INNOVATION IN GLOBAL INDUSTRIAL DOWNSTREAMING: AN OVERVIEW LITERATURE ABOUT OPPORTUNITIES, CHALLENGES, AND POLICY DIRECTIONS

Aditiya Hera Nurmoko[1)] ,Aris Indriyanti[2)], Heru Wahyudi[3)], Aan Subekti[4)] ,Tri Suyud Nusanto[5)], Dhimas Oki Permata Aji[6)]

[1,2] STIE YKP Yogyakarta, [3] , Universitas Pamulang Indonesia

[4] STT MIGAS , [5]STIPRAM Yogyakarta, [6]Universitas Nahdatul Ulama Al *Ghazali*

ABSTRAK

Industri hilir menjadi strategi penting dalam transformasi ekonomi global, terutama di negara–negara berkembang yang kaya akan sumber daya alam. Artikel ini menyajikan tinjauan pustaka yang komprehensif terhadap inovasi dalam industri hilir global dengan menyoroti bentuk inovasi, peluang strategis, tantangan implementasi, dan implikasi kebijakan. Melalui pendekatan analisis tematik terhadap 25 jurnal relevan dari 100 jurnal terindeks Scopus (2003 — 2023), penelitian ini mengidentifikasi peran penting inovasi teknologi dan digitalisasi — seperti bioproses, penerimaan informasi real–time (RTIR), serta adopsi Industri 4.0 — dalam meningkatkan efisiensi dan nilai tambah di sektor hilir. Studi ini juga menyoroti peluang integrasi bioekonomi dan ekonomi sirkular, dan tantangan seperti keterbatasan infrastruktur, tingginya biaya, dan hambatan regulasi. Implikasi kebijakan menunjukkan pentingnya sinergi antara regulasi industri, lingkungan, dan inovasi, serta perlunya dukungan terhadap UMKM, R&D, dan infrastruktur hilir. Hasil studi ini memberikan landasan konseptual dan praktis untuk perumusan strategi hilir berdasarkan inovasi adaptif terhadap dinamika global dan lokal.

Kata kunci : industri hilirisasi, inovasi, digitalisasi, ekonomi sirkular, kebijakan industri

ABSTRACT

Downstream industry become an important strategy in transformation global economy , especially in developing countries rich in resources Power nature . This

article serve review literature comprehensive to innovation in downstream global industry with highlight forms innovation , opportunities strategic , challenges implementation , and implications policy . Through approach analysis thematic against 25 journals relevant of 100 journals indexed by Scopus (2003—2023), research This identify role crucial innovation technology and digitalization — such as bioprocess , real-time information receiving (RTIR), as well as adoption of Industry 4.0 — in increase efficiency and value add in sector downstream . This study also highlights opportunity integration bioeconomics and economics circular , and challenge like limitations infrastructure , costs height , and obstacles regulation . Implications policy show importance synergy between regulation industry , environment , and innovation , as well as the need support towards MSMEs, R&D, and infrastructure downstream . Study results This give runway conceptual and practical for formulation of downstream strategy based on adaptive innovation to global and local dynamics .

Keywords *: downstreaming industry;, innovation; digitalization;, economy circular;, policy industry*

PENDAHULUAN

Lanskap ekonomi global yang terus berkembang, hilirisasi industri telah menjadi strategi krusial bagi banyak negara untuk meningkatkan nilai tambah ekonomi, menciptakan lapangan kerja, dan memperkuat ketahanan ekonomi mereka . Konsep "hilir" (*downstream*) merujuk pada serangkaian aktivitas pengolahan bahan mentah menjadi barang setengah jadi atau barang jadi yang memiliki nilai tambah lebih tinggi dalam rantai nilai suatu industri, hingga distribusi dan pemasaran ke konsumen (Gimenes et al., 2021;Yetkin Özbük & Coşkun, 2020.

Berbagai sumber literatur menyoroti pentingnya operasi hilir di berbagai sektor, serta diskusi mengenai investasi di sektor hilir seperti minyak dan gas (Appiah, Possumah, Ahmat, et al., 2021). Dalam konteks Indonesia, hilirisasi dilakukan untuk memanfaatkan potensi sumber daya alam (SDA) yang melimpah, yang selama ini lebih banyak diekspor dalam bentuk mentah, menjadikan Indonesia rentan terhadap fluktuasi

harga global (Rifin et al., 2020). Tujuannya mencakup transformasi struktural ekonomi dari berbasis eksploitasi SDA menjadi ekonomi berbasis inovasi dan teknologi. Sebagai pilar dalam transformasi ini, hilirisasi bertujuan mengurangi ekspor mentah (misalnya kelapa sawit menjadi olein), menciptakan lapangan kerja baru, memperkuat ekonomi lokal, dan mengurangi ketergantungan pada impor (PAGE, 2023).

Untuk mempercepat dan meningkatkan efektivitas proses hilirisasi, inovasi memegang peran sentral. Inovasi dapat terwujud melalui pengadopsian teknologi baru, pengembangan model bisnis yang efisien, dan integrasi sistem yang lebih baik di seluruh rantai nilai (Mujahid Ghouri et al., 2021). Literatur menunjukkan beragam bentuk inovasi yang relevan dengan proses hilirisasi di berbagai sektor. Misalnya, dalam bioproduksi, inovasi biologis dan teknik hilir (*downstream techniques*) terus dikembangkan (Gimenes et al., 2021; Tabatabaei et al., 2020; Mancini et al., 2020).

Di luar proses produksi inti, Digitalisasi dan teknologi Industri 4.0 juga membawa inovasi signifikan ke operasi hilir, terutama dalam rantai pasok (*supply chain*). Adopsi teknologi seperti *real–time information receiving* (RTIR) menggunakan teknologi Industri 4.0 dalam operasi hilir dapat memberikan wawasan penting bagi perusahaan dan menciptakan nilai bagi pelanggan (Mujahid Ghouri et al., 2021). Konsep *strategic alignment* yang memanfaatkan kapabilitas teknologi informasi juga relevan untuk kesuksesan kompetitif (Mujahid Ghouri et al., 2021). Pengembangan model bisnis inovatif juga penting bagi UKM dalam mengimplementasikan Industri 4.026. Bahkan dalam konteks lingkungan, evaluasi dan optimasi kinerja lingkungan pada pemrosesan hilir, seperti untuk polihidroksialkanoat (PHA), melibatkan pendekatan berbasis siklus hidup yang membutuhkan inovasi dalam evaluasi (Saavedra del Oso et al., 2021).

Mengingat pentingnya hilirisasi sebagai strategi industrialisasi dan peran krusial inovasi di dalamnya, serta keragaman konteks dan tantangan yang muncul di berbagai industri dan negara, artikel ini bertujuan untuk menelaah secara kritis tren inovasi dalam hilirisasi industri global berdasarkan koleksi literatur yang disediakan. Tinjauan ini akan berfokus pada identifikasi berbagai bentuk inovasi (teknologi, digitalisasi/Industri 4.0, integrasi sistem, model bisnis), peluang yang diciptakannya (misalnya pemanfaatan pasar domestik, keunggulan kompetitif), tantangan dalam implementasinya (misalnya hambatan regulasi dan kebijakan, keterbatasan sumber daya, persaingan industri), serta implikasinya terhadap perumusan kebijakan (misalnya dukungan kebijakan untuk penyesuaian industri, regulasi lingkungan, kebijakan investasi)dengan merujuk pada bukti–bukti dari berbagai sektor yang tercakup dalam sumber–sumber literatur. Berdasarkan latar belakang tersebut, pertanyaan penelitian yang diajukan adalah sebagai berikut: Apa saja bentuk inovasi utama yang diterapkan dalam proses hilirisasi industri secara global, Peluang strategis apa yang dihasilkan oleh penerapan inovasi dalam hilirisasi berbagai sektor industri, Apa tantangan utama yang dihadapi dalam implementasi inovasi hilirisasi di berbagai negara dan sektor, Bagaimana arah kebijakan yang dapat mendukung inovasi dalam hilirisasi industri secara berkelanjutan.

