

STRATEGY TO SUPPORT SDGs: SPATIAL ANALYSIS OF DIGITAL TRANSFORMATION AND REGIONAL GOVERNMENT COMPETITION ON GREEN DEVELOPMENT EFFICIENCY IN EAST JAVA

Moh Najikhul Fajri*¹ 

¹Faculty of Economics and Business, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of digital transformation and local government competition on green development efficiency. This study uses panel data of 38 districts/cities in East Java during 2015-2022. This study uses slack-based measurement efficiency analysis and geography-weighted panel regression: spatial durbin model. The results show that in general, East Java has not yet reached the absolute level of technical efficiency. Meanwhile, specifically, digital transformation has a positive effect on green development efficiency. Meanwhile, local government competition does not lead to green development efficiency. The decline in green development efficiency is driven by internet penetration without government moderation and agriculture-oriented regions. Interestingly, this increase in green development efficiency induces positive spillovers for surrounding regions. The implications of this study include the need for further elaboration and exploration related to efforts to encourage input productivity. On the other hand, comprehensive mitigation from the central and local governments related to digital transformation, especially the use of the internet. Thus, green development efficiency can be achieved optimally.

Keywords: Digitalization; Green Development Efficiency; Local Government Competition

RIWAYAT ARTIKEL

Tanggal Masuk:
29 Juni 2023
Tanggal Revisi:
23 September 2023
Tanggal Diterima:
24 September 2023
Tersedia Online:
29 September 2023

*Korespondensi:
Moh Najikhul Fajri
E-mail: moh.najikhul.fajri-2021@feb.unair.ac.id

ABSTRAK

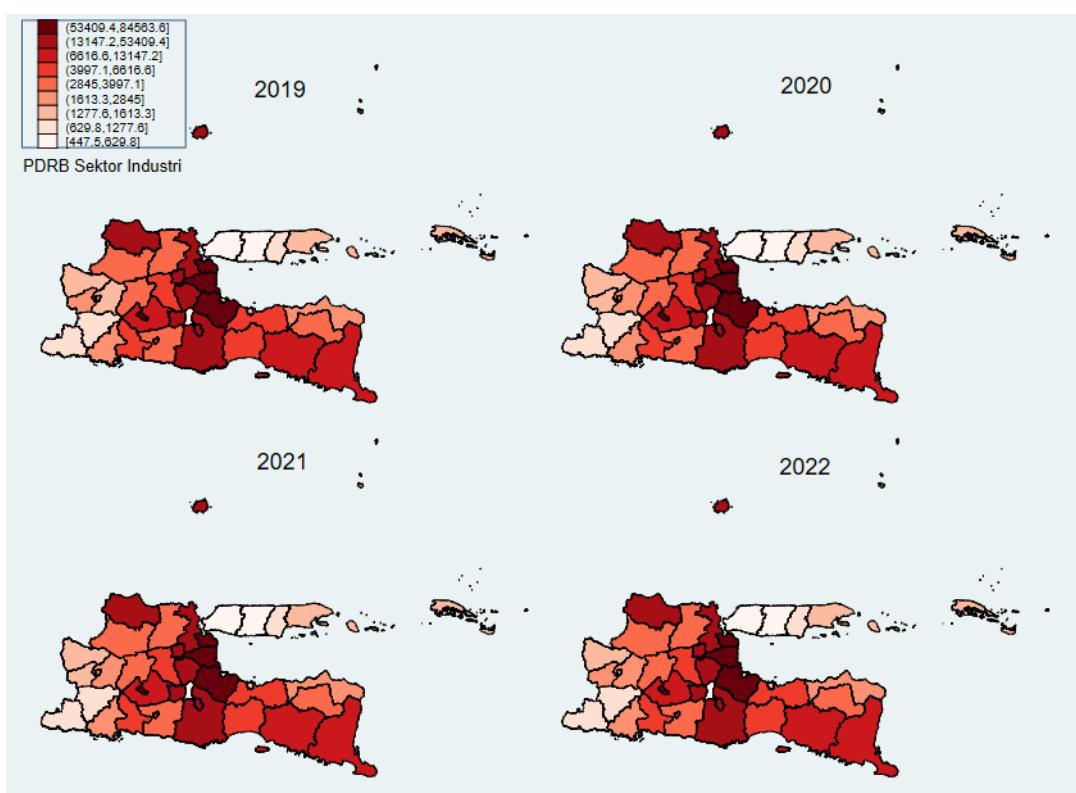
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh transformasi digital dan kompetisi pemerintah daerah terhadap efisiensi pembangunan hijau. Penelitian ini menggunakan data panel 38 kabupaten/kota di Jawa Timur selama 2015-2022. Penelitian ini menggunakan analisis efisiensi slack based measurement dan regresi panel pembobotan geografi: spatial durbin model. Hasilnya menunjukkan bahwa secara umum Jawa Timur belum mencapai tingkat efisiensi teknis yang absolut. Sementara itu, secara spesifik transformasi digital berpengaruh positif terhadap efisiensi pembangunan hijau. Di sisi yang lain, kompetisi pemerintah daerah tidak menyebabkan efisiensi pembangunan hijau. Penurunan efisiensi pembangunan hijau didorong oleh penetrasi internet tanpa moderasi pemerintah dan daerah yang berorientasi ke sektor pertanian. Menariknya, kenaikan efisiensi pembangunan hijau ini mendorong spillover positif bagi daerah sekitarnya. Implikasi dari penelitian ini antara lain, perlu adanya elaborasi dan eksplorasi lebih lanjut terkait upaya mendorong produktivitas input. Di sisi lain, mitigasi secara menyeluruh dari pemerintah pusat dan daerah terkait transformasi digital khususnya penggunaan internet. Dengan demikian, efisiensi pembangunan hijau dapat dicapai dengan optimal.

Kata Kunci: Digitalisasi; Efisiensi Pembangunan Hijau; Kompetisi Pemerintah Daerah

JEL : O22, O44, O32

Pendahuluan

Jawa Timur merupakan provinsi dengan potensi kemajuan ekonomi yang cukup pesat di Indonesia. Kedudukannya sebagai promotor sekaligus interkoneksi bagi Indonesia Timur membuatnya menjadi salah satu pemeran penting dalam menavigasi ekonomi nasional. Berdasarkan [BPS, \(2023\)](#), kinerja pertumbuhan ekonomi Jawa Timur pada tahun 2022 pulih pasca pandemi COVID-19 telah mencapai 5,34% dan tingkat harga di level yang cukup rendah sebesar 0,6 menjadikannya untuk makintumbuh secara impresif. Di sisi lain, konsentrasi struktur ekonomi yang berorientasi ke sektor industri pengolahan membuat Jawa Timur berpeluang untuk membuka kesempatan kerja bagi khalayak. Secara riil, tingkat pengangguran terbuka Jawa Timur pada tahun 2022 sebesar 5,49% lebih rendah jika dibandingkan dengan periode sebelumnya 2021 yaitu sebesar 5,79%. Kondisi ini juga sejalan dengan penurunan angka kemiskinan dari 11,40 pada 2021 dan menurun menjadi 10,38 pada 2022. Ini menandakan bahwa ada korelasi spesifik bahwa industrialisasi turut meningkatkan taraf hidup penduduk Jawa Timur.

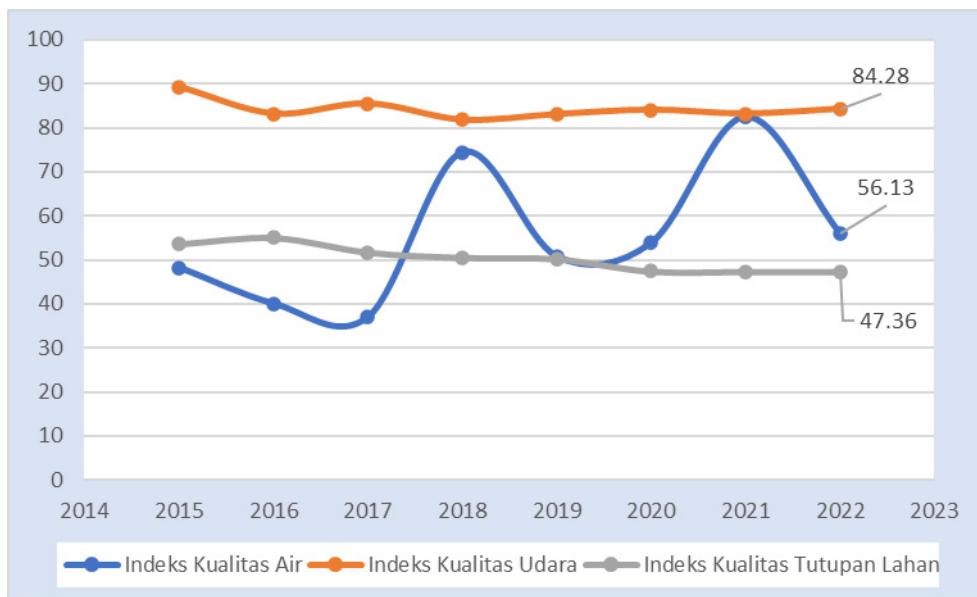


Sumber: BPS (2022), data diolah

Gambar 1: Perkembangan *Leading Industrial Region* di Jawa Timur

Konsentrasi struktur ekonomi Jawa Timur yang berorientasi di sektor Industri mendorong pemerintah untuk mengaktualisasi pembangunan infrastruktur secara fisik. Kondisi ini kemudian akan berimplikasi pada potensi dualisme *multiple effect* atas pembangunan tersebut. Pada kondisi *spread effect* misalnya, adanya pembangunan yang cukup masif mendorong peningkatan aliran modal untuk masuk ke Jawa Timur sehingga menciptakan peluang besar untuk ekspansi ekonomi yang lebih luas. Berdasarkan [\(BPS, 2022a\)](#), setidaknya komponen Investasi dalam produk domestik bruto meningkat dari 4,57% menjadi 6,10%. Di sisi lain, kondisi *backward effect* turut menyebabkan peningkatan laju urbanisasi dan pembukaan lahan secara masif sehingga mendorong kualitas lingkungan hidup makin fluktuatif. Berdasarkan proyeksi [\(BPS, 2022b\)](#), populasi penduduk perkotaan di Jawa Timur

selanjutnya meningkat sepanjang 2010 hingga 2035 dengan rata-rata konsentrasi sebesar 57%. Sementara itu, indeks kualitas lingkungan hidup dari aspek komposisi air Jawa Timur mengalami penurunan dari yang sebelumnya 82,46% pada 2021 menjadi 52,13% pada 2022. Ini menandakan bahwa adanya penetrasi sektor industri juga akan menyebabkan masalah serius bagi ekosistem keberlanjutan.



