

Proses Transformasi: Tinjauan Literatur pada Kawasan Industri Konvensional Menuju Kawasan Industri Berbasis *Eco-Smart*

Syafrijon

Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara
Jalan Letjen S. Parman No.1 Jakarta Barat 11440
Correspondence email: syafrijonsani@gmail.com

Abstrak. Kawasan industri memberikan kontribusi ekonomi, tapi kawasan konvensional dapat merusak lingkungan. Inovasi teknologi hijau, terutama yang berbasis bio dan energi terbarukan, menjadi solusi. Investasi dalam teknologi hijau mendukung lingkungan dan ekonomi. Dan revolusi industri ke-4 menekankan manufaktur berkelanjutan. Sehingga kawasan industri berbasis Eco-Smart dengan fokus keberlanjutan menjadi solusi transformasi. Mengetahui kerangka transformasi kawasan industri konvensional menuju kawasan industri berbasis eco-smart serta dampaknya terhadap kawasan industri tersebut. Penelitian ini menggunakan metode *literature review* yang melibatkan survei dari berbagai sumber seperti jurnal, buku, dokumentasi, internet, dan pustaka yang relevan dengan objek penelitian. PICOT framework digunakan untuk mencari jurnal *online* internasional dengan kata kunci “Transformation Process, Conventional Industrial Estates, Eco-Smart Industrial Estates. Hasil yang didapatkan yaitu transformasi kawasan industri menjadi eco-smart memerlukan kepemimpinan, partisipasi masyarakat, dan dukungan keuangan pemerintah. Kesuksesan inisiatif seperti Program Pengembangan Wilayah Perbatasan di desa Saboo, India, dan kebijakan progresif China mencerminkan komitmen terhadap urbanisasi berkelanjutan. Proses transformasi melibatkan pemilihan zona, analisis konteks, partisipasi masyarakat, dan optimalisasi Ekologi Industri (IE) dan Simbiosis Industri (IS). Dengan mengurangi emisi polutan, meningkatkan kualitas lingkungan, dan kontribusi pada konstruksi ruang hijau perkotaan, transformasi ini membawa dampak positif dalam inovasi ramah lingkungan, optimalisasi struktur industri, dan penguatan regulasi lingkungan, terutama di kota-kota timur dan utara yang memiliki sumber daya manusia dan keuangan melimpah Transformasi kawasan industri konvensional menuju kawasan industri berbasis eco-smart memiliki menghasilkan dampak positif dalam inovasi, peningkatan kualitas lingkungan, dan kontribusi pada ruang hijau perkotaan serta peningkatan finansial bagi wilayah tersebut.

Kata kunci: Proses Transformasi, Kawasan Industri Konvensional, Kawasan Industri Berbasis Eco-Smart

Abstract: *Industrial estates contribute to the economy, but conventional estates can damage the environment. Green technology innovation, especially bio-based and renewable energy, is the solution. Investments in green technology support both the environment and the economy. And the 4th industrial revolution emphasizes sustainable manufacturing. So Eco-Smart based industrial estates with a focus on sustainability are the transformation solution. To knowing the framework for the transformation of conventional industrial estates to eco-smart based industrial estates and its impact on the industrial estate. This study used a literature review method that involved surveying various sources such as journals, books, documentation, internet, and literature relevant to the object of research. PICOT framework was used to search for international online journals with the keywords “Transformation Process, Conventional Industrial Estates, Eco-Smart Industrial Estates. The findings reveal that transforming industrial areas into eco-smart ones requires leadership, community participation and government financial support. Successful initiatives such as the Border Area Development Program in Saboo village, India, and China's progressive policies reflect a commitment to sustainable urbanization. The transformation process involves zone selection, context analysis, community participation, and optimization of Industrial Ecology (IE) and Industrial Symbiosis (IS). By reducing pollutant emissions, improving environmental quality, and contributing to urban green space construction, this transformation brings positive impacts in green innovation, industrial structure optimization, and environmental regulation strengthening, especially in eastern and northern cities with abundant human and financial resources. The transformation of conventional industrial estates to eco-smart industrial estates has resulted in positive impacts in innovation, improved environmental quality, and contributions to urban green spaces as well as financial improvements for the region.*

Keywords: Transformation Process, Conventional Industrial Estates, Eco-Smart Industrial Estates

PENDAHULUAN

Kawasan industri memiliki peran penting dalam perekonomian suatu negara, karena dapat memberikan kontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi, penyerapan tenaga kerja, dan peningkatan ekspor (Winardi et al., 2019). Namun, kawasan industri juga dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti emisi gas rumah kaca, polusi udara, dan polusi air. Dampak negatif ini dapat mengancam kelestarian lingkungan dan kesehatan masyarakat (Sibirian, 2020). Hal ini terjadi

khususnya pada kawasan industri konvensional, karena kawasan ini dibangun dengan menggunakan teknologi dan infrastruktur konvensional. Maka, diperlukan upaya untuk mengurangi dampak negatif kawasan industri ini terhadap lingkungan.

