

***CAN TECHNOLOGICAL AND INSTITUTIONAL INNOVATION BE A  
SOURCE OF GREEN ECONOMIC GROWTH IN SUMATRA? :  
AN ECONOMETRIC ANALYSIS WITH BIG DATA SUPPORT***

**ABSTRACT**

Circular economic activities have been widely applied by all countries including Indonesia as one of the goals of sustainable development. Sumatra as part of Indonesia also implements activities in the goods and service industry that support green economic growth. This study examines how the development of a green economy in Sumatra with a sample unit of 10 provinces in the 2018-2021 period and whether technological innovation (ICT development index) and institutional innovation (fiscal policy, environmental regulation, open investment system) can be a benchmark for economic growth. In addition, the use of big data in the form of google trends is also included in this study. Green economy can be calculated through Green Total Factor Productivity (GTFP). Judging from the GTFP description, on average in Sumatra it is still below 1, which means that green economic growth is still negative with a distribution that tends to be uneven. This indicates that circular activities have not been implemented optimally in the goods and services industry in Sumatra. By using panel regression analysis, it is known that technological innovation is significant but negative to GTFP, while environmental regulation is significant and positive. Interestingly, the use of Google Trends shows significant and positive results. In addition, with spatial regression analysis, it is known that there is a spillover effect of GTFP and its determinants. The general conclusion states that technological innovation and institutional innovation can be used as a source of green growth in Sumatra. Policies that can be made by the government in general should refer to technological developments by paying attention to green activities and increasing stimulus to the environment so that there is harmony with increasing green economic growth, especially in Sumatra. Due to the spillover effect on GTFP, the government can formulate regional policies by paying attention to things other than the predictor variables in this study.

*Keywords: Google Trends, Green Total Factor Productivity, Institutional and Technological Innovation, Panel and Spatial Panel Regression Analysis*

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang, Motivasi, dan Riset Gap

Esensi dari pembangunan berkelanjutan adalah meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui pemerataan pembangunan pada generasi saat ini dan generasi yang akan datang (Salim, 1990). United Nations (2007) juga mengungkapkan hal senada bahwa pembangunan berkelanjutan merupakan pembangunan masa kini yang tetap memperhatikan ketersediaan sumber daya pada generasi yang akan datang. Konsep pembangunan tersebut berupaya menjaga keterpaduan antara pembangunan ekonomi, sosial dan lingkungan.

Bila berkaca pada realita saat ini, pembangunan masih menitikberatkan pada pembangunan ekonomi konvensional yang mengeksplorasi sumber daya terutama dari alam yang butuh waktu lama dalam regenerasinya. Kerusakan lingkungan juga menjadi bagian yang tidak dapat dipisahkan dari hasil pembangunan saat ini. Misalnya saja keberadaan hutan maupun lahan gambut yang telah memenuhi berbagai kebutuhan pangan, energi, dan bahan konstruksi bagi manusia telah menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca dengan kontribusi sebesar 61% dari total emisi Indonesia (RIB, AMF, IA2P Indonesia, 2021). Energi listrik masih mengandalkan proses pembakaran batubara, minyak maupun gas yang turut menghasilkan emisi global. Begitu pula dengan aktivitas industri manufaktur masih memanfaatkan bahan bakar fosil dalam proses produksinya, moda transportasi masih masif menggunakan bahan bakar fosil, serta aktivitas ekonomi lainnya masih cukup besar menghasilkan emisi gas rumah kaca. Emisi tersebut menyebabkan terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim bahkan dunia mengalami peningkatan suhu tercepat dalam sejarah (PBB Indonesia, 2022). Efek iklim yang tidak menentu sudah mulai banyak dirasakan saat ini dan sangat berefek pada kelangsungan hidup manusia. Suhu udara yang anomali (BMKG, 2022), curah hujan yang semakin ekstrim (Husodo, 2021) sebagai dampak perubahan iklim telah menyebabkan banyak terjadinya banjir di berbagai tempat seperti yang diberitakan dari situs BNPB. Kondisi tersebut tentunya berdampak pada aktivitas ekonomi, mulai dari produktivitas pertanian, maupun kegiatan industri dan jasa. Bahkan BAPPENAS memperkirakan kerugian ekonomi akibat perubahan iklim mencapai 544 triliun rupiah sepanjang tahun 2020-2024 (Rabbi, 2022).

Isu perubahan iklim yang terus bergulir secara global menjadi tantangan bagi Indonesia untuk turut serta menjaga bumi dari peningkatan pemanasan global sebagai efek dari emisi gas rumah kaca (GRK) yang terus meningkat. Presiden Jokowi dalam *The Paris Agreement* pada tahun 2015 berkomitmen mereduksi emisi GRK sebesar 29% (dengan upaya nasional) dan sebesar 41% (dengan dukungan internasional) hingga tahun 2030. Dalam upaya mendukung

komitmen tersebut, Bappenas (2015) telah menyusun cetak biru pertumbuhan ekonomi hijau nasional. Ekonomi hijau merupakan model pembangunan yang tidak hanya menitikberatkan pembangunan ekonomi namun juga memperhatikan keberlanjutan lingkungan. Ekonomi hijau membuka peluang pekerjaan baru (*green jobs*) maupun investasi baru (*green investment*), seperti yang terjadi di Amerika pendapatan meningkat hingga USD 460 juta dan terciptanya 44.000 lapangan kerja baru dari energi baru terbarukan (Sutrisno, 2022). Kondisi tersebut sejalan pula dengan hasil penelitian Sonwa et. al. (2016) bahwa ekonomi hijau memberikan manfaat yang besar dibandingkan ekonomi konvensional yang mengabaikan lingkungan dimana penerapan ekonomi hijau melalui pengurangan deforestasi hingga 50 persen dapat memperoleh keuntungan negara hingga US\$ 835 juta dalam kurun waktu 2010 hingga 2030. Bappenas (2019) juga optimis bahwa PDB Indonesia akan meningkat menjadi 6% per tahun hingga 2045 melalui mekanisme rendah karbon.

## 1.2 Permasalahan dan Pertanyaan Penelitian

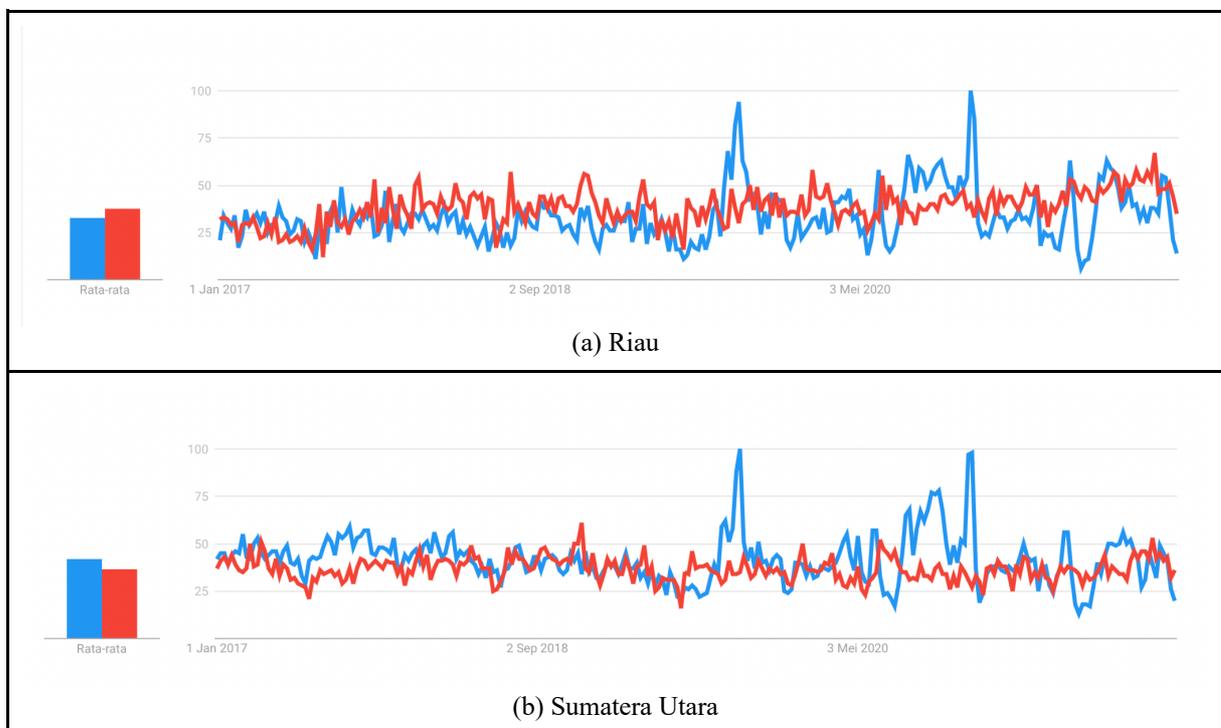
Pertumbuhan ekonomi erat kaitannya dengan produktivitas, begitu pula dengan ekonomi hijau yang berdasar pada konsep peningkatan produktivitas dan perlindungan lingkungan (Elsadig, 2012). Dalam upaya mengevaluasi kesiapsiagaan dalam implementasi ekonomi hijau melalui produktivitas ekonomi hijau maka perlu dilakukan identifikasi terhadap kinerja ekonomi hijau baik pada level nasional maupun regional. Bila pada ekonomi konvensional dilakukan pendekatan melalui produksi faktor total/ *total factor productivity* (TFP) maka pada ekonomi hijau dilakukan pendekatan melalui indikator produktivitas faktor total hijau/ *green total factor productivity* (GTFP) yang memperhitungkan peningkatan produktivitas dan efek emisi maupun kerusakan lingkungan (Rusiawan et. al, 2015). Melalui indikator GTFP tersebut dapat diketahui peta ekonomi hijau dan dapat diidentifikasi determinannya sehingga dapat disusun strategi dalam mempercepat implementasi ekonomi hijau. Beberapa kajian mengenai GTFP di Indonesia masih terbatas pada kajian level nasional secara agregat (Rusiawan et. al, 2015) maupun estimasi di satu kota (Sri et al, 2021).

Selain kesinambungan antara pembangunan ekonomi dan pelestarian lingkungan terdapat isu lain yang dianggap relevan sebagai penggerak utama produktivitas hijau, diantaranya adalah inovasi dalam teknologi maupun inovasi institusi (Han et al, 2021). Esensi inovasi teknologi dapat menyederhanakan proses bisnis sehingga mengurangi eksploitasi sumber daya produksi dalam upaya mendukung ekonomi hijau. Dukungan institusi dari sisi pemerintah baik dalam bentuk kebijakan fiskal, anggaran untuk perbaikan lingkungan dan menciptakan iklim investasi menjadi bagian yang penting dalam implementasi ekonomi hijau. Kebijakan

pemerintah yang fokus pada isu lingkungan akan menjadi acuan bagi masyarakat maupun pelaku usaha dalam aktivitas ekonomi. Apalagi sistem fiskal maupun investasi yang memperhatikan lingkungan akan mendorong pelaku ekonomi untuk menyesuaikan aktivitasnya sesuai dengan arahan ataupun inovasi institusi/ pemerintah.

Penelitian ini mengusulkan penyusunan indeks GTFP per provinsi di pulau Sumatera serta bagaimana dekomposisi dari indeks tersebut berdasarkan pemanfaatan perkembangan teknologinya maupun efisiensi produksinya. Apalagi pulau Sumatera memiliki peran penting dalam perekonomian nasional dengan kontribusi 21,70 persen pada tahun 2021. Aktivitas ekonomi di Sumatera juga turut digerakkan oleh kegiatan perkebunan, industri manufaktur, dan pertambangan yang memiliki efek gas rumah kaca. Selain itu, sekitar 20 persen lahan gambut di Indonesia terdapat di pulau Sumatera yang turut serta menyerap karbon dunia (katadata, 2019). Kondisi tersebut menjadi isu menarik untuk dikaji apakah produktivitas hijau secara spasial di regional Sumatera memiliki efek *spillover*.

Semakin berkembangnya *big data* di era revolusi 4.0 menjadi *tools* yang menarik dalam mendukung analisis empirik terhadap isu lingkungan khususnya di Sumatera. Salah satu bentuk *big data* yang dapat dengan mudah dimanfaatkan yaitu *Google Trends* dimana indeks tersebut menggambarkan pola suatu kata kunci yang direkam melalui pencarian *Google*.