Sumber: Kemenlh (2022)

Gambar 2: Perkembangan Komposisi Indeks Kualitas Lingkungan Hidup Jawa Timur

Pembangunan hijau menjadi salah satu alternatif bagi kemajuan sektor industri secara masif khususnya dalam menjaga keberlanjutan lingkungan (Choi, 2009). Konsep pembangunan hijau mengacu pada pembangunan ekonomi yang berkelanjutan dan berbasis pada sumber daya yang terbarukan, serta mengurangi dampak negatif terhadap kerusakan lingkungan dan meningkatkan kualitas lingkungan hidup (Feng & Chen, 2018; Zhu et al., 2019). Dalam pembangunan hijau, sumber daya alam diolah secara efisien dan dikembangkan secara berkelanjutan untuk meningkatkan ketersediaan sumber daya alam bagi generasi yang akan datang. Pembangunan hijau mempromosikan penggunaan sumber daya terbarukan dan teknologi bersih yang mengurangi emisi karbon, sehingga membantu melawan perubahan iklim dan meningkatkan kualitas udara (Shao et al., 2016; Yang et al., 2019). Pembangunan hijau dapat mendorong inovasi dan investasi yang ramah lingkungan, meningkatkan daya saing dan mempromosikan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan (Munawaroh & Fajri, 2023; Qiu et al., 2021).

Transformasi digital (digitalisasi) merupakan langkah tercepat dalam menyuksesi pembangunan hijau yang berkelanjutan. Digitalisasi menjadi katalisator bisnis dan kecepatan berpikir manusia serta pemangku kebijakan untuk merumuskan berbagai rekomendasi (Hilbert, 2020). Dengan adanya digitalisasi ini mendorong penciptaan efisiensi bisnis sehingga secara langsung berimplikasi pada produktivitasnya, melalui proses otomatisasi, pengurangan biaya dan waktu, dan percepatan pengambilan keputusan makin baik (Kleinert, 2021). Dengan demikian, transformasi digital merupakan salah satu faktor penting yang dapat mendorong kemajuan di berbagai bidang dan akan menjadi titik fokus bagi banyak organisasi maupun pemerintahan (Danielsen et al., 2022; Gongetal., 2020). Dalam era digital seperti saat ini, banyak institusi dan negara yang mulai berinvestasi dalam transformasi digital sebagai upaya strategi meningkatkan pertumbuhan ekonomi dalam jangka panjang. Kondisi ini dapat dicapai melalui

peningkatan produktivitas, daya saing, perluasan pangsa pasar, dan penciptaan kesempatan kerja baru. Melalui penggunaan teknologi yang lebih canggih seperti artificial intelligence dan robotik maka dimungkinkan akan terjadi perubahan produktivitas tenaga kerja kedepannya (Mahmood, 2016). Sementara itu, di era global ini organisasi semakin terbantu dengan adanya peningkatan daya saing dengan mengurangi biaya produksi dan meningkatkan efisiensi secara proporsional. Tidak hanya itu, dengan melibatkan transformasi digital ini keterjangkauan konsumen semakin meluas dan mengubah pola pikir konsumen dalam jangka panjang (Koo et al., 2022). Di samping itu, transformasi digital juga dapat meningkatkan kreativitas dan inovasi dengan memberikan akses ke data dan teknologi baru serta memungkinkan kolaborasi yang efektif melalui platform digital (Nambisan et al., 2019). Terakhir, penciptaan lapangan pekerjaan baru juga diproyeksikan makin kondusif dengan adanya keahlian baru yang lebih mutakhir dan berbasis teknologi (Chen & Kim, 2023).

Jawa Timur sebagai provinsi yang berorientasi ke sektor Industri kini telah menunjukkan upaya dalam mencapai pembangunan hijau yang efisien. Hal ini dibuktikan dengan pergerakan historis indeks daya saing digitalnya yang mengalami perbaikan dari 45,6% ke 54,1% pada 2023 (East Ventures, 2023). Ini menandakan adanya pola transformasi yang mulai menunjukkan tensi positif di berbagai input maupun penunjangnya. Dari sisi input misalnya, pengembangan kawasan ekonomi khusus turut menyumbang kenaikan sebesar 10,7%. Sementara itu, dari sisi penunjang khususnya pengeluaran teknologi, informasi, dan komunikasi serta inklusivitas keuangan turut mendorong kenaikan daya saing digital hingga 22,35%. Kondisi diikuti oleh daya saing antar daerah yang menunjukkan tren positif sehingga mendorong kenaikan kepercayaan publik hingga 21,2%.



Sumber: [East Ventures \(2023\)](#)

Gambar 3: Indeks Daya Saing Digital Jawa Timur

Beberapa penelitian terdahulu telah banyak mengkaji tentang efisiensi pembangunan hijau. Sebagian besar penelitian pembangunan hijau sering dikaitkan dengan desentralisasi fiscal (Li & Xu, 2023; Liu & Wu, 2022; Wang et al., 2022; Wang et al., 2022; Zhu et al., 2022). Di mana bahasannya difokuskan pada upaya pemerintah daerah dalam mendeklasifikasi fiskalnya untuk keperluan lingkungan. Sementara itu, beberapa penelitian lainnya juga ada yang mencoba mengaitkan pembangunan hijau dengan inovasi daerah. Di mana daerah dengan mudahnya memprediksi inovasi dan mengaitkan aspek pembiayaan inovasi ke dalam pemodelan (Li et al., 2020; Yuan & Xiang, 2018). Di sisi lain, penelitian tentang pembangunan hijau yang dikaitkan dengan transformasi digital dan kompetisi pemerintah daerah belum banyak dikaji lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini semakin penting peranannya mengingat ketersediaan kajian masih relatif rendah dan kebutuhan pemerintah daerah dalam mengaktualisasi transformasi digital semakin nyata. Dengan demikian, penelitian ini

bertujuan untuk meninjau pengaruh transformasi digital dan kompetisi pemerintah daerah terhadap efisiensi pembangunan hijau di Jawa Timur. Penelitian ini diharapkan memberikan dampak yang cukup masif bagi eksistensi pembangunan berbasis lingkungan di Jawa Timur sekaligus mengaktualisasi peran penting digitalisasi dalam menavigasi perekonomian yang makin inklusif.

Telaah Literatur

Beberapa penelitian sebelumnya telah banyak membahas tentang efisiensi pembangunan hijau. Pertama kalinya penelitian efisiensi pembangunan hijau dikenalkan oleh [Ahmed \(2012\)](#) dan [Choi \(2015\)](#). [Ahmed \(2012\)](#) menyatakan bahwa pengukuran khusus inefisiensi dilakukan supaya proses pembangunan ekonomi terhindar dari kerusakan lingkungan. Sementara itu, [Choi \(2015\)](#) mengungkapkan bahwa efisiensi pembangunan dapat tercapai apabila emisi karbon dioksida dapat dikendalikan. Kondisi ini menyebabkan diversifikasi penelitian yang kemudian diarahkan pada aspek pengukuran efisiensi dan determinan pembangunan hijau. Pada penelitian terdahulu, pengukuran efisiensi pembangunan hijau lebih sering menggunakan *Data Envelopment Analysis* (DEA) ([Wu et al., 2020](#)) dan *Slack Base Measurement and Super Efficiency Slack Base Measurment* (SBM dan SESBM) di mana dalam penerapannya akan menggunakan input dan output yang bervariasi ([Porter & van der Linde, 1995](#); [Zhou et al., 2020](#)). Pada pemodelan [Wu et al. \(2020\)](#) menemukan bahwa dengan menggunakan DEA setidaknya terdapat beberapa wilayah yang tidak efisien dalam pembangunan hijau. Sementara itu, [Zhou et al. \(2020\)](#) telah memprediksi bahwa dengan melibatkan SBM paling tidak terdapat daerah-daerah yang terkena dampak Spillover akibat aktivitas pembangunan hijau di kawasan pusat perekonomian. Di sisi lain, temuan kuat yang menyatakan bahwa DEA tidak dapat diestimasi dengan pasti memaksa beberapa penelitian harus menggunakan SESBM ([Chen & Lee, 2020](#)).

Pembangunan hijau sendiri dapat diartikan sebagai pembangunan yang berkelanjutan, ekonomi rendah karbon, dan transformasi hijau. Beberapa kajian telah dilakukan tentang hubungan ekonomi digital dengan pembangunan hijau. Studi [Ma & Zhu \(2022\)](#) dan [Han & Liu \(2022\)](#) menemukan bahwa ekonomi digital berpengaruh positif secara signifikan terhadap pembangunan hijau berkualitas tinggi. Peningkatan ekonomi digital dapat berkontribusi secara signifikan terhadap inovasi hijau, misalnya dengan meningkatkan keterbukaan ekonomi dan memperluas potensi pasar ([Luo et al., 2022](#)). [Luo et al \(2022\)](#) dalam studinya juga menunjukkan bahwa secara tidak langsung ekonomi digital melalui inovasi teknologi, akumulasi sumber daya manusia, dan perbaikan struktur industri mempromosikan efisiensi pembangunan hijau. Inovasi teknologi melalui efek evolusioner, difusi teknologi baru, dan efek integrasi dapat menjadikan teknologi suatu industri memiliki nilai tambah yang tinggi, sehingga dapat mempercepat transformasi hijau ([Li et al., 2022](#)).

[Li et al., \(2023\)](#) menyatakan bahwa tingkat ekonomi digital mampu meningkatkan investasi hijau melalui tiga aspek, yaitu menghemat energi dan mengurangi polusi, mendorong pengembangan keuangan hijau, dan memfasilitasi pertumbuhan ekonomi. Industri digital saat ini dengan perkembangan internet yang pesat secara signifikan dapat mengurangi pencemaran ([Raihan et al., 2023](#); [Ren et al., 2023](#)). Pertumbuhan ekonomi digital juga sepenuhnya mampu mengintegrasikan sumber daya yang ramah lingkungan secara tepat waktu ke dalam pola konsumsi individu, misalnya membeli peralatan maupun kendaraan dengan hemat energi ([Hao et al., 2023](#)). Teknologi digital yang semakin canggih mendorong inovasi dalam model bisnis dan pada akhirnya meningkatkan teknologi produksi ([Wen et al., 2023](#)), sehingga dapat mengurangi emisi polusi dari industri-industri yang banyak menghabiskan energi dan berdampak pada pencemaran ([Llopis-Albert et al., 2021](#)).

