

## DEVELOPMENT OF A GREEN ECONOMY INDEX (GEI) WITH REMOTE SENSING TO SUPPORT A SUSTAINABLE ECONOMY IN EAST JAVA

Wahidya Nurkarim\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Badan Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia

### ABSTRACT

Many countries use the green economy concept as a development concept that supports economic growth by ensuring that natural aspects are maintained. The green economy index (GEI) was formed to evaluate the achievements of greener economic development. This research builds the GEI Index in East Java province using indicators that have been studied literately. Index measurement uses a weighted sum technique with even weights for each dimension and indicator. Machine learning technique approaches and the availability of remote sensing data are used to complement data that is not available at the regional level. The results obtained are that the East Java GEI index has increased over the last five years. The city of Surabaya is the center of economic development based on all three dimensions. This indicates that spatial effects influence environmentally friendly sustainable development in East Java. Analysis of regional groupings shows that there are groups that really need attention because of low scores on almost all indicators. Not only the district government but also a policy from the East Java provincial government is needed to participate in developing this green economy practice.

**Keywords:** Green Economy Index (GEI), Economic Development, Remote Sensing

### ABSTRAK

Konsep green economy digunakan oleh banyak negara sebagai konsep pembangunan yang mendukung pertumbuhan ekonomi dengan memastikan aspek alam tetap terjaga. Indeks green economy (GEI) dibentuk untuk memberikan evaluasi capaian pembangunan ekonomi lebih hijau. Penelitian ini membangun Indeks GEI di provinsi Jawa Timur menggunakan indikator yang telah dikaji secara literasi. Pengukuran indeks menggunakan teknik weighted sum dengan bobot merata pada tiap dimensi dan indikator. Pendekatan teknik machine learning dan ketersediaan data remote sensing digunakan untuk melengkapi data yang tidak tersedia pada level regional. Hasil yang diperoleh adalah indeks GEI Jawa Timur mengalami peningkatan selama lima tahun terakhir. Kota Surabaya menjadi pusat pembangunan ekonomi dari ketiga dimensi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa efek spasial berpengaruh terhadap pembangunan berkelanjutan yang ramah lingkungan di Jawa Timur. Analisis pengelompokan wilayah memberikan hasil terdapat kelompok yang sangat membutuhkan perhatian karena rendahnya skor pada hampir seluruh indikator. Tidak hanya pemerintah kabupaten tetapi juga dibutuhkan kebijakan dari pemerintah provinsi Jawa Timur untuk ikut serta dalam mengembangkan praktik green economy ini.

**Kata Kunci:** Indeks Green Economy (GEI), Pembangunan Ekonomi, Remote Sensing  
JEL : O11, R11, C52, C55

### Pendahuluan

Dalam satu dekade terakhir, pembangunan ekonomi Indonesia bertumbuh dengan pesat. Hal tersebut terlihat dari pertumbuhan ekonomi yang meningkat dan tingkat kemiskinan yang menurun. Namun seiring itu, laju produksi juga akan meningkat akibat proses produksi

### RIWAYAT ARTIKEL

Tanggal Masuk:  
22 Agustus 2023  
Tanggal Revisi:  
03 Maret 2024  
Tanggal Diterima:  
26 Agustus 2024  
Tersedia Online:  
30 September 2024

\*Korespondensi:  
Wahidya Nurkarim

E-mail:  
wahidyakarim27@gmail.com

yang juga meningkat. Misalnya saja untuk kegiatan produksi pertanian membutuhkan sekitar 70% konsumsi air tawar global dan memproduksi 14% emisi gas rumah kaca dunia (UNEP, 2010). Hal itu berarti pertumbuhan ekonomi yang tinggi mengharuskan proses produksi yang tinggi juga.

Green economy atau ekonomi hijau diperkenalkan sebagai konsep pembangunan yang mendukung pertumbuhan ekonomi dengan memastikan aspek alam dapat menyediakan sumber daya dan lingkungan dapat tetap terjaga (OECD, 2011). Green economy merupakan pertumbuhan yang efisien dalam penggunaan sumber daya alam serta meminimalkan polusi dan kerusakan lingkungan (World Bank, 2012). Green economy dapat secara sederhana didefinisikan sebagai pembangunan rendah karbon, hemat sumber daya, dan inklusif secara sosial (UNEP, 2010). Semua definisi ini menunjukkan bahwa green economy merupakan sebuah paradigma yang mencakup implikasi yang berkaitan dengan pertumbuhan dan kesejahteraan, atau efisiensi dan pengurangan risiko dalam penggunaan sumber daya alam. Paradigma ini dibangun secara menyeluruh dengan prinsip kesejahteraan ekonomi, keadilan sosial, dan pelestarian lingkungan. Dampak negatif kegiatan sosial dan ekonomi terhadap lingkungan harus diminimalkan guna menjaga kelestarian lingkungan di masa mendatang.

Dalam mendukung pembangunan green economy ini, Indonesia telah melibatkan aspek keberlanjutan iklim melalui penerapan pembangunan rendah karbon yang telah terintegrasi dengan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020 - 2024. Hal ini juga memberikan potensi terwujudnya tujuan Sustainable Development Goals (SDGs) ke-13 yakni Net Zero Emission. Provinsi Jawa Timur sebagai provinsi kedua terbesar di Indonesia diketahui telah menerapkan pembangunan berkelanjutan sejak lama. Hal itu bahkan telah diterapkan pada Rencana Aksi Daerah (RAD) tahun 2018 - 2019. Kota Surabaya sebagai kota paling ramah lingkungan di Indonesia (Penghargaan Adipura Kencana 2018) ditargetkan memiliki luasan Ruang Terbuka Hijau (RTH) sebesar 20% dari total wilayah. Ini memperlihatkan komitmen pemerintah daerah dalam menyusun strategi pembangunan perkotaan yang berwawasan lingkungan.

Untuk memberikan evaluasi capaian transformasi pembangunan Indonesia menuju green economy, maka diperlukan alat ukur yang nyata, akurat, dan representatif. Oleh karena itu, Badan Pembangunan Nasional (Bappenas) secara resmi pada tahun 2022 mengeluarkan metodologi untuk pengukuran indeks green economy (GEI) yang relevan dengan kondisi di Indonesia (BAPPENAS, 2022). Namun, Bappenas hanya merilis indeks secara nasional, dan tidak disertai dengan indeks pada seluruh regional di Indonesia. Padahal indeks pada regional juga sangat diperlukan oleh pemerintah daerah untuk melakukan evaluasi pada pembangunan berkelanjutan di masing-masing daerah.

Penelitian sebelumnya (Salsabillah, A. P., 2023) telah mengukur indeks green economy untuk regional Jawa Timur menggunakan 12 indikator, yang mana hanya menggunakan 4 dari 15 indikator yang diusung oleh Bappenas, yaitu tingkat partisipasi angkatan kerja, pendapatan per kapita, PDRB sektor perdagangan, dan kualitas udara. Banyaknya indikator tersebut belum cukup untuk melihat gambaran indeks green economy secara keseluruhan. Oleh karena itu, penelitian ini mengusungkan pendekatan yang berbeda untuk menyediakan data indikator pengukuran indeks green economy hingga level administrasi yang lebih kecil. Penelitian ini menggunakan teknik terbaru machine learning dengan memanfaatkan data remote sensing, sehingga banyaknya indikator relevan yang digunakan dapat lebih maksimal dalam perhitungan indeks green economy secara regional.

Adanya gagasan penggunaan data remote sensing ini, sebelumnya telah disebutkan dalam World Green Economy Report (UNDP, 2018). United Nations Development Programme (UNDP) menyebutkan bahwa data remote sensing berpotensi sebagai sumber data yang presisi untuk mengukur data pertanian hingga satuan terkecil, misalnya per tanaman. United Nation Environment Programme (UNEP) juga menyatakan bahwa sangat penting untuk mengembangkan dan menerapkan sistem pemantauan dan pengumpulan data dasar, baik

dari statistik atau teknik terbaru remote sensing (UNEP, 2012), sehingga ketersediaan data menjadi lebih mutakhir dan dapat diperbandingkan hingga lingkup wilayah yang terkecil.

Adanya ketersediaan data remote sensing berpotensi melengkapi data yang tidak tersedia pada level daerah sebagai alat ukur indeks green economy. Pada era reformasi industri ini, remote sensing dapat melengkapi data yang berisi informasi spasial seperti luasan cakupan hutan yang menjadi salah satu indikator lingkungan pengukur indeks green economy. Remote sensing merupakan metode untuk menangkap karakteristik permukaan bumi menggunakan gelombang elektromagnetik dari jarak jauh melalui satelit (Vadrevu, 2013). Data yang dikumpulkan dari penginderaan jauh tersedia pada resolusi spasial dan frekuensi temporal yang tinggi. Dengan demikian, remote sensing memiliki potensi yang cukup besar digunakan karena memiliki beberapa kelebihan, yakni data mencakup wilayah yang luas, tersedia secara up-to-date, serta dapat diakses secara gratis.

Berdasarkan permasalahan di atas, diketahui bahwa peningkatan pertumbuhan ekonomi selaras dengan peningkatan laju produksi sehingga berakibat pada kelangsungan sumber daya lingkungan. Agar pembangunan ekonomi tetap dapat tumbuh namun tetap mempertahankan perlindungan lingkungan, maka paradigma green economy digunakan untuk pembangunan berkelanjutan yang lebih hijau. Maka dari itu, indeks green economy sebagai alat pengukur pembangunan ekonomi hijau harus dibangun untuk mengukur capaian efektivitas pembangunan ekonomi hijau. Namun sampai saat ini, Bappenas hanya merilis angka agregat secara nasional. Hal tersebut mungkin saja dikarenakan data yang digunakan untuk mengukur indeks tersebut hanya tersedia pada level nasional dan tidak tersedia pada level regional. Oleh karena itu, adanya ketersediaan data alternatif dari remote sensing dapat melengkapi data yang tidak tersedia dan tidak termutakhirkan. Dengan demikian, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membangun indeks green economy dalam cakupan regional khususnya di wilayah Jawa Timur dengan memanfaatkan potensi ketersediaan data alternatif Remote Sensing
2. Menganalisis keterbandingan pembangunan ekonomi hijau antar wilayah dan waktu di provinsi Jawa Timur
3. Memberikan rekomendasi untuk perbaikan kebijakan dan regulasi dalam pengembangan ekonomi hijau. Penelitian ini mengusulkan prioritas dan arah pengembangan ekonomi hijau di Jawa Timur dan merekomendasikan regulasi pembangunan daerah untuk mencapai tujuan utama yaitu pembangunan ekonomi hijau yang berkelanjutan.

## Telaah Literatur

Konsep green economy saat ini telah menjadi fokus pembangunan berkelanjutan yang mempertimbangkan unsur lingkungan. Ekonomi dapat bertumbuh dengan tidak menambah kerusakan pada lingkungan. Hal ini seiring dengan tujuan SDGs ke-13 yaitu memerangi perubahan iklim dan dampaknya. Namun, alat ukur green economy masih menjadi bahan kajian pada banyak kalangan, yaitu indikator dan metode ukur yang digunakan agar dapat menggambarkan green economy secara akurat dan representatif, sehingga nantinya dapat dibandingkan indeks antar waktu dan antar regional.

Menurut Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), indikator green economy perlu dicantumkan ke dalam framework secara konseptual agar berguna bagi pengambil kebijakan publik (OECD, 2011). Namun, framework OECD tidak menekankan pada langkah kesejahteraan manusia secara luas, dan tidak mewakili kelekatan sistem tata kelola ekonomi dan sosial. Menurut beberapa ahli, framework indikator green economy yang tepat bisa saja berbeda antar negara sesuai dengan keadaan ekonomi, sosial, dan lingkungannya (African Ministers, 2011).

Ada beberapa penelitian yang mengkaji tentang pembangunan green economy menggunakan metode penilaian indikator dalam lingkup dunia. Diantaranya penelitian Nahman dkk (Nahman dkk., 2016) menggunakan 26 indikator dari 3 dimensi: sosial, ekonomi, dan lingkungan, yang mana indikator yang digunakan relevan dengan negara maju dan berkembang. Indeks diukur menggunakan rata-rata sederhana dari skor yang telah dinormalisasi. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan dari segi penggunaan data, yang mana beberapa indikator penting tidak dapat dimasukkan ke dalam perhitungan dikarenakan beberapa data tidak tersedia dan beberapa data lainnya tidak termutakhirkan pada waktu yang lama. Penelitian Bilgaev dkk (Bilgaev dkk., 2022) membangun indeks green economy untuk negara Rusia menggunakan 5 dimensi, yaitu efisiensi sumber daya, efisiensi lingkungan, kualitas hidup lingkungan, aset alam, dan faktor kelembagaan. Teknik perhitungannya adalah memberikan bobot yang sama untuk tiap indikator pada dimensi yang sama, lalu membangun sub indeks pada tiap dimensi, lalu menentukan indeks akhir dari sub indeks dengan memberikan bobot yang sama pada tiap dimensi. Pada publikasi lainnya, Bappenas juga membangun metodologi untuk mengukur indeks green economy untuk pertama kali di Indonesia (BAPPENAS, 2022). Metodologi yang digunakan hampir mirip dengan penelitian sebelumnya, yaitu menggunakan rata-rata sederhana dari skor yang telah dinormalisasi. Hanya saja terdapat perbedaan pada indikator yang digunakan, yaitu dipilih sebanyak 15 indikator dari 3 dimensi yang relevan dengan keadaan di Indonesia.

Pada penelitian ini, prinsip green economy diidentifikasi melalui kajian literatur di atas. Serangkaian prinsip kami telaah dari sumber utama yaitu laporan utama green economy dunia (OECD, 2011), dan laporan utama green economy Indonesia (BAPPENAS, 2022), beserta sumber penelitian yang berkaitan lainnya. Namun, pengukuran pembangunan green economy yang dilakukan di berbagai belahan dunia masih sebatas pada tingkat negara. Selain itu, pengukuran efektivitas kebijakan terutama pada tingkat regional juga masih belum dipelajari. Oleh karena itu, perlu dilakukan penilaian komprehensif terhadap perkembangan sosial, ekonomi, dan lingkungan sehingga memungkinkan pengukuran kemajuan green economy yang lebih konkret.