**Gambar 1.** Pola *Google Trends* Kata Kunci “Hutan” (grafik biru) dan “Sawit” (grafik merah)

Berdasarkan Gambar 1 dapat diketahui bahwa baik di Riau dan Sumatera Utara memiliki pola *Google Trends* yang sama dari kata kunci “Hutan” dan “Sawit”. Penentuan kata kunci

tersebut berdasarkan persepsi peneliti dimana Riau dan Sumatera Utara merupakan provinsi dengan industri minyak kelapa sawit terbesar baik secara regional maupun nasional. Sebagai industri manufaktur yang besar, maka perusahaan tersebut memberikan efek karbon dalam aktivitasnya. Grafik di atas menunjukkan bahwa pola kata kunci “Hutan” dan “Sawit” semakin memiliki pola yang bertolak belakang di tahun 2022, dugaan awalnya adalah minat masyarakat mencari informasi mengenai hutan tidak semasif kondisi sebelumnya apalagi alih fungsi lahan hutan menjadi sawit bisa saja tidak semasif dahulu. Ini merupakan salah satu contoh penggunaan *Google Trends* dalam membahas isu perekonomian hijau. Oleh karena itu, *google trends* menjadi menarik untuk dijadikan pendukung dalam menganalisis data empiris, namun dalam menentukan kata kunci, penelitian ini menggunakan *web scraping* sehingga data yang dihasilkan lebih objektif.

### 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mendeskripsikan gambaran *Green Total Factor Productivity* dan determinannya di Sumatera.
2. Memodelkan determinan inovasi teknologi dan inovasi institusi terhadap *Green Total Factor Productivity* di Sumatera.
3. Mengidentifikasi efek *spillover* dari determinan inovasi teknologi dan inovasi institusi terhadap *Green Total Factor Productivity* di Sumatera secara spasial.

### 1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan gambaran dari hasil penelitian sebagai acuan dalam merumuskan kebijakan-kebijakan terkait aktivitas produktivitas ekonomi dari kegiatan-kegiatan pada industri barang dan jasa khususnya di Sumatera dengan memperhatikan efek samping terhadap lingkungan agar tercapai tujuan mendorong pertumbuhan ekonomi hijau.
2. Memberikan informasi kepada pemerintah (K/L/D/I) khususnya di provinsi-provinsi di Sumatera dari hasil penelitian ini yang dapat dijadikan rekomendasi dalam membuat suatu aturan baku untuk mengembangkan aktivitas ekonomi sirkular di daerahnya.
3. Bagi para pembaca, dapat dijadikan gambaran dari hasil analisis terkait efek inovasi teknologi dan inovasi institusi terhadap *Green Total Factor Productivity*, serta efek *spillover*-nya.
4. Bagi para peneliti, hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan untuk melakukan penelitian lanjutan yang lebih kompleks.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Ekonomi Hijau dan Determinannya

Menurut UNEP (2009) pada Konferensi PBB tentang Pembangunan Berkelanjutan, ekonomi hijau diakui sebagai alat untuk mencapai pembangunan sosial, ekonomi dan lingkungan yang berkelanjutan. Program Lingkungan PBB telah mendefinisikan ekonomi hijau sebagai salah satu yang menghasilkan peningkatan kesejahteraan manusia dan kesetaraan sosial, sementara secara signifikan mengurangi risiko lingkungan dan kelangkaan ekologi. Sederhananya, ekonomi hijau dapat dianggap sebagai ekonomi yang rendah karbon, efisien sumber daya, dan inklusif secara sosial. Dalam ekonomi hijau, pertumbuhan lapangan kerja dan pendapatan didorong oleh investasi publik dan swasta ke dalam kegiatan ekonomi, infrastruktur dan aset yang memungkinkan pengurangan emisi karbon dan polusi, peningkatan efisiensi energi dan sumber daya, dan pencegahan hilangnya keanekaragaman hayati dan jasa ekosistem.

Investasi hijau perlu diaktifkan dan didukung melalui pengeluaran publik yang ditargetkan, reformasi kebijakan dan perubahan perpajakan dan peraturan. Dewan Lingkungan PBB mempromosikan jalur pembangunan yang memahami modal alam sebagai aset ekonomi penting dan sumber manfaat publik, terutama bagi masyarakat miskin yang mata pencahariannya bergantung pada sumber daya alam. Gagasan ekonomi hijau tidak menggantikan pembangunan berkelanjutan, tetapi menciptakan fokus baru pada ekonomi, investasi, modal dan infrastruktur, lapangan kerja dan keterampilan, serta hasil sosial dan lingkungan yang positif di seluruh Asia dan Pasifik. Ekonomi hijau memberikan pendekatan makro-ekonomi untuk pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan dengan fokus utama pada investasi, lapangan kerja dan keterampilan.

### 2.2 *Green Total Factor Productivity (GTFP)*

Produktivitas hijau mulai bergulir sejak tahun 1994 dan rekomendasi KTT Bumi 1992 dengan strategi pembangunan berkelanjutan yang berfokus pada pembangunan ekonomi dan perlindungan lingkungan (Rusiawan et. al, 2015). *Asian Productivity Organization (APO, 2002)* mengenalkan produktivitas hijau sebagai cara praktis untuk menjawab tantangan pembangunan berkelanjutan dengan objek program tersebut adalah peningkatan produktivitas dan sekaligus mengurangi kerusakan lingkungan.

Beberapa penelitian sebelumnya mengukur produktivitas hijau melalui pendekatan GTFP. Rusiawan et al (2015) mengukur GTFP Indonesia tahun 1975-2012. Komponen input menggunakan proksi stok modal, dan tenaga kerja, sedangkan komponen output menggunakan

proksi PDB serta emisi CO<sub>2</sub> sebagai output kerusakan lingkungan dari aktivitas ekonomi. *Data Envelopment Analysis* (DEA) menggunakan indeks malmquist menunjukkan bahwa pertumbuhan TFP tanpa emisi CO<sub>2</sub> memberikan kontribusi yang kecil terhadap pertumbuhan ekonomi dari tahun 1976 sampai 2011 yaitu sekitar -0,62%. Nilai produktivitas bernilai negatif menjelaskan bahwa terjadi inefisiensi faktor produksi yaitu pertumbuhan output tidak sebesar pertumbuhan modal dan tenaga kerja. Hasil pertumbuhan GTFP dari tahun 1976-2010 memiliki rata-rata -1,83% per tahun. Pada periode yang sama, pertumbuhan emisi CO<sub>2</sub> memiliki rata-rata 6,62% per tahun. Kondisi tersebut menggambarkan kegiatan ekonomi memiliki korelasi positif dengan emisi CO<sub>2</sub>, namun perlu ada upaya pengendalian pertumbuhannya agar tetap rendah sehingga peningkatan nilai output diharapkan selalu lebih besar dari peningkatan nilai input dan peningkatan emisi CO<sub>2</sub> dari kegiatan produksi. Penelitian Han et. al. (2021) menggunakan indeks malmquist global untuk mengukur GTFP di 266 kota di China dari tahun 2004 hingga 2018 dengan pendekatan komponen inputnya tenaga kerja, modal, dan konsumsi listrik, dan komponen outputnya adalah PDB serta komponen output dari aktivitas ekonomi berupa emisi limbah pada air, emisi SO<sub>2</sub>, dan polusi udara. GTFP yang diperoleh merupakan cerminan dinamis dari pertumbuhan ekonomi hijau dengan rata-rata sebesar 1,0327 selama periode penelitian atau rata-rata pertumbuhan GTFP adalah 3,27%. GTFP tersebut jauh lebih rendah dari rata-rata pertumbuhan PDB sekitar 9,14%. Hal tersebut menggambarkan fenomena pertumbuhan ekonomi yang mengorbankan sumber daya dan lingkungan. GTFP dengan indeks malmquist didekomposisi berdasarkan kemajuan teknologi, dan peningkatan efisiensi teknologi.

### 2.3 *Big Data* Sebagai Fenomena

*Big data* adalah kekayaan (aset) informasi yang memiliki volume besar, kecepatan tinggi dan variasi banyak, yang menuntut adanya bentuk-bentuk pengolahan informasi yang inovatif dan hemat biaya, yang dapat digunakan untuk meningkatkan wawasan dan kualitas pengambilan keputusan (Gartner, 2014). *Big data* adalah frasa populer yang digunakan untuk menggambarkan sebuah volume yang masif dari data yang terstruktur dan data yang tidak terstruktur, yang dikarenakan besarnya sulit untuk diproses dengan teknik database dan *software* yang tradisional. Karakteristik yang digunakan untuk membedakan *big data* dengan data biasa adalah adanya 3-V atau *Volume* (isi) yang lebih besar, *Variety* (variasi atau keragaman) yang lebih banyak dan *Velocity* (kecepatan) yang lebih tinggi (UN Global Pulse, 2012). Penggunaan *big data* di era digital mulai banyak digunakan untuk mendukung data statistik resmi. Penelitian menggunakan big data pernah dilakukan oleh Fajriyah et al (2022)

tentang implementasi teknologi *big data* di era digital, menyatakan bahwa perusahaan-perusahaan yang bergerak pada sektor bisnis dapat memanfaatkan informasi berharga yang dihasilkan *big data* untuk mengoptimalkan proses pengambilan keputusan, agar target memaksimalkan raihan profit dapat tercapai. Sedangkan institusi yang bergerak di bidang layanan publik dapat menggunakan *output* informasi dari *big data* untuk memaksimalkan tingkat kepuasan layanan kepada klien/pelanggannya.

Salah satu contoh *big data* yaitu *Google trends* yang memberikan akses ke sampel permintaan penelusuran di google yang sebagian besar tidak disaring. Data sampel permintaan penelusuran ini dianonimkan (tidak ada yang teridentifikasi secara pribadi), dikategorikan (menentukan topik dari kueri penelusuran), dan dikelompokkan/diagregasi. *Google trends* memungkinkan untuk menunjukkan minat pada topik tertentu dari seluruh dunia, atau sampai wilayah geografi tertentu dari suatu negara. Data *google trends* masih jarang digunakan untuk memprediksi variabel makro ekonomi seperti inflasi, produksi industri dan lain-lain. Namun, sejalan dengan perkembangan penelitian yang memanfaatkan data *google trends*, ditemukan beberapa literatur/referensi yang melakukan penelitian menggunakan *google trends* untuk memprediksi indikator makroekonomi (Nooraeni et al, 2019). Data *google trends* berpotensi untuk memprediksi dalam jangka pendek, namun tidak untuk jangka panjang. Penelitian menggunakan Google Trends telah banyak dilakukan, diantaranya adalah untuk meramal pembelian mobil, penjualan ritel, dan pembelian perumahan di Amerika (Choi & Varian, 2012), meramalkan pengangguran di negara Spanyol (Vicente, Lopez-Menendez, & Perez, 2015), dan peramalan PDB (Patricia, 2021).

## 2.4 Riset Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Han et al (2021) tentang faktor pendorong pertumbuhan ekonomi hijau di kota-kota di China menggunakan kerangka kerja pertumbuhan ekonomi hijau dari Bank Dunia yang mencakup modal, tenaga kerja, lingkungan, dan kebijakan-kebijakan untuk mendorong pertumbuhan ekonomi hijau. Dalam penelitiannya, inovasi teknologi dan inovasi institusi dilibatkan sebagai faktor pendorong pertumbuhan ekonomi hijau. Inovasi institusi meliputi empat aspek yaitu sistem desentralisasi fiskal, regulasi lingkungan, sistem harga sumber daya, dan sistem keterbukaan dalam berinvestasi. Hasil penelitiannya yaitu inovasi teknologi dan inovasi institusi secara signifikan mendorong pertumbuhan ekonomi hijau perkotaan di China.