Para ilmuwan pun terus berupaya menciptakan masa depan berkelanjutan dan menjaga lingkungan. Inovasi terbaru dalam teknologi hijau menjadi pionir dalam menemukan cara pembuangan limbah alternatif dan berkelanjutan. Mereka semakin fokus pada bahan cangguh berbasis bio untuk menghasilkan produk terjangkau, aman, dan ramah lingkungan. Teknologi hijau mencakup berbagai disiplin ilmu, seperti energi, ilmu atmosfer, pertanian, ilmu material, dan hidrologi (Fu et al., 2021). Pendekatan ini membuka jalan bagi penelitian ilmiah holistik, mengarah pada solusi yang lebih komprehensif. Fokus utama teknologi hijau adalah memerangi perubahan iklim dengan mengurangi emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO₂). Teknologi surya menjadi salah satu pilar utama, dengan biaya pemasangannya lebih terjangkau dibandingkan bahan bakar fosil di banyak negara. Investasi dalam teknologi hijau bukan hanya kontribusi terhadap inovasi, tetapi juga langkah strategis mendukung lingkungan berkelanjutan. Para investor dapat memanfaatkan peluang ini dengan berinvestasi pada saham, reksa dana, dan obligasi yang mendukung teknologi ramah lingkungan, seiring meningkatnya kesadaran akan tanggung jawab sosial dan lingkungan (Hou & Wang, 2021). Teknologi hijau bukan hanya visi masa depan, tetapi juga sebuah kenyataan yang membentuk perubahan positif menuju lingkungan yang lebih baik.

Dunia telah menyaksikan tiga gelombang revolusi industri yang memberikan dampak signifikan pada perkembangan manusia. Revolusi industri pertama menghadirkan proses mekanis menggunakan air dan uap untuk produksi massal tekstil dan logam. Kemudian, revolusi industri kedua mengenalkan konsep industri modern dengan pemanfaatan listrik, minyak, dan gas, yang membawa kemajuan pada industri baja dan sintetis, serta sistem komunikasi dan transportasi baru. Revolusi industri ketiga membawa inovasi melalui pemanfaatan energi nuklir dan otomasi (Dogaru, 2020). Meskipun membawa kemajuan teknologi, revolusi ini juga menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kehidupan manusia. Oleh karena itu, pendekatan manufaktur yang berkelanjutan, ramah lingkungan, dan menggunakan sumber daya terbarukan menjadi fokus pada era Revolusi Industri 4.0 (Carvalho et al., 2018; Dogaru, 2020). Pentingnya transisi menuju ekonomi hijau pasca-COVID-19 juga semakin ditekankan. Pemerintah telah mengambil langkah-langkah untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, mempertimbangkan eksternalitas karbon, dan mempromosikan sumber daya energi terbarukan seperti energi surya dan angin (McNeely, 2021). Selain itu, nanoteknologi telah menjadi kontributor signifikan dalam mengatasi tantangan di berbagai sektor, seperti pertanian, kesehatan, dan pangan. Partikel nano dapat membantu mengembangkan biopestisida untuk meningkatkan produksi tanaman dan meningkatkan metode pertanian organik dan ramah lingkungan (Bahrulolum et al., 2021). Bahan nano, yang berbasis bio seperti pati nanokristalin, lignin, dan selulosa, dapat membantu meningkatkan ketersediaan hayati obat-obatan dan suplemen nutrisi lainnya (Kou et al., 2021).

Berdasarkan hal tersebut, kawasan industri berbasis Eco-Smart merupakan sebuah solusi progresif dalam mengatasi dampak negatif yang seringkali dihasilkan oleh kawasan industri konvensional. Transformasi dari kawasan industri konvensional ke kawasan industri berbasis eco-smart dapat melibatkan perubahan desain dan strategi perencanaan untuk memastikan kesesuaian dengan prinsip-prinsip keberlanjutan dan efisiensi ekologis. Transformasi ini termasuk pembangunan jalan yang ramah lingkungan, penggunaan material bangunan yang berkelanjutan, sistem pengelolaan air limbah yang efisien, dan implementasi teknologi hijau untuk mengurangi dampak lingkungan. Selain itu, dapat juga dengan menggunakan teknologi penghemat energi, instalasi sistem energi terbarukan, dan desain sistem pengelolaan air yang meminimalkan limbah dan mempromosikan daur ulang.

Tinjauan literatur ini menandai langkah awal yang esensial untuk memahami secara menyeluruh proses transformasi dari kawasan industri konvensional ke kawasan industri yang berfokus pada keberlanjutan. Dalam konsep Eco-Smart, tidak hanya efisiensi operasional dan profitabilitas yang menjadi prioritas, tetapi juga perhatian aktif terhadap dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi. Maka, tinjauan literatur ini, diharapkan dapat tergambar dengan jelas arah dan langkah-langkah yang dapat diambil dalam mengarahkan kawasan industri konvensional menuju transformasi menjadi kawasan industri berbasis Eco-Smart. Dengan pemahaman mendalam terhadap berbagai

aspek yang terlibat, langkah-langkah implementasi dapat dirancang dengan lebih efektif, memberikan dampak positif yang signifikan bagi lingkungan dan keberlanjutan secara keseluruhan.

