

Strategi pengelolaan Ekosistem mangrove yang berkelanjutan di Desa Buruk Bakul Kecamatan Bukit Batu Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau

Lulu Mayna Nabilla¹, Ridwan Manda Putra², Efriyeldi, Budijono³

^{1,2,3}Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Riau.

Corresponding Author: Lulu Mayna Nabilla, E-Mail:

Published: June, 2025

ABSTRAK

Ekosistem mangrove memainkan peran penting dalam ketahanan pesisir, konservasi keanekaragaman hayati, dan penyerapan karbon. Namun, ekosistem ini menghadapi degradasi parah akibat aktivitas antropogenik seperti deforestasi, konversi lahan, dan eksploitasi yang tidak berkelanjutan. Studi ini menyelidiki status keberlanjutan pengelolaan ekosistem mangrove di Desa Buruk Bakul, Provinsi Riau, menggunakan metode RAPFISH (Rapid Appraisal for Fisheries) di lima dimensi: ekologis, ekonomi, dan sosial-budaya. Temuan penelitian ini mengungkapkan indeks keberlanjutan keseluruhan sebesar 45,3, mengkategorikan ekosistem sebagai "kurang berkelanjutan." Dimensi ekologi mendapatkan skor tertinggi (48,7), diikuti dimensi sosial-budaya 44,7, sementara dimensi ekonomi adalah yang terlemah. (40,4). Atribut sensitif utama yang diidentifikasi meliputi: Pemasaran hasil mangrove, Serapan tenaga kerja local, Memiliki estetika, Akses masyarakat terhadap mangrove dan Ketersediaan aturan dan peran lembaga non-formal. Atribut-atribut ini berfungsi sebagai titik tumpu untuk meningkatkan keberlanjutan. Studi ini mengusulkan strategi terintegrasi yang berfokus pada penguatan ekonomi berbasis mangrove, peningkatan akses dan partisipasi masyarakat, dan penguatan kebijakan dan kelembagaan. Dengan menangani atribut-atribut sensitif ini, penelitian ini berkontribusi pada perumusan kebijakan holistik untuk konservasi mangrove yang berkelanjutan, memastikan kesehatan ekologi dan manfaat sosial-ekonomi bagi komunitas pesisir.

Kata kunci: Ekosistem mangrove, manajemen berkelanjutan, analisis RAPFISH, Buruk Bakul, skala multi-dimensi

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

PENDAHULUAN

Hutan mangrove adalah ekosistem pesisir yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem global. Mangrove memiliki fungsi ekologis yang krusial, seperti menyerap karbon dioksida, mengurangi dampak tsunami, banjir, dan erosi pantai, serta melindungi keanekaragaman hayati pesisir (Beck et al., 2022; Irwansyah et al., 2022). Selain itu, mangrove juga berfungsi sebagai penahan perubahan salinitas, yang memungkinkan banyak spesies flora dan fauna untuk bertahan hidup (Ahmed et al., 2022; Dasgupta et al., 2022). Di Indonesia, yang memiliki luas hutan mangrove terbesar di dunia, ekosistem ini tidak hanya memiliki nilai ekologis tetapi juga sosial dan ekonomi yang sangat tinggi, karena mendukung sektor perikanan, pariwisata, dan berbagai kebutuhan hidup masyarakat pesisir (Das, 2022; Lan et al., 2023).

Namun, ekosistem mangrove di dunia, termasuk di Indonesia, saat ini menghadapi ancaman yang semakin besar akibat berbagai tekanan yang datang dari aktivitas manusia. Deforestasi, konversi lahan untuk pertanian, pembangunan infrastruktur pesisir, dan eksploitasi berlebihan untuk sumber daya alam

telah menyebabkan degradasi ekosistem mangrove yang sangat signifikan. Dampak kerusakan mangrove ini sangat dirasakan oleh masyarakat pesisir yang menggantungkan hidupnya pada hasil laut dan jasa ekosistem yang disediakan oleh hutan mangrove.

Salah satu wilayah yang menghadapi kerusakan ekosistem mangrove secara serius adalah Desa Buruk Bakul di Kecamatan Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis, Riau. Di masa lalu, kawasan ini dikenal memiliki hutan mangrove yang subur dan mendukung sektor perikanan yang maju. Namun, dalam beberapa tahun terakhir, kawasan ini mengalami kerusakan yang semakin meluas akibat aktivitas manusia, seperti penebangan mangrove untuk kayu bakar, bahan bangunan, pembuatan arang, serta konversi lahan untuk tambak udang dan pembangunan infrastruktur (Tetelepta et al., 2020). Kerusakan ini tidak hanya mengurangi luas mangrove, tetapi juga merusak fungsi ekologisnya yang vital, seperti melindungi garis pantai dan menyediakan habitat bagi berbagai spesies perikanan.

Kerusakan ekosistem mangrove di Desa Buruk Bakul juga berdampak langsung pada kehidupan ekonomi masyarakat setempat. Penurunan kualitas perairan dan berkurangnya hasil tangkapan ikan, udang, dan kepiting, yang merupakan sumber utama pendapatan, menjadi masalah yang semakin mendesak. Selain itu, kerusakan mangrove juga mengancam keberlanjutan sektor ekowisata yang sedang berkembang, yang mengandalkan keindahan alam dan keanekaragaman hayati mangrove. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengelolaan mangrove yang berkelanjutan, yang tidak hanya mempertimbangkan aspek ekologis, tetapi juga mengintegrasikan kebutuhan sosial, ekonomi, budaya, dan hukum untuk memastikan keberlanjutannya bagi generasi mendatang.

Penelitian ini memiliki urgensi yang sangat tinggi mengingat pentingnya peran ekosistem mangrove dalam menjaga keseimbangan lingkungan dan keberlanjutan kehidupan masyarakat pesisir. Mengingat kerusakan mangrove yang semakin meluas, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam upaya konservasi mangrove serta mendukung upaya pembangunan berkelanjutan yang berbasis pada pemanfaatan sumber daya alam yang bijaksana dan berkelanjutan, dengan mengintegrasikan aspek ekologis, ekonomi, sosial budaya.

Permasalahan

Pengelolaan ekosistem mangrove berkelanjutan mengacu pada prinsip keberlanjutan yang melibatkan aspek ekologis, sosial, ekonomi, dan hukum dalam pengelolaannya. Di Desa Buruk Bakul, kerusakan mangrove disebabkan oleh berbagai faktor seperti pembukaan lahan untuk pertanian dan pembangunan infrastruktur, serta eksploitasi sumber daya alam secara berlebihan (Tetelepta et al., 2020). Kehilangan fungsi ekologis mangrove, seperti penurunan kualitas perairan dan habitat perikanan, mengancam ketahanan ekonomi masyarakat yang bergantung pada sektor perikanan.

Upaya pengelolaan yang efektif dan berkelanjutan sangat diperlukan, tetapi terdapat tantangan besar yang harus diatasi, seperti penegakan hukum yang lemah, kurangnya kesadaran masyarakat, serta

minimnya integrasi pengetahuan ilmiah dengan pengetahuan lokal dalam pengelolaan ekosistem mangrove. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi keberlanjutan ekosistem mangrove dan menyusun strategi pengelolaan yang tepat.

Research Gap dan Kebaruan

Meskipun telah banyak penelitian yang membahas pengelolaan ekosistem mangrove, masih terdapat kekurangan dalam pendekatan yang mengintegrasikan pengetahuan ilmiah dengan kearifan lokal masyarakat sekitar (Askar et al., 2021; Fontaine et al., 2022). Selain itu, penelitian yang mengembangkan indikator keberlanjutan yang disesuaikan dengan konteks lokal dan menggabungkan dimensi ekologi, ekonomi dan sosia-budaya dalam pengelolaan mangrove masih terbatas.

Penelitian ini menonjolkan aspek kebaruan melalui pengembangan indikator keberlanjutan yang tidak hanya berbasis pada kriteria ekologis, tetapi juga memperhitungkan faktor ekonomi, sosial- budaya, dalam pengelolaan mangrove. Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan strategi pengelolaan yang lebih efektif dan adaptif, yang dapat diimplementasikan secara luas di berbagai kawasan pesisir di Indonesia.

Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi status keberlanjutan ekosistem mangrove di Desa Buruk Bakul dan mengembangkan strategi pengelolaan yang dapat meningkatkan keberlanjutan ekosistem tersebut. Penelitian ini juga bertujuan untuk memberikan rekomendasi yang praktis bagi pemangku kepentingan dalam pengelolaan mangrove secara berkelanjutan, dengan mempertimbangkan aspek ekologis, ekonomi, dan sosial budaya.

