



Peran Infrastruktur Teknologi dalam Mengakselerasi Ekosistem Kewirausahaan dan Produktivitas Ekonomi

Muhammad Irfan^{1*}, Eddy Soeryanto Soegoto²

¹⁻²Program Studi Magister Manajemen, Universitas Komputer Indonesia, Indonesia

*Penulis Korespondensi: irfan.75224003@mahasiswa.unikom.ac.id

Abstract. *This study analyzes the strategic role of technology infrastructure in accelerating entrepreneurship ecosystem maturity and its impact on national economic productivity. Addressing data distribution biases in the digital economy, the research employs rigorous Structural Equation Modeling (SEM) using World Bank WDI data. The model examines three constructs: the exogenous variable Technology Infrastructure (TECH) (measured by secure internet servers, fixed broadband, and high-tech exports); the mediating variable Entrepreneurship Ecosystem (ENT) (proxied by domestic credit and trademark applications); and the endogenous variable Economic Productivity (PROD) (evaluated via GDP per person employed, patents, and industry value added). To ensure multivariate normality and minimize outlier effects, the study applied Natural Logarithm (Ln) transformations to skewed variables. Analysis using Jamovi reveals that technology infrastructure is a critical foundation that significantly creates a conducive entrepreneurship ecosystem. Consequently, this strong ecosystem mediates technology's impact, enhancing long-term economic productivity. The findings suggest that investment in digital infrastructure—particularly cybersecurity—and strict statistical validity are vital for policymakers to drive innovation-based growth and avoid the middle-income trap.*

Keywords: *Economic Productivity; Entrepreneurship Ecosystem; Logarithmic Transformation; Structural Equation Modeling; Technology Infrastructure.*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara mendalam peran strategis infrastruktur teknologi dalam mengakselerasi kematangan ekosistem kewirausahaan serta dampaknya terhadap produktivitas ekonomi nasional secara agregat. Dalam era ekonomi digital yang berkembang pesat, ketimpangan distribusi data antar negara seringkali menjadi hambatan metodologis utama yang menghasilkan bias dalam analisis statistik konvensional. Mengatasi tantangan tersebut, penelitian ini menerapkan pendekatan *Structural Equation Modeling* (SEM) yang ketat dengan memanfaatkan data sekunder global dari *World Development Indicators* (WDI) World Bank. Penelitian ini memodelkan tiga konstruksi utama: Variabel eksogen Infrastruktur Teknologi (TECH) yang diukur melalui kepadatan *Secure Internet Servers*, penetrasi *Fixed Broadband Subscriptions*, dan intensitas *High-technology Exports*; Variabel mediasi Ekosistem Kewirausahaan (ENT) yang diprosikan melalui kedalaman akses finansial (*Domestic Credit to Private Sector*) dan aktivitas perlindungan merek (*Trademark Applications*); serta variabel endogen Produktivitas Ekonomi (PROD) yang dievaluasi melalui *GDP per Person Employed*, *Patent Applications*, dan *Industry Value Added*. Sebagai kontribusi metodologis, penelitian ini mewajibkan pra-pemrosesan data melalui transformasi Logaritma Natural (Ln) pada variabel dengan distribusi *highly skewed* (seperti server aman dan aplikasi paten) guna menstabilkan varians, meminimalkan efek outlier, dan memenuhi asumsi normalitas multivariat. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak Jamovi menunjukkan bahwa infrastruktur teknologi bukan hanya sekadar pendukung, melainkan fondasi kritis yang berpengaruh positif signifikan terhadap pembentukan ekosistem kewirausahaan yang kondusif. Ekosistem yang kuat ini terbukti mampu memediasi dampak teknologi untuk meningkatkan produktivitas ekonomi jangka panjang. Temuan ini memberikan implikasi manajerial dan kebijakan bahwa investasi pada infrastruktur digital—khususnya keamanan siber—dan validitas metodologi statistik adalah kunci vital bagi pembuat kebijakan untuk mendorong pertumbuhan ekonomi berbasis inovasi dan menghindari jebakan pendapatan menengah.

Kata kunci: Ekosistem Kewirausahaan; Infrastruktur Teknologi; Produktivitas Ekonomi; *Structural Equation Modeling*; Transformasi Logaritma.

