.scopus.com/pages/publications/85077152628?origin=scopusAI>
- Suriani, S., Sartiyah, S., Jamal, A., Diana, A., Sartika, S., & Yulia, Y. (2026). Global Uncertainty and Green Transition: Dynamics Analysis of Stock Market Volatility. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 16(2), 925–936.
- Thangavel, K., Spiller, D., Sabatini, R., Marzocca, P., & Esposito, M. (2023). Near Real-Time Wildfire Management Using Distributed Satellite System. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 20. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2022.3229173>
- Turkson, F. E., Adjei, R. M., & Barimah, A. (2020). Does Trade Facilitation Promote Bilateral Trade in Sub-Saharan Africa? Policy and Issues. In *Advances in African Economic, Social and Political Development* (pp. 63–96). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36632-2_4
- Udeagha, M. C., & Ngepah, N. (2021). The asymmetric effect of trade openness on economic growth in South Africa: a nonlinear ARDL approach. *Economic Change and Restructuring*, 54(2), 491–540. <https://doi.org/10.1007/s10644-020-09285-6>
- Ullah, W., Zubir, A. S. M., & Ariff, A. M. (2024). Exploring the moderating effect of regulatory quality on the relationship between financial development and economic growth/economic volatility for developed and developing countries. *Borsa Istanbul Review*, 24(5), 934–944. <https://doi.org/10.1016/j.bir.2024.04.015>
- Yi, Z., Wei, L., & Huang, X. (2022). Does Information-and-Communication-Technology Market Openness Promote Digital Service Exports? *Sustainability (Switzerland)*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/su14094901>
- Zahid, Z., Zhang, J., Gao, C., & Oláh, J. (2025). ICT-Driven Strategies for Enhancing Energy Efficiency in G20 Economies: Moderating the Role of Governance in Achieving Environmental Sustainability. *Energies*, 18(3). <https://doi.org/10.3390/en18030685>
- Zámborský, P., Yan, Z. J., Sbaï, E., & Larsen, M. (2021). Cross-Border M&A Motives and Home Country Institutions: Role of Regulatory Quality and Dynamics in the Asia-Pacific Region. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/jrfm14100468>
- Zhang, W.-B. (2008). *International Trade Theory: Capital, Knowledge, Economic Structure, Money, and Prices over Time*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-78265-0>
- Zhuang, Y., Yang, S., Chupradit, S., Nawaz, M. A., Xiong, R., & Koksai, C. (2021). A nexus between macroeconomic dynamics and trade openness: moderating role of institutional quality. *Business Process Management Journal*, 27(6), 1703–1719. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-12-2020-0594>

Lampiran 1. Definisi Operasional Variabel dan Sumber Data

Variabel (Notasi)	Definisi operasional	Satuan/Skala	Transformasi yang digunakan dalam estimasi	Sumber data (database/indikator)
Trade Openness (TO)	Tingkat keterbukaan perdagangan: rasio total perdagangan terhadap ukuran ekonomi. Umumnya dihitung sebagai ((Ekspor + Impor)/PDB \times 100).	Persen (% dari PDB)	Digunakan dalam level (tanpa log)	World Development Indicators (WDI) — <i>Trade (% of GDP)</i> (umumnya kode: NE.TRD.GNFS.ZS)
ICT Diffusion (ICTD)	Indeks difusi TIK yang merepresentasikan tingkat penetrasi/akses TIK dalam suatu negara (lihat Lampiran B2 untuk komponen dan cara pembentukan indeks).	Indeks 0–100	Untuk moderasi: dibuat mean-centering menjadi $ICTD_c = ICTD - \text{mean}(ICTD)$	Sumber telekomunikasi/ICT (mis. ITU/WDI sesuai data yang digunakan penulis + konstruksi indeks oleh penulis
Regulatory Quality (RQ)	Kualitas regulasi pemerintah yang mencerminkan kemampuan pemerintah merumuskan dan menerapkan kebijakan/regulasi yang mendukung sektor privat.	Skala WGI (umumnya sekitar -2.5 s.d. $+2.5$)	Untuk moderasi: mean-centering menjadi $RQ_c = RQ - \text{mean}(RQ)$	Worldwide Governance Indicators (WGI) — <i>Regulatory Quality</i>
Economic Development (EDEV)	Proksi pembangunan ekonomi (umumnya PDB per kapita, untuk menangkap level kemakmuran/kapasitas ekonomi).	USD per kapita (atau konstanta/PPP sesuai pilihan data)	Digunakan dalam level (sesuai spesifikasi model)	WDI — <i>GDP per capita</i> (pilih seri yang Anda pakai: current/constant/PPP)
Foreign Direct Investment (FDI)	Proksi investasi asing langsung yang masuk ke perekonomian. Praktik umum: FDI net inflows (% of GDP).	Persen (% dari PDB)	Digunakan dalam level	WDI — <i>FDI net inflows (% of GDP)</i> (umumnya kode: BX.KLT.DINV.WD.GD.ZS)
Investment (INV)	Proksi investasi domestik/akumulasi modal. Praktik umum: Gross capital formation (% of GDP).	Persen (% dari PDB)	Digunakan dalam level	WDI — <i>Gross capital formation (% of GDP)</i> (umumnya kode: NE.GDI.FTOT.ZS)
Interaksi Moderasi (ICTD \times RQ)	Variabel moderasi untuk menguji apakah RQ mengondisikan pengaruh ICTD terhadap TO.	Produk dari dua variabel terpusat	$ICTD \times RQ = ICTD_c \times RQ_c$	Dibentuk oleh penulis dari ICTD dan RQ

Lampiran 2. Statistik deskriptif

Variabel	N	Mean	SD	Min	p25	p50	p75	Max
TO	399	51.9825	16.7610	20.4471	40.3905	52.5443	62.4987	101.6806
ICTD	399	57.5372	28.7781	1.5379	34.3000	65.5000	81.9198	100.0000
RQ	399	0.5902	0.8222	-1.1420	-0.1310	0.4464	1.4212	1.9230
EDEV	399	2.40e+04	1.78e+04	793.6159	8472.5781	2.18e+04	3.86e+04	6.39e+04
FDI	399	2.0281	1.5710	-3.6011	1.0222	1.8143	2.7825	11.9999
INV	399	23.6230	6.2902	11.9606	19.2639	21.9902	26.9676	44.0755

Lampiran 3. Statistik deskriptif Panel

Variabel	Mean (overall)	SD (overall)	SD (between)	SD (within)	Min (overall)	Max (overall)
TO	51.9825	16.7610	15.3248	7.6082	20.4471	101.6806
ICTD	57.5372	28.7781	21.4285	19.8008	1.5379	100.0000
RQ	0.5902	0.8222	0.8238	0.1771	-1.1420	1.9230
EDEV	24029.5	17758.95	18073.29	2269.51	793.6159	63886.13
FDI	2.0281	1.5710	0.9046	1.3003	-3.6011	11.9999
INV	23.6230	6.2902	6.1182	2.0039	11.9606	44.0755