Wu et al., (2020) dalam studinya menemukan dampak negatif kompetisi pemerintah daerah terhadap pembangunan hijau. Dampak adanya persaingan pemerintah daerah dapat mengurangi efektivitas pembangunan hijau. Meningkatnya persaingan pemerintah daerah menjadikan peran desentralisasi lingkungan sebagai promotor pembangunan hijau akan berkurang. Deng et al. (2019) menyatakan bahwa meningkatnya persaingan daerah akan mendorong pemerintah untuk meringankan kendala maupun permasalahan terkait lingkungan, sehingga hal tersebut akan mengurangi dampak positif pajak lingkungan pada inovasi teknologi hijau. Di sisi yang lain, Zhang et al. (2017) menyatakan bahwa adanya persaingan antara pemerintah daerah, aturan-aturan terkait lingkungan sering diturunkan untuk menarik investasi asing, dan hal tersebut dapat menyebabkan kualitas lingkungan menurun. Bahkan, perilaku “free riding” yang diadopsi oleh pemerintah daerah menyebabkan tata Kelola lingkungan tidak efisien (Shen & Zhou, 2020).

Metode Penelitian

Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa panel 38 kabupaten/kota di Provinsi Jawa Timur selama tahun 2015-2022. Penggunaan data dari 2015 dimaksudkan menyesuaikan proses adaptasi Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Nomor 55 Tahun 2015. Pada peraturan tersebut limitasi aktivitas yang merusak lingkungan mulai dicanangkan untuk menghindari ketidakseimbangan ekosistem. Untuk itu, tahun permulaan sangat relevan untuk diterapkan. Adapun data-data pendukungnya antara lain penambahan modal tetap bruto, jumlah tenaga kerja, konsumsi listrik, produk domestik bruto, indeks kualitas lingkungan hidup, neraca transaksi pengeluaran pemerintah, daya saing digital, pengguna internet, alokasi dana untuk riset dan pengembangan, alokasi dana untuk lingkungan, populasi, PDB sektor pertanian, sektor industri pengolahan, dan pertambangan. Masing-masing data tersebut tersedia secara terbuka dan semi-terbuka di BPS dan EDCI-Ventures.

Model Empiris

Efisiensi Pembangunan Hijau

Berdasarkan penelitian sebelumnya, efisiensi adalah pengukuran yang paling mendekati indikasi pembangunan hijau. Hal ini dikonstruksi secara langsung dengan mempertimbangkan aspek input dan outputnya. Pada penelitian ini akan menggunakan *slack based model* di mana bahwa $K(k = 1, 2, \dots, K)$ keputusan, penggunaan $N(n = 1, 2, \dots, N)$ input, sejumlah $M(m = 1, 2, \dots, M)$ output yang diharapkan, dan $I(i = 1, 2, \dots, I)$ output yang diharapkan (*another desirable output*) pada kabupaten/kota j di Jawa Timur dalam kurun tahun- t tertentu. Adapun penghitungan efisiensi pembangunan hijau dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\rho_{it} = \min \left[\frac{1 - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{s_{nt}^x}{x_{nt}^j}}{1 - \frac{1}{M+1} \left(\sum_{m=1}^M \frac{s_{mt}^y}{x_{mt}^j} + \sum_{i=1}^I \frac{s_{it}^b}{x_{it}^j} \right)} \right] \quad (1)$$

$$s.t \sum_{k=1}^K z_k s_{nt}^m + s_{nt}^x = x_{nt}^j, \text{ di mana } n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K z_k s_{mt}^k - s_{mt}^y = y_{mt}^j, \text{ di mana } m = 1, 2, \dots, M \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K z_k s_{it}^k - s_{it}^b = b_{it}^j, \text{ di mana } i = 1, 2, \dots, I \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K z_k = 1 \quad (5)$$

$$z_k \geq 0, s_{nt}^x \geq 0, s_{mt}^y \geq 0, \text{ dan } s_{it}^b \geq 0 \quad (6)$$

Pada proses pengukurannya, efisiensi pembangunan hijau akan menggunakan perbandingan input dan output untuk mencapai informasi yang efisien dari ketiga indikator berupa ekonomi, sumber daya alam, dan lingkungan ekologis. Di mana ketiganya merupakan faktor penggerak efektivitas pembangunan hijau dari sisi regional. Penelitian serupa dilakukan oleh [Tone & Tsutsui \(2010\)](#) yang menggunakan informasi kinerja ekonomi sebagai input dan output faktor produksi. Adapun input faktor produksinya mencakup investasi, tenaga kerja, dan konsumsi energi. Sementara itu, produk domestik bruto dan polusi udara digunakan sebagai output faktor produksi. Atas dasar tersebut maka kemudian penelitian ini menggunakan beberapa indikator yang akan dipakai sebagai upaya menentukan efisiensi, adapun indikator tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 1: Indikator Penyusun Efisiensi Pembangunan Hijau

Komponen	Variabel	Definisi Variabel	Satuan	Sumber
Input	Investasi	Pembentukan Modal Tetap Bruto	Juta rupiah	BPS
	Tenaga Kerja	Jumlah angkatan kerja yang bekerja	Orang	BPS
	Konsumsi Energi Listrik	Penggunaan listrik regional	GwH	PLN
Output	PDRB	Produk Domestik Regional Bruto Rill	Juta rupiah	BPS
	IKLH*	Indeks Kualitas Lingkungan Hidup	Per센	KemenKLH

*Dihitung melalui 30% x Indeks Kualitas Air + 30% x Indeks Kualitas Udara + 40% Indeks Kualitas Tutupan Lahan

Kompetisi Pemerintah Daerah

Kompetisi pemerintah daerah ditentukan melalui pengkuran persaingan desentralisasi fiskal. Ini menandakan bahwa semakin tinggi tingkat persaingan desentralisasi fiskal maka makin monopoli daerah tersebut dalam mengakomodasi berbagai kebijakan yang ada di dalamnya. Untuk itu model kompetisi pemerintah daerah secara sederhana dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$fc_{it} = \frac{pfr_{it} - fe_{it}}{pfr_{it}}, pfr_{it} \neq 0 \quad (7)$$

Di mana fc_{it} merupakan kompetisi fiskal, pfr_{it} merupakan jumlah pendapatan daerah, fe_{it} merupakan jumlah belanja daerah. Pada kesempatannya apabila nilai kompetisinya relatif besar maka *pressure* daerah untuk menggunakan anggaran jauh lebih tinggi sehingga dapat mendelegasikan kebijakan melalui independensi anggaran.

Tabel 2: Komponen Kompetisi Fiskal

Komponen	Variabel	Definisi	Unit	Sumber
Fc	pfr	Jumlah dari pendapatan asli daerah, dana alokasi umum-khusus, dan dana bagi hasil	Miliar rupiah	SIKD Kemenkeu
	fde	Jumlah belanja daerah provinsi	Miliar rupiah	SIKD Kemenkeu

Pengaruh Transformasi Digital dan Kompetisi Pemerintah Daerah terhadap Efisiensi Pembangunan Hijau

Pengaruh transformasi digital dan kompetisi pemerintah daerah terhadap efisiensi pembangunan hijau diestimasi dengan menggunakan regresi panel pembobotan geografi: *Spatial Durbin Model* (SDM). Pemodelan ekonometrika yang mengaitkan efek spasial perlu untuk diterapkan pada model efisiensi pembangunan hijau. Setidaknya terdapat tiga klasifikasi untuk menakar dampak spasial antar satu tempat ke tempat lain yaitu *Spatial Error Model* (SEM), *Spatial Lag Model* (SLM), dan *Spatial Durbin Model* (SDM) (Che et al., 2018; Li & Jing, 2019). SEM sendiri merupakan regresi spasial yang meninjau hubungan berdasarkan sisi random effect. Sementara itu, SLM merupakan regresi spasial yang meninjau hubungan berdasarkan sisi jeda waktu (lag time) bagi variabel eksplanatori. Terakhir, SDM merupakan regresi spasial yang meninjau hubungan berdasarkan sisi jeda waktu bagi variabel eksplanatori maupun bukan dan penyerdehanaan dari SEM-SLM. Atas dasar tersebut, maka penelitian ini mengadaptasi pemodelan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} gde_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 Wgde_{it-1} + \alpha_2 Wdc{i}_{it} + \alpha_3 Winet_{it} + \alpha_4 Wfc_{it} + \alpha_5 dci_{it} + \alpha_6 inet_{it} \\ & + \alpha_7 \times fde_{it} + \alpha_8 fc_{it} + \alpha_9 \ln eb_{it} + \alpha_{10} \ln rnd_{it} + \alpha_{11} pop \\ & + \alpha_{12} \ln agri_{it} + \alpha_{13} \ln min_{it} + \alpha_{14} \ln ind_{it} + u_{it} \end{aligned} \quad (8)$$

Di mana gde_{it} merupakan efisiensi pembangunan hijau tahun ini, dci_{it} merupakan indeks daya saing digital, $inet_{it}$ merupakan persentase pengguna internet, fc_{it} merupakan kompetisi pemerintah daerah, $\ln eb_{it}$ merupakan logaritma natural pengeluaran untuk keperluan lingkungan, $\ln rnd_{it}$ merupakan logaritma natural untuk pengeluaran riset dan pengembangan, merupakan persentase sebaran populasi kabupaten/kota terhadap provinsi Jawa Timur, $\ln agri_{it}$ merupakan logaritma natural dari PDB sektor pertanian, $\ln min_{it}$ merupakan logaritma natural dari PDB sektor pertambangan, dan $\ln ind_{it}$ merupakan logaritma natural dari PDB sektor Industri, u_{it} merupakan faktor lain di luar model (error term), i merupakan kabupaten/kota, dan t merupakan tahun.