Research gap dalam penelitian ini adalah Sebagian besar penelitian sebelumnya mengenai hilirisasi industri menyoroti dinamika inovasi dalam konteks sektor atau wilayah tertentu, seperti industri migas di Ghana, produksi protease di Brazil, atau bioproses di Eropa. Studi–studi ini telah memberikan kontribusi penting dalam memahami bentuk–bentuk inovasi spesifik, seperti adopsi teknologi Industri 4.0 atau pengembangan bio– based products. Namun, pendekatannya cenderung terpisah–pisah dan tidak terintegrasi secara multisektor maupun multinegara. Selain itu, banyak kajian yang hanya mengidentifikasi

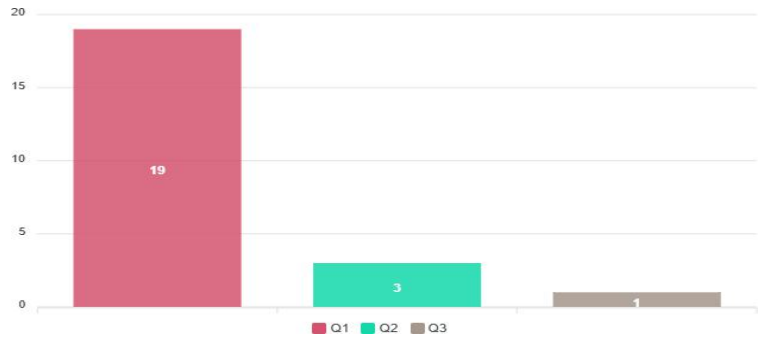
tantangan atau peluang secara umum, tanpa menjabarkan kebijakan yang konkret dan aplikatif. Isu–isu strategis seperti integrasi hulu–hilir, evaluasi kuantitatif terhadap dampak digitalisasi, serta keterkaitan antara hilirisasi dengan agenda bioekonomi dan ekonomi sirkular juga belum banyak dibahas secara eksplisit, terutama dalam konteks strategi pembangunan nasional di negara–negara berkembang.

Artikel ini menawarkan *novelty* dengan menyajikan pemetaan sistematis terhadap inovasi dalam hilirisasi industri berdasarkan lebih dari 20 studi lintas sektor, negara, dan pendekatan teoritis. Pemetaan ini memungkinkan identifikasi pola inovasi yang sebelumnya terfragmentasi, serta menunjukkan bahwa teknologi digital seperti SaaS dan RTIR bukan hanya alat bantu, melainkan faktor strategis dalam menciptakan nilai tambah hilir. Kebaruan lainnya terletak pada pendekatan kontekstual dalam membaca peluang dan tantangan hilirisasi, yang tidak bersifat generik tetapi dipengaruhi oleh kondisi sektoral, kapasitas teknologi, dan kebijakan masing–masing negara. Artikel ini juga menekankan pentingnya kebijakan yang sinergis dan adaptif, serta perlunya dukungan terarah terhadap UMKM, riset dan pengembangan, dan infrastruktur hilir sebagai fondasi strategis untuk mendorong hilirisasi berbasis inovasi secara berkelanjutan.

LANDASAN TEORI

Bagian ini mengulas literatur relevan yang menjadi dasar teoritis dan empiris bagi pemahaman inovasi dalam hilirisasi industri global. Tinjauan ini dibagi menjadi tiga bagian utama: pendekatan teoritis yang relevan, berbagai bentuk inovasi yang teridentifikasi dalam proses hilirisasi, dan ringkasan studi empiris lintas sektor serta wilayah yang memperkaya pemahaman tentang praktik hilirisasi. Dari 100 jurnal scopus yang dikumpulkan kemudian terpilih 25 jurnal yang dianggap

paling relevan dengan klasifikasi seperti berikut :



Grafik 2.1 Klasifikasi Jurnal Scopus Terpilih

Sumber : data jurnal tentang hilirisasi industri yang diolah di aplikasi riset Watase Uake

Bagian bab ini juga mengulas beberapa pendekatan yaitu terdiri dari :

a) Pendekatan Teoritis

Beberapa kerangka teoritis memberikan lensa untuk menganalisis peran inovasi dalam hilirisasi industri:

Resource–Based View (RBV)

Teori ini menekankan bahwa keunggulan kompetitif suatu perusahaan berasal dari sumber daya internal yang dimilikinya. Dalam konteks hilirisasi, RBV relevan karena strategi ini seringkali membutuhkan sumber daya spesifik yang langka, sulit ditiru, bernilai, tidak dapat digantikan, dan tidak mudah dipindahkan (inimitable, valuable, non–substitutable, immobile) (Appiah, Possumah, & Sanusi, 2021). Sumber daya ini bisa bersifat berwujud (misalnya aset fisik, teknologi, sumber daya finansial) atau tidak berwujud (misalnya keterampilan, pengetahuan, kapabilitas, reputasi). Menurut RBV, perusahaan yang berhasil dalam hilirisasi, terutama di sektor yang kompetitif seperti minyak dan gas hilir di Ghana, memerlukan sumber daya dan kompetensi inti untuk mengungguli pesaing. Kapabilitas teknologi informasi, misalnya, disorot relevansinya untuk kesuksesan

kompetitif (Mujahid Ghouri et al., 2021).

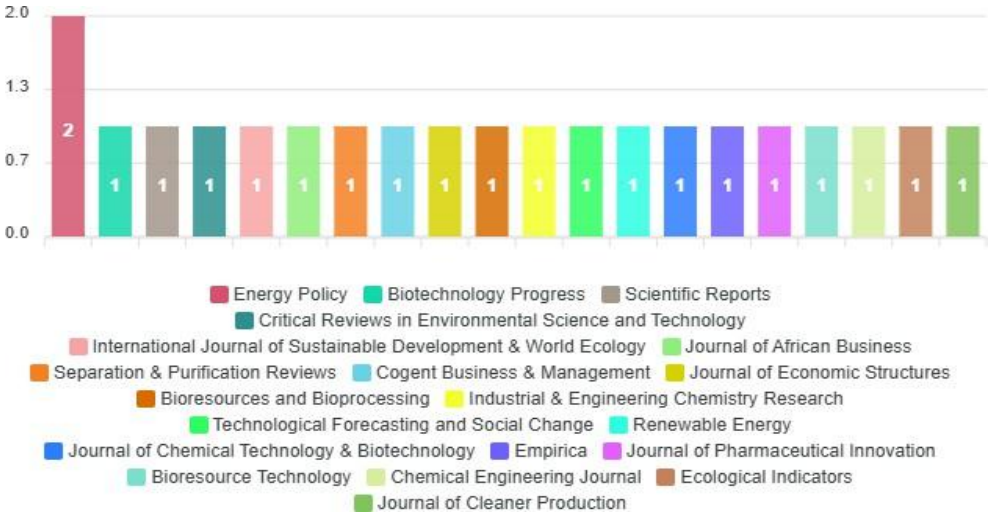
Industrial Ecology

Pendekatan ini melihat sistem industri dalam analogi ekosistem alam, menekankan interkoneksi dan siklus material untuk mencapai keberlanjutan (Yuan et al., 2022). Dalam konteks hilirisasi, Industrial Ecology relevan untuk memahami bagaimana proses industri dapat diintegrasikan secara ekologis untuk mengurangi dampak lingkungan dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Studi mengenai koordinasi ekonomi industri–ekologis di Yangtze River Economic Belt, China, misalnya, menganalisis hubungan antara ekonomi industri dan ekologi industri. Ekologi industri sebagai subsistem mencakup tekanan ekologis, konsumsi sumber daya, manajemen ekologis, dan teknologi hijau. Pengembangan ekonomi industri– ekologis bertujuan mengintegrasikan keunggulan ekologis ke dalam pembangunan, mendorong ekonomi dan ekologi industri, serta menumbuhkan industri hijau. Ini memberikan dasar teoritis untuk hilirisasi yang tidak hanya meningkatkan nilai ekonomi tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan.

Techno–economic Analysis (TEA)

TEA adalah alat evaluasi yang digunakan untuk menilai kelayakan teknis dan ekonomi dari suatu proses atau inovasi (Ramdin et al., 2021). Dalam hilirisasi, TEA sangat penting untuk mengevaluasi apakah suatu rute pemrosesan bahan mentah atau semi–jadi menjadi produk bernilai tambah lebih tinggi layak secara komersial. Literatur menunjukkan penggunaan TEA dalam mengevaluasi proses seperti elektroreduksi CO2 menjadi produk C27, produksi astaxanthin dan protein berbasis tanaman, serta evaluasi proses bioproduksi dan pemrosesan hilir untuk produk seperti asam sitrat (Mores et al., 2021) dan asam suksinat (Mancini et al., 2020). TEA membantu mengidentifikasi biaya, potensi

pendapatan, dan tantangan teknis dari inovasi hilirisasi, memberikan dasar berbasis bukti untuk pengambilan keputusan investasi dan kebijakan. Berikut adalah Grafik 2.1 Klasifikasi Jurnal dilihat dari Area Studi yang dikelola dengan Watase Uake secara mandiri oleh penulis.