METODE PENELITIAN

Wilayah Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Buruk Bakul, Kecamatan Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau. Penelitian lapangan dilakukan selama periode Mei hingga September 2024. Lokasi penelitian mencakup sepanjang garis pantai Desa Buruk Bakul yang memiliki panjang sekitar 8 km dan berbatasan langsung dengan perairan Selat Bengkalis. Secara geografis, desa ini terletak pada koordinat 101°47'59,259" BT - 1°26'37,215" LU hingga 102°5'1,198" BT - 1°21'32,354" LU (Gambar 1). Pemilihan lokasi ini didasarkan pada fungsinya sebagai pelindung ekosistem pantai dari abrasi, serta peranannya sebagai penyangga penting kawasan suaka ikan terubuk di Provinsi Riau, yang memerlukan strategi pengelolaan yang tepat dan berkelanjutan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Jumlah Responden dan Kriteria Pengambilan Sampel

Responden dalam penelitian ini dipilih berdasarkan keterlibatannya dengan ekosistem mangrove. Responden masyarakat terdiri dari: 5 orang yang memanfaatkan mangrove untuk kehidupan sehari-hari, 5 orang nelayan/pemancing pria yang aktif melakukan praktik penangkapan ikan di sungai dan Selat Bengkalis dalam beberapa tahun terakhir, 3 orang anggota LSM Sekat Bakau, 1 orang petani tambak, serta 20 orang masyarakat yang memiliki kebun sawit dan karet di sekitar hutan mangrove. Informan kunci berjumlah 6 orang, yang terdiri dari 1 orang perwakilan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bengkalis, 1 orang perwakilan Dinas Perikanan Kabupaten Bengkalis, 1 orang perwakilan Dinas Pariwisata, Kebudayaan, Kepemudaan dan Olahraga Kabupaten Bengkalis, 1 orang Kepala Desa, 1 orang Tokoh Adat Desa Buruk Bakul, dan 1 orang Ketua Kelompok Konservasi Mangrove. Mereka memiliki peran yang signifikan dalam kebijakan zonasi pengelolaan ekosistem mangrove di desa ini. Teknik **purposive sampling** digunakan untuk memastikan inklusi responden yang secara langsung terlibat atau terdampak oleh kondisi ekologi dan sosial ekonomi ekosistem mangrove. Kriteria ini bertujuan agar data yang dikumpulkan dapat mencerminkan kondisi pengelolaan yang sebenarnya.

Analisis Data

Keberlanjutan pengelolaan ekosistem mangrove dianalisis dengan menggunakan pendekatan *Multidimensional Scaling (MDS) Rapmangrove* melalui perangkat lunak *Rapid Appraisal for Fisheries (RAPFISH)*. Metode ini dilakukan dengan menentukan atribut dari setiap dimensi yang mempengaruhi keberlanjutan pengelolaan ekosistem mangrove. Penentuan dimensi dan atribut yang relevan didasarkan pada tinjauan regulasi, penilaian dari para ahli, seperti praktisi dan akademisi, serta studi literatur yang relevan (Melo et al., 2020). dan Bakri et.al., (2023).

Penelitian ini menggunakan tiga dimensi keberlanjutan, yaitu dimensi ekologis, ekonomi, dan sosial-budaya. Setiap atribut akan diberi nilai sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan. Nilai yang diberikan

berkisar dari "buruk" (mewakili kondisi yang tidak menguntungkan dalam pengelolaan) hingga "baik" (mewakili kondisi yang paling menguntungkan). Setiap dimensi, kecuali dimensi kelembagaan, terdiri dari tujuh atribut, sedangkan dimensi kelembagaan terdiri dari enam atribut yang mempengaruhi keberlanjutan pengelolaan ekosistem mangrove (Tabel 1).

Tabel 1. Atribut dari setiap dimensi keberlanjutan

Dimensi	Atribut
Ekologi	1. Luasan kawasan hutan 2. Keanekaragaman mangrove, 3. Kerapatan mangrove, 4. Tutupan mangrove, 5. Rehabilitasi ekosistem mangrove, 6. Tingkat Abrasi.
Ekonomi	1. Pendapatan masyarakat terhadap UMR, 2. Mata pencaharian alternatif non-mangrove, 3. Pemasaran hasil mangrove, 4). Serapan tenaga kerja lokal, 5). memiliki estetika, dan 6). Pemberdayaan masyarakat.
Sosial-budaya	1. Kekompakan masyarakat (sosial networking), 2. Potensi konflik pemanfaatan mangrove. 3. Tingkat pendidikan, 4. Akses masyarakat terhadap mangrove, 5. Tokoh adat dan Kearifan lokal Masyarakat, 6. Peran serta masyarakat dalam pengelolaan mangrove, 7. Ketersediaan aturan dan peran lembaga non-formal, dan 8. Pelaksanaan pemantauan, pengawasan

Data yang diperoleh dari setiap atribut kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak RAPFISH untuk menentukan status keberlanjutan pengelolaan ekosistem mangrove. Hasil analisis ini akan menggambarkan status keberlanjutan setiap dimensi yang dipelajari, dengan skala 0 hingga 100 (Tabel 2).

Tabel 2. Kategori status keberlanjutan pengelolaan ekosistem mangrove

Nilai Indeks	Kategori
0.00-25.00	Buruk (tidak berkelanjutan)
25.01-50.00	Kurang (kurang berkelanjutan)
50.01-75.00	Cukup (cukup berkelanjutan)
75.01-100.00	Baik (sangat berkelanjutan)

Sumber: Pitcher and Preikshot (2001)

Pada tahap berikutnya, analisis sensitivitas atau *leverage atribut* dilakukan untuk mengidentifikasi atribut mana yang paling sensitif dalam mempengaruhi indeks keberlanjutan pada lokasi penelitian. Setiap dimensi akan dianalisis untuk mengetahui sensitivitas atribut yang ada, dengan menggunakan nilai tertinggi dari *Root Mean Square (RMS)* untuk setiap dimensi keberlanjutan. Atribut yang memiliki nilai tertinggi mewakili faktor yang paling penting dalam indeks keberlanjutan masing-masing dimensi.

Berdasarkan analisis prioritas atribut yang paling sensitif, implikasi manajerial atau strategi untuk pengelolaan ekosistem mangrove secara berkelanjutan akan diusulkan.

Tingkat kepercayaan pada nilai indeks keberlanjutan untuk setiap dimensi dan multidimensi akan dianalisis menggunakan *analisis Monte Carlo*. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kesalahan penilaian pada setiap atribut dalam setiap dimensi, pengaruh variasi dalam penilaian, stabilitas proses analisis MDS, kesalahan entri data atau data yang hilang, serta nilai "**stres**" yang terlalu tinggi (Muksin et al., 2021). Jika perbedaan antara indeks keberlanjutan yang dihasilkan melalui analisis Monte Carlo dan MDS kurang dari 1, maka efek kesalahan dalam analisis dapat dianggap kecil. Semakin kecil perbedaan antara kedua indeks ini, semakin akurat hasil yang diperoleh (Fauzi dan Anna, 2005). Perbedaan antara MDS dan Monte Carlo ini akan menunjukkan interval kepercayaan dari hasil nilai indeks keberlanjutan untuk setiap dimensi pengelolaan mangrove.

Parameter statistik yang digunakan untuk menentukan kelayakan hasil penelitian di hutan mangrove Desa Buruk Bakul adalah nilai stres dan R^2 . Kedua parameter ini menentukan apakah atribut pada setiap dimensi dapat mencerminkan bahwa dimensi yang diteliti mendekati kondisi sebenarnya. Menurut Kavanagh dan Pitcher (2004), 'goodness of fit' dalam perhitungan MDS ditunjukkan oleh besarnya nilai stres, sedangkan validitas model ditunjukkan oleh besarnya koefisien determinasi (R^2). Hasil analisis yang dapat menyajikan model dengan baik ditunjukkan oleh nilai stres di bawah 0,25 dan R^2 yang mendekati 1 atau 100%.