Selain itu, pada penelitian ini juga dirumuskan penggunaan data remote sensing dan teknik machine learning. Beberapa tahun terakhir, penggunaan data remote sensing dan machine learning telah berkembang sangat pesat untuk menganalisis berbagai permasalahan lingkungan hingga ekonomi dan sosial, diantaranya untuk bidang lingkungan digunakan untuk mengestimasi luas lahan dan menghitung pohon kelapa sawit (Wijayanto, dkk, 2023) (Putra & Wijayanto, 2023), mendeteksi bangunan wilayah urban (Nurkarim & Wijayanto, 2023), mengakumulasi sampah plastik (Sakti dkk., 2021), menentukan lokasi optimal untuk tanaman mangrove (Syahid dkk., 2020), memprediksi area kebakaran (Afira & Wijayanto, 2022), membangun model ketahanan pangan (Virtriana dkk., 2022), dan banyak lainnya. Dalam bidang ekonomi dan sosial digunakan dalam pemantauan perkembangan ekonomi digital (Chen dkk., 2022), estimasi angka kemiskinan secara granular (Putri dkk., 2022), dan menganalisis indeks perkembangan etnis minoritas (Zhao, F., 2021). Indikator dalam dimensi lingkungan seringkali menjadi relevan untuk diukur dengan data remote sensing, karena remote sensing dapat menangkap wilayah permukaan bumi dari tampak atas.

## **Metode Penelitian**

### **Sumber Data**

Data yang digunakan adalah data sekunder yang bersifat publik sehingga bisa diakses secara gratis. Data diambil dalam rentang waktu lima tahun yakni dari tahun 2018 hingga 2022 untuk membangun GEI selama rentang waktu tersebut di setiap kabupaten/kota di Jawa Timur. Selain itu, diperlukan juga data di tingkat provinsi yaitu jumlah penduduk, konsumsi listrik dan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB).

Sumber data utama adalah Badan Pusat Statistik (BPS), Google Earth Engine (GEE), dan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). Data yang diperoleh dari BPS berkaitan dengan dimensi sosial dan ekonomi, seperti rata-rata lama sekolah, angka harapan hidup, PDRB, angka kemiskinan, tingkat pengangguran terbuka dan lain sebagainya. Data yang diperoleh dari GEE berkaitan dengan data citra satelit. GEE merupakan platform yang digunakan untuk mengakses data remote sensing berskala dunia secara gratis. Dalam penelitian ini, data yang berasal dari remote sensing adalah data persentase daerah yang ditutupi pohon, data emisi gas rumah kaca, serta data intensitas cahaya malam hari. Data yang diperoleh dari SIPSN berkaitan dengan pengelolaan sampah yakni jumlah sampah dan persentase sampah yang sudah dikelola oleh pemerintah.

Beberapa data tidak tersedia secara lengkap dari tahun 2018-2022. Oleh karena itu dilakukan imputasi data secara sederhana, yaitu dengan pendekatan rata-rata dari data yang tersedia (Van Buuren, S., 2018). Misalnya di kabupaten Banyuwangi, data persentase sampah yang dikelola pada tahun 2022 tidak tersedia, sehingga data tersebut diimputasi dengan merata-ratakan persentase sampah yang dikelola dari tahun 2018-2021 di kabupaten Banyuwangi.

### **Indikator Pembentuk Indeks Green Economy (GEI)**

Indikator yang digunakan pada penelitian adalah indikator yang relevan dengan keadaan Indonesia dan datanya tersedia sampai tingkat kabupaten/kota di Jawa Timur. Secara garis besar, indikator yang digunakan akan banyak mengacu pada indikator yang digunakan oleh Bappenas (BAPPENAS, 2022), namun dengan beberapa modifikasi seperti penambahan dan pengurangan variabel dikarenakan data yang tidak tersedia pada level regional. Penelitian ini menggunakan 13 indikator dari 3 dimensi: sosial, ekonomi, dan lingkungan. Dimensi sosial dan ekonomi masing-masing terdiri dari 5 indikator, serta dimensi lingkungan terdiri dari 3 indikator. Dari 13 indikator terdapat 4 indikator yang semakin kecil nilainya maka semakin baik, yaitu angka kemiskinan, tingkat pengangguran terbuka, gini rasio dan indeks emisi.

**Tabel 1: Indikator Pembentuk Indeks Green Economy beserta Batasannya**

Dimensi	Indikator	Satuan	Batas Minimal	Batas Maksimal	Apakah lebih kecil lebih baik?
Ekonomi	PDRB per kapita	Rupiah/Jiwa	3,249,460	63,561,792	Tidak
	Produktivitas Padi	Ton/Ha	2.244	12	Tidak
	Produktivitas Pekerja bidang Industri	Juta Rupiah/Jiwa	20	200	Tidak
	Produktivitas Pekerja bidang Jasa	Juta Rupiah/Jiwa	20	200	Tidak
	Konsumsi Listrik per kapita	kWh/Jiwa	40	1268	Tidak
Sosial	Rata-rata Lama Sekolah	Tahun	2	12	Tidak
	Angka Harapan Hidup	Tahun	55	75.5	Tidak
	Angka Kemiskinan	Persen	27.97	0	Ya
	Tingkat Pengangguran Terbuka	Persen	15	0	Ya
	Gini Rasio	Persen	0.63	0.2320	Ya
Lingkungan	Persentase Lahan dengan Pohon	Persen	0	Kota: 10 Kabupaten: 54	Tidak
	Persentase Sampah yang dikelola	Persen	0	100	Tidak
	Indeks Emisi	Persen	100	0	Ya

Setiap indikator memiliki batasan minimal dan batasan maksimal. Batasan minimal menunjukkan angka yang masih ditoleransi untuk capaian indikator, sedangkan batasan maksimal menunjukkan target yang seharusnya dicapai oleh setiap daerah. Batasan ini diperoleh dari berbagai sumber, yaitu target pemerintah, data World Bank, maupun data tertinggi dan terendah dari series waktu yang panjang. Dengan adanya batasan ini GEI akan merefleksikan progres kabupaten/kota relatif terhadap nilai maksimal dan minimal tersebut. Secara lebih lengkap, Tabel 1 menjabarkan indikator yang digunakan beserta batasannya.

### 1. PDRB per Kapita (Rupiah/Jiwa)

PDRB per kapita merupakan salah satu indikator ekonomi yang mengukur nilai total output ekonomi penduduk dalam suatu wilayah, sehingga dapat menjadi representasi kemakmuran ekonomi dari suatu wilayah. Indikator ini dapat dipengaruhi oleh implementasi konsep green economy karena pendekatan ini dapat memiliki efek positif pada kesejahteraan ekonomi masyarakat. Praktik-praktik ramah lingkungan dalam ekonomi hijau juga dapat menciptakan peluang baru untuk pertumbuhan ekonomi dan penciptaan lapangan kerja. Misalnya, investasi dalam sektor energi terbarukan, pengolahan limbah, transportasi berkelanjutan, dan teknologi hijau dapat merangsang inovasi dan aktivitas ekonomi yang berkelanjutan.

Batas minimal dan maksimal dari indikator ini diperoleh dari data di World Bank. Batas minimal diambil dari PDB terendah di dunia yaitu negara Burundi sebesar 3,249,460 rupiah/jiwa (hasil konversi \$221.5 ke rupiah dengan kurs senilai 14,664 rupiah). Jika PDRB per kapita disalah satu kabupaten/kota di Jawa Timur tidak mencapai angka tersebut maka nilainya sudah sangat buruk. Sedangkan untuk batas maksimal diperoleh dari PDB per kapita Indonesia tahun 2021 yaitu sebesar 63,561,792 rupiah/jiwa (hasil konversi \$4,332.7 ke rupiah dengan kurs senilai 14,664 rupiah). Beberapa kabupaten/kota di Jawa Timur sudah melebihi batas maksimal atau nilai PDRB per kapita secara nasional pada tahun 2021.

### 2. Produktivitas Padi (Ton/Ha)

Produktivitas padi dan green economy memiliki hubungan yang cukup erat. Green economy mendorong penggunaan sumber daya secara efisien dan berkelanjutan. Dalam konteks pertanian padi, hal ini berarti mengoptimalkan penggunaan air, pupuk, dan energi dalam produksi padi. Dengan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, produktivitas padi dapat ditingkatkan tanpa mengorbankan lingkungan. Green economy mendorong adopsi praktik pertanian yang berkelanjutan, seperti pengelolaan tanah yang baik, pengendalian hama dan penyakit secara alami, diversifikasi tanaman, dan penggunaan pupuk organik. Praktik-praktik ini dapat meningkatkan produktivitas padi tanpa merusak lingkungan dan mengurangi ketergantungan pada input kimia yang berbahaya.

Indikator ini memiliki batas maksimal 12 ton/ha yang diperoleh dari nilai produktivitas padi tertinggi Indonesia dari tahun 2001-2020. Sementara itu, batas minimal diperoleh dari nilai produktivitas terendah di tingkat provinsi dari tahun 2000-2020 yaitu sebesar 2.244 ton/ha.

### 3. Produktivitas Pekerja bidang Industri (Juta Rupiah/Jiwa)

Indikator ini menunjukkan kemampuan tenaga kerja dalam menghasilkan produksi dibidang industri. Selain itu, indikator ini juga mencerminkan pengaruh kondisi lingkungan dan resiko lingkungan pada tenaga kerja di sektor industri (BAPPENAS, 2022). Indikator ini dihitung dengan menggunakan data PDRB, yaitu membagi PDRB dengan jumlah pekerja di bidang industri di wilayah tersebut.

Batas minimum dan maksimal mengikuti yang digunakan oleh Bappenas yaitu batas minimum sebesar 20 juta/jiwa dan batas maksimal sebesar 200 juta/jiwa.

Batasan tersebut bersumber dari rata-rata produksi per pekerja di beberapa negara yang memiliki penghasilan rendah.

#### 4. **Produktivitas Pekerja dibidang Jasa (Jata Rupiah/Jiwa)**

Indikator ini mirip dengan indikator sebelumnya, namun perbedaannya adalah indikator ini menunjukkan kemampuan tenaga kerja dalam menghasilkan produksi di bidang jasa. Batas minimum dan maksimum sama dengan indikator sebelumnya yaitu batas minimal sebesar 20 juta/jiwa dan batas maksimal sebesar 200 juta/jiwa.

#### 5. **Konsumsi Listrik per Kapita (kWh/Jiwa)**

Konsumsi listrik dapat menggambarkan kondisi pembangunan green economy di suatu wilayah. Green economy mendorong penggunaan sumber energi terbarukan, seperti energi matahari, angin, air, dan biomassa. Sumber energi terbarukan ini menghasilkan listrik tanpa emisi gas rumah kaca dan polusi udara yang signifikan. Hal ini menyebabkan peralihan sumber energi dari sumber bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak kepada sumber energi terbarukan. Dengan demikian, green economy dapat meningkatkan konsumsi listrik akibat peningkatan penggunaan sumber energi terbarukan.

Data konsumsi listrik tidak tersedia pada tingkat kabupaten/kota, sehingga untuk mendapatkan data ini dilakukan prediksi menggunakan data Remote Sensing dari citra satelit. Metode prediksi untuk konsumsi listrik akan dijelaskan pada bagian selanjutnya. Batas minimal untuk indikator ini diperoleh dari data World Bank yang berkaitan dengan nilai terendah konsumsi listrik, yaitu 40 kWh/Jiwa. Sedangkan untuk batas maksimal ditentukan berdasarkan Rencana Strategis Kementerian ESDM tahun 2020-2024 yaitu 1,268 kWh/Jiwa.

#### 6. **Rata-rata Lama Sekolah (Tahun)**

Indikator ini memberikan gambaran mengenai pertumbuhan green economy yang dapat memberikan kontribusi baik untuk pendidikan. Dengan menerapkan green economy, jumlah investasi terutama dalam bidang pendidikan juga akan semakin meningkat. Peningkatan investasi dalam bidang pendidikan dapat meningkatkan kualitas pendidikan yang berimplikasi terhadap peningkatan angka rata-rata lama sekolah.

Batas minimal diperoleh dari nilai rata-rata lama sekolah yang berasal dari negara berpenghasilan rendah, yaitu sebesar 2 tahun. Sementara itu, batas maksimal adalah 12 tahun yang merupakan target dari visi Indonesia pada tahun 2045. tersebut di setiap kabupaten/kota di Jawa Timur. Selain itu, diperlukan juga data di tingkat provinsi yaitu jumlah.

#### 7. **Angka Harapan Hidup (Tahun)**

Angka harapan hidup menunjukkan rata-rata usia penduduk berdasarkan probabilitas kematian dari semua faktor. Indikator ini penting untuk dicantumkan karena terkait dengan tingkat kesejahteraan dan sistem kesehatan nasional.

Green economy dapat berkontribusi terhadap angka harapan hidup dalam beberapa hal, antara lain penurunan polusi udara, akses air bersih dan sanitasi, dan keberlanjutan pangan. Green economy mendorong penggunaan sumber energi bersih yang dapat mengurangi emisi polutan dan partikel berbahaya ke atmosfer sehingga dapat mengurangi risiko penyakit pernapasan. Green economy meningkatkan akses yang lebih baik terhadap air minum dan sanitasi yang layak sehingga dapat mengurangi risiko penyakit yang ditularkan. Green economy juga mendorong praktik pertanian yang berkelanjutan, termasuk pertanian organik dan pengurangan limbah,

serta mengurangi penggunaan pestisida dan bahan kimia berbahaya dalam produksi pangan, sehingga dapat meningkatkan kesehatan masyarakat.

Batas minimal diperoleh dari data World Bank yang menunjukkan angka harapan hidup terendah di tahun 2020, yaitu 55 tahun. Sedangkan untuk batas maksimal yaitu sebesar 75.5 tahun yang merupakan target dari visi Indonesia pada tahun 2045.

#### **8. Angka Kemiskinan (Persen)**

Green economy memiliki potensi untuk menciptakan lapangan kerja baru di sektor-sektor berkelanjutan seperti energi terbarukan, pengelolaan limbah, pertanian berkelanjutan, dan transportasi berkelanjutan. Peningkatan kesempatan kerja dalam sektor-sektor ini dapat membantu mengurangi tingkat pengangguran dan kemiskinan, memberikan pendapatan yang lebih baik bagi masyarakat yang terdampak, dan meningkatkan kesejahteraan ekonomi. Selain itu, green economy meningkatkan pendidikan masyarakat. Semakin tinggi pendidikan maka semakin besar untuk memiliki pekerjaan yang dapat meningkatkan kesejahteraan ekonominya.

Batas maksimal yaitu sebesar 0% atau tidak ada kemiskinan yang merupakan target dari visi Indonesia pada tahun 2045. Sedangkan batas minimal yaitu sebesar 27.97% yang merupakan angka kemiskinan tertinggi di kabupaten/kota di Jawa Timur dari tahun 2012-2022.

#### **9. Tingkat Pengangguran Terbuka (Persen)**

Indikator ini mengaitkan penerapan ekonomi hijau dengan kesejahteraan masyarakat. Pembangunan industri yang rendah karbon diharapkan mampu mendorong pembangunan sektor hijau sekaligus menciptakan lapangan kerja baru sehingga dapat mengurangi tingkat pengangguran terbuka. Batas maksimal adalah tidak ada pengangguran atau 0% dan batas minimal yaitu sebesar 15% yang merupakan tingkat pengangguran tertinggi untuk negara berpenghasilan tinggi pada tahun 2018 berdasarkan data World Bank.