Matriks penimbang spasial merupakan pemeran penting dalam memberikan informasi korelasi spasial antar satu wilayah dengan wilayah lainnya, matriks penimbang berisi tentang koefisien spasial jarak (d) yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$W_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{d_{ij}}; & i \neq j \\ 0 & \end{cases} \quad (9)$$

Berdasarkan matriks penimbang persamaan [9], bahwa pada proses pengukurannya memerlukan panduan berupa estimasi korelasi spasial antara inovasi teknologi terhadap efisiensi pembangunan hijau. Atas dasar tersebut, penggunaan *Moran Index* sangat penting untuk meninjau aspek otokorelasi spasial. Adapun pengukurannya sebagai berikut:

$$Moran's I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

Pada persamaan [10], $\bar{x} = \frac{\sum_i^n x_i}{n}$, x_i dan x_j merupakan indikator yang menyatakan luas suatu kabupaten/kota, n menyatakan jumlah kabupaten/kota, dan w merupakan matrik penimbang. Sementara itu, S^2 merupakan varians luas dari kabupaten/kota. Indeks Moran

memiliki nilai relatif antara 0-1, apabila hasil menunjukkan 0 maka tidak ada korelasi spasial dan sebaliknya. Di sisi lain, apabila hasil penghitungan indeks bernilai negatif maka akan ada dampak negatif bagi daerah sekitar.

Pengukuran regresi spasial tidak berhenti begitu saja, tahapan terakhir dilakukan untuk mendapatkan hubungan langsung dan tidak langsung. Adapun pengukuran langsung dan tidak langsung terhadap efisiensi pembangunan hijau adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \left[\frac{\partial y}{\partial x_{1k}}, \frac{\partial y}{\partial x_{2k}}, \dots, \frac{\partial y}{\partial x_{nk}} \right] &= \begin{bmatrix} \frac{\partial y_1}{\partial x_{1k}} & \dots & \frac{\partial y_1}{\partial x_{nk}} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial y_n}{\partial x_{1k}} & \dots & \frac{\partial y_n}{\partial x_{1k}} \end{bmatrix} \\
 &= (I_n - \rho W)^{-1} \begin{bmatrix} \beta_k & w_{12}\theta_k & \dots & w_{1n}\theta_k \\ w_{21}\theta_k & \beta_k & \dots & w_{2n}\theta_k \\ \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ w_{n1}\theta_k & w_{n2}\theta_k & \dots & \beta_k \end{bmatrix} \quad (11)
 \end{aligned}$$

Dimana β_k merupakan dampak langsung inovasi teknologi sementara $w_{ni}\theta_k$ merupakan dampak tidak langsung.

Tabel 3: Komponen Faktor Determinan Efisiensi Pembangunan Hijau

Komponen	Variabel	Definisi	Unit	Sumber
Dependen	gde	Efisiensi Pembangunan Hijau	Persen	Estimasi
Independen	Dci	Indeks Daya Saing Digital	Persen	East Ventures
	Inet	Principle Component Analysis dari penetrasi internet wanita dan pria	Indeks	BPS
	Inet x FDE	Internet yang diinteraksikan dengan pengeluaran pemerintah	persen	BPS
	Fc	Tingkat Kompetisi Pemerintah Daerah	Indeks	Estimasi
	Ln eb	Pengeluaran untuk lingkungan	Persen	Bappeda
	Ln RnD	Pengeluaran untuk riset dan pengembangan	Persen	Bappeda
	Pop	Persentase penduduk terhadap penduduk provinsi	Persen	BPS
	Ln agri	Pangsa sektor Pertanian	Persen	BPS
	Ln min	Pangsa sektor Pertambangan	Persen	BPS
	Ln Ind	Pangsa sektor Industri	Persen	BPS

Berdasarkan penelitian sebelumnya bahwa populasi dan pangsa pertambangan berpengaruh negatif terhadap produktivitas pembangunan hijau (Li et al., 2022). Sementara itu, anggaran untuk riset dan pengembangan, anggaran untuk lingkungan, pangsa industri, dan pangsa pertanian berpengaruh positif terhadap produktivitas pembangunan hijau (Feng et al., 2017). Populasi yang makin tinggi mendorong terkonsentrasi penduduk di kawasan tertentu dan berpotensi membentuk slum area dengan demikian mendorong penurunan efisiensi pembangunan hijau (Shang & Liu, 2021). Pangsa pertambangan juga diduga menyebabkan daerah tidak dapat meningkatkan efisiensi sebab adanya cekungan dan pembukaan lahan menyebabkan impulsif bagi lingkungan (Gao et al., 2019). Anggaran untuk keperluan riset dan pengembangan serta anggaran untuk kepentingan lingkungan berpotensi sebagai embrio daerah dalam menciptakan iklim kebijakan yang lebih arif terhadap ekologi (Feng & Chen, 2018). Pangsa sektor industri diduga menjadi penopang utama dalam pilar

penggunaan teknologi terbaru dan energi baru terbarukan sehingga berpotensi dalam meningkatkan produktivitas dari sisi ekonomi (Guo & Liu, 2022). Terakhir, pangsa sektor pertanian juga menjadi salah satu promotor penting dalam menciptakan produktivitas pembangunan hijau (Yu et al., 2020).

Hasil dan Pembahasan

Statistik Deskriptif

Berikut ini Tabel 4, menginformasikan bahwa secara umum efisiensi pembangunan hijau masih belum mencapai status efisien, hal ini dibubuhkan dengan nilai rata-rata temporal sebesar 0,956. Sementara itu, daya saing digital masih berada pada nilai moderat yaitu berada pada interval 50%. Pengguna internet laki-laki lebih tinggi 7% dibandingkan perempuan. Kompetisi pemerintah daerah masih cenderung rendah mendekati pasar persaingan sempurnya, hal ini ditunjukkan dengan skor 0,025. Persentase penduduk kabupaten/kota terhadap provinsi masih cenderung rendah yaitu sekitar 2,63%. Dana alokasi untuk lingkungan serta riset dan pengembangan masih cenderung baik masing-masing di level Rp 772 Miliar dan Rp 199 Miliar. Terakhir, struktur industri masih mendominasi sebagai penggerak sektor perekonomian di Jawa Timur, hal ini ditunjukkan dengan nilai PDRB yang masih tinggi dibandingkan dengan sektor lain.

Tabel 4: Statistik Deskriptif

	Obs	Rata-rata	Simp. Baku	Minimum	Maksimum
gde	304	.956	.033	.803	1
dci	304	45.95	2.463	41.8	49.7
internetlk	304	45.355	15.331	22.68	65
internetpr	304	38.619	14.097	18.52	57
fc	304	.025	.095	-.421	.999
pop	304	2.631	1.647	.32	7.33
eb	304	7.721e+11	1.370e+11	5.150e+11	1.340e+12
rnd	304	1.993e+10	1.185e+10	8087002.1	7.381e+10
agri	304	4470.956	3525.066	24.5	15607.2
min	304	2059.122	5929.949	0	41664.199
ind	304	12248.867	20915.488	354.2	84563.602

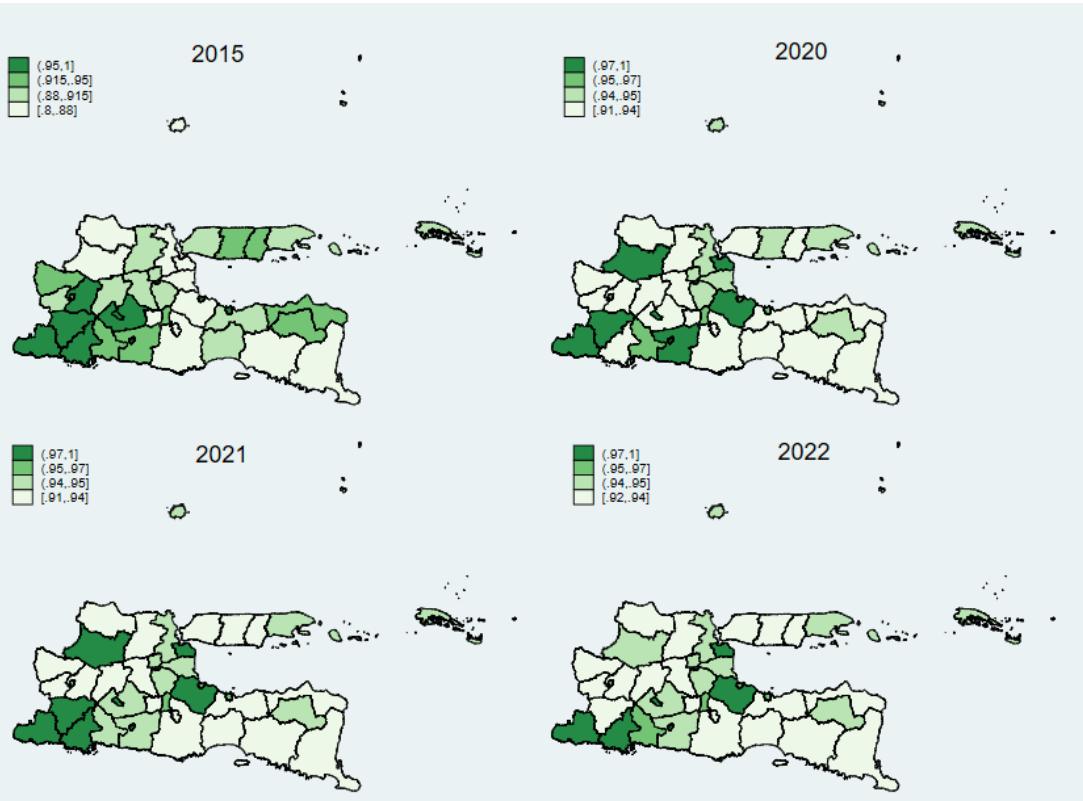
Sumber: Hasil Estimasi

Hasil Estimasi Efisiensi Pembangunan Hijau

Secara umum efisiensi pembangunan hijau di Jawa Timur masih belum mencapai kulminasi efisien. Efisiensi teknis pembangunan hijau ini kemudian menjadi rujukan sebab menunjukkan nilai porsi di mana tenaga kerja, pembentukan modal tetap bruto, dan energi dapat menghasilkan output tanpa harus memberikan dampak negatif terhadap lingkungan.

Berdasarkan hasil estimasi yang diilustrasikan pada Gambar 3 di atas, bahwa efisiensi pembangunan hijau mengalami perubahan yang cukup masif di berbagai daerah. Hal ini misalnya terjadi di kawasan Jawa Timur bagian barat seperti Kab. Magetan, Madiun, Jombang, Kediri, Lamongan, dan Tuban. Hal yang serupa juga terjadi di daerah Kab. Sampang dan Pamekasan, yang memiliki perubahan cukup masif. Secara spesifik perbedaan mendasar atas efisiensi di berbagai daerah di Jawa Timur terjadi akibat kualitas lingkungan hidup yang berbeda di setiap wilayah. Beberapa daerah yang terkonsentrasi dengan industrialisasi dan kepadatan penduduk disinyalir akan menyebabkan peningkatan *residual* berlebih. Di sisi lain,

daerah yang berkecenderungan memiliki tingkat tutupan lahan memadai justru menyebabkan efisiensi pembangunan hijau optimal. Beberapa daerah tersebut antara lain tersebar di Jawa Timur bagian selatan. Sementara itu, kawasan Jawa Timur bagian utara dan pusat konsentrasi utama justru tidak efisien secara teknis. Hal tersebut ditengarai oleh adanya tingkat tutupan lahan yang relatif rendah dan terdapat kelebihan input baik tenaga kerja maupun konsumsi energi. Secara transitif, ketiga daerah tersebut menerapkan skema atau kiat-kiat pembangunan yang tidak merusak lingkungan.



