

**APAKAH DIGITAL NATURAL CAPITAL MAMPU MENGURANGI
KETERGANTUNGAN TERHADAP EKSPLOITASI SUMBER DAYA ALAM?
ANALISIS KONSEPTUAL PADA ERA INDUSTRI 5.0**

Tamam Rosid¹, Suryadi²

¹Program Studi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas
Muhammadiyah Berau, Kalimantan Timur, Indonesia

²Program Studi Akuntansi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Muhammadiyah Berau,
Kalimantan Timur, Indonesia

Corresponding author: tamamrosid77@gmail.com

Abstract

This article develops a new concept—Digital Natural Capital (DNC)—as a conceptual framework to address whether the digitalization of the economy can reduce reliance on the exploitation of physical natural resources during the transformation toward Industry 5.0. Previous studies have linked the digital economy to resource-use efficiency and green transformation but generally treat digitalization merely as an efficiency tool rather than a form of capital standing alongside natural, human, and physical capital. This research gap forms the basis for the article's novelty. Employing a qualitative approach—specifically a systematic literature review and interpretive conceptual analysis—this study synthesizes Natural Capital Theory (Costanza & Daly, 1992), the Resource-Based View (Barney, 1991), and Resource Curse Theory (Sachs & Warner, 2001; Auty, 1993) with recent literature on Industry 5.0 and the digital economy (2023–2026). It constructs a DNC framework comprising three layers: cognitive-data, circularity, and governance. Secondary data from the World Bank and UNCTAD are used to illustrate the factual state of natural resource dependency and the environmental footprint of digitalization. The analysis indicates that DNC has the potential to curb reliance on physical resource exploitation through extraction efficiency, material substitution, asset lifecycle extension, and data-driven governance; however, its effectiveness is strongly moderated by institutional quality and carries the risk of a "rebound effect" stemming from the carbon footprint and energy consumption of digital infrastructure itself. The article offers theoretical implications by expanding the capital taxonomy in resource economics, as well as policy implications for resource-rich developing nations—including Indonesia—regarding the design of an Industry 5.0 transition that goes beyond merely digitizing extraction to transforming the capital base of development.

Keywords: *digital natural capital; natural resource dependence; Industry 5.0; resource economics; conceptual framework*

1. PENDAHULUAN

Transformasi Industri 5.0 menempatkan manusia kembali sebagai pusat proses produksi sambil menuntut ketahanan (resilience) dan keberlanjutan (sustainability) sebagai nilai inti, berbeda dari Industri 4.0 yang lebih menekankan otomasi dan efisiensi produksi semata (Ghobakhloo, Amoozad Mahdiraji, Iranmanesh, & Jafari-Sadeghi, 2024; Grosse, Sgarbossa,

Berlin, & Neumann, 2023). Pergeseran ini terjadi bersamaan dengan meningkatnya tekanan terhadap sumber daya alam (SDA) global akibat permintaan mineral kritis untuk transisi energi, digitalisasi, dan elektrifikasi, sehingga negara-negara kaya SDA menghadapi risiko ganda: tetap terjebak pada pola ekstraksi konvensional, atau justru memperdalam ketergantungan baru pada rantai pasok mineral digital (UNCTAD, 2024).

Di sisi lain, literatur ekonomi digital yang berkembang pesat sejak 2023 menunjukkan bahwa digitalisasi berpotensi mengurangi ketergantungan pada SDA melalui efisiensi alokasi, optimalisasi rantai produksi, dan percepatan transformasi struktur industri (Guan, Xu, Wu, Liu, & Liu, 2024; Liu, Yang, Li, & Zhong, 2022; Yang et al., 2025). Studi berbasis kota-kota sumber daya di Tiongkok, misalnya, menemukan bahwa penetrasi ekonomi digital berasosiasi dengan penurunan derajat ketergantungan pada sumber daya melalui jalur peningkatan efisiensi alokasi tenaga kerja dan modal (Yang et al., 2025). Namun demikian, sebagian besar studi tersebut memperlakukan digitalisasi sebagai variabel instrumental, sebuah alat efisiensi – dan bukan sebagai bentuk modal yang secara ontologis berdiri sejajar dengan modal alam itu sendiri.

Padahal, teori modal alam (natural capital theory) sejak awal memosisikan alam sebagai stok aset yang menghasilkan aliran barang dan jasa bagi kesejahteraan manusia (Costanza & Daly, 1992) dan perkembangan mutakhir memperluas kerangka ini ke pengukuran organisasi dan pelaporan keberlanjutan korporasi (Amicarelli et al., 2026). Pertanyaannya kemudian: jika infrastruktur digital – kembar digital (digital twin), penginderaan jauh, kecerdasan buatan (AI), dan rantai blok (blockchain) – mampu memetakan, memantau, mensubstitusi, dan mengatur pemanfaatan SDA secara presisi, apakah kapasitas tersebut layak dipandang sebagai wujud modal alam baru yang termediasi secara digital, dan bukan sekadar alat bantu di atas modal alam yang sudah ada?