1. LATAR BELAKANG

Dalam lanskap ekonomi global yang berubah dengan kecepatan eksponensial, paradigma pembangunan ekonomi telah bergeser dari akumulasi modal fisik semata menuju penguasaan aset digital dan inovasi. Infrastruktur teknologi kini telah berevolusi dari sekadar alat

pendukung operasional menjadi tulang punggung utama (*backbone*) pembangunan ekonomi modern. Laporan terbaru dari World Bank, *Digital Progress and Trends Report 2025*, menyoroti bahwa difusi teknologi digital—termasuk fondasi kecerdasan buatan (AI) dan keamanan siber—sangat penting untuk mendorong inovasi disruptif dan penciptaan lapangan kerja bernilai tinggi (World Bank, 2025a). Namun, manfaat dari revolusi digital ini seringkali tidak terdistribusi secara merata, menciptakan kesenjangan produktivitas yang lebar antar negara.

Negara-negara yang gagal mengintegrasikan infrastruktur teknologi yang kuat—seperti peladen internet yang aman (*secure servers*) dan jaringan broadband berkecepatan tinggi—berisiko tertinggal dalam fenomena yang disebut sebagai "abad pertumbuhan yang hilang" (*lost century of growth*). (Maloney et al., 2025) menekankan bahwa ketidakmampuan untuk membangun ekonomi pembelajaran (*learning economies*) yang didukung teknologi dapat menjebak negara-negara berkembang dalam stagnasi produktivitas. Oleh karena itu, memahami mekanisme bagaimana teknologi diterjemahkan menjadi output ekonomi riil menjadi sangat krusial bagi perumusan kebijakan strategis.

Hubungan antara adopsi teknologi dan pertumbuhan ekonomi tidak berjalan secara langsung atau otomatis. Hubungan ini dimediasi oleh arsitektur institusional yang kompleks dan dinamika kewirausahaan lokal (Suliman & Adedokun, 2025). Infrastruktur teknologi menyediakan "jalan tol" digital, namun kendaraan yang melintasinya adalah para wirausahawan. Teknologi memfasilitasi wirausahawan untuk berinovasi, mengakses modal melalui fintech, dan melindungi kekayaan intelektual mereka melalui pendaftaran merek (*trademarks*), yang merupakan indikator vital dari kesehatan ekosistem kewirausahaan (Ferreira et al., 2023). Selanjutnya, ekosistem yang kuat ini diharapkan dapat menstimulasi produktivitas ekonomi makro, yang tercermin dalam peningkatan PDB per pekerja, output industri, dan inovasi teknis berbasis paten.

Kendati demikian, tantangan metodologis yang signifikan sering muncul dalam menganalisis data ekonomi makro berskala global. Data indikator pembangunan, seperti jumlah aplikasi paten, jumlah server internet, atau nilai ekspor teknologi tinggi, seringkali memiliki rentang yang sangat ekstrem (*highly skewed*) antar negara maju dan berkembang. Kondisi ini menciptakan bias dalam estimasi statistik jika diolah menggunakan asumsi linearitas standar (World Bank Data Help Desk, 2024). Banyak penelitian terdahulu mengabaikan aspek distribusi data ini, sehingga menghasilkan kesimpulan yang mungkin kurang akurat.

Penelitian ini bertujuan mengisi kesenjangan empiris dan metodologis tersebut dengan menerapkan *Structural Equation Modeling* (SEM) yang didahului oleh teknik transformasi data logaritma natural (Ln) yang ketat. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan validitas model pengukuran dan struktural. Tujuan utama penelitian ini adalah menguji secara empiris model konseptual di mana infrastruktur teknologi berfungsi sebagai akselerator utama bagi ekosistem kewirausahaan, yang pada gilirannya menjadi katalisator bagi peningkatan produktivitas ekonomi nasional.

2. KAJIAN TEORITIS

Infrastruktur Teknologi sebagai Enabler Inovasi dan Kepercayaan

Infrastruktur teknologi mencakup lebih dari sekadar ketersediaan perangkat keras; ia meliputi ekosistem konektivitas dan keamanan yang memungkinkan aktivitas ekonomi digital berlangsung. Variabel Fixed broadband subscriptions merepresentasikan aksesibilitas dasar, namun Secure Internet servers adalah indikator yang lebih kritis dalam ekonomi digital karena mencerminkan tingkat keamanan siber dan kepercayaan digital (digital trust) (World Bank, 2025a). Tanpa server yang aman, transaksi e-commerce dan pertukaran data bisnis tidak dapat terjadi.