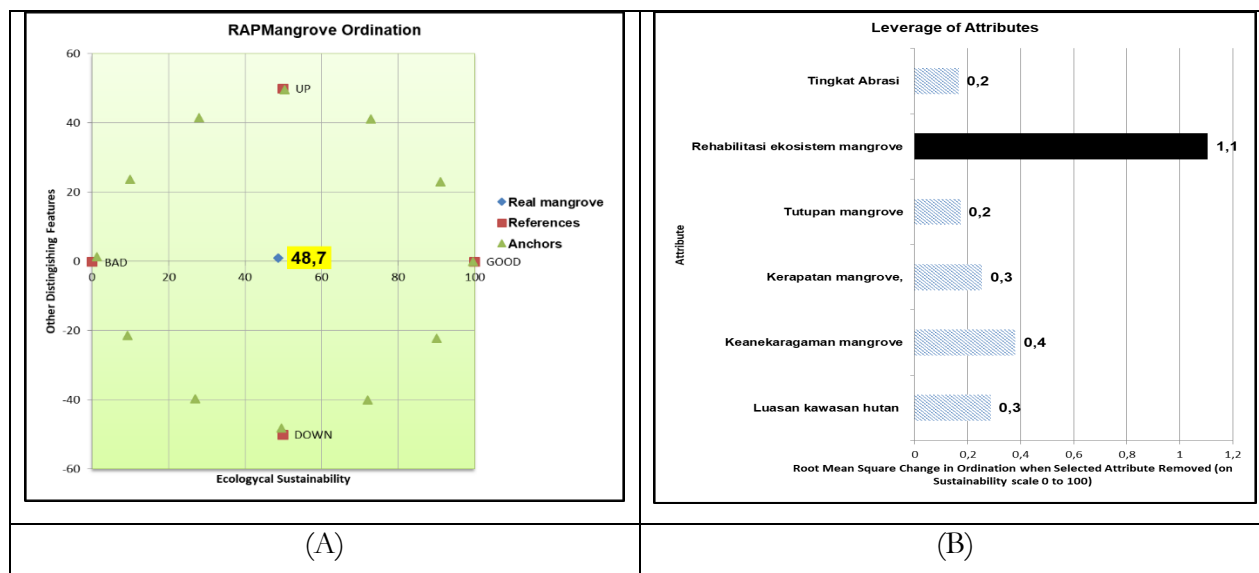
HASIL DAN PEMBAHASAN

Status Keberlanjutan Pengelolaan Ekosistem Mangrove di Desa Buruk Bakul.

Dimensi ekologi

Atribut yang memengaruhi keberlanjutan pengelolaan mangrove di Desa Buruk Bakul dari dimensi ekologi meliputi : 1). Luasan kawasan hutan, 2). Keanekaragaman mangrove, 3). Kerapatan mangrove, 4). Tutupan mangrove, 5). Rehabilitasi ekosistem mangrove, dan 6). Tingkat Abrasi.

Hasil analisis *Rapmangrove*, terlihat indeks keberlanjutan dimensi ekologi di kawasan mangrove Desa Buruk Bakul adalah sebesar 48,7%, yang berarti termasuk dalam kategori kurang berkelanjutan (<50). Nilai ini mencerminkan bahwa kawasan mangrove mengalami tekanan yang signifikan dari aspek ekologi. Observasi lapangan menunjukkan bahwa penurunan kualitas lingkungan di sekitar mangrove disebabkan oleh alih fungsi lahan menjadi perkebunan sawit dan abrasi, yang secara langsung berdampak pada penurunan luas kawasan hutan mangrove (Gambar 1A). Analisis leverage mengkonfirmasi bahwa diantara delapan atribut dimensi ekologi, dua atribut yang sensitif terhadap indeks keberlanjutan, yaitu: 1). Rehabilitasi ekosistem mangrove ($RMS=1,1$) (Gambar 1B)).



Gambar 1. A. Indeks keberlanjutan dimensi ekologi. B. Atribut sensitif dimensi ekologi

Rehabilitasi ekosistem mangrove merupakan aspek penting dalam pengelolaan mangrove yang berkelanjutan dan memiliki dampak signifikan terhadap nilai indeks keberlanjutan pada dimensi ekologi. Terdapat beberapa alasan mengapa rehabilitasi ekosistem mangrove perlu mendapat perhatian, yang didukung oleh literatur bereputasi.

Rehabilitasi mangrove berkontribusi pada pemulihan fungsi ekologis yang hilang akibat kerusakan. Mangrove yang direhabilitasi dapat meningkatkan keanekaragaman hayati dan menyediakan habitat yang diperlukan bagi berbagai spesies, termasuk ikan dan invertebrata yang bergantung pada ekosistem ini untuk bertahan hidup (Askar et al., 2021; Wang et al., 2020). Penelitian menunjukkan bahwa rehabilitasi yang berhasil dapat mengembalikan struktur komunitas mangrove dan meningkatkan produktivitas ekosistem, yang penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem secara keseluruhan (Rumondang et al., 2024; Su et al., 2021).

Rehabilitasi mangrove juga berperan dalam meningkatkan ketahanan ekosistem terhadap perubahan iklim dan ancaman lingkungan lainnya. Mangrove yang sehat dapat berfungsi sebagai pelindung garis pantai, mengurangi erosi, dan menyerap karbon, yang sangat penting dalam mitigasi perubahan iklim (Tharieq et al., 2023; Lee et al., 2021). Penelitian menunjukkan bahwa rehabilitasi mangrove dapat meningkatkan kapasitas ekosistem dalam menyerap karbon dan mengurangi emisi gas rumah kaca, sehingga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan (Su et al., 2021; Villarreal-Rosas et al., 2024).

Rehabilitasi ekosistem mangrove dapat memberikan manfaat sosial dan ekonomi bagi masyarakat lokal. Dengan mengembalikan fungsi ekosistem, rehabilitasi mangrove dapat meningkatkan pendapatan masyarakat melalui kegiatan seperti ekoturisme dan pemanfaatan sumber daya alam yang berkelanjutan (Ray et al., 2024; Lovelock et al., 2022). Penelitian menunjukkan bahwa mangrove yang direhabilitasi dapat meningkatkan produktivitas perikanan dan menyediakan sumber daya yang lebih

stabil bagi masyarakat pesisir (Wang et al., 2020; Pech et al., 2023). Oleh karena itu, rehabilitasi mangrove tidak hanya penting untuk lingkungan, tetapi juga untuk kesejahteraan ekonomi masyarakat. Keberhasilan rehabilitasi mangrove sangat bergantung pada keterlibatan masyarakat lokal dan pemangku kepentingan dalam proses pengelolaan. Pendekatan berbasis masyarakat dalam rehabilitasi mangrove dapat meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat, yang sangat penting untuk keberlanjutan jangka panjang (Ellison et al., 2020; Villarreal-Rosas et al., 2024). Penelitian menunjukkan bahwa program rehabilitasi yang melibatkan masyarakat lokal cenderung lebih berhasil dan berkelanjutan (Lovelock et al., 2022; Ou et al., 2023).

Secara keseluruhan, rehabilitasi ekosistem mangrove memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai indeks keberlanjutan pada dimensi ekologi dalam pengelolaan mangrove yang berkelanjutan. Dengan memulihkan fungsi ekologis, meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim, memberikan manfaat sosial dan ekonomi, serta melibatkan masyarakat lokal, rehabilitasi mangrove dapat berkontribusi pada keberlanjutan ekosistem dan kesejahteraan masyarakat.

Dimensi ekonomi

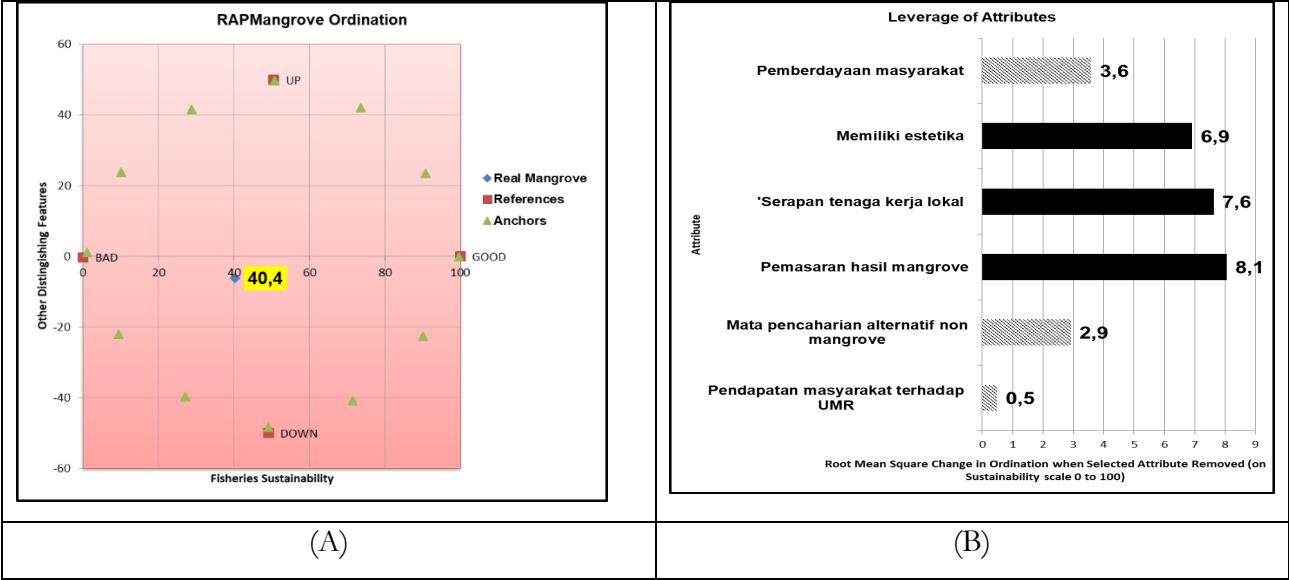
Penentuan status keberlanjutan pengelolaan ekosistem mangrove di Desa Buruk Bakul pada dimensi ekonomi didasarkan pada delapan atribut yaitu : 1. Pendapatan masyarakat terhadap UMR, 2. Mata pencaharian alternatif non-mangrove, 3. Pemasaran hasil mangrove, 4). Serapan tenaga kerja lokal, 5). memiliki estetika, dan 6). Pemberdayaan masyarakat.

