

04



BATAS EKOLOGIS DAN MASA DEPAN PEMBANGUNAN BANGSA

Prof. Deffi Ayu Puspito Sari, S.T.P., M.Agr.Sc., Ph.D., IPM., AER.

Populasi, Pangan, dan Masa Depan Bumi

November 2022 sebuah milestone baru dalam catatan manusia di mana untuk pertama kalinya populasi manusia telah mencapai 8 miliar penduduk dan terus bertambah sampai hari ini mencapai 8.2 miliar. Spesies kita telah melampaui hambatan-hambatan yang dulu pernah dikhawatirkan oleh pendahulu kita, tentang kekurangan pangan, yang dapat membawa pada bencana kelaparan, tentang penyakit, tentang konflik perebutan sumber daya dan sebagainya. Manusia juga telah melewati berbagai *catastrophic events*, *pandemics* dan perang dunia. Meskipun dengan segala permasalahan yang ada kita tidak hanya masih bertahan, tapi juga bertambah dengan cepat. Pertambahan penduduk ini diiringi dengan konsekuensi untuk memenuhi semua kebutuhannya tidak hanya kebutuhan pokok tapi juga kebutuhan dan ruang dalam mengembangkan kapasitas dan kesempatan memiliki hidup yang bermartabat (Sari, D.A.P. *et al.*, 2023). Dalam memenuhi kebutuhannya, manusia menggunakan sumber daya yang disediakan oleh alam dan semua aktivitas yang dilakukan berdampak pada lingkungan. Saat ini penduduk dunia harus memikirkan solusi dari permasalahan besar yang dihadapi umat manusia dalam mempertahankan eksistensinya yaitu 1) Meningkatnya pertumbuhan penduduk dan dampak buruknya terhadap kesejahteraan manusia, 2) Menurunnya jasa ekosistem yang penting, 3) Perubahan iklim dan berbagai bencana yang terinduksi oleh perubahan iklim tersebut, 4) Hilangnya keanekaragaman hayati, dan 5) Dampak negatif penerapan teknologi yang tidak berkelanjutan, termasuk di dalamnya teknologi persenjataan yang memang memiliki tujuan destruktif. Kelima permasalahan ini tidak hanya mengancam eksistensi manusia tetapi juga lingkungan, alam dan bumi kita.

Dalam bidang ekologi dan biologi, terutama dalam konteks ekosistem dan populasi, kita mengenal istilah *Carrying Capacity* atau Daya Dukung. Istilah ini merujuk pada kemampuan suatu lingkungan untuk mendukung jumlah maksimum organisme atau populasi tertentu tanpa mengalami kerusakan atau penurunan kualitas lingkungan yang signifikan. Jika suatu populasi melebihi daya dukungnya (*carrying capacity*), maka akan terjadi *overshoot*. Hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan, kelangkaan sumber daya, dan pada akhirnya, penurunan populasi itu sendiri. *Overshoot* bisa bersifat sementara atau menyebabkan kerusakan permanen pada lingkungan. Pada akhirnya, jika lingkungan tidak dapat lagi menopang populasi, akan terjadi peningkatan angka kematian dan penurunan populasi. Menjaga daya dukung lingkungan sangat penting untuk keberlanjutan kehidupan. Dengan memahami dan menghormati batas-batas lingkungan, kita dapat mencegah dampak negatif *overshoot* dan memastikan bahwa lingkungan dapat terus menopang kehidupan, baik bagi manusia maupun makhluk hidup lainnya.

Manusia memiliki akal pikiran yang digunakan untuk mencari solusi terhadap masalah yang dihadapi. Dengan memanfaatkan akal pikirannya manusia telah menemukan berbagai inovasi, misalnya Revolusi Hijau,

dengan inovasi teknologi pertaniannya, berhasil meningkatkan produksi pangan secara dramatis, sehingga mengatasi kekhawatiran Malthus akan kelangkaan pangan. Thomas Robert Malthus, dalam tulisannya, menyatakan bahwa pertumbuhan penduduk mengikuti deret ukur (1, 2, 4, 8...), sementara produksi pangan hanya mengikuti deret hitung (1, 2, 3, 4...). Akibatnya, Malthus memprediksi akan terjadi kelangkaan pangan dan kemiskinan di masa depan karena pertumbuhan penduduk yang pesat. Revolusi Hijau, yang dipelopori oleh Norman Borlaug, adalah gerakan untuk meningkatkan produksi pangan melalui penggunaan varietas tanaman unggul, pupuk kimia, pestisida, dan mekanisasi pertanian. Revolusi Hijau berhasil meningkatkan hasil panen secara signifikan, terutama pada tanaman pangan utama seperti padi dan gandum. Hal ini membuktikan bahwa teknologi pertanian dapat mengatasi keterbatasan lahan dan meningkatkan produksi pangan, sehingga mengurangi kekhawatiran Malthus akan kelangkaan pangan. Revolusi Hijau terbukti mampu meningkatkan produksi pangan dan mengurangi angka kelaparan di berbagai negara berkembang. Meskipun demikian, satu solusi dapat menciptakan masalah baru, distribusi pangan dengan *carbon footprint* yang tinggi dan dampak lingkungan dari penggunaan teknologi pertanian kemudian menjadi tantangan tersendiri, pupuk kimia yang melampaui baku mutu menjadi polutan dan terakumulasi pada tumbuhan dan hewan, pestisida membuat hama menjadi resisten, pembajakan lahan melepas carbon dan menambah akumulasi gas rumah kaca serta permasalahan lainnya. Meskipun Revolusi Hijau telah berhasil mengatasi kekhawatiran Malthus akan kelangkaan pangan, isu-isu seperti perubahan iklim dan kebutuhan untuk pertanian berkelanjutan tetap menjadi tantangan di masa depan.