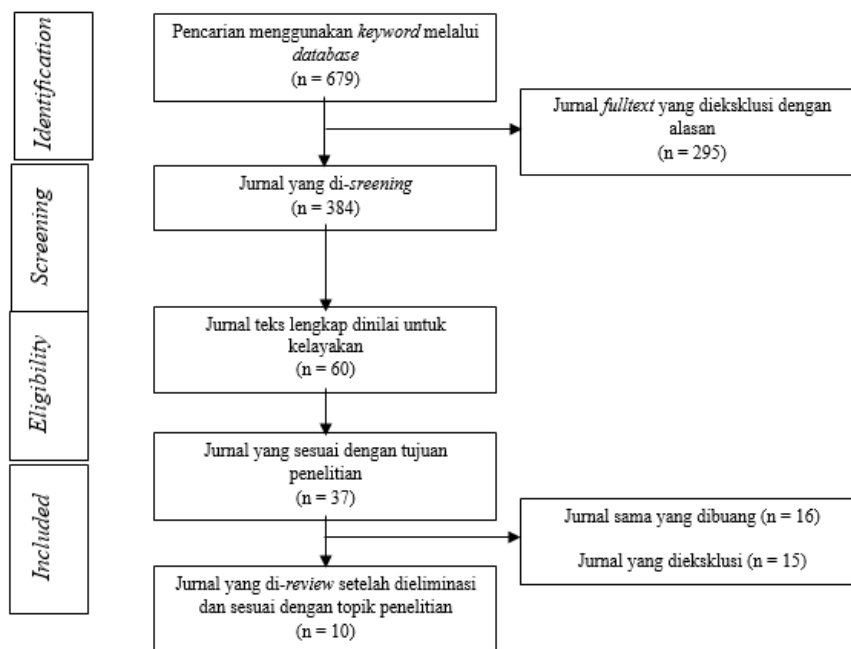
METODE

Penelitian ini merupakan penelitian dengan metode *literature review*, dimana peneliti melakukan survei dari berbagai sumber baik jurnal, buku, dokumentasi, internet dan pustaka. *Literature review* merupakan bahan-bahan bacaan yang secara khusus berkaitan dengan objek penelitian yang sedang dikaji (Prastowo, 2016). Data yang digunakan untuk mencari jurnal menggunakan PICOT *framework* dan diterbitkan dalam jurnal *online* internasional. PICOT *framework* adalah P=*population/problem* yaitu populasi atau masalah yang akan dianalisis sesuai dengan tema yang telah ditentukan, I=*intervention/indikator* yaitu tindakan atau indikator dari masalah sesuai dengan tema yang diangkat, C=*comparation* yaitu intervensi yang digunakan sebagai pembanding, O=*outcome* yaitu hasil atau luaran yang diperoleh pada studi yang terpilih, T=*time* yaitu waktu yang digunakan selama penelitian. Penulis menelusuri jurnal menggunakan Google Scholar, MDPI, Science Direct dan Pubmed dengan kata kunci: *Transformation Process, Conventional Industrial Estates, Eco-Smart Industrial Estates*.

Tabel 1. Format PICOT Framework Literature Review

Kriteria	Inklusi	Eksklusi
<i>Population</i>	Kawasan industri konvensional yang menghadapi dampak negatif terhadap lingkungan.	<ul style="list-style-type: none"> - Kawasan industri non-konvensional atau yang tidak mengalami dampak negatif signifikan terhadap lingkungan. - Kawasan industri yang tidak sedang menjalani atau berencana untuk menjalani proses transformasi menjadi berbasis Eco-Smart.
<i>Intervension</i>	Proses transformasi menuju kawasan industri berbasis Eco-Smart, dengan fokus pada keberlanjutan melalui inovasi teknologi hijau dan praktik berkelanjutan.	<ul style="list-style-type: none"> - Proses transformasi yang tidak fokus pada keberlanjutan atau tidak melibatkan inovasi teknologi hijau. - Upaya transformasi yang hanya bersifat kosmetik tanpa perubahan substansial menuju kawasan industri berbasis Eco-Smart.
<i>Comparison</i>	Perbandingan antara kawasan industri konvensional dan kawasan industri berbasis Eco-Smart dalam hal dampak ekonomi, sosial, dan lingkungan.	<ul style="list-style-type: none"> - Studi yang tidak membandingkan dampak kawasan industri konvensional dengan kawasan industri berbasis Eco-Smart. - Perbandingan yang tidak mencakup aspek ekonomi, sosial, atau lingkungan secara komprehensif.
<i>Outcomes</i>	Evaluasi dampak positif dari transformasi, termasuk efisiensi operasional, keuntungan ekonomi, dan perbaikan pada aspek lingkungan dan sosial.	<ul style="list-style-type: none"> - Studi yang tidak menyajikan hasil terkait efisiensi operasional, keuntungan ekonomi, atau perbaikan lingkungan dan sosial. - Evaluasi yang tidak memberikan informasi yang cukup untuk mengevaluasi dampak positif dari transformasi.
<i>Time</i>	Rentang waktu penerbitan jurnal 2019-2023	Di bawah 2019
<i>Languange</i>	Bahasa Inggris	Selain Bahasa Inggris

Berdasarkan penelusuran jurnal di Google Scholar, MDPI, Science Direct dan Pubmed dengan kata kunci: *Transformation Process, Conventional Industrial Estates, Eco-Smart Industrial Estates* didapatkan 679 jurnal yang sesuai dengan kata kunci, kemudian dilakukan *screening*. Dari hasil *screening* jurnal yang dipublikasi dalam 5 tahun terakhir, ditemukan sebanyak 60 jurnal teks lengkap dinilai untuk kelayakan. Setelah dilakukan kelayakan, ditemukan 37 jurnal yang sesuai dengan tujuan penelitian yang mana 16 jurnal dibuang karena sama dan 15 jurnal dieksklusi karena tidak dipublikasikan dan tidak full text, sehingga didapatkan 10 jurnal *full text* yang di-*review*.