Penelitian yang dilakukan Chen et al (2018) menggunakan pengukuran *the Global Malmquist-Luenberger* (GML) sebagai indeks mengukur *Green Total Factor Productivity*

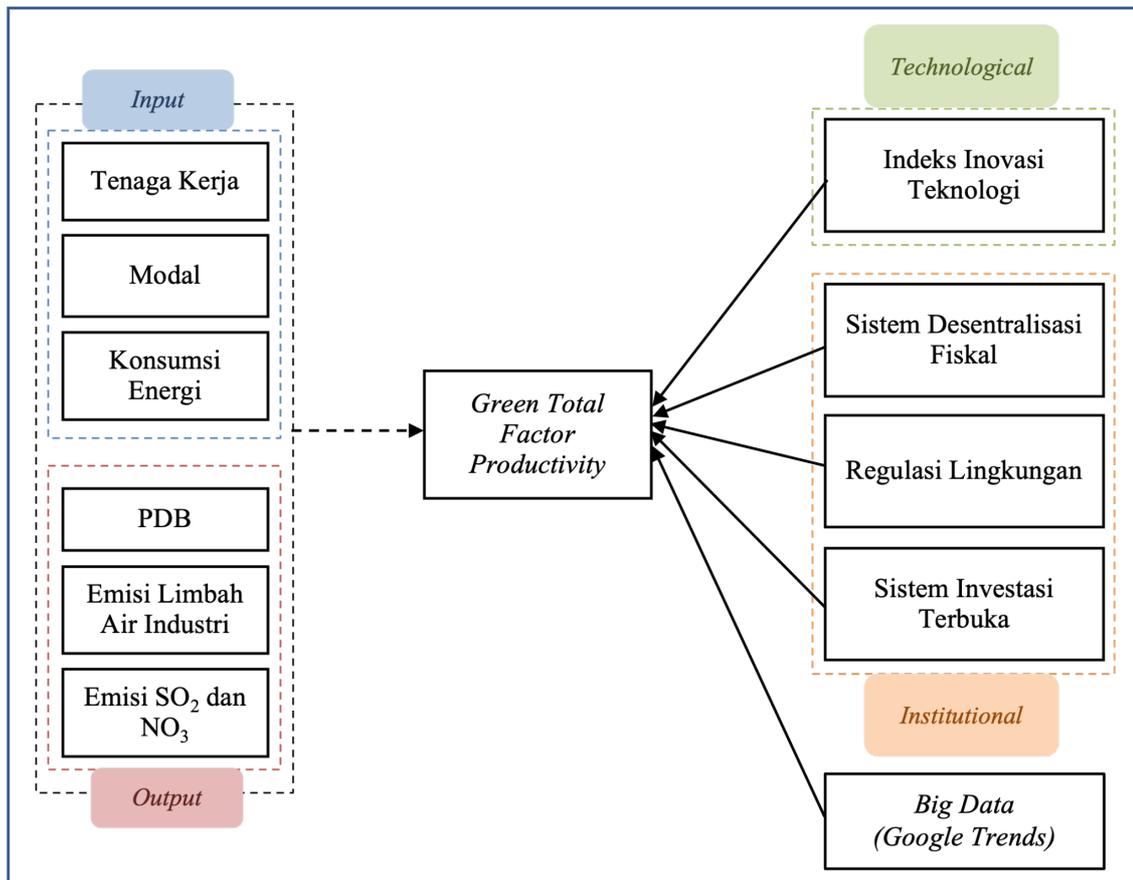
(GTFP) industri ekonomi di China yang dikembangkan dari indeks *Malmquist-Luenberger* (ML). Mengutip dari penelitian Fare et al (2007), struktur teknologi *input* dan *output* yang meliputi *output* yang baik dan jelek dapat dikatakan sebagai teknologi produksi hijau. Dari hasil analisis oleh Chen et al (2018), regulasi lingkungan dapat meningkatkan GTFP, struktur asuransi dan hak milik berperan positif meningkatkan GTFP, namun struktur modal dan energi memberikan dampak yang kurang baik terhadap GTFP.

Penelitian oleh Tian & Yu (2021) tentang efek spasial dari ekonomi hijau di China menyimpulkan bahwa ada efek limpahan spasial yang signifikan dalam efisiensi ekonomi hijau dan perkembangan informasi memainkan dampak penting pada efisiensi ekonomi hijau.

Penelitian terdahulu tentang *big data* dilakukan oleh Nuti SV, Wayda B, Ranasinghe I, Wang S, Dreyer RP, et al(2014) tentang penggunaan *google trends* dalam penelitian perawatan kesehatan yang menyimpulkan bahwa *google trends* dapat digunakan untuk mempelajari fenomena kesehatan di berbagai domain topik dengan berbagai cara. *Google trends* memiliki potensi sebagai sarana yang gratis dan mudah diakses untuk mengakses data penelusuran populasi besar guna memperoleh wawasan yang berarti tentang perilaku populasi dan kaitannya dengan kesehatan dan perawatan kesehatan.

## 2.5 Kerangka Konseptual, Paradigma, dan Pernyataan Hipotesis

Dalam menyusun kerangka konseptual, penelitian ini mengacu pada penelitian oleh Han et al (2021) yang menggunakan konsep pertumbuhan ekonomi hijau dari Bank Dunia. Penelitian ini melibatkan inovasi teknologi dan inovasi institusi sebagai faktor pendorong perekonomian hijau. Penelitian ini menggunakan *Green Total Factor Productivity* (GTFP) sebagai indeks yang menggambarkan perekonomian hijau. Dari penelitian oleh Chen et al (2018), GTFP dapat dihitung menggunakan *Malmquist Productivity Index* yang disusun oleh variabel *input* dan *output*. Faktor *input* antara lain *Labour*, *Capital*, dan *Energy*, sedangkan faktor *output* antara lain GDP, emisi limbah air industri, dan emisi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>3</sub> (Han et al, 2021). Selain itu, penelitian ini juga menggunakan *google trends* sebagai pendukung data empiris sesuai dengan penelitian Patricia (2021) dalam meramalkan PDB menggunakan *google trends*. Berdasarkan teori dan penelitian sebelumnya yang digunakan, maka kerangka konseptual dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2. Kerangka Konsep

Kerangka konsep tersebut menjelaskan bahwa indeks *Green Total Factor Productivity* (GTFP) disusun oleh variabel *input* berupa jumlah tenaga kerja, pembentukan modal tetap bruto, dan konsumsi listrik, serta variabel *output* berupa PDRB, indeks kualitas air, dan indeks kualitas udara. Indeks GTFP yang terbentuk kemudian diduga dapat dipengaruhi oleh inovasi teknologi yaitu indeks pembangunan TIK dan tiga aspek inovasi institusi yaitu indeks kapasitas fiskal daerah, regulasi lingkungan, dan sistem investasi terbuka. Selain itu, terdapat penggunaan *big data* yaitu *google trends* yang dimanfaatkan dalam penelitian ini. Dari kerangka konsep tersebut, maka diperoleh beberapa hipotesis penelitian sebagai berikut.

Tabel 1. Hipotesis Penelitian

Hipotesis	Perumusan
Hipotesis 1	Indeks Pembangunan Teknologi Informasi dan Komunikasi berpengaruh positif terhadap indeks <i>Green Total Factor Productivity</i>
Hipotesis 2	Indeks Kapasitas Fiskal Daerah berpengaruh positif terhadap indeks <i>Green Total Factor Productivity</i>
Hipotesis 3	Regulasi Lingkungan berpengaruh positif terhadap indeks <i>Green Total Factor Productivity</i>
Hipotesis 4	Sistem Investasi Terbuka berpengaruh positif terhadap indeks <i>Green Total Factor Productivity</i>

Hipotesis	Perumusan
Hipotesis 5	<i>Google trends</i> dapat dimanfaatkan sebagai pendukung indeks <i>Green Total Factor Productivity</i>

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain penelitian kuantitatif yang meliputi analisis deskriptif dan analisis eksplanatori. Analisis deskriptif dilakukan untuk melihat gambaran atau karakteristik dari *Green Total Factor Productivity* (GTFP) dan determinannya, sedangkan analisis eksplanatori dilakukan untuk melihat pengaruh determinan yang terdiri dari inovasi teknologi dan inovasi institusi terhadap GTFP dengan melibatkan data empiris dan penggunaan *big data* berupa *Google Trends*.

#### 3.2 Populasi, Sampel, dan Jenis Sumber Data

Populasi yang dijadikan target pada penelitian ini yaitu Pulau Sumatera dengan unit sampel 10 provinsi-provinsi yang ada di Sumatera. Data yang digunakan berupa data panel yaitu kombinasi *cross-section* dan *time series* periode 2018 dan 2019 (periode sebelum pandemi covid-19), 2020 (periode pandemi covid-19), serta 2021 (periode pemulihan). Adapun sumber data yang digunakan merupakan data sekunder dengan variabel-variabel penelitian yang diperoleh dari beberapa sumber.

**Tabel 2.** Variabel Penelitian

Variabel	Satuan	Metode/Indikator	Notasi	Sumber
<b>Variabel Dependen</b>				
<i>Green Total Factor Productivity</i>	Poin	<i>Malmquist Productivity Index</i>	GTFP	Perhitungan peneliti
<b>Variabel Independen</b>				
Indeks Inovasi Teknologi	Persentase	Perubahan Indeks Pembangunan Teknologi Informasi dan Komunikasi	IP-TIK	BPS
Sistem Desentralisasi Fiskal	Persentase	Perubahan Indeks Kapasitas Fiskal Daerah	IKFD	Kementerian Keuangan
Regulasi Lingkungan	Persentase	Perubahan APBD Lingkungan Hidup terhadap APBD Total	RL	BPS
Sistem Investasi Terbuka	Persentase	Perubahan Penanaman Modal Asing terhadap PDRB	ST	BPS

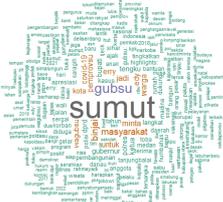
Green Total Factor Productivity (GTFP) dibentuk oleh faktor *input* antara lain *Labour*, *Capital*, dan *Energy*, sedangkan faktor *output* antara lain GDP, emisi limbah air industri, dan emisi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>3</sub> (Han et al, 2021). Adapun indikator dari setiap faktor sebagai berikut.

Tabel 3. Indikator Pembentuk GTFP

Variabel	Satuan	Metode/Indikator	Notasi	Sumber
<b>Faktor Input</b>				
Tenaga Kerja	Jiwa	Angkatam kerja yang bekerja	TK	BPS
Modal	Juta rupiah	Pembentukan Modal Tetap Bruto	PMTB	BPS
Energi	Gwh	Jumlah listrik terjual	EL	Statistik PLN
<b>Faktor Output</b>				
PDB	Juta rupiah	Produk Domestik Regional Bruto	PDRB	BPS
Emisi Limbah Air Industri	Poin	Indeks Kualitas Air	IKA	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Emisi SO <sub>2</sub> dan NO <sub>3</sub>	Poin	Indeks Kualitas Udara	IKU	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Indikator-indikator tersebut kemudian disusun menjadi indeks GTFP menggunakan pendekatan *Malmquist Productivity Index* (MPI). Selain menggunakan data empiris, penelitian ini juga menggunakan *big data* berupa *google trends* yang diperoleh dari *website trends.google.co.id*. Sebelum mengumpulkan data *google trends* maka diperlukan kata kunci yang berkorelasi dengan GTFP. Metode yang digunakan untuk menentukan kata kunci yaitu *web scraping* melalui beberapa media yang dirangkum sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil Web Scraping

No.	Media	Wordcloud	Kata Kunci Terpilih
1	Aceh Online		gubernur, dana, desa
2	Waspada		bupati, gubernur, dana, desa, jalan

No.	Media	Wordcloud	Kata Kunci Terpilih
3	Sumbar Antara News		dana, desa, APBD, menguat
4	Riau Antara News		gubernur, dana, APBD, program
5	Media Jambi		dana, desa, inflasi, gelar
6	Sumsel Antara News		dana, desa, gelar, rupiah
7	Bengkulu Antara News		dana, desa, inflasi, gelar
8	Lampung Antara News		dana, desa, rupiah, naik
9	Babel Antara News		dana, inflasi, wisata, bumh
10	Kepri Antara News		dana, desa, program, ekspor

Dari *web scraping* yang telah dilakukan kemudian menginventarisir data *google trends* dari masing-masing kata kunci. Selanjutnya, dari kata kunci tersebut dibentuk indeks komposit berdasarkan periode yaitu 2018 hingga 2021 menggunakan *principle component analysis*

(PCA). Indeks komposit yang terbentuk digunakan sebagai variabel prediktor dalam penelitian ini pada model dugaan *big data* yang dijelaskan pada hipotesis 5 dalam Tabel 1.

### 3.3 Teknik Pengujian Kualitas Data dan Pemodelan

#### 3.3.1 GTFP dengan Pendekatan *Malmquist Productivity Index* (MPI)

Pengukuran produktivitas hijau menggunakan Indeks Malmquist (*Malmquist Productivity Index*). Bjurek (1996) memperkenalkan pengembangan indeks produktivitas malmquist untuk unit produksi antara  $t$  dan  $t+1$  berdasarkan tingkat teknologi pada waktu  $k$ ,  $k=1$  dan  $k=t+1$  (Putri dan Sukmaningrum, 2020). Indeks yang dibangun adalah berupa rasio antara sebuah indeks output dan indeks input atau rasio antara malmquist output indeks dan malmquist input indeks dengan persamaan berikut.

$$MTFP_k = \frac{MO_k(y_t, y_{t+1}, x_k)}{MI_k(y_t, y_{t+1}, x_k)} = \frac{E_k^O(y_{t+1}, x_k)/E_k^O(y_t, x_k)}{E_k^I(y_{t+1}, x_k)/E_k^I(y_t, x_k)}, \text{ dengan } k = t, t+1 \quad (1)$$

Nilai malmquist index lebih kecil dari 1 maka terjadi penurunan produktivitas, bila lebih dari 1 maka terjadi peningkatan produktivitas, sedangkan bila sama dengan 1 maka tidak ada perubahan kinerja. .

Penelitian ini menggunakan pendekatan MPI dengan orientasi output karena berorientasi untuk memaksimalkan output (dengan melibatkan efek lingkungan sebagai output) dengan memanfaatkan input-input yang tersedia. MPI dapat didekomposisi menjadi 2 komponen, yaitu TECHCH yang menunjukkan pemanfaatan teknologi dan inovasi selama proses produksi), dan EFFCH yang mencerminkan kemampuan perusahaan dalam memaksimalkan output yang dihasilkan dengan sejumlah input yang tersedia (Fukuyama, 1995 dan Kamarudin et al., 2017 dalam Putri dan Sukmaningrum, 2020).

