



PENILAIAN TEKNO-EKONOMI BIOGASOLINE DARI PONGAMIA PINNATA (MALAPARI) UNTUK BIOENERGI BERBASIS KOMUNITAS DI PULAU KERING: TINJAUAN PUSTAKA SISTEMATIS DAN ANALISIS BIBLIOMETRIK

¹Posma Sariguna Johnson Kennedy, ²Alexander Benedictus Bala Tifaona,
³Budi Leksono, ⁴Philiphi de Rozari, ⁵Mesakh Trywira Wibowo Boikh
⁶Ignatius Abraham Enga Tifaona

¹Program Studi Doktor Manajemen, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta

^{2,6}Magister Manajemen, Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Harapan Bangsa, Bandung

³Pusat Riset Botani Terapan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

^{4,5}Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Indonesia

E-mail: posmahutasoit@gmail.com, alex.tifaona@gmail.com,
budi.leksono@brin.go.id, pderozari@staf.undana.ac.id,
mesakh.boikh@staf.undana.ac.id, mm-24392@students.ithb.ac.id

Abstrack

This study maps the literature on techno-economic assessment (TEA) of biogasoline and advanced biofuels from non-edible vegetable oils, focusing on Pongamia pinnata or Malapari as a community-based bioenergy feedstock for arid islands. From 500 Q1-Q4 journal articles published in 2016-2026, 276 articles were screened and analyzed through systematic literature review and VOSviewer title-abstract co-occurrence mapping. The results show that the field is dominated by biodiesel, biofuel, bioethanol, biorefinery, and renewable energy, while biogasoline and Pongamia pinnata remain peripheral. Key TEA parameters include minimum fuel selling price (MFSP), net present value (NPV), internal rate of return (IRR), payback period, capital investment, production cost, feedstock cost, sensitivity analysis, and uncertainty. Technological terms such as catalyst, pyrolysis, hydrothermal liquefaction, hydrodeoxygenation, pretreatment, oil quality, and oil yield connect process performance with economic feasibility. The novelty lies in integrating Malapari-based biogasoline TEA with oil pretreatment, community supply chains, coproduct revenue, and arid-island contexts such as East Nusa Tenggara.

Keyword: *Pongamia pinnata; Malapari; biogasoline; techno-economic assessment; minimum fuel selling price; community biofuel*

Abstrak

Studi ini memetakan literatur penilaian tekno-ekonomi (TEA) biogasoline dan biofuel lanjutan dari minyak nabati non-pangan, dengan fokus pada *Pongamia pinnata* atau Malapari sebagai bahan baku bioenergi komunitas di pulau kering. Dari 500 artikel Q1-Q4 periode 2016-2026, sebanyak 276 artikel disaring dan dianalisis menggunakan tinjauan pustaka sistematis serta pemetaan bibliometrik VOSviewer berbasis *co-occurrence* judul dan abstrak. Hasil menunjukkan bahwa literatur masih didominasi biodiesel, biofuel, bioethanol, biorefinery, dan *renewable energy*, sedangkan biogasoline dan *Pongamia pinnata* masih marginal. Parameter TEA yang paling menonjol meliputi *minimum fuel selling price* (MFSP), *net present value* (NPV), *internal rate of return* (IRR), *payback period*, *capital investment*, *production cost*, *feedstock cost*, *sensitivity analysis*, dan *uncertainty*. Pada sisi teknologi, *catalyst*, *pyrolysis*, *hydrothermal liquefaction*, *hydrodeoxygenation*, *pretreatment*, *oil quality*, dan *oil yield* menjadi simpul penting. Novelty artikel terletak pada integrasi TEA biogasoline Malapari dengan *pretreatment* minyak, rantai pasok komunitas, *co-product revenue*, dan konteks pulau kering seperti Nusa Tenggara Timur. Kerangka ini menjadi dasar riset bertahap dari TEA berbasis literatur menuju TEA berbasis data pilot.

