JIIC: JURNAL INTELEK INSAN CENDIKIA
https://jicnusantara.com/index.php/jiic
Vol : 3 No: 10, Oktober 2026
E-ISSN : 3047-7824

Manajemen Inovasi dan Hilirisasi Riset Kimia: Studi Komersialisasi Produk Berbasis Bahan Alam

Innovation Management and Downstreaming of Chemical Research: A Study on the Commercialization of Natural Product-Based Goods

Harry Yulianto[1], Najwa Nur Aini[2]
Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi YPUP Makassar
Universitas Brawijaya
Email: harryyulianto.stieypup@gmail.com

Article Info

Article history :
Received : 30-09-2026
Revised : 02-10-2026
Accepted : 04-10-2026
Pulished : 06-10-2026

Abstract

Purpose: to analyze the role of innovation management in the downstreaming of natural product chemistry research. Method: qualitative descriptive with case studies on business incubators, startups, SMEs, and natural product chemistry industries. Data collected through documentation, analyzed using Miles & Huberman model and triangulation. Results: the downstreaming process is non-linear and iterative, with a Valley of Death at the transition from development to pilot testing. Innovation management acts as dynamic capabilities in strategic planning, resource allocation, triple helix partnerships, and risk management. Non-technical factors are more dominant than technical ones. Effective strategies: structured partnerships, continuous market validation, and adaptive business models. Conclusion: integration of innovation management, research downstreaming, and natural product chemistry is needed to accelerate commercialization. Contribution: conceptual framework and practical recommendations for academics, technopreneurs, industry, and policymakers.

Keywords*: *Commercialization; Downstreaming research; Innovation management

Abstrak

Tujuan: menganalisis peran manajemen inovasi dalam hilirisasi riset kimia bahan alam. Metode: kualitatif deskriptif dengan studi kasus pada inkubator bisnis, startup, UMKM, dan industri kimia bahan alam. Data dikumpulkan melalui dokumentasi, dianalisis dengan model Miles & Huberman dan triangulasi. Hasil: proses hilirisasi bersifat non-linear dan iteratif, dengan *Valley of Death* pada transisi pengembangan ke uji pilot. Manajemen inovasi berperan sebagai kapabilitas dinamis dalam perencanaan strategis, alokasi sumber daya, kemitraan *triple helix*, dan manajemen risiko. Faktor non-teknis lebih dominan daripada teknis. Strategi efektif: kemitraan terstruktur, validasi pasar berkelanjutan, dan model bisnis adaptif. Kesimpulan: integrasi manajemen inovasi, hilirisasi riset, dan kimia bahan alam diperlukan untuk mempercepat komersialisasi. Kontribusi: kerangka konseptual dan rekomendasi praktis bagi akademisi, technopreneur, industri, dan pembuat kebijakan.

Kata Kunci: Hilirisasi riset; Inovasi manajemen; Kimia bahan alam

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan kekayaan biodiversitas terbesar di dunia, menyimpan potensi luar biasa sebagai sumber senyawa bioaktif yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Berbagai penelitian telah mengidentifikasi bahwa tanaman, biota laut, dan mikroorganisme endemik Indonesia mengandung metabolit sekunder seperti *flavonoid, alkaloid, tanin, saponin*, dan

terpenoid dengan aktivitas biologis yang kuat, termasuk antioksidan, antidiabetik, dan antikanker (Nurkolis et al., 2026). Kekayaan ini tidak hanya berhenti pada aspek konservasi, tetapi membuka peluang besar untuk pengembangan produk bernilai tambah seperti fitofarmaka, kosmetik alami, pangan fungsional, hingga biomaterial. Riset terhadap *Sargassum polycystum* dari Nusa Tenggara Barat berhasil mengidentifikasi tujuh belas metabolit penanda dengan aktivitas antioksidan dan antidiabetik yang signifikan, menunjukkan bahwa biodiversitas laut Indonesia memiliki potensi komersial yang belum dikelola secara optimal. Pengelolaan sumber daya alam hayati secara berkelanjutan dan berbasis ilmu pengetahuan menjadi prasyarat untuk mengubah kekayaan biologis menjadi kekuatan ekonomi.

Peran riset kimia dalam transformasi bahan alam menjadi produk inovatif sangat sentral, karena disiplin ini menyediakan metode untuk ekstraksi, isolasi, karakterisasi, dan formulasi senyawa aktif menjadi produk yang siap pakai. Kemajuan dalam kimia bahan alam telah mendorong lahirnya beragam inovasi di sektor kosmetik, pangan fungsional, obat-obatan, bioplastik, dan bioenergi. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), seperti mengembangkan bioindustri berbasis rumput laut melalui riset terpadu dari hulu ke hilir untuk mendukung industri pangan, kosmetik, biomaterial, hingga bioenergi (Antaranews, 2024). Inovasi lain seperti pengembangan senyawa *ektoin* murni dari biodiversitas lokal oleh ITB menunjukkan bahwa riset kimia dapat menghasilkan purwarupa dengan standar komersial internasional, terutama untuk industri kesehatan dan kosmetik (Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati ITB, 2026). Bahkan, bakteri *nanoselulosa* yang dikombinasikan dengan ekstrak biji alpukat telah dikembangkan menjadi membran biohibrida untuk aplikasi kosmetik, pangan fungsional, dan penghantaran obat, menegaskan bahwa riset kimia menjadi jembatan antara penemuan laboratorium dan kebutuhan pasar (Kupnik et al., 2026). Namun, meskipun kapasitas riset kimia Indonesia terus berkembang, masih terdapat gap antara produksi pengetahuan ilmiah dan realisasi nilai ekonominya.

Kesenjangan antara hasil riset kimia dan komersialisasi yang sering disebut sebagai *laboratory-to-market gap* atau *Valley of Death*, menjadi tantangan struktural yang menghambat hilirisasi inovasi berbasis bahan alam. Studi terhadap pengembangan obat berbahan alam menunjukkan bahwa tingkat kegagalan translasi dari penemuan laboratorium ke pasar melebihi 90%, meskipun lebih dari 30% obat baru yang disetujui antara tahun 2000–2020 berasal dari sumber alami (Diaconeasa & Muresan, 2025). Hambatan utama meliputi ketidakselarasan strategis antara akademisi dan industri, akses terbatas terhadap modal risiko, kemacetan *scale-up*, kompleksitas regulasi, serta kurangnya integrasi antara analisis pasar dan inovasi berbasis kebutuhan (Loh et al., 2025). Di Indonesia, masalah ini diperparah oleh lemahnya integrasi antara sistem produksi lokal, dukungan kebijakan perdagangan, dan riset ilmiah, sehingga banyak senyawa bioaktif yang menjanjikan tetap terkurung di laboratorium tanpa pernah mencapai skala produksi yang layak secara komersial (Setyawan & Fitriyah, 2026). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan manajemen inovasi yang secara eksplisit menjembatani kompleksitas ilmiah dan viabilitas komersial dalam konteks spesifik bahan alam Indonesia.

Fenomena yang paling mendasar pada lanskap riset kimia bahan alam di Indonesia adalah terhentinya sebagian besar penelitian pada tahap pembuktian konsep di skala laboratorium. Banyak proyek riset menghasilkan publikasi ilmiah yang berkualitas, paten, atau purwarupa, tetapi tidak melanjutkan ke tahap pengujian skala pilot, standardisasi, dan produksi massal. Sebuah tinjauan sistematis terhadap pengembangan obat bahan alam dari tahun 2000 hingga 2024 mengungkapkan

bahwa meskipun seleksi berbasis etnofarmakologi, keterlibatan regulasi dini, dan perlindungan kekayaan intelektual strategis secara signifikan meningkatkan probabilitas keberhasilan, sebagian besar inisiatif tetap gagal karena tidak mampu melewati fase transisi antara validasi ilmiah dan kesiapan komersial (Diaconeasa & Muresan, 2025). Kondisi ini menciptakan paradoks: di satu sisi, Indonesia kaya akan bahan baku dan kapasitas riset, tetapi di sisi lain, produk berbasis bahan alam yang beredar di pasar domestik masih didominasi oleh merek asing atau bahan baku impor. Persistensi riset pada skala laboratorium bukan hanya keterbatasan teknis, melainkan juga cerminan dari absennya kerangka manajemen yang mampu mengelola transisi dari ilmu pengetahuan ke produk.

Kajian manajemen inovasi selama ini memang telah berkembang pesat, tetapi sebagian besar literatur tersebut belum menyentuh secara spesifik konteks hilirisasi riset kimia bahan alam di negara berkembang seperti Indonesia. Sebagian besar model inovasi yang ada, seperti *stage-gate, lean startup,* atau *open innovation*, dikembangkan pada konteks industri farmasi global atau teknologi digital, sehingga kurang sensitif terhadap karakteristik khas bahan alam: kompleksitas matriks fitokimia, variabilitas sumber bahan baku, tantangan standardisasi, dan panjangnya rantai regulasi (Loh et al., 2025, Yulianto, 2026). Padahal, produk berbasis bahan alam memiliki dinamika translasi yang berbeda dari produk sintetis, karena memerlukan integrasi antara kimia analitik, teknologi ekstraksi, formulasi, dan strategi bisnis yang kontekstual. Kekosongan literatur ini diperparah oleh minimnya studi yang secara eksplisit mengaitkan praktik manajemen inovasi dengan tahapan hilirisasi riset kimia, sehingga pengelola inovasi di perguruan tinggi dan lembaga riset tidak memiliki panduan operasional yang berbasis bukti untuk mempercepat komersialisasi. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang secara simultan menggali dinamika hilirisasi dari perspektif manajemen sekaligus memahami kendala teknis-kimiawi yang melingkupinya.

Konsekuensi dari gap tersebut adalah kebutuhan mendesak untuk mengintegrasikan perspektif manajemen dan kimia terapan dalam satu kerangka analisis yang koheren. Integrasi ini bukan sekadar penjumlahan dua disiplin, melainkan penciptaan pemahaman bahwa keberhasilan hilirisasi produk bahan alam ditentukan oleh interaksi dinamis antara keputusan manajerial, seperti pemilihan model bisnis, alokasi sumber daya, dan strategi kemitraan, dengan realitas teknis laboratorium, termasuk optimasi proses, kontrol kualitas, dan pemenuhan standar keamanan. Misalnya, penelitian terhadap pusat riset nilam di Universitas Syiah Kuala menunjukkan bahwa keberhasilan komersialisasi minyak nilam tidak hanya bergantung pada teknologi ekstraksi dan purifikasi yang inovatif, tetapi juga pada pembentukan unit usaha khusus, penguatan *value proposition*, dan penyusunan roadmap bisnis yang realistis (Wamendiktisaintek, 2024; Universitas Mulawarman, 2024). Hal ini menegaskan bahwa solusi terhadap *Valley of Death* tidak dapat direduksi menjadi intervensi teknis semata, melainkan memerlukan manajemen inovasi yang memahami logika sains dan logika pasar secara simultan. Penelitian yang mengintegrasikan kedua perspektif ini memiliki relevansi teoretis dan praktis yang tinggi, terutama dalam konteks Indonesia yang memiliki kekayaan bahan alam melimpah namun masih menghadapi defisit kapasitas hilirisasi.

Kebaruan utama penelitian ini terletak pada integrasi tiga domain yang selama ini berkembang secara terpisah: manajemen inovasi, hilirisasi riset, dan kimia bahan alam. Literatur manajemen inovasi cenderung berfokus pada sektor manufaktur, teknologi informasi, atau farmasi sintetis, sementara literatur kimia bahan alam lebih menekankan aspek teknis isolasi dan

karakterisasi senyawa. Sangat sedikit penelitian yang secara eksplisit menempatkan manajemen inovasi sebagai variabel penjelas dalam keberhasilan hilirisasi produk kimia bahan alam. Studi Diaconeasa dan Muresan (2025) merupakan salah satu upaya awal untuk menjembatani gap ini, tetapi masih bersifat tinjauan literatur dan belum memberikan model operasional yang kontekstual. Dengan mengintegrasikan ketiga domain tersebut, penelitian ini menawarkan perspektif baru bahwa hilirisasi riset kimia bahan alam bukan hanya persoalan teknis, melainkan juga persoalan manajerial yang memerlukan kapabilitas dinamis dalam mengelola ketidakpastian, membangun kemitraan lintas sektor, dan mengartikulasikan proposisi nilai yang meyakinkan bagi investor dan konsumen. Integrasi ini diharapkan menghasilkan pemahaman yang lebih holistik tentang mengapa sebagian riset berhasil mencapai pasar sementara yang lain tetap terhenti.