1.1 Research Gap

- a. Secara konseptual, belum ada kerangka yang secara eksplisit mendudukkan digitalisasi sebagai bentuk modal (capital) yang setara dan berinteraksi dengan modal alam, bukan sekadar instrumen efisiensi eksternal terhadapnya.
- b. Secara teoretis, integrasi antara Teori Modal Alam, Resource-Based View, dan Teori Resource Curse ke dalam satu kerangka analitis tentang digitalisasi SDA masih terfragmentasi di berbagai rumpun literatur yang jarang saling bersinggungan (lihat Bagian 2).
- c. Secara empirik-kontekstual, kajian mengenai digitalisasi dan ketergantungan SDA masih didominasi oleh konteks Tiongkok dan negara maju (Guan et al., 2024; Liu et al., 2024; Yang et al., 2025), sementara konteks negara berkembang kaya SDA berbasis komoditas tambang dan kehutanan, termasuk Indonesia, relatif belum banyak dieksplorasi dari perspektif modal digital.
- d. Sebagian besar studi terdahulu berfokus pada manfaat digitalisasi tanpa memperhitungkan secara memadai jejak lingkungan infrastruktur digital itu sendiri (konsumsi energi pusat data, emisi sektor TIK), sehingga berpotensi menghasilkan simpulan yang terlalu optimistis (UNCTAD, 2024).

1.2 Novelty dan Tujuan Penelitian

Kebaruan (novelty) artikel ini terletak pada perumusan dan elaborasi konsep Digital Natural Capital (DNC) sebagai konstruk konseptual orisinal yang mensintesis tiga lapisan kognitif-data, sirkularitas, dan tata kelola sebagai wujud modal baru yang memediasi hubungan antara ekonomi digital dan ketergantungan pada eksploitasi SDA fisik, dengan kualitas kelembagaan sebagai moderator utama sebagaimana disyaratkan oleh teori resource curse. Tujuan penelitian ini adalah: (1) merumuskan kerangka konseptual DNC berdasarkan sintesis teori dan literatur mutakhir; (2) menganalisis mekanisme melalui mana DNC berpotensi menekan ketergantungan pada eksploitasi SDA di era Industri 5.0; dan (3) merumuskan implikasi teoretis dan kebijakan, khususnya bagi negara berkembang kaya SDA seperti Indonesia.

2. KAJIAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Modal Alam (Natural Capital Theory)

Costanza dan Daly (1992) mendefinisikan modal alam sebagai stok yang menghasilkan aliran barang dan jasa berharga di masa depan, sejajar dengan modal buatan (manufactured capital) dalam fungsi produksi ekonomi. Perkembangan mutakhir memperluas konsep ini ke ranah pelaporan dan akuntansi keberlanjutan korporasi, di mana modal alam diukur sebagai stok lingkungan yang dapat diperbarui maupun tidak dapat diperbarui yang mendukung keberlangsungan operasi organisasi, sejalan dengan regulasi seperti Corporate Sustainability Reporting Directive di Uni Eropa (Amicarelli et al., 2026). Teori ini menjadi fondasi utama untuk mempertanyakan: jika modal alam dapat diukur dan dilaporkan, dapatkah kapasitas digital yang memungkinkan pengukuran dan pengelolaan tersebut juga dipandang sebagai bentuk modal tersendiri?

2.2 Resource-Based View (RBV)

Barney (1991) mengonseptualisasikan sumber daya perusahaan, termasuk aset berwujud dan tak berwujud, sebagai basis keunggulan kompetitif berkelanjutan apabila sumber daya tersebut bernilai, langka, sulit ditiru, dan tidak dapat disubstitusi sempurna (valuable, rare, inimitable, non-substitutable). Kerangka RBV inilah yang dipinjam dalam artikel ini untuk menguji apakah kapabilitas digital data kepemilikan, algoritma pemantauan, dan infrastruktur penginderaan memenuhi kriteria sebagai modal strategis yang berdiri sendiri, alih-alih sekadar pelengkap dari modal alam dan modal fisik yang telah ada.