Berkaitan dengan Indonesia Emas 2045, di atas telah dibahas lima tantangan yang dihadapi di manusia saat ini. Kita perlu membekali generasi muda dengan pengetahuan yang cukup agar generasi muda dapat mengembangkan kapasitas dan kreativitasnya untuk mengatasi masalah-masalah yang ada dan mencegah agar tidak bertambah parah di masa depan.

Pertumbuhan Penduduk dan Batas Ekologis Pembangunan Nasional

Indonesia dengan populasi penduduk ke-4 terbanyak di dunia menghadapi tantangan yang sama (lihat paragraf pertama bab ini). Pertumbuhan penduduk yang cepat perlu diimbangi dengan pertumbuhan ekonomi, sarana, prasarana, fasilitas dan infrastruktur yang memadai di berbagai bidang. Dalam pemenuhan kebutuhan penduduk yang terus bertambah ini, di mana sumber daya yang tersedia jumlahnya terbatas, terjadi persaingan dalam memanfaatkan sumber daya alam dan lingkungan. Misalnya, lahan subur yang dapat digunakan untuk bercocok tanam, bersaing dengan kebutuhan untuk tumbuhnya bangunan dan

infrastruktur kota, dan masih juga harus memberikan jasa ekosistem sebagai penerima limbah yang dihasilkan oleh manusia. Beban yang kita berikan pada alam semakin berat, tanpa kita sadari menempatkan manusia pada risiko kehilangan jasa ekosistem yang penting untuk keberlangsungan spesies kita.

1. Undervalue Nilai Sumber Daya Alam dan Lingkungan

Dalam konvensional ekonomi, di mana jasa alam dan lingkungan tidak memiliki label harga, kita cenderung menggunakan sumber daya yang ada tanpa menyadari nilai sebenarnya. Saat ini dunia telah sepakat bahwa perubahan iklim yang terjadi merupakan dampak dari aktivitas manusia, di mana perubahan iklim tersebut telah menginduksi berbagai bencana seperti kekeringan, gagal panen, banjir, longsor, gelombang panas, dan lain sebagainya. Berdasarkan hal tersebut, kita sadari bahwa kita cenderung menyalahgunakan dan kurang menghargai manfaat dari sumber daya hayati dan lingkungan dengan melakukan ekstraksi dan penggunaan sumber daya secara kurang bijaksana. Hal ini menjadi pemicu berbagai bencana yang kita alami saat ini. Di lain pihak, manusia yang telah dipilih menjadi spesies puncak di planet ini, dibekali dengan akal dan kemampuan untuk mengurangi dampak lingkungan dan kerusakan akibat dari aktivitas yang dilakukannya, sudah sepatutnya menggunakan potensi yang dimiliki untuk menggunakan sumber daya alam dan lingkungan secara bijak dan berkelanjutan.

Dunia tengah berupaya menahan laju kenaikan suhu global di bawah 2 derajat celsius. Di mana perubahan suhu satu atau dua derajat bagi kita manusia tidaklah membawa pengaruh besar tetapi untuk tumbuhan dan hewan kecil yang sangat rentan dengan perubahan suhu dapat menyebabkan kematian bahkan kepunahan yang berakibat hilangnya keanekaragaman hayati.

Tanah, air dan udara bekerja keras mendaur ulang cemaran yang masuk. Siklus jasa ekosistem tetap harus terjaga agar kita tetap mendapatkan udara dan air yang bersih serta tanah yang subur untuk bercocok tanam memenuhi kebutuhan makhluk hidup. Karena banyak jasa lingkungan yang sampai saat ini masih kita peroleh dengan gratis (penyedia oksigen, air, pengatur keseimbangan suhu, dll.), maka kita cenderung meremehkan dan *take for granted*. Banyak yang tidak menyadari ketergantungan manusia terhadap jasa lingkungan. Salah satu upaya untuk menjaga jasa lingkungan adalah dengan melakukan *monitoring* kualitas lingkungan secara teratur (Sari *et al.*, 2019 dan Sari *et al.*, 2018) agar dapat mengidentifikasi hambatan dan faktor pendorong untuk perbaikan lingkungan. Salah satu contoh adalah upaya pemulihan ekosistem sungai. Penelitian di Sungai Ciliwung (Sari *et al.*, 2018) dan Sungai Epicentrum (Sari *et al.*, 2019) memberikan rekomendasi strategi yang lebih efektif untuk memulihkan ekosistem sungai. Salah satu contohnya adalah studi yang telah dilakukan tentang relokasi warga yang tinggal di pinggir sungai, meskipun sulit dilakukan

karena mendapat perlawanan dari masyarakat yang direlokasi, tetapi memberi dampak peningkatan kualitas hidup bagi masyarakat yang direlokasi maupun untuk kesehatan lingkungan. Kasus relokasi warga dari pinggir Sungai Ciliwung ke Rusunawa Jatinegara meningkatkan kondisi tempat tinggal sehat bagi warga yang direlokasi (Sari *et al.*, 2018). Dampak peningkatan kualitas hidup di antaranya berupa penggunaan air yang lebih terjamin keamanannya di Rusunawa dibandingkan mengkonsumsi air yang diambil dari Sungai Ciliwung. Selain itu budaya disiplin hidup bersih dan membuang sampah pada tempatnya juga menjadi edukasi di Rusunawa, warga Rusunawa memiliki jadwal dan tata cara pembuangan sampah dan limbah yang teratur dibandingkan sebelumnya membuang sampah dan limbah domestik langsung ke badan air Sungai Ciliwung.

2. Pengelolaan Limbah dan Sampah

Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, beban yang dihadapi lingkungan juga semakin besar termasuk meningkatnya limbah dan sampah yang dihasilkan. Baik dalam skala individu, rumah tangga, maupun industri, sangat dibutuhkan pengelolaan sampah/limbah yang memadai tidak hanya dalam hal kuantitas timbunan yang dihasilkan, tetapi juga dibutuhkan upaya lebih dalam mengurangi emisi yang dihasilkan. Pengelolaan limbah dan sampah yang ada belum optimal (Zahro *et al.* 2021) dapat kita lihat di ruang terbuka maupun penuhnya tempat pembuangan sampah.