Gambar 1. Diagram PRISMA Literature Review

Tabel 2. Hasil Penelusuran Literature Review

No	Nama & Tahun	Nama Jurnal	Judul Penelitian	Ringkasan Hasil Penelitian	Database
1.	Cao et al. (2022)	<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	<i>Does China's National Demonstration Eco-Industrial Park Reduce Carbon Dioxide and Sulfur Dioxide—A Study Based on the Upgrading and Transformation Process</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa baik Zona Pengembangan Provinsi (DZ) maupun Zona Pengembangan Nasional (national DZs) tidak dapat secara signifikan mengurangi emisi sulfur dioksida dan karbon dioksida. Hanya ketika Zona Pengembangan Nasional diubah menjadi Kawasan Industri Ekonomi (EIP)-lah emisi dapat berkurang secara signifikan. Namun, transformasi yang berbeda dari Zona Pengembangan Tinggi (HTZs) dan Zona Pengembangan Ekonomi (ETZs) menjadi EIP memiliki efek yang berbeda pada emisi. Selain itu, EIP memiliki dampak berantai teknologi dan efek demonstrasi pada area sekitarnya. Oleh karena itu, EIP dapat mengurangi emisi di area sekitarnya.	MDPI
2.	Khaled & Shalaby (2021)	<i>Journal of Urban Research</i>	<i>Intellectual Framework for Transforming Conventional Industrial Zones into Eco-Industrial Parks</i>	Transformasi zona industri konvensional menjadi taman industri ekologi (EIP) di Mesir memiliki peluang kesuksesan karena adanya pangsa pasar yang dapat dimanfaatkan. Kerangka konseptual yang diusulkan dalam penelitian ini mencakup aspek-aspek kunci, mulai dari pemilihan zona industri yang sesuai hingga analisis, perencanaan, peningkatan kesadaran, partisipasi masyarakat, manajemen, dan organisasi. Sebagai contoh, pemilihan zona industri konvensional yang memiliki basis industri yang beragam, badan pengelola yang terdefinisi dengan baik, dan lokasi yang mudah diakses menjadi krusial. Proses analisis perkotaan, industri, dan lingkungan diharapkan dapat memberikan wawasan terhadap isu-isu dan potensi setiap zona industri. Implementasi perencanaan ekologi, seperti pembentukan jaringan simbiotik dan pengelompokan industri, akan dilakukan bersamaan dengan peningkatan kesadaran dan partisipasi masyarakat, serta persiapan struktur organisasi untuk mendukung dan memimpin pengembangan dan manajemen lingkungan.	Google Scholar
3.	He & Li (2023)	<i>Sustainability</i>	<i>A Study on the Influence of Green Industrial Policy on Urban Green Development: Based on the Empirical Data of Ecological Industrial Park Pilot Construction</i>	Penelitian menunjukkan bahwa pembuatan taman industri ekologi dapat secara signifikan mempromosikan pengembangan berkelanjutan di daerah perkotaan, dengan efek promosi kebijakan sekitar 0,0279. Analisis mekanisme menunjukkan bahwa implementasi kebijakan industri hijau dapat meningkatkan tingkat pengembangan berkelanjutan di kota-kota. Ini dapat dicapai dengan mempromosikan inovasi ramah lingkungan,	MDPI