Grafik 2.2 Klasifikasi Jurnal Berdasar Area Studi

Sumber : data jurnal tentang hilirisasi industri yang diolah di aplikasi riset Watase Uake

b) Bentuk Inovasi dalam Hilirisasi

Inovasi dalam hilirisasi mewujud dalam berbagai bentuk, seringkali melibatkan kemajuan teknologi, digitalisasi, dan pengembangan model operasional:

Teknologi Bioproses

Sektor bio menunjukkan banyak inovasi dalam pemrosesan hilir (*downstream processes* dan *downstream techniques*). Ini mencakup peningkatan produksi biogas melalui strategi hilir. Inovasi juga signifikan dalam produksi dan pemrosesan enzim seperti protease, termasuk teknik pemurnian dan aplikasi industrinya. Produksi biokimia penting seperti asam sitrat dan asam suksinat juga terus berinovasi dalam proses fermentasi dan teknik pemrosesan hilir (Mores et al., 2021; Mancini et al., 2020). Dalam industri biofarmasi, pengembangan

antibodi monoklonal (mAbs) melibatkan pemrosesan hilir, dengan inovasi menuju manufaktur berkelanjutan (*continuous biomanufacturing*) dan eksplorasi teknik bioseparasi alternatif seperti sistem dua fase berair (*aqueous two–phase systems*).

Digitalisasi Rantai Pasok dan Adopsi Industri 4.0

Teknologi digital dan konsep Industri 4.0 berperan penting dalam mengoptimalkan operasi hilir, khususnya dalam rantai pasok (Mujahid Ghouri et al., 2021). Penerapan teknologi penerimaan informasi waktu nyata (*real–time information receiving* – RTIR) menggunakan teknologi Industri 4.0 dalam operasi hilir dapat memberikan wawasan penting bagi perusahaan dan menciptakan nilai bagi pelanggan. Kapabilitas teknologi informasi dan digitalisasi mendukung rantai pasok. Literatur juga menyoroti pentingnya adopsi sistem informasi (*information systems* – IS) bagi bisnis untuk bertahan dan meningkatkan kinerja dalam lingkungan kompetitif. Topik seperti rantai pasok digital (*digital supply chain*), IoT, blockchain, dan analisis bisnis merupakan area penelitian yang berkembang relevan dengan hilirisasi.

Pengembangan Produksi Bio–berbasis

Sumber–sumber mengindikasikan inovasi dalam memproduksi bahan kimia dan produk lain dari sumber daya non–fosil. Ini termasuk bioproduksi asam sitrat dan asam suksinat, yang dapat berasal dari biomassa. Transformasi CO2 dan gliserol (yang dapat berasal dari biomassa seperti kelapa sawit) menjadi bahan kimia seperti etilen dan asam glikolat melalui elektroreduksi juga merupakan inovasi (Ramdin et al., 2021). Industri biofarmasi yang memproduksi mAbs dari mikroorganisme atau kultur sel juga merupakan bagian dari produksi berbasis bio. Selain itu, analisis tekno– ekonomi juga diterapkan pada produksi produk seperti astaxanthin dan protein berbasis tanaman,

menunjukkan minat pada pemanfaatan sumber daya nabati untuk produk bernilai tambah. Berikut Tabel 2.1 Innovation in downstream processes, yang secara umum bisa dilihat agar lebih komprehensif dalam membaca proses inovasi hilirisasi :

Tabel 2.1 Innovation in downstream processes

NO	Author	Innovation in downstream processes
1	Gyamfi et al. (2023)	This Research Focuses On The Relationship Between ekonomi dan lingkungan
2	Diem et al. (2022)	A New Methodology For Measuring Economic Systemic
3	Yuan et al. (2022)	The Study Uses Comprehensive Evaluation, Lotka–Vol
4	Appiah et al. (2021)	Identifying Factors Influencing Investment Intenti
5	Bauer and Minceva (2021)	The Study Uses Comprehensive Evaluation, Lotka–Vol
6	Mores et al. (2021)	Innovation Of Environmentally Friendly Method For Industry
7	Mujahid et al. (2021)	Downstream Innovation: SaaS For Real–time Customer
8	Ramdin et al. (2021)	Design Of Post–reduction Complex C2+ Product Separation
9	Saavedra et al. (2021)	Alternative Downstream PHA Recovery Optimization.
10	Zhang et al. (2021)	Wastewater Treatment Technology And Efficiency
11	Appiah et al. (2020)	Sources Do Not Discuss
12	Rifin et al. (2020)	Sources Do Not Discuss
13	Tabatabaei et al. (2020)	Biological Techniques For Purification And Improvement
14	Yetkin and Co?kun	Sources Do Not Discuss

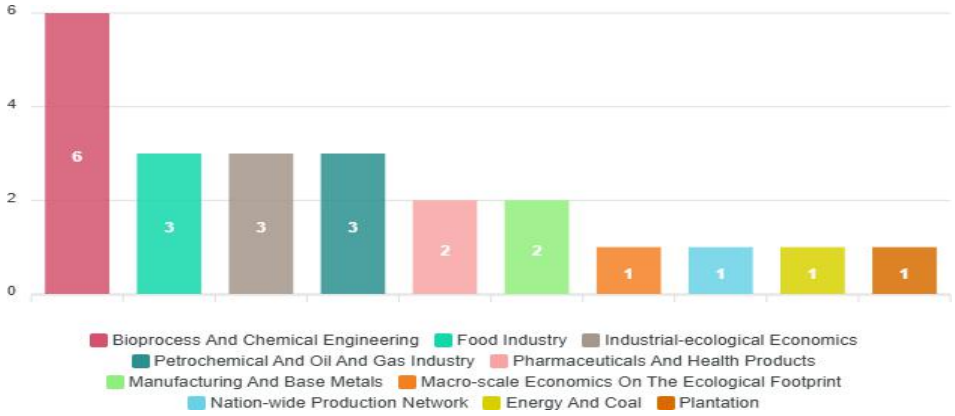
	(2020)	
15	Yuan et al. (2020)	Sources Do Not Discuss
16	Gimenes et al. (2019)	Aquatic Two–phase System (ATPS) Is Called A New Method
17	Mancini et al. (2019)	Sources Do Not Discuss
18	McNulty et al. (2019)	Plant–based Production Platform
19	Yang et al. (2019)	Innovations Include Chromatography, Filtration, An
20	Fu et al. (2018)	downstream company equity investment in upstream, increase efficiency
21	Wang et al. (2016)	Downstream Feed–In Tariff policy: PV power plant subsidies drive the market.
22	Mazzanti et al. (2014)	Downstream emission intensity triggers upstream sector to adopt eco–innovation to reduce carbon footprint
23	Tran et al. (2013)	Adoption of alternative bioseparation techniques (MC, Pptn) improves bioproduct purification, complements chromatography
24	FAULÍ–OLLER et al. (2011)	Downstream mergers drive upstream R&D innovation, cost reduction
25	Buehler and Schmutzler (2008)	Downstream company investment reduces product transformation costs, improves process efficiency

c)Studi Lintas S

Berbagai studi empiris dalam literatur menunjukkan praktik dan tantangan hilirisasi di beragam sektor dan konteks geografis:

Sektor Energi, Pangan, Migas, dan Kimia

Hilirisasi sangat relevan di sektor energi (produksi biogas (Tabatabaei et al., 2020), biofuel dari kelapa sawit (Rifin et al., 2020), teknologi reduksi CO2 (Ramdin et al., 2021; Mazzanti et al., 2015), pangan (pengolahan kelapa sawit menjadi produk pangan seperti minyak goreng, mitigasi limbah pangan di rantai pasok hilir (Yetkin Özbük & Coşkun, 2020), bioproduksi bahan tambahan pangan seperti asam sitrat (Mores et al., 2021), migas (investasi dan strategi di sektor hilir migas, misalnya di Ghana (Appiah, Possumah, & Sanusi, 2021)(Appiah, Possumah, Ahmat, et al., 2021) dan adopsi teknologi di China, serta kimia dan bio–berbasis (produksi biokimia seperti protease (Gimenes et al., 2021), asam sitrat, asam suksinat, serta konversi CO2 menjadi bahan kimia. Sektor biofarmasi (produksi mAbs) juga merupakan sektor industri penting dengan fokus hilir. Berikut adalah Grafik 2.2 Klasifikasi Jurnal Berdasarkan Sektor Hilirisasi bisa dilihat di bawah ini :

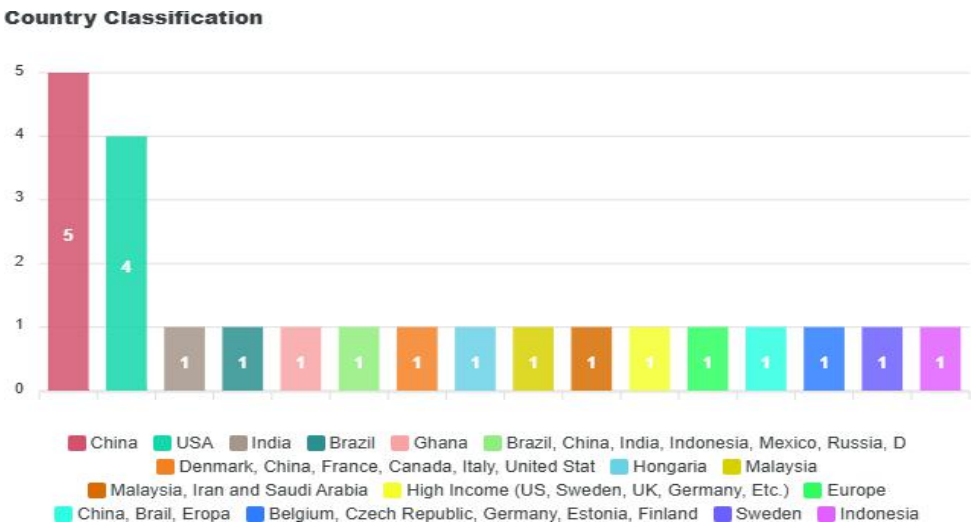


Grafik 2.2 Klasifikasi Jurnal Berdasarkan Sektor Hilirisasi

Sumber : data jurnal tentang hilirisasi industri yang diolah di aplikasi riset Watase Uake