#### **10. Gini Ratio (Persen)**

Penerapan green economy seringkali melibatkan kebijakan yang mendukung distribusi pendapatan yang lebih adil. Sebagai contoh, program subsidi untuk masyarakat berpenghasilan rendah agar dapat mengadopsi teknologi ramah lingkungan atau penerapan tarif feed-in yang menguntungkan produsen energi terbarukan. Dengan menerapkan kebijakan-kebijakan semacam ini, green economy dapat membantu mengurangi ketimpangan pendapatan dengan pemerataan distribusi pemanfaatan green economy.

Batas minimal dan maksimal diperoleh dari data World Bank, yaitu angka gini ratio tertinggi dan terendah di dunia. Batas minimal yaitu sebesar 63%, dan batas maksimal sebesar 23.20%.

#### **11. Persentase Lahan Pohon (Persen)**

Luas lahan pohon merupakan salah satu indikator penentu keberhasilan pembangunan green economy. Green economy mendorong implementasi keberlanjutan dalam pengelolaan hutan seperti reboisasi dan restorasi hutan yang rusak. Green economy juga mendorong pengembangan agroforestri yang menggabungkan budidaya tanaman pertanian dengan penanaman pohon di lahan pertanian. Dengan memastikan bahwa upaya pengelolaan hutan dilakukan secara berkelanjutan, green economy dapat membantu mempertahankan dan meningkatkan luas lahan pohon.

Data luas lahan pohon diperoleh dari satelit Dynamic World V1. Dynamic World adalah dataset 10m near-real-time (NRT) Land Use/Land Cover (LULC) yang mencakup

probabilitas kelas dan informasi label untuk sembilan kelas, termasuk salah satunya kelas pohon. Pada penelitian ini tidak hanya mencakup lahan hutan namun mencakup lahan pohon secara keseluruhan. Hal ini dikarenakan data yang tersedia adalah kelas pohon, yang mana tidak semua lahan pohon mengindikasikan lahan hutan. Gambar 1 menggambarkan data citra satelit yang digunakan. Warna hijau menunjukkan kelas pohon, sedangkan warna putih menunjukkan kelas lainnya.



**Gambar 1.: Contoh Hasil Citra Satelit Dynamic World**

Persentase lahan pohon dihitung dengan membagi jumlah pixel pada gambar yang dikategorikan pohon dibagi dengan jumlah pixel pada keseluruhan gambar yang telah dikurangi dengan jumlah pixel yang dikategorikan air. Semakin banyak pohon di suatu wilayah maka akan semakin banyak penyerapan karbon di udara. Hal ini akan mendukung pertumbuhan ekonomi yang lebih hijau dan berkelanjutan.

Batas minimal dari indikator ini adalah 0%. Sementara itu batas maksimalnya akan dibedakan antara daerah perkotaan dan kabupaten. Hal tersebut dikarenakan luas lahan pohon di daerah perkotaan jauh lebih sedikit dibandingkan luas lahan pohon di kabupaten. Untuk daerah perkotaan, batas maksimal yaitu sebesar 10% yang merupakan target dari Kota Surabaya, sedangkan untuk batas maksimal daerah kabupaten menggunakan target NZE pada tahun 2045, yaitu 53% daerah harus tertutup oleh hutan.

## 12. Persentase Sampah yang dikelola (Persen)

Penerapan green economy juga berkontribusi terhadap pengelolaan sampah. Green economy mendorong praktik pengurangan sampah, serta mendukung pengembangan infrastruktur daur ulang yang efisien dan teknologi pengelolaan limbah yang ramah lingkungan. Green economy mendorong konsep ekonomi sirkular, yang mana bahan dan produk didesain agar dapat digunakan kembali. Hal ini berarti menggeser paradigma dari ekonomi linear yang berbasis pada pemakaian sekali pakai menjadi ekonomi yang lebih berkelanjutan. Melalui beberapa pendekatan ini, green economy berupaya untuk mengurangi dampak negatif sampah terhadap lingkungan dan menciptakan peluang ekonomi baru dalam sektor pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

Batas minimal yang ditentukan dari indikator ini yaitu sebesar 0% yang berarti bahwa tidak ada sampah yang dikelola oleh pemerintah. Sedangkan batas maksimal

atau target capaian sebesar 100% berarti bahwa seluruh sampah berhasil dikelola oleh pemerintah. tersebut di setiap kabupaten/kota di Jawa Timur. Selain itu, diperlukan juga data di tingkat provinsi yaitu jumlah

### 13. Index Emisi (Persen)

Green economy memiliki dampak yang sangat positif terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca. Hal ini terkait dengan banyaknya kontribusi green economy dalam upaya pelestarian lingkungan, antara lain peningkatan efisiensi energi dan transisi kepada energi terbarukan, pengelolaan limbah dan daur ulang, pengelolaan hutan, dan transportasi berkelanjutan.

Green economy mendorong penggunaan energi terbarukan, seperti tenaga surya dan tenaga angin, untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Dengan mengurangi emisi gas rumah kaca dari sumber energi konvensional, green economy dapat membantu memperlambat perubahan iklim yang merugikan ekosistem hutan dan menyebabkan kerugian luas terhadap luas lahan pohon. Melalui berbagai upaya ini, green economy berupaya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca secara keseluruhan dan mengurangi dampak perubahan iklim. Implementasi yang tepat dari prinsip-prinsip green economy dapat membantu negara dan masyarakat untuk mencapai tujuan pengurangan emisi seperti yang ditetapkan dalam perjanjian iklim global.

Data emisi gas rumah kaca tidak tersedia sampai tingkat kabupaten/kota. Oleh karena itu, data emisi gas dilakukan pendekatan menggunakan data polutan udara yang berasal dari citra satelit Landsat 8 dan Landsat 9. Jenis polutan yang digunakan adalah CO, Ozone, NO<sub>2</sub>, dan SO<sub>2</sub>. Setiap jenis data emisi akan dilakukan standarisasi menggunakan *min-max scaler*. Setelah itu, hasil standarisasi dirata-ratakan untuk mendapatkan satu nilai indeks rata-rata. Angka indeks berada dalam rentang 0 - 100, yang akan menjadi batas minimal dan maksimal dari indikator ini. Penjelasan lebih lanjut terkait metode pembentukan indeks emisi akan dijelaskan pada bagian selanjutnya. tersebut di setiap kabupaten/kota di Jawa Timur.

### **Prediksi Konsumsi Listrik**

Dalam penelitian ini kami melakukan prediksi konsumsi listrik di tingkat kabupaten/kota di Jawa Timur menggunakan pendekatan machine learning dan data citra satelit. Pendekatan ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Sirikul Hutasavi dan Dongmei Chen ([Hutasavi & Chen, 2021](#)) untuk memprediksi konsumsi listrik di Thailand. Pada penelitiannya, mereka menggunakan data remote sensing yang berasal dari satelit Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Day-Night Band (VIIRS-DNB) dan Landsat 7 dan 8. Data yang diambil adalah data intensitas cahaya di malam hari yang berasal dari satelit VIIRS-DNB dan data Modified Built-up Index (MBUI) dari satelit Landsat. Penelitian tersebut juga menggunakan data sosial ekonomi yaitu jumlah penduduk, kepadatan penduduk, jumlah rumah tangga, dan Produk Domestik Bruto (PDB). Model yang digunakan untuk memprediksi adalah Multiple Linear Regression dan juga menggunakan model berbasis machine learning yaitu Decision Tree dan Support Vector Machine. Model terbaik yang diperoleh adalah model berbasis machine learning yaitu Decision Tree.

Pada penelitian ini, konsumsi listrik di Jawa Timur diprediksi menggunakan alur yang dilakukan pada penelitian ([Hutasavi & Chen, 2021](#)) dengan melakukan modifikasi pada data dan algoritma yang digunakan. Hal tersebut dikarenakan data konsumsi listrik yang tersedia hanya pada tingkat provinsi, maka terlebih dahulu dilakukan pemodelan di tingkat provinsi. Jika modelnya memiliki akurasi yang baik, maka akan digunakan di tingkat kabupaten/kota di Jawa Timur. Hal ini bisa dilakukan jika data independennya tersedia baik ditingkat provinsi maupun ditingkat kabupaten/kota.

Data intensitas cahaya malam hari dan MBUI digunakan pada penelitian ini karena data citra satelit mencakup hingga tingkat kabupaten/kota. Built-up area atau area terbangun mencakup daerah dengan bahan kedap air pada permukaannya, antara lain meliputi atap bangunan, tempat parkir, infrastruktur jalan dan transportasi, serta bangunan yang bertindak sebagai penghalang bagi air untuk menembus tanah (Ali & Alam Nayyar, 2021). Modified Built-up Index dapat dihitung dari data yang disediakan oleh Satelit Landsat, berikut rumus yang digunakan:

$$MBUI = BUI - MNDWI \tag{1}$$

dimana:

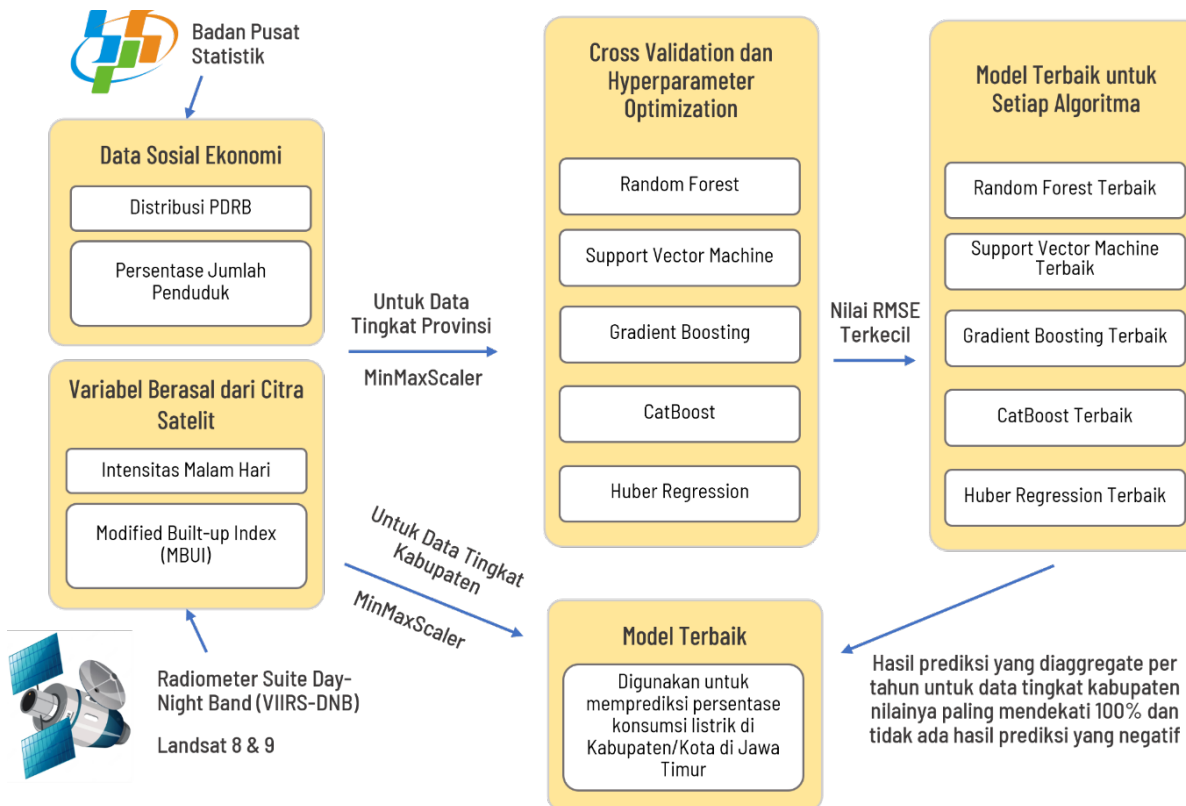
$$BUI = NDBI - NDVI$$

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$$

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR}$$

Data pendukung di bidang sosial ekonomi juga digunakan yaitu persentase jumlah penduduk dan distribusi PDRB. Kedua data tersebut relatif terhadap tingkatannya. Misalnya, untuk data tingkat provinsi maka persentase jumlah penduduk merupakan pembagian antara jumlah penduduk di provinsi tersebut dengan jumlah penduduk di Indonesia. Sementara itu, untuk data tingkat kabupaten, persentase jumlah penduduk merupakan pembagian antara jumlah penduduk di kabupaten tersebut dengan jumlah penduduk di Jawa Timur. Hal tersebut juga berlaku untuk variabel distribusi PDRB.



**Gambar 2: Alur Pemodelan Prediksi Konsumsi Listrik**

Variabel yang diprediksi juga dilakukan perubahan dari jumlah konsumsi listrik menjadi persentase konsumsi listrik. Perubahan satuan variabel ke persentase ini dilakukan

agar variabel di tingkat provinsi dan kabupaten/kota memiliki skala yang sama. Jika yang digunakan adalah nilai PDRB maka tentu saja nilai PDRB pada data tingkat provinsi akan jauh lebih tinggi dari PDRB pada data tingkat kabupaten/kota. Hal tersebut dapat menyebabkan prediksi konsumsi listrik di tingkat kabupaten/kota akan sangat kecil bahkan menjadi negatif.

$$x_{std} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (2)$$

Gambar 2 merupakan alur dalam melakukan pemodelan. Sebelum dilakukan pemodelan, seluruh variabel distandarisasi terlebih dahulu dengan menggunakan rumus (1) atau biasa disebut dengan MinMaxScaler. Model yang digunakan adalah model berbasis machine learning, yaitu Random Forest, Support Vector Machine, Gradient Boosting, Cat Boosting dan Huber Regression. Data yang digunakan adalah data dari tahun 2015-2021. Untuk memvalidasi modelnya digunakan teknik cross validation dengan matriks Root Mean Squared Error (RMSE) dan Mean Absolute Error (MAE). Selain itu, untuk setiap algoritma akan dilakukan *hyperparameter optimization* menggunakan algoritma *Grid Search*.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_{true} - y_{predict})^2} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |y_{true} - y_{predict}| \quad (4)$$

dengan:

$y_{true}$  = nilai sebenarnya

$y_{predict}$  = nilai prediksi

Setiap algoritma akan dipilih satu model terbaik dengan melihat nilai RMSE yang terendah. Setiap model terbaik digunakan untuk memprediksi data persentase konsumsi listrik di tingkat kabupaten/kota di Jawa Timur. Model paling terbaik dipilih dengan melihat dua hal, yaitu hasil prediksi untuk setiap daerah tidak negatif dan penjumlahan dari hasil prediksi untuk setiap tahun mendekati 100%.