Kebaruan kedua terletak pada upaya mengembangkan model komersialisasi yang kontekstual untuk produk berbasis bahan alam Indonesia. Model-model yang ada umumnya dikembangkan pada konteks negara maju dengan ekosistem inovasi yang mapan, akses modal yang luas, dan infrastruktur regulasi yang efisien. Indonesia memiliki karakteristik yang berbeda: sumber bahan baku tersebar, pelaku utama adalah UMKM dan koperasi, akses terhadap pembiayaan risiko terbatas, serta regulasi yang kompleks dan berlapis (Yulianto, 2025). Model komersialisasi yang efektif harus mampu mengakomodasi realitas, seperti melalui pendekatan *triple helix* yang melibatkan perguruan tinggi, industri, dan pemerintah secara aktif, atau melalui pembentukan unit usaha khusus yang menjembatani riset dan pasar seperti yang dilakukan oleh Atsiri Research Center di Aceh. Penelitian ini berupaya menghasilkan model yang tidak hanya deskriptif tetapi juga preskriptif, sehingga dapat menjadi panduan bagi peneliti, technopreneur, dan pembuat kebijakan dalam merancang strategi hilirisasi yang sesuai dengan konteks lokal. Kontribusi teoretis penelitian ini adalah pengayaan literatur manajemen inovasi dengan perspektif bahan alam, sedangkan kontribusi praktisnya adalah penyediaan kerangka kerja yang dapat dioperasionalkan untuk mempercepat komersialisasi produk kimia bahan alam di Indonesia.

Berdasarkan latar belakang dan gap penelitian, penelitian ini merumuskan empat pertanyaan utama yang akan dijawab secara sistematis. **Pertama** (RQ1), bagaimana proses hilirisasi riset kimia bahan alam berlangsung dari laboratorium hingga ke pasar, mencakup tahapan-tahapan kunci, aktor yang terlibat, serta mekanisme transisi antar tahapan. **Kedua** (RQ2), bagaimana peran manajemen inovasi dalam proses komersialisasi tersebut, terutama dalam hal perencanaan strategis, pengelolaan sumber daya, pengembangan kemitraan, dan mitigasi risiko. **Ketiga** (RQ3), apa saja faktor pendukung dan penghambat hilirisasi riset kimia bahan alam, baik yang bersifat teknis (seperti standardisasi dan *scale-up*) maupun non-teknis (seperti regulasi, akses modal, dan persepsi pasar). **Keempat** (RQ4), bagaimana strategi manajemen inovasi yang efektif untuk mempercepat komersialisasi produk berbasis bahan alam, dengan mempertimbangkan konteks spesifik Indonesia. Keempat pertanyaan ini saling terkait dan akan dijawab melalui pendekatan penelitian yang menggabungkan perspektif manajemen dan kimia terapan, sehingga menghasilkan pemahaman yang utuh tentang dinamika hilirisasi riset kimia bahan alam.

Penelitian ini memiliki tujuan teoretis dan praktis yang saling melengkapi. Secara teoretis, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan kerangka konseptual yang mengintegrasikan manajemen inovasi, hilirisasi riset, dan kimia bahan alam, serta memperkaya literatur tentang komersialisasi produk berbasis sumber daya alam di negara berkembang. Secara praktis, penelitian ini bertujuan menghasilkan rekomendasi operasional bagi para pemangku kepentingan dalam

merancang dan mengimplementasikan strategi hilirisasi yang efektif. Manfaat penelitian ini diharapkan dapat dirasakan oleh berbagai pihak: bagi akademisi dan peneliti kimia, penelitian ini menawarkan perspektif manajerial yang dapat membantu mereka memahami faktor-faktor non-teknis yang menentukan keberhasilan komersialisasi; bagi technopreneur dan pelaku UMKM, penelitian ini menyediakan panduan praktis dalam membangun model bisnis yang sesuai dengan karakteristik produk bahan alam; bagi industri, penelitian ini memberikan wawasan tentang cara menjembatani kepentingan riset akademik dengan kebutuhan pasar; dan bagi pembuat kebijakan, penelitian ini menawarkan dasar empiris untuk merancang kebijakan hilirisasi riset yang lebih terintegrasi dan kontekstual.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain kualitatif deskriptif dengan pendekatan studi kasus. Desain ini dipilih karena tujuan utama penelitian adalah menggali secara mendalam proses hilirisasi riset kimia bahan alam dari laboratorium hingga ke pasar, serta memahami peran manajemen inovasi dalam proses tersebut. Studi kasus memungkinkan peneliti untuk menyelidiki fenomena dalam konteks nyata secara intensif, terutama ketika batas antara fenomena dan konteksnya tidak dapat dipisahkan secara jelas (Cabote et al., 2024). Pendekatan kualitatif deskriptif memungkinkan peneliti menyajikan data secara kaya dan mendetail mengenai pengalaman, persepsi, dan praktik para pelaku hilirisasi, tanpa melakukan manipulasi terhadap variabel atau konteks penelitian. Desain ini sangat sesuai untuk mengeksplorasi dinamika manajerial dan teknis yang kompleks dalam komersialisasi produk berbasis bahan alam.

Objek penelitian ini adalah entitas-entitas yang terlibat langsung dalam proses hilirisasi riset kimia bahan alam, yang mencakup inkubator bisnis, startup, UMKM, dan industri kimia bahan alam. Pemilihan objek ini didasarkan pada pertimbangan bahwa keempat jenis entitas tersebut merepresentasikan tahapan dan model komersialisasi yang berbeda, mulai dari fase inkubasi dan validasi model bisnis hingga produksi dan distribusi skala industri. Inkubator bisnis dan startup relevan untuk memahami bagaimana ide riset kimia ditransformasi menjadi proposisi nilai dan model bisnis yang *viable*, sedangkan UMKM dan industri kimia bahan alam memberikan gambaran tentang praktik operasional, strategi pemasaran, serta tantangan *scale-up* yang dihadapi pelaku yang telah lebih mapan (Yulianto et al., 2026). Dengan melibatkan beragam objek, penelitian ini diharapkan dapat menangkap spektrum pengalaman hilirisasi yang lebih luas dan representatif.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini mencakup dokumentasi sebagai salah satu sumber data utama. Dokumentasi yang dikumpulkan meliputi laporan riset dari laboratorium dan pusat penelitian, dokumen paten atau pengajuan kekayaan intelektual, serta data penjualan dan catatan keuangan dari entitas yang menjadi objek studi. Data dokumentasi ini berfungsi untuk memverifikasi dan melengkapi informasi yang diperoleh melalui wawancara, serta memberikan gambaran longitudinal mengenai perkembangan produk dari tahap riset hingga komersialisasi. Analisis terhadap dokumen paten, misalnya, dapat mengungkap strategi perlindungan kekayaan intelektual yang digunakan, sementara data penjualan memberikan indikasi mengenai penerimaan pasar dan keberlanjutan model bisnis. Penggunaan dokumentasi sebagai teknik pengumpulan data juga sejalan dengan prinsip triangulasi sumber, yang akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian berikutnya.

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan melalui analisis tematik dengan mengadopsi

model Miles dan Huberman, yang terdiri dari tiga tahap utama: reduksi data, penyajian data, dan penarikan serta verifikasi kesimpulan (Miles et al., 2014). Pada tahap reduksi data, peneliti melakukan seleksi, pemfokusan, dan penyederhanaan data mentah yang diperoleh dari wawancara, observasi, dan dokumentasi menjadi unit-unit makna yang relevan dengan pertanyaan penelitian. Tahap penyajian data melibatkan pengorganisasian data yang telah direduksi ke dalam matriks, bagan, atau jaringan tematik untuk memfasilitasi identifikasi pola dan hubungan antar kategori (Miles et al., 2014). Selanjutnya, peneliti menarik kesimpulan awal yang kemudian diverifikasi melalui penelusuran ulang data, diskusi dengan informan, dan pembandingan dengan literatur. Untuk memperkuat validitas temuan, penelitian ini menerapkan triangulasi sumber dan metode, yaitu membandingkan informasi dari berbagai informan (peneliti kimia, manajer, technopreneur, konsumen) serta mengombinasikan data wawancara dengan data dokumentasi dan observasi (Schlunegger et al., 2024).

Untuk menjamin kualitas dan kepercayaan hasil penelitian kualitatif, penelitian ini menggunakan empat kriteria *trustworthiness* yang dikembangkan oleh Lincoln dan Guba, yaitu *credibility, transferability*, *dependability*, dan *confirmability* (Ahmed, 2024). *Credibility* (kredibilitas) dicapai melalui keterlibatan yang mendalam dan berkepanjangan dengan objek penelitian, observasi yang persisten, serta triangulasi sumber dan metode untuk memastikan bahwa temuan benar-benar mencerminkan realitas yang diteliti (Ahmed, 2024). *Transferability* (keteralihan) dilakukan dengan menyajikan deskripsi konteks penelitian secara rinci dan komprehensif, sehingga pembaca dapat menilai sejauh mana temuan dapat diterapkan pada konteks lain yang serupa. *Dependability* (kebergantungan) dijaga melalui dokumentasi sistematis seluruh proses penelitian, termasuk catatan lapangan, transkrip wawancara, dan jejak audit yang memungkinkan peneliti lain untuk mengikuti alur pengambilan keputusan metodologis. Terakhir, *confirmability* (kepastian) dipastikan melalui refleksivitas peneliti, *peer debriefing* dengan kolega yang tidak terlibat langsung dalam penelitian, dan member *checking* dengan informan kunci untuk memverifikasi interpretasi yang dibuat (Ahmed, 2024). Dengan menerapkan keempat kriteria tersebut, penelitian ini berupaya menghasilkan temuan yang tidak hanya deskriptif tetapi juga dapat diandalkan dan berkontribusi secara signifikan terhadap pengembangan ilmu pengetahuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

1. Potensi Riset Kimia Bahan Alam

Indonesia memiliki kekayaan biodiversitas yang luar biasa, mencakup lebih dari 30.000 spesies tanaman berbunga, biota laut yang kaya akan metabolit sekunder, serta mikroorganisme endemik yang belum sepenuhnya dieksplorasi. Bahan alam yang menjadi objek riset dalam studi ini mencakup tiga kategori utama: tanaman herbal dan rempah-rempah (seperti sacha inchi, gambir, dan kayu putih), biota laut (seperti rumput laut cokelat *Padina sp.* dan mikroalga), serta mikroorganisme penghasil senyawa bioaktif (seperti bakteri penghasil *biopolimer*). Setiap kategori bahan alam memiliki karakteristik fitokimia yang berbeda dan memerlukan pendekatan ekstraksi serta formulasi yang spesifik, sehingga pengelolaan riset dan hilirisasinya pun memerlukan strategi yang disesuaikan.

Produk inovatif yang dihasilkan dari riset kimia bahan alam tersebut sangat beragam,

mencakup kosmetik (*body lotion* berbasis ekstrak alga, krim anti-aging), pangan fungsional (teh mangrove kaya antioksidan, suplemen berbasis *sacha inchi*), obat-obatan (*propolis* dengan senyawa Sulawesin A dan B untuk kesehatan metabolik), bioplastik (*membran biohibrida* dari *nanuloselulosa*), serta bioenergi (*bioetanol* dari *biomassa lignoselulosa*). Keberagaman produk ini menunjukkan bahwa riset kimia bahan alam memiliki potensi untuk menyasar berbagai sektor industri sekaligus, namun juga menuntut kapabilitas manajerial yang mampu mengelola portofolio inovasi secara paralel. Temuan ini sejalan dengan observasi Hallett (2025) bahwa keberhasilan komersialisasi produk kimia sangat bergantung pada pemahaman mendalam tentang dinamika pasar dan kemampuan mengelola beberapa jalur pengembangan secara simultan.

Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) masing-masing produk bervariasi secara signifikan, mencerminkan tahap pengembangan yang berbeda-beda dalam perjalanan hilirisasi. Sebagian besar produk masih berada pada rentang TKT 3–5, yang berarti baru mencapai validasi laboratorium hingga validasi skala pilot dalam lingkungan yang relevan, sementara beberapa produk unggulan telah mencapai TKT 6–7 dengan demonstrasi skala pra-produksi. Variasi TKT ini memiliki implikasi manajerial yang penting: produk dengan TKT rendah memerlukan alokasi sumber daya riset yang lebih besar, sementara produk dengan TKT tinggi membutuhkan strategi komersialisasi yang lebih agresif. Kesadaran akan posisi TKT menjadi krusial karena kesalahan memahami konteks TKT merupakan salah satu penyebab utama kegagalan startup kimia, sebagaimana ditegaskan oleh Hallett (2025) bahwa "*temptations to scale-up a technology too early, to misunderstand the context of TRLs or too focus too much on technology rather than business are common mistakes*." Berbagai produk inovatif dari bahan alam telah dikembangkan oleh perguruan tinggi di Indonesia, seperti *sacha inchi* oleh Universitas Padjadjaran (2025), propolis oleh Universitas Indonesia (2025), dan *body lotion alga* oleh Universitas Mataram (2025).

Tabel 1. Potensi Riset Kimia Bahan Alam, Produk Inovatif, dan Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT)

No	Bahan Alam	Jenis	Produk Inovatif	Sektor Target	TKT	Sumber
1	*Sacha inchi* (*Plukenetia volubilis*)	Tanaman herbal	*Biosachi, Bioscrub, VOmega, Omegrow, Cosmetory, Creya, Sachi Cubratin, Svarga Serenity*	Farmasi, kosmetik, pangan fungsional	6–7	Universitas Padjadjaran, 2025
2	Propolis lokal (lebah *Trigona* sp.)	Produk hewani	*Propolisul* (suplemen kesehatan metabolik)	Farmasi, kesehatan	5–6	Universitas Indonesia, 2025
3	*Padina* sp. (alga cokelat)	Biota laut	*Body lotion* antioksidan	Kosmetik	4–5	Universitas Mataram, 2025

No	Bahan Alam	Jenis	Produk Inovatif	Sektor Target	TKT	Sumber
4	Daun mangrove (*Rhizophora sp.*)	Tanaman pesisir	*Mangrove Tea* (minuman herbal antioksidan)	Pangan fungsional	3–4	Fakultas Farmasi Universitas Indonesia, 2025
5	Gambir (*Uncaria gambir*)	Tanaman perkebunan	Ekstrak gambir terstandar	Farmasi, pangan	4–5	Universitas Andalas, 2025
6	Rumput laut (*Sargassum polycystum*)	Biota laut	Ekstrak bioaktif antioksidan dan antidiabetik	Farmasi, pangan fungsional	3–4	Badan Riset dan Inovasi Nasional, 2025
7	Minyak atsiri nilam (*Pogostemon cablin*)	Tanaman perkebunan	Minyak nilam terpurifikasi, parfum, kosmetik	Kosmetik, aromaterapi	7–8	Wamendiktisaintek, 2024
8	Limbah pertanian (sekam, tongkol jagung)	Biomassa	*Nanosilika* untuk baterai litium	Energi, material	4–5	Institut Teknologi Indonesia, 2025
9	Kulit kakao (*Theobroma cacao*)	Limbah perkebunan	*Hard carbon* untuk anoda baterai EV	Energi	3–4	RRI, 2025
10	Mikroalga (*Haematococcus pluvialis*)	Mikroorganisme	*Astaxanthin* (antioksidan premium)	Nutraceutical, kosmetik	5–6	BSE India, 2025

Tabel di atas menunjukkan bahwa produk yang telah mencapai TKT tertinggi adalah minyak nilam terpurifikasi (TKT 7–8) yang telah melalui riset bertahun-tahun di Atsiri Research Center Universitas Syiah Kuala dan telah memiliki pasar ekspor yang mapan. Sebaliknya, produk seperti hard carbon dari kulit kakao masih berada pada TKT 3–4, yang berarti baru menyelesaikan pembuktian konsep di laboratorium dan memerlukan pengujian skala pilot sebelum dapat dipertimbangkan untuk komersialisasi. Pola ini mengindikasikan bahwa semakin lama suatu produk berada dalam ekosistem riset yang terstruktur dan memiliki kemitraan industri yang jelas, semakin tinggi pula TKT yang dicapainya. Temuan ini konsisten dengan kerangka yang diajukan Diaconeasa dan Muresan (2025) bahwa seleksi berbasis etnofarmakologi, keterlibatan regulasi dini, dan perlindungan kekayaan intelektual strategis secara signifikan meningkatkan probabilitas keberhasilan dalam pengembangan produk bahan alam.

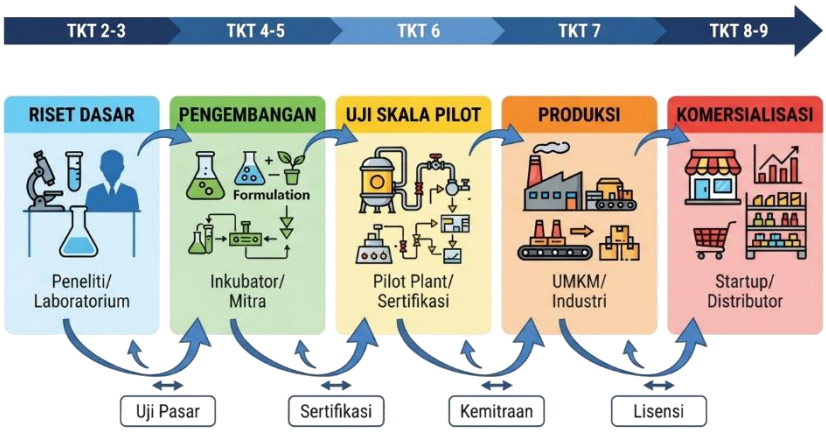
2. Proses Hilirisasi Riset: Tahapan dan Aktor

Proses hilirisasi riset kimia bahan alam dalam studi ini mengikuti lima tahapan utama yang membentuk suatu kontinum dari laboratorium hingga pasar. **Tahap pertama** adalah riset dasar, yang mencakup eksplorasi bahan alam, identifikasi senyawa bioaktif, elusidasi struktur, dan pengujian aktivitas biologis in vitro. Pada tahap ini, aktor dominan adalah peneliti dan laboratorium di perguruan tinggi atau lembaga riset seperti BRIN, dengan *output* berupa publikasi ilmiah, data *spektroskopi*, dan purwarupa awal. **Tahap kedua** adalah pengembangan,

yang melibatkan optimasi proses ekstraksi, formulasi, uji stabilitas, dan pengujian toksisitas awal. Aktor yang terlibat mulai meluas untuk mencakup inkubator bisnis dan calon mitra industri, dengan output berupa prototipe produk dan data pra-klinis. **Tahap ketiga** adalah uji skala pilot, di mana proses produksi diperbesar dari skala laboratorium (gram) ke skala pilot (kilogram) untuk memvalidasi kelayakan teknis dan ekonomi. Pada tahap ini, aktor mencakup laboratorium pilot, unit produksi terbatas, dan lembaga sertifikasi, dengan output berupa produk uji coba, data biaya produksi, dan sertifikat standar.

Tahap keempat adalah produksi, yang melibatkan manufaktur skala penuh dengan sistem kendali mutu yang terdokumentasi, serta pembentukan rantai pasok bahan baku yang berkelanjutan. Aktor yang terlibat mencakup UMKM, industri, dan mitra logistik. **Tahap kelima** adalah komersialisasi, yang mencakup strategi pemasaran, distribusi, penjualan, dan layanan purna jual. Pada tahap ini, aktor meliputi startup, UMKM, industri, distributor, dan konsumen akhir. Mekanisme transisi antar tahapan tidak bersifat otomatis, melainkan memerlukan intervensi manajerial yang terencana, seperti uji pasar untuk memvalidasi penerimaan konsumen, sertifikasi untuk memenuhi persyaratan regulasi, dan kemitraan strategis untuk mengakses sumber daya yang tidak dimiliki secara internal. Loh et al. (2025) menegaskan bahwa transisi yang berhasil dari laboratorium ke klinik memerlukan "*early integration of market analysis and need-driven innovation to ensure alignment with unmet needs and commercial viability*."

Gambar 1. Tahapan Proses Hilirisasi Riset Kimia Bahan Alam dari Laboratorium ke Pasar



Menjawab RQ1 secara langsung, temuan penelitian ini menunjukkan bahwa proses hilirisasi riset kimia bahan alam dari laboratorium ke pasar bersifat non-linear dan iteratif, bukan sekadar urutan tahapan yang kaku. Terdapat tiga pola transisi yang teridentifikasi: (a) pola linear akseleratif, di mana produk bergerak relatif lancar dari riset dasar ke komersialisasi karena adanya kemitraan industri yang kuat sejak awal dan dukungan regulasi yang jelas; (b) pola iteratif, di mana produk kembali ke tahap sebelumnya untuk optimasi setelah mendapat umpan balik dari uji pasar; dan (c) pola stagnan, di mana produk terhenti pada tahap tertentu, pada umumnya pada transisi dari pengembangan ke uji skala pilot, karena keterbatasan pendanaan atau ketidaksesuaian dengan kebutuhan pasar. Pola stagnan inilah yang paling banyak ditemukan dan menjadi inti dari *Valley of Death* yang diidentifikasi oleh Loh et al. (2025) sebagai "kegagalan translasi yang disebabkan oleh ketidakselarasan strategis, kompleksitas regulasi, dan hambatan organisasi."

3. Peran Manajemen Inovasi dalam Komersialisasi

Peran manajemen inovasi dalam proses komersialisasi produk kimia bahan alam terwujud dalam empat praktik utama yang teridentifikasi dari data. **Praktik pertama** adalah perencanaan strategis inovasi, yang mencakup penetapan prioritas riset berdasarkan potensi pasar, penyusunan peta jalan (*roadmap*) pengembangan produk, dan penentuan titik keputusan (*go/no-go decision*) pada setiap tahap. Temuan ini mengonfirmasi bahwa produk yang berhasil mencapai komersialisasi umumnya memiliki *roadmap* yang eksplisit dengan target waktu dan sumber daya yang terukur, sementara produk yang stagnan sering kali tidak memiliki perencanaan strategis yang memadai. Diaconeasa dan Muresan (2025) menegaskan bahwa "*adaptive business models significantly improve success probability in natural product development*", yang berarti kemampuan menyesuaikan model bisnis berdasarkan umpan balik pasar merupakan kompetensi manajerial yang krusial.

Praktik kedua adalah pengelolaan sumber daya, yang mencakup alokasi SDM (peneliti, teknisi, manajer produk), modal (dana riset, investasi awal, modal kerja), dan teknologi (peralatan laboratorium, sistem informasi, infrastruktur produksi). Data menunjukkan bahwa kendala utama dalam pengelolaan sumber daya bukanlah kekurangan absolut, melainkan ketidaksesuaian antara jenis sumber daya yang tersedia dengan kebutuhan spesifik pada setiap tahap hilirisasi. Misalnya, peneliti kimia yang sangat kompeten dalam riset dasar mungkin kurang memiliki keterampilan dalam pengembangan produk atau manajemen produksi, sehingga diperlukan rekrutmen atau pelatihan tambahan. Hallett (2025) mengingatkan bahwa "*considerations such as scale-up, cost, capital fundraising needs and teambuilding must all come together as part of the translation journey*", menegaskan bahwa pengelolaan sumber daya bersifat multidimensional dan tidak dapat direduksi menjadi sekadar penyediaan dana.

Praktik ketiga adalah pengembangan kemitraan, yang mencakup kolaborasi *triple helix* (akademisi–bisnis–pemerintah), kemitraan dengan industri untuk akses pasar dan fasilitas produksi, serta keterlibatan investor untuk pendanaan dan pendampingan strategis. Data menunjukkan bahwa produk yang memiliki jaringan kemitraan yang luas dan beragam cenderung lebih berhasil dalam mengatasi hambatan transisi antar tahapan. Kolaborasi lintas sektor memainkan peran vital dalam mengatasi tantangan translasi dengan membangun kesiapan regulasi dan menyatukan keahlian serta sumber daya yang saling melengkapi.