Hasil analisis keberlanjutan dimensi ekonomi melalui pendekatan *Rapmangrove* (Gambar 2A) menunjukkan nilai indeks keberlanjutan sebesar 40,4%. Ini menggambarkan bahwa pengelolaan ekosistem mangrove dalam dimensi ekonomi termasuk dalam kategori kurang berkelanjutan. Oleh karena itu, nilai indeks keberlanjutan dimensi ekonomi perlu ditingkatkan melalui perbaikan atribut sensitif dengan *Analisis Leverage*. Ada lima atribut yang paling sensitif terhadap dimensi ekonomi yaitu, : 1). Pemasaran hasil mangrove (RMS=8,1), 2). Serapan tenaga kerja lokal (RMS=7,6) dan 3). memiliki estetika, (RMS=6,9). (Gambar 2B).

Pengelolaan mangrove yang berkelanjutan sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat lokal. Dalam konteks ini, terdapat tiga atribut sensitif yang perlu diperhatikan dalam nilai indeks keberlanjutan dimensi ekonomi, yaitu: 1) pemasaran hasil mangrove, 2) serapan tenaga kerja lokal, dan 3) estetika.

Pemasaran hasil mangrove merupakan aspek penting dalam meningkatkan nilai ekonomi dari ekosistem ini. Hasil-hasil mangrove, seperti kayu, produk non-kayu, dan hasil perikanan, memiliki potensi pasar yang signifikan. Penelitian menunjukkan bahwa pengembangan rantai nilai untuk produk mangrove dapat meningkatkan pendapatan masyarakat lokal dan mendorong praktik pengelolaan yang berkelanjutan (Su et al., 2021; Machava-António et al., 2020). Selain itu, pemasaran produk mangrove

yang efektif dapat membantu mengurangi tekanan terhadap ekosistem dengan memberikan insentif ekonomi bagi masyarakat untuk menjaga dan melestarikan mangrove (Ahmed et al., 2023). Oleh karena itu, strategi pemasaran yang baik sangat diperlukan untuk meningkatkan kesadaran dan permintaan terhadap produk mangrove.



Gambar 2. A. Indeks keberlanjutan dimensi ekonomi. B. Atribut sensitif dimensi ekonomi

Serapan tenaga kerja lokal dalam pengelolaan mangrove juga merupakan faktor kunci dalam keberlanjutan ekonomi. Mangrove menyediakan berbagai peluang kerja, mulai dari kegiatan penangkapan ikan hingga pengolahan produk mangrove (Bissonnette et al., 2024). Penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan mangrove yang melibatkan masyarakat lokal dapat meningkatkan lapangan kerja dan memperkuat ekonomi lokal (Talib et al., 2021; Runya et al., 2023). Dengan melibatkan masyarakat dalam kegiatan ekonomi yang berkelanjutan, seperti ekoturisme dan pengolahan produk mangrove, kita dapat menciptakan sumber pendapatan yang stabil dan mengurangi ketergantungan pada praktik eksploitasi yang merusak (Safuridar et al., 2022).

Estetika mangrove memiliki nilai penting yang sering kali diabaikan dalam pengelolaan ekonomi. Mangrove tidak hanya berfungsi sebagai pelindung pantai dan habitat bagi berbagai spesies, tetapi juga memiliki nilai estetika yang dapat dimanfaatkan untuk tujuan pariwisata (Azzahra et al., 2023; Lillo et al., 2024). Penelitian menunjukkan bahwa pengembangan ekoturisme berbasis mangrove dapat menarik wisatawan dan meningkatkan pendapatan daerah (Serosero et al., 2020). Estetika mangrove, yang mencakup keindahan alam dan keanekaragaman hayati, dapat dijadikan daya tarik untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pelestarian mangrove (Sugiana et al., 2022). Oleh karena itu, pengelolaan yang mempertimbangkan nilai estetika dapat berkontribusi pada keberlanjutan ekonomi dan lingkungan.

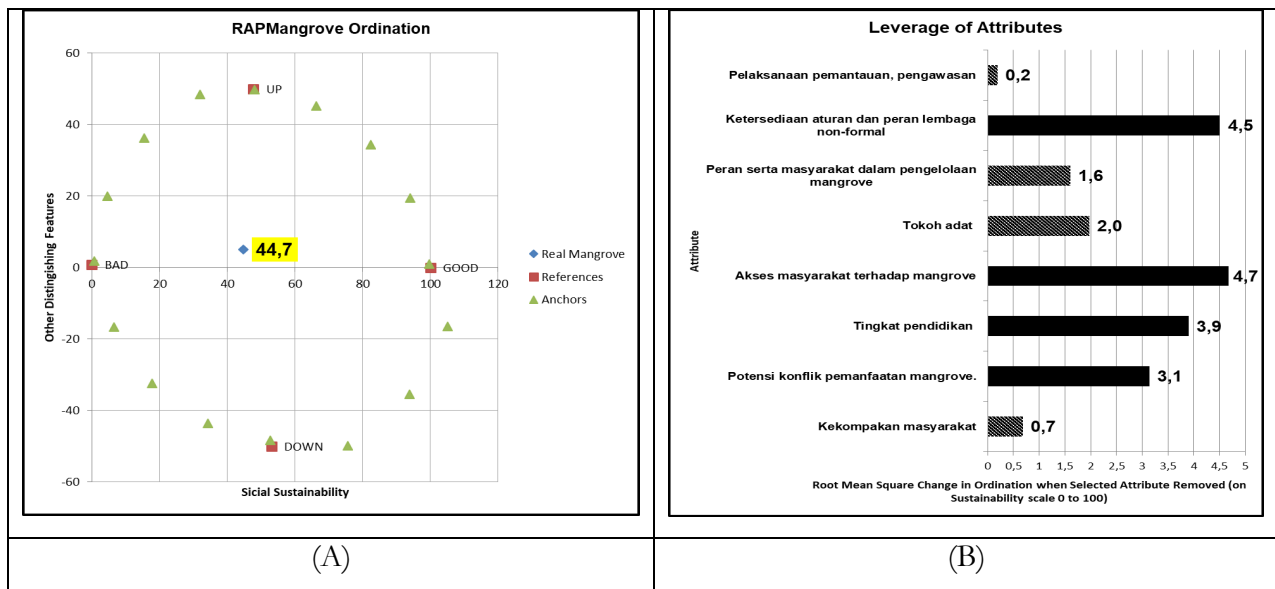
Ekosistem mangrove di Desa Buruk Bakul memiliki potensi sebagai sumber ekonomi alternatif karena ekosistem ini memiliki nilai estetika yang dapat dikembangkan menjadi objek ekowisata perairan pesisir. Potensi ekowisata tersebut meliputi (1) wisata alam, (2) wisata edukasi, (3) memancing, dan (4) kuliner khas desa. Pengembangan ekowisata ini berpotensi menjadi sumber ekonomi alternatif yang dapat mengurangi tekanan ekologis akibat aktivitas perikanan dan alih fungsi lahan.

Untuk mendukung upaya ini, kelompok masyarakat pemerhati lingkungan Desa Buruk Bakul yang bernama *Sekat Bakau* telah bekerja sama dengan berbagai pihak dalam pemberdayaan masyarakat melalui beberapa program, antara lain: a) Pelatihan pembuatan batik dengan pewarna alami dari daun mangrove, meskipun program ini belum berkembang karena keterbatasan modal. b) Konservasi mangrove yang mencakup pembibitan (*Bank Mangrove*), penanaman, dan pemantauan ekosistem mangrove.

Dimensi Sosial budaya

Status keberlanjutan pengelolaan ekosistem mangrove pada dimensi social-budaya ditentukan oleh sepuluh atribut yaitu, : 1. Kekompakan masyarakat (social networking), 2. Potensi konflik pemanfaatan mangrove. 3. Tingkat pendidikan, 4. Akses masyarakat terhadap mangrove, 5. Tokoh adat, 6. Peran serta masyarakat dalam pengelolaan mangrove, 7. Ketersediaan aturan dan peran lembaga non-formal, dan 8. Pelaksanaan pemantauan, pengawasan.