(Loukis et al., 2013) menemukan bahwa infrastruktur TIK adalah prasyarat mutlak bagi adopsi e-business yang sukses. Lebih lanjut, (Shahadat et al., 2023) menggunakan kerangka kerja Technology-Organization-Environment (TOE) untuk menunjukkan bahwa kesiapan teknologi adalah prediktor terkuat bagi adopsi digital di sektor UKM. Dalam konteks makro, High-technology exports mencerminkan sofistikasi kemampuan produksi suatu negara untuk mengomersialkan inovasi teknologi di pasar global, menandakan transisi dari ekonomi berbasis komoditas ke ekonomi berbasis pengetahuan (World Bank, 2024b).

Ekosistem Kewirausahaan: Institusi dan Akses Sumber Daya

Ekosistem kewirausahaan didefinisikan sebagai kombinasi kondisi sosial, politik, ekonomi, dan budaya yang mendukung penciptaan dan pertumbuhan usaha baru. Indikator kunci dari ekosistem yang sehat meliputi akses terhadap modal dan perlindungan hukum atas inovasi. Domestic credit to private sector adalah proksi utama untuk kedalaman finansial; ketersediaan kredit memungkinkan wirausahawan meningkatkan skala bisnis mereka (Shuman, 2025).

Di sisi lain, Trademark applications mencerminkan inovasi pemasaran dan upaya wirausahawan untuk membangun brand equity. Berbeda dengan paten yang bersifat teknis, merek dagang lebih merepresentasikan aktivitas komersialisasi dan dinamika pasar (World

Bank, 2024a). (Huber et al., 2022) menemukan bahwa kualitas institusi memoderasi hubungan antara ketersediaan data terbuka dan aktivitas kewirausahaan, menegaskan bahwa teknologi membutuhkan dukungan institusional (seperti perlindungan HAKI dan akses kredit) untuk berkembang menjadi aktivitas wirausaha yang produktif.

Produktivitas Ekonomi: Output dari Sistem Inovasi

Produktivitas ekonomi adalah tujuan akhir dari kebijakan pembangunan. Ukuran standar produktivitas jangka panjang adalah GDP per person employed (PDB per pekerja), yang mengukur efisiensi tenaga kerja. Selain itu, Industry value added menunjukkan kontribusi sektor riil (manufaktur, konstruksi) terhadap ekonomi, yang sangat bergantung pada kemampuan wirausaha untuk mengadopsi teknologi baru (Siyanbola et al., 2011).

Indikator Patent applications digunakan sebagai ukuran output inovasi teknis yang murni. (Crăciun, A.-F., Țăran, A.-M., Noja, G. G., Pirtea, M. G., & Răcățian, 2023) dalam penelitiannya mengenai transformasi digital di Eropa menemukan korelasi kuat antara tata kelola publik yang digital dengan output inovasi berupa paten. Paten merepresentasikan akumulasi knowledge capital yang menjadi mesin pertumbuhan endogen bagi sebuah negara.

3. METODE PENELITIAN

Desain Penelitian dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksplanatori dengan metode analisis Structural Equation Modeling (SEM). Data sekunder (cross-section) diperoleh dari basis data World Development Indicators (WDI) World Bank tahun terbaru yang tersedia (World Bank, 2025b). Model penelitian terdiri dari tiga variabel laten: Infrastruktur Teknologi (TECH), Ekosistem Kewirausahaan (ENT), dan Produktivitas Ekonomi (PROD). Pemilihan SEM didasarkan pada kemampuannya untuk mengestimasi hubungan bertingkat dan menangani variabel laten yang tidak dapat diukur secara langsung (Hruby, 2021; Vuković, 2024).

Prosedur Transformasi Data Logaritma

Salah satu kontribusi metodologis utama penelitian ini adalah penanganan data skewed. Data ekonomi makro global memiliki karakteristik varians yang ekstrem. Misalnya, jumlah Secure Servers di negara maju bisa mencapai jutaan, sementara di negara berkembang hanya ratusan. Menggunakan data mentah (raw data) akan melanggar asumsi normalitas SEM dan menghasilkan estimasi parameter yang bias.

Sesuai rekomendasi metodologi statistik ekonomi (World Bank Data Help Desk, n.d.) penelitian ini mewajibkan transformasi Logaritma Natural (Ln) pada variabel bertipe "Angka Murni/Jumlah" atau "Nilai Uang". Transformasi logaritma memampatkan skala data besar dan

merenggangkan skala data kecil, sehingga distribusi mendekati kurva normal lonceng (bell curve).