Konteks Negara dan Wilayah

Studi mencakup berbagai negara dan wilayah. Di China, fokus pada koordinasi ekonomi industri–ekologis di Yangtze River Economic Belt menunjukkan upaya hilirisasi yang berkelanjutan (Yuan et al., 2022; Zhang et al., 2021), serta studi tentang kapabilitas IT dalam rantai pasok (Mujahid Ghouri et al., 2021) dan adopsi RTIR di sektor migas (Mujahid Ghouri et al., 2021). Ghana memberikan perspektif dari negara berkembang, menganalisis faktor–faktor yang memengaruhi investasi UKM di sektor migas hilir dari sudut pandang kekuatan industri, makro–lingkungan, dan RBV (Appiah, Possumah, & Sanusi, 2021). Brazil muncul dalam konteks studi bioproduksi protease dan sebagai bagian dari analisis ekologis di negara–negara E736. Indonesia adalah studi kasus penting, dengan perhatian besar pada hilirisasi sektor kelapa sawit untuk meningkatkan nilai tambah, mengurangi ekspor mentah, dan memanfaatkan pasar domestic, termasuk upaya menuju ekonomi sirkular dan hijau. Negara–negara maju seperti AS dan di Eropa adalah sumber inovasi lingkungan dan bioproses (Mazzanti et al., 2015), meskipun kebijakan mereka terkadang menimbulkan tantangan bagi ekspor dari negara berkembang (misalnya sawit dari Indonesia). Kelompok negara E7 (termasuk Brazil, China, India, Indonesia, Meksiko, Rusia, Turki) menjadi objek studi terkait hubungan globalisasi ekonomi, konsumsi energi, dan dampak lingkungan, yang relevan dengan konteks hilirisasi di negara–negara berkembang utama. Studi lain juga mencakup negara dan wilayah seperti Ghana, Uganda, BRICS, dan negara– negara Eropa lainnya terkait inovasi (Mazzanti et al., 2015; Tabatabaei et al., 2020). Berikut adalah jurnal–jurnal yang telah diklasifikasikan negara tempat penelitian oleh peneliti dalam bentuk grafik 2.3 Klasifikasi Negara Tempat Penelitian :



Grafik 2.3 Klasifikasi Negara Tempat Penelitian

Sumber : data jurnal tentang hilirisasi industri yang diolah di aplikasi riset Watase Uake

Tinjauan literatur ini menggarisbawahi landasan teoritis untuk memahami hilirisasi inovatif, mengidentifikasi berbagai bentuk inovasi yang terjadi, dan menyajikan bukti empiris dari beragam sektor dan wilayah, menetapkan dasar untuk analisis lebih lanjut mengenai peluang, tantangan, dan implikasi kebijakan.

METODE PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan metodologi yang digunakan untuk melakukan tinjauan literatur komprehensif mengenai inovasi dalam hilirisasi industri global, berdasarkan artikel– artikel ilmiah yang telah ditinjau.

Metode Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan studi tinjauan literatur (literature review). Metode ini dipilih untuk mensintesis dan mengintegrasikan temuan dari berbagai studi guna memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai lanskap inovasi dalam hilirisasi industri global, serta mengidentifikasi peluang, tantangan,

dan arah kebijakan yang relevan berdasarkan bukti empiris dan teoritis yang ada.Tinjauan dilakukan terhadap artikel–artikel ilmiah yang terindeks dalam database Scopus3 dalam rentang waktu tahun 2003 hingga 2023. Pemilihan periode ini bertujuan untuk menangkap perkembangan terkini dalam literatur mengenai inovasi dan hilirisasi industri, terutama dengan munculnya teknologi baru dan perubahan kebijakan global. Perlu dicatat bahwa detail spesifik mengenai kata kunci pencarian, strategi kueri, dan proses seleksi awal yang tepat untuk menghasilkan kumpulan sumber yang digunakan dalam tinjauan ini tidak dijelaskan secara eksplisit dalam sumber–sumber yang disediakan.

Kriteria Inklusi

Artikel–artikel ilmiah yang disertakan dalam tinjauan ini dipilih berdasarkan kriteria inklusi sebagai berikut: Studi yang secara eksplisit mengkaji inovasi... dalam konteks hilirisasi industri (downstream processes/operations). Konteks hilirisasi ini mencakup transformasi bahan mentah atau produk semi–jadi menjadi produk bernilai tambah tinggi, serta optimalisasi operasi dan rantai pasok di tahap akhir. Studi yang relevan dengan sektor–sektor industri yang menjadi fokus tinjauan, termasuk namun tidak terbatas pada energi, pangan, migas, dan kimia. Studi yang mencakup analisis pada tingkat perusahaan, industri, atau makro (regional/negara), relevan dengan konteks global dan lintas wilayah. Jurnal–jurnal scopus yang dikumpulkan sesuai dengan tema dengan hilirisasi industri sebanyak 100 jurnal , ketika diperdalam, dijalankan kriteria inklusi tersisa 25 jurnal yang relevan dengan hilirisasi indusri.

Analisis Tematik

Artikel–artikel yang memenuhi kriteria inklusi kemudian dianalisis menggunakan pendekatan analisis tematik (thematic analysis). Proses analisis ini melibatkan identifikasi, pengkodean, dan kategorisasi pola

atau tema kunci yang muncul dalam literatur. Tema–tema utama yang menjadi fokus analisis didasarkan pada kerangka konseptual penelitian dan mencakup: Pendekatan teoritis yang digunakan untuk menjelaskan atau menganalisis inovasi dalam hilirisasi, seperti *Resource–Based View (RBV)*, *Industrial Ecology*, dan *Techno–economic Analysis (TEA)*. Identifikasi bentuk–bentuk inovasi yang muncul dalam proses dan operasi hilirisasi, termasuk inovasi teknologi, proses, dan digitalisasi (seperti teknologi *real– time information receiving* – RTIR dan konsep Industri 4.0. Telaah studi empiris lintas sektor dan wilayah, mencatat sektor industri yang diteliti3, lokasi geografis studi (negara atau wilayah seperti China, Ghana, Brazil, Indonesia, serta negara maju di AS dan Eropa dan konteks spesifik penelitian.Identifikasi tantangan dan peluang yang terkait dengan inovasi hilirisasi, yang mungkin muncul dari faktor internal, mikro–lingkungan (industri), atau makro– lingkungan (ekonomi, politik, sosial, teknologi, lingkungan, hukum). Sumber–sumber yang tersedia menyinggung tantangan spesifik seperti pengelolaan limbah pangan, isu keberlanjutan dalam industri kelapa sawit, atau tantangan teknis dalam bioprosesi.

Pengumpulan rekomendasi kebijakan. yang disarankan dalam literatur untuk mendorong atau mendukung inovasi dalam hilirisasi industri, termasuk kebijakan terkait lingkungan dan ekonomi. Melalui analisis tematik ini, penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran terstruktur mengenai pengetahuan yang ada, mengidentifikasi kesenjangan penelitian, dan memberikan dasar yang kuat untuk diskusi mengenai implikasi kebijakan. Proses spesifik pengkodean dan pengembangan tema dari kumpulan artikel yang digunakan untuk tinjauan ini tidak dijelaskan secara rinci dalam sumber yang disediakan.

PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan temuan utama dari tinjauan literatur mengenai inovasi dalam hilirisasi industri global, diikuti dengan diskusi mendalam mengenai peluang, tantangan, dan implikasi kebijakan berdasarkan bukti yang disintesis dari artikel–artikel ilmiah yang ditinjau.