Kata kunci: *Pongamia pinnata*; Malapari; biogasoline; *techno-economic assessment*; *minimum fuel selling price*; biofuel komunitas

1. PENDAHULUAN

Transisi energi rendah karbon membutuhkan bioenergi yang tidak berkompetisi dengan pangan, dapat dikembangkan pada lahan marginal, dan memberi manfaat ekonomi bagi masyarakat lokal. *Pongamia pinnata* atau Malapari relevan karena berfungsi sebagai pohon penghasil minyak non-pangan, instrumen restorasi lahan, dan komponen bioenergi berbasis komunitas. Di Indonesia, *Pongamia* dinilai potensial untuk restorasi lahan terdegradasi dan produksi bioenergi, serta memiliki fungsi ekologis, sosial, dan ekonomi (Leksono et al., 2021; Degani et al., 2022; Aminah et al., 2025).

Dalam literatur biofuel, *Pongamia* lebih sering dikaji sebagai bahan baku biodiesel atau biojet fuel daripada biogasoline. Padahal, biogasoline menargetkan fraksi hidrokarbon rentang bensin, terutama C5-C11, sehingga memerlukan pengendalian kualitas minyak, pretreatment, selektivitas katalis, dan pengelolaan fraksi samping. Kelayakan jalur ini tidak cukup ditentukan oleh hasil reaksi, tetapi harus diuji melalui TEA dengan indikator MFSP, NPV, IRR, *payback period*, *capital investment*, *production cost*, *feedstock cost*, *sensitivity analysis*, dan *uncertainty* (Scown et al., 2021; Barahmand & Eikeland, 2022; Chai et al., 2022; Fu et al., 2023).

Kesenjangan riset muncul karena studi TEA biofuel masih banyak berorientasi pada skala industri dan bahan baku yang lebih mapan. Pada wilayah kepulauan kering seperti Nusa Tenggara Timur, kelayakan biofuel juga dipengaruhi biaya pengumpulan buah, variasi hasil panen, pengeringan, kapasitas pengolahan desa, transportasi antar pulau, kelembagaan BUMDes/koperasi, dan partisipasi masyarakat (Kennedy, 2026; Tifaona et al., 2026). Oleh sebab itu, artikel ini memetakan literatur TEA biogasoline dan biofuel lanjutan dari minyak nabati non-pangan, lalu merumuskan novelty Malapari sebagai *feedstock* komunitas di pulau kering.

2. LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Techno-Economic Assessment* (TEA) dalam Biofuel

TEA menghubungkan desain proses, neraca massa dan energi, biaya modal, biaya operasi, harga bahan baku, skala produksi, dan asumsi finansial. Dalam biofuel, TEA lazim dipadukan dengan *process simulation*, *discounted cash flow*, *levelized cost*, *scenario analysis*, dan *sensitivity analysis*. TEA juga semakin diposisikan bersama *life cycle assessment* agar kelayakan ekonomi tidak dilepaskan dari risiko

lingkungan dan ketidakpastian teknologi (Scown et al., 2021; Fu et al., 2023; Chai et al., 2022; Barahmand & Eikeland, 2022).

Pada minyak nabati non-pangan, TEA harus membedakan harga bahan baku, *delivered feedstock cost*, dan biaya minyak yang benar-benar siap dikonversi setelah *pretreatment*. Pada Malapari, biaya ekonomi mencakup pengumpulan buah, depodding, pengeringan, penyimpanan, ekstraksi, filtrasi, demetalisasi, pengendalian gum, transportasi, serta variasi kualitas antarmusim. Karena itu, MFSP biogasoline Malapari harus dihitung dari biaya minyak siap olah, bukan hanya dari harga biji atau minyak mentah (Anwar, 2021; Wang, 2019).