Dalam pengukuran GTFP, penelitian ini mengkombinasikan beberapa penelitian sebelumnya dalam penentuan komponen input dan output dan melakukan proksi dengan beberapa variabel karena terbatasnya sumber data khususnya data lingkungan.

**Tabel 5.** Penelitian Terdahulu GTFP

Peneliti	Komponen Input	Komponen Output	Objek
Han et. al (2021)	Tenaga kerja, modal, konsumsi listrik	PDB, emisi air, emisi SO2, emisi udara	266 kota di China tahun 2004-2018
Sri, et al (2021)	Stok modal, dan tenaga kerja	PDB serta emisi CO2	Kota Kupang tahun 2016-2020
Rusiawan et al (2015)	Stok modal, dan tenaga kerja	PDB serta emisi CO2	Indonesia tahun 1975-2012

Peneliti	Komponen Input	Komponen Output	Objek
Penelitian saat ini	Jumlah tenaga kerja, PMTB, konsumsi listrik	PDB, indeks kualitas air, indeks kualitas udara	10 provinsi di pulau Sumatera tahun 2017-2021

### 3.3.2 Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif adalah metode-metode yang berkaitan dengan pengumpulan dan penyajian suatu gugus data sehingga memberikan informasi yang berguna mengenai data dan tidak menarik kesimpulan apapun tentang gugus data tersebut. Penyusunan tabel, diagram, dan grafik termasuk dalam analisis statistika deskriptif (Walpole, 2012).

### 3.3.3 Regresi Panel

Regresi panel adalah regresi dengan struktur data panel yaitu gabungan dari data *cross section* dan data *time series*. Data *cross section* adalah nilai dari satu atau lebih variabel yang diambil dari beberapa unit sampel atau subjek pada periode waktu yang sama, sedangkan data *time series* adalah nilai dari satu atau lebih variabel selama satu periode waktu. Dalam data panel, unit individu yang sama dikumpulkan dari waktu ke waktu (Gujarati & Porter, 2015). Secara umum, persamaan model regresi panel dapat ditulis sebagai berikut.

$$y_{it} = \alpha_{it} + \beta'X_{it} + e_{it} \quad (2)$$

dimana,  $y_{it}$  merupakan variabel respon,  $\alpha_{it}$  adalah koefisien intersep,  $\beta_{it}$  ( $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ ) merupakan koefisien slope dengan  $k$  banyaknya variabel prediktor,  $X_{it}$  ( $X1it, X2it, \dots, Xkit$ ) merupakan variabel prediktor, dan  $e_{it}$  adalah komponen residual dengan IIDN  $(0, \sigma^2)$ .  $it$  adalah unit individu ke- $i$  dan periode waktu ke- $t$ .

Terdapat tiga pendekatan yang sering digunakan dalam melakukan estimasi model regresi panel, diantaranya *common effect model* (CEM), *fixed effect model* (FEM), dan *random effect model* (REM).

**Tabel 6.** Estimasi Model Regresi Panel

CEM	FEM	REM
CEM merupakan pendekatan untuk mengestimasi data panel yang paling sederhana dimana seluruh data digabungkan tanpa memperhatikan individu dan waktu. Pada model CEM $\alpha$ konstan atau sama disetiap individu maupun setiap waktu. (Gujarati & Porter, 2015)	FEM merupakan pendekatan untuk mengestimasi data panel yang dapat dibedakan berdasarkan individu dan waktu. Pada model FEM perbedaan intersep dinyatakan dalam variabel <i>dummy</i> sehingga dapat diestimasi menggunakan metode OLS untuk mendapatkan estimasi yang tidak bias dan konsisten. (Nachrowi & Usman, 2006)	Pendekatan model <i>fixed effect</i> dan model <i>dummy</i> untuk data panel dapat menimbulkan permasalahan hilangnya derajat bebas dari suatu model dan menghalangi untuk mengetahui model aslinya. Oleh karena itu, estimasi perlu dilakukan dengan model komponen <i>error</i> atau model efek acak. (Gujarati & Porter, 2015)

## Pemilihan Model Regresi Panel

### 1. Uji Chow

Uji Chow digunakan untuk mengetahui apakah teknik regresi data panel dengan model FEM lebih baik dari model CEM. Uji Chow ini mirip dengan uji F (Widarjono, 2013).

$H_0: a_1 = a_2 = \dots = a_N$  (Model CEM)

$H_1$ : paling sedikit ada satu  $a_i \neq a_j$  untuk  $i \neq j$  (Model FEM) ;  $i, j = 1, 2, \dots, N$

### 2. Uji Hausman

Uji Hausman adalah pengujian untuk memilih model terbaik antara FEM dan REM (Asteriou & Hall, 2007).

$H_0: corr(X_{it}, e_{it}) = 0$  (Model REM)

$H_1: corr(X_{it}, e_{it}) \neq 0$  (Model FEM)

### 3. Uji Lagrange Multiplier (LM)

Uji LM merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui apakah model REM lebih baik dari model CEM (Widarjono, 2013).

$H_0: \sigma_i = 0$  (Model CEM)

$H_1: \sigma_i \neq 0$  (Model REM)

### 3.3.4 Asumsi Klasik

Asumsi dasar yang digunakan dalam pemodelan regresi panel adalah tidak adanya kasus multikolinieritas, residual berdistribusi normal, residual homogen, dan residual bersifat independen. Akan tetapi, beberapa literatur mengatakan bahwa dalam penggunaan data panel, asumsi-asumsi dasar tersebut boleh tidak dipertimbangkan dalam penelitian. Menurut Basuki (2016) mengatakan bahwa pada data panel tidak perlu menggunakan semua pengujian asumsi klasik seperti yang digunakan dalam regresi linier. Nachrowi, Djalal, & Usman (2006) menyatakan bahwa model regresi panel tidak mensyaratkan persamaan yang bebas autokorelasi. Hal tersebut dikarenakan adanya korelasi serial antar residual karena data yang terurut secara *time series*.

**Tabel 7.** Asumsi Klasik

Asumsi	Metodologi
Tidak adanya kasus multikolinieritas	Multikolinieritas merupakan adanya hubungan linier antar variabel bebas atau variabel prediktor. Cara untuk mendeteksi multikolinieritas dapat menggunakan <i>Variance Inflation Factor</i> (VIF) dimana nilai VIF tidak lebih dari 10.

Residual berdistribusi normal	Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah residual memenuhi asumsi berdistribusi normal atau tidak. Kenormalan data dapat diuji dengan metode Kolmogorov-Smirnov.
Residual bersifat homogen	Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui homogenitas varians residual. Homoskedastisitas berarti bahwa variansi dari <i>error</i> bersifat konstan (tetap) atau disebut juga identik. Apabila terjadi kasus heteroskedastisitas, maka pengira kuadrat terkecil tetap tak bias dan konsisten, tetapi tidak efisien (variansi membesar). Salah satu metode yang sering digunakan adalah uji Glejser yaitu meregresikan absolut residual dengan variabel prediktor.
Residual bersifat independen	Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui autokorelasi yang sering muncul pada data <i>time series</i> . Otokorelasi dalam konsep regresi linier berarti komponen error berkorelasi berdasarkan urutan waktu (pada data berkala) atau urutan ruang (pada data tampang lintang), atau korelasi pada dirinya sendiri. Salah satu metode dapat digunakan yaitu uji Breusch-Godfrey.

### 3.3.4 Regresi Spasial Data Panel

Beberapa model yang dapat diperoleh dari model regresi spasial dengan data panel secara umum adalah (Elhorst, 2009):

- Model Spasial Lag (*Spatial Autoregressive/ SAR*) Data Panel

Model ini menunjukkan bahwa variabel dependen bergantung pada variabel independen yang diamati dan variabel dependen pada unit terdekat. Bentuk umumnya yaitu:

$$y = \delta W_{NT} y + X\beta + (\iota_T \otimes I_N)\mu + \varepsilon \quad (3)$$

dengan :  $w_{ij}$  = pembobot spasial terstandarisasi baris ke-i kolom ke-j.

$y$  = vektor variabel dependen berukuran NT x 1.

$X$  = matriks variabel independen berukuran NT x K.

$\delta$  = koefisien parameter spasial lag pada model spasial lag data panel.

$\varepsilon$  = vektor error berukuran NT x 1.

$\mu$  = matriks efek spesifik spasial berukuran N x 1.

$W_{NT}$  = matriks pembobot spasial terstandarisasi berukuran NT x NT.

$\iota_T$  = vektor berukuran T x 1 yang setiap entrinya berisi 1.

$I$  = matriks identitas berukuran N x N.

Model *fixed effect* tersebut diestimasi dengan metode *maximum likelihood* dengan persamaan berikut:

$$\hat{\beta} = ((X^*)'X^*)^{-1}(X^*)y^* - ((X^*)'X^*)^{-1}(X^*)\delta(\iota_T \otimes W)y^* \quad (4)$$

- Model Spasial Error (SEM) Data Panel

Model ini menunjukkan bahwa variabel dependen bergantung pada variabel independen yang diamati dan error yang berkorelasi antar tempat (space) yang berdekatan. Bentuk umumnya adalah sebagai berikut.

$$y = X\beta + (I_T \otimes I_N)\mu + \phi$$

$$\phi = \rho W_{NT} \phi + \varepsilon \tag{5}$$

dengan :  $\rho$  = koefisien parameter spasial error pada model spasial error data panel.

$\phi$  = vektor error berukuran NT x 1.

$\varepsilon$  = vektor error berukuran NT x 1.

Model *fixed effect* tersebut diestimasi dengan metode *maximum likelihood* dengan persamaan berikut:

$$\hat{\beta} = \{[X^* - \rho(I_T \otimes W)X^*]'[X^* - \rho(I_T \otimes W)X^*]\}^{-1} [X^* - \rho(I_T \otimes W)X^*]'[y^* - \rho(I_T \otimes W) \phi^*] \tag{6}$$

Pengujian ketepatan pada model spasial yaitu menggunakan uji Lagrange Multiplier. uji ini bertujuan menguji interaksi spasial pada model dengan statistik uji Chi-square (Elhorst, 2014). Adapun hipotesis yang digunakan sebagai berikut:

- Hipotesis untuk pemodelan spasial *lag*

H<sub>0</sub> : tidak ada ketergantungan spasial *lag*

H<sub>1</sub> : ada ketergantungan spasial *lag*

- Hipotesis untuk pemodelan spasial *error*

H<sub>0</sub> : tidak ada ketergantungan spasial *error*

H<sub>1</sub> : ada kebergantungan spasial *error*

### 3.4 Teknis Analisis Data

1. Mengumpulkan data penyusun *Green Total Factor Productivity* (GFTP) berupa *input* dan *output* dan determinannya yang telah dijelaskan di subbagian 3.2 pada variabel penelitian, kemudian membentuk indeks GFTP menggunakan Malmquist-Luenberger pada masing-masing provinsi di Pulau Sumatera periode 2018-2021, serta indeks *google trends*.
2. Menjawab rumusan masalah pertama: melakukan analisis statistika deskriptif pada masing-masing variabel respon dan variabel prediktor.
3. Menjawab rumusan masalah yang kedua:
  - a. Membentuk indeks komposit *google trends*

Indeks komposit dibentuk melalui data *google trends* dengan menggunakan kata kunci yang ditunjukkan pada Tabel 4 dengan menggunakan metode *principle component*

*analysis* (PCA). Indeks ini kemudian digunakan sebagai variabel prediktor yang bertujuan untuk menunjukkan *big data* dapat dimanfaatkan sebagai pendukung statistik ofisial

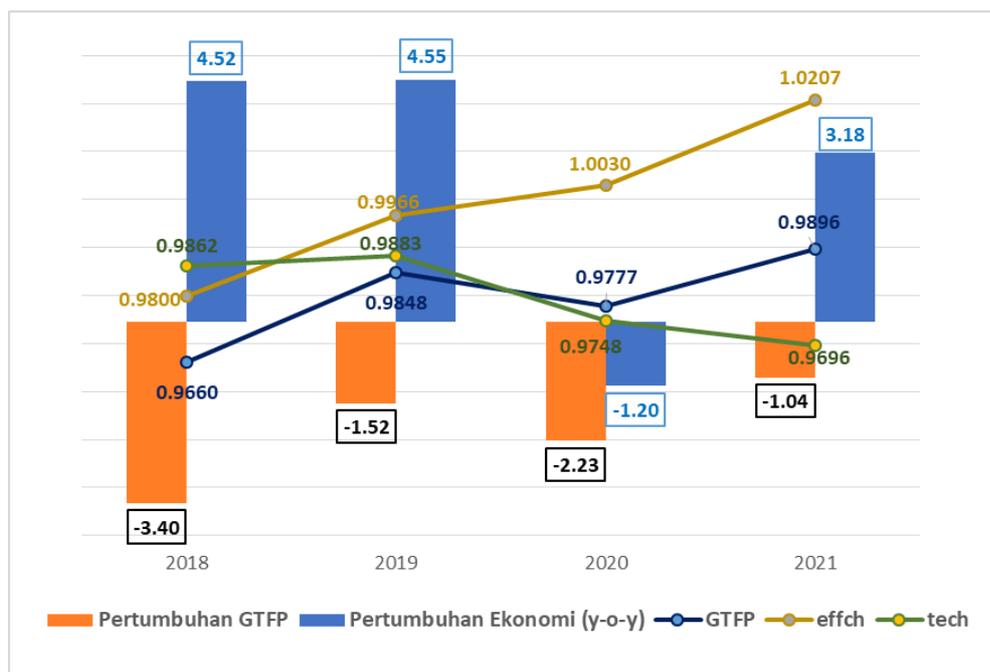
- b. Melakukan pemodelan menggunakan analisis regresi panel dengan berbagai skema kemudian memilih model terbaik berdasarkan evaluasi model
- c. Melakukan interpretasi model yang terbentuk
4. Menjawab rumusan masalah yang ketiga:
  - a. Melakukan pemodelan menggunakan regresi spasial untuk mengetahui apakah ada efek limpahan pada provinsi-provinsi di Sumatera berdasarkan periode penelitian yaitu 2018 hingga 2021
  - b. Melakukan interpretasi model yang terbentuk
5. Membuat kesimpulan, implikasi, saran, dan rekomendasi.