2.3 Teori Resource Curse dan Kualitas Kelembagaan

Sachs dan Warner (2001) mendokumentasikan hubungan negatif antara kelimpahan SDA dan pertumbuhan ekonomi jangka panjang, sebuah fenomena yang pertama kali disebut sebagai “kutukan sumber daya” (resource curse) oleh Auty (1993). Gylfason (2001) menambahkan bahwa kelimpahan SDA yang tidak diimbangi oleh investasi pada pendidikan dan modal manusia cenderung memperlambat pembangunan jangka panjang. Literatur lanjutan menegaskan bahwa dampak kelimpahan SDA positif atau negatif sangat bergantung pada kualitas kelembagaan, tata kelola, dan mekanisme anti-rent-seeking (Liu, Huang, Xu, & Xiong, 2024). Teori ini menjadi

dasar penempatan kualitas kelembagaan sebagai variabel moderator dalam kerangka DNC yang dikembangkan pada Bagian 5.

2.4 Transformasi Industri 5.0

Industri 5.0 merupakan evolusi dari Industri 4.0 yang menggeser fokus dari otomasi dan produktivitas semata menuju keseimbangan antara kemajuan teknologi, kesejahteraan manusia, dan ketahanan lingkungan (Ghobakhloo et al., 2024). Kajian tinjauan literatur menemukan bahwa kolaborasi manusia-mesin dalam kerangka Industri 5.0 berpotensi meningkatkan produktivitas sekaligus keberlanjutan, tetapi implementasinya menuntut desain sistem produksi dan logistik yang berpusat pada manusia (Grosse et al., 2023). Dalam konteks yang lebih luas, konsep Society 5.0 memperlihatkan bagaimana kecerdasan buatan, Internet of Things (IoT), dan inovasi digital lain diarahkan untuk pengelolaan SDA yang berkelanjutan, khususnya di sektor air dan energi (Das et al., 2024).

2.5 Ekonomi Digital dan Ketergantungan Sumber Daya Alam: Bukti Terkini

Studi empiris pada kota-kota berbasis sumber daya di Tiongkok menemukan bahwa penetrasi ekonomi digital dapat menekan ketergantungan pada sumber daya melalui percepatan transformasi struktur industri ke sektor bernilai tambah lebih tinggi (Yang et al., 2025). Temuan ini konsisten dengan studi yang menunjukkan bahwa pembangunan ekonomi digital berasosiasi dengan peningkatan produktivitas faktor total hijau melalui peningkatan struktur industri (Liu, Yang, Li, & Zhong, 2022), serta pentingnya pembangunan infrastruktur digital yang rendah karbon sebagai prasyarat manfaat lingkungan tersebut (Guan et al., 2024). Namun, ketergantungan sumber daya juga terbukti dipengaruhi kuat oleh kebijakan pembangunan berkelanjutan tingkat kota, bukan semata oleh tingkat digitalisasi (Liu, Huang, Xu, & Xiong, 2024). Pada saat bersamaan, UNCTAD (2024) mengingatkan bahwa sektor teknologi informasi dan komunikasi (TIK) sendiri menyumbang emisi gas rumah kaca (GRK) global yang tidak kecil, sehingga manfaat digitalisasi terhadap SDA fisik perlu diimbangi dengan biaya lingkungan dari infrastruktur digital itu sendiri (lihat Bagian 4).

2.6 Sintesis Teori dan Posisi Research Gap

Gambar 1 memetakan bagaimana empat rumpun literatur – teori modal alam, resource-based view, teori resource curse, dan literatur Industri 5.0/ekonomi digital – selama ini berkembang secara relatif terpisah. Belum ada kerangka yang secara eksplisit memosisikan digitalisasi sebagai bentuk modal yang setara dengan modal alam dan bukan sekadar instrumen efisiensi eksternal terhadapnya. Kekosongan inilah yang mendasari perumusan konsep Digital Natural Capital (DNC) pada Bagian 5.



Gambar 1. Peta Konvergensi Teori dan Posisi Research Gap (diolah oleh penulis, 2026)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain kajian pustaka sistematis (systematic literature review) yang dipadukan dengan analisis konseptual interpretatif (*interpretive conceptual analysis*), sebuah desain yang lazim digunakan untuk perumusan konstruk teoretis baru dalam ekonomi sumber daya dan keberlanjutan (Das et al., 2024; Ghobakhloo et al., 2024). Pendekatan ini dipilih karena tujuan penelitian bersifat generatif-konseptual, merumuskan dan mengelaborasi konstruk baru dan bukan menguji hubungan kausal terukur, sehingga desain kualitatif interpretatif lebih tepat dibandingkan desain kuantitatif-ekonometrik.