Sumber: Hasil Estimasi Penulis

Gambar 3: Perkembangan Spasial Efisiensi Pembangunan Hijau

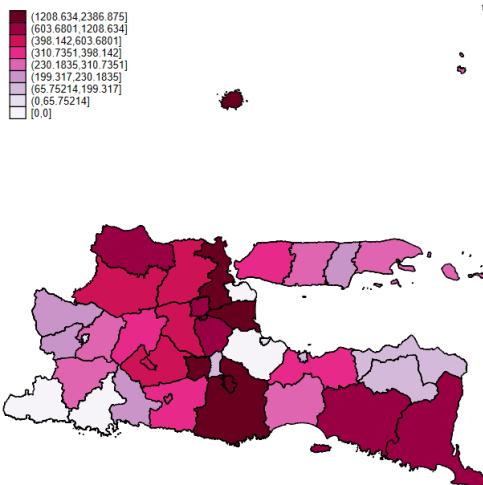
Berikut ini Tabel 5, menyajikan besaran input yang menyebabkan pembangunan hijau tidak efisien di Jawa Timur. Nilai yang diperoleh ini merupakan akumulasi dari setiap kabupaten dan kota. Secara umum, sebanyak Rp 9,9 Miliar PMTB merupakan nilai investasi yang kurang efisien terhadap pembangunan hijau. Hal ini menandakan bahwa investasi yang bersisa cenderung tidak dimanfaatkan oleh daerah sehingga menyebabkan ketergantungan secara temporal. Ketergantungan tersebut mendorong tidak produktifnya aliran dana yang masuk sehingga pembangunan cenderung tidak sesuai harapan. Di sisi lain, tenaga kerja yang kurang produktif ini masih cukup besar yaitu sebesar 26.937 jiwa. Kondisi ini mengisyaratkan bahwa tenaga kerja masih memiliki keahlian yang relatif rendah sehingga daya tangkap dan pengetahuan cenderung statis. Hal ini kemudian berimplikasi pada pencapaian output yang cenderung tidak optimal. Terakhir, penggunaan listrik yang kurang produktif cenderung besar yaitu senilai 1584 GWh. Kondisi ini menandakan bahwa penggunaan listrik yang kurang ramah lingkungan mendorong pembangkit listrik pada umumnya khususnya uap masih tetap berproduksi dengan densitas yang sama dan dampak polusi yang sama pula. Untuk itu penggunaan listrik ini menavigasi penurunan kualitas udara dan menurunkan tingkat produktivitas pembangunan hijau.

Tabel 5: Besaran Input yang Kemungkinan Memicu Inefisiensi Pembangunan Hijau

Tahun	PMTB Tidak Produktif (Rp Juta)	Tenaga Kerja Kurang Produktif (Jiwa)	Listrik kurang Produktif (GWh)
2015	1.253,51	50.854,79	2.457,87
2016	289.8663	18.797,16	1.091,78
2017	338.55758	19.998,39	1.176,04
2018	76.380,21	22.513,82	1.310,18
2019	384.75257	22.717,30	1.420,58
2020	398.22964	25.945,99	1.633,22
2021	409.32245	26.496,59	1.713,27
2022	445.61459	28.177,64	1.873,24
Rata-rata Jatim	9.987,51	26.937,71	1.584,52

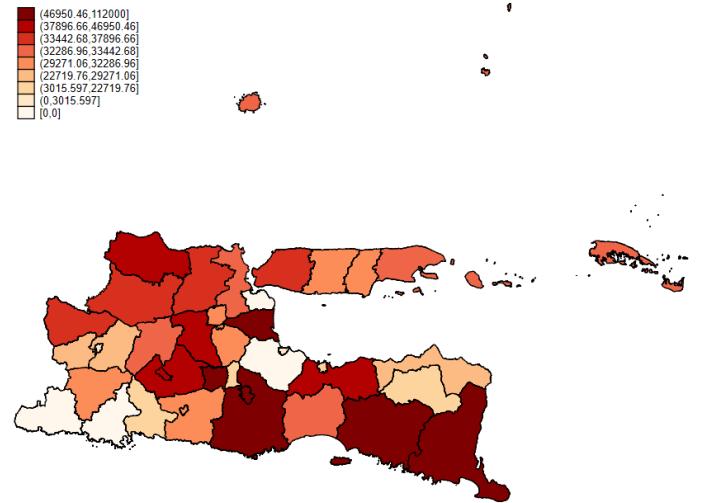
Sumber: Hasil estimasi penulis

Berikut ini Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 menyajikan distribusi spasial residu input pada 2022 yang menyebabkan pembangunan hijau kurang efisien. Dari sisi investasi, Kab. Gresik, Sidoarjo, Malang, Mojokerto, Tuban, Jember, Banyuwangi, dan Kota Malang masih ditemukan kelebihan investasi. Sementara itu, tenaga kerja kurang produktif disumbang oleh Kab. Banyuwangi, Jember, Sidoarjo, Malang, dan Kota Malang. Terakhir, konsumsi listrik kurang produktif disumbang oleh Kab. Malang dan Kota Malang.



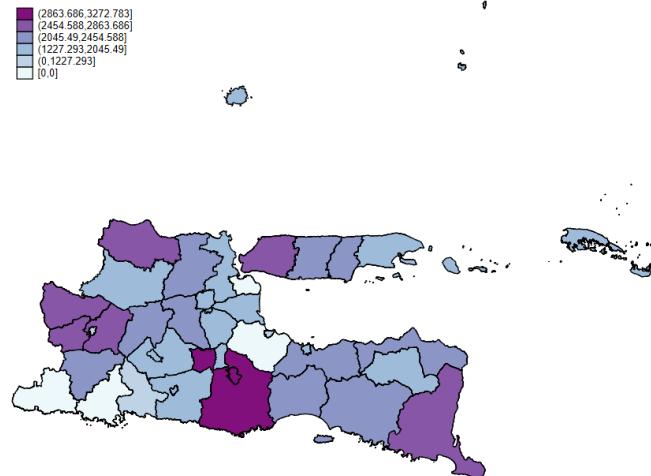
Sumber: hasil estimasi penulis

Gambar 4: Distribusi Spasial residual PMTB 2022



Sumber: hasil estimasi penulis

Gambar 5: Distribusi Spasial residual Tenaga Kerja 2022



Sumber: hasil estimasi penulis

Gambar 6: Distribusi Spasial residual Konsumsi Tenaga Listrik

Berikut ini Tabel 6, menyajikan keterkaitan spasial yang dapat diinterpretasikan menggunakan indeks Moran. Berdasarkan hasil estimasi indeks tersebut, bahwa efisiensi pembangunan hijau dan kompetisi pemerintah daerah memiliki korelasi spasial antar kabupaten/kota pada satu periode. Secara umum, apabila satu periode masih terdapat nilai korelasi spasial yang signifikan maka otomatis model ini dapat dikembangkan dengan menggunakan regresi pembobotan geografi.

Tabel 6: Indeks Moran Kompetisi Pemerintah Daerah dan Efisiensi Pembangunan Hijau

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
gde	0.061**	-0.0075	-0.0186	0.00267	-0.01183	-0.0096	-0.0111	-0.0081
Fc	-0.0112	-0.0054	0.00745	-0.0509	-0.076**	-0.0038	0.00497	-0.0090

Sumber: hasil estimasi penulis

Tabel 7: Hasil Uji Ketahanan Transformasi Digital dan Kompetisi Pemerintah terhadap Efisiensi Pembangunan Hijau

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	gde	gde	gde	gde	gde	gde
dci	.018*** (.003)	.018*** (.003)	.018*** (.003)	.015*** (.0027)	.015*** (.0027)	.015*** (.0027)
dci_fde	-.00028*** (.000085)	-.00028*** (.000085)	-.00028*** (.000085)	-.00031*** (.000087)	-.00031*** (.000087)	-.00031*** (.000087)
inet	-.296*** (.072)	-.296*** (.072)	-.296*** (.072)	-.305*** (.075)	-.305*** (.075)	-.304*** (.075)
inet_fde	.0096*** (.0025)	.0096*** (.0025)	.0096*** (.0025)	.01*** (.0027)	.01*** (.0027)	.01*** (.0027)
fc	-.015 (.019)	-.015 (.019)	-.013 (.019)	-.022 (.018)	-.022 (.018)	-.021 (.018)
Ineb	.119*** (.036)	.119*** (.036)	.119*** (.036)	.149*** (.033)	.149*** (.033)	.149*** (.033)
Inrnd	-.0075 (.017)	-.0079 (.018)	-.007 (.018)	-.01 (.018)	-.01 (.018)	-.0099 (.018)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	gde	gde	gde	gde	gde	gde
pop	-.0035 (.0026)	-.0035 (.0026)	-.0014 (.0031)	-.0037 (.0026)	-.0037 (.0026)	-.0026 (.0031)
lnagri	-.0037 (.0026)	-.0041 (.0039)	-.0044 (.0039)	-.0071*** (.0025)	-.0072* (.0043)	-.0076* (.0044)
lnmin		.00036 (.0023)	.0004 (.0022)		.000089 (.0022)	6.900e-06 (.0022)
lnind			-.0034 (.0027)			-.0018 (.0026)
_cons	-2.7*** (.779)	-2.7*** (.78)	-2.69*** (.779)	-3.27*** (.709)	-3.27*** (.71)	-3.27*** (.709)
Wi:dci	-.0098*** (.0019)	-.0098*** (.0019)	-.0097*** (.0019)			
Wi:inet	.019*** (.0061)	.019*** (.0061)	.019*** (.0061)			
Wi:fc	-.024 (.04)	-.024 (.04)	-.026 (.04)			
Wi:gde	.494*** (.089)	.494*** (.089)	.499*** (.089)			
Wc:dci				-.0067*** (.0014)	-.0067*** (.0014)	-.0067*** (.0014)
Wc:inet				.006 (.004)	.0059 (.004)	.006 (.004)
Wc:fc				.029 (.037)	.029 (.037)	.028 (.037)
Wc:gde				.336*** (.065)	.336*** (.065)	.337*** (.065)
sigma_u:_cons	.017*** (.0023)	.017*** (.0023)	.016*** (.0023)	.017*** (.0023)	.017*** (.0023)	.016*** (.0023)
sigma_e:_cons	.02*** (.00089)	.02*** (.00089)	.02*** (.00089)	.021*** (.0009)	.021*** (.0009)	.021*** (.0009)
Observations	304	304	304	304	304	304
Pseudo R ²	.303	.303	.311	.294	.293	.299