Hasil analisis keberlanjutan *Rapmangrove* (Gambar 3A), menunjukkan bahwa nilai indeks keberlanjutan ekosistem mangrove pada dimensi sosial-budaya sebesar 44,7%, yang tergolong dalam kategori kurang berkelanjutan (<50). Nilai ini menunjukkan bahwa pengelolaan kawasan mangrove menghadapi tekanan signifikan dari aspek sosial-budaya. Observasi lapangan juga mendukung hasil tersebut, dengan temuan bahwa kondisi lingkungan sekitar mangrove telah mengalami penurunan kualitas akibat alih fungsi lahan menjadi perkebunan sawit dan abrasi, yang menyebabkan luasan hutan mangrove semakin menyusut. Ada empat atribut yang paling sensitive terhadap dimensi sosial-budaya, yaitu 1). Akses masyarakat terhadap mangrove (RMS=4,7), 2). Ketersediaan aturan dan peran lembaga non-formal (RMS=4,6), 3). Tingkat pendidikan (RMS=3,9), dan 4). Potensi konflik pemanfaatan mangrove (RMS=3,1). (Gambar 3B).



Gambar 3. A. Indeks keberlanjutan dimensi Sosial-budaya. B. Atribut sensitif dimensi sosial-budaya

Pengelolaan mangrove yang berkelanjutan sangat penting untuk menjaga ekosistem dan mendukung kehidupan masyarakat pesisir. Dalam konteks ini, terdapat empat atribut sensitif yang perlu diperhatikan dalam nilai indeks keberlanjutan dimensi sosial budaya, yaitu: 1) akses masyarakat terhadap mangrove, 2) ketersediaan aturan dan peran lembaga non-formal, 3) tingkat pendidikan, dan 4) potensi konflik pemanfaatan mangrove. Perhatian terhadap empat atribut sensitif ini sangat penting untuk memastikan pengelolaan mangrove yang berkelanjutan. Dengan meningkatkan akses masyarakat, memperkuat peran lembaga non-formal, meningkatkan tingkat pendidikan, dan mengelola potensi konflik, kita dapat menciptakan sistem pengelolaan mangrove yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Akses masyarakat terhadap mangrove merupakan faktor krusial dalam pengelolaan yang berkelanjutan. Akses yang memadai memungkinkan masyarakat untuk memanfaatkan sumber daya mangrove secara berkelanjutan dan berpartisipasi dalam pengelolaan. Penelitian menunjukkan bahwa partisipasi masyarakat dalam pengelolaan mangrove dapat meningkatkan keberlanjutan ekosistem tersebut (Ahmed et al., 2023; Ahmed et al., 2023). Ketika masyarakat memiliki akses yang cukup, mereka lebih cenderung terlibat dalam kegiatan konservasi dan pemanfaatan yang bertanggung jawab, yang pada gilirannya mendukung keberlanjutan ekosistem mangrove (Maulidah et al., 2023).

Ketersediaan aturan dan peran lembaga non-formal sangat mempengaruhi pengelolaan mangrove. Lembaga non-formal sering kali berperan sebagai penghubung antara masyarakat dan pemerintah, serta dalam penyebaran informasi mengenai praktik pengelolaan yang baik (Mohamed et al., 2023). Penelitian menunjukkan bahwa intervensi dari otoritas lokal dan lembaga non-formal dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan mangrove, dengan menciptakan kerangka kerja yang mendukung partisipasi masyarakat (Akram et al., 2023). Oleh karena itu, penting untuk memperkuat peran lembaga non-

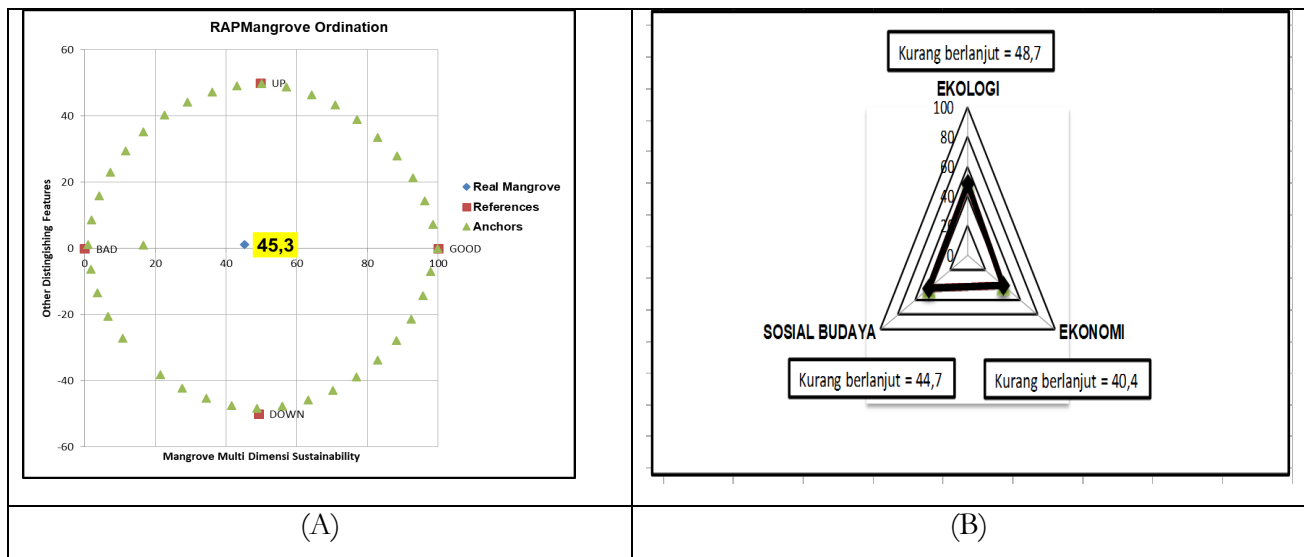
formal dalam pengelolaan mangrove agar dapat menciptakan kebijakan yang lebih inklusif dan responsif terhadap kebutuhan masyarakat lokal.

Tingkat pendidikan masyarakat berhubungan erat dengan kesadaran dan pemahaman mereka tentang pentingnya mangrove. Pendidikan yang lebih baik dapat meningkatkan pengetahuan masyarakat tentang manfaat mangrove dan cara-cara untuk melestarikannya (Budiarti et al., 2023). Penelitian menunjukkan bahwa masyarakat yang terdidik cenderung lebih aktif dalam upaya konservasi dan lebih mampu mengatasi konflik yang mungkin timbul akibat pemanfaatan mangrove (Efani et al., 2024). Oleh karena itu, program pendidikan dan pelatihan yang berfokus pada pengelolaan mangrove harus menjadi prioritas dalam upaya meningkatkan keberlanjutan ekosistem ini.

Potensi konflik pemanfaatan mangrove perlu diperhatikan untuk mencegah kerusakan ekosistem. Konflik sering kali muncul akibat perbedaan kepentingan antara berbagai pihak yang memanfaatkan mangrove, seperti nelayan, pengusaha, dan masyarakat lokal (Hamza et al., 2022). Penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan yang partisipatif dapat membantu mengurangi konflik dengan melibatkan semua pemangku kepentingan dalam proses pengambilan keputusan (Suharti et al., 2022). Oleh karena itu, penting untuk menciptakan forum dialog yang melibatkan semua pihak terkait guna membahas dan menyelesaikan potensi konflik dalam pemanfaatan mangrove.

Status keberlanjutan multidimensi

Analisis multidimensi telah dilakukan dengan menggabungkan semua dimensi termasuk ekologis, ekonomi, dan sosial budaya. Oleh karena itu, sebanyak 20 atribut telah digunakan untuk menentukan status keberlanjutan pengelolaan ekosistem mangrove dalam studi ini. Berdasarkan hasil analisis, nilai indeks keberlanjutan multidimensi adalah 45,3, yang menunjukkan bahwa pengelolaan ekosistem mangrove di Desa Buruk Bakul umumnya termasuk dalam kategori kurang berkelanjutan. (Gambar 6A). Nilai indeks keberlanjutan dalam tiga dimensi dapat divisualisasikan dalam diagram layang. (Gambar 6B). Diagram layang menggambarkan status keberlanjutan secara terintegrasi antar dimensi.



Gambar 6. A. RAPFISH ordinasi Multidimensi, B Diagram layang pengelolaan ekosistem mangrove berkelanjutan.

Nilai indeks keberlanjutan tertinggi ditemukan pada dimensi ekologi (48,7), sementara yang terendah ditemukan pada dimensi ekonomi. (40,4). Dimensi ekologi, ekonomi, dan sosial-budaya serta multidimensi termasuk dalam kategori kurang berkelanjutan karena memiliki nilai indeks yang berada di antara 25-50. Semua dimensi yang termasuk dalam kategori kurang berkelanjutan memerlukan upaya yang tepat untuk meningkatkan indeks nilai keberlanjutan. Sebaliknya, dimensi-dimensi dalam kategori berkelanjutan sedang harus dipertahankan agar indeks nilai keberlanjutannya tidak menurun dan terus meningkat. (Patawari *et al.* 2022).