### **Metode Pembangunan Indeks Emisi**

Salah satu satelit yang memiliki data tentang emisi gas rumah kaca adalah satelit Sentinel-5P. Satelit ini merupakan bagian dari program Global Monitoring for Environment and Security (GMES/Copernicus). Satelit ini memberikan informasi tentang jejak gas atmosfer, aerosol, dan distribusi awan yang mempengaruhi kualitas udara dan iklim (De Vries dkk., 2016).

Satelit Sentinel-5P menggunakan instrumen Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) untuk mengukur column density dari berbagai zat dan molekul dalam atmosfer. Column density yang dihasilkan oleh satelit Sentinel-5P merujuk pada kuantitas atau jumlah suatu zat atau molekul tertentu dalam suatu kolom vertikal atmosfer. Hal ini menggambarkan seberapa banyak zat tersebut terdistribusi secara vertikal dalam kolom atmosfer yang meluas dari permukaan bumi hingga batas atas atmosfer. Column density diukur dalam satuan jumlah molekul per satuan luas (mol/m<sup>2</sup>). Column density berbeda dengan konsentrasi zat, yang mengacu pada jumlah suatu zat atau molekul yang ada dalam suatu volume tertentu, biasanya dinyatakan sebagai massa zat per satuan volume (µg/cm<sup>3</sup>). Pengukuran konsentrasi sering dilakukan dengan menggunakan instrumen di darat atau di udara yang lebih fokus pada pengukuran di titik tertentu atau dalam volume yang lebih kecil.

Penelitian yang dilakukan oleh Marina dkk (Virghileanu dkk., 2020) menunjukkan bahwa korelasi antara data column density NO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh Sentinel-5P memiliki korelasi yang tinggi dengan nilai konsentrasi zat NO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh stasiun pemantau udara. Sementara itu, data konsentrasi zat emisi di Jawa Timur tidak tersedia sampai tingkat kabupaten/kota. Oleh karena itu, pada penelitian ini data zat emisi didekati menggunakan

data dari satelit Sentinel-5P. Data zat emisi yang digunakan ada 4, yaitu CO, Ozone, NO2 dan SO2. Semua data tersebut memiliki satuan mol/m<sup>2</sup>.

Dari 4 data emisi tersebut akan dijadikan 1 nilai indeks yang dapat memberikan gambaran kualitas zat emisi pada suatu kabupaten/kota tertentu. Indeks tersebut akan dibuat dengan cara sederhana, yaitu merata-ratakan nilai 4 emisi tersebut yang telah terstandarisasi menggunakan MinMax Scaler. Dengan menggunakan rumus MinMax Scaler, skala data emisi berada dalam rentang 0 - 1. Setiap data zat emisi diterapkan menggunakan rumus tersebut dan kemudian hasilnya dijumlahkan dan dibagi 4 untuk memperoleh indeks emisi untuk kabupaten/kota tertentu.

$$\text{Indeks Emisi} = \frac{CO_{std} + Ozone_{std} + NO2_{std} + SO2_{std}}{4} \times 100 \quad (5)$$

### **Metode Pembangunan Indeks Green Economy**

Pembangunan skor pada tiap indikator dilakukan dengan cara membandingkan tiap indikator dengan batas maksimal dan minimal. Hal ini bertujuan untuk menentukan sejauh mana setiap indikator telah berkembang dan untuk menormalkan indikator dalam kisaran nilai 0 - 1. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$Skor_i = \frac{y_i - y_{min}}{y_{max} - y_{min}} \times \quad (6)$$

dengan

$y_i$  = nilai indikator pada tahun tertentu

$y_{max}$  = batas maksimal atau untuk indikator

$y_{min}$  = batas minimum untuk indikator

Kemudian, pada setiap dimensi dibangun sub indeks dengan cara merata-ratakan nilai skor untuk setiap indikator pada dimensi terkait. Sehingga terdapat tiga sub indeks dari indeks green economy, yaitu sub indeks untuk dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan. Berikut rumus penghitungan indeks untuk setiap dimensi.

$$\text{Indeks Dimensi Ekonomi} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Skor_{i,Ekonomi} \quad (7)$$

$$\text{Indeks Dimensi Sosial} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Skor_{i,Sosial} \quad (8)$$

$$\text{Indeks Dimensi Lingkungan} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Skor_{i,Lingkungan} \quad (9)$$

Sementara itu, Index Green Economy dihitung dengan menggunakan rata-rata tertimbang dari seluruh indikator. Nilai rata-rata sederhana tidak digunakan karena setiap dimensi tidak memiliki jumlah indikator yang sama. Hal tersebut dapat menyebabkan kontribusi indikator pada dimensi sosial dan ekonomi lebih besar daripada dimensi lingkungan. Oleh karena itu, penimbang yang digunakan adalah perkalian antara jumlah indikator pada suatu dimensi dengan banyaknya dimensi. Sehingga seluruh indikator pada dimensi sosial dan ekonomi mendapatkan penimbang sebesar 115 dan indikator dimensi lingkungan mendapatkan penimbang sebesar 19. Hal ini juga dilakukan oleh Bilgaev dkk pada penelitiannya ketika membangun indeks green economy di Republic of Buryatia (Russia) (Bilgaev dkk., 2022).

**Tabel 2: Penimbang Setiap Indikator**

Indikator	Penimbang
<b>Dimensi Ekonomi</b>	<b>1/3</b>
PDRB per kapita	1/15
Produktivitas Padi	1/15
Produktivitas Pekerja bidang Industri	1/15
Produktivitas Pekerja bidang Jasa	1/15
Konsumsi Listrik per kapita	1/15
<b>Dimensi Sosial</b>	<b>1/3</b>
Rata-rata Lama Sekolah	1/15
Angka Harapan Hidup	1/15
Angka Kemiskinan	1/15
Tingkat Pengangguran Terbuka	1/15
Gini Rasio	1/15
<b>Dimensi Lingkungan</b>	<b>1/3</b>
Persentase Lahan dengan Pohon	1/9
Persentase Sampah yang dikelola	1/9
Indeks Emisi	1/9

$$GEI = \sum_{i=1}^{13} Skor_i \times penimbang_i \quad (10)$$

Nilai GEI dapat dihitung dengan rumus diatas. Nilai GEI ini akan memberikan gambaran seberapa jauh suatu daerah dalam menerapkan pembangunan berkelanjutan yang lebih hijau, ramah lingkungan dan inklusif secara sosial.

### **Metode Pengelompokan Wilayah Berdasarkan Capaian Dimensi Green Economy**

Setelah indeks GEI dan sub-indeks perdimensinya dihitung, akan dilanjutkan dengan melakukan pengelompokan wilayah. Pengelompokan ini bertujuan untuk mencari wilayah dengan karakteristik yang sama berdasarkan capaian dimensi atau sub-indeks perdimensinya. Berdasarkan pengelompokan ini, kita bisa memberikan saran kebijakan atau hal yang harus dikembangkan disuatu wilayah. Pengelompokan dilakukan dengan metode clustering menggunakan algoritma K-Means. Algoritma ini bekerja dengan mencari pusat kelompok yang optimal dan menempatkan setiap data ke kelompok terdekat berdasarkan jarak Euclidean. Tujuan utama dari algoritma ini adalah meminimalkan jumlah variasi dalam setiap kelompok dan memaksimalkan variasi antara kelompok-kelompok tersebut.

Salah satu tantangan ketika menggunakan algoritma ini adalah perlu menentukan jumlah kelompok sebelum algoritma ini dijalankan. Yuan dkk mengusulkan 4 cara dalam menentukan jumlah kelompok (Yuan & Yang, 2019), yaitu Elbow Method, Gap Statistic, Silhouette Coefficient, dan Canopy. Pada penelitian ini hanya akan digunakan 2 metode yaitu Elbow Method dan Silhouette Coefficient. Elbow Method dilakukan dengan cara menghitung inersia (inertia) untuk setiap jumlah kelompok yang diuji, di mana inersia merupakan ukuran jumlah variasi data dalam kelompok-kelompok tersebut. Nilai inersia ini dihitung untuk jumlah kelompok 2 sampai k. Kemudian, dibuat plot nilai inersia terhadap jumlah kelompok yang diuji. Pada plot tersebut, akan ditentukan titik “siku” atau “siku tangan” (elbow) di mana penurunan inersia mulai melambat secara signifikan. Titik tersebut merupakan indikasi

bahwa penambahan kelompok tidak lagi memberikan keuntungan yang signifikan dalam meminimalkan variasi data. Jumlah kelompok yang berada pada titik siku tersebut dapat dianggap sebagai jumlah optimal untuk algoritma K-Means.

Sementara itu, Silhouette Coefficient adalah algoritma yang diusulkan pertama kali oleh Peter J. Rousseeuw ([Gentle dkk., 1991](#)). Silhouette Coefficient memiliki nilai dalam rentang -1 sampai 1. Semakin mendekati satu, menunjukkan bahwa suatu data sudah berada dalam kelompok yang tepat, begitu pun sebaliknya. Sama halnya dengan Elbow Method, nilai ini akan dihitung untuk jumlah kelompok 2 sampai k. Jumlah kelompok dengan nilai Silhouette Coefficient paling tinggi akan dianggap sebagai jumlah optimal untuk algoritma K-Means.

## Hasil dan Pembahasan

### *Prediksi Konsumsi Listrik*

Pembangunan model prediksi pada tingkat provinsi menggunakan 10-fold cross validation dan hyperparameter optimization. Hyperparameter yang dioptimasi berbeda pada tiap algoritma, misalnya untuk algoritma Random Forest yang dioptimasi adalah jumlah pohon dan maksimal kedalaman pohon. Total model yang dibangun sebanyak 1,890 model. Berikut adalah evaluasi matriks dari model terbaik pada tiap algoritma.

**Tabel 3: Matriks Evaluasi Kinerja Model Terbaik Tiap Algoritma**

Algoritma	RMSE	MAE
Linear Regression	1,58	0,88
Random Forest	1,64	0,81
Huber Regression	1,72	0,96
Gradient Boosting	2,21	1,43
Cat Boosting	3,75	2,57
Support Vector Regression (SVR)	56,02	36,44

Dari Tabel 3 terlihat bahwa algoritma yang paling buruk adalah SVR dengan nilai MAE mencapai 36,44. Hal ini berarti secara rata-rata absolute error prediksi persentase konsumsi listrik bisa mencapai 36,44%. Sementara itu, algoritma yang cukup baik adalah Linear Regression, Random Forest dan Huber Regression yang mana nilai MAE tidak mencapai 1%. Model terbaik pada tiap algoritma digunakan untuk memprediksi data pada tingkat kabupaten/kota. Kemudian hasil prediksinya di agregate per tahun, model terbaik adalah model yang hasil agregatannya paling mendekati 100%. Berikut hasil yang diperoleh

**Tabel 4: Hasil Evaluasi ke Data Kabupaten/Kota**

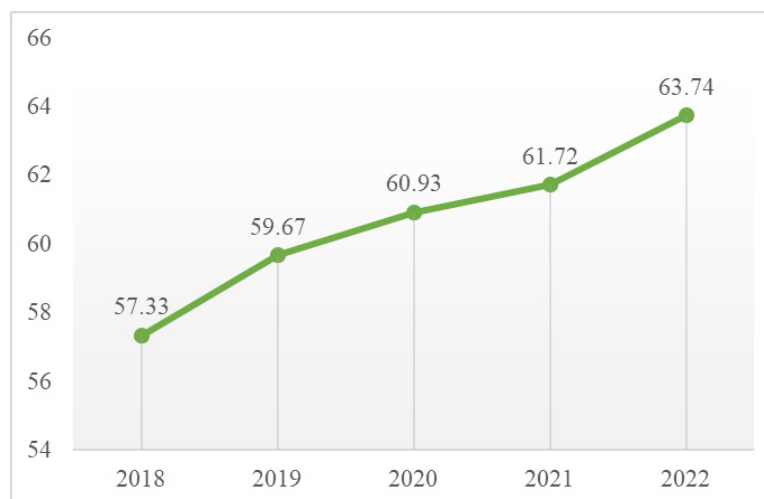
Algoritma	Jarak Absolute ke 100%	Jumlah Prediksi Negatif
Linear Regression	47,56	0
Random Forest	81,79	0
Huber Regression	22,92	0
Gradient Boosting	93,18	0
Cat Boosting	75,15	0
Support Vector Regression (SVR)	52,21	0

Dari Tabel 4 menunjukkan bahwa semua model terbaik tidak memiliki hasil prediksi yang negatif. Model yang memiliki hasil prediksi agregat per tahun paling mendekati 100% adalah Huber Regression, yaitu 22,92%. Secara rata-rata konsumsi listrik di Jawa Timur mencapai 38 juta mWh, jika model Huber Regression ini digunakan, maka model tersebut akan memprediksi

konsumsi listrik di Jawa Timur sekitar 45 juta mWh, sehingga terdapat selisih 7 juta mWh. Dikarenakan model Huber Regression ini adalah model terbaik yang dapat dibangun, maka model ini yang digunakan untuk memprediksi persentase konsumsi listrik di kabupaten/kota di Jawa Timur. Hasil prediksinya kemudian dikalikan dengan konsumsi listrik Jawa Timur pada tahun terkait untuk menghasilkan total konsumsi listrik di kabupaten/kota. Total konsumsi listrik tersebut kemudian akan dibagi dengan jumlah penduduk untuk memperoleh konsumsi listrik per kapita yang mana nilai tersebut akan digunakan untuk membangun indeks green economy.

### **Green Economy Indeks Provinsi Jawa Timur**

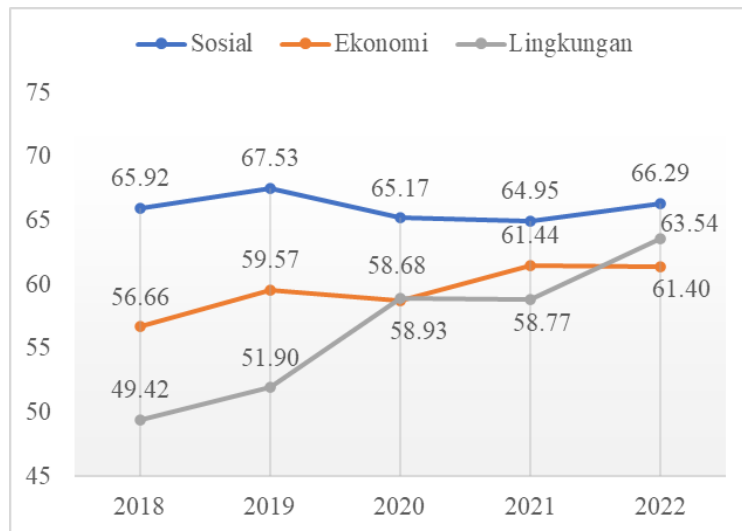
Selama lima tahun terakhir, indeks green economy Jawa Timur selalu mengalami peningkatan dengan laju pertumbuhan stabil, termasuk pada waktu di mana maraknya terjadi pandemi pada tahun 2020 hingga 2021. Pada waktu itu, hampir segala sektor mengalami penurunan pertumbuhan, seperti PDRB perkapita, produktivitas sektor industri, produktivitas sektor jasa, tingkat kemiskinan dan pengangguran. Namun, sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 3 angka indeks green economy di Jawa Timur yang cenderung stabil mengindikasikan bahwa pembangunan ekonomi hijau yang dibangun bersifat resisten. Indeks pada tahun 2022 telah menyentuh angka 63,74 yang berarti bahwa provinsi Jawa Timur telah mencapai 63,74% dari target yang telah ditetapkan untuk pembangunan berkelanjutan yang ramah lingkungan.