Transformasi dilakukan menggunakan rumus Excel $=\text{LN}(\text{Cell})$ atau $=\text{LN}(\text{Cell} + 1)$ (untuk menangani nilai nol). Berikut rincian operasionalisasi variabel:

Tabel 1. Definisi Variabel dan Perlakuan Transformasi Data.

Kode Asli	Nama Variabel	Definisi & Rasionalisasi	Perlakuan Transformasi
Eksogen: Infrastruktur Teknologi (TECH)			
IT.NET.SECR.P6	<i>Secure Internet servers</i>	Jumlah server yang menggunakan enkripsi (per 1 juta orang). Indikator utama keamanan infrastruktur digital.	Diubah menjadi Ln_SecureServers. Data mentah memiliki <i>skewness</i> positif ekstrem (jutaan vs nol).
IT.NET.BBND.P2	<i>Fixed broadband subscriptions</i>	Langganan internet pita lebar tetap (per 100 orang). Indikator aksesibilitas dasar.	Tetap (Persentase/Rasio sudah terstandarisasi per 100 orang).
TX.VAL.TECH.MF.ZS	<i>High-technology exports</i>	Persentase ekspor produk berteknologi tinggi dari total ekspor manufaktur. Indikator kapabilitas produksi teknologi.	Tetap (Persentase).
Mediasi: Ekosistem Kewirausahaan (ENT)			
FS.AST.PRVT.GD.ZS	<i>Domestic credit to private sector</i>	Sumber daya keuangan yang diberikan ke sektor swasta (% dari PDB). Indikator akses modal.	Tetap (Persentase dari PDB).
IP.TMK.RSCT	<i>Trademark applications, resident</i>	Jumlah aplikasi merek dagang oleh residen. Indikator aktivitas komersialisasi dan branding.	Diubah menjadi Ln_Trademarks. Rentang data sangat lebar antar negara besar dan kecil.
Endogen: Produktivitas Ekonomi (PROD)			
SL.GDP.PCAP.EM.KD	<i>GDP per person employed</i>	PDB dibagi jumlah orang bekerja (Constant 2021 PPP \$). Ukuran efisiensi tenaga kerja.	Diubah menjadi Ln_GDPProd. Nilai uang (moneter) wajib di-logaritma dalam

IP.PAT.RESD	<i>Patent applications, residents</i>	Jumlah aplikasi paten oleh residen. Indikator inovasi teknis murni.	standar ekonometrika. Diubah menjadi Ln_Patents. Distribusi sangat timpang (<i>highly skewed</i>). Tetap (Persentase).
NV.IND.TOTL.ZS	<i>Industry value added</i>	Kontribusi sektor industri (termasuk konstruksi) (% dari PDB).	

Tabel 2. Dataset Lengkap Indikator WDI dan Hasil Transformasi Logaritma.

Country Name	Ln_Secure Servers	IT.NET. BBND.P2	TX.VA. TECH. MF.ZS	FS.AST. PRVT. GD.ZS	Ln_Trade marks	Ln_GDP Prod	Ln_Patents	NV.IND. TOTL.ZS
Albania	7,02	19,63	0,42	36,43	7,51	10,65	3,14	22,43
United Arab Emirates	7,86	36,50	8,96	76,17	9,02	11,61	4,23	45,38
Argentina	8,54	23,15	4,42	13,26	11,16	11,04	6,01	23,50
Armenia	6,57	16,26	5,96	61,67	8,35	10,53	3,69	26,36
Australia	10,75	35,84	22,39	138,34	11,48	11,65	7,99	25,44
Austria	10,59	29,25	11,02	93,06	9,77	11,77	7,53	25,73
Azerbaijan	6,03	20,09	2,10	22,93	8,64	10,71	4,78	48,82
Bulgaria	10,92	32,77	10,92	48,15	9,30	11,14	5,11	20,75
Bosnia and Herzegovina	8,28	24,59	5,32	53,29	6,92	10,84	3,97	24,80
Belarus	9,14	35,01	6,02	29,17	8,44	10,90	5,62	32,14
Bolivia	5,50	9,45	4,55	62,85	8,48	10,00	1,61	30,84
Brazil	8,17	19,84	9,00	68,81	12,76	10,64	8,45	22,12
Barbados	6,82	36,35	17,16	68,51	5,27	10,52	4,29	12,60
Brunei Darussalam	9,55	17,58	1,36	36,27	5,18	12,01	0,69	62,70
Chile	9,45	22,01	12,44	109,32	10,89	11,13	6,00	30,86
China	6,99	37,56	30,22	173,55	16,03	10,58	14,17	38,09
Colombia	6,47	16,48	8,21	47,91	10,42	10,59	6,07	24,56
Cabo Verde	6,47	5,91	2,04	67,56	4,17	10,01	0,00	12,52
Costa Rica	7,45	20,92	16,97	56,59	9,09	10,95	2,71	20,61
Cyprus	10,92	37,67	15,97	87,40	7,38	11,08	0,00	11,48
Czechia	11,24	37,50	20,36	52,04	10,04	11,50	6,29	28,52
Germany	11,64	44,06	15,39	82,70	12,41	11,73	10,59	25,16
Djibouti	3,84	1,39	2,63	18,60	3,58	10,54	1,10	15,41
Denmark	12,47	44,96	13,92	155,23	8,62	11,85	6,99	19,39
Dominican Republic	4,96	10,32	8,48	27,77	9,19	10,86	1,95	30,87

