

EDITORIAL

Membangun Keberlanjutan Permukiman Sehat di Pulau Kecil dalam Upaya Menjaga Ketahanan Air Bersih, Pangan, dan Energi

Building Sustainable Healthy Settlements on Small Islands in an Effort to Maintain Clean Water, Food, and Energy Security

Indra Martias¹, Rinaldi Daswito¹

¹Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Tanjungpinang

E-mail Korespondensi: indramartias@ymail.com

ABSTRACT

Settlements on small islands face high vulnerability due to climate change, limited land, and dependence on external resources that impact clean water, food, and energy security. This study aims to analyze the sustainability of small island settlements through an integrated water–energy–food (WEF) nexus approach with social and technological perspectives. The method used is a comprehensive literature review with an integrative conceptual approach that combines the WEF nexus framework, Dynamic Environmental Livelihood Sustainability (DESL), and Geographic Information System (GIS)-based analysis and spatial optimization. The results of the study indicate that pressure on resources is triggered by land competition, deforestation, seawater intrusion, and limited infrastructure, which impacts the overall system resilience. Community-based approaches and the integration of local knowledge have been shown to increase adaptation and resilience, while technological innovations such as renewable energy, desalination, and rainwater harvesting systems can support resource independence. Furthermore, optimal spatial management and shifting consumption patterns towards local, plant-based foods are important factors in achieving sustainability. In conclusion, the sustainability of small island settlements requires a holistic approach that integrates environmental, social, and technological aspects. It is recommended that integrated policies be strengthened, sustainable infrastructure investment and increased community participation in resource planning and management be implemented.

Keywords: Resilience, Energy, Food, Water, Small Islands

ABSTRAK

Permukiman di pulau kecil menghadapi kerentanan tinggi akibat perubahan iklim, keterbatasan lahan, serta ketergantungan terhadap sumber daya eksternal yang berdampak pada ketahanan air bersih, pangan, dan energi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keberlanjutan permukiman pulau kecil melalui pendekatan *water–energy–food (WEF) nexus* yang terintegrasi dengan perspektif sosial dan teknologi. Metode yang digunakan adalah studi literatur komprehensif dengan pendekatan konseptual integratif yang menggabungkan kerangka WEF nexus, *Dynamic Environmental Livelihood Sustainability (DESL)*, serta analisis berbasis *Geographic Information System (GIS)* dan optimisasi spasial. Hasil kajian menunjukkan bahwa tekanan terhadap sumber daya dipicu oleh kompetisi lahan, deforestasi, intrusi air laut, serta keterbatasan infrastruktur, yang berdampak pada menurunnya ketahanan sistem secara keseluruhan. Pendekatan berbasis masyarakat dan integrasi pengetahuan lokal terbukti meningkatkan adaptasi dan resiliensi, sementara inovasi teknologi seperti energi terbarukan, desalinasi, dan sistem panen air hujan mampu mendukung kemandirian sumber daya. Selain itu, pengelolaan tata ruang yang optimal dan perubahan pola konsumsi menuju pangan lokal berbasis tumbuhan menjadi faktor penting dalam mencapai keberlanjutan. Kesimpulannya, keberlanjutan permukiman pulau kecil memerlukan pendekatan holistik yang mengintegrasikan aspek lingkungan, sosial, dan teknologi. Disarankan adanya penguatan kebijakan terpadu, investasi infrastruktur berkelanjutan, serta peningkatan partisipasi masyarakat dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya.

Kata kunci: Ketahanan, Energi, Pangan, Air, Pulau Kecil

PENDAHULUAN

Permukiman di pulau kecil merupakan sistem yang sangat rentan terhadap berbagai tekanan lingkungan dan sosial-ekonomi. Kerentanan ini terutama dipengaruhi oleh perubahan iklim, keterbatasan lahan, serta tingginya ketergantungan terhadap pasokan dari luar wilayah. Dalam konteks tersebut, pendekatan *nexus water–energy–food (WEF)* menjadi sangat penting untuk diterapkan sebagai kerangka integratif dalam mengelola tiga sektor utama keberlanjutan, yaitu air bersih, energi, dan pangan. Pendekatan ini menekankan keterkaitan antar sektor, di mana gangguan pada satu sektor akan berdampak langsung terhadap sektor lainnya, sehingga diperlukan pengelolaan yang terpadu dan berkelanjutan.