Praktik keempat adalah manajemen risiko dan perlindungan kekayaan intelektual, yang mencakup identifikasi risiko teknis (kegagalan formulasi, ketidakstabilan produk), risiko pasar (perubahan preferensi konsumen, persaingan), risiko regulasi (perubahan standar keamanan), serta strategi perlindungan paten, merek dagang, dan rahasia dagang. Temuan ini sejalan dengan Diaconeasa dan Muresan (2025) yang menemukan bahwa "*strategic intellectual property protection*" merupakan salah satu faktor kunci yang meningkatkan probabilitas keberhasilan komersialisasi.

4. Faktor Pendukung dan Penghambat Hilirisasi

Faktor pendukung hilirisasi riset kimia bahan alam dapat dikelompokkan menjadi enam kategori utama: (1) kebijakan pemerintah, termasuk insentif pajak untuk riset dan pengembangan, program hibah hilirisasi, serta regulasi yang mendukung penggunaan bahan

baku lokal; (2) pendanaan, yang mencakup dana riset kompetitif, investasi modal risiko, dan skema pembiayaan khusus untuk startup teknologi; (3) jaringan, berupa akses ke jaringan inkubator, akselerator, dan komunitas technopreneur yang memfasilitasi pertukaran pengetahuan dan sumber daya; (4) SDM, yaitu ketersediaan tenaga kerja terampil yang menguasai baik aspek teknis kimia maupun manajemen bisnis; (5) teknologi, mencakup akses terhadap peralatan laboratorium mutakhir, fasilitas pilot plant, dan sistem informasi yang mendukung pengambilan keputusan; serta (6) permintaan pasar, yang tercermin dari meningkatnya kesadaran konsumen akan produk alami, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Kombinasi faktor-faktor ini menciptakan ekosistem yang kondusif bagi percepatan hilirisasi, sebagaimana ditunjukkan oleh keberhasilan beberapa produk seperti minyak nilam terpurifikasi dan kosmetik berbasis bahan alam yang telah menembus pasar ekspor.

Faktor penghambat, di sisi lain, mencakup lima tantangan utama yang secara konsisten muncul pada data. **Pertama**, regulasi kompleks, terutama terkait dengan persyaratan keamanan, efikasi, dan standarisasi produk bahan alam yang sering kali tidak selaras antara satu lembaga dengan lembaga lainnya. **Kedua**, biaya *scale-up*, yang mencakup investasi peralatan produksi, pengujian stabilitas jangka panjang, dan sertifikasi yang memerlukan dana besar sementara *return on investment* belum dapat dipastikan. **Ketiga**, standardisasi, karena variabilitas komposisi kimia bahan alam akibat perbedaan lokasi tumbuh, musim panen, dan metode ekstraksi menciptakan tantangan dalam menjaga konsistensi kualitas produk. **Keempat**, akses modal, di mana investor cenderung menghindari sektor bahan alam karena siklus pengembangan yang panjang dan risiko regulasi yang tinggi, sebagaimana tercermin dari penurunan pendanaan modal ventura global untuk bahan kimia berbasis bio sekitar 28% antara tahun 2024 dan 2025. **Kelima**, persepsi konsumen, di mana meskipun ada kecenderungan positif terhadap produk alami, masih terdapat keraguan mengenai efektivitas dan keamanan produk berbasis bahan alam dibandingkan produk sintetis. Menjawab RQ3, temuan ini menunjukkan bahwa faktor penghambat yang paling dominan bukanlah keterbatasan teknis, melainkan faktor non-teknis yang bersifat struktural dan sistemik, sehingga intervensi yang diperlukan harus bersifat multidimensional.

5. Strategi Manajemen Inovasi dan Model Komersialisasi

Strategi manajemen inovasi yang diterapkan untuk mempercepat komersialisasi produk kimia bahan alam dapat dikelompokkan menjadi tiga pendekatan utama. **Pertama**, strategi akselerasi berbasis kemitraan, di mana peneliti dan pengelola inovasi secara aktif membangun kemitraan strategis dengan industri, investor, dan pemerintah sejak tahap awal pengembangan. Pendekatan ini memungkinkan akses ke sumber daya yang tidak dimiliki secara internal, mempercepat validasi pasar, dan mengurangi risiko kegagalan pada tahap transisi. **Kedua**, strategi validasi pasar berkelanjutan, yang melibatkan pengujian prototipe secara iteratif dengan calon pengguna, pengumpulan umpan balik, dan penyesuaian proposisi nilai berdasarkan data empiris. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *lean startup* yang menekankan pentingnya siklus *build–measure–learn* yang cepat. **Ketiga**, strategi diversifikasi portofolio, di mana organisasi mengembangkan beberapa produk secara paralel pada tingkat TKT yang berbeda untuk menyebarkan risiko dan memastikan keberlanjutan sumber pendapatan. Data menunjukkan bahwa unit usaha yang menerapkan strategi ini cenderung lebih tahan terhadap kegagalan satu produk tertentu karena memiliki produk lain yang siap menggantikan.

JIIC: JURNAL INTELEK INSAN CENDIKIA
https://jicnusantara.com/index.php/jiic
Vol : 3 No: 10, Oktober 2026
E-ISSN : 3047-7824

Tabel 2. *Business Model Canvas* (BMC) Komersialisasi Produk Kimia Bahan Alam

<table>
<tr>
<td rowspan="2">8. Key Partnerships
Perguruan tinggi dan lembaga riset (BRIN), industri farmasi dan kosmetik, pemerintah daerah dan pusat, investor dan lembaga pembiayaan, kelompok tani dan koperasi.</td>
<td>6. Key Activities
Riset dan pengembangan produk, ekstraksi dan formulasi, pengujian mutu dan stabilitas, produksi, pemasaran dan penjualan, pengelolaan kemitraan.</td>
<td rowspan="2">2. Value Propositions
Produk berbasis bahan alam lokal yang terstandar, aman, dan memiliki bukti ilmiah; mendukung keberlanjutan dan pemberdayaan petani lokal; harga kompetitif dibandingkan produk impor; traceability dan transparansi rantai pasok.</td>
<td>4. Customer Relationships
Layanan konsultasi produk, program loyalitas pelanggan, edukasi melalui konten digital, komunitas pengguna, dukungan purna jual.</td>
<td rowspan="2">1. Customer Segments
Konsumen akhir produk kesehatan dan kosmetik alami (usia 25–45 tahun, urban, kesadaran kesehatan tinggi); UMKM dan industri yang membutuhkan bahan baku terstandar; institusi kesehatan dan apotek.</td>
</tr>
<tr>
<td>7. Key Resources
Laboratorium riset dan pilot plant, SDM peneliti dan teknisi terlatih, hak kekayaan intelektual (paten, merek), jaringan kemitraan, database fitokimia.</td>
<td>3. Channels
Toko online (marketplace, media sosial), distributor farmasi dan kosmetik, apotek dan toko kesehatan, pameran industri dan ekspor, kemitraan dengan institusi kesehatan.</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="3">9. Cost Structure
Biaya riset dan pengembangan, biaya bahan baku dan produksi, biaya sertifikasi dan regulasi, biaya pemasaran dan distribusi, biaya SDM dan operasional.</td>
<td colspan="2">5. Revenue Streams
Penjualan produk jadi (B2C), penjualan bahan baku terstandar (B2B), lisensi teknologi, royalti dari mitra produksi, jasa pengujian dan sertifikasi.</td>
</tr>
</table>

Tabel BMC menunjukkan bahwa model komersialisasi yang dikembangkan bersifat kontekstual dan mengakomodasi realitas ekosistem inovasi di Indonesia (Yulianto et al., 2025). Blok *Key Partnerships* menempatkan kolaborasi *triple helix* sebagai fondasi, dengan keterlibatan aktif perguruan tinggi, industri, dan pemerintah dalam setiap tahap hilirisasi. Blok *Value Propositions* menekankan diferensiasi melalui standardisasi, bukti ilmiah, dan keberlanjutan, tiga atribut yang menjadi keunggulan kompetitif produk bahan alam Indonesia di pasar domestik maupun global. Sementara itu, blok *Revenue Streams* mencerminkan strategi diversifikasi pendapatan yang tidak hanya bergantung pada penjualan produk akhir, tetapi juga pada lisensi teknologi dan jasa pengujian, yang memberikan stabilitas keuangan pada fase awal komersialisasi.

Menjawab RQ4, strategi manajemen inovasi yang paling efektif untuk mempercepat komersialisasi produk kimia bahan alam adalah kombinasi dari tiga elemen: (1) kemitraan strategis yang terstruktur sejak tahap riset dasar, bukan sebagai afterthought pada tahap akhir; (2) validasi pasar berkelanjutan yang mengintegrasikan umpan balik konsumen ke dalam siklus pengembangan produk; dan (3) model bisnis yang adaptif yang mampu menyesuaikan proposisi nilai, saluran distribusi, dan struktur pendapatan berdasarkan dinamika pasar dan regulasi. Model komersialisasi yang bersifat kontekstual untuk produk berbasis bahan alam Indonesia harus mengakomodasi realitas bahwa sebagian besar pelaku adalah UMKM dengan sumber daya terbatas, sehingga strategi yang efektif adalah strategi yang bersifat kolaboratif dan bertahap, bukan strategi yang mengandalkan investasi besar secara frontal. Dengan demikian, temuan penelitian ini memberikan

kontribusi teoretis berupa pengayaan literatur manajemen inovasi dengan perspektif bahan alam, serta kontribusi praktis berupa kerangka kerja yang dapat dioperasionalkan untuk mempercepat hilirisasi riset kimia bahan alam di Indonesia.

Pembahasan

1. RQ1: Proses Hilirisasi dari Laboratorium ke Pasar

Interpretasi tahapan hilirisasi riset kimia bahan alam dalam studi ini menunjukkan bahwa perjalanan dari laboratorium ke pasar tidak dapat dipahami sebagai sekadar urutan linear yang kaku, melainkan sebagai proses yang sarat dengan ketidakpastian, iterasi, dan titik-titik kritis yang menentukan keberhasilan atau kegagalan. Konsep *laboratory-to-market gap* atau yang lebih dikenal sebagai *Valley of Death* menggambarkan zona transisi antara validasi ilmiah dan kesiapan komersial di mana sebagian besar inovasi berbasis bahan alam mengalami kegagalan. Loh et al. (2025) mendefinisikan *Valley of Death* sebagai "kegagalan translasi yang disebabkan oleh ketidakselarasan strategis, kompleksitas regulasi, dan hambatan organisasi", yang secara empiris tercermin dalam tingkat kegagalan translasi yang melebihi 90% untuk produk obat berbahan alam. Dalam kerangka *Technology Readiness Level*/Tingkat Kesiapan Teknologi (TRL/TKT), zona kritis ini umumnya terletak pada rentang TKT 4 hingga TKT 6, yaitu ketika produk telah divalidasi di laboratorium tetapi belum didemonstrasikan dalam lingkungan operasional yang relevan. Diaconeasa dan Muresan (2025) menegaskan bahwa "*the translation from laboratory discovery to market remains inefficient, with failure rates exceeding* 90%", meskipun lebih dari 30% obat baru yang disetujui antara tahun 2000–2020 berasal dari sumber alami. Temuan ini mengonfirmasi bahwa persoalan utama bukanlah pada kapasitas ilmiah untuk menemukan senyawa bioaktif, melainkan pada kemampuan mengelola transisi dari penemuan menjadi produk yang dapat diterima pasar.