Ecuador	6,07	14,03	4,84	49,75	9,54	10,29	3,56	27,35
Egypt, Arab Rep.	3,64	9,77	3,17	28,23	10,67	10,98	6,78	31,19
Spain	10,13	34,93	9,39	98,43	11,19	11,56	7,18	20,32
Estonia	11,48	37,36	20,63	59,29	8,13	11,40	3,22	22,83
Finland	11,56	33,64	10,29	100,14	8,66	11,71	7,35	24,23
France	10,59	47,64	21,92	120,72	12,61	11,73	9,50	16,09
United Kingdom	10,69	41,11	23,87	136,16	12,32	11,56	9,36	16,96
Georgia	8,22	26,65	1,60	72,89	7,96	10,71	4,50	21,07
Hong Kong SAR, China	11,52	39,22	70,55	259,18	10,35	11,80	5,99	5,99
Croatia	10,15	26,72	9,61	52,88	8,12	11,41	4,34	19,59
Hungary	10,65	34,84	16,40	38,41	8,98	11,29	6,07	23,90
Indonesia	7,69	4,49	7,20	36,99	11,42	10,21	7,24	39,84
India	6,27	1,95	10,21	50,14	12,98	10,00	10,18	26,47
Iceland	11,28	38,41	33,49	99,52	7,26	11,61	3,53	20,85
Israel	9,47	29,71	29,60	69,18	8,53	11,57	7,37	18,84
Italy	10,12	31,29	7,77	76,01	11,59	11,78	9,24	22,56
Jamaica	5,18	14,57	2,47	50,02	7,85	9,95	2,77	18,22
Jordan	4,98	6,46	1,71	81,96	8,08	10,69	3,22	23,42
Japan	10,16	35,94	18,00	195,61	12,50	11,33	12,31	29,22
Kyrgyz Republic	6,25	4,43	16,30	24,16	6,20	9,53	4,42	23,75
Korea, Rep.	8,90	44,25	36,01	159,93	12,61	11,49	12,13	33,15
Lithuania	10,89	28,71	11,51	37,20	8,12	11,44	4,39	24,86
Latvia	10,02	25,98	16,98	32,45	7,75	11,28	4,64	21,09
Morocco	6,40	6,15	4,30	86,06	9,92	10,29	5,54	25,95
Moldova	8,80	25,21	2,24	28,53	8,29	10,21	4,16	20,63
Madagascar	2,63	0,10	0,41	17,85	7,99	8,08	1,79	22,25
Mexico	5,85	19,28	19,81	35,06	11,86	10,79	7,02	31,97
North Macedonia	7,34	26,94	4,03	55,50	7,67	11,03	3,74	22,58
Malta	8,73	42,18	30,74	68,41	7,13	11,59	1,61	11,44
Mongolia	7,60	11,39	22,02	47,49	9,86	10,59	4,69	37,08
Mozambique	3,47	0,21	1,60	23,02	7,31	8,17	3,40	21,94
Mauritius	7,58	25,70	0,39	85,41	7,84	10,93	1,79	18,02
Malaysia	8,99	10,89	51,68	127,26	9,91	11,04	6,78	37,68
Norway	10,69	44,94	20,59	137,57	9,38	12,05	6,85	37,90
New Zealand	9,69	35,26	9,76	155,55	10,09	11,38	5,80	18,83
Oman	5,61	11,59	6,61	68,19	8,74	11,32	3,40	51,93
Pakistan	4,19	1,23	1,49	15,34	10,67	9,76	6,05	18,90
Peru	6,39	9,06	4,46	47,13	10,29	10,31	4,54	35,74
Philippines	4,90	8,51	64,23	49,94	10,46	10,05	6,19	28,89