Pulau kecil menghadapi tekanan yang semakin kompleks akibat pertumbuhan penduduk, perubahan iklim, intrusi air laut, keterbatasan lahan, serta meningkatnya frekuensi bencana alam. Kondisi ini secara signifikan mengurangi ketersediaan dan kualitas sumber daya air, energi, dan pangan^{[1][2][3]}. Intrusi air laut, misalnya, dapat mencemari sumber air tawar, sementara perubahan iklim memengaruhi pola curah hujan dan produktivitas pertanian. Di sisi lain, keterbatasan ruang menyebabkan sulitnya pengembangan infrastruktur energi dan sistem produksi pangan lokal yang memadai.

Lebih lanjut, banyak *Small Island Developing States (SIDS)* dinilai belum mencapai tingkat keberlanjutan yang optimal, terutama karena ketergantungan tinggi terhadap impor pangan dan energi. Kegagalan dalam memenuhi kebutuhan pangan dan energi secara mandiri menjadikan sistem pulau kecil sangat rentan terhadap fluktuasi harga global dan gangguan rantai pasok. Dalam konteks ini, air muncul sebagai faktor pengendali utama yang menentukan keberlanjutan jangka panjang, karena ketersediaan air bersih menjadi prasyarat bagi produksi pangan, kesehatan masyarakat, serta keberlangsungan sistem energi tertentu^[1].

Di sisi lain, pulau kecil juga memiliki nilai strategis sebagai “laboratorium hidup” (*living laboratory*) yang merepresentasikan secara nyata dan terintegrasi hubungan antara air, lingkungan, masyarakat, dan ekonomi. Kompleksitas interaksi tersebut memberikan peluang bagi pengembangan model pembangunan berkelanjutan yang adaptif dan kontekstual. Pembelajaran dari pulau kecil dapat menjadi referensi penting dalam merancang kebijakan global terkait ketahanan sumber daya dan pembangunan berkelanjutan^[4].

Dengan demikian, diperlukan suatu pendekatan yang komprehensif dan berbasis integrasi sektor untuk meningkatkan ketahanan air, energi, dan pangan di wilayah pulau kecil. Pendekatan WEF nexus tidak hanya berperan sebagai kerangka analitis, tetapi juga sebagai dasar dalam perumusan kebijakan dan intervensi yang mampu menjawab tantangan keberlanjutan secara holistik. Implementasi pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan resiliensi permukiman pulau kecil dalam menghadapi tekanan global sekaligus mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan.

KETAHANAN AIR BERSIH , PANGAN DAN ENERGI

Kerangka *water–energy–food (WEF) nexus* menegaskan bahwa pengelolaan sumber daya air, energi, dan pangan merupakan suatu sistem yang saling terhubung dan tidak dapat dipisahkan. Setiap perubahan yang terjadi pada satu komponen akan memberikan dampak berantai terhadap komponen lainnya. Dalam konteks ini, dinamika lingkungan seperti perubahan tata guna lahan, deforestasi, serta intrusi air asin menjadi faktor penting yang secara simultan memengaruhi ketersediaan dan kualitas sumber daya. Misalnya, alih fungsi lahan dan deforestasi dapat menurunkan kapasitas resapan air dan meningkatkan limpasan, yang pada akhirnya berdampak pada berkurangnya ketersediaan air untuk irigasi dan kebutuhan domestik.