Temuan Utama

Tinjauan literatur mengidentifikasi beberapa tema utama terkait inovasi dalam konteks hilirisasi industri:

Inovasi Teknologi dalam Bioproses dan Sektor Terkait

Literatur menunjukkan bahwa inovasi teknologi, termasuk inovasi biologis dan proses, sangat menonjol dalam proses hilirisasi, terutama di sektor bioproses (Tabatabaei et al., 2020). Studi menyoroti inovasi biologis untuk meningkatkan produksi dan kualitas biogas, menggambarkan sistem dua fase akuatik (ATPS) sebagai metode baru dalam proses hilir untuk enzim protease (Gimenes et al., 2021), dan membahas paradigma manufaktur yang berubah serta peran teknologi bioseparasi alternatif dalam pemrosesan hilir biofarmasi (Tran et al., 2014). Meskipun sumber yang tersedia tidak secara spesifik membandingkan dominasi inovasi teknologi lintas semua jenis inovasi (organisasi, pemasaran, dll.) atau semua sektor yang relevan (seperti migas secara umum di luar konteks spesifik), temuan dari sektor bioproses secara kuat mendukung kehadiran signifikan inovasi teknologi/biologis dalam hilirisasi. Di sektor terkait energi dan kimia, terdapat fokus pada inovasi proses seperti elektroreduksi CO2 untuk menghasilkan produk C2, termasuk pemodelan proses dan pemisahan hilir16. Inovasi proses juga terlihat dalam industri kelapa sawit, seperti pengembangan

pabrik tanpa uap (steamless) dan konversi minyak jelantah menjadi biodiesel.

Digitalisasi untuk Efisiensi dan Pengambilan Keputusan Real-time

Digitalisasi, khususnya penerapan teknologi Industri 4.0, ditemukan mendukung efisiensi operasional dan memungkinkan pengambilan keputusan berbasis informasi real-time dalam rantai pasok hilir. Sebuah studi empiris secara eksplisit meneliti penerimaan informasi real-time (RTIR) menggunakan teknologi Industri 4.0 dalam operasi hilir di sektor ritel, makanan & minuman (F&B),dan akomodasi. Studi ini menunjukkan bagaimana RTIR di operasi hilir membantu perusahaan tidak hanya dalam perencanaan, tetapi juga menciptakan nilai bagi pelanggan. Penerapan teknologi seperti SaaS (Software as a Service) dari perspektif Industri 4.0 untuk RTIR digali, mengaitkannya dengan keterlibatan pelanggan (CE) (Mujahid Ghouri et al., 2021). Ini menegaskan peran digitalisasi dalam mengoptimalkan proses dan interaksi di tahap hilir rantai nilai.

Peluang Inovasi

Tinjauan literatur mengidentifikasi beberapa peluang kunci bagi inovasi dalam mendorong hilirisasi industri:

Diversifikasi Produk Berbasis Biomassa

Terdapat peluang signifikan untuk diversifikasi produk melalui pemanfaatan biomassa dan limbah menjadi produk bernilai tambah tinggi. Contoh yang diidentifikasi dalam literatur meliputi produksi asam suksinat (SA) dari bahan baku berbasis bio (Mancini et al., 2020), konversi minyak jelantah menjadi biodiesel, pemanfaatan produk samping agro-industri untuk produksi biogas (Tabatabaei et al., 2020), serta potensi limbah padat kelapa sawit yang bernilai tinggi.

Integrasi Bioekonomi dan Ekonomi Sirkular

Hilirisasi inovatif semakin terkait erat dengan prinsip bioekonomi dan ekonomi sirkular. Literatur secara eksplisit membahas Ekonomi Sirkular dalam Industri Makanan dan Minuman, termasuk manajemen limbah dan daur ulang plastic (Mancini et al., 2020). Konsep seperti biorefineri untuk produksi bahan kimia berbasis bio dan pemanfaatan limbah dalam sistem digesti anaerobik untuk biogas merupakan manifestasi integrasi ini. Studi juga menyinggung jaringan simbiosis industri sebagai bagian dari ekonomi sirkular.

Adaptasi Teknologi Rendah Karbon dan Energi Terbarukan

Adopsi dan pengembangan teknologi yang mengurangi jejak karbon dan memanfaatkan energi terbarukan adalah peluang penting. Produksi biogas dan biometana dari biomassa1... serta produksi biodiesel dari minyak jelantah. adalah contoh nyata. Selain itu, penelitian mengenai elektroreduksi CO2 untuk menghasilkan bahan kimia bernilai16 menunjukkan arah inovasi dalam pemanfaatan karbon. Literatur juga secara umum membahas eco–innovation yang bertujuan mengurangi emisi CO2 (Mazzanti et al., 2015).

Tantangan Implementasi Inovasi

Implementasi inovasi dalam hilirisasi industri menghadapi berbagai tantangan:

Biaya Tinggi, Hambatan Regulasi, dan Keterbatasan

Tantangan terkait investasi teknologi mencakup ekspektasi yang lebih tinggi, analisis valuasi tradisional, metode pengadaan yang lemah, ketidakpatuhan teknologi, efek negatif pada produk/layanan eksisting, dan manajemen berbagi informasi (Mujahid Ghouri et al., 2021). Di sektor daur ulang plastik, keterbatasan teknologi di hilir menjadi hambatan, bersama dengan pasokan bahan baku yang tidak berkualitas dari hulu

akibat kurangnya segregasi limbah. Pengumpulan minyak jelantah untuk biodiesel juga menghadapi tantangan seperti tidak adanya regulasi dan persaingan dengan kolektor swasta. Peraturan lingkungan di pasar ekspor (seperti Resolusi Parlemen Eropa terkait impor CPO)) dapat menjadi hambatan regulasi yang signifikan (Rifin et al., 2020).

Kesenjangan atau Ketidakseimbangan antara Inovasi Hulu dan Hilir

Literatur menyiratkan bahwa koordinasi antara tahapan hulu dan hilir sangat penting dan ketidakseimbangan dapat menjadi tantangan. Dalam industri daur ulang plastik, keterbatasan di sisi hilir (teknologi) dan hulu (pasokan berkualitas) secara bersamaan menghambat industri. Tinjauan lain membahas integrasi sektor hulu/hilir dalam konteks inovasi lingkungan. Studi mengenai integrasi vertikal juga menunjukkan bagaimana keputusan investasi hilir dapat dipengaruhi oleh struktur hulu. Ini menyoroti kebutuhan untuk pendekatan yang terintegrasi dalam mendorong inovasi sepanjang rantai nilai.

Diskusi Implikasi Kebijakan

Temuan dari tinjauan literatur ini memiliki implikasi penting bagi perumusan kebijakan yang mendukung inovasi dalam hilirisasi industri:

Pentingnya Sinergi Antara Kebijakan Industri, Lingkungan, dan Inovasi

Berbagai sumber menekankan peran krusial kebijakan dalam mendorong inovasi dan hilirisasi berkelanjutan (Mazzanti et al., 2015). Kebijakan pemerintah (seperti program Pemulihan Ekonomi Nasional dan Undang–undang Cipta Kerja di Indonesia) dapat menjadi respons terhadap tantangan ekonomi. Dukungan kebijakan diperlukan untuk menyertai promosi teknologi, seperti perbaikan manajemen pengumpulan limbah di samping

pengenalan teknologi daur ulang. Kebijakan minyak dan gas memiliki pengaruh signifikan terhadap niat investasi. Kebijakan lingkungan yang efektif, seperti penerapan biaya kerusakan lingkungan dan pengendalian sumber daya strategis, dianggap penting untuk keberlanjutan lingkungan dalam konteks globalisasi ekonomi. Ini menunjukkan bahwa kebijakan yang efektif harus bersifat sinergis, mengintegrasikan tujuan industri, lingkungan, dan inovasi.

Perlunya Dukungan Spesifik

Insentif Riset dan Pengembangan (R&D)

Kolaborasi antara industri dan pusat penelitian/universitas sangat penting untuk inovasi teknis yang mungkin tidak dimiliki oleh perusahaan secara internal (PAGE, 2023). Intensitas pengeluaran R&D juga ditemukan memengaruhi koordinasi industri–ekologi (Yuan et al., 2022), menunjukkan bahwa kebijakan perlu mendorong investasi R&D.

Dukungan terhadap Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM)

Terdapat kebutuhan untuk mendukung UMKM agar meningkatkan kontribusi mereka terhadap ekonomi digital dan mengurangi kesenjangan teknologi dalam implementasi Industri 4.0. Kebijakan perlu memfasilitasi akses UMKM terhadap teknologi hilir dan informasi real–time.

Investasi Infrastruktur Teknologi Hilir

Seiring dengan promosi inovasi teknologi, kebijakan harus mempertimbangkan dukungan untuk perbaikan infrastruktur hilir. Contoh dalam industri daur ulang plastik menunjukkan bahwa keterbatasan teknologi hilir merupakan hambatan (PAGE, 2023). Selain itu, kebijakan perlu mendukung penyesuaian industri untuk **memanfaatkan pasar domestik dan memperkuat sektor hilir**3, yang mungkin memerlukan investasi infrastruktur.

Secara keseluruhan, hasil tinjauan menunjukkan bahwa inovasi dalam hilirisasi industri global didorong oleh kemajuan teknologi dan digitalisasi, menawarkan peluang dalam pemanfaatan biomassa dan integrasi model ekonomi baru, namun dihadapkan pada tantangan biaya, regulasi, dan kompleksitas interkoneksi hulu–hilir. Menjawab tantangan dan memanfaatkan peluang ini membutuhkan kerangka kebijakan yang terkoordinasi dan dukungan yang ditargetkan, terutama untuk R&D, UMKM, dan infrastruktur hilir.