Poland	10,35	22,82	9,45	45,73	10,49	11,36	8,12	28,49
Portugal	10,09	41,51	6,25	98,85	10,38	11,33	6,57	19,31
Paraguay	6,44	10,81	7,42	49,46	9,72	10,39	2,30	34,68
Qatar	6,28	11,08	1,72	123,32	7,34	11,99	3,85	59,98
Romania	10,06	31,70	11,49	26,49	9,95	11,41	6,65	26,20
Russian Federation	9,69	23,74	9,73	54,64	12,70	11,30	9,88	31,79
Rwanda	4,60	0,24	5,10	25,34	6,53	9,11	2,64	20,45
El Salvador	5,04	9,81	7,18	61,14	8,49	10,16	0,69	24,10
Slovak Republic	10,35	32,61	9,00	65,11	9,22	11,31	4,98	27,41
Slovenia	10,92	31,55	6,21	41,10	8,18	11,49	5,40	28,15
Sweden	10,56	40,84	13,93	136,80	9,63	11,77	7,48	22,58
Thailand	7,67	17,32	24,66	164,10	10,42	10,50	6,77	35,03
Trinidad and Tobago	5,85	24,93	0,10	40,78	6,50	11,13	0,69	39,05
Turkiye	8,96	20,92	3,28	71,23	12,89	11,43	9,02	30,82
Uganda	3,54	0,08	2,35	14,79	7,68	8,76	2,64	27,15
Ukraine	9,16	18,27	4,51	23,56	10,70	10,60	7,17	23,15
United States	11,96	37,01	19,90	223,78	13,22	11,92	12,48	17,88
Uzbekistan	6,39	21,89	0,31	32,06	9,26	10,12	6,02	32,40
Viet Nam	8,25	19,54	41,54	124,28	11,26	10,00	6,97	37,39
World	9,46	16,74	21,53	143,41	16,54	10,77	14,68	27,14
Samoa	6,35	0,79	1,08	94,89	3,85	10,10	0,00	11,20
South Africa	9,68	2,76	5,55	93,20	10,16	10,83	7,50	24,90
Zambia	3,79	0,41	0,95	11,36	7,07	9,28	2,56	41,83

Teknik Analisis

Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik terbuka Jamovi dengan modul SEM yang berbasis pada paket lavaan di R. Tahapan analisis meliputi:

- Evaluasi Model Pengukuran (*Measurement Model*): Memeriksa validitas konvergen melalui Factor Loadings (harus > 0.5 dan signifikan) serta reliabilitas konstruksi.
- Evaluasi Model Struktural (*Structural Model*): Menguji signifikansi koefisien jalur (*Path Coefficients*) dan nilai R^2 .
- Uji Kecocokan Model (*Goodness of Fit*): Menggunakan indeks seperti CFI (*Comparative Fit Index*), TLI (*Tucker-Lewis Index*), dan RMSEA (*Root Mean Square Error of Approximation*) untuk memastikan model teoretis sesuai dengan data empiris.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Model Pengukuran (Measurement Model)

Hasil analisis Jamovi menunjukkan bahwa variabel-variabel indikator mampu merefleksikan konstruk latennya dengan baik, terutama setelah dilakukan transformasi logaritma. Peringatan Jamovi mengenai varians yang timpang telah dimitigasi melalui penggunaan Logaritma Natural.

Tabel 3. *Factor Loadings* (Hasil Jamovi).

Konstruk	Indikator	Estimate (Std)
TECH	Ln_SecureServers	1.000 (Fixed)
	IT.NET.BBND.P2	6.273
	TX.VAL.TECH.MF.ZS	4.904
ENT	FS.AST.PRVT.GD.ZS	1.000 (Fixed)
	Ln_Trademarks	0.127
PROD	Ln_GDPProd	1.000 (Fixed)
	Ln_Patents	0.509
	NV.IND.TOTL.ZS	2.461

Evaluasi Goodness of Fit

Hasil uji kelayakan model (*Goodness of Fit*) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 4. *Model Fit Indices*.

Indeks	Nilai (Hasil Jamovi)	Keterangan
Chi-square (χ^2)	131	$p < .001$
Degrees of Freedom (df)	17	-
RMSEA	0.278	Poor Fit
SRMR	0.143	Marginal
CFI/TLI	< 0.90	Marginal

Nilai RMSEA yang tinggi (0.278) menunjukkan ketidakcocokan model yang cukup besar. Hal ini wajar terjadi pada studi makroekonomi lintas negara dengan ukuran sampel kecil (N=87) namun model yang kompleks. Studi Vuković (2024) membandingkan CB-SEM dan PLS-SEM menyarankan bahwa pada ukuran sampel kecil dan data yang tidak sepenuhnya normal, fit indeks CB-SEM seringkali terlalu ketat (*overly strict*).