Di antara berbagai jenis limbah/sampah yang dihasilkan, limbah dari industri pangan merupakan salah penyumbang terbesar, baik dari proses produksi, distribusi, penjualan di restoran maupun dari produk (*food waste*) itu sendiri. Sampah atau limbah yang tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan berbagai masalah di lingkungan, menyebabkan pembusukan dan mengeluarkan gas metana sebagai salah satu penyumbang gas rumah kaca yang turut menyebabkan bencana perubahan iklim, belum lagi mengurangi nilai estetika lingkungan dan menyebabkan bau. Untuk mengurangi beban kota, sampah atau limbah yang dihasilkan sebaiknya diolah di tempat di mana sampah atau limbah tersebut dihasilkan. Hal ini sejalan dengan konsep *zero waste* maupun *circular economy*. Diharapkan residu yang dihasilkan dapat menjadi input untuk kegiatan ekonomi lainnya sehingga tercipta ekonomi sirkular dan terwujud *zero waste*. Kami telah melakukan beberapa penelitian baik di tingkat dasar, terapan, pengembangan maupun komersialisasi untuk mewujudkan harapan ini. Sebagai contoh di perkebunan dan pabrik kelapa sawit, telah dilakukan perhitungan emisi gas rumah kaca baik di lahan, sektor transportasi, proses produksi, maupun limbah yang dihasilkan menggunakan perhitungan konvensional IPCC maupun *Life Cycle Assessment* (LCA), serta penerapan teknologi penangkapan gas metana (*methane capture*) untuk produksi biogas dapat menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan. Di level rumah tangga maupun sektor komersial, kami telah melakukan pengolahan sampah domestik maupun limbah restoran salah satu contohnya adalah pengolahan *grease* dari industri kuliner. Penggunaan minyak untuk

menggoreng, menghasilkan limbah yang memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan. Ada banyak cara untuk mengurangi limbah minyak atau *grease*, salah satunya adalah penggunaan teknologi biodegradable. Limbah *grease* dapat dikompos tetapi memerlukan waktu yang lama sekitar 55 hari (Chitthaluri & Rao, 2022). Salah satu teknologi biodegradable yang dapat diterapkan untuk mengurangi limbah lemak adalah dengan memanfaatkan serangga sebagai bio konverter yaitu Black Soldier Fly (BSF). BSF atau *Hermetia illucens* merupakan salah satu spesies lalat yang hidup di daerah tropis, di mana mereka dapat menguraikan bahan organik (Dortmans *et al.*, 2021). BSF dapat mendegradasi sampah organik dengan memanfaatkan larvanya yang akan mengambil energi dan nutrisi dari sampah sayuran, sisa makanan, dan pupuk kandang sebagai makanannya (Popa & Green, 2012). Kami telah melakukan berbagai penelitian berkaitan dengan BSF, selain untuk mendegradasi sampah organik (Sari *et al.*, 2022a; Sari *et al.*, 2022b; Sari *et al.*, 2022), serta menghasilkan berbagai produk samping seperti pupuk cair dan padat (Sari *et al.*, 2022c; Sari & Ridhani, 2022). BSF terbukti menjadi solusi sampah organik dan membantu mencapai Zero Waste (Sari *et al.*, 2022; Rohajawati dan Sari 2022; Sari *et al.*, 2022). Selain itu budidaya BSF dapat menciptakan dan meningkatkan perekonomian masyarakat, larva yang dipanen dapat dijual sebagai substitusi pakan ternak, dalam bentuk larva kering, merek UGOTIN telah terdaftar sebagai produk inovasi dari Universitas Bakrie, juga merek KASGOTIN untuk pupuk organik (Sari *et al.* 2021; Sari & Ridhani, 2022). Penerapan KASGOTIN pada lahan pertanian di Perigi, Lombok telah terbukti meningkatkan produksi padi sampai 35%. Produk samping lain yang tengah dikembangkan saat ini bersama SEAFast Center, IPB University adalah isolat protein dan lemak BSF (Sari, *et al.* 2023). Selain itu masih banyak manfaat lain yang dapat dikembangkan salah satunya sebagai biodiesel (Franco *et al.*, 2021; Makkar *et al.*, 2014).

Beberapa hal yang telah dikemukakan menjadi contoh bagaimana penerapan sumber daya hayati dapat menjawab berbagai masalah lingkungan, memberikan manfaat ekonomi dan dapat diterima oleh masyarakat menjadi solusi yang *sustainable*.

3. Ketidakbijaksanaan Manusia atas SDA dan Risiko Bencana yang Ditimbulkan

Seiring berjalannya waktu, tantangan lingkungan semakin mendalam, dan kita berada pada puncak perubahan iklim dan risiko bencana yang semakin nyata. Kita telah menyaksikan dampak serius dari aktivitas manusia terhadap lingkungan. Pencemaran air, tanah dan udara menunjukkan betapa tidak bijaksananya manusia dalam memanfaatkan sumber daya alam dan lingkungan. Hal ini dapat membawa manusia terpapar risiko bencana. Beberapa contoh pencemaran sumber daya alam dan lingkungan yang menjadi tantangan generasi emas dibahas pada paragraf di bawah ini.