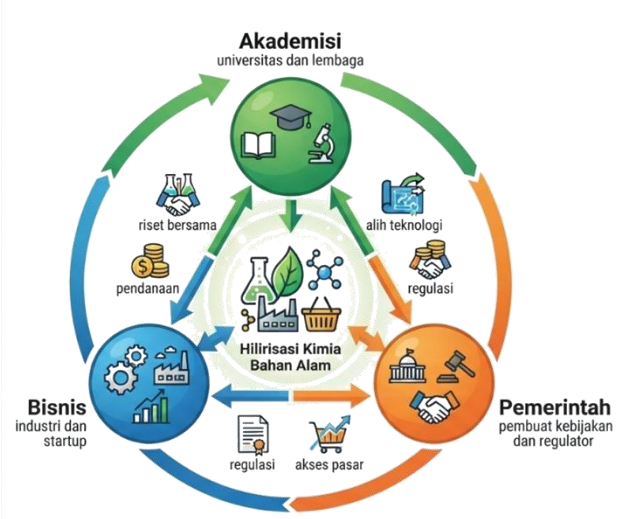
Diskusi tentang mengapa transisi antar tahapan berhasil atau gagal mengungkap tiga pola yang berbeda pada data. Pola pertama adalah transisi akseleratif, di mana produk bergerak relatif lancar dari riset dasar ke komersialisasi karena adanya kemitraan industri yang kuat sejak awal, dukungan regulasi yang jelas, dan validasi pasar yang berkelanjutan. Pola ini umumnya ditemukan pada produk yang telah memiliki *product-market fit* yang teruji, sebagaimana ditegaskan Loh et al. (2025) bahwa "*product-market fit requires early integration of market analysis and need-driven innovation to ensure alignment with unmet medical needs and commercial viability*". Pola kedua adalah transisi iteratif, di mana produk kembali ke tahap sebelumnya untuk optimasi setelah mendapat umpan balik dari uji pasar atau persyaratan regulasi yang berubah. Pola ini mencerminkan realitas bahwa pengembangan produk bahan alam tidak bersifat linear, melainkan memerlukan siklus *build–measure–learn* yang berulang. Pola ketiga adalah transisi stagnan, di mana produk terhenti pada tahap tertentu, umumnya pada transisi dari pengembangan ke uji skala pilot, karena keterbatasan pendanaan, ketidaksesuaian dengan kebutuhan pasar, atau ketidakmampuan memenuhi standar regulasi. Diaconeasa dan Muresan (2025) menemukan bahwa "*ethnopharmacology-guided selection, early regulatory engagement, strategic intellectual property protection, and adaptive business models significantly improve success probability*", yang berarti kegagalan transisi sering kali disebabkan oleh absennya faktor-faktor kunci tersebut sejak tahap awal.

Keterkaitan antara proses hilirisasi dengan teori *Triple Helix* dan *open innovation* menjadi

JIIC: JURNAL INTELEK INSAN CENDIKIA
https://jicnusantara.com/index.php/jiic
Vol : 3 No: 10, Oktober 2026
E-ISSN : 3047-7824

semakin jelas ketika data menunjukkan bahwa kolaborasi lintas sektor merupakan determinan utama keberhasilan translasi. Model *Triple Helix* yang melibatkan sinergi antara akademisi, pelaku usaha, dan pemerintah (ABG) telah diadopsi secara luas dalam pengembangan produk bahan alam di Indonesia, sebagaimana ditegaskan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) RI yang "mendorong model kolaborasi *triple helix* yang melibatkan sinergi antara akademisi, pelaku usaha, dan pemerintah atau *Academia-Business-Government* (ABG)" untuk mempercepat pengembangan produk inovatif yang aman, berkualitas, dan berdaya saing global (Badan Pengawas Obat dan Makanan, 2025). Loh et al. (2025) juga menekankan bahwa "*cross-sector and horizontal collaborative networks across academia, industry, regulators, manufacturers, and peer companies play a vital role in overcoming translational challenges by fostering regulatory preparedness and pooling complementary expertise and resources*". Sementara itu, open innovation memungkinkan organisasi untuk mengakses sumber daya eksternal (pengetahuan, teknologi, dan pasar) yang tidak dimiliki secara internal, sehingga mempercepat siklus inovasi dan mengurangi risiko kegagalan pada tahap transisi. Studi terhadap model bisnis perusahaan berbasis pengetahuan di bidang tanaman obat menunjukkan bahwa "*open innovation and network collaboration*" merupakan salah satu dari enam dimensi kunci yang secara signifikan memengaruhi desain komponen model bisnis dan meningkatkan kinerja inovasi serta kemampuan pengembangan pasar (Nguyen & Mitkova, 2025). Keberhasilan hilirisasi riset kimia bahan alam tidak dapat dicapai secara isolatif, melainkan memerlukan ekosistem kolaboratif yang mengintegrasikan kapabilitas ilmiah, keahlian manajerial, dukungan regulasi, dan akses pasar.

Gambar 2. *Triple Helix* Ekosistem Hilirisasi Riset Kimia Bahan Alam



Gambar *triple helix* mengilustrasikan model kolaborasi sinergis antara tiga sektor utama (akademisi, bisnis, dan pemerintah) yang menjadi fondasi ekosistem hilirisasi riset kimia bahan alam. Ketiga sektor tersebut tidak lagi beroperasi secara terpisah, melainkan saling terhubung melalui panah dua arah yang melambangkan pertukaran pengetahuan, sumber daya, dan keahlian. Akademisi berperan sebagai penghasil pengetahuan dan teknologi melalui riset dasar dan pengembangan produk, bisnis berperan sebagai mitra produksi, distribusi, dan akses pasar, sedangkan pemerintah berperan sebagai fasilitator regulasi, pendanaan, dan kebijakan yang kondusif. Di tengah diagram, inti "Hilirisasi Kimia Bahan Alam" menegaskan bahwa tujuan

bersama dari kolaborasi ini adalah mentransformasi hasil riset laboratorium menjadi produk komersial yang bermanfaat bagi masyarakat. Panah melingkar di sekeliling diagram menunjukkan bahwa interaksi ketiga sektor bersifat iteratif dan berkelanjutan, bukan linear dan sekali jadi, sehingga setiap umpan balik dari pasar, regulasi, atau riset dapat memperbaiki proses hilirisasi secara terus-menerus. Gambar ini berfungsi sebagai peta konseptual yang memandu peneliti, pelaku usaha, dan pembuat kebijakan dalam memahami dan mengimplementasikan model *triple helix* secara holistik dalam konteks hilirisasi riset kimia bahan alam di Indonesia.

2. RQ2: Peran Manajemen Inovasi sebagai Kapabilitas Dinamis

Analisis peran manajemen inovasi dalam komersialisasi produk kimia bahan alam melalui lensa *Resource-Based View* (RBV) dan *Dynamic Capabilities* mengungkap bahwa keberhasilan hilirisasi tidak hanya ditentukan oleh kepemilikan sumber daya yang unik, melainkan oleh kemampuan organisasi untuk mengintegrasikan, membangun, dan merekonfigurasi sumber daya internal dan eksternal dalam menghadapi lingkungan yang berubah (Yulianto, 2023). RBV menekankan bahwa keunggulan kompetitif berkelanjutan berasal dari sumber daya yang bernilai, langka, sulit ditiru, dan tidak dapat disubstitusi, sedangkan *Dynamic Capabilities* berperan sentral dalam mengorkestrasi sumber daya internal dan eksternal untuk menciptakan keunggulan kompetitif jangka panjang yang selaras dengan tujuan eko-inovasi (Befort et al., 2025). Pada konteks riset kimia bahan alam, sumber daya yang dimaksud mencakup kekayaan biodiversitas, kapasitas laboratorium, hak kekayaan intelektual, dan jaringan kemitraan, namun sumber daya ini hanya akan menjadi keunggulan kompetitif jika organisasi memiliki kapabilitas dinamis untuk mengelolanya secara strategis. Studi terhadap kapabilitas dinamis dalam pengembangan eko-inovasi menunjukkan bahwa "*eco-innovations are positioned as essential drivers for sustainable transformation, demanding a reconfiguration of corporate strategies, resource management, and collaborative networks*" (Befort et al., 2025), yang secara langsung relevan dengan konteks komersialisasi produk bahan alam yang menuntut keseimbangan antara keberlanjutan dan profitabilitas.

Kapabilitas manajerial dalam mengelola ketidakpastian teknis dan pasar terwujud dalam tiga praktik utama yang teridentifikasi dari data. **Pertama**, perencanaan strategis yang adaptif, di mana manajer inovasi tidak hanya menyusun peta jalan pengembangan produk yang kaku, tetapi juga secara aktif mengantisipasi perubahan regulasi, preferensi konsumen, dan dinamika teknologi. Diaconeasa dan Muresan (2025) menemukan bahwa "*adaptive business models significantly improve success probability*", yang berarti kemampuan menyesuaikan model bisnis berdasarkan umpan balik pasar merupakan kompetensi manajerial yang krusial. **Kedua**, alokasi sumber daya yang fleksibel, di mana organisasi mampu mengalihkan sumber daya dari proyek yang kurang menjanjikan ke proyek yang memiliki potensi lebih tinggi, serta mengombinasikan sumber daya internal dengan sumber daya eksternal melalui kemitraan strategis. **Ketiga**, manajemen risiko yang proaktif, yang mencakup identifikasi risiko teknis (kegagalan formulasi, ketidakstabilan produk), risiko pasar (perubahan preferensi konsumen, persaingan), dan risiko regulasi (perubahan standar keamanan). Loh et al. (2025) menegaskan bahwa "*effective articulation of value propositions is essential to translate technical performance into perceived value for both investors and end-users*", yang menunjukkan bahwa kapabilitas manajerial dalam mengomunikasikan nilai ekonomi dari inovasi teknis merupakan faktor pembeda antara produk yang berhasil dan yang gagal.

Keterkaitan antara temuan empiris tentang perencanaan, alokasi sumber daya, dan kemitraan dengan kerangka RBV dan *Dynamic Capabilities* menunjukkan bahwa manajemen inovasi dalam konteks bahan alam berfungsi sebagai mekanisme integratif yang mengubah sumber daya potensial menjadi kapabilitas aktual. Data menunjukkan bahwa organisasi yang berhasil dalam hilirisasi memiliki karakteristik berikut: (a) memiliki unit khusus yang bertanggung jawab atas manajemen inovasi dan komersialisasi, bukan hanya mengandalkan peneliti untuk menjalankan fungsi bisnis; (b) mengembangkan sistem dokumentasi dan pembelajaran yang memungkinkan pengetahuan dari proyek yang gagal tetap dimanfaatkan untuk proyek berikutnya; (c) membangun hubungan jangka panjang dengan mitra industri, investor, dan regulator yang memfasilitasi akses ke sumber daya dan pasar. Hallett (2025) mengingatkan bahwa "*considerations such as scale-up, cost, capital fundraising needs and team-building must all come together as part of the translation journey*", menegaskan bahwa manajemen inovasi bukanlah fungsi tambahan, melainkan inti dari proses hilirisasi itu sendiri. Dengan demikian, RBV dan *Dynamic Capabilities* memberikan kerangka konseptual yang kuat untuk memahami mengapa beberapa organisasi berhasil mengelola transisi dari laboratorium ke pasar sementara yang lain gagal, yaitu karena perbedaan dalam kapabilitas dinamis untuk mengintegrasikan, membangun, dan merekonfigurasi sumber daya dalam menghadapi ketidakpastian yang melekat pada pengembangan produk berbasis bahan alam.

3. RQ3: Dinamika Faktor Pendukung dan Penghambat

Diskusi kritis tentang faktor pendukung dan penghambat hilirisasi riset kimia bahan alam dari perspektif manajemen dan kimia terapan mengungkap bahwa kedua kategori faktor ini tidak bersifat independen, melainkan saling terkait dalam suatu ekosistem yang kompleks. Dari perspektif manajemen, faktor pendukung utama mencakup kebijakan pemerintah yang kondusif, ketersediaan pendanaan, jaringan kemitraan yang kuat, kualitas SDM, akses teknologi, dan permintaan pasar yang meningkat. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) serta Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi telah mengembangkan berbagai program untuk mendukung hilirisasi riset, termasuk pendanaan kompetitif dan fasilitasi kemitraan industri. Sementara itu, dari perspektif kimia terapan, faktor pendukung mencakup ketersediaan bahan baku yang berkelanjutan, penguasaan teknologi ekstraksi dan formulasi, serta kapasitas laboratorium untuk pengujian dan standardisasi. Kombinasi faktor-faktor ini menciptakan kondisi yang memungkinkan percepatan hilirisasi, sebagaimana ditunjukkan oleh keberhasilan Atsiri Research Center (ARC) Universitas Syiah Kuala yang telah menghasilkan "hampir 30 produk turunan berbasis minyak nilam" dengan sebagian besar telah memiliki izin edar BPOM dan dijual ke masyarakat dengan nilai tambah yang tinggi (RRI, 2025). Keberhasilan ini tidak terlepas dari kombinasi kebijakan yang mendukung, kemitraan *triple helix* yang solid, dan penguasaan teknologi ekstraksi serta formulasi yang mumpuni.