#### IV. HASIL, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Karakteristik *Green Total Factor Productivity*

###### 4.1.1 Deskripsi *Green Total Factor Productivity* dan Determinannya

GTFP menggambarkan ukuran produktivitas ekonomi dari kegiatan industri barang dan jasa di suatu wilayah dengan memperhatikan emisi limbah air dan udara sebagai efek samping dari kegiatan sektor produksi tersebut terhadap lingkungan. Semakin tinggi nilai GTFP maka produktivitas ekonomi hijau di wilayah tersebut semakin baik. Gambaran GTFP yang diukur dengan indeks produktivitas malmquist di Sumatera secara rata-rata adalah sebagai berikut.



**Gambar 3.** Rata-rata GTFP dan Dekomposisi GTFP di Pulau Sumatera Tahun 2018-2021

Berdasarkan indeks produktivitas malmquist, nilai rata-rata GTFP dari seluruh provinsi di Pulau Sumatera berada dibawah 1 sepanjang tahun 2018 sampai 2021, begitu pula dengan rata-rata pertumbuhan GTFP masih dibawah rata-rata pertumbuhan ekonomi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa aktivitas ekonomi di Pulau Sumatera masih belum optimal memperhatikan lingkungan. Namun bila diperhatikan pola pertumbuhan GTFP cenderung menunjukkan adanya perubahan menuju arah peningkatan sejalan dengan mulai berjalannya penerapan ekonomi hijau dalam aktivitas ekonomi, seperti kegiatan perbankan yang mulai beralih ke sistem pelayanan digital, aktivitas perdagangan khususnya di kalangan UMKM yang mulai melakukan digitalisasi. Untuk melihat lebih lanjut terkait produktivitas hijau, GTFP dapat didekomposisi menjadi indeks EFFCH dan TECH. EFFCH mencerminkan kemampuan perusahaan dalam memaksimalkan output yang dihasilkan dengan sejumlah input yang tersedia, sedangkan TECHCH menunjukkan pemanfaatan teknologi dan inovasi selama proses produksi. Pada gambar 3, TECH menunjukkan nilai dibawah 1 yang berarti pemanfaatan teknologi dan inovasi menuju ekonomi hijau di Sumatera masih belum optimal. Perlu upaya lebih lanjut dalam menciptakan inovasi teknologi hijau yang mendukung produktivitas ekonomi. Sementara itu, nilai EFFCH cenderung meningkat dan bernilai diatas 1 selama tahun 2020 sampai 2021 yang mengindikasikan bahwa kegiatan ekonomi di Sumatera sudah mulai efisien dalam pemanfaatan input yang tersedia maupun menggunakan bahan baku produksi yang ramah lingkungan sebagai upaya pembangunan berkelanjutan. Berdasarkan temuan tersebut, peningkatan produktivitas ekonomi hijau di Sumatera dipercepat oleh efisiensi pemanfaatan sumber daya namun pada saat yang bersamaan perlu ada optimalisasi dari sisi pemanfaatan teknologi hijau dalam mendukung pembangunan ekonomi.

Grafik di atas menggambarkan GTFP, sedangkan deskripsi untuk determinan GTFP adalah sebagai berikut.

**Tabel 8.** Deskripsi Determinan GTFP

<b>Tahun</b>	<b>IPTIK</b>	<b>IKFD</b>	<b>RL</b>	<b>ST</b>
2018	5,012	0,585	0,671	1,972
2019	5,241	0,559	0,676	1,975
2020	5,541	0,564	0,703	2,661
2021	5,882	0,503	1,506	1,751

Berdasarkan Tabel 8 diketahui bahwa pada Indeks Pembangunan Teknologi Informasi dan Komunikasi (IPTIK) di provinsi-provinsi di Sumatera secara rata-rata cenderung mengalami peningkatan meskipun tidak terlalu tajam. Hal ini menunjukkan bahwa

perkembangan TIK di Sumatera terus meningkat seiring dengan era digitalisasi, bahkan Kepulauan Riau selalu menempati 5 besar secara nasional.

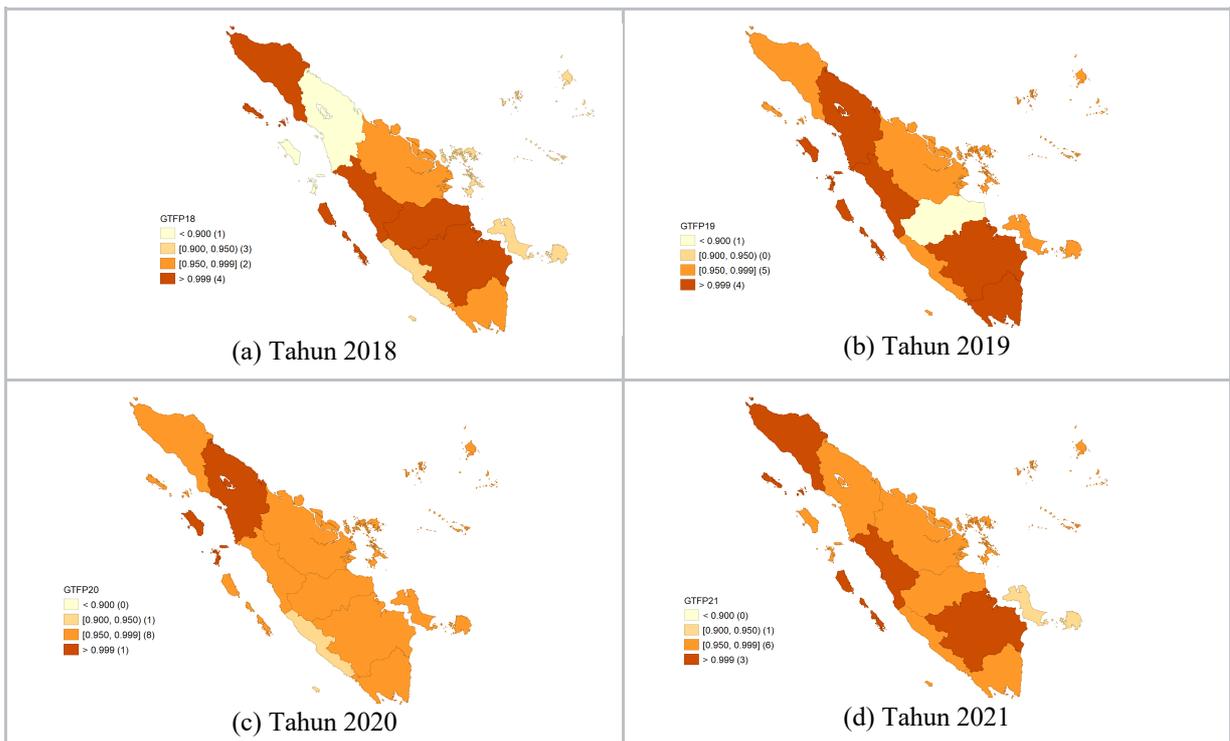
Jika dilihat dari Indeks Kapasitas Fiskal Daerah (IKFD) cenderung fluktuatif. Rata-rata di Pulau Sumatera masih diantara 0,5 yang termasuk dalam kategori sedang. Pada tahun 2018 ke 2019 dan 2020 ke 2021 cenderung mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan menurunnya juga alokasi dana yang digunakan untuk kebijakan fiskal daerah di Sumatera.

Dilihat pada Regulasi Lingkungan (RL) dimana pada penelitian ini menggunakan persentase APBD lingkungan hidup terhadap APBD total, cenderung tiap tahunnya meningkat. Hal ini mencerminkan bahwa kepedulian pemerintah terhadap lingkungan di daerah terus meningkat, bahkan pada tahun 2021 di provinsi Lampung terjadi peningkatan yang cukup tajam dari yang semula tahun 2020 sebesar 0,16 persen menjadi 9,48 persen.

Pada Sistem investasi Terbuka (ST) yang digambarkan oleh rasio penanaman modal asing terhadap PDRB cenderung fluktuatif. Peningkatan tertinggi terjadi pada tahun 2020 dimana pada tahun tersebut terjadi pandemi covid-19. Hal ini menunjukkan pemerintah melakukan investasi dari perusahaan asing cenderung ke arah alat kesehatan dan stimulus dalam perdagangan ekspor impor barang dan jasa.

#### 4.1.2 Sebaran *Green Total Factor Productivity*

Setelah mengetahui deskripsi GTFP melalui grafik pada Gambar 3, perlu diketahui juga pola sebaran GTFP secara menyeluruh di Pulau Sumatera. Sebaran GTFP di masing-masing provinsi di Sumatera disajikan pada gambar berikut.



**Gambar 4.** Sebaran GTFP di Pulau Sumatera Tahun 2018-2021

GTFP secara spasial di provinsi-provinsi di Sumatera menunjukkan pencapaian produktivitas hijau yang fluktuatif selama tahun 2018-2021. Pada masa sebelum adanya pandemi covid-19, persebaran GTFP memang tidak merata, apalagi dari tahun 2018 ke 2019 ada 2 provinsi yang mengalami penurunan yaitu Aceh dan Jambi. Di masa pandemi covid-19 tahun 2020, hanya Sumatera Utara yang memiliki nilai indeks produktivitas hijau diatas 1. Selain Sumatera Utara yang memiliki pertumbuhan positif di masa pandemi yaitu peralihan 2019 ke 2020, terdapat 2 provinsi yang juga memiliki GTFP yang tumbuh positif yaitu Jambi dan Kepulauan Riau, sedangkan 7 provinsi lainnya memiliki indeks yang cenderung turun. Pada masa pemulihan ekonomi yaitu tahun 2021, terdapat 4 provinsi yang memiliki pertumbuhan menurun dari indeks GTFP yaitu Sumatera Utara, Riau, Jambi, dan Kepulauan Bangka Belitung. Hal ini mengindikasikan bahwa ketika roda perputaran ekonomi mulai berjalan di masa pemulihan, khususnya industri barang dan jasa, maka GTFP cenderung turun dikarenakan industri yang berjalan tersebut belum memperhatikan aktivitas berbasis ekonomi sirkular. Pembangunan ekonomi hijau masih menjadi tantangan hampir di setiap provinsi di Sumatera baik dalam efisiensi pemanfaatan sumber daya khususnya sumber daya alam maupun pemanfaatan inovasi teknologi hijau.

## 4.2 Pemodelan Regresi Panel

Pemodelan menggunakan regresi panel dilakukan untuk mengetahui pengaruh inovasi teknologi dan inovasi institusi terhadap GTFP dari data yang berbasis data panel yaitu gabungan data *cross section* dan *time series*. Pemodelan dengan regresi panel ini menganalisis model dugaan tanpa efek spasial.

### 4.2.1 Hasil Pengujian Kualitas Data dan Pemodelan Panel

Pengujian kualitas data digunakan untuk memilih estimator model terbaik dari model hipotesis dugaan pada penelitian ini. Hasil analisis kualitas data adalah sebagai berikut.

**Tabel 9.** Hasil Uji Pemilihan Model Estimasi

Model Dugaan	Uji Chow		Uji Hausman		Model Estimasi Terpilih
	<i>P-Value</i>	Keputusan	<i>P-Value</i>	Keputusan	
Model Empiris	0,0008	FEM	1,0000	REM	REM
Model Empiris Modifikasi	0,0000	FEM	1,0000	REM	REM
Model <i>Big Data</i>	0,0003	FEM	1,0000	REM	REM
Model <i>Big Data</i> Modifikasi	0,0000	FEM	1,0000	REM	REM

Ket:

Model empiris merupakan model dengan data empiris tanpa menggunakan big data

Model big data merupakan model empiris (sebagai kontrol) + google trends

Model modifikasi merupakan model hanya dengan variabel yang signifikan

Berdasarkan hasil pemilihan model estimasi diketahui baik pada model empiris dan big data diperoleh model dengan metode *Random Effect Model* (REM). Selain itu, pada model modifikasi baik model empiris modifikasi dan model big data modifikasi juga diperoleh model estimasi *Random Effect Model* (REM). Setelah diperoleh model estimasi untuk masing-masing model, langkah selanjutnya yaitu melakukan pengujian signifikansi parameter.