2.2 Biogasoline, Hydrocarbon Biofuel, dan Jalur Konversi Minyak Nabati

Biogasoline berbeda dari biodiesel karena produk yang dituju adalah hidrokarbon, bukan ester asam lemak. Jalur yang relevan meliputi *catalytic cracking*, *hydrodeoxygenation*, *hydrotreating*, *decarboxylation*, *decarbonylation*, *pyrolysis*, dan *hydrothermal liquefaction*. Perbandingan jalur biojet berbasis *lignocellulose*, *vegetable oil*, dan *sugar cane juice* menunjukkan bahwa asumsi feedstock, proses, dan biaya sangat menentukan keekonomian (Diederichs et al., 2016). Evaluasi *hydroprocessed renewable jet fuel* juga menegaskan pentingnya seleksi feedstock dan skenario biaya (Wang, 2019).

Dalam konteks biogasoline, kualitas minyak dan performa katalis menjadi faktor kunci. Studi *single-step catalytic conversion bioethanol to fuel blendstocks*, *hydrocracking* minyak biji karet menuju fraksi biogasoline, serta *catalytic cracking crude palm oil* menjadi rujukan penting untuk memahami peran katalis, distribusi produk, dan kemungkinan penggunaan zeolite atau katalis logam (Anekwe et al., 2024; Sihombing et al., 2020; Widyastuti et al., 2024). Untuk Malapari, pretreatment harus diposisikan sebagai variabel ekonomi karena pengotor seperti logam, fosfor, gum, dan padatan dapat memperpendek umur katalis dan menaikkan biaya operasi. Pengalaman *hydrothermal liquefaction* dan *biocrude upgrading* menunjukkan bahwa pilihan *treatment* dapat mengubah biaya sistem secara nyata (Zhu et al., 2019).

2.3 Pongamia pinnata/Malapari sebagai Feedstock Non-Pangan

Pongamia memiliki karakter khas sebagai tanaman minyak non-pangan, pohon agroforestri, dan komponen restorasi lanskap. Degani et al. (2022) menekankan fungsi Pongamia dalam remediasi lahan, sekuestrasi karbon, produksi minyak, dan manfaat sosioekonomi. Di Indonesia, Leksono et al. (2021) menunjukkan relevansi Pongamia bagi restorasi lahan dan bioenergi. Dalemans et al. (2019) menegaskan bahwa profitabilitas rantai nilai biofuel berbasis Pongamia bergantung pada kelembagaan, skala, dan rantai pasok. Kajian Indonesia terbaru juga menunjukkan meningkatnya perhatian terhadap Pongamia melalui *scoping review* dan *bibliometric analysis* (Aminah et al., 2025).

Untuk Lembata dan pulau kering lain, Malapari tidak cukup dipahami sebagai kegiatan penanaman. Implementasinya perlu dilihat sebagai sistem bisnis keberlanjutan dan agroforestri partisipatif, karena keberhasilan *feedstock* akan sangat dipengaruhi *crowd planting*, partisipasi masyarakat, pengelolaan kelembagaan, dan ekonomi hijau lokal (Kennedy, 2026; Tifaona et al., 2026).

2.4 Co-product dan Biorefinery dalam TEA Biofuel

Literatur biofuel semakin bergeser dari *single-product fuel* menuju *integrated biorefinery*. Byun dan Han (2020) menekankan pentingnya penilaian terpadu *coproduction pathways*, sedangkan Abdullah dan Hussein (2021) menunjukkan potensi integrasi biorefinery untuk bioenergy co-generation dan bioproduct. Di Indonesia, pemetaan valorisasi residu biomassa memperlihatkan bahwa residu dapat menjadi sumber energi hijau masa depan (Rhofita et al., 2022).

Pada Malapari, *co-product* dapat berupa bungkil, cangkang, residu padat, biochar, gas, coke, HCO/LCO, dan nilai karbon. Pendapatan *co-product* berpotensi menurunkan MFSP, tetapi perlu diuji secara konservatif. Biaya rantai pasok dan pasar karbon dapat memengaruhi kelayakan sistem bioenergi kecil (Ahmadi et al., 2020), sedangkan pembelajaran energi skala kecil di Indonesia dan isu manajemen rantai pasok biofuel Asia Tenggara menunjukkan pentingnya tata kelola operasional, lokasi, dan koordinasi hulu-hilir (Silaen et al., 2020; Ying et al., 2020; Cervi et al., 2019).