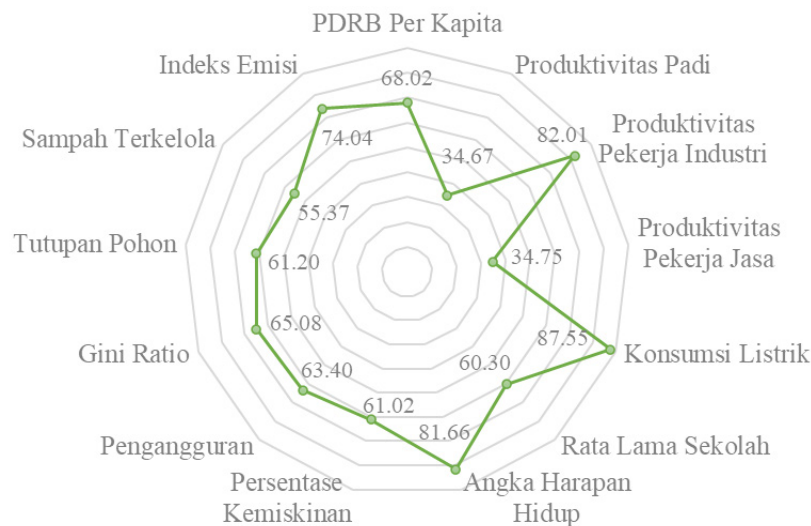
**Gambar 3: Indeks Green Economy Jawa Timur 2018 - 2022**

Dari ketiga dimensi pembentuk indeks green economy, dimensi sosial selalu menjadi dimensi yang memiliki nilai sub indeks tertinggi selama lima tahun berturut-turut, seperti yang terlihat pada Gambar 4. Hal tersebut mengindikasikan bahwa target untuk indikator-indikator sosial yaitu rata-rata lama sekolah, angka harapan hidup, tingkat kemiskinan, tingkat pengangguran, dan gini ratio di Jawa Timur telah mencapai lebih dari 60% dari target yang telah ditetapkan. Dimensi lingkungan memiliki perkembangan yang cukup pesat dari angka capaian 49% pada tahun 2018 menjadi 63,54% setelah lima tahun kemudian. Sedangkan, untuk sub indeks dimensi ekonomi bersifat fluktuatif dan menyentuh hingga angka 61,40% pada tahun 2022.

Gambar 5 menunjukkan skor capaian target pada setiap indikator untuk Jawa Timur pada tahun 2022. Konsumsi listrik per kapita merupakan indikator yang memiliki capaian paling tinggi yaitu 87,55%. Lalu disusul oleh produktivitas pekerja bidang industri sebesar 82,01% dan angka harapan hidup sebesar 81,66%. Sedangkan, indikator dengan capaian terendah antara lain produktivitas padi yang hanya sebesar 34,67% dan Produktivitas pekerja bidang jasa sebesar 35,75%. Provinsi Jawa Timur memang menjadi penghasil padi terbesar di Indonesia, namun dengan target yang dibuat lebih tinggi membutuhkan komitmen pengambil kebijakan untuk selalu berupaya memaksimalkan capaian pembangunan.



**Gambar 4: Sub Indeks Per Dimensi di Jawa Timur Tahun 2018 - 2022**



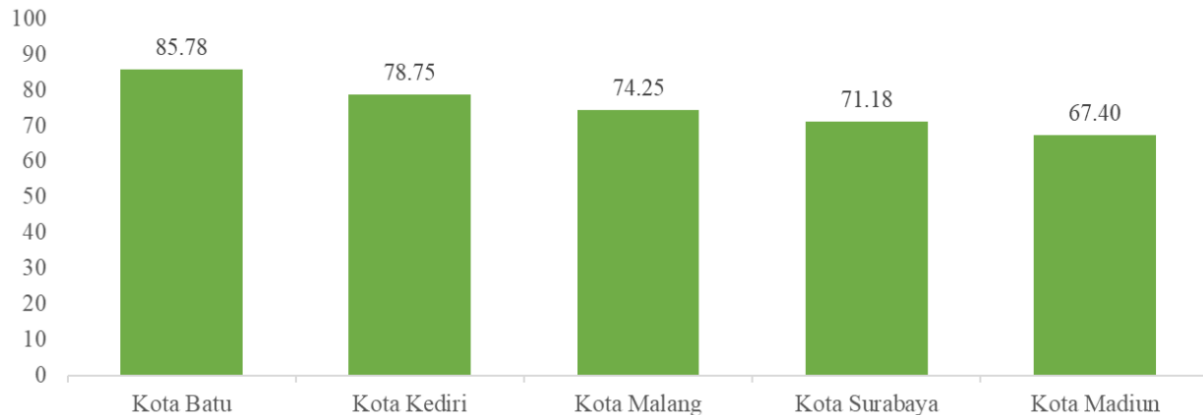
**Gambar 5: Skor Indikator Jawa Timur Tahun 2022**

**Green Economy Indeks Kabupaten/Kota Jawa Timur**

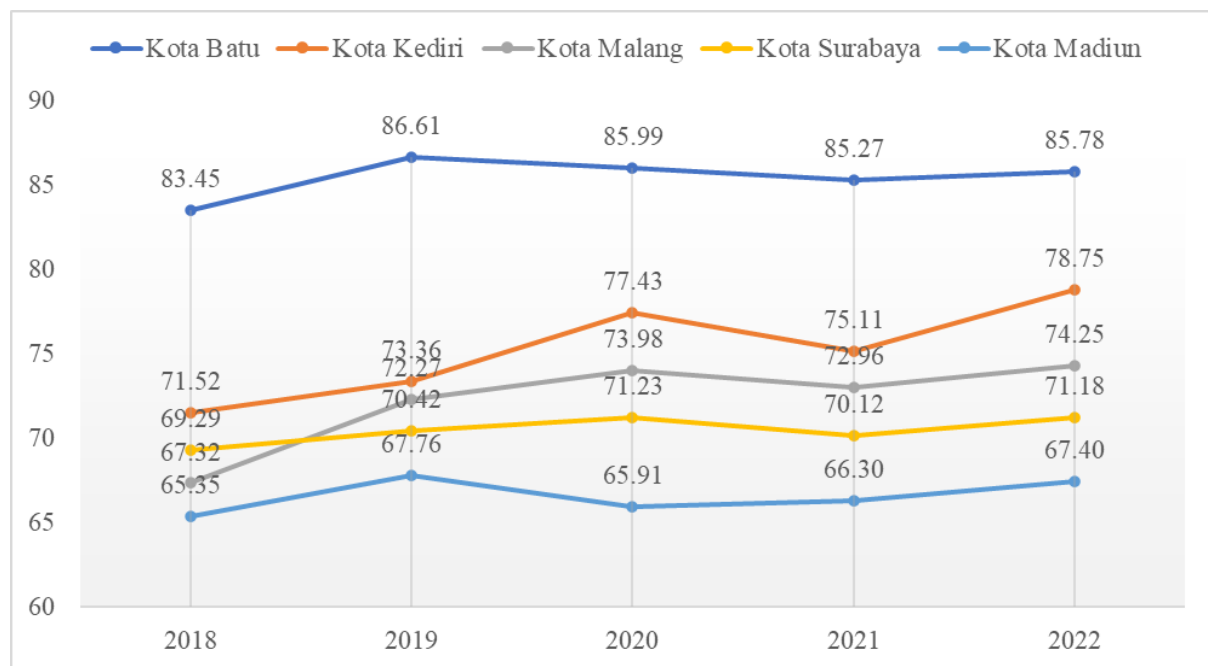
Dari 39 kabupaten/kota di provinsi Jawa Timur, wilayah perkotaan menjadi lima daerah dengan indeks green economy tertinggi pada tahun 2022, seperti yang terlihat pada Gambar 6. Daerah tersebut antara lain Kota Batu, Kota Kediri, Kota Malang, Kota Surabaya, dan Kota Madiun. Kota Batu menjadi daerah tertinggi selama lima tahun berturut-turut. Nilai indeks nya memiliki selisih yang cukup jauh dengan daerah di bawahnya dan cenderung stabil pada angka 83 - 85. Hal ini berarti secara rata-rata seluruh indikator green economy di kota Kediri berada pada capaian yang baik yaitu 85% dari target yang ditetapkan. Selanjutnya, Kota Kediri juga selalu menempati posisi nomor 2 selama lima tahun terakhir dan mengalami perkembangan yang cukup pesat. Kota Malang dan Surabaya memiliki perbedaan nilai yang cukup tipis. Serta Kota Madiun selalu menempati posisi nomor 5 yang memiliki indeks berkisar dari angka 65 - 67%. Gambar 7 menunjukkan perbandingan antar waktu pada kelima daerah dengan indeks tertinggi.

Alasan wilayah perkotaan memiliki indeks yang baik dalam pembangunan green economy adalah bahwa secara umum perkotaan memiliki roda perputaran ekonomi yang lebih baik. Indikator bidang ekonomi yang tinggi dapat memberikan dampak yang positif terhadap peningkatan indikator bidang sosial, misalnya PDRB per kapita. PDRB per kapita yang tinggi memiliki pengaruh terhadap peningkatan indeks pengembangan manusia, seperti

harapan hidup dan tingkat melek huruf yang lebih tinggi, dan akses pendidikan yang lebih baik. Pengembangan manusia yang baik dapat membantu mengurangi tingkat kemiskinan dengan meningkatkan kapasitas individu untuk memperoleh pekerjaan yang lebih baik dan mengatasi kesenjangan sosial-ekonomi. Hal itulah yang menyebabkan beberapa perkotaan menjadi daerah yang memiliki indeks green economy yang lebih baik dibandingkan pedesaan.



**Gambar 6: Lima Kabupaten/Kota dengan Indeks GEI tertinggi di Jawa Timur Tahun 2022**

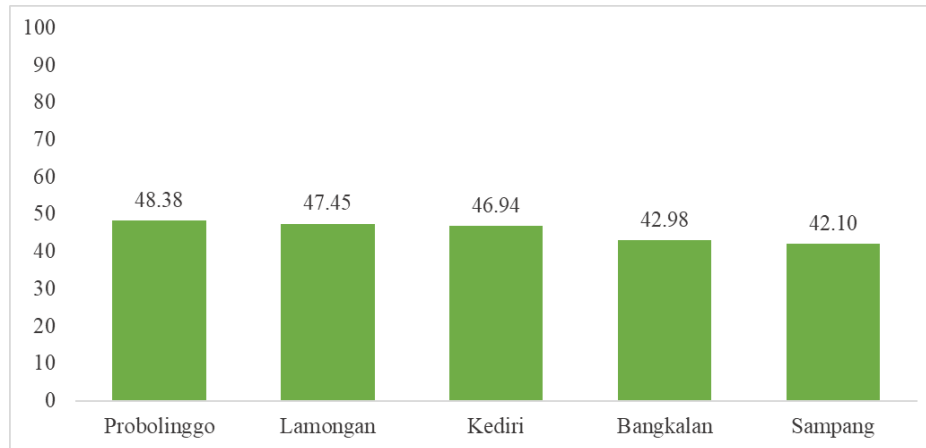


**Gambar 7: Perbandingan antar waktu pada 5 Kab/Kota dengan Indeks GEI Tertinggi Tahun 2018 - 2022**

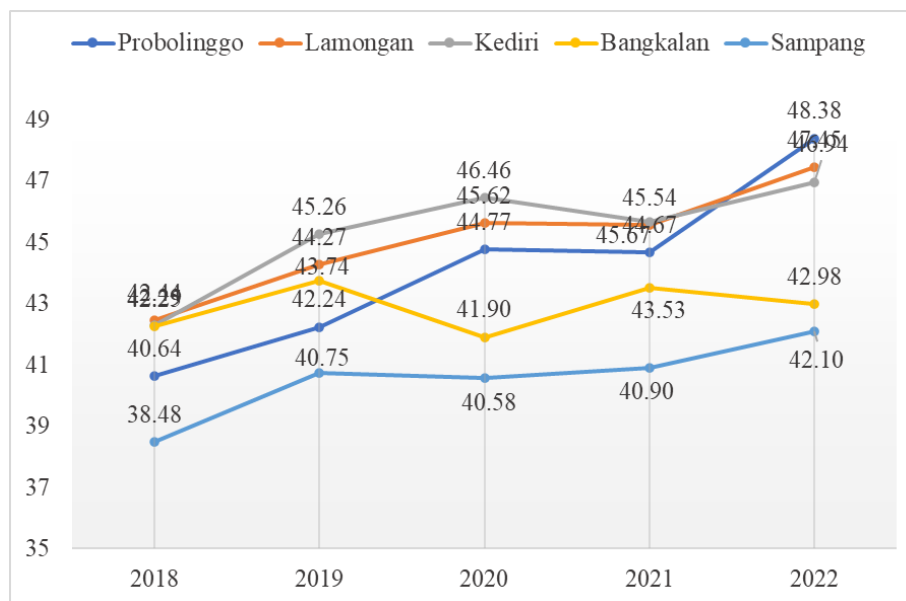
Lima kabupaten/kota di Jawa Timur dengan indeks green economy terendah pada tahun 2022 berturut-turut adalah Probolinggo, Lamongan, Kediri, Bangkalan, dan Sampang. Hal ini seperti yang terlihat pada Gambar 8. Sementara pada Gambar 9 menunjukkan perkembangan dari waktu ke waktu untuk kelima kabupaten tersebut. Probolinggo memiliki perkembangan yang cukup pesat selama 5 tahun terakhir, dari 3 terendah pada tahun 2018 meningkat hingga hampir 10% pada tahun 2022. Sedangkan untuk Lamongan dan Kediri memiliki perkembangan positif melambat. Sementara dua kabupaten lainnya yaitu Bangkalan dan Sampang memiliki perkembangan yang stagnan.