Nilai standar eror ada di dalam kurung, di mana *** $p < .01$, ** $p < .05$, * $p < .1$

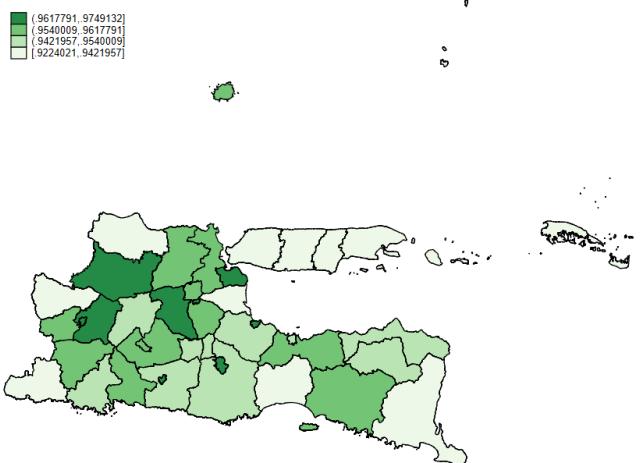
Sumber: hasil estimasi penulis

Berdasarkan hasil estimasi uji ketahanan Tabel 7, bahwa daya saing digital, internet bermoderasi pengeluaran pemerintah, dan pengeluaran lingkungan cenderung konsisten berpengaruh positif signifikan terhadap efisiensi pembangunan hijau. Sementara itu, daya saing yang dikontrol dengan pengeluaran pemerintah dan struktur pertanian justru secara konsisten berpengaruh negatif signifikan terhadap efisiensi pembangunan hijau. Dari sisi dampak *spill*-

over menunjukkan bahwa efisiensi pembangunan hijau di daerah terkait berdampak positif terhadap daerah sekitarnya. Hal yang sama juga terjadi pada internet yang justru berdampak *spillover* menyebar positif bagi daerah lainnya.

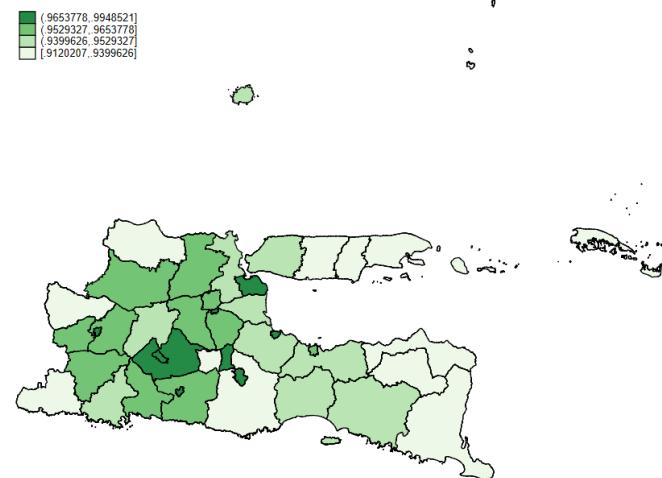
Berikut ini Gambar 7 menyajikan *fitted values* potensi penyebaran pengaruh jarak antar wilayah pada transformasi digital dan kompetisi pemerintah daerah terhadap efisiensi pembangunan hijau. Pada kondisi ini ditunjukkan bahwa dari sisi jarak implikasinya dapat dibubuhkan dengan **daerah hijau pekat** yang berbatasan **langsung dengananya**. Pada konteks dampak kedekatan jarak dengan pusat daerah efisien misalnya Kota Surabaya, Kab. Jombang, Kab. Bojonegoro, Kab/Kota Madiun, Kota Malang, Kota Pasuruan, dan Kota Blitar mendorong spillover positif bagi daerah yang berimpitan.

Pada Gambar 8 menunjukkan *fitted values* potensi penyebaran pengaruh penyebaran radial sentrifugal pada transformasi digital dan kompetisi pemerintah daerah terhadap efisiensi pembangunan hijau. Penyebaran radial sentrifugal ini merujuk pada pola persebaran yang terdistribusi memencar dari pusat wilayah hijau pekat sebagai titik utama paling efisien. Titik-titik tersebut kemudian mendorong persebaran langsung dengan daerah yang berbatasan langsung dan atau berimpitan dengan wilayah lain tetapi dalam satu lingkup. Pada konteks ini Kota Surabaya, Kota Pasuruan, Kota Malang, Kota Batu, Kab/Kota Kediri, Kota Blitar, dan Kota Mojokerto merupakan titik pusat efisiensi yang kemudian menyebar ke berbagai wilayah disekitarnya.



Sumber: Hasil estimasi penulis

Gambar 7: Dampak Langsung dari Jarak 2022



Sumber: Hasil estimasi penulis

Gambar 8: Dampak Langsung menyebar 2022

Berikut ini Tabel 8 menyajikan hasil *marginal effect* dari proses estimasi regresi panel spasial. Hasilnya menunjukkan bahwa dampak internal (dalam daerah) atas kenaikan efisiensi pembangunan hijau baik secara **jarak** maupun **pusat penyebaran** didorong oleh daya saing digital, internet yang dimoderasi oleh pemerintah, dan alokasi dana untuk keperluan lingkungan. Sementara itu, dampak internal pendorong turunnya efisiensi pembangunan hijau baik secara **jarak** maupun **pusat penyebaran** didorong oleh daya saing digital yang dimoderasi oleh pemerintah, internet, dan PDB di sektor pertanian. Di sisi lain, dampak eksternal (luar daerah) atas kenaikan efisiensi pembangunan hijau baik secara **jarak** maupun **pusat penyebaran** didorong oleh internet yang dimodifikasi pemerintah daerah lainnya dan alokasi dana untuk lingkungan daerah pemerintah daerah lainnya. Sementara itu, dampak eksternal pendorong turunnya efisiensi pembangunan hijau baik secara **jarak** maupun **pusat**

penyebaran didorong oleh daya saing digital luar daerah, daya saing digital yang dimoderasi pemerintah daerah lain, dan internet daerah lain.

Tabel 8: Dampak Langsung dan Tidak Langsung Transformasi Digital dan Kompetisi Pemerintah Daerah terhadap Produktivitas Pembangunan Hijau

	Dampak Spillover Distance (berimpitan jarak)			Dampak Spillover Contagious (berimpitan dengan pusat)		
	Direct	Indirect	Total	Direct	Indirect	Total
dci	0.0182***	-0.0012	0.0170***	0.0148***	-0.0016***	0.0132***
dci_fde	-0.0003***	-0.0003**	-0.0005***	-0.0003***	-0.0001**	-0.0004***
inet	-0.3001***	-0.2305**	-0.5307***	-0.3087***	-0.0952***	-0.4040***
inet_fde	0.0097***	0.0086**	0.0183***	0.0105***	0.0034***	0.0139***
fc	-0.0140	-0.0575	-0.0715	-0.0202	0.0207	0.0005
lnetb	0.1208***	0.1066***	0.2274***	0.1517***	0.0497***	0.2014***
lnrnd	-0.0071	-0.0063	-0.0134	-0.0100	-0.0033	-0.0133
pop	-0.0014	-0.0013	-0.0027	-0.0026	-0.0009	-0.0035
lnagri	-0.0045	-0.0039	-0.0084	-0.0078***	-0.0026	-0.0103*
lnmin	0.0004	0.0004	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000
lnind	-0.0034	-0.0030	-0.0064	-0.0019	-0.0006	-0.0025

Sumber: hasil estimasi penulis

Diskusi

Berdasarkan hasil Digitalisasi memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap efisiensi pembangunan ekonomi hijau. Dengan adanya transformasi digital, berbagai teknologi dan solusi inovatif dapat diterapkan untuk mempercepat transisi menuju ekonomi yang berkelanjutan dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya secara efisien. Penelitian ini sejalan dengan kajian yang dilakukan oleh [Li et al., \(2023\)](#). Di mana tingkat ekonomi digital mampu meningkatkan investasi hijau melalui tiga aspek, yaitu menghemat energi dan mengurangi polusi, mendorong pengembangan keuangan hijau, dan memfasilitasi pertumbuhan ekonomi. Industri digital saat ini dengan perkembangan internet yang pesat secara signifikan dapat mengurangi pencemaran ([Raihan et al., 2023; Ren et al., 2023](#)). Pertumbuhan ekonomi digital juga sepenuhnya mampu mengintegrasikan sumber daya yang ramah lingkungan secara tepat waktu ke dalam pola konsumsi individu, misalnya membeli peralatan maupun kendaraan dengan hemat energi ([Hao et al., 2023](#)). Teknologi digital yang semakin canggih mendorong inovasi dalam model bisnis dan pada akhirnya meningkatkan teknologi produksi ([Wen et al., 2023](#)), sehingga dapat mengurangi emisi polusi dari industri-industri yang banyak menghabiskan energi dan berdampak pada pencemaran ([Llopis-Albert et al., 2021](#)). Tidak hanya itu, Digitalisasi memungkinkan otomatisasi proses bisnis dan penggunaan teknologi yang canggih, seperti kecerdasan buatan (AI) dan robotika. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi secara keseluruhan, termasuk dalam sektor-sektor yang berfokus pada ekonomi hijau, seperti energi terbarukan, transportasi berkelanjutan, dan pengelolaan limbah.

Digitalisasi memfasilitasi koneksi dan kolaborasi antara berbagai pemangku kepentingan dalam pembangunan ekonomi hijau. Platform digital, aplikasi, dan jaringan sosial dapat mempercepat pertukaran informasi, pemahaman, dan kerja sama antara perusahaan, pemerintah, akademisi, dan masyarakat. Hal ini membantu mengurangi kesenjangan pengetahuan, mempercepat inovasi, dan meningkatkan efisiensi dalam mengembangkan solusi berkelanjutan. Melalui digitalisasi, perusahaan dan organisasi. Melalui digitalisasi, perusahaan dan organisasi yang berfokus pada ekonomi hijau dapat mencapai audiens yang

lebih luas dan berkomunikasi dengan cara yang lebih efektif. Media sosial, platform digital, dan kampanye pemasaran online memungkinkan mereka untuk menyampaikan pesan tentang produk, layanan, atau praktik berkelanjutan kepada khalayak yang relevan. Dengan meningkatnya kesadaran dan minat masyarakat terhadap produk dan layanan hijau, ini dapat meningkatkan efisiensi dalam mempromosikan dan menjual produk ekonomi hijau.