3. METODOLOGI PENELITIAN

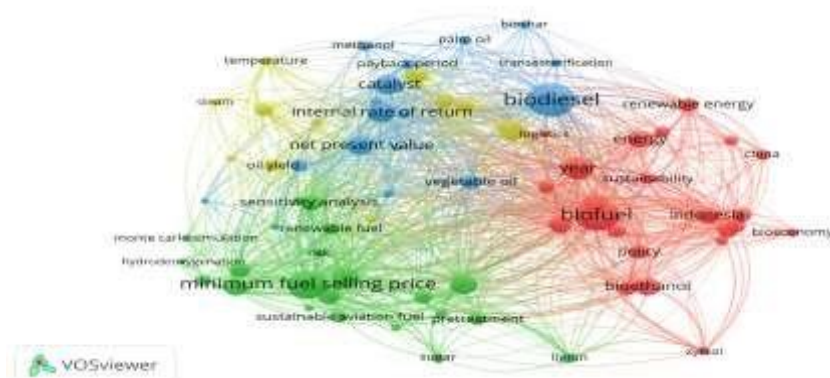
Artikel ini menggunakan tinjauan pustaka sistematis yang dipadukan dengan analisis bibliometrik. Korpus awal terdiri atas 500 artikel jurnal Q1-Q4 periode 2016-2026 yang relevan dengan biofuel, biodiesel, biogasoline, *hydrocarbon biofuel*, TEA, MFSP, *vegetable oil*, *non-edible oil*, Pongamia, *catalytic cracking*, *hydrodeoxygenation*, *supply chain*, dan biorefinery. Setelah penyaringan relevansi judul, abstrak, indikator ekonomi/teknologi, dan keterkaitan dengan biofuel lanjutan, sebanyak 276 artikel dianalisis. Untuk naskah akhir, daftar pustaka dipersempit menjadi 25 referensi inti yang paling mendukung argumen.

Analisis bibliometrik dilakukan dengan VOSviewer menggunakan *title-abstract cooccurrence*. *Thesaurus* digunakan untuk menyatukan sinonim, misalnya MFSP menjadi *minimum fuel selling price*, IRR menjadi *internal rate of return*, NPV menjadi *net present value*, serta Pongamia, Karanja, Malapari, dan *Millettia pinnata* menjadi *Pongamia pinnata*. Istilah generik seperti *article*, *paper*, *publication*, *database*, dan *research* dihapus. Parameter yang dibaca meliputi *occurrences*, *links*, *total link strength*, *cluster*, *average publication year*, *average citations*, dan *average normalized citations*. *Full counting* digunakan untuk melihat intensitas diskursus, sedangkan *binary counting* digunakan untuk mengurangi bias pengulangan istilah dalam artikel yang sama.

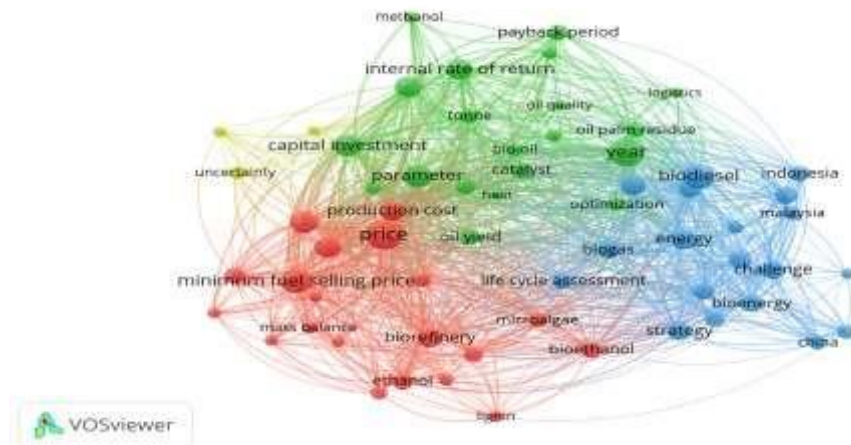
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Peta Co-occurrence VOSviewer