3.1 Prosedur Pengumpulan dan Seleksi Literatur

- Basis data: Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, dan Sinta (untuk literatur nasional terindeks Sinta 1–Sinta 2).
- Kata kunci pencarian: “digital economy AND natural resource dependence”, “natural capital”, “Industry 5.0 AND sustainability”, “resource curse”, “digital twin AND resource management”, dan padanan Bahasa Indonesia yang relevan.
- Rentang waktu utama 2023–2026 untuk literatur kontekstual-empirik, dengan literatur klasik grand theory (Costanza & Daly, 1992; Barney, 1991; Sachs & Warner, 2001; Auty, 1993; Gylfason, 2001) tetap disertakan sebagai fondasi konseptual yang belum tergantikan.
- Kriteria inklusi: artikel jurnal terindeks Scopus Q1/Q2, terbitan resmi lembaga internasional (UNCTAD, World Bank), dan jurnal nasional terindeks Sinta yang relevan secara tematik;

kriteria eksklusi: sumber tanpa proses tinjauan sejawat dan artikel yang tidak relevan secara substantif.

3.2 Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan melalui tiga tahap: (1) reduksi dan kategorisasi tematik (thematic coding) terhadap literatur terpilih ke dalam empat rumpun teori (modal alam, RBV, resource curse, Industri 5.0/ekonomi digital); (2) sintesis konseptual (conceptual synthesis) untuk mengidentifikasi kesenjangan dan titik temu antar-rumpun teori sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 1; dan (3) konstruksi kerangka (framework building) untuk merumuskan Digital Natural Capital sebagai konstruk baru beserta mekanisme kausal konseptualnya, sebagaimana disajikan pada Gambar 2 (Bagian 5). Data sekunder kuantitatif dari World Bank Open Data dan UNCTAD Digital Economy Report 2024 digunakan bukan sebagai basis pengujian statistik, melainkan sebagai data pendukung (illustrative evidence) untuk memperkuat plausibilitas argumen konseptual, konsisten dengan sifat penelitian kualitatif-generatif.

3.3 Keabsahan Data (Trustworthiness)

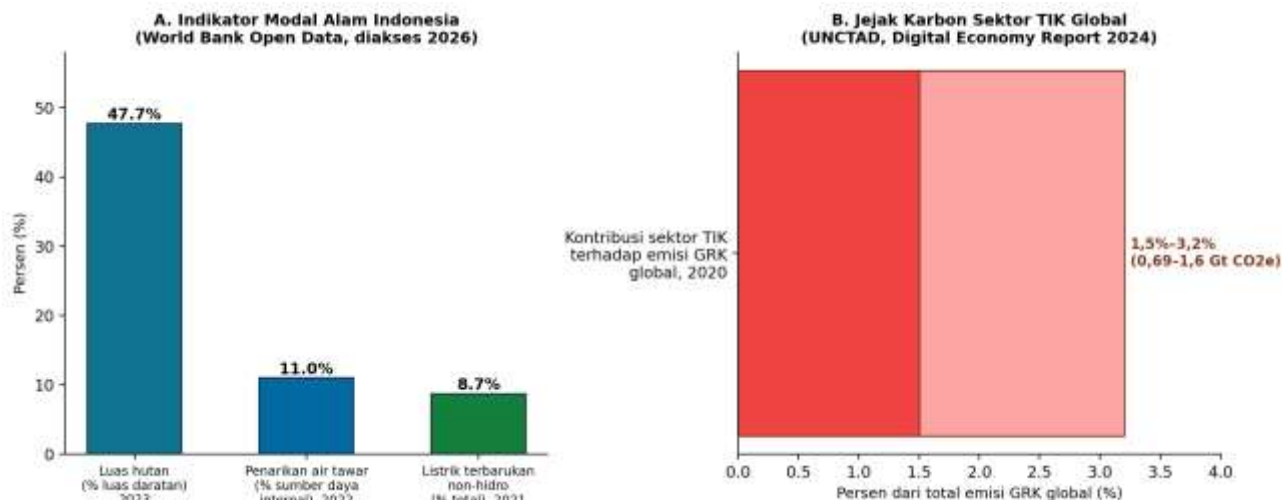
Keabsahan data dijaga melalui triangulasi sumber (jurnal internasional, laporan lembaga multilateral, dan jurnal nasional terindeks Sinta), pencatatan audit trail pemilihan literatur, serta perbandingan silang temuan antarsumber untuk menghindari bias konfirmasi terhadap konsep baru yang diusulkan.

4. KONDISI FAKTUAL: DATA DAN STATISTIK PENDUKUNG

Sebelum mengelaborasi kerangka DNC, bagian ini menyajikan potret faktual dua sisi persoalan: (a) tingkat ketergantungan dan tekanan terhadap modal alam di Indonesia, dan (b) jejak lingkungan dari infrastruktur digital global yang menjadi prasyarat teknis DNC. Kedua sisi ini penting agar argumen mengenai DNC tidak jatuh pada optimisme teknologi yang berlebihan (technological solutionism).