**Tabel 10.** Hasil Uji Signifikansi Parameter Model

Model	Variabel	Koefisien	t-stat	P-value
Model Empiris	C	0,992113	129,9641	0,0000*
	IPTIK	-0,002214	-2,710907	0,0103*
	IKFD	0,0000169	0,067813	0,9463
	RL	0,00000379	3,900730	0,0004*
	ST	0,000118	1,274378	0,2109
Model Empiris Modifikasi	C	0,988601	139,6387	0,0000*
	IPTIK	-0,001402	-2,206758	0,0336*
	RL	0,00000207	2,927107	0,0058*
Model Big Data	C	0,958381	39,75070	0,0000*
	IPTIK	-0,001534	-1,233091	0,2260
	IKFD	0,0000214	0,086621	0,9315
	RL	0,00000242	3,804899	0,0006*
	ST	0,000108	1,265186	0,2144
	Google Trends	0,001035	1,947980	0,0597
Model Big Data Modifikasi	C	0,936280	70,03528	0,0000*
	Google Trends	0,001514	3,991698	0,0003*

Ket:

\*signifikan pada taraf kepercayaan 5%

Berdasarkan hasil uji signifikansi parameter, pada model empiris diketahui bahwa terdapat 2 variabel yang signifikan yaitu indeks pembangunan TIK dan regulasi lingkungan. Kemudian melakukan pemodelan modifikasi dengan menggunakan variabel prediktor yang signifikan dari model empiris. Dari hasil uji signifikansi parameter, diperoleh hasil yang sama dengan model tanpa modifikasi yaitu model dengan variabel prediktor indeks pembangunan TIK dan regulasi lingkungan. Indeks pembangunan TIK merupakan bentuk inovasi teknologi dan regulasi lingkungan termasuk sebagai inovasi institusi. Hal ini menunjukkan bahwa inovasi teknologi dan inovasi institusi berpengaruh signifikan terhadap GTFP.

Dilihat pada model *big data* ketahui bahwa regulasi lingkungan berpengaruh signifikan terhadap GTFP. Selanjutnya melakukan pemodelan modifikasi pada model *big data* dengan mengeluarkan variabel prediktor yang paling tidak signifikan (*backward elimination*). Setelah melakukan modifikasi, diperoleh hasil bahwa hanya indeks komposit *google trends* yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *big data* berupa *google trends* berpengaruh terhadap GTFP.

Dari hasil pengujian kualitas data dan pemodelan menggunakan regresi panel, diperoleh 2 model baru yang terbentuk yaitu model empiris modifikasi dan model *big data* modifikasi. Kedua model tersebut kemudian dievaluasi untuk mengetahui apakah model layak digunakan sebagai acuan perumusan kebijakan atau tidak.

#### 4.2.2 Evaluasi Model Panel

Evaluasi secara ekonometrika dilakukan pada dua model yang terbentuk yaitu model empiris modifikasi dan model *big data* modifikasi.

**Tabel 11.** Hasil Evaluasi Model

Evaluasi	Model Empiris Modifikasi	Model <i>Big Data</i> Modifikasi
Multikolinieritas	IPTIK = 1,21 RL = 1,05	IKGT = 1,24
Residual Berdistribusi Normal	KS = 0,136 p-value = 0,063	KS = 0,121 p-value = 0,141
Residual bersifat identik	F-stat = 1,413529 p-value = 0,256115	F-stat = 4,067166 p-value = 0,050831
Residual bersifat independen	LM = 53,43900 p-value = 0,1818	LM = 51,88875 p-value = 0,2232

Berdasarkan evaluasi model yang telah dilakukan pada evaluasi multikolinieritas yang dilihat dari nilai VIF diketahui kedua model tidak ada kasus multikolinieritas dikarenakan tidak lebih dari 10. Evaluasi residual normal, kedua model juga telah memenuhi asumsi dengan nilai probabilitas statistik uji yang lebih besar dari 5%. Evaluasi residual identik dengan melihat nilai p-value yang lebih dari 5%, maka kedua model tidak ada kasus heteroskedastisitas. Dilihat dari evaluasi residual independen, dengan nilai probabilitas statistik uji yang lebih dari 5%, maka dikatakan kedua model tidak ada kasus autokorelasi. Dari hasil evaluasi tersebut, dapat dikatakan model telah sesuai dan dapat diinterpretasi yang kemudian digunakan sebagai acuan dalam pemberian rekomendasi kepada pemerintah.

#### 4.2.3 Interpretasi Model Panel Terbaik

Serangkaian analisis regresi panel tanpa efek spasial telah dilakukan. Dari hasil analisis diperoleh 2 model terbaik yang memiliki klasifikasi yang berbeda. Setelah model terbentuk, langkah berikutnya yaitu menginterpretasi model tersebut yang dijelaskan sebagai berikut.

- Model Empiris Modifikasi:

$$GTFP\ EMPIRIS = 0,988601 - 0,001402 IPTIK + 0,00000207 RL$$

Interpretasi:

Dari model empiris diketahui bahwa indeks pembangunan TIK sebagai komponen inovasi teknologi berpengaruh negatif terhadap *green total factor productivity* (GTFP). Jika indeks pembangunan TIK naik satu satuan maka GTFP akan turun sebesar 0,001402 satuan. Hasil ini bertolak belakang dengan tujuan Bank Dunia bahwa pertumbuhan ekonomi hijau dipengaruhi positif oleh kemajuan teknologi. Hal ini juga tidak sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Han et al (2021) yang menyatakan bahwa peningkatan GTFP berasal dari peningkatan efisiensi teknologi hijau. Ini menjadi menarik untuk dicermati dan hal ini mengindikasikan bahwa pembangunan TIK di Sumatera belum memperhatikan hal-hal yang berkaitan dengan teknologi hijau sehingga ketika semakin tinggi peningkatan teknologi di Sumatera maka ekonomi hijau cenderung turun. Oleh karena itu, jika akan melakukan pembangunan TIK khususnya daerah-daerah di Sumatera, maka pemerintah harus berfokus pada pembangunan yang menerapkan teknologi hijau.

Jika dilihat dari model tersebut, regulasi lingkungan sebagai komponen inovasi institusi juga berpengaruh terhadap GTFP meskipun sangat kecil namun signifikan. Jika regulasi lingkungan dalam hal ini persentase APBD untuk lingkungan hidup naik 1 persen maka GTFP akan meningkat 0,00000207 satuan. Hasil ini sejalan dengan tujuan Bank Dunia bahwa perhatian terhadap lingkungan akan meningkatkan perekonomian hijau. Hal ini juga sejalan dengan penelitian Han et al (2021) yang menyatakan bahwa inovasi institusi secara signifikan mendorong pertumbuhan ekonomi hijau, bahkan memiliki peran lebih besar dibandingkan teknologi. Oleh karena itu, pemerintah lebih memperhatikan regulasi atau kebijakan-kebijakan terkait lingkungan hidup dalam dunia industri barang dan jasa agar menerapkan kegiatan berorientasi ekonomi sirkular. Dikarenakan dalam hal ini APBD lingkungan hidup yang signifikan, maka perlu pengalokasian dana yang lebih besar dari APBD untuk menerapkan kebijakan aktivitas berbasis ekonomi hijau.

- Model Big Data Modifikasi:

$$GTFP\ BIG\ DATA = 0,936280 + 0,001514 IKG$$

Interpretasi:

Berdasarkan hasil pemodelan dengan melibatkan penggunaan *google trends* sebagai *big data*, diketahui bahwa indeks komposit dari susunan kata kunci *google trends* berpengaruh signifikan terhadap GTFP. Hal ini sejalan dengan penelitian Nuti SV, Wayda B, Ranasinghe I, Wang S, Dreyer RP (2014) tentang penggunaan *google trends* dalam penelitian perawatan

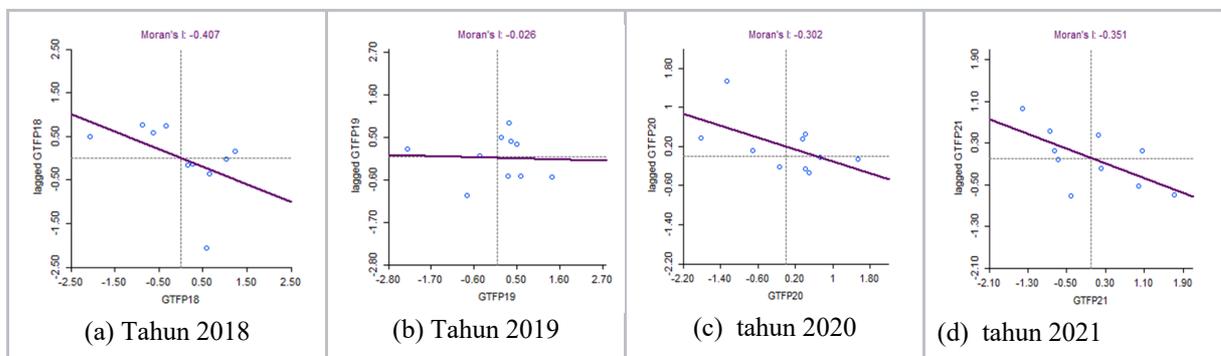
kesehatan yang menyimpulkan bahwa *google trends* dapat digunakan untuk mempelajari fenomena kesehatan di berbagai domain topik dengan berbagai cara. Oleh karena itu, seiring dengan pembangunan fasilitas TIK maka pengguna teknologi terutama internet pada masyarakat akan meningkat, namun pembangunan tersebut harus mengadopsi perekonomian hijau agar sejalan dengan tujuan Bank Dunia maupun salah satu tujuan pembangunan berkelanjutan yang menerapkan ekonomi sirkular. Dari hasil model *big data* ini dapat dikatakan bahwa penggunaan *big data* berupa *google trends* dapat mendukung hasil penelitian atau official statistik.

### 4.3 Pemodelan Regresi Spasial Panel

Pemodelan dengan regresi panel telah dilakukan dan diperoleh hasil bahwa inovasi teknologi yaitu indeks pembangunan TIK dan inovasi institusi yaitu regulasi lingkungan berpengaruh signifikan terhadap GTFP. Hasil pemodelan tersebut belum mengadopsi efek secara spasial, sehingga selanjutnya dilakukan pemodelan dengan mempertimbangan efek spasial.

#### 4.3.1 Moran's I

Moran's I digunakan untuk mengetahui apakah ada autokorelasi spasial antar amatan atau lokasi secara global (Lee & Wong, 2001). Hasil grafik Moran's I adalah sebagai berikut.

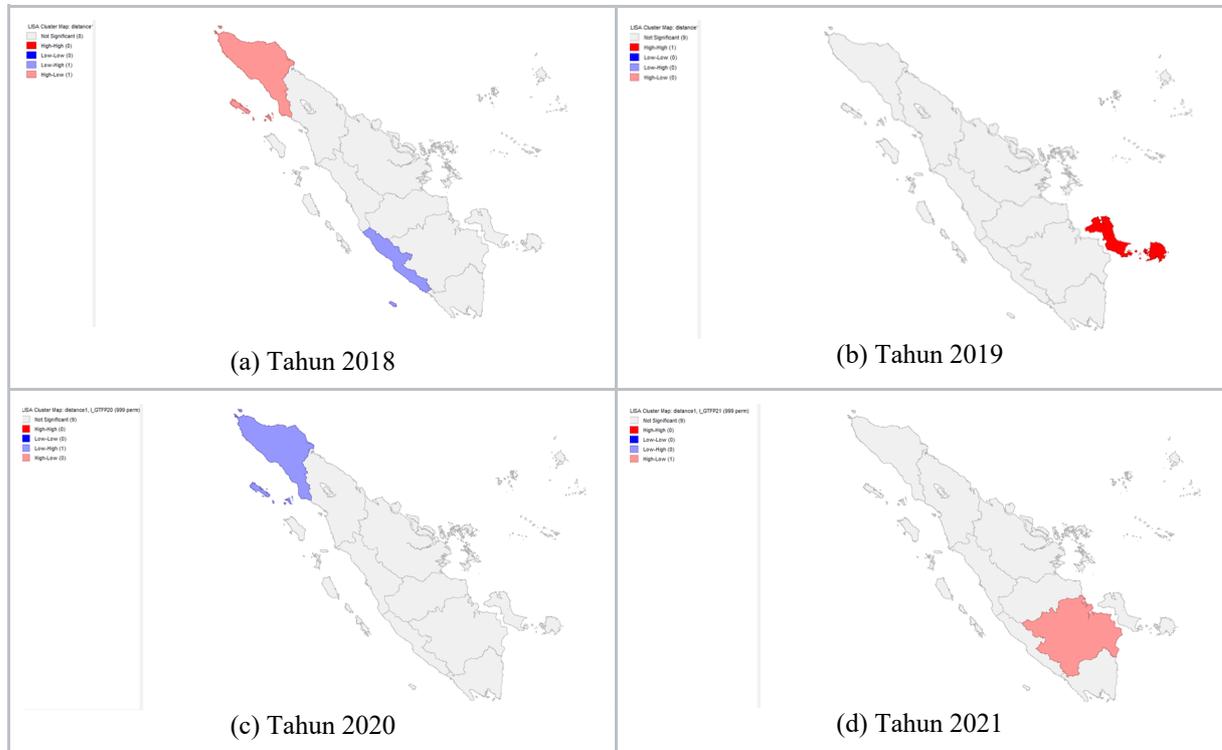


Gambar 5. Scatter Plot Moran pada Indeks GTFP Tahun 2018-2021

Gambar diatas menunjukkan tren autokorelasi spasial global dari produktivitas hijau antar provinsi di Sumatera. Autokorelasi spasial global dievaluasi berdasarkan nilai indikator Moran's I yang berkisar antara -1 sampai dengan 1. Nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan adanya korelasi yang kuat antar wilayah yang berdekatan. Pada penelitian ini kami menemukan bahwa autokorelasi spasial global dari produktivitas hijau selama tahun 2018-2021 memiliki arah yang negatif dan nilai Moran's I masih dibawah 0,5 atau dapat dikatakan autokorelasi spasial produktivitas hijau antar provinsi di Sumatera masih tergolong rendah.