Hasil pemetaan menunjukkan bahwa literatur biofuel 2016-2026 masih didominasi oleh biodiesel, biofuel, *renewable energy*, MFSP, IRR, NPV, *catalyst*, *biorefinery*, dan *supply chain*. Pada *full counting*, simpul besar meliputi biodiesel (210 *occurrences*), biofuel (187), *minimum fuel selling price* (152), *internal rate of return* (87), *oil palm residue* (85), *biorefinery* (81), *catalyst* (80), *net present value* (78), bioethanol (69), *pyrolysis* (63), dan *supply chain* (62). Ini menunjukkan bahwa literatur telah matang pada biodiesel dan TEA umum, tetapi belum secara spesifik matang pada biogasoline Pongamia.



Gambar 1. Peta co-occurrence *title-abstract* dengan metode *full counting* setelah *thesaurus cleansing*.



Gambar 2. Peta *co-occurrence title-abstract* dengan metode *binary counting* setelah *thesaurus cleansing*.

4.2 Temuan Klaster Utama

Pertama, klaster pengembangan biofuel mencakup biofuel, bioenergy, *renewable energy*, *policy*, *supply chain*, *sustainability*, Indonesia, China, India, Malaysia, *bioeconomy*, dan *Pongamia pinnata*. Klaster ini menunjukkan bahwa biofuel dibaca sebagai bagian dari agenda transisi energi, kebijakan publik, dan pembangunan pasar. Masuknya *Pongamia* dalam klaster ini sejalan dengan kajian Indonesia dan Lembata, tetapi posisinya yang marginal menunjukkan bahwa topik ini belum menjadi pusat diskursus global (Leksono et al., 2021; Kennedy, 2026; Tifaona et al., 2026).

Kedua, klaster TEA mencakup MFSP, NPV, IRR, *payback period*, *capital investment*, *production cost*, *feedstock cost*, *sensitivity analysis*, *uncertainty*, dan *Monte Carlo simulation*. MFSP menjadi indikator paling menonjol karena merangkum hubungan antara biaya bahan baku, skala pabrik, efisiensi proses, risiko pasar, dan target kelayakan finansial. Pada Malapari, indikator ini perlu diterjemahkan menjadi *delivered cost of usable oil*.

Ketiga, klaster teknologi mencakup *catalyst*, *pyrolysis*, *hydrothermal liquefaction*, *hydrodeoxygenation*, *gasification*, *transesterification*, *methanol*, *hydrogen*, *bio-oil*, *oil quality*, *oil yield*, *temperature*, dan *pretreatment*. Untuk biogasoline Malapari, katalis dan *pretreatment* menjadi penentu karena target produk adalah hidrokarbon C5-C11. Studi terkait *catalytic conversion*, *hydrocracking*, dan *catalytic cracking* menunjukkan bahwa karakteristik feedstock memengaruhi distribusi produk dan keekonomian (Anekwe et al., 2024; Sihombing et al., 2020; Widyastuti et al., 2024).

Keempat, klaster *biorefinery* dan *co-product* mencakup *biorefinery*, *residue*, *biochar*, *lignin*, *ethanol*, *sugar*, *xylitol*, dan *energy balance*. Temuan ini menegaskan bahwa kelayakan biofuel modern tidak hanya bergantung pada produk utama, tetapi juga pada integrasi residu dan produk samping. Untuk Malapari, bungkil, cangkang, biochar, gas, coke, dan nilai karbon dapat menjadi *cost offset* yang menurunkan MFSP bila kualitas dan pasarnya tervalidasi (Abdullah & Hussein, 2021; Byun & Han, 2020; Rhofita et al., 2022).