Secara keseluruhan, peta persebaran indeks *green economy* kabupaten/kota di provinsi Jawa Timur tahun 2022 dapat terlihat pada Gambar 10. Daerah dengan indeks yang tinggi berpusat pada ibukota provinsi yaitu Kota Surabaya. Hal ini menandakan bahwa efek spasial

mempengaruhi pembangunan *green economy* di Jawa Timur. Meskipun tidak menjadi daerah dengan Indeks GEI tertinggi, Kota Surabaya berpengaruh besar pada beberapa indikator yang sudah mencapai target di atas 94% yaitu PDRB per kapita, produktivitas pekerja bidang industri, produktivitas pekerja bidang jasa, konsumsi listrik per kapita, angka harapan hidup, dan sampah terkelola. Hal ini dapat terlihat pada diagram radar Gambar 11. Namun, capaian indikator yang paling rendah terhadap target pada kota Surabaya adalah tutupan pohon, yang mana target tutupan pohon perkotaan adalah 10% namun capaian kota Surabaya hanya sebesar 0.4% dari 10%. Sehingga skor untuk indikator tutupan pohon di kota Surabaya sangat rendah yaitu 4% dari 100% target.



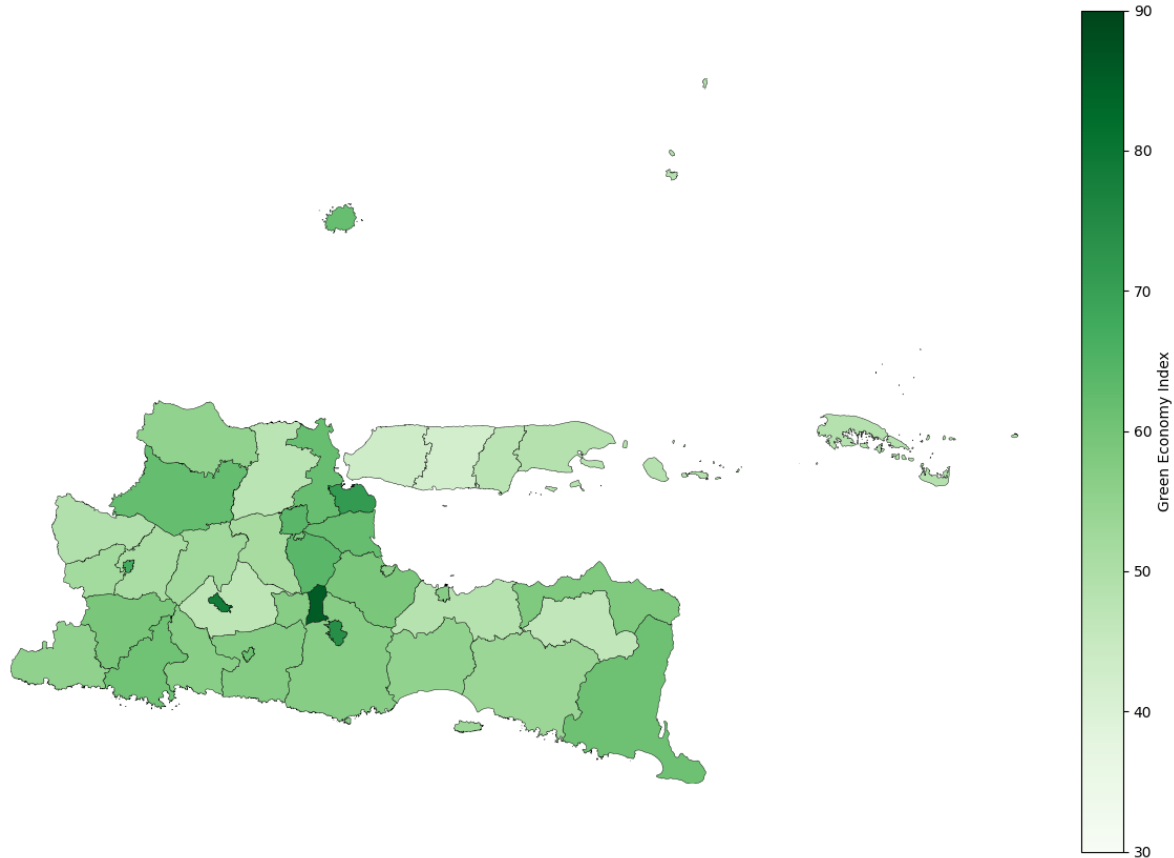
**Gambar 8: Lima Kabupaten/Kota dengan Indeks GEI terendah di Jawa Timur 2022**



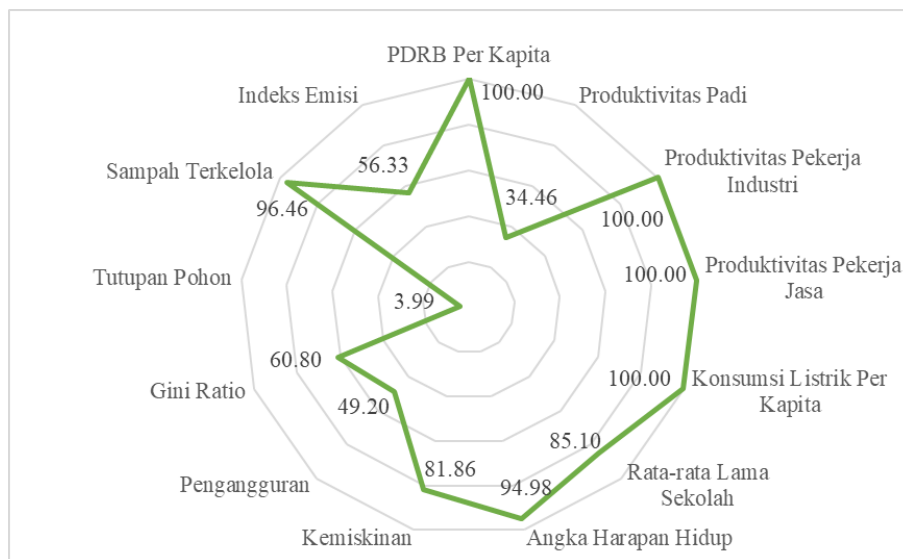
**Gambar 9: Perbandingan antar waktu daerah dengan Indeks GEI Terendah 2018 – 2022**

Banyak daerah yang memiliki dampak positif pada pembangunan ekonomi di sekitar Kota Surabaya. Namun, tidak demikian dengan pulau seberang, yaitu Madura. Tiga dari 4 kabupaten di pulau Madura termasuk dalam 5 daerah dengan indeks GEI terendah di Jawa Timur, diantaranya Sampang, Bangkalan, dan Pamekasan. Hal ini juga sejalan dengan penetapan Kabupaten Sampang dan Bangkalan yang termasuk dalam 4 daerah tertinggal berdasarkan Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 131/2015 tentang Penetapan Daerah Tertinggal Tahun 2015–2019. Jembatan Suramadu yang dibangun untuk menghubungkan Pulau Madura dengan Pulau Jawa masih belum dapat meningkatkan pembangunan secara lebih merata. Secara umum, karakteristik geografis wilayah memiliki peran penting dalam menentukan kemajuan

pembangunan suatu daerah (2011). Menurut kajian (Supriyadi, 2012), Pulau Madura memiliki penggunaan lahan yang berbeda dengan Pulau Jawa di Jawa Timur. Penggunaan wilayah Pulau Jawa di Jawa Timur didominasi oleh pertanian dan perkebunan karena didukung dengan luasnya area lahan subur yang dipengaruhi oleh adanya gunung berapi. Sedangkan, Pulau Madura didominasi oleh pertanian tanah kering semusim yang mengandung bahan organik dan kadar nitrogen rendah. Sehingga permasalahan fisik dan kimia ini menjadi permasalahan dalam pengelolaan tanah di Pulau Madura. Hal itu menyebabkan rendahnya produktivitas padi di kabupaten/kota yang ada di Madura.

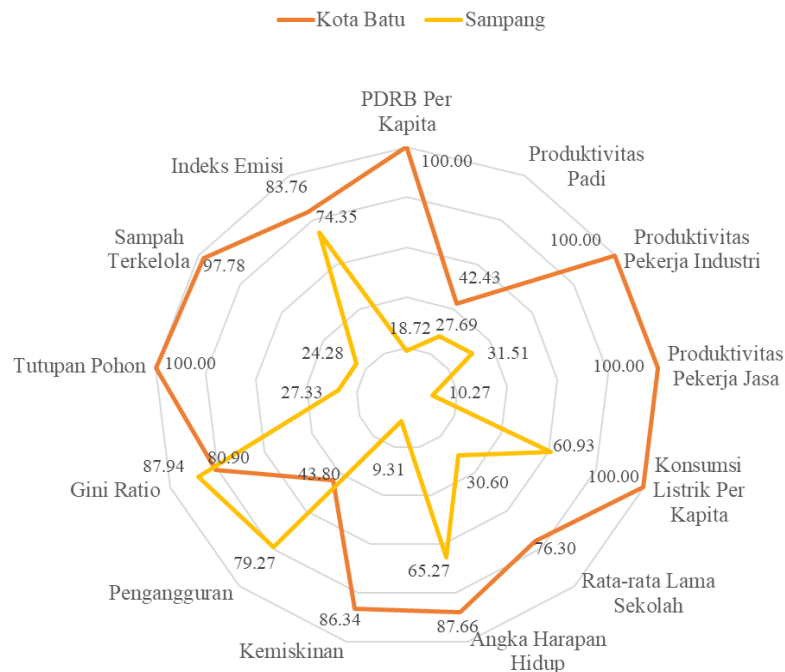


**Gambar 10: Peta Sebaran Indeks Green Economy di Provinsi Jawa Timur Tahun 2022**



**Gambar 11: Skor Tiap Indikator Green Economy Kota Surabaya Tahun 2022**

Untuk melihat ketidakmerataan pembangunan di Jawa Timur, Gambar 12 menunjukkan perbandingan capaian tiap indikator pembangunan green economy terhadap target antara Kota Batu sebagai daerah dengan indeks GEI tertinggi dan Kabupaten Sampang dengan indeks GEI terendah selama lima tahun. Pada tahun 2022, hampir dari semua lini kabupaten Sampang memiliki ketertinggalan jauh dari pembangunan di Kota Batu. Hanya 3 dari 13 indikator di kabupaten Sampang yang dapat mendekati angka regional Kota Batu, yakni Indeks Emisi, Gini Ratio, dan Pengangguran. Rendahnya capaian pengangguran di daerah perkotaan seringkali menjadi permasalahan yang tidak pernah tuntas. Sedangkan indikator lainnya di kabupaten Sampang sangat tertinggal jauh, seperti PDRB per kapita yang hanya mencapai 18.72%, Produktivitas pekerja industri dan jasa, produktivitas padi, rata-rata lama sekolah, dan kemiskinan yang hanya mencapai 9.31%. Bahkan tutupan lahan pohon di kabupaten Sampang sangat jauh dibandingkan kota Batu yang merupakan daerah perkotaan.



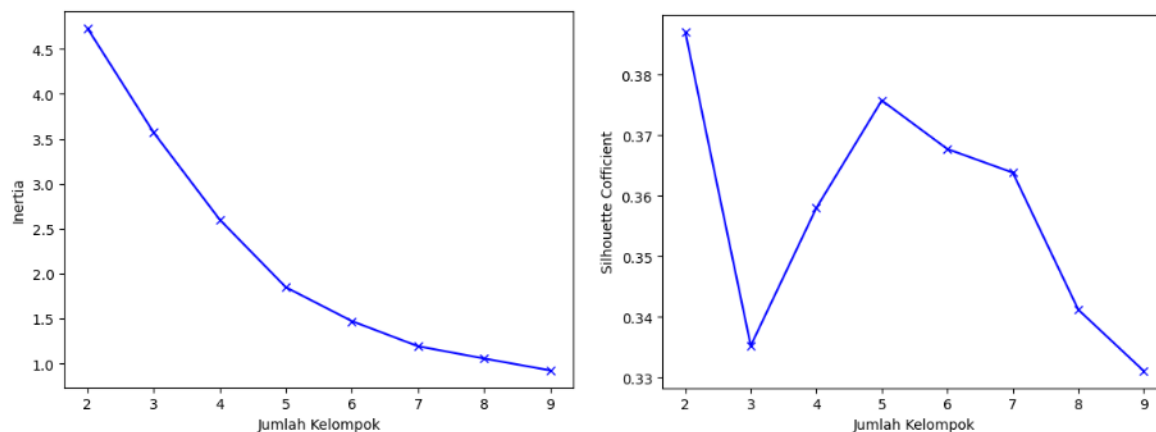
**Gambar 12: Perbandingan Skor Indikator antara Dua Daerah dengan indeks GEI tertinggi dan terendah Jawa Timur: Kota Batu dan Kabupaten Sampang Tahun 2022**

**Analisis Pengelompokkan Wilayah Berdasarkan Dimensi Green Economy**

Data yang digunakan adalah sub indeks ekonomi, sosial dan lingkungan pada tahun 2022. Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan jumlah kelompok yang optimal untuk algoritma K-Means. Gambar 13 menunjukkan hasil dari metode Elbow dan Silhouette Coefficient. Dari metode Elbow terlihat bahwa titik belok terjadi pada jumlah kelompok 5, yang mana penurunan inersia sudah tidak begitu signifikan pada jumlah kelompok 6. Hal tersebut selaras dengan hasil dari Silhouette Coefficient yang menunjukkan bahwa nilainya tinggi ketika jumlah kelompoknya adalah 5. Berdasarkan hal itu, jumlah kelompok yang akan digunakan adalah 5.

Tabel 5 menunjukkan statistik dari tiap jenis kelompok. Dari nilai rata-rata indeksnya terlihat bahwa kelompok pertama adalah kelompok yang paling baik dimana rata-rata nilai indeks ketiga dimensinya lebih tinggi dari kelompok lainnya. Terdapat 5 kota yang masuk ke kelompok tersebut yang mana kelima kota tersebut merupakan kota dengan nilai indeks green economy tertinggi di Jawa Timur. Kelima kota tersebut diharapkan dapat mempertahankan capaian yang sudah dilakukan dengan tetap meningkatkan praktik green economy di daerah masing-masing. Hal yang perlu diutamakan adalah pada dimensi lingkungan, karena berdasarkan box plot pada Gambar 14 terlihat bahwa jangkauan untuk dimensi lingkungan masih cukup besar. Hal tersebut dikarenakan indeks dimensi lingkungan untuk Kota Surabaya

dan Kota Madiun masih berada pada angka 52.26 dan 57.15. Rendahnya indeks dimensi lingkungan pada dua kota itu diakibatkan oleh rendahnya daerah tutupan pohon. Berdasarkan hasil citra satelit Dynamic World, daerah tutupan pohon di kota Surabaya dan Kota Madiun tidak mencapai 1%, padahal kota Surabaya sendiri pada tahun 2014 pernah mengeluarkan Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 15 Tahun 2014 tentang Hutan Kota, yang mana persentase luas hutan kota paling sedikit 10%.