Faktor penghambat, di sisi lain, mencakup regulasi yang kompleks dan berlapis, biaya *scale-up* yang tinggi, tantangan standardisasi produk bahan alam, akses modal yang terbatas, dan persepsi konsumen yang masih belum sepenuhnya positif terhadap produk berbasis bahan alam. Dari perspektif manajemen, regulasi yang kompleks terutama terkait dengan persyaratan keamanan, efikasi, dan standardisasi, sering kali menjadi hambatan utama karena memerlukan sumber daya dan waktu yang tidak sedikit untuk dipenuhi. Studi terhadap industri obat herbal di Indonesia mengidentifikasi "empat tantangan utama: **pertama**, standardisasi adalah isu

fundamental; **kedua**, kurangnya minat peneliti dalam mengembangkan riset herbal berkelanjutan; ketiga, tantangan dalam produksi dan industrialisasi; keempat, akses pasar yang masih terbatas" (Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret, 2025). Dari perspektif kimia terapan, tantangan standardisasi muncul karena variabilitas komposisi kimia bahan alam akibat perbedaan lokasi tumbuh, musim panen, dan metode ekstraksi, yang menciptakan kesulitan dalam menjaga konsistensi kualitas produk. Selain itu, biaya *scale-up* yang mencakup investasi peralatan produksi, pengujian stabilitas jangka panjang, dan sertifikasi sering kali tidak sebanding dengan ketersediaan modal yang dimiliki oleh UMKM dan startup. Data dari industri jamu dan ekstrak herbal Indonesia menunjukkan bahwa "banyak produsen kecil kesulitan memahami regulasi, yang menghambat upaya pemasaran, sementara modal yang terbatas membatasi kemampuan mereka untuk meningkatkan produksi dan berinovasi produk untuk memenuhi kualitas terstandar" (Tridge Insights, 2026).

Perbandingan dengan temuan penelitian terdahulu mengonfirmasi bahwa faktor non-teknis sering kali lebih dominan daripada faktor teknis dalam menentukan keberhasilan atau kegagalan hilirisasi. Diaconeasa dan Muresan (2025) menemukan bahwa "*ethnopharmacology-guided selection, early regulatory engagement, strategic intellectual property protection, and adaptive business models significantly improve success probability*", yang semuanya merupakan faktor non-teknis. Loh et al. (2025) juga menekankan bahwa "*strategic misalignment, regulatory complexity, and organisational hurdles*" merupakan penghambat utama translasi, bukan keterbatasan teknologi itu sendiri. Mengapa demikian? Karena pada dasarnya, kapasitas ilmiah dan teknologi untuk mengembangkan produk berbasis bahan alam sudah tersedia di banyak institusi riset Indonesia, namun yang sering kali tidak tersedia adalah kapabilitas manajerial untuk menavigasi kompleksitas regulasi, mengakses modal risiko, membangun jaringan kemitraan yang efektif, dan mengomunikasikan nilai ekonomi dari inovasi teknis kepada investor dan konsumen. Faktor teknis bersifat *necessary but not sufficient*, diperlukan tetapi tidak cukup untuk menjamin keberhasilan komersialisasi. Sebaliknya, faktor non-teknis seperti regulasi, pendanaan, dan kemitraan bersifat *sufficient but not necessary* dalam arti bahwa keberadaan faktor-faktor ini dapat mengompensasi keterbatasan teknis tertentu, tetapi ketiadaannya hampir selalu menjadi penghambat yang tidak dapat diatasi hanya dengan keunggulan teknologi. Temuan ini menegaskan bahwa intervensi untuk mempercepat hilirisasi harus bersifat multidimensional, mencakup penguatan kapabilitas manajerial, penyederhanaan regulasi, penyediaan instrumen pendanaan yang sesuai, dan pembangunan ekosistem kolaborasi yang inklusif.

4. RQ4: Strategi Manajemen Inovasi Efektif dan Model Kontekstual

Evaluasi terhadap strategi manajemen inovasi yang ditemukan dalam studi ini mengungkap bahwa tidak semua strategi memiliki efektivitas yang sama, dan efektivitas suatu strategi sangat bergantung pada konteks organisasi, jenis produk, dan tahap hilirisasi. Strategi yang paling efektif adalah kemitraan strategis yang terstruktur sejak tahap riset dasar, yang memungkinkan akses ke sumber daya eksternal, validasi pasar awal, dan pengurangan risiko kegagalan pada tahap transisi. Studi terhadap model bisnis perusahaan berbasis pengetahuan di bidang tanaman obat menunjukkan bahwa "*open innovation and network collaboration*" merupakan dimensi kunci yang secara signifikan memengaruhi desain komponen model bisnis dan pada gilirannya meningkatkan kinerja inovasi serta kemampuan pengembangan pasar

(Nguyen & Mitkova, 2025). Sebaliknya, strategi yang kurang efektif adalah pendekatan linear yang mengandalkan pengembangan produk secara internal tanpa melibatkan mitra eksternal sejak awal, karena pendekatan ini cenderung menghasilkan produk yang secara teknis unggul tetapi tidak sesuai dengan kebutuhan pasar atau persyaratan regulasi. Loh et al. (2025) menegaskan bahwa "*product-market fit requires early integration of market analysis and need-driven innovation*", yang berarti validasi pasar bukanlah aktivitas yang dapat ditunda hingga produk selesai dikembangkan, melainkan harus menjadi bagian integral dari siklus pengembangan sejak awal.

Usulan model komersialisasi kontekstual untuk produk berbasis bahan alam Indonesia harus mengakomodasi realitas bahwa sebagian besar pelaku adalah UMKM dengan sumber daya terbatas, bahwa bahan baku tersebar secara geografis, dan bahwa regulasi yang berlaku bersifat kompleks dan berlapis. Model yang diusulkan terdiri dari empat komponen utama. **Pertama**, model kemitraan *triple helix* yang terlembaga, di mana perguruan tinggi berperan sebagai pusat riset dan pengembangan, industri sebagai mitra produksi dan distribusi, dan pemerintah sebagai fasilitator regulasi dan pendanaan. Model ini telah terbukti efektif dalam berbagai kasus di Indonesia, termasuk pengembangan produk turunan nilam di Aceh dan kosmetik berbasis bahan alam di Kalimantan Timur. **Kedua**, model bisnis bertahap (*staged business model*), di mana organisasi memulai dengan produk yang memiliki TKT tinggi dan risiko rendah untuk menghasilkan pendapatan awal, kemudian secara bertahap mengembangkan produk dengan TKT lebih rendah seiring dengan akumulasi sumber daya dan pembelajaran. **Ketiga**, model lisensi dan royalti, di mana organisasi tidak harus memiliki kapasitas produksi sendiri, tetapi dapat melisensikan teknologi dan formula kepada mitra industri yang memiliki kapasitas produksi dan distribusi yang lebih baik. **Keempat**, model platform kolaboratif, di mana beberapa organisasi berbagi sumber daya (laboratorium, fasilitas pilot, saluran distribusi) melalui *platform* digital yang memfasilitasi pertukaran pengetahuan dan sumber daya.

Keterkaitan antara strategi yang diusulkan dengan konsep *lean startup, stage-gate*, dan *business model innovation* menunjukkan bahwa model komersialisasi yang efektif untuk produk bahan alam Indonesia harus mengintegrasikan elemen-elemen terbaik dari ketiga kerangka tersebut. Dari *lean startup*, model ini mengadopsi prinsip validasi hipotesis melalui eksperimen cepat dan iteratif, di mana prototipe produk diuji dengan calon pengguna sejak tahap awal untuk memastikan *product-market fit* sebelum investasi besar dilakukan. Studi terhadap pengembangan produk herbal berbasis ciplukan menggunakan "*Lean Startup Methodology*" dengan tahap *Learn* yang digunakan untuk mengembangkan produk sesuai dengan *feedback* dari informan konsumen, menunjukkan bahwa pendekatan ini efektif dalam mengurangi risiko kegagalan pasar (Audyningtyas, 2026). Dari *stage-gate*, model ini mengadopsi struktur pengambilan keputusan berbasis tahapan dengan kriteria *go/no-go* yang jelas, namun dengan fleksibilitas yang lebih besar untuk mengakomodasi sifat iteratif dari pengembangan produk bahan alam. Diaconeasa dan Muresan (2025) menemukan bahwa "*natural product drug development requires adaptation of traditional stage-gate models to accommodate botanical complexity*", dengan empat tahap kritis: *Discovery and Lead Selection, Preclinical Optimization, Clinical Translation*, dan *Commercialization*. Dari *business model innovation*, model ini mengadopsi pendekatan sistematis untuk merancang dan memodifikasi komponen model bisnis, proposisi nilai, segmen pelanggan, saluran, hubungan pelanggan, aliran pendapatan, sumber

daya kunci, aktivitas kunci, kemitraan kunci, dan struktur biaya, sesuai dengan dinamika pasar dan regulasi. Business model selection "*must align with regulatory pathway, IP strength, capital availability, and time-to-revenue requirements*" (Diaconeasa & Muresan, 2025), yang berarti model bisnis bukanlah entitas statis, melainkan harus terus dievaluasi dan disesuaikan sepanjang siklus hilirisasi. Dengan mengintegrasikan ketiga kerangka ini secara kontekstual, model komersialisasi yang diusulkan diharapkan dapat mengatasi tantangan spesifik hilirisasi produk bahan alam di Indonesia, yaitu mengelola ketidakpastian teknis dan pasar secara simultan, mengoptimalkan penggunaan sumber daya yang terbatas, dan menciptakan nilai ekonomi yang berkelanjutan dari kekayaan biodiversitas.

5. Integrasi Manajemen Inovasi, Hilirisasi Riset, dan Kimia Bahan Alam

Sintesis kerangka konseptual yang mengintegrasikan manajemen inovasi, hilirisasi riset, dan kimia bahan alam berangkat dari premis bahwa ketiga domain ini selama ini berkembang secara terpisah dan menghasilkan kesenjangan pemahaman yang signifikan. Literatur manajemen inovasi cenderung berfokus pada sektor manufaktur, teknologi informasi, atau farmasi sintetis, sementara literatur kimia bahan alam lebih menekankan aspek teknis isolasi, karakterisasi, dan formulasi senyawa bioaktif. Di sisi lain, literatur hilirisasi riset sering kali membahas transfer teknologi dan komersialisasi tanpa mempertimbangkan kekhususan bahan alam, seperti variabilitas matriks fitokimia, kompleksitas standardisasi, dan panjangnya rantai regulasi. Diaconeasa dan Muresan (2025) menegaskan bahwa "*integrated innovation management approaches that address both scientific complexity and commercial viability*" merupakan kebutuhan mendesak dalam pengembangan produk bahan alam, karena pendekatan yang hanya berfokus pada satu domain terbukti tidak memadai untuk mengatasi kompleksitas hilirisasi. Kerangka konseptual yang diusulkan dalam studi ini menempatkan manajemen inovasi sebagai mekanisme integratif yang menghubungkan kapasitas ilmiah dalam kimia bahan alam dengan proses hilirisasi riset, sehingga ketiga domain tersebut tidak lagi beroperasi secara parsial, melainkan saling memperkuat dalam suatu ekosistem yang koheren.

Secara operasional, kerangka konseptual ini terdiri dari tiga lapisan yang saling terhubung. Lapisan pertama adalah lapisan ilmiah-teknis, yang mencakup aktivitas riset dasar dalam kimia bahan alam: eksplorasi biodiversitas, ekstraksi dan isolasi senyawa bioaktif, elusidasi struktur, pengujian aktivitas biologis, serta formulasi dan standardisasi produk. Lapisan ini menghasilkan pengetahuan ilmiah dan purwarupa yang menjadi input bagi proses hilirisasi. Lapisan kedua adalah lapisan manajerial, yang mencakup kapabilitas dinamis dalam hal *sensing* (identifikasi peluang pasar dan teknologi), *seizing* (mobilisasi sumber daya dan pembentukan kemitraan), dan *reconfiguring* (penyesuaian model bisnis dan strategi berdasarkan umpan balik). Teece (2020) menjelaskan bahwa "*open innovation processes can strengthen an organization's dynamic capabilities*", yang berarti kapabilitas dinamis dan inovasi terbuka merupakan dua sisi dari mata uang yang sama dalam mengelola transisi dari laboratorium ke pasar. Lapisan ketiga adalah lapisan ekosistem, yang mencakup aktor-aktor eksternal seperti pemerintah, industri, investor, dan komunitas pengguna yang menyediakan sumber daya, regulasi, dan pasar bagi produk bahan alam. Interaksi antara ketiga lapisan ini bersifat iteratif dan non-linear, mencerminkan realitas bahwa hilirisasi riset kimia bahan alam bukanlah proses linear dari hulu ke hilir, melainkan siklus umpan balik yang melibatkan pembelajaran berkelanjutan dan penyesuaian strategi. Rangkaian proses hilirisasi ini secara eksplisit dijelaskan oleh Adu-Amankwaah et al. (2026) yang

menyatakan bahwa "*this pipeline operates as a feedback loop rather than as a linear process*", di mana tantangan dalam manufaktur membentuk tujuan riset sebelumnya, sementara penemuan kimia memperkaya pemahaman tentang etnobotani dan aplikasi produk.