4.3 Jawaban terhadap Pertanyaan Riset

RQ1 (*research questions*) menunjukkan bahwa tren publikasi didominasi biodiesel, biofuel, *renewable energy*, dan *biorefinery*; biogasoline dan *Pongamia* masih kurang sentral. RQ2 menunjukkan bahwa metode TEA yang dominan adalah *discounted cash flow*, *process simulation*, *levelized cost*, *scenario analysis*, *sensitivity analysis*, dan *uncertainty analysis*. RQ3 menegaskan bahwa MFSP sensitif terhadap *feedstock cost*, *oil yield*, *plant capacity*, *catalyst cost*, *pretreatment cost*, dan *co-product credit*. RQ4 menunjukkan bahwa TEA pulau kering perlu membedakan skala desa, klaster antardesa, dan fasilitas regional; faktor lokasi dan *supply chain* sangat menentukan kelayakan (Ahmadi et al., 2020; Cervi et al., 2019; Dalemans et al., 2019; Silaen et al., 2020; Ying et al., 2020). RQ5 menegaskan bahwa *co-product* sebaiknya dimasukkan secara konservatif sebagai *upside case* sampai pasar dan kualitasnya terbukti.

4.4 Kajian Riset Berikutnya dan Novelty

Research gap utama berada pada persimpangan antara *feedstock readiness*, *process economics*, *community supply chain*, dan *co-product valorization*. Literatur Pongamia telah menunjukkan manfaat ekologis dan sosial-ekonomi, sedangkan literatur TEA telah menyediakan alat ekonomi, tetapi integrasi keduanya untuk biogasoline berbasis komunitas masih terbatas (Aminah et al., 2025; Dalemans et al., 2019; Degani et al., 2022; Leksono et al., 2021).

Novelty artikel ini terletak pada lima hal. Pertama, artikel menggabungkan TEA dan bibliometrik untuk menunjukkan posisi marginal biogasoline dan Pongamia dalam struktur literatur. Kedua, fokus diarahkan pada biogasoline C5-C11, bukan hanya biodiesel. Ketiga, kelayakan dibaca dalam konteks pulau kering dan komunitas, sehingga BUMDes, koperasi, skala desa, dan logistik NTT menjadi variabel ekonomi. Keempat, *pretreatment* demetalisasi diperlakukan sebagai komponen CAPEX/OPEX dan penentu umur katalis. Kelima, *co-product* seperti biochar, bungkil, residu, HCO/LCO, dan nilai karbon diposisikan sebagai penurun MFSP.

Riset lanjutan perlu dilakukan bertahap: (1) *feedstock readiness* melalui data produktivitas buah, rasio biji, kadar minyak, variasi pohon, dan musim panen; (2) evaluasi ekstraksi mekanis dan *oil yield gap*; (3) pengujian *pretreatment* logam, gum, fosfor, padatan, dan biochar *adsorbent*; (4) validasi konversi katalitik C5-C11, *coke*, gas, LCO/HCO, dan umur katalis; (5) desain *community supply chain* berbasis BUMDes/koperasi; serta (6) *scale-up* TEA yang menghitung MFSP, NPV, IRR, *payback period*, dan *sensitivity analysis*.

5. KESIMPULAN

Analisis terhadap 276 artikel terpilih dari 500 artikel Q1-Q4 periode 2016-2026 menunjukkan bahwa literatur biofuel telah kuat pada biodiesel, biofuel, *renewable energy*, *biorefinery*, *process simulation*, dan indikator TEA. Namun, biogasoline dan Pongamia pinnata masih relatif marginal, sehingga terdapat ruang riset untuk mengembangkan TEA biogasoline berbasis Malapari. Artikel ini menggunakan 25 referensi inti agar naskah tetap fokus pada argumen utama.

Parameter bibliometrik menegaskan bahwa MFSP menjadi indikator ekonomi paling sentral, diikuti NPV, IRR, *payback period*, *capital investment*, *production cost*, *feedstock cost*, *sensitivity analysis*, dan *uncertainty*. Pada sisi teknis, *catalyst*, *pretreatment*, *oil quality*, *oil yield*, *pyrolysis*, *hydrothermal liquefaction*, dan *hydrodeoxygenation* menjadi simpul penting. Novelty utama terletak pada integrasi Malapari sebagai *feedstock* nonpangan, biogasoline sebagai produk hidrokarbon C5-C11, *pretreatment* sebagai variabel ekonomi, *supply chain* komunitas sebagai konteks kelembagaan, dan *co-product revenue* sebagai mekanisme penurunan MFSP. Kerangka ini relevan bagi wilayah pulau kering seperti Nusa Tenggara Timur, Maluku, dan Nusa Tenggara yang membutuhkan bioenergi berbasis masyarakat dan skala bertahap.