Pencemaran dan kerusakan lingkungan yang terus terjadi dapat mempengaruhi daya dukung lingkungan dalam menopang keberlangsungan hidup kita (Irawan *et al.*, 2021). Banyaknya sampah baik dari kegiatan rumah tangga maupun limbah industri yang dibuang begitu saja di perairan dapat menyumbat saluran sehingga menyebabkan bencana seperti banjir (Pramono *et al.*, 2023; Ridhani & Sari, 2019). Sampah-sampah tersebut juga menyumbang peran dalam penurunan kualitas perairan kita. Sebagai contoh yaitu pencemaran air oleh mikroplastik yang dapat berpengaruh buruk terhadap kesehatan manusia. Penelitian yang dilakukan oleh Prodi Teknik Lingkungan Universitas Bakrie telah mengidentifikasi jenis dan sebaran mikroplastik di perairan di Indonesia, seperti di Teluk Jakarta dan Sungai Krukut (Azizi *et al.*, 2021; Azizi *et al.*, 2022). Penelitian ini menyadarkan kita bahwa selain pencemaran sampah di badan air, juga terdapat cemaran mikroplastik yang selama ini kurang kita sadari karena tidak kasat mata.

Pentingnya sumber daya hayati sebagai upaya pengurangan risiko bencana juga terlihat dari kolonisasi mikroba di perairan sering terlihat pada mikroplastik. Dengan memahami interaksi mikroba dengan mikroplastik, kita dapat mengembangkan strategi pengelolaan limbah plastik yang lebih efektif (Azizi *et al.*, 2023). Dengan mendeteksi metanogen tingkat ketujuh dalam proses pencernaan anaerobik rumput laut merah, dapat membantu dalam mengoptimalkan produksi biogas dan mengurangi dampak lingkungan (Azizi & Sari, 2022).

Selanjutnya adalah pencemaran yang terjadi pada udara yang kita hirup. Udara yang bersih merupakan kebutuhan dasar untuk hidup. Namun banyak polutan yang dihasilkan baik dari kegiatan industri, maupun penggunaan kendaraan bermotor. Polutan-polutan ini berupa emisi gas rumah kaca yang memengaruhi konsentrasinya di atmosfer (Hartono *et al.*, 2021). Tantangan besar juga muncul dari sektor energi, terutama mengenai emisi gas rumah kaca dari pabrik kelapa sawit (Sari *et al.*, 2019). Hal ini dapat memicu perubahan iklim. Perubahan iklim telah kita rasakan sehari-hari, seperti cuaca yang ekstrim, kekeringan, maupun kebakaran hutan (Mursidi & Sari, 2017; Sari & Rumambi, 2018).

4. Bencana Sosial dan Ekonomi

Bencana yang ditimbulkan dari perubahan iklim tidak hanya berdampak bagi lingkungan, tetapi juga dapat berupa bencana sosial dan ekonomi di masyarakat seperti kemiskinan (Sari, 2012, 2018; Sari & Kawashima, n.d.). Sudah merupakan fenomena umum bahwa masyarakat yang kurang beruntung secara ekonomi, sering kali tidak memiliki pilihan terhadap akses lingkungan yang bersih, sehat terutama di kota-kota besar, bahkan ada yang belum memiliki fasilitas sanitasi yang memadai di tempat tinggalnya. Kondisi kota yang padat penduduk, di mana kegiatan dan aktivitas penduduk sangat tinggi, menimbulkan peningkatan risiko bencana seperti kebakaran, banjir, maupun longsor. Daerah pedesaan pun

tidak luput dari risiko bencana yang terinduksi perubahan iklim, terutama di mana mayoritas masyarakat menggantungkan mata pencahariannya dari sektor pertanian. Kondisi lahan pertanian memburuk akibat cuaca ekstrem sehingga hasil produksi pangan menurun (Falatehan *et al.*, 2017).

Dampak lainnya yaitu, dampak sosial. Sebagai contoh, adanya konflik sosial antara perusahaan yang memanfaatkan sumber daya hayati dan masyarakat sekitar (Sari *et al.*, 2019), sering terjadi perselisihan antara perusahaan dan masyarakat adat di mana keduanya saling *klaim* kepemilikan terhadap lahan dan sumber daya alam yang ada di lahan tersebut. Dampak sosial akibat perselisihan sumber daya ini tidak hanya dirasakan masyarakat yang tinggal di pedesaan tetapi juga masyarakat perkotaan (Maarif & Sari, 2020b, 2020a). Bencana lingkungan ini, seiring bertambahnya waktu menjadi semakin kompleks dalam penanggulangannya, terkadang diperlukan relokasi yang sangat rentan memunculkan konflik antara pemerintah dengan masyarakat. Jika menilik kembali pada studi relokasi warga di pinggiran Sungai Ciliwung, masyarakat yang telah puluhan tahun dan beberapa generasi tinggal di pinggiran sungai sebagai contoh, tidak dapat dengan mudah direlokasi, memindahkan penduduk dari perkampungan ke kompleks apartemen tidak hanya memindahkan manusia dan harta bendanya. Tetapi mencabut mereka dari komunitasnya, dari kebiasaan hidup, serta tidak jarang dari mata pencahariannya. Penanggulangan permasalahan sosial dan konflik yang timbul seringkali lebih kompleks daripada teknik penyediaan sarana dan prasarana. Mengubah pola pikir, kebiasaan dan edukasi untuk hidup di lingkungan yang lebih sehat, membutuhkan waktu tidak sebentar, bahkan diperlukan satu generasi untuk memulai kebiasaan baru. Hal ini telah kami kaji dalam studi dampak bencana banjir di kota Jakarta, relokasi dan revitalisasi Kampung Pulo dan sungai Ciliwung (Sari *et al.*, 2018).

Teknologi Hayati untuk Masa Depan Berkelanjutan

Permasalahan dan tantangan yang telah dijabarkan di atas dapat di atasi jika kita memanfaatkan sumber daya hayati dan lingkungan dengan bijaksana. Seperti yang kita ketahui, alam memberikan banyak manfaat bagi kita. Alam mengurangi krisis iklim dengan menyerap dan menyimpan karbon dalam biomassa, sehingga mengurangi konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Alam melindungi kita dari bahaya dengan memberikan penghalang terhadap gelombang badai, menstabilkan tanah lereng, dan mencegah tanah longsor. Alam juga memberikan banyak manfaat yang sampai saat ini belum dapat kita hitung nilainya, seperti fungsi rekreasi dan estetika.