Indikator	Nilai Terkini	Tahun	Sumber
Luas hutan (% luas daratan), Indonesia	47,7%	2023	World Bank Open Data
Emisi CO ₂ per kapita (di luar LULUCF), Indonesia	2,9 t CO _{2e} /kapita	2024	World Bank Open Data
Penarikan air tawar tahunan (% sumber daya air internal), Indonesia	11%	2022	World Bank Open Data
Produksi listrik dari sumber terbarukan non-hidro (% total), Indonesia	8,7%	2021	World Bank Open Data
Emisi GRK global dari sektor TIK	0,69–1,6 Gt CO _{2e} (1,5–3,2% total emisi global)	2020	UNCTAD, Digital Economy Report 2024

Table 1. Indikator Modal Alam Indonesia dan Jejak Lingkungan Digital Global



Gambar 2. (A) Indikator Modal Alam Indonesia – World Bank Open Data (diakses 2026); (B) Kontribusi Sektor TIK terhadap Emisi GRK Global – UNCTAD, Digital Economy Report 2024.

Data pada Tabel 1 dan Gambar 2 memperlihatkan dua hal penting. Pertama, modal alam Indonesia – tercermin dari luas hutan, ketersediaan air, dan bauran energi terbarukan – masih berada pada level yang rentan terhadap tekanan eksploitasi lanjutan, dengan pangsa energi terbarukan non-hidro yang relatif rendah (8,7%). Kedua, infrastruktur digital global bukan tanpa biaya lingkungan: sektor TIK dunia menyumbang antara 1,5% hingga 3,2% dari total emisi GRK global pada tahun 2020, setara dengan 0,69 hingga 1,6 gigaton CO₂-ekuivalen (UNCTAD, 2024). Temuan kontekstual Indonesia juga menunjukkan bahwa pelatihan satu model bahasa berskala besar dapat mengonsumsi ribuan megawatt-jam listrik, yang jika bersumber dari energi fosil akan menimbulkan eksternalitas lingkungan baru (Jurnal E-Bis: Ekonomi-Bisnis, 2025). Kedua fakta ini menjadi basis empirik bagi argumen bahwa DNC harus dipahami sebagai modal yang bersyarat (conditional capital) ; potensinya menekan eksploitasi SDA fisik hanya terwujud apabila infrastruktur digital itu sendiri dikelola secara rendah karbon dan efisien energi.

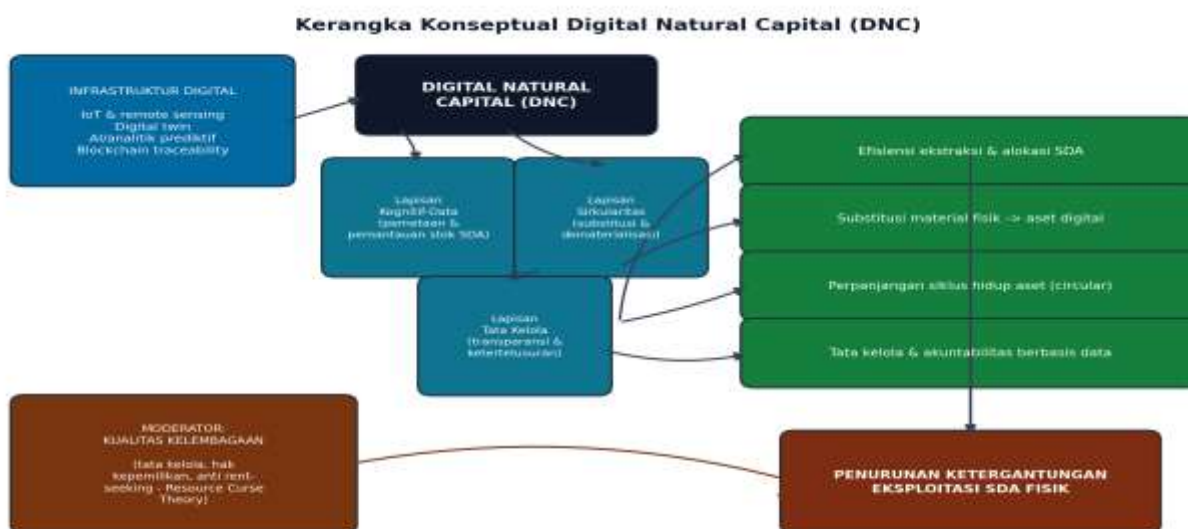
5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Elaborasi Konsep Digital Natural Capital (DNC)