DAFTAR PUSTAKA

References

- Abdullah, M. A., & Hussein, H. A. (2021). Integrated algal and oil palm biorefinery as a model system for bioenergy co-generation with bioproducts and biopharmaceuticals. *Bioresources and Bioprocessing*, 8(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00396-0>
- Ahmadi, L., Kannangara, M., & Bensebaa, F. (2020). Cost-effectiveness of small scale biomass supply chain and bioenergy production systems in carbon credit markets: A life cycle perspective. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37, 100627. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100627>

- Alao, K. T., Gilani, S. I.-H., Sopian, K., Alao, T. O., Oyebamiji, D. S., & Oladosu, T. L. (2024). Biomass and organic waste conversion for sustainable bioenergy: A comprehensive bibliometric analysis of current research trends and future directions. *International Journal of Renewable Energy Development*, 13(4), 750-782. <https://doi.org/10.61435/ijred.2024.60149>
- Aminah, A., Adnan, A., Qomariyah, N., Krisnan, R., Anggraini, L., Supatmi, S., Danu, D., Suita, E., Cahyono, D. D. N., Lukman, A. H., Syamsuwida, D., & Djam'an, D. (2025). Unlocking the potential of Pongamia pinnata: A scoping review and bibliometric analysis (ScoRBA) guided by the PAGER framework. *Forest Science and Technology*, 21(3), 302-317. <https://doi.org/10.1080/21580103.2025.2512209>
- Anekwe, I. M. S., Lora, E. E. S., Subramanian, K. A., Kozlov, A., Zhang, S., Oboirien, B., & Isa, Y. M. (2024). Techno-economic and life-cycle analysis of single-step catalytic conversion of bioethanol to fuel blendstocks over Ni-doped HZSM-5 zeolite catalyst. *Energy Conversion and Management: X*, 22, 100529. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100529>
- Anwar, M. (2021). Biodiesel feedstocks selection strategies based on economic, technical, and sustainable aspects. *Fuel*, 283, 119204. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119204>
- Barahmand, Z., & Eikeland, M. S. (2022). Techno-economic and life cycle cost analysis through the lens of uncertainty: A scoping review. *Sustainability*, 14(19), 12191. <https://doi.org/10.3390/su141912191>
- Byun, J., & Han, J. (2020). Sustainable development of biorefineries: Integrated assessment method for co-production pathways. *Energy & Environmental Science*, 13(8), 2233-2242. <https://doi.org/10.1039/d0ee00812e>
- Cervi, W. R., Lamparelli, R. A. C., Seabra, J. E. A., Junginger, M., de Jong, S., & van der Hilst, F. (2019). Spatial modeling of techno-economic potential of biojet fuel production in Brazil. *GCB Bioenergy*, 12(2), 136-157. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12659>
- Chai, S. Y. W., Phang, F. J. F., Yeo, L. S., Ngu, L. H., & How, B. S. (2022). Future era of techno-economic analysis: Insights from review. *Frontiers in Sustainability*, 3, 924047. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.924047>
- Dalemans, F., Muys, B., & Maertens, M. (2019). A framework for profitability evaluation of agroforestry-based biofuel value chains: An application to pongamia in India. *GCB Bioenergy*, 11(7), 852-870. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12605>
- Degani, E., Prasad, M. V. R., Paradkar, A., Pena, R., Soltangheisi, A., Ullah, I., Warr, B., & Tibbett, M. (2022). A critical review of Pongamia pinnata multiple applications: From land remediation and carbon sequestration to socioeconomic benefits. *Journal of Environmental Management*, 324, 116297. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116297>
- Diederichs, G. W., Mandegari, M. A., Farzad, S., & Görgens, J. F. (2016). Technoeconomic comparison of biojet fuel production from lignocellulose, vegetable oil and sugar cane juice. *Bioresource Technology*, 216, 331-339. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.090>
- Fu, R., Kang, L., Zhang, C., & Fei, Q. (2023). Application and progress of techno-economic analysis and life cycle assessment in biomanufacturing of fuels and chemicals. *Green Chemical Engineering*, 4(2), 189-198. <https://doi.org/10.1016/j.gce.2022.09.003>
- Kennedy, P. S. J. (2026). Model bisnis keberlanjutan dalam implementasi crowd planting Malapari di Kabupaten Lembata. *Aliansi: Jurnal Manajemen dan Bisnis*, 20(2), 165179. <https://doi.org/10.46975/r5ckwd39>
- Leksono, B., Rahman, S. A., Larjavaara, M., Purbaya, D. A., Arpiwi, N. L., Samsudin, Y. B., Artati, Y., Windyarini, E., Sudrajat, D. J., Aminah, A., Maulana, A. M., Bhatta, K. P., Kwon, J., & Baral, H. (2021). Pongamia: A possible option for degraded land restoration and bioenergy production in Indonesia. *Forests*, 12(11), 1468. <https://doi.org/10.3390/f12111468>
- Rhofita, E. I., Rachmat, R., Meyer, M., & Montastruc, L. (2022). Mapping analysis of biomass residue valorization as the future green energy generation in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 354, 131667. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131667>