Berdasarkan hasil analisis Monte Carlo pada interval kepercayaan 95% (Tabel4). menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan dalam nilai indeks keberlanjutan antara analisis MDS dan analisis Monte Carlo. Perbedaan antara nilai MDS dan nilai Monte Carlo menghasilkan nilai kurang dari 1, yang berarti bahwa analisis yang dilakukan pada nilai indeks keberlanjutan pengelolaan ekosistem mangrove memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi. Dalam konteks evaluasi model, berbagai indeks statistik digunakan untuk menilai kecocokan model, dengan ambang batas tertentu yang menunjukkan kinerja model yang dapat diterima atau baik. Ketika membandingkan berbagai pendekatan pemodelan, seperti MDS dan simulasi Monte Carlo, perbedaan kurang dari 5% sering dianggap dapat diterima untuk menunjukkan bahwa model-model tersebut berkinerja serupa. Kriteria ini sangat penting untuk memastikan bahwa model yang dipilih tidak hanya secara statistik valid tetapi juga relevan secara praktis dalam aplikasinya.

Tabel 4 . Nilai MDS, Monte Carlo, Stress dan Koefisien Determinasi Multidimensi masing-masing Dimensi

Dimensi	MDS	Monte Carlo	Selisih	Stress	R ²
Ekologi	48,7	48	0,0	0,17	0,94
Ekonomi	40,4	40,5	0,1	0,15	0,94
Sosial-budaya,	44,7	45,2	0,5	0,14	0,94
Multidimensi	45,3	45,7	0,4	0,14	0,96

Literatur terbaru juga telah mengeksplorasi penerapan metode Monte Carlo di berbagai bidang, menunjukkan kegunaannya dalam analisis ketidakpastian dan penilaian risiko. Misalnya, Xinfa et al., (2023) membahas efektivitas simulasi Monte Carlo dalam penilaian keberlanjutan bisnis pertanian, mencatat bahwa hasilnya sangat sesuai dengan hasil MDS, sehingga memperkuat keandalan kedua metode tersebut. Ini sejalan dengan temuan Cezar et al., (2020), yang menyelidiki penerapan simulasi Monte Carlo untuk manajemen waktu proyek, menggambarkan keserbagunaan metode ini di berbagai domain.

Dalam penelitian ini (Tabel 4), setiap dimensi memiliki nilai stres 0,14-0,17 (kurang dari 0,25), yang berarti bahwa nilai stres dalam analisis menggunakan metode MDS sudah memadai. Ini menunjukkan akurasi konfigurasi titik atau model goodness of fit yang dibangun untuk keberlanjutan dapat mewakili model yang baik. Semakin kecil nilai stres yang diperoleh, semakin baik kualitas hasil analisis. Nilai stres kurang dari 0,25 sering dianggap sebagai indikasi kecocokan yang baik dalam analisis skala multidimensi (MDS), dengan nilai yang biasanya berkisar antara 0,205 hingga 0,365 dianggap dapat diterima (Henderikx, 2023). Ini sejalan dengan konsensus umum bahwa nilai stres yang lebih rendah mencerminkan korelasi analisis yang lebih baik, karena nilai stres yang lebih tinggi menunjukkan korelasi yang lebih buruk (Arslan, 2020). Ini didukung lebih lanjut oleh literatur yang menekankan pentingnya nilai stres rendah dalam mengkonfirmasi keandalan hasil MDS. (Li *et al.*, 2023).

Nilai R² dari setiap dimensi dalam penelitian ini 0,94-0,96 (mendekati 1). Secara umum, jika nilai R² mendekati 1, itu menunjukkan bahwa kualitas hasil analisis semakin baik. Oleh karena itu, semua indikator yang diteliti dalam studi ini memiliki peran yang cukup besar dalam menjelaskan keragaman. (Tabel 4). Koefisien determinasi, atau nilai R², adalah metrik kritis lainnya dalam mengevaluasi ksesesuaian model. Nilai R² yang melebihi 0,80 umumnya dianggap menunjukkan kontribusi yang sangat baik dari model terhadap varians yang dijelaskan (Li et al., 2023). Ambang batas ini didukung oleh berbagai studi yang menekankan pentingnya nilai R² yang tinggi dalam mengkonfirmasi ketahanan model yang sedang dievaluasi. Xia *et al.*, 2023).

Strategi Pengelolaan Ekosistem Mangrove

Hasil analisis keberlanjutan yang dilakukan terhadap ketiga dimensi ekologi, ekonomi, dan sosial-budaya menghasilkan 8 atribut sensitif. Atribut sensitif tersebut berperan sebagai faktor pengungkit (*leverage factor*) terhadap masing-masing dimensi secara parsial. Oleh karena itu data tersebut menjadi dasar informasi tentang atribut yang perlu ditingkatkan dan dijaga kualitasnya. Diharapkan adanya perlakuan tersebut terhadap atribut-atribut sensitif maka indeks keberlanjutan pengelolaan ekosistem mangrove di Desa Buruk Bakul semakin meningkat.

Untuk menentukan faktor pengungkit utama (faktor penentu) dapat dilakukan dengan melihat nilai RMS dari masing-masing atribut melalui pendekatan hukum Pareto Optimum seperti tertera pada Tabel 5. Sehingga diperoleh enambelas atribut menjadi prioritas utama yang perlu mendapatkan perhatian lebih dalam pengelolaan ekosistem mangrove di Desa Buruk Baku

Berdasarkan Tabel 5, diperoleh 5 atribut penentu yang mempengaruhi keberlanjutan ekosistem mangrove di Desa Buruk Bakul., yaitu 1). Pemasaran hasil mangrove, 2). Serapan tenaga kerja local, 3). Memiliki estetika, 4). Akses masyarakat terhadap mangrove dan 5). Ketersediaan aturan dan peran lembaga non-formal. Dimensi yang paling sensitif terhadap pengelolaan ekosistem mangrove adalah dimensi ekonomi sehingga dimensi ini menjadi prioritas dalam menentukan strategi pengelolaan ekosistem mangrove. Hasil prioritas pengelolaan berdasarkan analisis keberlanjutan ekosistem mangrove di Desa Buruk Bakul kemudian dikembangkan untuk menyusun beberapa rekomendasi strategis. (Tabel 6).

Tabel 5 . Faktor Sensitif pengelolaan ekosistem mangrove di Desa Buruk Bakul.

No.	Atribut	Dimensi	RMS	Nilai Komulatif	Persentase Komulatif
1	Pemasaran hasil mangrove	ekonomi	8,1	20,25	20,25
2	Serapan tenaga kerja lokal	ekonomi	7,6	19,00	39,25
3	Memiliki estetika	ekonomi	6,9	17,25	56,50
4	Akses masyarakat terhadap mangrove	Sosial-budaya	4,7	11,75	68,25
5	Ketersediaan aturan dan peran lembaga non-formal	Sosial-budaya	4,6	11,50	79,75
6	Tingkat pendidikan	Sosial-budaya	3,9	9,75	89,50
7	Potensi konflik pemanfaatan mangrove	Sosial-budaya	3,1	7,75	97,25
8	Rehabilitasi ekosistem mangrove	Ekologi	1,1	2,75	100,00
		Total	40	100	

Tabel 6. Strategi, tujuan dan arah kebijakan untuk pengelolaan ekosistem mangrove di Desa Buruk Bakul Kecamatan Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau.

No.	Strategi	Tujuan	Arahan Kebijakan
1.	Penguatan Ekonomi Berbasis Mangrove	Meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui pemanfaatan hasil mangrove secara berkelanjutan	• Diversifikasi produk berbasis mangrove (makanan, kerajinan, kosmetik) • Pengembangan ekowisata mangrove dan jasa lingkungan • Pelatihan wirausaha dan pemasaran digital bagi masyarakat lokal
2.	Peningkatan Akses dan Partisipasi Masyarakat	Memastikan keterlibatan aktif masyarakat dalam pengelolaan dan pemanfaatan mangrove	• Pembangunan infrastruktur akses menuju kawasan mangrove • Zonasi pemanfaatan mangrove untuk ekonomi, wisata, dan konservasi • Pelibatan masyarakat dalam rehabilitasi dan pengelolaan ekosistem mangrove
3.	Penguatan Kebijakan dan Kelembagaan	Mewujudkan tata kelola mangrove yang berkelanjutan melalui regulasi dan kemitraan	• Penyusunan peraturan desa tentang pengelolaan mangrove • Peningkatan kapasitas kelompok masyarakat dan kelembagaan lokal • Kemitraan dengan LSM, akademisi, dan sektor swasta untuk konservasi dan pemberdayaan

KESIMPULAN

Kesimpulannya, status pengelolaan ekosistem mangrove di Desa Buruk Bakul umumnya diklasifikasikan sebagai kurang berkelanjutan. (index 40,4 out of 100). Status ini disebabkan oleh indeks keberlanjutan yang kurang pada 3 dimensi yang digunakan, yaitu ekologi (48,7); ekonomi (40,4); sosial-budaya (44,7) dan multidimensi (45,3), sehingga masih ada harapan untuk meningkatkan keberlanjutannya. Oleh karena itu, pengelolaan ekosistem mangrove memerlukan intervensi kebijakan, terutama pada atribut-atribut sensitif. Atribut-atribut ini sangat penting untuk intervensi kebijakan, yang mengarah pada pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan.