Berdasarkan sintesis pada Bagian 2, penelitian ini mendefinisikan Digital Natural Capital (DNC) sebagai stok kapabilitas digital yang mencakup data, algoritma, dan infrastruktur pemantauan yang secara fungsional menghasilkan aliran informasi, efisiensi, dan tata kelola yang memungkinkan pengelolaan modal alam fisik secara lebih presisi, sehingga menekan laju ekstraksi SDA per unit output ekonomi. Definisi ini secara sengaja memosisikan DNC bukan sebagai pengganti (substitute) modal alam, melainkan sebagai modal pelengkap yang bersifat generatif (generative complementary capital) . Ia menghasilkan nilai bukan dari ekstraksi langsung, melainkan dari kapasitas untuk mengelola ekstraksi tersebut secara lebih baik.

Sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 3, DNC dibangun di atas tiga lapisan yang saling berkaitan:

- Lapisan kognitif-data (cognitive-data layer): kapabilitas untuk memetakan dan memantau stok SDA secara real-time melalui IoT, penginderaan jauh, dan digital twin, sehingga ketersediaan dan kondisi SDA dapat diketahui sebelum keputusan ekstraksi diambil.
- Lapisan sirkularitas (circularity layer): kapabilitas untuk mensubstitusi input material fisik dengan aset digital (misalnya prototipe virtual, pemodelan material, dan optimasi desain berbasis AI) serta memperpanjang siklus hidup aset fisik melalui pemeliharaan prediktif.
- Lapisan tata kelola (governance layer): kapabilitas untuk menciptakan transparansi dan ketertelusuran (traceability) rantai pasok SDA melalui teknologi seperti blockchain, yang memperkuat akuntabilitas dan mengurangi kebocoran rente ekonomi – titik temu langsung dengan teori resource curse.



Gambar 3. Kerangka Konseptual Digital Natural Capital (DNC) (diolah oleh penulis, 2026)

5.2 Mekanisme DNC dalam Menekan Ketergantungan Eksploitasi SDA

Kerangka pada Gambar 3 mengimplikasikan empat mekanisme kausal konseptual yang saling memperkuat. Pertama, efisiensi ekstraksi dan alokasi SDA: pemantauan berbasis data memungkinkan ekstraksi dilakukan hanya sebatas yang dibutuhkan, sejalan dengan temuan bahwa infrastruktur digital rendah karbon menjadi prasyarat bagi manfaat lingkungan dari digitalisasi (Guan et al., 2024). Kedua, substitusi material fisik dengan aset digital, misalnya melalui simulasi dan pemodelan yang mengurangi kebutuhan uji coba fisik berulang. Ketiga, perpanjangan siklus hidup aset melalui pemeliharaan prediktif yang mengurangi laju penggantian dan, dengan demikian, permintaan material baru konsisten dengan temuan bahwa pembangunan ekonomi digital berasosiasi dengan peningkatan produktivitas faktor total hijau melalui percepatan upgrading struktur industri (Liu, Yang, Li, & Zhong, 2022). Keempat, tata kelola dan

akuntabilitas berbasis data yang menekan rente ekonomi dari eksploitasi SDA yang tidak transparan selaras dengan argumen bahwa efek kelimpahan SDA terhadap pembangunan sangat bergantung pada kualitas kelembagaan (Liu, Huang, Xu, & Xiong, 2024).

5.3 Batas, Risiko, dan Potensi Rebound Effect

Kerangka DNC tidak bersifat deterministik. Data pada Bagian 4 menunjukkan bahwa infrastruktur digital – pusat data, jaringan 5G, dan pelatihan model AI – memiliki jejak karbon dan konsumsi energi yang signifikan (UNCTAD, 2024). Risiko rebound effect muncul apabila efisiensi yang dihasilkan DNC justru mendorong peningkatan volume konsumsi SDA secara agregat (efek Jevons), atau apabila ekspansi infrastruktur digital itu sendiri menambah permintaan terhadap mineral kritis (litium, nikel, kobalt) yang justru memperluas jejak ekstraksi baru. Studi ekonomi digital berbasis kota di Tiongkok pun menegaskan bahwa hubungan antara digitalisasi dan ketergantungan SDA bersifat kontekstual, bukan universal, sehingga generalisasi berlebihan perlu dihindari (Yang et al., 2025).