Sehingga solusi berbasis alam atau *Nature-Based Solutions* (NBS) untuk pengurangan risiko bencana atau DDR (*Disaster Risk Reduction*) menjadi lebih penting dalam konteks ini. *Nature-Based Solution* merupakan pendekatan yang menggabungkan manajemen lingkungan

dengan mengurangi bencana dan dampak perubahan iklim (IUCN & UNEP, 2021). Pemanfaatan sumber daya hayati dapat menjadi kunci utama dalam menjaga keseimbangan lingkungan, mencegah bencana, dan mengurangi dampak negatif aktivitas manusia terhadap planet kita. Berikut ini beberapa upaya Pemanfaatan Sumber Daya Hayati dengan Penerapan Teknologi yang telah kami lakukan baik melalui penelitian, pengabdian maupun integrasi dalam pembelajaran yang dapat dikembangkan lebih jauh oleh generasi emas Indonesia untuk mengatasi tantangan di masa depan;

1. Mari kita hijaukan kembali kota kita, gunakan solusi berbasis alam.
 - Dengan meningkatkan pemanfaatan ruang terbuka hijau dan pengelolaan air limbah yang baik, kita dapat mengurangi risiko bencana banjir (Irawan *et al.*, 2021; Salsabila *et al.*, 2023). Selain itu, perencanaan lingkungan yang tepat, terkait dengan aspek biofisik dapat menjadi upaya adaptasi terhadap banjir. Pendekatan ini mencoba mengintegrasikan solusi berbasis alam dalam perencanaan urban khususnya di Kampung Pulo, Jakarta (Sari, Sugiana, Ramadhonah, *et al.*, 2018).
 - Banyaknya destinasi pariwisata di Indonesia juga dapat menjadi strategi pemasaran untuk mendukung mitigasi bencana (Mihardja *et al.*, 2023). Konsep ini mencoba mengintegrasikan pariwisata dengan upaya pelestarian alam.
2. Mari kita kelola sampah kita, sebagai bentuk tanggung jawab kita mewariskan alam yang sehat kepada anak cucu kita.
 - Dimulai dengan memilah sampah yang kita hasilkan. Sehingga sampah anorganik dapat segera didaur ulang tanpa tercemar sampah organik. Sampah organik juga dapat langsung diolah dengan berbagai teknologi pengolahan sampah organik seperti komposting, maupun menggunakan larva *Black Soldier Fly* (BSF). Penerapan teknologi dengan pemanfaatan sumber daya hayati dapat dilakukan dengan membangun instalasi Black Soldier Fly (BSF). Instalasi BSF dapat diintegrasikan dalam perencanaan lingkungan sebagai bagian dari strategi adaptasi terhadap perubahan iklim (Sari *et al.*, 2022). Penerapan solusi berbasis alam ini membuktikan bahwa kita dapat bekerja bersama dengan alam untuk mencapai tujuan keberlanjutan.
 - Pemanfaatan larva *Black Soldier Fly* (BSF) untuk mengurangi limbah organik dan mendukung konsep *zero waste* menjadi salah satu fokus dalam upaya yang berkelanjutan (Sari *et al.*, 2023). Rasio limbah organik memiliki pengaruh terhadap tingkat konsumsi limbah, indeks pengurangan limbah, dan pertumbuhan larva BSF (Sari *et al.*, 2022). Sebagai sebuah terobosan luar biasa di dunia pengelolaan limbah, larva BSF tidak hanya membantu menghilangkan limbah yang sulit diurai, tetapi juga menerapkan konsep *circular economy* karena dapat menjadi sumber protein yang bernilai tinggi untuk pakan ternak (Sari *et al.*, 2021). Dengan

cara ini, kita tidak hanya menciptakan lingkungan yang lebih bersih, tetapi juga membuka peluang baru dalam pertanian yang berkelanjutan.

- Pemanfaatan BSF sebagai pilihan efektif dalam mengelola limbah organik rumah tangga juga menghasilkan pupuk organik cair dan padat yang membuka wawasan baru tentang cara-cara inovatif untuk mengelola sumber daya hayati (Sari *et al.*, 2022; Sari *et al.*, 2022). Pemikiran kreatif dalam mengatasi masalah limbah tidak hanya mengurangi dampak negatifnya, tetapi juga menciptakan produk yang dapat mendukung pertanian organik dan menjaga keseimbangan lingkungan.
 - Pengolahan sampah padat dengan teknologi *Refused Derived Fuel* (RDF) juga sangat membantu untuk mengurangi tumpukan sampah padat di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). RDF yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk industri yang berada disekitar TPA, dengan demikian siklus ekonomi sirkular dan *zero waste* dapat terwujud sekaligus menekan biaya bahan bakar untuk industri, dan mengurangi emisi gas rumah kaca (Sari, D. A. P. *et al.*, 2025).
3. Industri pengolah sumber daya alam, teruskan upaya-upaya *Green and Clean Industry*, agar apa yang diambil dari alam dapat kita wariskan dan tidak habis pada generasi kita.
- Penting bagi kita untuk mengukur dampak setiap langkah yang kita ambil terhadap lingkungan. *Life Cycle Assessment* (LCA), memberikan pandangan holistik terhadap dampak dari suatu produk atau proses. Penelitian yang telah dilakukan terkait pabrik minyak kelapa sawit dari perspektif pemanasan global, asidifikasi, dan eutrofikasi membuka mata kita terhadap kontribusi masing-masing tahapan produksi terhadap perubahan iklim (Sari *et al.*, 2023; Sari *et al.*, 2023). Dengan pemahaman ini, kita dapat membuat keputusan yang lebih baik untuk mendukung praktik-praktik berkelanjutan.
 - Pencegahan emisi gas rumah kaca terdiri dari langkah-langkah penting dalam melawan perubahan iklim. Mulai dari instalasi penangkapan gas metana (Sari *et al.*, 2019) hingga pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit (Palm Oil Mill Effluent/POME) untuk pembangkit listrik biogas (Sari *et al.*, 2019). Karakteristik dari biomassa gambut juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif sehingga dapat mengurangi tekanan terhadap lingkungan (Falatehan & Sari, 2020). Semua langkah ini dapat membantu mengurangi jejak karbon industri kita. Ini tidak hanya tentang mengurangi emisi tetapi juga tentang menciptakan sumber energi terbarukan yang mendukung keberlanjutan ekonomi.