Selain itu, intrusi air laut yang semakin intensif akibat kenaikan muka air laut dan eksploitasi air tanah berlebih turut memperburuk kondisi ketersediaan air tawar di pulau kecil. Dampak ini tidak hanya dirasakan pada sektor air minum, tetapi juga berimbas pada sektor

pertanian melalui terganggunya sistem irigasi, serta pada sektor energi, khususnya produksi energi berbasis biomassa yang sangat bergantung pada ketersediaan air dan kualitas lahan. Dengan demikian, tekanan terhadap satu sektor akan menciptakan efek domino yang melemahkan ketahanan sistem secara keseluruhan^{[5][6][7][8]}.

Berbagai kajian yang dilakukan di negara-negara kepulauan kecil berkembang (*Small Island Developing States* atau SIDS) menunjukkan adanya tantangan serius dalam mencapai keberlanjutan. Sebagian besar wilayah ini mengalami kegagalan dalam memenuhi kebutuhan pangan secara mandiri, yang ditandai dengan tingginya ketergantungan terhadap impor. Di sektor energi, beberapa negara masih menghadapi keterbatasan akses dan ketergantungan pada bahan bakar fosil, yang tidak hanya mahal tetapi juga rentan terhadap fluktuasi harga global.

Lebih mengkhawatirkan lagi, hampir seluruh SIDS diproyeksikan akan menghadapi krisis air pada tahun 2050 apabila tidak dilakukan intervensi yang signifikan. Tanpa adanya perencanaan terpadu yang mengintegrasikan sektor air, energi, dan pangan, serta tanpa dukungan investasi infrastruktur yang memadai, tekanan terhadap sumber daya akan semakin meningkat. Oleh karena itu, pendekatan berbasis solusi alami (*nature-based solutions*) menjadi salah satu strategi yang penting untuk diterapkan, seperti restorasi ekosistem pesisir, konservasi daerah tangkapan air, dan pengelolaan lahan berkelanjutan^{[1][9][2]}.

Dengan demikian, penerapan kerangka WEF nexus tidak hanya berfungsi sebagai alat analisis, tetapi juga sebagai landasan dalam merancang kebijakan dan strategi pembangunan yang adaptif dan berkelanjutan. Integrasi antar sektor, didukung oleh inovasi teknologi dan keterlibatan masyarakat, menjadi kunci utama dalam meningkatkan ketahanan pulau kecil terhadap berbagai tekanan global di masa depan.

PERAN MASYARAKAT, PENGETAHUAN LOKAL DAN TATA KELOLA

Pendekatan yang berpusat pada masyarakat (*community-centered approach*) dalam pengelolaan sumber daya menunjukkan bahwa guncangan terhadap sistem air, energi, dan pangan tidak terjadi secara tunggal, melainkan dipicu oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi. Kompetisi penggunaan lahan, deforestasi, perubahan iklim, serta keterbatasan infrastruktur menjadi determinan utama yang memengaruhi stabilitas ketiga sektor tersebut. Dalam banyak kasus, tekanan ini dirasakan langsung oleh rumah tangga sebagai unit terkecil dalam sistem sosial-ekologis. Respons yang muncul umumnya bersifat inkremental, yaitu penyesuaian jangka pendek untuk bertahan hidup, namun tidak selalu berkelanjutan. Bahkan, beberapa respons cenderung maladaptif, seperti penggunaan sumber air berkualitas rendah atau pengurangan asupan gizi, yang dalam jangka panjang dapat memperburuk kondisi kesehatan dan kesejahteraan masyarakat^[10].

Dalam konteks ini, diperlukan suatu kerangka konseptual yang tidak hanya melihat keterkaitan antar sektor sumber daya, tetapi juga memasukkan dimensi sosial dan mata pencaharian masyarakat. Kerangka *Dynamic Environmental Livelihood Sustainability (DESL)* hadir sebagai pendekatan integratif yang menggabungkan prinsip *WEF nexus* dengan perspektif keberlanjutan mata pencaharian. DESL menekankan pentingnya memasukkan suara, pengetahuan, dan pengalaman masyarakat lokal dalam proses perencanaan, khususnya terkait tata guna lahan dan pengelolaan sumber daya. Dengan demikian, kebijakan dan intervensi yang dirancang tidak hanya berbasis pada aspek teknis, tetapi juga kontekstual dan responsif terhadap kebutuhan serta kapasitas lokal^[5].