Sementara itu, penggunaan internet justru berimplikasi pada penurunan efisiensi pembangunan hijau. Hal ini menandakan bahwa jika sumber energi yang digunakan adalah fosil, maka ini akan bertentangan dengan prinsip pembangunan hijau. Tidak hanya itu, Produksi dan pembuangan perangkat ini dapat memiliki dampak lingkungan yang negatif. Secara lebih rinci, ketika pengguna internet menggunakan layanan seperti streaming video dengan resolusi tinggi atau melakukan kegiatan online yang memerlukan penggunaan data besar, ini dapat mengakibatkan konsumsi energi yang lebih tinggi di pusat data dan infrastruktur jaringan.

Populasi penduduk perkotaan yang makin terkonsentrasi mendorong penurunan efisiensi pembangunan hijau. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [Zhang et al.,\(2020\)](#), di mana aglomerasi penduduk perkotaan yang cepat dan perluasan ruang kota yang terus menerus, pembangunan perkotaan telah menyimpang dari jalur pembangunan berkelanjutan yang berkualitas tinggi dan efisiensi tinggi. Namun, tidak selalu benar bahwa populasi perkotaan secara langsung mendorong rendahnya kualitas lingkungan hijau. Sebaliknya, pertumbuhan populasi perkotaan yang terkendali dapat memicu pembangunan lingkungan hijau yang lebih baik. Namun, jika pertumbuhan populasi perkotaan tidak diimbangi dengan perencanaan tata ruang yang baik, dapat menyebabkan terjadinya kerusakan lingkungan dan menurunkan kualitas lingkungan hijau. Pertumbuhan populasi perkotaan yang cepat dapat mengakibatkan penggunaan lahan yang tidak terkontrol, deforestasi, dan pengurangan habitat alami, yang semuanya dapat merusak kualitas lingkungan hijau. Selain itu, kepadatan penduduk yang tinggi di daerah perkotaan juga dapat membuat sulit untuk menemukan lahan kosong untuk dibuat taman dan ruang terbuka hijau. Kepadatan penduduk juga dapat meningkatkan polusi dan mengurangi kualitas udara dan air, yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Dalam hal ini, perencanaan tata ruang yang baik dan kebijakan lingkungan yang efektif dapat membantu memitigasi dampak negatif dari pertumbuhan populasi perkotaan. Pembangunan taman dan ruang terbuka hijau yang strategis dapat membantu memperbaiki kualitas lingkungan hijau, sementara pengurangan emisi dan pencemaran melalui kebijakan lingkungan dapat membantu menjaga kualitas udara dan air yang baik.

Alokasi dana untuk lingkungan justru meningkatkan efisiensi pembangunan hijau. Hal ini sesuai dengan penelitian [Feng & Chen \(2018\)](#); [Guild \(2020\)](#), di mana dana lingkungan memiliki peran penting untuk mendorong pembangunan yang berkelanjutan. Pengalokasian dana untuk lingkungan dalam bidang pembangunan hijau dapat mendorong peningkatan efisiensi pembangunan hijau. Eksplorasi riset dan pengembangan lingkungan dapat membantu menghasilkan inovasi dan teknologi yang lebih baik dan ramah ergonomis, yang dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas pembangunan hijau. Pengalokasian dana tersebut dapat membantu mempercepat peningkatan efisiensi pembangunan hijau, memperbaiki kualitas hidup masyarakat, dan memperkuat keberlanjutan lingkungan. Dana lingkungan dapat digunakan untuk mendukung proyek-proyek yang bertujuan meningkatkan efisiensi energi, mengurangi emisi karbon, melestarikan ekosistem, dan mengembangkan teknologi berkelanjutan. Pembiayaan ini dapat membantu mendorong dan mempercepat pembangunan hijau. Dana lingkungan juga dapat digunakan untuk pendidikan dan kesadaran lingkungan. Ini dapat meningkatkan pemahaman masyarakat dan industri tentang pentingnya pembangunan hijau, sehingga mendorong adopsi praktik-praktik yang lebih berkelanjutan. Dana lingkungan

dapat digunakan untuk mendukung penelitian dan inovasi dalam teknologi dan praktik-praktik yang lebih ramah lingkungan. Ini dapat menghasilkan solusi-solusi baru yang lebih efisien untuk pembangunan hijau.

Sektor pertanian berimplikasi negatif terhadap efisiensi pembangunan hijau jika tidak dikelola dengan benar. Meskipun pertanian merupakan sektor penting dalam menyediakan makanan dan bahan baku untuk industri, beberapa praktik pertanian dapat merusak lingkungan dan mengurangi keberlanjutan. Kondisi ini tidak sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [Yu et al. \(2020\)](#), hal ini disebabkan oleh sebagian besar pertanian masih bersifat tradisional dan cenderung melibatkan penggunaan pupuk tanpa porsi yang seimbang. Penggunaan pestisida dan pestisida kimia yang berlebihan dapat mencemari tanah, air, dan lingkungan sekitarnya. Ini dapat merusak ekosistem alami dan membahayakan kesehatan manusia. Penggunaan pupuk kimia yang berlebihan dapat menyebabkan peningkatan aliran nutrien ke perairan, yang dapat mengakibatkan pertumbuhan ganggang berlebihan (eutrofikasi) dan merusak ekosistem perairan. Untuk membuka lahan pertanian baru, seringkali diperlukan penebangan hutan dan penghilangan habitat alami. Ini dapat mengurangi keragaman hayati, mengancam spesies-spesies tertentu, dan mengakibatkan kerusakan lingkungan yang signifikan.

Simpulan

Berdasarkan hasil estimasi menunjukkan bahwa Jawa Timur masih belum mencapai tingkat efisiensi teknis yang absolut untuk pembangunan hijau. Hal ini disebabkan oleh de-produktifnya beberapa input sehingga tidak dapat diserap untuk sektor ekonomi hijau. Sementara itu, secara lebih rinci bahwa transformasi digital dan penggunaan internet yang dimoderasi oleh pemerintah berpengaruh positif terhadap efisiensi pembangunan hijau. Sementara itu, kompetisi pemerintah tidak berpengaruh terhadap efisiensi pembangunan hijau. Menariknya penggunaan internet dan sektor pertanian berpengaruh negatif terhadap efisiensi pembangunan hijau. Secara lebih luas lagi, efisiensi pembangunan hijau mampu mendorong *spillover* positif bagi daerah sekitarnya sehingga pusat-pusat daerah efisien tersebut menciptakan embrio bagi efisiensi daerah lainnya. Adapun beberapa implikasi yang dapat diterapkan di antaranya menavigasi input-input yang kurang produktif misalnya PMTB, tenaga kerja, dan konsumsi listrik agar pencapaian pembangunan hijau makin efisien. Di sisi lain, perlunya memitigasi dampak pengambilan kebijakan sepihak artinya pemerintah pusat harus mengetahui berbagai upaya yang dilakukan pemerintah daerah sebagai mana yang akan diterapkan. Tidak hanya itu, pemerintah pusat perlu memitigasi penyaluran dana untuk lingkungan agar tidak terjadi perubahan dilematis sehingga berdampak pada penurunan produktivitas tersebut. Sektor pertanian sebaiknya dilakukan transformasi yang baik misalnya dengan mengimplementasikan berbagai penggunaan teknologi pemetaan digital agar penggunaan lahan dan pupuk dapat dikontrol sehingga efisiensi pembangunan hijau tercapai.

Secara lebih lanjut, penelitian ini terbatas pada kajian pembangunan sektor hijau sehingga tidak melibatkan informasi di sektor-sektor lainnya. Untuk itu, kedepan penelitian ini dapat diperluas perannya dalam meninjau berbagai sektor yang potensial untuk mendukung pembangunan berkelanjutan sehingga tujuan SDGs bagi daerah dapat tercapai.

Daftar Pustaka

Ahmed, E. M. (2012). Green TFP Intensity Impact on Sustainable East Asian Productivity Growth. *Economic Analysis and Policy*, 42(1), 67–78. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0313-5926\(12\)50005-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0313-5926(12)50005-6)

BPS. (2022a). *Ekonomi Indonesia Tahun 2022 Tumbuh 5,31 Persen*. BPS. <https://www.bps.go.id/pressrelease/2023/02/06/1997/ekonomi-indonesia-tahun-2022-tumbuh-5-31-persen.html>

BPS. (2022b). *Persentase Penduduk Daerah Perkotaan menurut Provinsi, 2010-2035*. <https://www.bps.go.id/statictable/2014/02/18/1276/persentase-penduduk-daerah-perkotaan-hasil-proyeksi-penduduk-menurut-provinsi-2015---2035.html>

BPS. (2023). *Provinsi Jawa Timur Dalam Angka 2023*. BPS. <https://jatim.bps.go.id/publication/2023/02/28/446036fbb58d36b009212dbc/provinsi-jawa-timur-dalam-angka-2023.html>

Che, L., Bai, Y. P., Zhou, L., Wang, F., Ji, X., & Qiao, F. (2018). Spatial characteristics and spillover analysis of green development efficiency in China. *Geogr. Sci*, 38, 1788–1798.