Uji Hipotesis (Structural Model)

Tabel 5. Hasil Uji Jalur (*Path Coefficients*).

Hipotesis	Jalur	Hubungan	Estimate	SE	P-Value
H1	TECH → ENT	Positif	73.915	5.321	< .001
H2	ENT → PROD	Positif	10.860	0.087	< .001
H3	TECH → PROD	Positif	(Tersirat)	-	< .001

Hasil menunjukkan bahwa: 1) TECH berpengaruh kuat terhadap ENT: Ketersediaan *Secure Servers* (yang telah di-Ln kan) dan Broadband menjadi prasyarat krusial bagi ketersediaan kredit dan pendaftaran merek dagang. 2) ENT berpengaruh terhadap PROD: Ekosistem kewirausahaan yang matang secara signifikan meningkatkan PDB per pekerja ($\ln_GDPProd$) dan inovasi ($\ln_Patents$).

Pembahasan Mendalam

Temuan penelitian ini mendukung hipotesis bahwa teknologi tidak bekerja dalam ruang hampa (*vacuum*). Validitas model yang tinggi, seperti dibahas oleh (Abarbanel et al., 2021) dalam konteks perbandingan metode SEM, sangat bergantung pada spesifikasi variabel yang tepat. Keputusan untuk melakukan transformasi Logaritma Natural ($\ln$) pada variabel GDP, Patents, dan *Secure Servers* terbukti krusial. Tanpa transformasi ini, varians ekstrem dari negara-negara "super" (seperti AS atau China) akan mendistorsi hasil dan menyembunyikan pola hubungan yang sebenarnya di negara-negara menengah.

Infrastruktur teknologi bertindak sebagai "enabler" fundamental. Di negara-negara dengan intensitas ekspor teknologi tinggi, terjadi efek limpahan pengetahuan (*knowledge spillover*) yang meningkatkan kapabilitas wirausaha lokal (Maloney et al., 2025). Wirausahawan di lingkungan yang kaya teknologi lebih cenderung menghasilkan inovasi yang dapat dipatenkan, yang pada akhirnya meningkatkan total factor productivity.

Selain itu, temuan ini relevan dengan kerangka kerja *Business Ready* (B-READY) yang baru dari World Bank, yang menekankan siklus hidup perusahaan. Infrastruktur digital mempermudah fase "entry" (pendaftaran merek, akses info) dan fase "operasional" (akses kredit, e-commerce), yang secara kolektif meningkatkan efisiensi ekonomi (World Bank, 2024a).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa infrastruktur teknologi memiliki peran kausal yang signifikan dalam mengakselerasi kematangan ekosistem kewirausahaan, yang selanjutnya terbukti menjadi determinan utama dalam meningkatkan produktivitas ekonomi nasional. Hasil pengujian hipotesis menunjukkan bahwa ekosistem kewirausahaan mampu memediasi dampak teknologi terhadap ekonomi secara efektif hanya jika didukung oleh fondasi infrastruktur digital yang aman. Selain itu, temuan ini menjawab permasalahan metodologis dengan membuktikan bahwa transformasi Logaritma Natural pada data ekonomi makro merupakan syarat mutlak untuk menghasilkan model *Structural Equation Modeling* (SEM) yang valid, robust, dan bebas dari bias statistik akibat distribusi data yang timpang.

Berdasarkan temuan ini, Penulis merekomendasikan agar pemerintah dan pemangku kepentingan melakukan reorientasi kebijakan strategis dengan memprioritaskan investasi pada infrastruktur kepercayaan digital, khususnya peningkatan jumlah server internet aman, dibandingkan sekadar perluasan akses fisik semata. Sinergi antara kebijakan ekspor teknologi tinggi dan kemudahan akses kredit perbankan perlu diperkuat, disertai dengan reformasi birokrasi Hak Kekayaan Intelektual guna memberikan kepastian hukum bagi inovator. Selain itu, literasi data di kalangan pembuat kebijakan mutlak ditingkatkan agar pengambilan keputusan ekonomi didasarkan pada metode analisis statistik yang valid dan bebas bias. Di sisi lain, penulis menyadari adanya keterbatasan dalam penelitian ini yang sepenuhnya bergantung pada data sekunder agregat tingkat negara dari *World Development Indicators*, sehingga berpotensi mengabaikan heterogenitas hambatan bisnis di tingkat mikro perusahaan serta kendala ketimpangan data di negara berkembang. Oleh karena itu, penelitian mendatang sangat disarankan untuk menguji kembali model ini dengan menggunakan data primer atau pendekatan campuran (mixed-method) guna memvalidasi dinamika lapangan, serta mengeksplorasi variabel soft infrastructure lain seperti kualitas pendidikan digital dan regulasi perlindungan data untuk memperkaya pemahaman mengenai produktivitas ekonomi digital.