Penerapan pendekatan partisipatif dalam pengembangan skenario juga menunjukkan hasil yang signifikan dalam meningkatkan ketahanan sistem di pulau kecil. Studi di Zanzibar, misalnya, mengidentifikasi tiga tema utama yang menjadi fokus dalam perencanaan keberlanjutan, yaitu adaptasi terhadap perubahan, kesehatan ekosistem, dan perencanaan permukiman yang berkelanjutan. Ketiga tema ini saling berkaitan dan membentuk dasar bagi

strategi pembangunan yang lebih holistik. Beberapa bentuk sinergi yang dihasilkan antara lain perlindungan kawasan hutan sebagai penyangga ekosistem, pengaturan tata ruang yang mengintegrasikan permukiman dengan lahan produksi pangan, serta investasi dalam energi terbarukan seperti tenaga surya untuk mendukung sistem penyediaan air melalui pompa air^{[5][6]}.

Selain pendekatan modern, pengetahuan tradisional yang berkembang di komunitas pulau kecil, khususnya di kawasan Pasifik, juga terbukti memiliki kontribusi penting dalam meningkatkan ketahanan sumber daya. Praktik seperti agroforestri, pemanfaatan pangan lokal, pengelolaan sumur tradisional, serta penetapan zona perlindungan ekosistem merupakan bentuk kearifan lokal yang telah teruji dalam menghadapi berbagai tekanan lingkungan. Pengetahuan ini tidak hanya relevan secara ekologis, tetapi juga mencerminkan adaptasi sosial-budaya yang kuat terhadap kondisi setempat. Oleh karena itu, integrasi antara pengetahuan tradisional dan pendekatan ilmiah modern menjadi strategi yang krusial dalam merancang sistem adaptasi yang efektif dan berkelanjutan^{[9][11][12]}.

Dengan demikian, penguatan ketahanan air, energi, dan pangan di wilayah pulau kecil memerlukan pendekatan yang inklusif, adaptif, dan berbasis pada integrasi multi-pengetahuan. Keterlibatan aktif masyarakat, pemanfaatan kerangka konseptual seperti DESL, serta pengakuan terhadap nilai pengetahuan lokal menjadi elemen penting dalam membangun sistem yang resilien dan berkelanjutan di tengah tantangan global yang semakin kompleks.

INOVASI TEKNOLOGI DAN PERENCANAAN LAHAN

Pendekatan berbasis *Geographic Information System* (GIS) yang dipadukan dengan teknik optimisasi spasial menunjukkan bahwa keberlanjutan di pulau kecil sangat bergantung pada kemampuan dalam mengelola kompetisi penggunaan lahan secara efisien dan terintegrasi. Keterbatasan ruang menjadikan alokasi lahan untuk permukiman, produksi pangan, dan infrastruktur energi sebagai isu krusial yang memerlukan perencanaan berbasis data dan skenario. Hasil kajian menunjukkan bahwa tanpa pengendalian yang ketat, ekspansi permukiman cenderung mengorbankan lahan produktif dan ruang ekologis yang penting bagi ketahanan sistem secara keseluruhan. Selain itu, perubahan pola konsumsi masyarakat juga menjadi faktor penting, di mana transisi menuju pola konsumsi pangan lokal berbasis tumbuhan dinilai mampu mengurangi tekanan terhadap sumber daya lahan dan meningkatkan efisiensi sistem pangan. Dengan demikian, integrasi antara perencanaan spasial dan perubahan perilaku konsumsi menjadi kunci dalam mencapai keberlanjutan lintas sektor^{[4][13]}.