### 4.3.2 Indikator Lokal Autokorelasi Spasial (LISA)

LISA digunakan untuk menunjukkan hubungan spasial yang signifikan antara suatu lokasi pengamatan dengan lokasi pengamatan lainnya (Lee & Wong, 2001). Hasil pemetaan LISA adalah sebagai berikut.



**Gambar 6.** Indikator LISA pada Indeks GTFP Tahun 2018-2021

Berdasarkan hasil identifikasi LISA di atas diketahui bahwa pada tahun 2018 terdapat 2 provinsi yang memiliki hubungan spasial *outlier* antara lain Aceh dengan klasifikasi *high-low* dan Bengkulu dengan klasifikasi *low-high*, yang artinya Aceh memiliki GTFP tinggi namun provinsi di sekitarnya memiliki GTFP rendah dan Bengkulu memiliki GTFP rendah namun dikelilingi oleh provinsi yang memiliki GTFP tinggi. Hal ini dikarenakan pada tahun 2018 indeks kualitas air dan udara yang digunakan sebagai *output* di Provinsi Aceh cenderung lebih baik dibandingkan Sumatera Utara meskipun secara *input* masih lebih rendah. Sedangkan di Bengkulu, indeks kualitas air jauh lebih rendah dibandingkan provinsi sekitarnya yaitu Sumatera Selatan dan Jambi. Dilihat pada tahun 2019, terdapat satu provinsi yang memiliki hubungan spasial *hot spots* yaitu Kepulauan Bangka Belitung dengan klasifikasi *high-high*, yang artinya Kepulauan Bangka Belitung memiliki GTFP tinggi dan provinsi di sekitarnya juga memiliki GTFP tinggi pula. Selanjutnya pada tahun 2020, Aceh kembali memiliki hubungan spasial *outlier* pada klasifikasi *low-high*. Jika dilihat pada tahun 2021, hubungan spasial yang signifikan terjadi di provinsi Sumatera Selatan dengan kategori *high-low*. Dari hasil LISA ini dapat disimpulkan bahwa penetapan kebijakan yang dibuat oleh pemerintah tidak dapat

diimplementasikan secara menyeluruh ke semua provinsi, namun provinsi-provinsi yang signifikan harus memperoleh perhatian khusus.

### 4.3.3 Uji Kebaikan Model dan Pemilihan Efek Spasial

Uji kebaikan model dilakukan untuk menentukan model mana yang digunakan pada data GTFP dan determinannya, apakah *pooling effect* atau *fixed effect* atukah *random effect*. Pengujian yang dilakukan dengan metode Hausman dimana model yang digunakan yaitu dependensi lag spasial dengan hasil sebagai berikut.

**Tabel 12.** Hasil Uji Hausman

Uji	<i>Chi-square</i>	df	<i>P-Value</i>	Keterangan
Hausman	0,78191	4	0,9409	Model <i>Fixed Effect</i>

Berdasarkan uji kebaikan model dengan Hausman di atas diketahui bahwa model yang digunakan yaitu *fixed effect* dikarenakan *p-value* yang lebih dari taraf signifikan 5 persen.

Berdasarkan model *fixed effect* yang telah ditentukan pada pengujian sebelumnya, langkah selanjutnya dilakukan uji *Lagrange Multiplier* (LM) untuk memilih efek spasial yang digunakan.

**Tabel 13.** Hasil Uji *Lagrange Multiplier* (LM)

Efek Spasial	LM	df	<i>P-value</i>	Keterangan
Spasial Lag	3,862	1	0,04938	Tidak terdapat efek spasial error pada data sehingga data tidak perlu dimodelkan dengan SEM ( <i>Spatial Error Model</i> )
Spasial Error	1,849	1	0,1739	Terdapat efek spasial pada lag sehingga data dimodelkan ke SAR ( <i>Spatial Autoregressive</i> )

Berdasarkan hasil uji LM pada tabel 13 dapat disimpulkan bahwa analisis selanjutnya menggunakan model SAR dengan *fixed effect*.

### 4.3.4 Model SAR Data Panel

Berdasarkan hasil uji kebaikan model dan uji efek spasial sebelumnya, maka dilakukan analisis dengan model SAR dengan uji signifikansi parameter adalah sebagai berikut.

**Tabel 14.** Hasil Model SAR Data Panel

Parameter	Estimasi	Standar Error	<i>t-value</i>	<i>P-value</i>
IPTIK	-0,11425068	0,18831110	-0,6067	0,5440
IKFD	-0,02394644	0,01619505	-1,4786	0,1392
RL	-0,00014262	0,00033800	-0,4220	0,6731
ST	-0,00244918	0,00475748	-0,5148	0,6067

Parameter	Estimasi	Standar Error	t-value	P-value
Lambda	-0,88625	0,14441	-6,1372	0,0000000008401*

Ket:

\*signifikan pada taraf kepercayaan 5%

Dari hasil pemodelan SAR data panel diketahui bahwa tidak terdapat variabel prediktor yang signifikan terhadap GTFP. Namun menariknya, dalam model ini ada signifikansi efek spasial (*spillover*) yang ditunjukkan oleh Lambda. Hal ini sejalan dengan penelitian Tian & Yu (2020) yang menyatakan bahwa ada efek limpahan spasial yang signifikan dalam efisiensi ekonomi hijau di 29 provinsi di China. Koefisien lambda yang terbentuk memiliki arah signifikansi negatif, hal ini dikarenakan masih rendahnya aktivitas ekonomi baik di industri barang maupun jasa di Sumatera yang menyebabkan pertumbuhan GTFP di sepanjang tahun 2018 hingga 2021 negatif. Dari model spasial ini, meskipun tidak ada pengaruh dari determinan GTFP tetapi ada efek *spillover* sehingga perlu menjadi perhatian pemerintah daerah terkait kebijakan yang diterapkan dengan melihat dari sisi determinan lain di luar variabel prediktor dalam model dan efeknya terhadap provinsi lain.

## V. KESIMPULAN, KETERBATASAN, SARAN DAN REKOMENDASI

### 5.1 Kesimpulan

Serangkaian analisis pada penelitian ini telah dilakukan dan dijelaskan, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa dari deskripsi data *Green Total Factor Productivity* (GTFP) dapat diketahui bahwa secara rata-rata GTFP di Sumatera masih dibawah 1 yang artinya pertumbuhan ekonomi hijau di Sumatera masih negatif, hal ini berarti penerapan ekonomi hijau di Sumatera belum efisien dilakukan. Hanya Sumatera Barat dan Sumatera Selatan yang secara rata-rata memiliki nilai indeks GTFP di atas 1. Hal ini menunjukkan bahwa persebaran GTFP masih belum merata akibat belum adanya regulasi yang tepat untuk menggugah aktivitas ekonomi sirkular di provinsi-provinsi di Sumatera. Namun bila diperhatikan pola pertumbuhan GTFP cenderung menunjukkan adanya perubahan menuju arah peningkatan sejalan dengan mulai berjalannya penerapan ekonomi hijau dalam aktivitas ekonomi, seperti kegiatan perbankan yang mulai beralih ke sistem pelayanan digital, aktivitas perdagangan khususnya di kalangan UMKM yang mulai melakukan digitalisasi.

Berdasarkan pemodelan regresi panel, dapat diketahui bahwa indeks pembangunan TIK sebagai inovasi teknologi dan regulasi lingkungan sebagai inovasi kelembagaan berpengaruh signifikan terhadap GTFP. Regulasi lingkungan memberikan pengaruh positif terhadap GTFP, namun indeks pembangunan TIK memiliki pengaruh negatif. Hal ini menarik untuk dicermati

bahwasanya pembangunan teknologi di Sumatera semakin berkembang seiring dengan era digitalisasi, namun dalam membangun TIK tersebut tidak memperhatikan efek dari aktivitas teknologi hijau sehingga ketika teknologi naik maka perekonomian hijau akan turun. Selain itu, penggunaan *big data* berupa *google trends* memberikan signifikansi dan positif dalam penelitian ini. Hal ini juga menarik bahwa *big data* dapat dimanfaatkan sebagai pendukung suatu penelitian.

Jika dilihat dari pemodelan regresi spasial panel, maka diperoleh hasil bahwa terdapat efek limpahan (*spillover*) pada GTFP dan determinannya. Hal ini ditunjukkan dari dependensi spasialnya yang signifikan dengan arah negatif, artinya ketika suatu provinsi memiliki peningkatan GTFP maka provinsi lainnya akan turun. Ini menarik juga diamati, bahwa pada periode 2018-2021, GTFP di Sumatera memiliki rata-rata pertumbuhan yang negatif, oleh karena itu pengaruh yang diberikan dari suatu provinsi ke provinsi lain masih negatif. Hal ini dipicu pula dengan aktivitas ekonomi hijau pada industri barang dan jasa pada masing-masing provinsi di Sumatera yang masih rendah. Namun hasil pemodelan tidak ada variabel prediktor yang signifikan. Penelitian ini menarik dikarenakan hasil analisis terdapat efek *spillover* dari GTFP namun hal tersebut tidak diikuti oleh variabel prediktornya. Kemungkinan terdapat pengaruh dari faktor lain yang tidak terdapat dalam model. Oleh karena itu berbagai kebijakan dan stimulus pada aktivitas-aktivitas ekonomi hijau harus dimasifkan agar terwujud perekonomian yang berbasis sirkular, khususnya di Sumatera.

## 5.2 Keterbatasan

Keterbatasan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Unit penelitian ini masih berbasis makro yaitu provinsi-provinsi di Sumatera, sehingga pada penelitian selanjutnya bisa menggunakan unit penelitian regional kabupaten/kota khususnya di Pulau Sumatera.
2. Berdasarkan referensi yang digunakan pada penelitian ini, ketersediaan data untuk beberapa variabel tidak dapat menggunakan series data yang panjang, sehingga pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan referensi tambahan dimana variabel yang digunakan nantinya dapat berupa series yang lebih panjang.
3. Penggunaan *big data* berupa *google trends* pada penelitian ini menjadi *fixed variable* berbasis waktu dimana setiap tahun pada setiap provinsi sama dikarenakan keterbatasan peneliti dalam menentukan metode dalam membentuk indeks komposit, sehingga pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode dimana setiap kata kunci tidak hanya berlaku pada satu provinsi namun juga provinsi lain.