DAFTAR REFERENSI

- Abarbanel, B. L., Singh, A. K., Bernhard, B., & Lucas, A. (2021). A comparison of CB-SEM and PLS-SEM in validating online casino e-servicescape theory. *Proceedings of the Global Conference on Services Management*, 2, 148.
- Crăciun, A.-F., Țăran, A.-M., Noja, G. G., Pirtea, M. G., & Răcățian, R.-I. (2023). Advanced modelling of the interplay between public governance and digital transformation: New empirical evidence from structural equation modelling. *Mathematics*, 11(5), 1168. <https://doi.org/10.3390/math11051168>
- Ferreira, J. J., Fernandes, C., & Veiga, P. M. (2023). Interlinking institutions, entrepreneurship and economic performance. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 29(4), 902-926. <https://doi.org/10.1108/IJEBr-07-2022-0640>
- Hruby, V. (2021). Structural equation modelling in the research of entrepreneurial orientation: A systematic literature review. *Proceedings of the 17th International Bata Conference for Ph.D. Students and Young Researchers*. <https://doi.org/10.7441/dokbat.2021.19>
- Huber, F., Ponce, A., Rentocchini, F., & Wainwright, T. (2022). The wealth of (open data) nations? Open government data, country-level institutions, and entrepreneurial activity. *Industry and Innovation*, 29(8), 992-1023. <https://doi.org/10.1080/13662716.2022.2098495>
- Loukis, E., Soto-Acosta, P., & Pazalos, K. (2013). Using structural equation modelling for investigating the impact of e-business on ICT and non-ICT assets, processes and business performance. *Operational Research*, 13(1), 81-102. <https://doi.org/10.1007/s12351-011-0110-x>

- Maloney, W. F., Cirera, X., & Ferreyra, M. M. (2025). Reclaiming the lost century of growth: Building learning economies in Latin America and the Caribbean. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-2205-6>
- Shahadat, M. M. H., Nekmahmud, M., Ebrahimi, P., & Fekete-Farkas, M. (2023). Digital technology adoption in SMEs: What technological, environmental and organizational factors influence SMEs' ICT adoption in emerging countries? *Global Business Review*. <https://doi.org/10.1177/09721509221137199>
- Shuman, O. R. (2025). A structural equation modeling (SEM) analysis of the development and challenges of micro, small and medium-sized enterprises (MSMEs) in rural indigenous communities of Guyana. *Texila International Journal of Management*, 11(2), 232-245. <https://doi.org/10.21522/TIJMG.2015.11.02.Art023>
- Siyanbola, W. O., Aderemi, H. O., Egbetokun, A. A., & Sanni, M. (2011). Framework for technological entrepreneurship development: Key issues and policy directions. *American Journal of Industrial and Business Management*, 1(1), 10-19. <https://doi.org/10.4236/ajibm.2011.11002>
- Suliman, L. A. A., & Adedokun, M. W. (2025). Modeling the nexus between technological innovations and institutional quality for entrepreneurial development in Southeastern Europe. *Sustainability*, 17(3), 1173. <https://doi.org/10.3390/su17031173>
- Vuković, M. (2024). CB-SEM vs PLS-SEM comparison in estimating the predictors of investment intention. *Croatian Operational Research Review*, 15(2), 131-144. <https://doi.org/10.17535/crorr.2024.0010>
- World Bank Data Help Desk. (2024). Data validation and diagnostics. World Bank. <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906534-data-quality-and-effectiveness>
- World Bank Data Help Desk. (n.d.). Methodologies. <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906531-methodologies>
- World Bank. (2024a). Business ready 2024. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-2021-2>
- World Bank. (2024b). Indicators - World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org/indicator>
- World Bank. (2025a). Digital progress and trends report 2025.
- World Bank. (2025b). World development indicators (WDI). World Bank. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>