KESIMPULAN

Tinjauan literatur ini menganalisis peran inovasi dalam hilirisasi industri global, mengidentifikasi peluang, tantangan, dan implikasi kebijakan. Berdasarkan sintesis temuan literatur, beberapa kesimpulan utama dapat ditarik: Inovasi merupakan pendorong utama efektivitas hilirisasi di berbagai sektor industri global. Berbagai studi menunjukkan inovasi teknologi (seperti bioproses... dan proses industri) dan digital (seperti RTIR dalam Industri 4.0) meningkatkan efisiensi, menciptakan nilai tambah, dan mendiversifikasi produk hilir. Inovasi adalah katalisator penting untuk pergerakan dan peningkatan nilai di tahap hilir. Dukungan kebijakan dan ekosistem inovasi yang terintegrasi sangat krusial untuk menghadapi tantangan struktural dan teknologi. Hilirisasi berbasis inovasi menghadapi tantangan biaya tinggi dan keterbatasan SDM. Kebijakan pemerintah, termasuk dukungan insentif R&D, bantuan UMKM dalam adopsi teknologi, dan investasi infrastruktur, serta sinergi kebijakan industri, lingkungan, dan inovasi, sangat dibutuhkan. Inovasi hilirisasi berkembang optimal dalam ekosistem yang terintegrasi dengan kebijakan yang mendukung. Kajian lanjutan diperlukan untuk mengeksplorasi strategi hilirisasi berbasis inovasi yang adaptif terhadap konteks lokal dan dinamika global. Mengingat keragaman sektoral dan

geografis literatur5... dan pengaruh dinamika global, penelitian mendalam diperlukan. Area studi masa depan dapat mencakup mekanisme adaptasi inovasi di berbagai konteks, penjembatan kesenjangan hulu– hilir18, penanganan tantangan biaya/SDM, dan peran inovasi dalam ketahanan dan ekonomi sirkular rantai pasok hilir.

Sebagai penutup, inovasi mentransformasi hilirisasi industri global, yang efektivitasnya bergantung pada kebijakan strategis dan ekosistem terintegrasi. Kajian masa depan krusial untuk memandu strategi inovasi hilirisasi yang adaptif.

DAFTAR PUSTAKA

Appiah, M. K., Possumah, B. T., Ahmat, N., & Sanusi, N. A. (2021). Do Industry Forces Affect Small and Medium Enterprise's Investment in Downstream Oil and Gas Sector? Empirical Evidence from Ghana. *Journal of African Business*, *22*(1), 42 – 60. https://doi.org/10.1080/15228916.2020.1752599

Appiah, M. K., Possumah, B. T., & Sanusi, N. A. (2021). Identifying and prioritizing factors of the formation of investment strategy in the Ghana's downstream oil and gas industry. *Cogent Business and Management*, *8*(1). https://doi.org/10.1080/23311975.2021.1948795

Boswell, John, 2016, Deliberating Downstream Countering Democratic Distortions in the Policy Process, Perspectives on Politics DOI: 10.1017/S1537592716001146

Bryan, Gharad; Choi, James J; Karlan, Dean, 2021, Randomizing Religion the Impact of Protestant Evangelism on Economic Outcomes, The Quarterly Journal of Economics DOI: 10.1093/qje/qjaa023

Buehler, Stefan; Schmutzler, Armin, 2008, Intimidating competitors –– Endogenous vertical integration and downstream investment in successive oligopoly, International Journal of Industrial Organization DOI: 10.1016/j.ijindorg.2006.11.005

Chen, Zhigang; Xu, Rongwei; Yi, Yongxi, 2020, A Differential Game of Ecological Compensation Criterion for Transboundary Pollution Abatement under Learning by Doing, Discrete Dynamics in Nature and Society DOI: 10.1155/2020/7932845

Diem, Christian; Borsos, András; Reisch, Tobias; Kertész, János; Thurner, Stefan, 2022, Quantifying firm–level economic systemic risk from nation–wide supply networks, Scientific Reports DOI: 10.1038/s41598–022–11522–z

Ehyaei, M.A.; Ahmadi, A.; El Haj Assad, M.; Rosen, Marc A., 2020, Investigation of an integrated system combining an Organic Rankine Cycle and absorption chiller driven by geothermal energy Energy, exergy, and economic analyses and optimization, Journal of Cleaner Production DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120780

FAULÍ–OLLER, RAMON; SANDONÍS, JOEL; SANTAMARÍA, JUANA, 2011, DOWNSTREAM MERGERS AND UPSTREAM INVESTMENT, The Manchester School DOI: 10.1111/j.1467–9957.2010.02209.x

Fu, Hong; Ma, Yongkai; Cai, Xiaoqiang, 2018, Downstream firm s investment with equity holding in decentralized assembly systems, Omega DOI: 10.1016/j.omega.2017.02.002

Gilbert–López, Bienvenida; Mendiola, José A.; van den Broek, Lambertus A.M.; Houweling– Tan, Bwee; Sijtsma, Lolke; Cifuentes, Alejandro; Herrero, Miguel; Ibáñez, Elena, 2017, Green compressed fluid technologies for downstream processing of Scenedesmus obliquus in a biorefinery approach, Algal Research DOI: 10.1016/j.algal.2017.03.011

Gimenes, N. C., Silveira, E., & Tambourgi, E. B. (2021). An Overview of Proteases: Production, Downstream Processes and Industrial Applications. *Separation and Purification Reviews*, *50*(3), 223 – 243. https://doi.org/10.1080/15422119.2019.1677249

Good, Kelly D.; VanBriesen, Jeanne M., 2017, Power Plant Bromide Discharges and Downstream Drinking Water Systems in Pennsylvania, Environmental Science & Technology DOI: 10.1021/acs.est.7b03003

Gordon, Tanja; Booysen, Frederik; Mbonigaba, Josue, 2020, Socio–economic inequalities in the multiple dimensions of access to

healthcare the case of South Africa, BMC Public Health DOI: 10.1186/s12889-020-8368-7

Gyamfi, Bright Akwasi; Onifade, Stephen Taiwo; Erdo?an, Sava?; Ali, Ernest Baba, 2023, Colligating ecological footprint and economic globalization after COP21 Insights from agricultural value-added and natural resources rents in the E7 economies, International Journal of Sustainable Development & World Ecology DOI: 10.1080/13504509.2023.2166141

Hibel, Leah C.; Boyer, Chase J.; Buhler-Wassmann, Andrea C.; Shaw, Blake J., 2021, The psychological and economic toll of the COVID-19 pandemic on Latina mothers in primarily low-income essential worker families., Traumatology DOI: 10.1037/trm0000293

Hirji, Rafik; Panella, Thomas, 2003, Evolving policy reforms and experiences for addressing downstream impacts in World Bank water resources projects, River Research and Applications DOI: 10.1002/rra.754

Indriyanti, A. (2024). SINTESA PERAN DSS (SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN) DALAM MANAJEMEN DAN PERKEMBANGANANNYA DI PERUSAHAAN. *Prima Ekonomika*, *15*(2), 80-91.

Londoño-Vélez, Juliana; Rodríguez, Catherine; Sánchez, Fabio, 2020, Upstream and Downstream Impacts of College Merit-Based Financial Aid for Low-Income Students Ser Pilo Paga in Colombia, American Economic Journal: Economic Policy DOI: 10.1257/pol.20180131

Mancini, E., Mansouri, S. S., Gernaey, K. V., Luo, J., & Pinelo, M. (2020). From second generation feed-stocks to innovative fermentation and downstream techniques for succinic acid production. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *50*(18), 1829 – 1873. https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1670530

Mazzanti, M., Marin, G., Mancinelli, S., & Nicolli, F. (2015). Carbon dioxide reducing environmental innovations, sector upstream/downstream integration and policy: evidence from the EU. *Empirica*, *42*(4), 709－735. https://doi.org/10.1007/s10663-014-9273-z

McNulty, Matthew J.; Gleba, Yuri; Tusé, Daniel; Hahn-Löbmann,

Simone; Giritch, Anatoli; Nandi, Somen; McDonald, Karen A., 2019, Techno–economic analysis of a plant– based platform for manufacturing antimicrobial proteins for food safety, Biotechnology Progress DOI: 10.1002/btpr.2896

Mersha, Adey Nigatu; Masih, Ilyas; De Fraiture, Charlotte; Wenninger, Jochen; Alamirew, Tena, 2018, Evaluating the Impacts of IWRM Policy Actions on Demand Satisfaction and Downstream Water Availability in the Upper Awash Basin, Ethiopia, Water DOI: 10.3390/w10070892

Mores, S., Vandenberghe, L. P. de S., Magalhães Júnior, A. I., de Carvalho, J. C., de Mello,
A. F. M., Pandey, A., & Soccol, C. R. (2021). Citric acid bioproduction and downstream processing: Status, opportunities, and challenges. *Bioresource Technology*, *320*(November 2020). https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124426

Mujahid Ghouri, A., Mani, V., Jiao, Z., Venkatesh, V. G., Shi, Y., & Kamble, S. S. (2021). An empirical study of real–time information–receiving using industry 4.0 technologies in downstream operations. *Technological Forecasting and Social Change*, *165*(April 2020), 120551. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120551

Nadeau, Tracie–Lynn; Rains, Mark Cable, 2007, Hydrological Connectivity Between Headwater Streams and Downstream Waters How Science Can Inform Policy1, JAWRA Journal of the American Water Resources Association DOI: 10.1111/j.1752–1688.2007.00010.x

Nusanto, T. S., Nurmoko, A. H., & Primawati, N. H. (2023). PENGELOLAAN DAYA TARIK WISATA NGLANGGERAN PATUK GUNUNG KIDUL: PERSPEKTIF BIDANG HUKUM, EKONOMI, FILSAFAT. *Prima Ekonomika*, *14*(2), 83–99.