Strategi pengelolaan ekosistem mangrove yang harus diterapkan meliputi Penguatan Ekonomi Berbasis Mangrove, Peningkatan Akses dan Partisipasi Masyarakat, dan Penguatan Kebijakan dan Kelembagaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adani, N., Subiakto, Y., & Pranoto, S. (2023). Structural mitigation of rob flood disaster through mangrove forest conservation in indonesia coastal areas. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1173(1), 012066. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1173/1/012066>
- Ahmed, J., Kathambi, B., & Kibugi, R. (2023). Barriers to community participation in governance standards setting for sustainable mangrove management in lamu county. *Open Journal of Forestry*, 13(04), 353-367. <https://doi.org/10.4236/ojf.2023.134021>
- Ahmed, J., Kathambi, B., & Kibugi, R. (2023). Rationale for decision-making processes in enhancement of community participation for sustainable mangrove management in lamu, kenya. *Open Journal of Ecology*, 13(06), 409-421. <https://doi.org/10.4236/oje.2023.136025>
- Akram, H., Hussain, S., Mazumdar, P., Chua, K., Butt, T., & Harikrishna, J. (2023). Mangrove health: a review of functions, threats, and challenges associated with mangrove management practices. *Forests*, 14(9), 1698. <https://doi.org/10.3390/f14091698>
- Amir, A., Maturbongs, R., & Tapilatu, R. (2019). The impacts of coastal community activities on the existence of the waranggui mangrove forest in south manokwari, west papua, indonesia. *Indo Pac J Ocean Life*, 3(2). <https://doi.org/10.13057/oceanlife/o030202>
- Askar, H., Tahang, H., Sutinah, S., Fakhriyyah, S., Bahar, A., Tresnati, J., ... & Tuwo, A. (2021). Short communication: using ecological parameters to assess the sustainability of mangrove ecotourism in jenepono, south sulawesi, indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(8). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220858>
- Azzahra, P., Sumarga, E., & Sholihah, A. (2023). Mangrove ecotourism development at karimunjawa national park, indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(8). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240827>
- Baek, W. and Cho, J. 2018. Identifying the virtuous circle of humanity education and post-graduate employment: evidence from a confucian country. *Sustainability*, 10(1), 202. <https://doi.org/10.3390/su10010202>
- Bakri, S., Hartati, F., Kaskoyo, H., Febryano, I.G., & Dewi, B. S. 2023. The fate of mangrove ecosystem sustainability on the shrimp cultivation area in Tulang Bawang District, Lampung, Indonesia. *BIODIVERSITAS* Volume 24, Number 1, January 2023. Pages: 379-390 . DOI: 10.13057/biodiv/d240145
- Bissonnette, J., Dossa, K., Nsangou, C., Satchie, Y., Moussa, H., Miassi, Y., ... & Onguéné, R. (2024). What occurs within the mangrove ecosystems of the douala region in cameroon? exploring the challenging governance of readily available woody resources in the wouri estuary. *Environments*, 11(6), 121. <https://doi.org/10.3390/environments11060121>
- Budiarti, R. and Subagyo, A. (2023). Study on the utilization of mangrove forest plants. *Jurnal Penelitian Pendidikan Ipa*, 9(12), 12082-12097. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i12.6311>

- Buitre, M., Zhang, H., & Lin, H. (2019). The mangrove forests change and impacts from tropical cyclones in the philippines using time series satellite imagery. *Remote Sensing*, 11(6), 688. <https://doi.org/10.3390/rs11060688>
- Cezar, H., Canuto, S., & Coutinho, K. 2020. Dice: a monte carlo code for molecular simulation including the configurational bias monte carlo method. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 60(7), 3472-3488. <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.0c00077>
- Das, S.C., Das, S., & Tah, J. 2022. Mangrove Forests and People's Livelihoods. In *Mangroves: Biodiversity, Livelihoods and Conservation*; Das, S.C., Pullaiah, T., Ashton, E.C., Eds.; Springer Nature: Singapore, 2022; pp. 153–173.
- Dasgupta, R., Hashimoto, S., & Saito, O. 2022. Fostering Mangrove Ecosystem Services for a Resilient Future for the Asia-Pacific Region: A Knowledge Synthesis. In *Assessing, Mapping and Modelling of Mangrove Ecosystem Services in the Asia-Pacific Region*; Saito, O., Dasgupta, R., Hashimoto, S., Eds.; Springer Nature: Singapore, 2022; pp. 283–292.
- Daulay, Z., Ferdi, F., & Thahira, A. (2023). A strategy for preventing coastal degradation due to mangrove logging on the coast of bintan island, indonesia to prevent shallowing of the strait by applying international principles: the common heritage of mankind. *Bio Web of Conferences*, 70, 05003. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237005003>
- Efani, A., Tiarantika, R., Manzilati, A., Rahman, M., & Soemarno, S. (2024). Complex solutions collaborative-based mangrove ecosystem management model for development ecotourism in south coastal east java indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 19(10), 3821-3835. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.191011>
- Ellison, A., Felson, A., & Friess, D. (2020). Mangrove rehabilitation and restoration as experimental adaptive management. *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00327>
- Fauzi A dan S. Anna. 2005. *Pemodelan sumber daya perikanan dan kelautan untuk analisis kebijakan*. Gramedia Pustaka, Jakarta
- Fontaine, S. C., Estrada, G. T., Heckadon-Moreno, S., and Hickey, G. M. 2022. Enhancing the sustainable management of mangrove forests: The case of Punta Galeta, Panama. *Trees, Forests and People* Volume 8, June 2022
- Ginantra, I. and Sundra, I. (2023). Mollusks diversity to support mangrove tourism attractions in the mangrove forest of nusa lembongan, bali, indonesia. *International Journal of Science and Research Archive*, 10(2), 578-589. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2023.10.2.0978>
- Hamza, A., Esteves, L., & Cvitanović, M. (2022). Changes in mangrove cover and exposure to coastal hazards in kenya. *Land*, 11(10), 1714. <https://doi.org/10.3390/land11101714>
- Henderikx, M. 2023. Digital transformation and middle managers' leadership skills and behavior: a group concept mapping approach. *Frontiers in Psychology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1147002>
- Irwansyah, R., Azzahra, S., Darmastuti, S., Ramadhandi, A., Firdaus, O., Daeni, F., ... & Setyawan, A. 2022. Crab diversity and crab potential as support ecotourism in teleng ria, grindulu and siwil beach, pacitan, east java, indonesia. *International Journal of Bonorowo Wetlands*, 11(2). <https://doi.org/10.13057/bonorowo/w110204>

Kavanagh P, and Pitcher TJ. 2004. Implementing Microsoft Excel Software For Rapfish: A Technique For The Rapid Appraisal of Fisheries Status. Fisheries Centre Research Reports 12 (2). University of British Columbia. Canada

Kurniawati, B., Sulistyaningrum, N., Nugroho, G., Sunarto, S., Kusumaningrum, L., Rahawarin, Y., ... & Setyawan, A. (2022). Mangrove Conservation Efforts With The Ecotourism Development In The cengkong mangrove ecotourism, trenggalek district, east java, indonesia. *International Journal of Bonorowo Wetlands*, 12(2). <https://doi.org/10.13057/bonorowo/w120203>

Lan, B., Phuong, T., Đat, T., & Truong, D. 2023. Payment for urban mangrove forest conservation in vietnam: a community case study of can gio biosphere reserve, ho chi minh city. *Sustainability*, 15(13), 10299. <https://doi.org/10.3390/su151310299>

Lee, C., Duncan, C., Nicholson, E., Fatoyinbo, T., Lagomasino, D., Thomas, N., ... & Murray, N. (2021). Mapping the extent of mangrove ecosystem degradation by integrating an ecological conceptual model with satellite data. *Remote Sensing*, 13(11), 2047. <https://doi.org/10.3390/rs13112047>

Li, X., Liu, X., Lai, K., Fan, Y., Liu, Y., Wang, Y., ... & Huang, Y. 2023. Effects of acetic, malic, and citric acids on the large deformation behaviors of fish gelatin gels. *Journal of Texture Studies*, 54(5), 755-762. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12767>

Lillo, E., Malaki, A., Alcazar, S., Chavez, M., Rosales, R., Tomol, C., ... & Lillo, E. (2024). Mangrove forest composition, diversity, and disturbances in carcar city and sibonga municipality, southern cebu island, philippines. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 25(5). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250521>