### 5.3 Saran dan Rekomendasi

Saran dan rekomendasi yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini antara lain:

1. GTFP di Sumatera cenderung negatif secara rata-rata dan persebarannya belum merata, sehingga perlu adanya kebijakan secara umum untuk industri barang dan jasa dalam melakukan aktivitas ekonomi berbasis sirkular untuk masing-masing provinsi agar terjadi peningkatan GTFP dan persebarannya juga semakin merata.
2. Indeks pembangunan TIK sebagai inovasi teknologi signifikan namun negatif terhadap GTFP. Hal ini perlu menjadi perhatian khusus oleh pemerintah di era digitalisasi ini. Pada dasarnya suatu daerah perlu meningkatkan teknologinya, namun hal tersebut harus sejalan dengan efek polutan yang dihasilkan oleh teknologi tersebut. Akibat tidak seimbang aktivitas teknologi hijau maka perekonomian juga akan menghasilkan *brown economy* yang lebih tinggi. Oleh karena itu pemerintah perlu memperhatikan aturan terkait teknologi hijau ketika mengembangkan teknologi di suatu provinsi khususnya di Sumatera agar ketika teknologi meningkat maka pertumbuhan ekonomi hijau juga turut meningkat.
3. Regulasi lingkungan dalam hal ini persentase APBD lingkungan hidup terhadap total APBD sebagai inovasi institusi signifikan dan positif terhadap GTFP. Pemerintah sebaiknya berfokus juga pada alokasi APBD untuk lingkungan hidup, karena adanya stimulus dari pemerintah untuk aktivitas industri barang dan jasa maka akan meningkatkan perekonomian hijau di provinsi-provinsi di Sumatera.
4. Penggunaan *big data* yaitu *google trends* berpengaruh signifikan dan positif terhadap GTFP. Hal ini menunjukkan efek dari digitalisasi akan sejalan dengan peningkatan akses masyarakat terhadap internet. Seiring dengan naiknya animo masyarakat tentang ekonomi hijau maka akan meningkatkan GTFP. Pemerintah sebaiknya memperhatikan pula penggunaan *big data* yang dapat mendukung suatu penelitian dengan meningkatkan akses teknologi di provinsi-provinsi di Sumatera, namun tetap memperhatikan kebijakan terkait teknologi hijau.
5. Dari regresi spasial menunjukkan adanya efek *spillover* dari GTFP dan determinannya. Namun variabel prediktor tidak ada yang signifikan. Meskipun begitu, tetap menjadi perhatian pemerintah daerah terkait perumusan kebijakan berdasarkan wilayah. Jika dari hasil analisis regresi panel kebijakan bersifat menyeluruh, maka dari efek spasial ini perlu dirumuskan kebijakan daerah secara regional dengan memperhatikan faktor lain di luar variabel prediktor yang ada di dalam model pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- APO. *Green Productivity and Sustainable Development, Report of APO 2nd World Conference on Green Productivity*, 9-11 December 2002, Manila, Philippines.
- Asteriou, D., & Hall, S. G. (2007). *Applied Econometrics*. New York: Palgrave Macmillan.
- Bappenas. (2015). *Mewujudkan Pertumbuhan Ekonomi Hijau di Indonesia: Peta jalan untuk Kebijakan, Perencanaan, dan Investasi*.
- Bappenas. (2019). *Pembangunan Rendah Karbon: Pergeseran Paradigma Menuju Ekonomi Hijau di Indonesia, Ringkasan Bagi Pembuat Kebijakan*.
- BMKG. (2022). *Ekstrem Perubahan Iklim*. Diakses melalui: <https://www.bmkg.go.id/iklim/?p=ekstrem-perubahan-iklim>
- BPS. (2021). *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 2021*. Jakarta: Badan Pusat Statistik
- BPS. (2021). *Tabel Dinamis Tenaga Kerja*. Jakarta: Badan Pusat Statistik
- BPS. (2021). *Tabel Dinamis Produk Domestik Regional Bruto*. Jakarta: Badan Pusat Statistik
- Cheng, Z.; Li, X.; Wang, M. (2021). *Resource Curse and Green Economic Growth*. 74, 102325.
- Choi, H., & Varian, H. (2012). *Predicting the Present with Google Trends*. *Economic*, 88: 2–9.
- Elhorst, J.P. (2009). *Spatial Panel Data Models : Handbook of Applied Spatial Analysis*, editor Fisher MM, A Getis, Ch. C.2. New York : Springer.
- Elhorst, J.P. (2014). *Spatial Panel Data Models : Spatial Econometrics From Cross Sectional Data to Spatial Panels*, Ch.3. New York : Springer.
- Elsadig, MA. (2012). *Dampak Intensitas TFP Hijau terhadap Pertumbuhan Produktivitas Asia Timur yang Berkelanjutan*. *Analisis & Kebijakan Ekonomi* (42).
- Fajriyah, Nurul et al (2022). *Implementasi Teknologi Big Data di Era Digital*. Nias: Universitas Nias Raya
- Färe, R.; Grosskopf, S.; Pasurka, C.A. (2007). *Environmental production functions and environmental directional distance functions*. 32, 1055–1066.
- Gujarati, D. N., & Porter, Dawn C. (2015). *Dasar-Dasar Ekonometrika Edisi 5 Buku 2*. Diterjemahkan oleh Raden Carlos Mangunsong. Jakarta: Salemba Empat.
- Han, Jing; Chen, Xi; Sun, Yawen. (2021). *Technology or Institutions: Which is the Source of Green Economic Growth in Chinese Cities?* 13, 10934.
- Husodo, P.T. (2021). *Dua Prioritas Menangani Genangan Jakarta*. Diakses melalui: <https://indonesia.go.id/kategori/indonesia-dalam-angka/2529/dua-prioritas-menangani-genangan-jakarta?lang=1?>
- Katadata. (2019). *Luas Gambut Indonesia Terbesar Kedua di Dunia*. Diakses melalui: <https://katadata.co.id/timpublikasikatadata/infografik/5e9a519433cb1/luas-gambut-indonesia-terbesar-kedua-di-dunia>
- KLHK. (2018). *Indeks Kualitas Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 2018*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
- KLHK. (2019). *Indeks Kualitas Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 2019*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
- Lee, J. and Wong, D.W.S. (2001). *Statistical Analysis with ArcviewGIS*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- LeSage, J.P. 1999. *The Theory and Practice of Spatial Econometrics*. Ohio : Department of Economics. University of Toledo.
- Nooraeni, Purba, & Yudho. (2019). *Using Google Trends Data an Initial Signal Indonesia Unemployment Rate*.

- Nuti SV, Wayda B, Ranasinghe I, Wang S, Dreyer RP, et al. (2014). *The Use of Google Trends in Health Care Research: A Systematic Review*. PLoS ONE 9(10): e109583. doi: 10.1371/journal.pone.0109583
- Patricia, J. (2021). *Peramalan Laju Produk Domestik Bruto Indonesia dengan Data Google Trends Menggunakan Metode Neural Network dan eXtreme Gradient Boosting*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- PBB Indonesia. (2022). *Penyebab Dan Dampak Perubahan Iklim*. Diakses melalui: <https://indonesia.un.org/id/175273-penyebab-dan-dampak-perubahan-iklim>
- PLN. (2018). *Statistik PLN 2018*. Jakarta: Perusahaan Listrik Negara
- PLN. (2019). *Statistik PLN 2019*. Jakarta: Perusahaan Listrik Negara
- PLN. (2020). *Statistik PLN 2020*. Jakarta: Perusahaan Listrik Negara
- PLN. (2021). *Statistik PLN 2021*. Jakarta: Perusahaan Listrik Negara
- PMK Kemenkeu. (2018). *Peta Kapasitas Fiskal Daerah Tahun 2018*. Jakarta: Kementerian Keuangan
- PMK Kemenkeu. (2019). *Peta Kapasitas Fiskal Daerah Tahun 2019*. Jakarta: Kementerian Keuangan
- PMK Kemenkeu. (2020). *Peta Kapasitas Fiskal Daerah Tahun 2020*. Jakarta: Kementerian Keuangan
- PMK Kemenkeu. (2021). *Peta Kapasitas Fiskal Daerah Tahun 2021*. Jakarta: Kementerian Keuangan
- Putri, M. R., & Sukmaningrum, P. S. (2020). *Pengukuran Produktivitas Bank Umum Syariah di Indonesia dengan Indeks Malmquist*. Jurnal Ekonomi Syariah Teori Dan Terapan, 7(7), 1264–1275. <https://doi.org/10.20473/vol7iss20207pp1264-1275>
- Rabbi, C.P.A. (2022). *Kerugian Ekonomi Akibat Perubahan Iklim Bisa Capai Rp 544 Triliun*. Diakses melalui: <https://katadata.co.id/maesaroh/ekonomi-hijau/61d67fab22720/kerugian-ekonomi-akibat-perubahan-iklim-bisa-capai-rp-544-triliun>
- RIB, AMF, IA2P Indonesia. (2021). *Praktik Ekonomi Hijau Tuai Beribu Keuntungan*. Diakses melalui: <https://amf.or.id/praktik-ekonomi-hijau-tuai-beribu-keuntungan/>
- Rusiawan, Wawan & Tjiptoherijanto, Prijono & Suganda, Emirhadi & Darmajanti, Linda. (2015). *Assessment of Green Total Factor Productivity Impact on Sustainable Indonesia Productivity Growth*. Procedia Environmental Sciences. 28. 493-501. 10.1016/j.proenv.2015.07.059.
- Salim, E. (1991). *Pembangunan Berwawasan Lingkungan*. Jakarta: PT. Mediatama Sarana
- Sonwa, et. Al. (2016). *Valuation of Forest Carbon Stocks to Estimate the Potential for Result-Based Payment under REDD+ in Cameroon*. International Forestry Review Vol.18(S1).
- Sri, et.al. (2021). *Perhitungan Green Total Factor Productivity (GTFP) pada Kota Kupang Menggunakan Software Win4DEAP*. TALENTA Publisher Universitas Sumatera Utara, The 5th National Conference on Industrial Engineering (NCIE) 2021 p-ISSN: 2654-7031, e-ISSN: 2654-704X, DOI: 10.32734/ee.v4i1.1259
- Sudjana. (1996). *Teknik Analisis Regresi dan Korelasi*. Bandung: Tarsito.
- Sutrisno, E. (2022). *Strategi Ekonomi Hijau Indonesia*. Diakses melalui: <https://indonesia.go.id/kategori/ekonomi/3973/strategi-ekonomi-hijau-indonesia>
- Tian, Xinbao & Tiu, Chuanhao. (2020). *Research on the Spatial Effect of Green Economic Efficiency in China from the Perspective of Informatization*. Taiyuan: Shanxi University
- UN Global Pulse. (2012). “*Big Data for Development: Challenges and Opportunities*”.
- UNEP. (2009). *Green Economy*. Kenya: UN Environment Programme
- Vicente, M. R., Lopez-Menendez, & Perez. (2015). *Forecasting unemployment with Internet Search Data: Does it help to Improve Predictions when Job Destruction is Skyrocketing?* J. Technological Forecasting and Social Change, 132–139.

United Nations. (2007). *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies, Third Edition*. New York.

Walpole, R. E. (2012). *Pengantar Statistika*. Diterjemahkan oleh Ir. Bambang Sumantri. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

Widarjono, A. (2013). *Ekonometrika Pengantar dan Aplikasinya Disertai Panduan Eviews Edisi 4*. Yogyakarta: UPP STIM YKPN.

## LAMPIRAN

### A. Model regresi panel

Dependent Variable: GTFP  
Method: Panel EGLS (Cross-section random effects)  
Date: 08/30/22 Time: 14:07  
Sample: 2018 2021  
Periods included: 4  
Cross-sections included: 10  
Total panel (balanced) observations: 40  
Swamy and Arora estimator of component variances  
White cross-section standard errors & covariance (d.f. corrected)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.988601	0.007080	139.6387	0.0000
IPTIK	-0.001402	0.000635	-2.206758	0.0336
REGLINGKUNGAN	2.07E-06	7.07E-07	2.927107	0.0058
Effects Specification				
			S.D.	Rho
Cross-section random			0.017528	0.1705
Idiosyncratic random			0.038667	0.8295
Weighted Statistics				
R-squared	0.015248	Mean dependent var		0.725697
Adjusted R-squared	-0.037982	S.D. dependent var		0.037495
S.E. of regression	0.038201	Sum squared resid		0.053994
F-statistic	0.286457	Durbin-Watson stat		2.008479
Prob(F-statistic)	0.752569			
Unweighted Statistics				
R-squared	0.007136	Mean dependent var		0.979536
Sum squared resid	0.063653	Durbin-Watson stat		1.703708

Dependent Variable: GTFP  
Method: Panel EGLS (Cross-section weights)  
Date: 08/30/22 Time: 22:29  
Sample: 2018 2021  
Periods included: 4  
Cross-sections included: 10  
Total panel (balanced) observations: 40  
Linear estimation after one-step weighting matrix

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.055741	0.015265	3.651548	0.0008
IKGT	-0.001063	0.000527	-2.016722	0.0508
Weighted Statistics				
R-squared	0.096683	Mean dependent var		0.035937
Adjusted R-squared	0.072911	S.D. dependent var		0.024933
S.E. of regression	0.022786	Sum squared resid		0.019729
F-statistic	4.067166	Durbin-Watson stat		2.059746
Prob(F-statistic)	0.050831			
Unweighted Statistics				
R-squared	0.084552	Mean dependent var		0.029521
Sum squared resid	0.024910	Durbin-Watson stat		1.650512

### B. Model regresi spasial panel

Residuals:  
Min. 1st Qu. Median 3rd Qu. Max.  
-3.34756 -1.74203 0.10517 1.40078 6.41406

Spatial autoregressive coefficient:  
Estimate Std. Error t-value Pr(>|t|)

lambda -0.88625 0.14441 -6.1372 8.401e-10 \*

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t )
dtekno	-0.11425068	0.18831110	-0.6067	0.5440
dfiskal	-0.02394644	0.01619505	-1.4786	0.1392
dlink	-0.00014262	0.00033800	-0.4220	0.6731
dinv	-0.00244918	0.00475748	-0.5148	0.6067