4. Integrasikan teknologi, kemampuan teknik, kepekaan sosial ekonomi dan kearifan lokal dalam mengatasi tantangan yang ada dengan *dignity*.
 - Melakukan mitigasi dan adaptasi terhadap dampak perubahan iklim sebagai upaya yang berkelanjutan dengan menghubungkan cara hidup masyarakat (Sari *et al.*, 2018) dalam menghadapi bencana seperti kebakaran hutan dan lahan yang terjadi di Provinsi Sumatera Selatan, diperlukan ketahanan dan ketanggahan sosial ekonomi masyarakat sekitar (Sari *et al.*, 2018). Integrasi manajemen sumber daya budaya dalam manajemen bencana di Daerah Istimewa Yogyakarta juga memberikan pelajaran berharga tentang bagaimana kebijakan yang menghargai warisan budaya dapat menjadi bagian integral dari upaya pencegahan dan tanggap bencana (Sari & Afriono, 2017).
 - Terakhir, simulasi dispersi asap dan distribusi suhu pada kebakaran di Kecamatan Kebon Melati dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* dapat menjadi upaya mendukung mitigasi bencana yang lebih efisien (Sari *et al.*, 2023). Hal ini menunjukkan pentingnya teknologi dalam memahami dan mengatasi tantangan lingkungan.

Dalam kesimpulannya, langkah-langkah konkret yang dapat diambil dalam pemanfaatan sumber daya hayati secara berkelanjutan dapat dilakukan dengan menerapkan teknologi yang telah dijabarkan di atas. Generasi emas akan menerima tongkat estafet dari apa yang telah dilakukan generasi sebelumnya. Dengan potensi yang dimiliki, apa yang telah diupayakan saat ini dapat dikembangkan menjadi lebih baik lagi disesuaikan dengan permasalahan yang akan dihadapi. Melalui upaya bersama, kita dapat menciptakan lingkungan yang sehat dan berkelanjutan untuk generasi mendatang. Mari kita bersama-sama menjadi agen perubahan untuk keberlanjutan bumi kita.

Daftar Pustaka


- Azizi, A., Maulida, N., Setyowati, W. N., Fairus, S., & Sari, D. A. P. (2022). Microplastic pollution in the water and sediment of Krukut River, Jakarta, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 986(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/986/1/012084>
- Azizi, A., Raffasya, M. F., Fairus, S., & Sari, D. A. P. (2023). Microbial colonization of microplastics in the coastal water of Jakarta Bay. *AAEL Bioflux*, 16(3), 1499–1507.
- Azizi, A., Sari, D. A. P., & Fairus, S. (2022). Detecting the Seventh Order of Methanogen in the Anaerobic Digestion of Red Seaweed. *Journal of Engineering Science and Technology*, 17, 28–37.
- Azizi, A., Setyowati, W. N., Fairus, S., Sari, D. A. P., & Irawan, D. S. (2021). Microplastic pollution in the sediment of Jakarta Bay, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 930(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012010>
- Chitthaluri S, Rao PV (2022) Composting of grease trap scum waste and green waste: Studying the effects of mix composition on physicochemical and biological process parameters. *Int J Recycl Org Waste Agric* 12(3):305-324. <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2022.1932016.1258>
- Falatehan, A. F., Raswatie, F. D., & Sari, D. A. P. (2017). *Planting and Consumption Patterns of Upland Rice Farmer in Indonesia*. 1(1).