- Scown, C. D., Baral, N. R., Yang, M., Vora, N., & Huntington, T. (2021). Technoeconomic analysis for biofuels and bioproducts. *Current Opinion in Biotechnology*, 67, 58-64. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2021.01.002>
- Sihombing, J. L., Gea, S., Wirjosentono, B., Agusnar, H., Pulungan, A. N., Herlinawati, H., Yusuf, M., & Hutapea, Y. A. (2020). Characteristic and catalytic performance of Co and Co-Mo metal impregnated in Sarulla natural zeolite catalyst for hydrocracking of MEFA rubber seed oil into biogasoline fraction. *Catalysts*, 10(1), 121. <https://doi.org/10.3390/catal10010121>
- Silaen, M., Taylor, R., Bößner, S., Anger-Kraavi, A., Chewpreecha, U., Badinotti, A., & Takama, T. (2020). Lessons from Bali for small-scale biogas development in Indonesia. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 35, 445-459. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.09.003>
- Tifaona, A. B. B., Kennedy, P. S. J., Lawe, L., Tifaona, I. A. E., & Lestari, A. (2026). Partisipasi masyarakat dalam pengembangan agroforestri Malapari dan ekonomi hijau di Kabupaten Lembata. *Business Management Journal*, 22(1), 1-15. <https://doi.org/10.30813/bmj.v22i1.8183>
- Wang, W.-C. (2019). Techno-economic analysis for evaluating the potential feedstocks for producing hydro-processed renewable jet fuel in Taiwan. *Energy*, 179, 771-783. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.181>
- Widyastuti, Zulfa, L. L., Safrida, N., Ardhyanta, H., Triwicaksono, S., Kurniawansyah, F., Anityasari, M., Ali, B. T. I., & Raihan, J. N. (2024). Catalytic cracking of crude palm oil into biogasoline over HZSM-5 and USY-Zeolite catalysts: A comparative study. *South African Journal of Chemical Engineering*, 50, 27-38. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.07.009>
- Ying, H. P., Chien, C. B. P., & Van, F. Y. (2020). Operational management implemented in biofuel upstream supply chain and downstream international trading: Current issues in Southeast Asia. *Energies*, 13(7), 1799. <https://doi.org/10.3390/en13071799>
- Zhu, Y., Jones, S. B., Schmidt, A. J., Albrecht, K. O., Edmundson, S. J., & Anderson, D. B. (2019). Techno-economic analysis of alternative aqueous phase treatment methods for microalgae hydrothermal liquefaction and biocrude upgrading system. *Algal Research*, 39, 101467. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.10>