No	Nama & Tahun	Nama Jurnal	Judul Penelitian	Ringkasan Hasil Penelitian	Database
				memfasilitasi optimalisasi struktur industri, dan memperkuat regulasi lingkungan. Analisis heterogenitas mengungkapkan bahwa dampak taman industri ekologi pada promosi pengembangan hijau lebih signifikan di kota-kota yang terletak di wilayah timur dan utara, serta yang memiliki sumber daya manusia dan keuangan yang berlimpah. Sebaliknya, kota-kota yang terletak di wilayah tengah dan barat, serta yang memiliki tingkat sumber daya keuangan dan manusia yang rendah, cenderung mengalami manfaat terbatas dari kebijakan tersebut.	
4.	Komninos (2022)	<i>Sustainability</i>	<i>Transformation of Industry Ecosystems in Cities and Regions: A Generic Pathway for Smart and Green Transition</i>	Penelitian ini membahas jalur generik untuk mengelola transformasi ekosistem aktivitas di kota dan wilayah melalui proses "prioritisasi", "identifikasi ekosistem", dan "transisi digital dan hijau berbasis platform". Ketiga proses tersebut bekerja bersamaan untuk mendorong perubahan sistem ekosistem, dengan fokus pada industri penting, penggunaan perspektif ekosistem, dan penguatan transisi digital dan hijau. Evaluasi jalur ini di Yunani dan Siprus menunjukkan kelayakan dan fungsionalitasnya, memungkinkan otoritas publik menilai potensi transisi pintar dan hijau tanpa mengecualikan kelompok industri penting. Pendekatan ini didukung oleh prinsip smart specialisation dan probabilitas menemukan solusi inovatif dalam aktivitas yang kurang diharapkan.	MDPI
5.	Zhang et al. (2020)	<i>Journal of Cleaner Production</i>	<i>Eco-industrial parks' structural characteristics and mechanisms: A case of Xinzhuang and comparison studies</i>	Temuannya adalah sebagai berikut: (1) EIP tipe terencana menunjukkan sub-struktur yang lebih beragam daripada EIP spontan (lebih khusus lagi, EIP tipe terencana biasanya melibatkan fenomena pengelompokan yang lebih jelas dan komunikasi yang lebih dekat); (2) meskipun dalam EIP terencana, semua jenis sentralitas masuk akal untuk menentukan perusahaan-perusahaan utama, dalam EIP spontan, kedekatan dan antar sentralitas membuktikan ukuran yang lebih baik daripada sentralitas vektor eigen; (3) karakteristik dunia-kecil dan bebas-skala penting untuk meningkatkan transmisi aliran dalam EIP terencana dan EIP spontan (secara khusus, EIP terencana menunjukkan efek dunia-kecil/bebas-skala yang lebih signifikan dibandingkan EIP spontan, dan karakteristik bebas-skala dengan koefisien distribusi derajat 0. 5-2.0 membuat EIP kurang kebal); dan (4) EIP Xinzhuang rentan dalam konfigurasi jaringan di bawah serangan. Penting untuk menjaga kestabilan dan pengembangan perusahaan-perusahaan utama dalam EIP. Membandingkan skenario informasi dan lingkungan untuk EIP Xinzhuang mengungkapkan bahwa kinerja atau efisiensi taman nasional cenderung lebih baik dalam skenario informasi.	Science Direct
6.	Ghosh (2021)	<i>International Journal of Social Sciences</i>	<i>Model Village Development in Indian Himalayan Region: An Overview of Initiatives and Activities</i>	Penelitian ini mengeksplorasi konsep desa model eco-smart yang diinisiasi oleh para pemimpin perubahan sosial kita dan bagaimana hingga saat ini konsep ini dipraktikkan dan disebarluaskan karena berperan sebagai tonggak kesejahteraan bagi negara dan untuk mentransformasi pembangunan pedesaan di India. Desa model eco-smart yang paling sukses dijelaskan bersama dengan atribut-atribut keberhasilannya. Contoh-contoh desa model eco-smart terkenal menunjukkan bahwa pemimpin perubahan lokal, partisipasi masyarakat, dan dukungan keuangan dalam bentuk skema pemerintah dapat merevitalisasi pembangunan pedesaan. Dengan demikian, desa model eco-smart memiliki potensi untuk membawa transformasi dalam pembangunan pedesaan di India, khususnya di wilayah Himalaya India.	Google Scholar
7.	Wang et al. (2019)	<i>Technological Forecasting & Social Change</i>	<i>Smart solutions shape for sustainable low-carbon future: A review on smart cities and industrial parks in China</i>	Penelitian ini melakukan tinjauan terpadu dan mendalam terhadap proyek-proyek pilot China tentang kota pintar dan taman industri. Transisi kebijakan, isi proyek, inovasi teknis kunci, serta fitur spasial ditinjau dan didiskusikan secara mendalam. Kesimpulannya, dalam kemajuan cepat promosi pilot nasional, para pengambil keputusan dapat lebih baik memanfaatkan teknologi pintar dan praktik lokal untuk mendukung perencanaan lokal.	Science Direct

No	Nama & Tahun	Nama Jurnal	Judul Penelitian	Ringkasan Hasil Penelitian	Database
8.	Zhang et al. (2022)	<i>Sustainability</i>	<i>Evaluation of a Chongqing Industrial Zone Transformation Based on Sustainable Development</i>	Melalui hasil evaluasi, dapat dilihat bahwa keberlanjutan semua aspek zona industri telah meningkat secara efektif, yaitu 16% hingga 40% lebih tinggi daripada sebelum transformasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam proses transformasi hijau zona industri, menggunakan metode lintas disiplin untuk memilih indikator dan mengevaluasi secara dinamis pembangunan berkelanjutan zona industri dapat secara sistematis dan menyeluruh mempertimbangkan elemen-elemen zona industri dan mempromosikan peran berbagai bidang dalam transformasi zona industri.	MDPI
9.	Wang & Wang (2022)	<i>Frontiers in Environmental Science</i>	<i>Study on the effect of industrial structure transformation on regional ecological efficiency in ecological economic zone under carbon peaking and carbon neutrality strategy</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur industri zona ekonomi ekologis akan memiliki dampak positif yang signifikan pada efisiensi ekologis. Pada saat yang sama, di bawah pengaruh kerjasama antar kota, efisiensi ekologis memiliki efek penyebaran spasial yang signifikan. Pada saat yang sama, faktor lag spasial dan faktor kesalahan spasial dari aglomerasi perkotaan di Delta Sungai Yangtze signifikan pada tingkat 10% dan 5%, dan faktor lag spasial dan faktor kesalahan spasial dari aglomerasi perkotaan di bagian tengah dan panjang signifikan pada tingkat 5%. Dapat dilihat bahwa ketergantungan dan keterkaitan spasial dari efek ekologis kuat, dan terdapat interaksi yang relatif signifikan.	Google Scholar
10.	Yang & Ma (2022)	<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	<i>Empirical Study on the Influence of Urban Environmental Industrial Structure Optimization on Ecological Landscape Greening Construction</i>	Analisis empiris menunjukkan bahwa penyesuaian struktur industri lingkungan memiliki dampak positif signifikan pada skala ruang ekologi perkotaan selama periode 2008–2018. Dalam indikator-indikator tersebut, dengan struktur industri lingkungan kelas tinggi, area hijau ekologi perkotaan juga meningkat. Dengan peningkatan tingkat deviasi yang wajar dari struktur industri lingkungan, area hijau ekologi kota juga mengalami penurunan. Selain itu, populasi perkotaan, nilai output per kapita, dan investasi hijau perkotaan berkorelasi positif dengan skala ruang ekologi hijau perkotaan. Melalui analisis heterogenitas regional, ditemukan bahwa pengaruh perubahan struktur industri terhadap area ruang hijau perkotaan menunjukkan heterogenitas. Karakteristik utamanya adalah: di wilayah timur, dengan peningkatan terus menerus tingkat perkembangan ekonomi, ruang hijau perkotaan akan meningkat secara signifikan; di wilayah barat yang kurang berkembang, efeknya tidak begitu signifikan.	MDPI