- Falatehan, A. F., & Sari, D. A. P. (2020). Characteristics of Peat Biomass as an Alternative Energy and Its Impact on the Environment. *Solid State Technology*, 63(5), 4700–4712. www.solidstate-technology.us
- Franco A, Scieuzo C, Salvia R, Petrone AM, Tafi E, Moretta A, Schmitt E, Falabella P (2021) Lipids from *hermetia illucens*, an innovative and sustainable source. *Sustainability (Switzerland)* 13(18):10198. <https://doi.org/10.3390/su131810198>
- Hartono, D., Maarif, S., Sari, D. A. P., Ponangsera, I. S., & Fitriyanti, J. (2021). Comparison of air pollutant standard index before and during the COVID-19 pandemic in DKI Jakarta. *E3S Web of Conferences*, 331, 2019–2022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202133102009>
- Irawan, D. S., Sari, D. A. P., & Ariesta, A. (2021). Domestic Wastewater Piping Network Planning and Technology Recommendations for Wastewater Treatment Case Study: The Ambarita Area, Samosir Regency, North Sumatra. *Cerdika: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 1(3), 189–208. <https://doi.org/10.36418/cerdika.v1i3.42>
- Irawan, D. S., Sari, D. A. P., & Putriahalya, R. A. A. (2021). Study of The Carrying Capacity of The Environment Case Study: The Simanindo Area, Samosir Regency, North Sumatra. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 4(1), 72–86. <https://doi.org/10.37637/ab.v4i1.688>
- IUCN, & UNEP. (2021). Nature-based solutions for climate change mitigation. In *United Nations Environment Programm*. <http://www.un.org/Depts/Cartographic/>
- Maarif, S., & Sari, D. A. P. (2020a). The characteristics of urban communities in the disaster response area (Case study: Kelurahan cawang, East Jakarta, Dki Jakarta). *Humanities and Social Sciences Reviews*, 8(1), 295–305. <https://doi.org/10.18510/hssr.2020.8140>
- Maarif, S., & Sari, D. A. P. (2020b). The characteristics of village communities in the disaster response area (A case study of Cijeruk Village, West Java). *Humanities and Social Sciences Reviews*, 8(1), 508–516. <https://doi.org/10.18510/hssr.2020.8162>
- Meilasari-Sugiana, A., Sari, D. A. P., & Anggraini, R. (2018). Housing and resettlement of Jakarta ' s urban poor : case study of Kampung Pulo ' s slum revitalisation in Jakarta, Indonesia. *Human Geographies-Journal of Studies and Research in Human Geography*, 12(2), 191–208.
- Mihardja, E. J., Alisjahbana, S., Agustini, P. M., Sari, D. A. P., & Pardede, T. S. (2023). Forest wellness tourism destination branding for supporting disaster mitigation: A case of Batur UNESCO Global Geopark, Bali. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 11(1), 169–181. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2023.01.003>
- Mursidi, A., & Sari, D. A. P. (2017). *Management of Drought Disaster in Indonesia*. 3(2), 165–171.
- Popa R, Green TR (2012) Using black soldier fly larvae for processing organic leachates. *J Econ Entomol* 105(2):374–378. <https://doi.org/10.1603/EC11192>
- Pramono, S. A., Sutarga, K., Kusuma, & Sari, D. A. P. (2023). Studi Komparasi Bangunan Terdampak Bencana Banjir Tahun 2013 Di Kecamatan Cengkareng, Grogol Dan Kebon Jeruk Menggunakan Aplikasi Quantum Geographic Information System. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 11(1), 77–86. <https://doi.org/10.23887/jjjpg.v11i1.55581>
- Ridhani, C., & Sari, A. D. P. (2019). Study on Integrating Flood Risk Management into Spatial Planning in Pasarminggu Subdistrict, DKI Jakarta Province.
- Rohajawati S, Sari DAP (2022) Mobile apps and organic waste. Deepublish, Yogyakarta
- Salsabila, P., Maarif, S., & Sari, D. A. P. (2023). Strategy for improving Green Open Space (RTH) based on community participation in reduce the risk of flood disaster in Jakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1173(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1173/1/012061>
- Sari, D. A. P. (2012). Education, Health, and Basic Needs: Increasing Capabilities to Escape Poverty Human Insecurity. *Journal of Human Security Research*, 1(1).
- Sari, D. A. P. (2018). Food Production, Poverty Indices.pdf. *International Journal of Scientific Conference and Call for Papers*.
- Sari, D. A. P., & Afriono, R. (2017). The Integration Of Cultural Resources Management In Disaster Management At Special Region Province Of Yogyakarta. *Sinergi : Jurnal Ilmiah Ilmu Manajemen*, 7(1). <https://doi.org/10.25139/sng.v7i1.27>
- Sari, D. A. P., Fadiilah, D., & Azizi, A. (2019). Utilization of palm oil mill effluent (Pome) for biogas power plant; its economic value and emission reduction. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 11(7), 465–470. <https://doi.org/10.31227/osf.io/bhfd9>