Kontribusi kerangka konseptual ini terhadap literatur manajemen inovasi terletak pada pengayaan perspektif tentang bagaimana kapabilitas dinamis beroperasi dalam konteks yang sangat tidak pasti dan padat pengetahuan ilmiah. Sebagian besar literatur kapabilitas dinamis berfokus pada industri yang relatif mapan dengan siklus pengembangan produk yang terdefinisi dengan baik, sementara produk bahan alam memiliki karakteristik yang berbeda: siklus pengembangan yang panjang, ketidakpastian regulasi yang tinggi, dan kompleksitas ilmiah yang memerlukan integrasi antara pengetahuan fitokimia, farmakologi, dan rekayasa proses. Nguyen dan Mitkova (2025) menemukan bahwa dalam konteks biotech SMEs dan startups, "*the extent of openness influences how business models need to innovate to align with specific open innovation practices*", yang menunjukkan bahwa kapabilitas dinamis dan inovasi terbuka memiliki keterkaitan yang lebih kompleks dalam industri berbasis ilmu pengetahuan seperti bahan alam. Kerangka yang diusulkan dalam studi ini memperluas pemahaman tersebut dengan menunjukkan bahwa dalam hilirisasi bahan alam, kapabilitas dinamis tidak hanya berfungsi untuk mengakses sumber daya eksternal, tetapi juga untuk menerjemahkan bahasa ilmiah menjadi proposisi nilai yang dapat dipahami oleh investor, regulator, dan konsumen. Kemampuan translasi ini merupakan kompetensi manajerial yang khas dan belum banyak dibahas dalam literatur manajemen inovasi konvensional.

Kontribusi terhadap literatur kimia terapan terletak pada penekanan bahwa keberhasilan hilirisasi tidak hanya ditentukan oleh kualitas riset ilmiah, melainkan juga oleh kemampuan mengelola transisi dari penemuan menjadi produk yang dapat diproduksi, didistribusikan, dan diterima pasar. Studi terhadap model bisnis perusahaan berbasis pengetahuan di bidang tanaman obat menunjukkan bahwa enam dimensi kunci, modal dan sumber daya keuangan, keterkaitan teknologi dan infrastruktur, regulasi dan kebijakan, pasar dan pemasaran, inovasi terbuka dan kolaborasi jaringan, serta fleksibilitas model bisnis yang secara signifikan memengaruhi desain komponen model bisnis, sehingga meningkatkan kinerja inovasi dan kemampuan pengembangan pasar (Nguyen & Mitkova, 2025). Temuan ini mengonfirmasi bahwa kimia bahan alam sebagai disiplin ilmu perlu mengintegrasikan perspektif manajerial ke dalam kurikulum dan praktik risetnya, bukan sebagai pelengkap, melainkan sebagai kompetensi inti yang menentukan relevansi sosial dan ekonomi dari riset yang dihasilkan. Kerangka konseptual ini memberikan landasan teoretis bagi pengembangan kimia terapan yang berorientasi hilirisasi, di mana peneliti kimia tidak hanya menghasilkan pengetahuan baru, tetapi juga secara aktif terlibat dalam proses transformasi pengetahuan tersebut menjadi produk yang bermanfaat bagi masyarakat.

Pengayaan teori komersialisasi produk berbasis sumber daya alam di negara berkembang merupakan kontribusi ketiga dari kerangka konseptual ini. Literatur komersialisasi teknologi sebagian besar dikembangkan dalam konteks negara maju dengan ekosistem inovasi yang mapan, akses modal yang luas, dan infrastruktur regulasi yang efisien. Namun, realitas di negara berkembang seperti Indonesia sangat berbeda: sumber bahan baku tersebar secara geografis, pelaku utama adalah UMKM dan koperasi dengan sumber daya terbatas, akses terhadap pembiayaan risiko sangat terbatas, dan regulasi yang berlaku bersifat kompleks serta berlapis. Mekanisme kelembagaan yang terfragmentasi, lemahnya perlindungan kekayaan intelektual, dan

penerimaan publik yang terbatas menjadi hambatan utama dalam transisi industrialisasi bio-breeding menuju model ekonomi sirkular (Qin & Su, 2026). Kelima pilar ini menegaskan bahwa komersialisasi produk berbasis sumber daya alam di negara berkembang bukan hanya persoalan teknis atau manajerial, melainkan juga persoalan kelembagaan dan kebijakan yang memerlukan pendekatan multidimensional.

Kerangka konseptual yang diusulkan memperkaya teori komersialisasi dengan menawarkan tiga proposisi utama. **Pertama**, komersialisasi produk bahan alam di negara berkembang harus bersifat kolaboratif dan terlembaga, bukan individual dan sporadis. Model kemitraan *triple helix* yang melibatkan perguruan tinggi, industri, dan pemerintah, sebagaimana diadopsi oleh BPOM RI dalam mendorong "model kolaborasi *triple helix* yang melibatkan sinergi antara akademisi, pelaku usaha, dan pemerintah" (Badan Pengawas Obat dan Makanan, 2025), merupakan prasyarat untuk mengatasi keterbatasan sumber daya dan membangun ekosistem yang mendukung. **Kedua**, model bisnis harus bersifat adaptif dan bertahap, dimulai dari produk dengan TKT tinggi untuk menghasilkan pendapatan awal, kemudian secara bertahap mengembangkan produk dengan TKT lebih rendah seiring dengan akumulasi sumber daya dan pembelajaran. **Ketiga**, keberhasilan komersialisasi tidak dapat diukur hanya dari penjualan produk akhir, tetapi juga dari penciptaan nilai sosial dan ekonomi yang lebih luas, termasuk pemberdayaan petani, pelestarian biodiversitas, dan penguatan kapasitas riset nasional. Kerangka konseptual ini tidak hanya menjelaskan bagaimana komersialisasi produk bahan alam dapat dilakukan, tetapi juga mengapa komersialisasi tersebut penting bagi pembangunan berkelanjutan di negara berkembang. Menjawab tujuan teoretis penelitian, kerangka ini menawarkan integrasi yang sistematis antara manajemen inovasi, hilirisasi riset, dan kimia bahan alam, serta memperkaya literatur komersialisasi teknologi dengan perspektif kontekstual dari negara berkembang yang kaya akan sumber daya alam namun menghadapi tantangan struktural dalam mentransformasi kekayaan tersebut menjadi kesejahteraan.

Gambar 3. Integrasi Manajemen Inovasi, Hilirisasi Riset, dan Kimia Bahan Alam

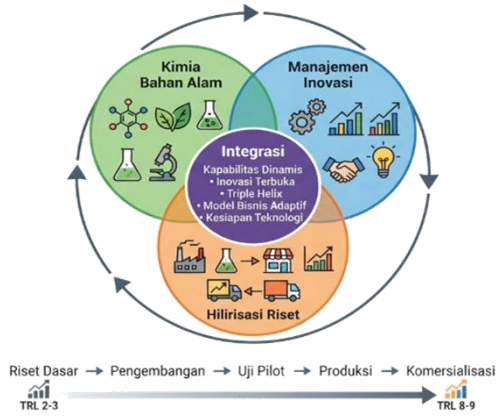


Diagram di atas menggambarkan secara visual ketiga domain (kimia bahan alam, manajemen inovasi, dan hilirisasi riset), saling terhubung dan saling memperkuat dalam suatu kerangka integratif. Bagian tengah diagram yang berlabel "Integrasi" menjadi inti dari kerangka konseptual, menunjukkan bahwa kapabilitas dinamis, inovasi terbuka, kolaborasi *triple helix*, model bisnis adaptif, dan kesiapan teknologi merupakan elemen-elemen kunci yang menjembatani ketiga domain tersebut. Panah melingkar di sekeliling segitiga menegaskan bahwa integrasi ini bersifat iteratif dan

berkelanjutan, bukan linear dan sekali jadi. Sedangkan, garis waktu di bawah diagram mengingatkan bahwa integrasi ini harus dioperasionalkan pada setiap tahap hilirisasi, dari riset dasar hingga komersialisasi, dengan tingkat kompleksitas dan kebutuhan kapabilitas yang berbeda di setiap tahap. Gambar ini berfungsi sebagai peta konseptual yang memandu peneliti, manajer inovasi, dan pembuat kebijakan dalam memahami dan mengimplementasikan integrasi manajemen inovasi, hilirisasi riset, dan kimia bahan alam secara holistik.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa hilirisasi riset kimia bahan alam dari laboratorium ke pasar merupakan proses yang sarat dengan ketidakpastian, bersifat iteratif, dan tidak dapat direduksi menjadi sekadar urutan tahapan linear. Menjawab RQ1, proses hilirisasi teridentifikasi mengikuti lima tahapan utama (riset dasar, pengembangan, uji skala pilot, produksi, dan komersialisasi) namun transisi antar tahapan sangat bervariasi: ada yang akseleratif karena kemitraan industri yang kuat sejak awal, ada yang iteratif karena umpan balik pasar, dan ada yang stagnan pada zona *Valley of Death* akibat ketidakselarasan strategis dan hambatan regulasi (Loh et al., 2025). Menjawab RQ2, peran manajemen inovasi terwujud dalam empat praktik utama: perencanaan strategis yang adaptif, alokasi sumber daya yang fleksibel, pengembangan kemitraan *triple helix* yang terlembaga, serta manajemen risiko dan perlindungan kekayaan intelektual. Kapabilitas dinamis dalam hal *sensing, seizing*, dan *reconfiguring* terbukti menjadi pembeda antara organisasi yang berhasil dan yang gagal dalam mengelola transisi dari laboratorium ke pasar (Nguyen & Mitkova, 2025). Menjawab RQ3, faktor pendukung hilirisasi mencakup kebijakan pemerintah, pendanaan, jaringan, SDM, teknologi, dan permintaan pasar, sementara faktor penghambat meliputi regulasi kompleks, biaya scale-up, standardisasi, akses modal, dan persepsi konsumen. Temuan kunci menunjukkan bahwa faktor non-teknis, terutama regulasi, pendanaan, dan kemitraan, sering kali lebih dominan daripada faktor teknis dalam menentukan keberhasilan atau kegagalan hilirisasi (Diaconeasa & Muresan, 2025). Menjawab RQ4, strategi manajemen inovasi yang paling efektif adalah kombinasi dari kemitraan strategis yang terstruktur sejak tahap riset dasar, validasi pasar berkelanjutan melalui siklus *build–measure–learn*, dan model bisnis yang adaptif serta bertahap. Model komersialisasi kontekstual yang diusulkan mengintegrasikan elemen *lean startup, stage-gate*, dan *business model innovation*, dengan penekanan pada kolaborasi *triple helix* sebagai fondasi ekosistem hilirisasi.

Penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dan praktis yang signifikan bagi ilmu manajemen inovasi dan kimia terapan. Secara teoretis, penelitian ini mengembangkan kerangka konseptual yang mengintegrasikan tiga domain yang selama ini berkembang secara terpisah (manajemen inovasi, hilirisasi riset, dan kimia bahan alam), sehingga memperkaya literatur tentang komersialisasi produk berbasis sumber daya alam di negara berkembang (Teece, 2020). Bagi akademisi dan peneliti kimia, penelitian ini merekomendasikan integrasi perspektif manajerial ke dalam kurikulum dan praktik riset, bukan sebagai pelengkap, melainkan sebagai kompetensi inti yang menentukan relevansi sosial-ekonomi dari riset yang dihasilkan. Bagi technopreneur dan UMKM, penelitian ini menawarkan panduan operasional berupa model bisnis bertahap dan strategi validasi pasar yang dapat dioperasionalkan dengan sumber daya terbatas. Bagi industri, penelitian ini memberikan wawasan tentang cara menjembatani kepentingan riset akademik dengan kebutuhan pasar melalui kemitraan strategis dan lisensi teknologi. Bagi pembuat kebijakan, penelitian ini merekomendasikan penyederhanaan regulasi, penyediaan instrumen pendanaan yang sesuai dengan

siklus pengembangan produk bahan alam, serta penguatan ekosistem kolaborasi *triple helix* yang melibatkan perguruan tinggi, industri, dan pemerintah secara aktif (Badan Pengawas Obat dan Makanan, 2025). Keberhasilan Atsiri Research Center Universitas Syiah Kuala dalam mengembangkan minyak nilam terpurifikasi hingga TKT 7–8 dan mengekspor produk turunannya ke Prancis sebanyak 35 kali menunjukkan bahwa model kolaborasi yang tepat dapat mengatasi hambatan struktural yang selama ini menghambat hilirisasi riset kimia bahan alam di Indonesia (Antaranews, 2025).