Di sisi lain, pengembangan sistem energi terbarukan yang terintegrasi dengan teknologi penyediaan air seperti desalinasi serta sistem penyimpanan energi (misalnya *pumped hydro* dan hidrogen) menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan ketahanan pulau kecil. Sistem ini mampu memenuhi hampir seluruh kebutuhan listrik dan air secara mandiri dengan biaya yang semakin kompetitif, sekaligus menurunkan emisi gas rumah kaca secara signifikan^{[14][15]}. Studi kasus di Sint Eustatius memperkuat temuan ini dengan menunjukkan bahwa integrasi antara taman surya, pertanian berbasis komunitas, dan sistem panen air hujan dapat menciptakan sinergi antar sektor yang meningkatkan ketahanan air, energi, dan pangan secara simultan. Pendekatan ini menegaskan pentingnya desain sistem yang terintegrasi dan berbasis lokal dalam mendukung pembangunan berkelanjutan di wilayah pulau kecil^[4].



Gambar 1. Skema Keberlanjutan Pulau Kecil melalui Ketahanan Air, Energi dan Pangan

KESIMPULAN

Keberlanjutan permukiman di pulau kecil pada dasarnya ditentukan oleh kemampuan dalam mengelola keterkaitan antara air, energi, dan pangan sebagai satu sistem yang terintegrasi. Pendekatan *WEF nexus* menunjukkan bahwa tekanan terhadap satu sektor akan berdampak langsung pada sektor lainnya, sehingga diperlukan perencanaan yang holistik dan berbasis lintas sektor. Berbagai bukti empiris menegaskan bahwa kombinasi antara inovasi teknologi—seperti energi terbarukan terintegrasi dan desalinasi—dengan pengelolaan sumber daya berbasis alam serta optimalisasi tata guna lahan menjadi strategi kunci dalam meningkatkan ketahanan sistem. Selain itu, perubahan pola konsumsi menuju pemanfaatan pangan lokal juga berperan penting dalam mengurangi tekanan terhadap sumber daya yang terbatas di pulau kecil.

Di sisi lain, keberhasilan pembangunan berkelanjutan di pulau kecil sangat ditentukan oleh pendekatan yang berpusat pada masyarakat. Keterlibatan aktif komunitas, pengakuan terhadap pengetahuan tradisional, serta penguatan tata kelola yang inklusif dan adaptif menjadi elemen fundamental dalam membangun sistem yang resilien. Integrasi kerangka konseptual seperti *Dynamic Environmental Livelihood Sustainability (DESL)* dengan praktik lokal mampu menghasilkan solusi yang kontekstual dan berkelanjutan. Oleh karena itu, sinergi antara inovasi teknologi, perencanaan spasial, dan partisipasi masyarakat menjadi landasan utama dalam mewujudkan permukiman pulau kecil yang tangguh, berkeadilan, dan berkelanjutan di tengah tantangan global yang semakin kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gheuens J, Nagabhatla N, Perera E. Disaster-Risk, Water Security Challenges and Strategies in Small Island Developing States (SIDS). Water [Internet] 2019; Available from: <https://consensus.app/papers/disasterrisk-water-security-challenges-and-strategies-in-gheuens-nagabhatla/4908665d9b80503882a852156443c26b/>
2. Papapostolou C, Kondili E, Zafirakis D, Tzanes G. Sustainable water supply systems for the islands: The integration with the energy problem. Renew Energy [Internet] 2020;146:2577–88. Available from: <https://consensus.app/papers/sustainable-water-supply-systems-for-the-islands-the-papapostolou-kondili/536b8576c3c95237a5c4ad9795367ccd/>
3. Authier R, Pillot B, Guimbretière G, Broto P, Gervet C. A Water-Energy-Food Nexus Approach to