Chen, P., & Kim, S. (2023). The impact of digital transformation on innovation performance - The mediating role of innovation factors. *Helion*, 9(3), e13916. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13916>

Chen, Y., & Lee, C.-C. (2020). Does technological innovation reduce CO2 emissions? Cross-country evidence. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121550. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121550>

Choi, C. (2009). Removing Market Barriers to Green Development: Principles and Action Projects to Promote Widespread Adoption of Green Development Practices. *Journal of Sustainable Real Estate*, 1(1), 107–138. <https://doi.org/10.1080/10835547.2009.12091785>

Choi, Y. (2015). Intermediary Propositions for Green Growth with Sustainable Governance. In *Sustainability* (Vol. 7, Issue 11, pp. 14785–14801). <https://doi.org/10.3390/su71114785>

Danielsen, F., Flak, L. S., & Sæbø, Ø. (2022). *Understanding Digital Transformation in Government BT - Scientific Foundations of Digital Governance and Transformation: Concepts, Approaches and Challenges* (Y. Charalabidis, L. S. Flak, & G. Viale Pereira, Eds.; pp. 151–187). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92945-9_7

Deng, Y., You, D., & Wang, J. (2019). Optimal strategy for enterprises' green technology innovation from the perspective of political competition. *Journal of Cleaner Production*, 235, 930–942. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.248>

East Ventures. (2023). *East Ventures – Digital Competitiveness Index 2023*. https://east.vc/id/reports/east-ventures-digital-competitiveness-index-2023/#report_download

Feng, C., Wang, M., Liu, G.-C., & Huang, J.-B. (2017). Green development performance and its influencing factors: A global perspective. *Journal of Cleaner Production*, 144, 323–333. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.005>

Feng, Z., & Chen, W. (2018). Environmental Regulation, Green Innovation, and Industrial Green Development: An Empirical Analysis Based on the Spatial Durbin Model. In *Sustainability* (Vol. 10, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/su10010223>

Gao, W., Cheng, J., & Zhang, J. (2019). The influence of heterogeneous environmental regulation on the green development of the mining industry: empirical analysis based on the system GMM and dynamic panel data model. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*, 17(2), 154–175. <https://doi.org/10.1080/10042857.2019.1574456>

Gong, Y., Yang, J., & Shi, X. (2020). Towards a comprehensive understanding of digital transformation in government: Analysis of flexibility and enterprise architecture. *Government Information Quarterly*, 37(3), 101487. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2020.101487>

Guild, J. (2020). The political and institutional constraints on green finance in Indonesia. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 10(2), 157–170. <https://doi.org/10.1080/20430795.2019.1706312>

Guo, Y., & Liu, Y. (2022). Sustainable poverty alleviation and green development in China's underdeveloped areas. *Journal of Geographical Sciences*, 32(1), 23–43. <https://doi.org/10.1007/s11442-021-1932-y>

Han, D., & Liu, M. (2022). How Does the Digital Economy Contribute to Regional Green Development in China? Evidence-Based on the Intermediary Effect of Technological Innovation. In *Sustainability* (Vol. 14, Issue 18). <https://doi.org/10.3390/su141811147>

Hao, X., Li, Y., Ren, S., Wu, H., & Hao, Y. (2023). The role of digitalization on green economic growth: Does industrial structure optimization and green innovation matter? *Journal of Environmental Management*, 325, 116504. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116504>

Hilbert, M. (2020). Digital technology and social change: the digital transformation of society from a historical perspective. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 22(2), 189–194. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2020.22.2/mhilbert>

Kleinert, J. (2021). Digital transformation. *Empirica*, 48(1), 1–3. <https://doi.org/10.1007/s10663-021-09501-0>

Koo, D.-M., Kim, J., & Kim, T. (2022). Guest editorial: Digital transformation and consumer experience. *Internet Research*, 32(3), 967–970. <https://doi.org/10.1108/INTR-04-2022-684>

Li, F., Zhang, J., & Li, X. (2022). Research on supporting developing countries to achieve green development transition: Based on the perspective of renewable energy and foreign direct investment. *Journal of Cleaner Production*, 372, 133726. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133726>

Li, H., He, F., & Deng, G. (2020). How does Environmental Regulation Promote Technological Innovation and Green Development? New Evidence from China. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(1), 689–702. <https://doi.org/10.15244/pjoes/101619>

Li, J., Chen, L., Chen, Y., & He, J. (2022). Digital economy, technological innovation, and green economic efficiency—Empirical evidence from 277 cities in China. *Managerial and Decision Economics*, 43(3), 616–629. <https://doi.org/10.1002/mde.3406>

Li, J. J., & Jing, Y. J. (2019). Research on Green Development Efficiency Evaluation and Spatial-Temporal Differentiation Based on SBM-GIS: Take the Central Plains Urban Agglomeration as an Example. *Ecol. Econ*, 35, 94–101.

Li, J., & Xu, Y. (2023). Does fiscal decentralization support green economy development? Evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25240-0>

Li, S., Chang, G., & Zunong, R. (2023). Does regional digital economy development influence green investment? *Innovation and Green Development*, 2(3), 100053. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100053>

Liu, F., & Wu, B. (2022). Environmental quality and population welfare in Markovian eco-evolutionary dynamics. *Applied Mathematics and Computation*, 431, 127309.

Llopis-Albert, C., Rubio, F., & Valero, F. (2021). Impact of digital transformation on the automotive industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 162, 120343. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120343>

Luo, K., Liu, Y., Chen, P.-F., & Zeng, M. (2022). Assessing the impact of digital economy on green development efficiency in the Yangtze River Economic Belt. *Energy Economics*, 112, 106127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106127>

Luo, S., Yimamu, N., Li, Y., Wu, H., Irfan, M., & Hao, Y. (2022). Digitalization and sustainable development: How could digital economy development improve green innovation in China? *Business Strategy and the Environment*, n/a(n/a). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/bse.3223>

Ma, D., & Zhu, Q. (2022). Innovation in emerging economies: Research on the digital economy driving high-quality green development. *Journal of Business Research*, 145, 801–813. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.03.041>

Mahmood, M. (2016). Enhancing citizens' trust and confidence in government through digital transformation. *International Journal of Electronic Government Research*, 12(1). <https://doi.org/10.4018/IJEGR.2016010105>

Munawaroh, S., & Fajri, M. N. (2023). Regional Branding as an Effort to Promote a Sustainable Environment. *Jurnal Bina Praja: Journal of Home Affairs Governance*, 15(1), 73–83. <https://doi.org/10.21787/jbp.15.2023.73-83>

Nambisan, S., Wright, M., & Feldman, M. (2019). The digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes. *Research Policy*, 48(8), 103773. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.03.018>

Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995). Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *The Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97–118.

Qiu, S., Wang, Z., & Liu, S. (2021). The policy outcomes of low-carbon city construction on urban green development: Evidence from a quasi-natural experiment conducted in China. *Sustainable Cities and Society*, 66, 102699. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102699>

Raihan, A., Pavel, M. I., Muhtasim, D. A., Farhana, S., Faruk, O., & Paul, A. (2023). The role of renewable energy use, technological innovation, and forest cover toward green development: Evidence from Indonesia. *Innovation and Green Development*, 2(1), 100035. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100035>

Ren, S., Hao, Y., & Wu, H. (2023). Digitalization and environment governance: does internet development reduce environmental pollution? *Journal of Environmental Planning and Management*, 66(7), 1533–1562. <https://doi.org/10.1080/09640568.2022.2033959>

Shang, Y., & Liu, S. (2021). Spatial-Temporal Coupling Coordination Relationship between Urbanization and Green Development in the Coastal Cities of China. In *Sustainability* (Vol. 13, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/su13105339>

Shao, S., Luan, R., Yang, Z., & Li, C. (2016). Does directed technological change get greener: Empirical evidence from Shanghai's industrial green development transformation. *Ecological Indicators*, 69, 758–770. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.050](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.050)

Shen, K. R., & Zhou, L. (2020). Local government competition, vertical environmental regulation and the pollution backflow effect. *Economic Research Journal*, 3, 35–49.

Tone, K., & Tsutsui, M. (2010). Dynamic DEA: A slacks-based measure approach. *Omega*, 38(3), 145–156. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.omega.2009.07.003](https://doi.org/10.1016/j.omega.2009.07.003)

Wang, D., Zhang, Z., & Shi, R. (2022). Fiscal Decentralization, Green Technology Innovation, and Regional Air Pollution in China: An Investigation from the Perspective of Intergovernmental Competition. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 19, Issue 14). <https://doi.org/10.3390/ijerph19148456>

Wang, E., Cao, Q., Ding, Y., & Sun, H. (2022). Fiscal Decentralization, Government Environmental Preference and Industrial Green Transformation. In *Sustainability* (Vol. 14, Issue 21, p. 14108). <https://doi.org/10.3390/su142114108>

Wen, J., Yin, H.-T., Jang, C.-L., Uchida, H., & Chang, C.-P. (2023). Does corruption hurt green innovation? Yes – Global evidence from cross-validation. *Technological Forecasting and Social Change*, 188, 122313. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122313](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122313)

Wu, H., Li, Y., Hao, Y., Ren, S., & Zhang, P. (2020). Environmental decentralization, local government competition, and regional green development: Evidence from China. *Science of The Total Environment*, 708, 135085. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135085](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135085)

Wu, J., Lu, W., & Li, M. (2020). A DEA-based improvement of China's green development from the perspective of resource reallocation. *Science of The Total Environment*, 717, 137106. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137106](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137106)

Yang, Y., Guo, H., Chen, L., Liu, X., Gu, M., & Ke, X. (2019). Regional analysis of the green development level differences in Chinese mineral resource-based cities. *Resources Policy*, 61, 261–272. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.02.003](https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.02.003)

Yu, L., Zhao, D., Xue, Z., & Gao, Y. (2020). Research on the use of digital finance and the adoption of green control techniques by family farms in China. *Technology in Society*, 62, 101323. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101323](https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101323)

Yuan, B., & Xiang, Q. (2018). Environmental regulation, industrial innovation and green development of Chinese manufacturing: Based on an extended CDM model. *Journal of Cleaner Production*, 176, 895–908. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.034](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.034)

Zhang, K., Zhang, Z.-Y., & Liang, Q.-M. (2017). An empirical analysis of the green paradox in China: From the perspective of fiscal decentralization. *Energy Policy*, 103, 203–211. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.023](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.023)

Zhang, N., Deng, J., Ahmad, F., & Draz, M. U. (2020). Local Government Competition and Regional Green Development in China: The Mediating Role of Environmental Regulation. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 17, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/ijerph17103485>

Zhou, K., Zhou, B., & Yu, M. (2020). The impacts of fiscal decentralization on environmental innovation in China. *Growth and Change*, 51(4), 1690–1710. <https://doi.org/10.1111/grow.12432>

Zhu, B., Zhang, M., Zhou, Y., Wang, P., Sheng, J., He, K., Wei, Y.-M., & Xie, R. (2019). Exploring the effect of industrial structure adjustment on interprovincial green development efficiency in China: A novel integrated approach. *Energy Policy*, 134, 110946. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110946>

Zhu, Y., Zhou, X., Li, J., & Wang, F. (2022). Technological Innovation, Fiscal Decentralization, Green Development Efficiency: Based on Spatial Effect and Moderating Effect. In *Sustainability* (Vol. 14, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/su14074316>