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Secara metodologis, desain kualitatif deskriptif dengan pendekatan studi kasus membatasi kemampuan generalisasi temuan ke populasi yang lebih luas, karena temuan sangat terikat pada konteks spesifik objek studi yang diteliti. Jumlah informan yang terbatas dan cakupan geografis yang terfokus pada beberapa lokus di Indonesia juga membatasi representativitas temuan, terutama mengingat keragaman kondisi ekosistem inovasi di berbagai daerah. Secara kontekstual, penelitian ini dilakukan pada periode tertentu yang mungkin tidak sepenuhnya menangkap dinamika jangka panjang dari proses hilirisasi, yang umumnya memerlukan waktu bertahun-tahun untuk mencapai tahap komersialisasi. Selain itu, penelitian ini belum sepenuhnya mengeksplorasi dimensi kuantitatif dari kinerja hilirisasi, seperti analisis biaya-manfaat yang terperinci, proyeksi keuangan jangka panjang, atau pengukuran dampak ekonomi secara makro. Keterbatasan dalam mengakses data keuangan yang sensitif dan data penjualan yang terperinci juga membatasi kedalaman analisis kelayakan finansial. Studi terhadap pengembangan produk herbal di Indonesia juga mengidentifikasi keterbatasan serupa, di mana "data mengenai kinerja keuangan dan dampak sosial dari hilirisasi riset masih sangat terbatas" (Cahyani et al., 2025). Temuan penelitian ini harus dipahami sebagai kontribusi untuk pemahaman yang lebih dalam tentang mekanisme dan dinamika hilirisasi, bukan sebagai generalisasi yang dapat diterapkan secara universal tanpa penyesuaian kontekstual.

Berdasarkan keterbatasan yang telah diidentifikasi, penelitian lanjutan disarankan untuk mengadopsi pendekatan yang lebih beragam dan komprehensif. **Pertama**, studi kuantitatif diperlukan untuk menguji secara statistik hubungan antara variabel-variabel manajemen inovasi (seperti kapabilitas dinamis, intensitas kemitraan, dan orientasi pasar) dengan kinerja hilirisasi (seperti waktu ke pasar, tingkat adopsi, dan profitabilitas). Survei lintas sektoral terhadap startup, UMKM, dan industri kimia bahan alam di berbagai wilayah Indonesia dapat menghasilkan data yang lebih representatif dan memungkinkan analisis inferensial yang lebih kuat. **Kedua**, perbandingan lintas sektor antara produk bahan alam yang berbeda misalnya, kosmetik versus pangan fungsional versus bioenergi, dapat mengungkap apakah faktor-faktor keberhasilan hilirisasi bersifat universal atau spesifik sektor, sehingga menghasilkan model yang lebih nuansa dan dapat disesuaikan. **Ketiga**, pengembangan model prediktif berbasis machine learning atau pemodelan sistem dinamis dapat membantu memprediksi probabilitas keberhasilan hilirisasi pada setiap tahap berdasarkan kombinasi faktor teknis, manajerial, dan ekosistem. Cahyani et al. (2025) menekankan bahwa "*future research should explore green supply chains, sustainability measurement, and stronger collaboration with developing countries for holistic solutions*", yang menunjukkan bahwa agenda riset ke depan perlu memperluas cakupan dari sekadar aspek manajerial internal ke dimensi keberlanjutan dan kolaborasi internasional. Selain itu, penelitian longitudinal yang mengikuti perkembangan produk dari tahap riset dasar hingga komersialisasi selama beberapa tahun akan memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang dinamika jangka panjang dan faktor-faktor

yang menentukan keberhasilan berkelanjutan. Dengan mengintegrasikan berbagai pendekatan metodologis dan memperluas cakupan konteks, penelitian lanjutan diharapkan dapat memperkaya pemahaman tentang bagaimana kekayaan biodiversitas Indonesia dapat ditransformasi menjadi kesejahteraan ekonomi yang inklusif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Adu-Amankwaah, F., et al. (2026). *Towards an integrated translational framework for AMR drug discovery in Africa*. Taylor & Francis.

Ahmed, S. K. (2024). The pillars of trustworthiness in qualitative research. *Journal of Medicine, Surgery, and Public Health*, 2, 100051.

Antaranews. (2024, 31 Oktober). *BRIN kembangkan inovasi bioindustri untuk hilirisasi rumput laut*. Antaranews.

Antaranews. (2025, 11 Agustus). *Harum nilam Aceh antar Syaifullah raih Indonesia Innovator Award 2025*. Antaranews.

Audyningtyas, K. R. (2026). Pengembangan bisnis PhySa Tea sebagai produk herbal berbasis ciplukan (Physalis angulata L.). *Jurnal Unigal*, 12(1).

Badan Pengawas Obat dan Makanan. (2025, 6 Desember). *Berikan kuliah umum di UNS, Kepala BPOM tegaskan kolaborasi sebagai kunci kemandirian dan daya saing obat bahan alam*. BPOM RI.

Badan Riset dan Inovasi Nasional. (2025). *Eksplorasi senyawa bioaktif dari rumput laut Sargassum polycystum*. BRIN.

Befort, N., Ayoub, M., & Matt, M. (2025). The role of dynamic capabilities in the development of eco-innovations. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 53, 1–5.

BSE India. (2025). *Astaxanthin from Haematococcus pluvialis: Market potential and production. Bombay Stock Exchange*.

Cabote, C., Salamonson, Y., Ramjan, L., Maneze, D., Trajkovski, S., & Montayre, J. (2024). The synergy of critical realism and case study: A novel approach in nursing research. *International Journal of Qualitative Methods*, 23, 1–11.

Cahyani, W. K. D., Santoso, I., Lestari, E. R., & Hidayat, A. (2025). Sustainability and SME performance in the Herbal Medicine (Jamu) sector: Future research directions. *Nativa*, 13(4), 1–15.

Diaconeasa, Z., & Muresan, C. M. (2025). From lab to market: A literature review of innovation management strategies in natural product drug development. *Review of Management and Economic Engineering*, 24(4), 241–250.

Fakultas Farmasi Universitas Indonesia. (2025, 18 November). *FF UI perkenalkan inovasi "Teh Mangrove" di Pulau Harapan: Produk herbal antioksidan yang berpeluang menjadi oleh-oleh khas Kepulauan Seribu*. Fakultas Farmasi Universitas Indonesia.

Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret. (2025, 8 Desember). *The Head of the Indonesian Food and Drug Authority (BPOM RI) delivered a public lecture on herbal medicine at FK UNS*. Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret.

Hallett, J. P. (2025). Green chemistry startups: Some lessons learned. *Green Chemistry*, 27(2), 403–412.

Institut Teknologi Indonesia. (2025, 16 Desember). *Hilirisasi produk nanosilika berbasis limbah pertanian sebagai bahan penyimpanan energi (baterai litium), kolaborasi Teknik Kimia ITI, BRIN dan industri*. Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Indonesia.

Kupnik, K., Brezovec, N., Knez, Ž., Leitgeb, M., & Primožič, M. (2026). Bacterial nanocellulose biohybrid membranes and beads for potential cosmetics, food, and drug delivery applications. *Cellulose*, 33(2), 1001–1021.

Loh, J. S., Low, C. Y., Low, W. P., Ng, Y. L., Mak, W. Q., Tan, L. K. S., Chan, H. H., Ong, Y. S., Cheah, S. K. A., Albert, E. L., & How, C. W. (2025). Traversing the Valley of Death for

nanotechnology-based natural products: Strategies and insights from pharmaceutical stakeholders. *Drug Delivery and Translational Research*, 15(11), 4126–4140.

Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). Sage Publications.

Nguyen, D. A., & Mitkova, L. (2025). Open innovation and business model innovation intertwined: A dynamic capabilities perspective. *Academy of Management Proceedings*, 2025(1), 19037.

Nurkolis, F., et al. (2026). Sargassum polycystum as natural source of antioxidant and antidiabetic compounds: A solvent-driven metabolomic profiling study. *Journal of Agriculture and Food Research*, 30, 103151.

Qin, Y., & Su, K. (2026). Enabling the circular bioeconomy: Institutional mechanism design for sustainable development of bio-breeding in China. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 10, 1699913.

RRI. (2025, 11 Agustus). *Kepala ARC USK menjadi pembicara konvensi sains ITB*. RRI.co.id.

Schlunegger, M. C., Zumstein-Shaha, M., & Palm, R. (2024). Methodologic and data-analysis triangulation in case studies: A scoping review. *Western Journal of Nursing Research*, 46(8), 611–622.

Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati ITB. (2026, 24 Juli). *Tekan ketergantungan impor, SITH ITB kembangkan senyawa ektoin komersial dari biodiversitas lokal*. Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati Institut Teknologi Bandung.

Setyawan, M. P., & Fitriyah, A. (2026). Community economic empowerment through Macaranga-based pharmaceutical development: A participatory case study in Biatan Hilir. *Journal of Rural and Regional Innovation Studies*, 2(1), 70–109.

Teece, D. J. (2020). Hand in glove: Open innovation and the dynamic capabilities framework. *Strategic Management Review*, 1(2), 233–253.

Tridge Insights. (2026, 26 Mei). *Challenges and opportunities in developing Indonesia's jamu and herbal extract industry*. Tridge.

Universitas Andalas. (2025). *Ekstrak gambir terstandar: Pengembangan produk hilirisasi*. Universitas Andalas.

Universitas Indonesia. (2025, 6 Februari). *UI catat tonggak baru inovasi kesehatan luncurkan Propolisul*. Antaranews.

Universitas Mataram. (2025, 19 November). *Inovasi Radiant Sea mahasiswa Kelautan Unram: Pemanfaatan alga cokelat Padina sp menjadi body lotion bernilai ekonomi tinggi di KMI Expo 2025*. Universitas Mataram.

Universitas Mulawarman. (2024). *UNMUL-Unila kolaborasi strategis, akselerasi hilirisasi riset minyak atsiri menuju komersialisasi*. Universitas Mulawarman.

Universitas Padjadjaran. (2025, 14 Agustus). *Upayakan komersialisasi hasil riset minyak sacha inchi*, Fakultas Farmasi Unpad kolaborasi dengan PT DNIM. Universitas Padjadjaran.

Wamendiktisaintek. (2024, 24 Desember). *Wamendiktisaintek apresiasi peran ARC USK dalam hilirisasi nilam Aceh*. Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi.

Yulianto, H. (2023). *Manajemen Strategis: Dasar Konsepsi Pada Organisasi Bisnis*. Yudha English Gallery.

Yulianto, H. (2026). Academic Focus Group Discussion: Validity Testing of the Strategic Transformation Instrument for Mamminasata Startups. *Menara Kearifan: Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 5(1). 19-28.

Yulianto, H. (2025). Diseminasi Transformasi Digital: Refleksi Hasil Penelitian pada UMKM Kerajinan Tradisional di Makassar. *Solusi Bersama: Jurnal Pengabdian dan Kesejahteraan Masyarakat*. 2(4). 125-134.

Yulianto, H., Arni, S., Syamsuri, H. (2025). Pelatihan dan Pendampingan Manajemen Usaha Coffee Shop "Kopi Latimojong" Menggunakan Business Model Canvas. *To Maega: Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 8(1). 52-71.

Yulianto, H., Baso, M.I.H.M., Ahmad, D. (2026). Co-Creation as a Research Methodology: Lessons from a Focus Group Discussion for Validating Strategic Frameworks in Startup Studies. *Proceeding of International Conference on Economics, Technology, Management, Accounting, Education, and Social Science (ICETEA)*. 2. 819-844.