PAGE. (2023). *Circular Economy in the Food and Beverage Industry for a Green Recovery — PAGE Indonesia: In–depth Assessment of Green Jobs and Skill Needs*.

Ramdin, M., De Mot, B., Morrison, A. R. T., Breugelmans, T., Van Den Broeke, L. J. P.,Trusler, J. P. M., Kortlever, R., De Jong, W., Moultos, O. A., Xiao, P., Webley, P. A., & Vlugt, T. J. H. (2021). Electroreduction of CO2/CO to C2Products: Process Modeling, Downstream Separation,

System Integration, and Economic Analysis. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, *60*(49), 17862 – 17880. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c03592

Rifin, A., Feryanto, Herawati, & Harianto. (2020). Assessing the impact of limiting Indonesian palm oil exports to the European Union. *Journal of Economic Structures*, *9*(1). https://doi.org/10.1186/s40008-020-00202-8

Rüdt, Matthias; Briskot, Till; Hubbuch, Jürgen, 2017, Advances in downstream processing of biologics – Spectroscopy An emerging process analytical technology, Journal of Chromatography A DOI: 10.1016/j.chroma.2016.11.010

Saavedra del Oso, M., Mauricio-Iglesias, M., & Hospido, A. (2021). Evaluation and optimization of the environmental performance of PHA downstream processing. *Chemical Engineering Journal*, *412*, 127687. https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127687

Salmani, Yasamin; Partovi, Fariborz Y.; Banerjee, Avijit, 2018, Customer-driven investment decisions in existing multiple sales channels A downstream supply chain analysis, International Journal of Production Economics DOI: 10.1016/j.ijpe.2018.07.029

Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Valijanian, E., Kazemi Shariat Panahi, H., Nizami, A. S., Ghanavati, H., Sulaiman, A., Mirmohamadsadeghi, S., & Karimi, K. (2020). A comprehensive review on recent biological innovations to improve biogas production, Part 2: Mainstream and downstream strategies. *Renewable Energy*, *146*, 1392–1407. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.047

Tran, R., Lacki, K., Davidson, A., Sharma, B., & Titchener-Hooker, N. (2014). Changing manufacturing paradigms in downstream processing and the role of alternative bioseparation technologies. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, *89*(10), 1534 – 1544. https://doi.org/10.1002/jctb.4234

Wang, Hongwei; Zheng, Shilin; Zhang, Yanhua; Zhang, Kai, 2016, Analysis of the policy effects of downstream Feed-In Tariff on China s solar photovoltaic industry, Energy Policy DOI: 10.1016/j.enpol.2016.03.026

Wang, Lei; Vo, Xuan Vinh; Shahbaz, Muhammad; Ak, Aysegul, 2020, Globalization and carbon emissions Is there any role of agriculture value–added, financial development, and natural resource rent in the aftermath of COP21, Journal of Environmental Management DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110712

Yanti, A. I. (2017). PENGARUH CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY (CSR) TERHADAP KINERJA PERUSAHAAN DENGAN KEPEMILIKAN ASING SEBAGAI VARIABEL MODERATING. *Prima Ekonomika*, *8*(2), 53–65.

Yetkin Özbük, R. M., & Coşkun, A. (2020). Factors affecting food waste at the downstream entities of the supply chain: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, *244*, 118628. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118628

Yuan, L., Li, R., He, W., Wu, X., Kong, Y., Degefu, D. M., & Ramsey, T. S. (2022). Coordination of the Industrial–Ecological Economy in the Yangtze River Economic Belt, China. *Frontiers in Environmental Science*, *10*(April), 1—16. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.882221

Yuan, Meng; Zhang, Haoran; Wang, Bohong; Huang, Liqiao; Fang, Kai; Liang, Yongtu, 2020, Downstream oil supply security in China Policy implications from quantifying the impact of oil import disruption, Energy Policy DOI: 10.1016/j.enpol.2019.111077

Zhang, Y., Sun, M., Yang, R., Li, X., Zhang, L., & Li, M. (2021). Decoupling water environment pressures from economic growth in the Yangtze River Economic Belt, China. *Ecological Indicators*, *122*, 107314. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107314

Lampiran I. Literatur Review Hilirisasi Global

NO	AUTHOR	CONTEXT AREA STUDI	COUNTRY	THEORETICAL FOUNDATION	Sektor Industri	Innovation in downstream processes	Sektor Industri	Peluang dan Tantangan	Key For Increasing Power competition industry
1	Gyamfi et al. (2023)	E7 Economy	Brazil, China, India, Indonesia, Mexico, Russia, D	Economic Growth And Environmental Degradation	Macro–scale Economics On The Ecological Footprint	This Research Focuses On The Relationship Between ekonomi dan lingkungan	refers to economic relations between E7 countries	E7 countries face environmental challenges, but have opportunities in renewable energy and sustainable agriculture.	E7 countries need to implement strict regulations, green taxes and alternative energy investments for economic sustainability.
2	Diem et al. (2022)	Supply Chain Management	Hongaria	Network Science	Nation–wide Production Network	A New Methodology For Measuring Economic Systemic	reduce systemic risk and increase economic resilie	Challenge Supply chain vulnerabilities are difficult to assess; Opportunity Quantify a company's systemic risk with granular data.	Critical enterprise monitoring, risk mitigation through redundancy, and network transparency are necessary for
3	Yuan et al. (2022)	Yangtze River Economic Belt (YREB)	China	Industrial–ecological Economy	Industrial–ecological Economics	The Study Uses Comprehensive Evaluation, Lotka–Vol	balanced development between econmy and ecology	Opportunities are YREB's green growth and development poles; challenges are pollution and regional imbalances.	focus on coordination, green transformation, and R&D

4	Appiah et al. (2021)	Conducted In The Downstream Oil And Gas Industry In Ghana	India	Integrates Resource–Based View (RBV) Theory, Theory Of Constraint, And Theory Of Strategic Positioning	Petrochemical And Oil And Gas Industry	Identifying Factors Influencing Investment Intenti	The journal found that resource–based strategies a	Identifying enablers offers innovation opportunities for competitiveness, addressing the challenges of resource constraints and stringent policies.	implies better government support policies
5	Bauer and Minceva (2021)	Techno–economic analysis of plant platforms for antimicrobial protein production with a focus on improving food safety.	USA	Techno–economic Analysis – TEA	Industrial–ecological Economics	The Study Uses Comprehensive Evaluation, Lotka–Vol	Competitive Production Cost	Plant–based platforms have the potential to produce cheap AMP, but the challenges are upstream–downstream costs and market acceptance.	Policy implications support the development of new production platforms to improve food security and reduce the economic burden of disease.

Lampiran I. Literatur Review Hilirisasi Global

6	Mores et al. (2021)	Industrial Biotechnology, Bioprocess, Separation and Purification (Downstream Processing), Fermentation.	China, Brail, Eropa	Microbial Fermentation And Downstream Processing Separation Techniques	Pharmaceuticals And Health Products	Innovation Of Environmentally Friendly Method For Industry	efficiency of sustainable bioproduction of citric	Opportunities include alternative raw materials and new technologies, but challenges include high costs and complexity of downstream processes.	Policies are needed to support sustainable downstream research, precipitation waste management, and renewable raw materials.
7	Mujahid et al. (2021)	Studi empiris penerimaan informasi real–time Industri 4.0 pada operasional hilir ritel, F&B, dan akomodasi.	Malaysia	Theory Of Information Sharing (TolS)	Food Industry	Downstream Innovation: SaaS For Real–time Customer	Industry 4.0 SaaS adoption for customer RTIR	Opportunities for adoption of Industry 4.0 technologies (SaaS, RTIR) increase SMEs' CE, but implementation challenges are not yet established.	Encourage technology investment to enhance the competitiveness of digital SMEs.