5.4 Kualitas Kelembagaan sebagai Moderator

Sejalan dengan teori resource curse (Sachs & Warner, 2001; Auty, 1993; Gylfason, 2001), penelitian ini menegaskan bahwa efektivitas DNC dalam menekan eksploitasi SDA sangat bergantung pada kualitas kelembagaan – mencakup kejelasan hak kepemilikan data dan SDA, mekanisme anti-rent-seeking, dan kapasitas regulasi teknologi. Tanpa kelembagaan yang memadai, kapabilitas digital yang seharusnya menekan eksploitasi justru berisiko menjadi instrumen baru bagi aktor dominan untuk mengoptimalkan – alih-alih mengurangi – laju ekstraksi demi keuntungan jangka pendek.

5.5 Ilustrasi Kontekstual: Relevansi bagi Indonesia

Sebagai negara dengan basis ekonomi yang masih bertumpu pada komoditas tambang dan kehutanan, temuan konseptual ini relevan bagi Indonesia dalam dua ranah. Pertama, pada sektor hilirisasi mineral (nikel dan mineral kritis lain), penerapan digital twin dan sistem pemantauan berbasis data pada tambang dan smelter berpotensi menekan intensitas ekstraksi per unit produk hilir, sekaligus memperkuat transparansi rantai pasok untuk memenuhi standar keberlanjutan pasar ekspor. Kedua, pada sektor kehutanan, sistem pemantauan tutupan hutan berbasis penginderaan jauh dan AI dapat memperkuat deteksi dini deforestasi ilegal, memperkuat lapisan tata kelola dalam kerangka DNC. Namun, sebagaimana ditekankan pada Bagian 5.4, keberhasilan kedua ilustrasi ini tetap bergantung pada kualitas kelembagaan dan penegakan hukum di tingkat nasional dan daerah.

6. IMPLIKASI TEORETIS DAN KEBIJAKAN

6.1 Implikasi Teoretis

Secara teoretis, artikel ini memperluas taksonomi modal dalam ekonomi sumber daya dengan mengusulkan Digital Natural Capital sebagai kategori modal generatif-komplementer yang berdiri di antara modal alam dan modal buatan, melengkapi kerangka Resource-Based View yang selama ini lebih banyak diterapkan pada level organisasi (Barney, 1991) dengan perluasan ke level makro sumber daya nasional. Artikel ini juga menawarkan jembatan konseptual antara

literatur Industri 5.0 yang berpusat pada manusia (Ghobakhloo et al., 2024) dengan literatur ekonomi sumber daya klasik yang berpusat pada kelembagaan (Sachs & Warner, 2001; Auty, 1993), sebuah konvergensi yang selama ini jarang dieksplisitkan.

6.2 Implikasi Kebijakan

- a. Pemerintah negara berkembang kaya SDA perlu merancang peta jalan transisi Industri 5.0 yang secara eksplisit mengintegrasikan investasi pada ketiga lapisan DNC (data, sirkularitas, tata kelola), bukan sekadar mendigitalkan proses ekstraksi yang sudah ada.
- b. Penguatan kelembagaan – kejelasan hak kepemilikan data SDA, transparansi rantai pasok, dan mekanisme anti-rent-seeking – perlu menjadi prasyarat kebijakan sebelum investasi teknologi digital diperluas, agar manfaat DNC tidak terkooptasi oleh kepentingan jangka pendek.
- c. Kebijakan energi untuk infrastruktur digital (pusat data, jaringan telekomunikasi) perlu diarahkan pada sumber energi terbarukan, mengingat pangsa energi terbarukan non-hidro Indonesia yang masih rendah (8,7%; World Bank Open Data), agar DNC tidak menciptakan beban lingkungan baru yang meniadakan manfaatnya.
- d. Perguruan tinggi dan lembaga riset ekonomi sumber daya perlu mengembangkan agenda riset lanjutan untuk mengoperasionalkan dan mengukur DNC secara kuantitatif pada level sektor maupun daerah, sebagai kelanjutan dari kerangka konseptual yang diusulkan dalam artikel ini.

7. KETERBATASAN PENELITIAN DAN AGENDA RISET MENDATANG

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diungkapkan secara terbuka. Pertama, sebagai kajian kualitatif-konseptual, artikel ini belum menyajikan pengukuran empirik-kuantitatif atas konstruk DNC, sehingga proposisi mekanisme pada Bagian 5.2 masih bersifat hipotesis konseptual yang perlu diuji lebih lanjut. Kedua, data faktual yang digunakan (Tabel 1 dan Gambar 2) bersifat deskriptif-ilustratif dan belum mencerminkan hubungan kausal antara digitalisasi dan ketergantungan SDA dalam konteks Indonesia secara spesifik. Ketiga, ilustrasi kontekstual pada Bagian 5.5 bersifat argumentatif berdasarkan sintesis literatur, bukan hasil studi lapangan langsung. Untuk itu, agenda riset mendatang perlu mengembangkan indeks DNC yang terukur (measurable DNC index) serta menguji hubungan antara indeks tersebut dengan indikator ketergantungan SDA melalui desain penelitian kuantitatif atau mixed-methods pada level sektor, provinsi, maupun perusahaan di Indonesia.