Ligono, L. and Okolie, C. (2022). Integrated analysis of mangrove changes using the mangrove vegetation index and random forest classification in the gambia. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-M-2-2022, 153-157. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlvi-m-2-2022-153-2022>

Lovelock, C., Barbier, E., & Duarte, C. (2022). Tackling the mangrove restoration challenge. *Plos Biology*, 20(10), e3001836. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001836>

Machava-António, V., Bandeira, S., Macamo, C., & Mahanzule, R. (2020). Value chain analysis of mangrove forests in central mozambique: uses, stakeholders and income. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 19(1), 1-17. <https://doi.org/10.4314/wiojms.v19i1.1>

Mahasani, I., Osawa, T., Adnyana, I., Suardana, A., & Chonnaniyah, C. (2021). Carbon stock estimation and mapping of mangrove forest using alos-2 palsar-2 in benoa bay bali, indonesia. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 944(1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/944/1/012044>

Maseta, G., Mwansasu, S., & Njana, M. (2022). Carbon dynamics and sequestration by urban mangrove forests of dar es salaam, tanzania. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 20(2), 11-23. <https://doi.org/10.4314/wiojms.v20i2.2>

Maulidah, F., Iskandar, J., & Gunawan, B. (2023). The tangible and intangible benefits of mangrove forests as a factor affecting community participation in mangrove management. *Journal of Tropical Ethnobiology*, 6(2), 112-125. <https://doi.org/10.46359/jte.v6i2.174>

- Melo, R. H., Kusmana, C., Eriyatno, & Nurrochmat. 2020. Short communication: Mangrove forest management based on multi dimension scalling (RAP-Mforest) in Kwandang Sub-district, North Gorontalo District, Indonesia. *Biodiversitas* 21 (4): 1352-1357. DOI: 10.13057/biodiv/d210411.
- Mohamed, M., Adam, E., & Jackson, C. (2023). Policy review and regulatory challenges and strategies for the sustainable mangrove management in zanzibar. *Sustainability*, 15(2), 1557. <https://doi.org/10.3390/su15021557>
- Muksin, Rizal, Iskandar R. 2021. Analysis of the sustainable status of post disaster crop production in Sigi Regency, Central Sulawesi Province. *Earth Environ Sci* 672: 1-8. DOI: 10.1088/1755-1315/672/1/012031.
- Ou, J., Tian, Y., Zhang, Q., Xie, X., Zhang, Y., Jin, T., ... & Lin, J. (2023). Coupling uav hyperspectral and lidar data for mangrove classification using xgboost in china's pinglu canal estuary. *Forests*, 14(9), 1838. <https://doi.org/10.3390/f14091838>
- Patawari AMY, Anna Z, Hindayani P, Dhahiyat Y, Hasan Z, & Putri IAP. 2022. Sustainability status of small-scale fisheries resources in Jakarta Bay, Indonesia after reclamation. *Biodiversitas* 23 (4): 1715-1725. DOI: 10.13057/biodiv/d230401.
- Pech, M., Palma, J., & Velarde, B. (2023). "hydrological restoration of the mangroves of the san crisanto ejido". *International Journal of Biological and Natural Sciences*, 3(8), 2-7. <https://doi.org/10.22533/at.ed.813382330089>
- Pitcher TJ., & Preikshot D. 2001. Rapfish: A rapid appraisal technique to evaluate the sustainability status of fisheries. *Fish Res* 49 (3): 255- 270. DOI: 10.1016/s0165-7836(00)00205-8.
- Ray, K., Basak, S., Giri, C., Kotal, H., Mandal, A., Chatterjee, K., ... & Joshi, R. (2024). Ecological restoration at pilot-scale employing site-specific rationales for small-patch degraded mangroves in indian sundarbans. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63281-8>
- Rumondang, A., Kusmana, C., & Budi, S. (2021). Species composition and structure of angke kapuk mangrove protected forest, jakarta, indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(9). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220932>
- Rumondang, R., Feliatra, F., Warningsih, T., & Yoswati, D. (2024). Sustainable management model and ecosystem services of mangroves based on socio-ecological system on the coast of batu bara regency, indonesia. *Environmental Research Communications*, 6(3), 035008. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad2d01>
- Runya, R., Karani, N., Muriuki, A., Mwasaru, D., Kamau, A., Ndomasi, N., ... & Okello, J. (2023). Local perceptions, opportunities, and challenges of community-based ecotourism in gazi bay, kenya. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 21(2), 95-108. <https://doi.org/10.4314/wiojms.v21i2.9>
- Sugiana, I., Andiani, A., Dewi, I., Karang, I., As-Syakur, A., & Dharmawan, I. (2022). Spatial distribution of mangrove health index on three genera dominated zones in benoa bay, bali, indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(7). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230713>
- Sadono, R., Soeprijadi, D., Susanti, A., Wirabuana, P., & Matatula, J. (2020). Species composition and growth performance of mangrove forest at the coast of tanah merah, east nusa tenggara. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(12). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211242>

- Safuridar, S., Salman, S., & Azhar, I. (2022). Analisis the total economics value of the mangrove forest area in the development of ecotourism in langsa city, aceh. *Glosains Jurnal Sains Global Indonesia*, 3(1), 8-18. <https://doi.org/10.59784/glosains.v3i1.48>
- Serosero, R., Abubakar, S., & Hasan, S. (2020). Distribution and community structure of mangrove in donrotu, guratu and manomadehe islands, west halmahera district, north maluku. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1), 151-166. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i1.26929>
- Su, J., Friess, D., & Gasparatos, A. (2021). A meta-analysis of the ecological and economic outcomes of mangrove restoration. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25349-1>
- Suharti, S., Darusman, D., Nugroho, B., & Sundawati, L. (2022). Conditions for successful local collective action in mangrove forest management: some evidences from eastern coastal area of south sulawesi, indonesia. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1027(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1027/1/012024>
- Sumarmi, S., Bachri, S., Purwanto, P., Mutia, T., Sholeha, A., Rahmasyah, P., ... & Shrestha, R. (2024). Mangrove forest management strategy in bedul, banyuwangi: collaboration between community and alas purwo national park for sustainable ecotourism development. *Geojournal of Tourism and Geosites*, 52(1), 85-97. <https://doi.org/10.30892/gtg.52108-1185>
- Sumarmi, S., Purwanto, P., & Bachri, S. (2021). Spatial analysis of mangrove forest management to reduce air temperature and co2 emissions. *Sustainability*, 13(14), 8090. <https://doi.org/10.3390/su13148090>
- Suwanto, A., Takarina, N., Koestoer, R., & Frimawaty, E. (2021). Diversity, biomass, covers, and ndvi of restored mangrove forests in karawang and subang coasts, west java, indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(9). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220960>
- Talib, H., Zaidon, N., Rashid, R., & Chan, J. (2021). Local community's acceptance of mangrove forest as a sustainable tourism product: a preliminary findings. *Bimp-Eaga Journal for Sustainable Tourism Development*, 10(1), 11-21. <https://doi.org/10.51200/bimpeagajtsd.v10i1.3388>
- Tetelepta, J., Loupatty, S., & Wawo, M. (2020). Sustainable management strategy for mangrove forest of pelita jaya bay and kotania bay, western seram, indonesia. *Triton Jurnal Manajemen umberdaya Perairan*, 16(2), 53-67. <https://doi.org/10.30598/tritonvol16issue2page53-67>
- Tharieq, M., Bambang, A., Wardhani, L., Redjeki, S., & Pribadi, R. (2023). Vegetation analysis as indicator of mangrove degradation level in keboromo village, tayu. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(2), 283-292. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i2.17575>
- Tusar, M., Hasan, M., & Sultana, N. (2023). Sundarbans mangrove mapping and above ground biomass estimation using earth observation techniques. *Journal of Sustainability and Environmental Management*, 2(2), 126-132. <https://doi.org/10.3126/josem.v2i2.55205>
- Villarreal-Rosas, J., Brown, C., Andradi-Brown, D., Domínguez, R., Jacobo, P., Martínez, A., ... & Adame, M. (2024). Integrating socioeconomic and ecological data into restoration practice. *Conservation Biology*, 38(4). <https://doi.org/10.1111/cobi.14286>

Wang, W., Fu, H., Lee, S., Fan, H., & Wang, M. (2020). Can strict protection stop the decline of mangrove ecosystems in china? from rapid destruction to rampant degradation. *Forests*, 11(1), 55. <https://doi.org/10.3390/f11010055>

Xia, J., Zhang, S., Liao, L., Liu, H., & Sun, Y. 2023. Working stress measurement of prestressed rebars using the magnetic resonance method. *Buildings*, 13(6), 1416. <https://doi.org/10.3390/buildings13061416>