Lampiran I. Literatur Review Hilirisasi Global

8	Ramdin et al. (2021)	Elektroreduksi CO2/CO menjadi produk C2, pemodelan, pemisahan hilir, integrasi sistem, dan analisis ekonomi.	USA	Separation And Purification Of CO2/CO Electroreduction Products	Bioprocess And Chemical Engineering	Design Of Post–reduction Complex C2+ Product Separation	reduction of electrolyzer, electricity and system	Opportunities lie in industry integration, challenges include high costs and scale–up	requires incentives and regulations
9	Saavedra et al. (2021)	This research focuses on the downstream processing of PHA as a bio–based material to replace conventional oil–based plastics.	Europe	Life Cycle Assessment (LCA) And Life Cycle Costing (LCC)	Bioprocess And Chemical Engineering	Alternative Downstream PHA Recovery Optimization.	Process optimization and biorefinery integration	Integration of PHA processing in biorefinery with green solvents faces challenges of high energy, cost, and lack of data.	Integration of LCA into design supports a sustainable bioeconomy, informs bioplastic value chain policies, and encourages industrial symbiosis.

10	Zhang et al. (2021)	Yangtze River Economic Belt (YREB)	China	Sustainable Development	Industrial – ecological Economics	Wastewater Treatment Technology And Efficiency	sustainable decoupling of economic growth	YREB has the potential to improve water efficiency for sustainable development, but faces challenges of water scarcity and pollution.	Policy implications include provincial targets, water–saving technologies, industrial adjustment, urbanization, and virtual water trading for SD.
11	Appiah et al. (2020)	Downstream oil and gas sector in Ghana	Ghana	Porter's Five Forces Model	Petrochemical And Oil And Gas Industry	Sources Do Not Discuss	facilitating SME participation in the downstreams	The opportunities include revenue and services, while the challenges come from competition and downstream oil and gas market forces.	Policies must consider local industry and regulations to encourage SME participation in oil and gas downstreaming.

12	Rifin et al. (2020)	Evaluation of the impact of restrictions on Indonesian palm oil exports to the European Union, especially the Netherlands as the main and connecting market.	Indonesia	General Equilibrium Model	Plantation	Sources Do Not Discuss	Downstream investment and product diversification	Peluang ada pada pasar domestik dan sektor hilir, tantangannya penurunan permintaan dan harga jangka pendek	Kebijakan harus mendukung penyesuaian industri guna memanfaatkan pasar domestik dan memperkuat sektor hilir.
13	Tabatabaei et al. (2020)	Biological innovation improves biogas production and quality from biomass and waste through anaerobic digestion.	Malaysia, Iran and Saudi Arabia	Anaerobic Digestion (AD) And Microbial Biotechnology	Bioprocess And Chemical Engineering	Biological Techniques For Purification And Improvement	Reducing costs and increasing efficiency in downst	Opportunities include increasing value and sustainability, while the main challenges are upscaling, high costs, and lack of data.	Policy implications include R&D support, economic incentives, and stringent regulations for the adoption of biogas biological innovations.

14	Yetkin and Co?kun (2020)	Factors Causing Food Waste In Downstream Entities Of The Food Supply Chain	High Income (US, Sweden, UK, Germany, Etc.)	Organizational Theory	Food Industry	Sources Do Not Discuss	Sources do not discuss	Reducing downstream food waste is a huge sustainability opportunity, but is constrained by complexity between entities.	Downstream policies should target downstream entity– specific waste factors, such as donation regulations, standards, and public awareness.
15	Yuan et al. (2020)	China's Downstream Oil Supply Chain Security Disrupted As Crude Imports Hit Snags	China	Quantitative Assessment And System Simulation Applied To Supply Chain Analysis	Petrochemical And Oil And Gas Industry	Sources Do Not Discuss	Sources did not discuss the key to increasing indu	The challenge of downstreaming is that supply is vulnerable to imports, the opportunity is to strengthen it through quantitative identification of weak points.	Hilirisasi berdampak pada peningkatan cadangan, infrastruktur, reformasi industri, dan diversifikasi energi demi ketahanan pasokan

16	Gimenes et al. (2019)	General description of characteristics, production, downstream processes, and industrial applications of protease enzymes	Brazil	Principles Of Enzymology, Microbiology (related To Fermentation For Production), And Biochemical/Separation Engineering (related To Downstream Processes)	Bioprocess And Chemical Engineering	Aquatic Two–phase System (ATPS) Is Called A New Method	The sources did not discuss the key to the industr	The global protease market opportunity is large, but the main challenges for downstreaming are high costs (70–90% of total costs) and efficiency.	Diperlukan kebijakan yang mendorong riset dan investasi strategi hilirisasi hemat biaya untuk keberlanjutan industri.
17	Mancini et al. (2019)	Production of succinic acid (SA) as an important biological building block from renewable biomass via biorefinery, focusing on downstream techniques	Denmark, China, France, Canada, Italy, United Stat	Biorefinery Processes	Bioprocess And Chemical Engineering	Sources Do Not Discuss	Integrated biorefinery key to competitive succinic	The SA biomass market is growing rapidly, but challenges include high downstream costs and a lack of large–scale standardized technology.	Sumber mendukung penelitian dan pengembangan untuk produksi kimia berbasis bio yang berkelanjutan meski tidak membahas implikasi kebijakan.

18	McNulty et al. (2019)	Techno–economic analysis of plant platforms for antimicrobial protein production to improve food safety.	USA	Techno–economic Analysis – TEA	Food Industry	Plant–based Production Platform	reduce production costs	Opportunities: AMP production costs are competitive; Challenges: high initial costs and strict regulations for new products.	Kebijakan yang mempermudah persetujuan regulasi mendukung hilirisasi produk novel berbasis tanaman seperti AMP
19	Yang et al. (2019)	Economic analysis of antibody biopharmaceutical production	USA	Economic Analysis	Bioprocess And Chemical Engineering	Innovations Include Chromatography, Filtration, An	Reduce costs, increase productivity and flexibilit	Downstreaming has the potential to reduce costs and increase efficiency, but the challenge is that upstream and downstream costs are still high.	Hilirisasi berpeluang maju, namun implikasi kebijakan spesifik terkait mode operasional FDA belum dibahas.
20	Fu et al. (2018)	supply chain management	China	Economic Analysis	Manufacturing And Base Metals	downstream company equity investment in upstream, increase efficiency	power dynamics in supply chains	Downstream investments increase productivity, but challenges arise from market structure and cost efficiency.	The source did not discuss specific policy implications for downstreaming.

21	Wang et al. (2016)	Energy Economics and Policy	China	Economic Analysis	Energy And Coal	Downstream Feed–In Tariff policy: PV power plant subsidies drive the market.	renewable energy, especially solar PV	The huge opportunities of clean energy and FIT face challenges of cost, financing, capacity and technology.	Downstream policies boost domestic demand and manufacturing performance, essential for downstreaming of the PV industry.
22	Mazzanti et al. (2014)	environment and sustainability	Belgium, Czech Republic, Germany, Estonia, Finland	Porter Hypothesis (PH)	Manufactur ing And Base Metals	Downstream emission intensity triggers upstream sector to adopt eco–innovation to reduce carbon footprint	technological and organizational innovation	Downstreaming opportunities are driven by policy and market expectations; the main challenge is policy integration across sectors	Downstreaming policies must be sector/region specific and integrate value chains coherently.
23	Tran et al. (2013)	adopsi dan evaluasi teknik bioseparasi alternatif untuk pemrosesan hilir skala besar dalam biomanufaktur	Sweden	Technology Adoption	Pharmaceuticals And Health Products	Adoption of alternative bioseparation techniques (MC, Pptn) improves bioproduct purification, complements chromatography	reduce drug costs and increase productivity	The opportunities are reducing costs and increasing productivity, the challenges are technical, economic, logistical, regulatory barriers.	Support the gradual adoption of alternative techniques and technological improvements to increase effectiveness and efficiency.

24	FAULÍ–OLLER et al. (2011)	industrial economics or applied microeconomics	Spain	Industrial Organization Theory	General Industrial Economic Sector	Downstream mergers drive upstream R&D innovation, cost reduction	Downstream mergers drive upstream R&D, thereby low	Downstream mergers drive upstream R&D, thereby lowering production costs and increasing competitiveness.	Antitrust authorities should consider the positive impacts of downstream mergers on upstream R&D for optimal policy.
25	Buehler and Schmutzler (2008)	industrial economy		Industrial Organization Theory	General Industrial Economic Sector	Downstream company investment reduces product transformation costs, improves process efficiency	increased efficiency through investment	The research opportunity is to understand the motives for vertical integration, the challenge is to model complex endogenous decision interactions.	Downstream and antitrust policies must take into account vertical integration to increase investment and pressure competitors.