HASIL

Literature review ini sudah melakukan telaah 10 *original article* tentang proses transformasi kawasan industri konvensional menuju kawasan industri berbasis eco-smart. Kawasan industri berbasis eco-smart adalah kawasan industri yang dikembangkan dengan menerapkan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan, baik dari aspek lingkungan, sosial, maupun ekonomi. Kawasan industri ini menggunakan teknologi modern dan inovatif untuk mengurangi dampak negatif industri terhadap lingkungan, meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Transformasi kawasan industri konvensional ke kawasan industri eco-smart memerlukan dukungan pemimpin perubahan, partisipasi masyarakat, dan bantuan keuangan pemerintah (Ghosh, 2021). Inisiatif pemerintah, seperti Program Pengembangan Wilayah Perbatasan (BADP) dan Distrik Aspirasional Niti Aayog di India, mendorong perubahan di desa-desa terpinggirkan. Contoh suksesnya adalah desa Saboo di Leh, yang pulih dari bencana banjir dan tanah longsor pada 2010. Desa ini kini dikenal atas produksi sayuran, jus tomat, dan jus apel, meraih penghargaan “Nirmal Gram Puraskar” di bawah program “Nirmal Bharat Abhiyan.” Kesuksesan desa Saboo adalah bukti bahwa transformasi eco-smart dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat lokal.

China juga telah menerapkan kebijakan dan inisiatif progresif untuk mendorong urbanisasi dan pengembangan industri berkelanjutan, seperti “*Strategic Emerging Industries Development*” (2010, 2012) dan “*Circular Economy*” (2005, 2007). Fokus utama adalah mendukung pengembangan industri berkelanjutan, khususnya melalui teknologi baru seperti infrastruktur Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK). Upaya ini mencerminkan komitmen kuat pemerintah China terhadap

urbanisasi berkelanjutan dan pengembangan industri yang ramah lingkungan. Kerangka teknis untuk taman industri pintar menekankan sistem terintegrasi, pengambilan keputusan pintar, dan manajemen energi. Inisiatif ini mencirikan peran China dalam menghadapi tantangan urbanisasi dan industrialisasi dengan pendekatan yang efisien dan berkelanjutan (Wang et al., 2019).

Khaled & Shalaby (2021) juga membahas transformasi zona industri ke Taman Industri Ekologi (EIP) untuk meminimalkan dampak lingkungan. Keduanya menyoroti variasi pendekatan berdasarkan karakteristik zona. Framework intelektual mencakup pemilihan zona, analisis konteks, perencanaan EIP, partisipasi masyarakat, dan struktur organisasional. Artikel menekankan peran kunci partisipasi masyarakat dan kesadaran lingkungan. Penggunaan Ekologi Industri (IE) dan Simbiosis Industri (IS) untuk optimalisasi sumber daya juga diangkat. Studi kasus di Tianjin, China, memberikan wawasan berharga bagi negara-negara yang mengadopsi konsep serupa.

Zhang et al. (2022) mengeksplorasi konstruksi sistem evaluasi untuk zona industri yang sudah ada dengan pendekatan pembangunan berkelanjutan. Evaluasi mencakup enam dimensi kunci: lahan, bangunan, industri, ekologi, lanskap, dan budaya, menggunakan model PSR dan DPSIR. Pendekatan ini mengintegrasikan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan dalam transformasi zona industri, termasuk optimalisasi sistem ekologi, perencanaan dan desain perkotaan yang ramah lingkungan, desain lanskap yang mempertimbangkan aspek budaya dan material, serta transformasi hijau dengan fokus pada restorasi lingkungan dan pemanfaatan sumber daya secara berkelanjutan.