8. KESIMPULAN

Artikel ini merumuskan Digital Natural Capital (DNC) sebagai konstruk konseptual baru yang memosisikan kapabilitas digital – lapisan kognitif-data, sirkularitas, dan tata kelola – sebagai bentuk modal generatif-komplementer yang berpotensi menekan ketergantungan ekonomi terhadap eksploitasi SDA fisik di era Industri 5.0. Berdasarkan sintesis Teori Modal Alam, Resource-Based View, dan Teori Resource Curse dengan literatur empirik ekonomi digital 2023–2026, disimpulkan bahwa potensi DNC bersifat kondisional: efektif menekan eksploitasi SDA hanya apabila didukung kualitas kelembagaan yang memadai dan infrastruktur digital yang

dikelola secara rendah karbon. Tanpa dua prasyarat tersebut, DNC berisiko menimbulkan rebound effect berupa permintaan baru terhadap mineral kritis dan jejak karbon sektor TIK yang meniadakan manfaat lingkungannya sendiri. Temuan ini menawarkan kerangka awal yang dapat dikembangkan lebih lanjut, baik secara teoretis melalui operasionalisasi indeks DNC maupun secara kebijakan melalui perancangan peta jalan transisi Industri 5.0 yang berimbang antara ambisi digitalisasi dan keberlanjutan modal alam – khususnya bagi negara berkembang kaya SDA seperti Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Amicarelli, V., Bux, C., Lagioia, G., & Bevilacqua, M. (2026). Toward a business-oriented concept of natural capital and its measurement in organisations. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.70310>
- Auty, R. M. (1993). *Sustaining development in mineral economies: The resource curse thesis*. London: Routledge.
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Costanza, R., & Daly, H. E. (1992). Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology*, 6(1), 37–46. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.610037.x>
- Das, S., et al. (2024). Natural resource optimisation and sustainability in Society 5.0: A comprehensive review. *Resources*, 13(2), 19. <https://doi.org/10.3390/resources13020019>
- Ghobakhloo, M., Amoozad Mahdiraji, H., Iranmanesh, M., & Jafari-Sadeghi, V. (2024). From Industry 4.0 digital manufacturing to Industry 5.0 digital society: A roadmap toward human-centric, sustainable, and resilient production. *Information Systems Frontiers*. <https://doi.org/10.1007/s10796-024-10476-z>
- Grosse, E., Sgarbossa, F., Berlin, C., & Neumann, W. (2023). Human-centric production and logistics system design and management: Transitioning from Industry 4.0 to Industry 5.0. *International Journal of Production Research*, 61(22), 7749–7759. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2246783>
- Guan, X., Xu, Z., Wu, J., Liu, Y., & Liu, J. (2024). Key scientific issues and suggestions in the green and low-carbon development of digital infrastructure. *China Science Foundation*, 38(4), 583–592.
- Gylfason, T. (2001). Natural resources, education, and economic development. *European Economic Review*, 45(4–6), 847–859. [https://doi.org/10.1016/S0014-2921\(01\)00127-1](https://doi.org/10.1016/S0014-2921(01)00127-1)
- Jurnal E-Bis: Ekonomi-Bisnis. (2025). Transformasi digital, konsumsi energi, dan keberlanjutan lingkungan di Indonesia. Politeknik Kebumen.

- Liu, Y., Huang, J., Xu, J., & Xiong, S. (2024). Natural resource dependence and sustainable development policy: Insights from city-level analysis. *Resources Policy*, 91, 104928. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104928>
- Liu, Y., Yang, Y., Li, H., & Zhong, K. (2022). Digital economy development, industrial structure upgrading and green total factor productivity: Empirical evidence from China's cities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), 2414. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042414>
- Sachs, J. D., & Warner, A. M. (2001). The curse of natural resources. *European Economic Review*, 45(4–6), 827–838.
- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2024). Digital economy report 2024: Shaping an environmentally sustainable and inclusive digital future. Geneva: United Nations. <https://unctad.org/publication/digital-economy-report-2024>
- World Bank. (2026). World Bank Open Data: Indonesia [Data set]. Diakses Juli 2026, dari <https://data.worldbank.org/country/indonesia>
- Yang, X., et al. (2025). Exploring the role of the digital economy in reducing natural resource dependence: An empirical study from resource-based cities in China. *Growth and Change*. <https://doi.org/10.1111/grow.70034>