**Gambar 13: Grafik Elbow dan Silhouette pada hasil pengelompokan wilayah**

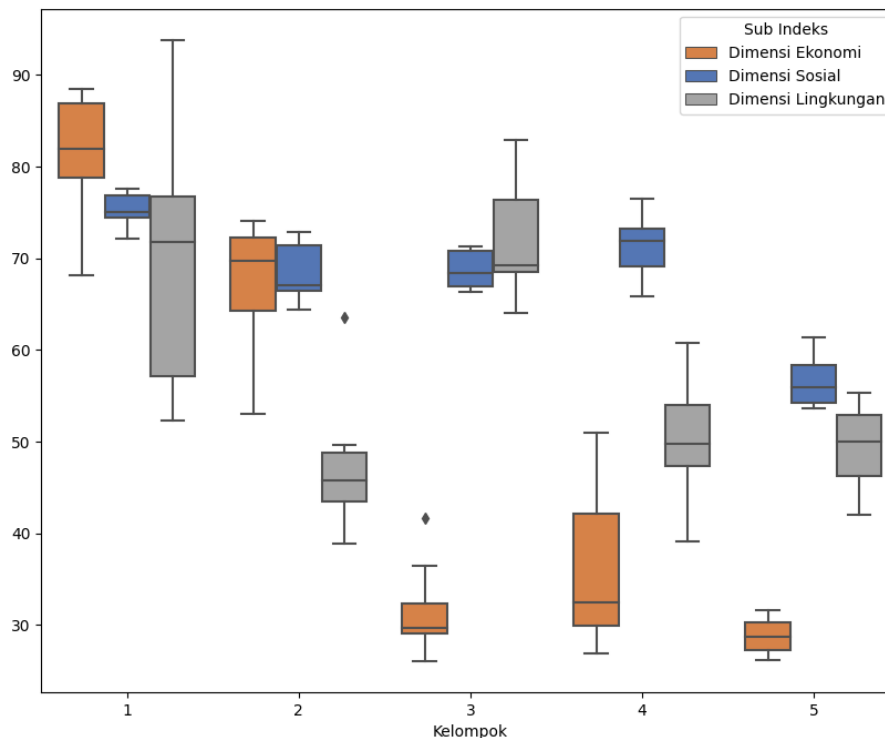
**Tabel 5: Statistik Tiap Kelompok**

No	Kelompok	Rata-rata Indeks Dimensi Ekonomi	Rata-rata Indeks Dimensi Sosial	Rata-rata Indeks Dimensi Lingkungan	Jumlah Wilayah	Nama Wilayah
1	Dipertahankan	80.85	75.20	70.36	5	Kota Batu, Kota Kediri, Kota Madiun, Kota Malang, Kota Surabaya
2	Fokus pada indikator lingkungan	67.14	68.59	47.53	7	Bojonegoro, Gresik, Mojokerto, Pasuruan, Sidoarjo, Tuban, Provinsi Jawa Timur
3	Fokus pada indikator ekonomi	31.43	68.71	70.36	9	Banyuwangi, Blitar, Jember, Lumajang, Malang, Pacitan, Ponorogo, Situbondo, Trenggalek
4	Fokus pada indikator ekonomi dan lingkungan	35.86	71.30	50.50	14	Jombang, Kediri, Kota Blitar, Kota Mojokerto, Kota Pasuruan, Kota Probolinggo, Lamongan, Madiun, Magetan, Nganjuk, Ngawi, Pamekasan, Sumenep, Tulungagung
5	Harus diberikan perhatian khusus	28.80	56.71	49.29	4	Bangkalan, Bondowoso, Probolinggo, Sampang

Kelompok kedua adalah kelompok dengan nilai indeks ekonomi dan sosial cukup tinggi tapi memiliki masalah pada indeks lingkungan. Satu dari 7 wilayah yang masuk dalam kelompok ini adalah provinsi Jawa Timur. Jika dilihat pada box plot, terdapat 1 nilai outlier untuk dimensi lingkungan pada kelompok ini. Nilai tersebut adalah nilai milik provinsi Jawa Timur, yaitu 63.53. Sementara itu, indeks ekonomi dan sosialnya berturut-turut adalah 61.40 dan 66.30. Kedua nilai tersebut masih di bawah rata-rata indeks pada kelompok pertama. Hal tersebut yang menyebabkan provinsi Jawa Timur masih masuk ke kelompok kedua. Perlu

adanya kerja sama antara kabupaten/kota untuk mempertahankan dan meningkatkan praktik green economy di Jawa Timur sehingga indeks per dimensinya bisa meningkat dan masuk ke dalam kelompok pertama. Hal yang paling perlu diperhatikan adalah indikator produktivitas padi, yang mana nilainya mencapai 5.68 ton/ha, masih cukup rendah dari nilai tertinggi yang pernah dicapai Indonesia dari tahun 2001-2020 yaitu 12 ton/ha (BAPPENAS, 2022). Jawa Timur merupakan daerah dengan penghasil padi tertinggi di Indonesia, oleh karena itu dengan adanya green economy ini, Jawa Timur dapat meningkatkan praktik pertanian yang berkelanjutan, seperti pengelolaan tanah yang baik dan penggunaan pupuk organik sehingga dapat lebih meningkatkan kualitas tanah dan memberikan dampak positif terhadap nilai produktivitas padi.

Sementara itu, kabupaten lain yang berada di kelompok 2 memiliki nilai indeks lingkungan yang rendah dan harus menjadi perhatian. Jika ditelusuri lebih jauh, indeks lingkungan yang rendah disebabkan oleh rendahnya persentase sampah yang dikelola khususnya kabupaten Pasuruan, Bojonegoro, dan Mojokerto yang nilainya masih < 50%. Sedangkan untuk kabupaten Gresik, Sidoarjo dan Tuban, sampah yang dikelola oleh pemerintah sudah di atas 50% tetapi persentase tutupan pohonnya masih sangat rendah, bahkan Sidoarjo tidak mencapai angka 1%.



**Gambar 14: Box plot sebaran nilai pada tiap jenis kelompok wilayah**

Kelompok ketiga adalah kelompok dengan indeks sosial dan lingkungan cukup tinggi tapi indeks ekonominya sangat rendah dengan rata-rata hanya 31.43. Jika ditelusuri lebih jauh hal ini disebabkan oleh rendahnya skor indikator produktivitas pekerja di bidang industri dan jasa. Produktivitas rendah dikarenakan jumlah pekerja yang banyak tetapi hanya menghasilkan sedikit output. Hal ini juga berdampak ke nilai PDRB untuk industri dan jasa yang rendah. Karena PDRB yang rendah maka nilai PDRB per kapita juga rendah dan menyebabkan skor indikator PDRB per kapita juga rendah. Hal tersebut terlihat dari skor PDRB per kapita berada dalam rentang 20-30 kecuali untuk Banyuwangi yang mencapai 50.08. Produktivitas pekerja terendah ada di Ponorogo 34.69 juta/jiwa, padahal rata-rata di Jawa Timur pada tahun 2022 mencapai 171.75 juta/jiwa. Oleh karena itu, pemerintah di 9 kabupaten ini harus membuat kebijakan yang dapat meningkatkan produktivitas pekerja, misalnya dengan memberikan pelatihan dan mengedukasi pemilik perusahaan pentingnya untuk memperhatikan kinerja dari karyawannya sehingga bisa memberikan nilai output yang lebih baik. Dengan meningkatnya

produktivitas pekerja bisa berimplikasi terhadap peningkatan PDRB per kapita sehingga bisa menaikkan seluruh skor indikator pada dimensi ekonomi di 9 kabupaten tersebut.

Kelompok keempat merupakan kelompok yang memiliki nilai indeks dimensi sosial baik namun kurang baik pada dua dimensi lainnya. Jika ditelusuri lebih jauh masalahnya sama yaitu untuk dimensi ekonomi bermasalah pada rendahnya indikator produktivitas pekerja di bidang industri dan jasa. Untuk dimensi lingkungan, permasalahannya pada rendahnya persentase tutupan pohon dan persentase sampah yang dikelola. Untuk wilayah perkotaan, yaitu Kota Blitar, Kota Mojokerto, Kota Pasuruan dan Kota Probolinggo memiliki skor yang sangat tinggi untuk indikator persentase sampah yang dikelola, tetapi memiliki skor yang sangat rendah bahkan tidak mencapai nilai 10 untuk indikator persentase tutupan pohon. Sementara itu, untuk kabupaten Ngawi, Pamekasan, dan Ngawi indikator di persentase kemiskinan harus juga menjadi perhatian karena nilai skornya berada dibawah 50. Pemerintah di kabupaten/kota di kelompok ini harus lebih bekerja keras lagi dari kelompok kelompok sebelumnya untuk meningkatkan nilai indeks dimensi ekonomi dan sosial. Bisa dimulai dengan memberikan pelatihan kepada pekerja, mulai membangun hutan kota, melestarikan dan menjaga hutan dari penebangan liar, dan meningkatkan pelayanan sampah kepada masyarakat. Peran dari pemerintah provinsi Jawa Timur sekiranya juga diperlukan, karena jumlah daerah pada kelompok ini paling banyak dari kelompok lainnya. Rendahnya indeks green economy di 14 kabupaten/kota ini tentu saja akan memberikan dampak yang signifikan pada indeks green economy di Jawa Timur.

Kelompok 5 merupakan kelompok yang memiliki indeks pada ketiga dimensi yang rendah. Kelompok ini berisi 4 kabupaten dengan nilai indeks green economy terendah di Jawa Timur, yaitu kabupaten Bangkalan, Bondowoso, Probolinggo dan Sampang. Dari 13 indikator terdapat 5 indikator yang nilainya sudah cukup baik yaitu konsumsi listrik per kapita, angka harapan hidup, gini rasio, indeks emisi, dan angka pengangguran kecuali untuk Bangkalan yang skornya masih dibawah 50. Untuk indikator lainnya perlu perhatian lebih dari pemerintah. Tidak hanya pemerintah kabupaten tetapi kehadiran pemerintah provinsi Jawa Timur juga diperlukan untuk ikut serta dalam mengembangkan praktik green economy di 4 kabupaten ini.

## Diskusi

Hasil pengelompokan wilayah didapatkan lima kelompok wilayah, yaitu kelompok dipertahankan, kelompok yang harus fokus pada dimensi lingkungan, kelompok yang harus fokus pada dimensi ekonomi, kelompok yang harus fokus pada dimensi lingkungan dan ekonomi, dan kelompok yang harus diberi perhatian khusus. Kelompok dipertahankan terdiri lima kota besar yang memiliki PDRB dan angka perkembangan ekonomi yang tinggi dan relatif maju (Alim & Arianto, 2020). Kelima kota ini menunjukkan bahwa daerah perkotaan sekalipun bisa memiliki indeks yang tinggi dalam dimensi lingkungan, seperti tutupan pohon, sampah yang terkelola, dan indeks emisi yang rendah dari target yang diharapkan. Kabupaten Sidoarjo, kabupaten Pasuruan, dan kabupaten Mojokerto masuk dalam kelompok yang harus fokus pada dimensi lingkungan yang terlihat dari bagaimana kualitas sampah yang dikelola masih jauh dari target (Azizatun dkk., 2021) (Ardiantoro dkk., 2022). Ketiga kabupaten ini masih berada dalam rentang baik dari segi ekonomi karena berada dekat dengan pusat kota administrasi Surabaya (Purwanti & Dianzah, 2023). Sementara terdapat daerah yang harus berfokus pada kedua dimensi yaitu ekonomi dan lingkungan, seperti Kabupaten Jombang, Kabupaten Magetan, dan Kota Pasuruan. Daerah ini tidak hanya rendah pada dimensi ekonomi, namun juga rendah pada dimensi lingkungan. Ini terlihat dari dimensi ekonomi yang mengalami penurunan angka pertumbuhan ekonomi selama beberapa tahun (Septian, 2023) (Sholikhin, 2020) dan juga terlihat dari dimensi lingkungan yang mengalami peningkatan indeks emisi bahkan mencapai yang tertinggi (Firstanti dkk., 2022) atau belum mencapai target (Arini dkk., 2022). Sementara dari kelompok yang harus diberi perhatian khusus, yakni Bondowoso, Bangkalan dan Sampang baru saja keluar dari kelompok daerah tertinggal yang ditetapkan Perpres No. 131 Tahun 2015 tentang penetapan daerah tertinggal tahun 2015 – 2019. Namun, tetap saja keempat

kabupaten ini masih relatif tertinggal secara ekonomi dibandingkan kabupaten lainnya di Jawa Timur (Septiani & Endang, 2022).

## Simpulan

Pembangunan ekonomi dengan mempertimbangkan aspek lingkungan sangat penting untuk keberlangsungan kehidupan manusia. Oleh karena itu, pembangunan berkelanjutan yang lebih hijau dan ramah lingkungan menjadi salah satu tujuan Internasional yaitu tujuan SDGs ke-13 untuk memerangi perubahan iklim. Konsep green economy digunakan secara luas oleh banyak negara sebagai konsep pembangunan yang mendukung pertumbuhan ekonomi dengan memastikan aspek alam tetap terjaga. Untuk memberikan evaluasi capaian transformasi pembangunan Indonesia menuju green economy, maka dibentuklah alat ukur yang disebut indeks green economy. Kami membangun indeks green economy berdasarkan kajian literatur di provinsi Jawa Timur dengan menggunakan data yang diperoleh dari banyak sumber data termasuk diantaranya Remote Sensing untuk melengkapi ketidakterediaan data regional.

Indeks Green Economy (GEI) dibangun menggunakan 13 indikator dari 3 dimensi yang relevan dengan keadaan di Indonesia berdasarkan teori dan kajian literatur. Tiga indikator menggunakan data yang berasal dari remote sensing yaitu tutupan pohon, konsumsi listrik, dan indeks emisi. Hasil analisis yang diperoleh adalah indeks green economy di Jawa Timur mengalami peningkatan selama lima tahun terakhir. Hal itu berarti bahwa pembangunan ekonomi hijau di Jawa Timur bersifat resisten terhadap tahun pandemi yaitu dari 2019 - 2021. Wilayah perkotaan Jawa Timur menjadi 5 daerah yang memiliki indeks tertinggi pada tahun 2022, yaitu Kota Batu, Kota Kediri, Kota Malang, Kota Surabaya, dan Kota Madiun. Sedangkan 5 daerah terendah pada tahun 2022 antara lain Probolinggo, Lamongan, Kediri, Bangkalan, dan Sampang. Kota Batu dan Sampang menjadi daerah dengan indeks tertinggi dan terendah berturut-turut selama beberapa tahun terakhir. Jika dilihat secara spasial, daerah yang berada di sekitar Kota Surabaya memiliki indeks pembangunan hijau yang cukup tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa efek spasial berpengaruh terhadap pembangunan berkelanjutan di Jawa Timur. Tiga dari 4 kabupaten yang ada di Pulau Madura, yang mana terpisah dari pulau Jawa, termasuk ke dalam daerah dengan indeks GEI terendah. Keteringgalan daerah di pulau Madura ini seharusnya menjadi perhatian khusus bagi pemerintah di provinsi Jawa Timur untuk mengambil kebijakan pembangunan yang lebih merata antara wilayah Jawa Timur yang ada di pulau Jawa dengan yang ada di pulau Madura.