Studi Komninos (2022) menguraikan strategi umum untuk mengelola transformasi ekosistem industri di kota dan wilayah menuju transisi yang cerdas dan berkelanjutan. Pendekatan ini melibatkan proses prioritas, identifikasi ekosistem, dan transisi berbasis platform. Proses prioritas memfokuskan transformasi pada kelompok industri kunci, mengurangi kompleksitas dengan memilih sejumlah industri yang memiliki dampak besar. Identifikasi ekosistem menekankan perubahan pada tingkat kelompok industri daripada perusahaan individu, memastikan dampak maksimal dan sifat publik kebijakan inovasi. Sementara itu, transisi berbasis platform memperkuat perspektif ekosistem dengan teknologi dan solusi yang dapat digunakan secara bersama-sama oleh berbagai organisasi untuk membangun produk dan layanan yang saling melengkapi. Pendekatan ini memberikan landasan konseptual yang kokoh untuk mendorong transformasi ekosistem industri menuju model yang lebih cerdas dan berkelanjutan.

Sedangkan studi Zhang et al. (2020) mendalami karakteristik struktural dari Taman Industri Ramah Lingkungan (EIP). Konsep dasar EIP ini bersumber dari ekologi industri, yang menuntut agar kegiatan industri manusia meniru ekosistem alami dan terintegrasi harmonis ke dalam sirkulasi material dan aliran energi alami. EIP juga bertujuan untuk menangani tantangan lingkungan, kekurangan sumber daya, dan mendukung pengembangan ekonomi yang efisien, menjadikannya model kunci untuk pertumbuhan ekonomi berkelanjutan. Mekanisme EIP melibatkan strategi pengoptimalan, kerja sama antara perusahaan perlindungan lingkungan dan lainnya, serta konfigurasi yang disesuaikan untuk mengurangi dampak besar dan mempertahankan keseimbangan dalam tautan preferensial. Pengembangan EIP dapat mengikuti persyaratan lingkungan dengan memperkuat kerja sama antarperusahaan, memenuhi regulasi lingkungan negara. Sementara itu, EIP harus mempertahankan operasi normal perusahaan kunci dan mendorong partisipasi perusahaan dengan dampak rendah pada perusahaan-perusahaan berpengaruh tinggi. Sebagai persiapan masa depan, EIP perlu mempertimbangkan dua skenario utama: persyaratan lingkungan dan gelombang informasi.

Selain itu, proses transformasi kawasan industri konvensional menuju kawasan industri berbasis eco-smart memiliki pengaruh yang signifikan dalam mengurangi emisi polutan dan meningkatkan kualitas lingkungan, termasuk kualitas lingkungan di sekitarnya (Cao et al., 2022). Transformasi ini juga memiliki berdampak positif pada konstruksi ruang hijau ekologis perkotaan (Yang & Ma, 2022). Hal yang sama juga disebutkan oleh Wang & Wang (2022) bahwa transformasi ini memiliki dampak positif signifikan terhadap efisiensi ekologis. Sedangkan He & Li (2023) menemukan bahwa transformasi ini dapat meningkatkan tingkat pembangunan berkelanjutan melalui inovasi ramah lingkungan, optimasi struktur industri, dan penguatan regulasi lingkungan. Dampaknya lebih besar di kota-kota timur dan utara dengan sumber daya manusia dan keuangan melimpah, sementara kota-kota tengah dan barat, dengan tingkat sumber daya yang lebih rendah, mengalami manfaat yang terbatas.

Berdasarkan literatur-literatur di atas, maka pengembangan kawasan industri eco-smart memerlukan upaya yang terpadu dari berbagai sektor, seperti teknik sipil, teknologi, pemerintah, dan

masyarakat. Perencanaan yang terintegrasi harus mempertimbangkan infrastruktur hijau, manajemen air, dan teknologi ramah lingkungan untuk menciptakan lingkungan industri yang berkelanjutan. Proses desain harus mengutamakan inovasi, dengan memperhatikan penggunaan bahan ramah lingkungan dan efisiensi energi. Konstruksi infrastruktur harus didasarkan pada prinsip-prinsip berkelanjutan, memanfaatkan teknologi modern untuk mengurangi jejak karbon dan memaksimalkan efisiensi sumber daya. Infrastruktur hijau, seperti taman kota dan sistem penangkapan air hujan, juga harus dimasukkan dalam pengembangan kawasan industri untuk meningkatkan kualitas lingkungan. Manajemen air yang efisien dan berkelanjutan serta penerapan teknologi inovatif, seperti Internet of Things (IoT) dan energi terbarukan, juga merupakan komponen penting dalam transformasi ini. Kolaborasi lintas sektor antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat harus ditingkatkan untuk memastikan kesuksesan transformasi ini, sementara komitmen pemerintah dan partisipasi masyarakat sangat diperlukan untuk mencapai pembangunan berkelanjutan yang berdampak positif bagi semua pihak.

SIMPULAN

Transformasi kawasan industri ke eco-smart memerlukan pemimpin perubahan, partisipasi masyarakat, dan dukungan keuangan pemerintah. Kesuksesan transformasi ini tampak pada inisiatif India seperti Program Pengembangan Wilayah Perbatasan di desa Saboo yang kini fokus pada produksi sayuran dan jus. Kebijakan progresif China, seperti “Strategic Emerging Industries Development” dan “Circular Economy,” mencerminkan komitmen terhadap urbanisasi berkelanjutan. Transformasi ini melibatkan pemilihan zona, analisis konteks, partisipasi masyarakat, dan optimalisasi Ekologi Industri (IE) dan Simbiosis Industri (IS). Pendekatan serupa diterapkan dalam strategi umum transformasi ekosistem industri eco-smart dengan prioritas, identifikasi ekosistem, dan transisi berbasis platform. Evaluasi progres mencakup enam dimensi kunci: lahan, bangunan, industri, ekologi, lanskap, dan budaya, menggunakan model PSR dan DPSIR.