- Assess Land Use Trade-Offs in Small Islands. 2024;26–38. Available from: <https://consensus.app/papers/a-waterenergyfood-nexus-approach-to-assess-land-use-authier-pillot/a109520c3e2959c0af3a52fee53e769d/>
4. Newman R, Capitani C, Haji T, Nchimbi A, Enns C, Marchant R. Community-centred scenarios development for water–energy–food security on Zanzibar. *Sustain Sci* [Internet] 2024;19:575–93. Available from: <https://consensus.app/papers/communitycentred-scenarios-development-for-newman-capitani/e47ea5515f2059f1a7d1017a9eac87c2/>
 5. Crisman T, Winters Z. Caribbean small island developing states must incorporate water quality and quantity in adaptive management of the water-energy-food nexus. *Front Environ Sci* [Internet] 2023; Available from: <https://consensus.app/papers/caribbean-small-island-developing-states-must-crisman-winters/4548ba62d41c550482d417ff0acf9945/>
 6. Pathirana A. Small islands: living laboratories revealing global climate and sustainable development challenges. *Front Clim* [Internet] 2025; Available from: <https://consensus.app/papers/small-islands-living-laboratories-revealing-global-pathirana/e0cd31e997605eda93581432777b9261/>
 7. Newman R, Thorn J, Haji T, Nchimbi A, Musa I, Enns C, et al. A people-centred framework for exploring water, energy and food security in a small developing island. *Popul Environ* [Internet] 2023;45. Available from: <https://consensus.app/papers/a-peoplecentred-framework-for-exploring-water-energy-and-newman-thorn/3ca42a6f9c7a51b3820eed228e0f5b2d/>
 8. Winters Z, Crisman T, Dumke D. Sustainability of the Water-Energy-Food Nexus in Caribbean Small Island Developing States. *Water* [Internet] 2022; Available from: <https://consensus.app/papers/sustainability-of-the-waterenergyfood-nexus-in-caribbean-winters-crisman/e1d53cbcbec1543992b83950df4e45e0/>
 9. Klöck C, Nunn P. Adaptation to Climate Change in Small Island Developing States: A Systematic Literature Review of Academic Research. *J Environ Dev* [Internet] 2019;28:196–218. Available from: <https://consensus.app/papers/adaptation-to-climate-change-in-small-island-developing-klöck-nunn/b16f1a56b1f55535931a66b11a316977/>
 10. Authier R, Pillot B, Guimbretière G, Corral-Broto P, Gervet C. Towards sustainable land management in small islands: A Water-Energy-Food nexus approach. *PLoS One* [Internet] 2024;19. Available from: <https://consensus.app/papers/towards-sustainable-land-management-in-small-islands-a-authier-pillot/16f34de5578559739c3913f5d1979193/>
 11. Mcleod E, Bruton-Adams M, Förster J, Franco C, Gaines G, Gorong B, et al. Lessons From the Pacific Islands – Adapting to Climate Change by Supporting Social and Ecological Resilience. *Front Mar Sci* [Internet] 2019; Available from: <https://consensus.app/papers/lessons-from-the-pacific-islands—adapting-to-climate-mcleod-bruton-adams/29ef856e1b5559a7a1c874a7b6b7d92b/>
 12. Mehata S, Parajuli KR, Pant ND, Rayamajhee B, Yadav UN, Mehta RK, et al. Prevalence and correlates of *Helicobacter pylori* infection among under-five children, adolescent and non-pregnant women in Nepal: Further analysis of Nepal national micronutrient status survey 2016. *PLoS Negl Trop Dis* [Internet] 2021;15(6):e0009510. Available from: <https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1139032633>
 13. Daw J, Stout S. Building Island Resilience through the Energy, Water, Food Nexus. 2019; Available from: <https://consensus.app/papers/building-island-resilience-through-the-energy-water-food-daw-stout/6ce59691e1365067bcb4a72fa948f6c6/>
 14. Marrero A, Mattei J. Reclaiming traditional, plant-based, climate-resilient food systems in small islands. *Lancet Planet Heal* [Internet] 2022;6. Available from: <https://consensus.app/papers/reclaiming-traditional-plantbased-climateresilient-marrero-mattei/589ae90083045844b03201054c1782d2/>
 15. Wright CY, Kapwata T, du Preez DJ, Werneck B, Garland RM, Nkosi V, et al. Major climate change-induced risks to human health in South Africa. *Environ Res* [Internet] 2021;196:110973. Available from: <https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1136043373>