Hasil pengelompokan wilayah berdasarkan dimensi green economy adalah sebanyak 5 kelompok, yakni sebagai berikut.

**Tabel 6: Rekomendasi Kebijakan**

No	Kelompok	Nama Wilayah	Rekomendasi Kebijakan
1	Dipertahankan	Kota Batu, Kota Kediri, Kota Madiun, Kota Malang, Kota Surabaya	Kelompok ini dianjurkan untuk mempertahankan sekaligus meningkatkan capaian indikator pembangunan ekonomi hijau, terutama pada indikator tutupan lahan pohon
2	Fokus pada indikator lingkungan	Bojonegoro, Gresik, Mojokerto, Pasuruan, Sidoarjo, Tuban, Provinsi Jawa Timur	Kelompok ini berfokus pada dimensi lingkungan seperti meningkatkan praktik pertanian yang berkelanjutan sehingga dapat memberikan dampak positif terhadap nilai produktivitas padi.
3	Fokus pada indikator ekonomi	Banyuwangi, Blitar, Jember, Lumajang, Malang, Pacitan, Ponorogo, Situbondo, Trenggalek	Kelompok ini berfokus pada dimensi ekonomi seperti membuat kebijakan yang dapat meningkatkan produktivitas pekerja dengan harapan bisa memberikan nilai output yang lebih baik dan meningkatkan indikator ekonomi lainnya.

No	Kelompok	Nama Wilayah	Rekomendasi Kebijakan
4	Fokus pada indikator ekonomi dan lingkungan	Jombang, Kediri, Kota Blitar, Kota Mojokerto, Kota Pasuruan, Kota Probolinggo, Lamongan, Madiun, Magetan, Nganjuk, Ngawi, Pamekasan, Sumenep, Tulungagung	Kelompok ini berfokus pada dimensi ekonomi dan lingkungan seperti memberikan pelatihan kepada pekerja, mulai membangun hutan kota, melestarikan dan menjaga hutan dari penebangan liar, dan meningkatkan pelayanan sampah kepada masyarakat
5	Harus diberikan perhatian khusus	Bangkalan, Bondowoso, Probolinggo, Sampang	Kelompok ini harus diberi perhatian khusus karena skor pada ketiga dimensi sangat rendah. Tidak hanya pemerintah kabupaten tetapi kebijakan dari pemerintah provinsi Jawa Timur juga diperlukan untuk ikut serta dalam mengembangkan praktik green economy pada kelompok ini

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pemerintah Jawa Timur untuk mencapai arah pengembangan wilayah dalam upaya pembangunan ekonomi berkelanjutan yang ramah lingkungan. Selain itu, metodologi pada penelitian ini dapat direplikasi untuk penerapan secara riil untuk penyediaan data secara regional pada pembangunan indeks green economy, khususnya wilayah Jawa Timur. Pengembangan penelitian ini sangat diharapkan ke depannya, diantaranya untuk dapat menentukan batas minimal dan maksimal target capaian yang lebih sesuai dan relevan dengan kondisi di Jawa Timur. Hal tersebut dikarenakan akan berpengaruh pada penentuan indeks green economy yang menjadi tolak ukur capaian pembangunan di Jawa Timur.

#### Daftar Pustaka

- Afira, N., & Wijayanto, A. W. (2022). Mono-temporal and multi-temporal approaches for burnt area detection using Sentinel-2 satellite imagery (a case study of Rokan Hilir Regency, Indonesia). *Ecological Informatics*, 69, 101677.
- African Ministers. (2011). *Africa Consensus Statement to Rio+20*.
- Ali, A., & Alam Nayyar, Z. (2021). A Modified Built-up Index (MBI) for automatic urban area extraction from Landsat 8 Imagery. *Infrared Physics & Technology*, 116, 103769. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2021.103769>
- Alim, M. K., & Arianto, D. B. (2023). Analisis Korelasi Antara Faktor Ekonomi dan Distribusi Penduduk di Jawa Timur Tahun 2020 Menggunakan Metode Korelasi Pearson. *Kohesi: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(5), 20-30.
- Ardiantoro, L., Muslimin, M., Zahara, S., Asmorowati, E. T., Putra, A. C., Sarasanti, D., & Rijanto, A. (2022). Penguatan Tata Kelola Sampah Terpadu Menuju Pembangunan Berkelanjutan Di TPA Randegan Kota Mojokerto. *ABDIMAS NUSANTARA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1), 22-27.
- Arini, D. R., Purnawan, C., Rahayu, E. S., Utomowati, R., & Purnomo, N. A. (2022). Sumbangan Indeks Kualitas Udara Wilayah sebagai Bagian Pencapaian Sustainable Development Goals (Studi Kasus: Kabupaten Magetan). *ENVIRO: Journal of Tropical Environmental Research*, 24(2), 36-46.
- Azizatun, B., Kubro, F. M. H., Regita, F. A., & Permatasari, N. D. (2021). Analisis Kinerja Pemerintah Desa dalam Pengelolaan Sampah di TPS Gedangan Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 2(06), 929-938.
- BAPPENAS. (2022). *Green Economy Index: A Step Forward to Measure the Progress of Low Carbon & Green Economy in Indonesia*.

- Bilgaev, A., Sadykova, E., Mikheeva, A., Bardakhanova, T., Ayusheeva, S., Li, F., & Dong, S. (2022). Green Economy Development Progress in the Republic of Buryatia (Russia). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 7928. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137928>
- Chen, Z., Wei, Y., Shi, K., Zhao, Z., Wang, C., Wu, B., ... & Yu, B. (2022). The potential of nighttime light remote sensing data to evaluate the development of digital economy: A case study of China at the city level. *Computers, Environment and Urban Systems*, 92, 101749.
- De Vries, J., Voors, R., Ording, B., Dingjan, J., Veeffkind, P., Ludewig, A., Kleipool, Q., Hoogeveen, R., & Aben, I. (2016). *TROPOMI on ESA's Sentinel 5p ready for launch and use* (K. Themistocleous, D. G. Hadjimitsis, S. Michaelides, & G. Papadavid, Eds.; p. 96880B). <https://doi.org/10.1117/12.2240839>
- Firstanti, A. A., Afiuddin, A. E., & Ramadani, T. A. (2022). *Pola Sebaran Emisi SO2, NO2, dan Partikulat dari Cerobong Batu Bara Industri Kecap Menggunakan Software Screen View*. In Conference Proceeding on Waste Treatment Technology (Vol. 5, No. 1).
- Gentle, J. E., Kaufman, L., & Rousseuw, P. J. (1991). Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. *Biometrics*, 47(2), 788. <https://doi.org/10.2307/2532178>
- Hutasavi, S., & Chen, D. (2021). Estimating District-Level Electricity Consumption Using Remotely Sensed Data in Eastern Economic Corridor, Thailand. *Remote Sensing*, 13(22), 4654. <https://doi.org/10.3390/rs13224654>
- Nahman, A., Mahumani, B. K., & De Lange, W. J. (2016). Beyond GDP: Towards a Green Economy Index. *Development Southern Africa*, 33(2), 215–233. <https://doi.org/10.1080/0376835X.2015.1120649>
- Nurkarim, W., & Wijayanto, A. W. (2023). Building footprint extraction and counting on very high-resolution satellite imagery using object detection deep learning framework. *Earth Science Informatics*, 16(1), 515–532. <https://doi.org/10.1007/s12145-022-00895-4>
- Purwanti, Y., & Dianzah, Y. E. N. (2023). Analisis Capaian Pembangunan Inklusif Hijau Pada Tingkat Kabupaten/Kota Di Jawa Timur dengan Balanced Inclusive Green Growth Index. *Jurnal Akuntansi, Manajemen, Bisnis dan Teknologi*, 3(2), 223-239.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (2011). *Towards Green Growth*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264111318-en>
- Putra, Y. C., & Wijayanto, A. W. (2023). Automatic detection and counting of oil palm trees using remote sensing and object-based deep learning. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 29, 100914.
- Putri, S. R., Wijayanto, A. W., & Sakti, A. D. (2022). Developing relative spatial poverty index using integrated remote sensing and geospatial big data approach: A case study of east java, Indonesia. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(5), 275.
- Sakti, A. D., Rinasti, A. N., Agustina, E., Diastomo, H., Muhammad, F., Anna, Z., & Wikantika, K. (2021). Multi-scenario model of plastic waste accumulation potential in indonesia using integrated remote sensing, statistic and socio-demographic data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(7), 481.
- Salsabillah, A. P., Narindra, P. R., Rahardjo, N. A., & Afrianto, F. (2023). Tingkat Keseimbangan dan Klaster Ekonomi Hijau di Provinsi Jawa Timur. *Pranatacara Bhumandala: Jurnal*

*Riset Planologi*, 4(2), 129-152.

- Septian, A. D. (2023). Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi Dan Upah Minimum Terhadap Kemiskinan Di Jombang Jawa Timur. *J-Mabes: Jurnal Manajemen, Akuntansi, Bisnis dan Studi Ekonomi Syariah*, 1(1), 1-6.
- Septiani, I. Y., & Endang, E. (2022). Analisis Ketimpangan Pembangunan Ekonomi Di Provinsi Jawa Timur Tahun 2016-2020. *Jurnal Ekonomi Manajemen dan Sosial*, 5(1), 25-31.
- Sholikhin, M. A. M. (2020). *Dampak Industrialisasi dala Pertumbuhan Ekonomi Masyarakat Lokal Kecamatan Paciran Kabupaten Lamongan* (Doctoral dissertation, Fakultas Ekonomi dan Bisnis Islam Jurusan Ekonomi Islam Program Studi Ekonomi Syariah).
- Supriyadi, S. (2012). *Kesuburan tanah di lahan kering Madura*. 2, 124–131.
- Syahid, L. N., Sakti, A. D., Virtriana, R., Wikantika, K., Windupranata, W., Tsuyuki, S., ... & Pribadi, R. (2020). Determining optimal location for mangrove planting using remote sensing and climate model projection in southeast asia. *Remote Sensing*, 12(22), 3734.
- Todaro, Michael P, Smith, & Stephen C. (2011). *Economic development: The developed and developing World*. Boston, MA: Addison-Wesley.
- United Nations Development Programme (UNDP). (2018). *World Green Economy Report*. <https://www.undp.org/arab-states/publications/2018-world-green-economy-report>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2010). *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/126GER\\_synthesis\\_en.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/126GER_synthesis_en.pdf)
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2012). *Measuring Progress Towards an Inclusive Green Economy*. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/32438>
- Vadrevu, K. P. (2013). Introduction to Remote Sensing (FIFTH EDITION). By J. B. Campbell and R. H. Wynne. Guilford Press, New York, USA, 2011. ISBN 978 160918 176 5. 297 mm × 210 mm, xxxii + 670 pages. Price US\$95-00 hardback. *The Photogrammetric Record*, 28(141), 117–118. <https://doi.org/10.1111/phor.12021>
- Van Buuren, S. (2018). *Flexible imputation of missing data*. CRC press. <https://stefvanbuuren.name/fimd/sec-simplesolutions.html>
- Vîrghileanu, M., Săvulescu, I., Mihai, B.-A., Nistor, C., & Dobre, R. (2020). Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) Pollution Monitoring with Sentinel-5P Satellite Imagery over Europe during the Coronavirus Pandemic Outbreak. *Remote Sensing*, 12(21), 3575. <https://doi.org/10.3390/rs12213575>
- Virtriana, R., Riqqi, A., Anggraini, T. S., Fauzan, K. N., Ihsan, K. T. N., Mustika, F. C., ... & Wikantika, K. (2022). Development of spatial model for food security prediction using remote sensing data in west Java, Indonesia. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(5), 284.
- Wijayanto, A. W., Afira, N., & Nurkarim, W. (2022, June). *Machine learning approaches using satellite data for oil palm area detection in Pekanbaru City, Riau*. In 2022 IEEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence (CyberneticsCom) (pp. 84-89). IEEE.
- World Bank. (2012). *Inclusive Green Growth: The Pathway to Sustainable Development*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-9551-6>

- Yuan, C., & Yang, H. (2019). Research on K-Value Selection Method of K-Means Clustering Algorithm. *J*, 2(2), 226–235. <https://doi.org/10.3390/j2020016>
- Zhao, F., Song, L., Peng, Z., Yang, J., Luan, G., Chu, C., ... & Xie, Z. (2021). Night-time light remote sensing mapping: Construction and analysis of ethnic minority development index. *Remote Sensing*, 13(11), 2129.

## Lampiran

**Tabel 7: Link Penting**

Nama	Deskripsi	Link
Source Code Remote Sensing	Source code yang berisi kodingan untuk mengambil data remote sensing, yaitu intensitas malam hari, emisi, dan data Lansat	<a href="https://colab.research.google.com/drive/1NzqrUW_38AmY81Kg0XdNMwazTu-UlqrnX?usp=sharing">https://colab.research.google.com/drive/1NzqrUW_38AmY81Kg0XdNMwazTu-UlqrnX?usp=sharing</a>
Source Code Pengolahan	Source code yang berisi kodingan dalam mengolah data mentah sampai menjadi indeks green economy	<a href="https://colab.research.google.com/drive/1fwPOtsiXNqUOiMYun37Kty7LVmTZg_Vo?usp=sharing">https://colab.research.google.com/drive/1fwPOtsiXNqUOiMYun37Kty7LVmTZg_Vo?usp=sharing</a>
Drive	Berisi semua aset yang digunakan dalam penelitian ini	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1lvx-BqE4W8LEz5zRdrtnBy5-M2N2ucV_r?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1lvx-BqE4W8LEz5zRdrtnBy5-M2N2ucV_r?usp=sharing</a>
Data Lengkap	Berisi data lengkap, mulai dari nilai per indikator, skor per indikator, indeks per dimensi, indeks green economy dan hasil pengelompokan wilayah dari tahun 2018-2022	<a href="https://docs.google.com/spreadsheets/d/1-BF7QSGlrD6-Rn4tjic-Gxhno85cFi0ul/edit?usp=sharing&amp;oid=103156256879360631826&amp;rt-pof=true&amp;sd=true">https://docs.google.com/spreadsheets/d/1-BF7QSGlrD6-Rn4tjic-Gxhno85cFi0ul/edit?usp=sharing&amp;oid=103156256879360631826&amp;rt-pof=true&amp;sd=true</a>