Transformasi industri konvensional ke industri berbasis eco-smart mengurangi emisi polutan, meningkatkan kualitas lingkungan, dan berkontribusi pada konstruksi ruang hijau perkotaan. Dampak positif juga terlihat dalam pembangunan berkelanjutan melalui inovasi ramah lingkungan, optimalisasi struktur industri, dan penguatan regulasi lingkungan. Manfaatnya lebih besar di kota-kota timur dan utara yang memiliki sumber daya manusia dan keuangan melimpah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahrulolom, H., Nooraei, S., Javanshir, N., Tarrahimofrad, H., Mirbagheri, V. S., Easton, A. J., & Ahmadian, G. (2021). Green synthesis of metal nanoparticles using microorganisms and their application in the agrifood sector. *Journal of Nanobiotechnology*, 19(1), 86. <https://doi.org/10.1186/s12951-021-00834-3>
- Cao, K., Jin, L., Zhu, Y., Nie, Z., & Li, H. (2022). Does China’s National Demonstration Eco-Industrial Park Reduce Carbon Dioxide and Sulfur Dioxide—A Study Based on the Upgrading and Transformation Process. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12957. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912957>
- Carvalho, N., Chaim, O., Cazarini, E., & Gerolamo, M. (2018). Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 21, 671–678. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.170>
- Dogaru, L. (2020). The Main Goals of the Fourth Industrial Revolution. *Renewable Energy Perspectives. Procedia Manufacturing*, 46, 397–401. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.058>
- Fu, B., Liu, Y., Li, Y., Wang, C., Li, C., Jiang, W., Hua, T., & Zhao, W. (2021). The research priorities of Resources and Environmental Sciences. *Geography and Sustainability*, 2(2), 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.04.001>
- Ghosh, P. (2021). Model Village Development in Indian Himalayan Region: An Overview of Initiatives and Activities. *International Journal of Social Sciences*, 10(4). <https://doi.org/10.46852/2249-6637.04.2021.4>
- He, X., & Li, B. (2023). A Study on the Influence of Green Industrial Policy on Urban Green Development: Based on the Empirical Data of Ecological Industrial Park Pilot Construction. *Sustainability*, 15(13), 10065. <https://doi.org/10.3390/su151310065>

- Hou, Y., & Wang, Q. (2021). A bibliometric study about energy, environment, and climate change. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(26), 34187–34199. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14059-2>
- Khaled, O., & Shalaby, M. E. (2021). Intellectual Framework for Transforming Conventional Industrial Zones into Eco- Industrial Parks. *Journal of Urban Research*, 42(1), 97–115. <https://doi.org/10.21608/jur.2021.73266.1061>
- Komninos, N. (2022). Transformation of Industry Ecosystems in Cities and Regions: A Generic Pathway for Smart and Green Transition. *Sustainability*, 14(15), 9694. <https://doi.org/10.3390/su14159694>
- Kou, X., Zhao, Q., Xu, W., Xiao, Z., Niu, Y., & Wang, K. (2021). Biodegradable Materials as Nanocarriers for Drugs and Nutrients. *Journal of Renewable Materials*, 9(7), 1189–1211. <https://doi.org/10.32604/jrm.2021.015268>
- McNeely, J. A. (2021). Nature and COVID-19: The pandemic, the environment, and the way ahead. *Ambio*, 50(4), 767–781. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01447-0>
- Prastowo, A. (2016). *Metode penelitian kualitatif dalam perspektif rancangan penelitian*. Ar-Ruzz Media.
- Siburian, S. (2020). *Pencemaran Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca*. Kreasi Cendekia Pustaka (KCP).
- Wang, Y., Ren, H., Dong, L., Park, H.-S., Zhang, Y., & Xu, Y. (2019). Smart solutions shape for sustainable low-carbon future: A review on smart cities and industrial parks in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 103–117. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.04.014>
- Wang, Y., & Wang, L. (2022). Study on the effect of industrial structure transformation on regional ecological efficiency in ecological economic zone under carbon peaking and carbon neutrality strategy. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1078406>
- Winardi, W., Priyarsono, D. S., Siregar, H., & Kustanto, H. (2019). Peranan Kawasan Industri dalam Mengatasi Gejala Deindustrialisasi. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 19(1), 84–95. <https://doi.org/10.21002/jepi.2019.05>
- Yang, L., & Ma, N. (2022). Empirical Study on the Influence of Urban Environmental Industrial Structure Optimization on Ecological Landscape Greening Construction. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24), 16842. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416842>
- Zhang, X., Cao, Y., Tang, M., Yu, E., Zhang, Y., & Wu, G. (2022). Evaluation of a Chongqing Industrial Zone Transformation Based on Sustainable Development. *Sustainability*, 14(9), 5122. <https://doi.org/10.3390/su14095122>
- Zhang, Z., Li, W., Wu, J., & Chai, L. (2020). Eco-industrial parks' structural characteristics and mechanisms: A case of Xinzhuan and comparison studies. *Journal of Cleaner Production*, 268, 121764. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121764>