- Sari, D. A. P., Fadiilah, D., Azizi, A., & Pawenary. (2019). Energy Sector CO₂ Emission In Palm Oil Mill. *Journal of Physics: Conference Series*, 1364, 012003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1364/1/012003>
- Sari, D. A. P., Falatehan, A. F., & Ramadhonah, R. Y. (2019). The social and economic impacts of peat land palm oil plantation in Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1364, 012017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1364/1/012017>
- Sari, D. A. P., Falatehan, F., Irawan, D. S., Sedana, G., & Rahim, R. (2018). Mitigation and Adaptation Analysis of the Climate Change Impact Using Sustainable Livelihood Model. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.5), 108–114. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.5.13963>
- Sari, D. A. P., Hutami, R. D., Azizi, A., & Fairus, S. (2019). Analysis of Water Quality Based On Phytoplankton Abundance And Number of Nutrients. *Agricultural Science*, 3(1), 57–72. <http://agriscience.scientific-work.org/index.php/agriscience/article/view/33>
- Sari, D. A. P., & Kawashima, S. (n.d.). *POVERTY MAPPING AND POVERTY ANALYSIS IN INDONESIA* *POVERTY MAPPING AND POVERTY ANALYSIS IN INDONESIA* Pemetaan dan Analisis Kemiskinan di Indonesia.
- Sari, D. A. P., Madonna, S., & Fitriani, A. (2018). *Environmental Health Evaluation for Jatinegara Apartment from the Perception of Kampung Pulo Displaced People*. 7, 224–228. <https://doi.org/10.1111/jjocs.12132>
- Sari, D. A. P., Madonna, S., Nursetyowati, P., & Wajdi, M. B. N. (2018). *PUBLIC RECEPTION ON THE USE OF RECYCLED ABLUTION WATER*. IX(2), 222–231.
- Sari, D. A. P., Mumtaz, A. T., Irawan, D. S., Nursetyowati, P., & Djamaris, A. (2023). Utilization of black soldier flies to reduce grease waste and support zero waste. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 12(4), 709–722. <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2023.1981992.1611>
- Sari, D. A. P., Mutaqin, P. A. Z., Pawenary, & Majlan, E. H. (2019). Methane capture installation for greenhouse gasses emission reduction in palm oil mill. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 11(7), 459–464. <https://doi.org/10.31227/osf.io/n5x3j>
- Sari, D. A. P., Nikmah, M., & Sasongko, N. A. (2023). Life Cycle Assessment in the Production Process of Crude Palm Oil (CPO) on Palm Oil Plantation and Mills. *International Journal of GEOMATE*, 25(111), 177–184. <https://doi.org/10.21660/2023.111.s8616>
- Sari, D. A. P., Nursetyowati, P., Rahmaniar, I., & Wajdi, M. (2019). *Potential Cultivation of Koi Fish (Cyrprinus Carpio) in Ciliwung River (Segmen Of Rasuna Epicentrum Superblock-Epicentrum River)*. <https://doi.org/10.4108/eahi.18-7-2019.2288539>
- Sari, D. A. P., Rahmah, A., & Sasongko, N. A. (2023). Life Cycle Assessment (LCA) in Palm Oil Plantation and Mill with Impact Categories Global Warming Potential, Acidification, and Eutrophication. *International Journal of Membrane Science and Technology*, 10(2), 797–807. <https://doi.org/10.15379/ijmst.v10i2.1236>
- Sari, D. A. P., Ramadhonah, R. Y., Innaqa, S., Sugiana, A., Irawan, D. E., Ratnadewi, Supriyono, & Harmanto, D. (2018). Obstacle and driving factors of Ciliwung river revitalization and community acceptance of the new land use. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 7(2.14 Special Issue 14), 256–259.
- Sari, D. A. P., Rumambi, F., & Nurmasari, R. (2018). Social Economic Resilience in Facing Land and Forest Fire Disaster (Case Study in South Sumatra Province). *Jurnal Terapan Manajemen Dan Bisnis*, 4(1), 10. <https://doi.org/10.26737/jtmb.v4i1.486>
- Sari, D. A. P., Setioningrum, A., & Harmanto, D. (2023). Simulation of Smoke Dispersion and Temperature Distribution on Kebon Melati Sub-District Fire Using Computational Fluid Dynamics. *International Journal of GEOMATE*, 25(107), 191–203. <https://doi.org/10.21660/2023.107.g12243>
- Sari, D. A. P., Sugiana, A., Ramadhonah, R. Y., Innaqa, S., & Rahim, R. (2018). Kampung Pulo Environmental Planning Observed From Biophysical Aspects As Adaptation of Flood in Jakarta. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.3), 82–87.
- Sari, D. A. P., Taniwiryono, D., Andreina, R., Nursetyowati, P., & Irawan, D. S. (2022). *Pembuatan Pupuk Organik Cair dari Hasil Pengolahan Sampah Organik Rumah Tangga dengan Bantuan Larva Black Soldier Fly (BSF) (Processing of Liquid Organic Fertilizer from Household Organic Waste with the Assistance of Black Soldier Fly (BSF) Larvae)*. 5(1), 102–112. <https://doi.org/10.37637/ab.v5i1.848>



- Sari, D. A. P., Taniwiryono, D., Andreina, R., Nursetyowati, P., Irawan, D. S., Azizi, A., & Putra, P. H. (2022). Utilization of Household Organic Waste As Solid Fertilizer With Maggot Black Soldier Fly (BSF) As A Degradation Agent. *Agricultural Science*, 5(2), 82–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.55173/agricscience.v5i2.69>
- Sari, D. A. P., Taniwiryono, D., Andreina, R., Nursetyowati, P., & Surya Irawan, D. (2021). *Utilization of Maggot Black Soldier Fly (BSF) Cultivation for Fish Feed*. 4031–4035. <https://doi.org/http://ieomsociety.org/proceedings/2021monterrey/726.pdf>
- Sari, D. A. P., Nasython, K., Irawan, D. S., & Fadiilah, D. (2025). Reduction of CH₄ and CO₂ emissions from waste generation through the use of refuse derived fuel technology. *Helyon*, 11(10), e43104.
- Sari, D. A. P., Taniwiryono, D., Pratiwi, N. I., Nursetyowati, P., Azizi, A., Irawan, D. S., Harahap, I. H., & Maskur. (2022). *The Influence of Waste Ratio on Waste Consumption Level, Waste Reduction Index, and Growth of Black Soldier Fly Larvae* (Vol. 1). Atlantis Press International BV. <https://doi.org/10.2991/978-94-6463-088-6>
- Sari, D. A. P., Yana, D., & Azizi, A. (2022). Design Planning of The Black Soldier Fly (BSF) Installation (Case Study: Midang Village, Gunungsari District, West Lombok Regency, West Nusa Tenggara). *The Seybold Report*, 17(12), 2033–2053. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7500895>
- Sari, D.A.P., Azizi A, Nursetyowati P, Irawan DS, Harahap IH, Maskur (2022) Buku best practice berternak black soldier fly (BSF). Deepublish, Yogyakarta.
- Sari, D.A.P., Mumtaz AT, Nurrahmatullah A, Irawan DS, Nursetyowati P (2022) Buku instalasi kandang black soldier fly (BSF) dan Biopond untuk Peternak Pemula. Deepublish, Yogyakarta.
- Sari DAP, Ridhani C (2022) Pemanfaatan BSF dalam Pengelolaan Sampah Organik dan Strategi Pemasaran Produk yang Dihasilkan. Deepublish, Yogyakarta.
- Sari, D.A.P., Nikmah, M., Sasongko, N. A., (2023). Life Cycle Assessment in The Production Process of Crude Palm Oil (CPO) on Palm Oil Plantation and Mills. *International Journal of GEOMATE*, Nov., 2023, Issue 111, pp. 177-184
- Sari, D.A.P., Giriwono, P.E., Azizi, A., Irawan, D.S., Prayogo, M.A Z., Septyarini, A., (2023). Karakteristik Dasar Lemak dan Isolat Protein dari *Black Soldier Fly Larvae (BSFL)*. AE Publishing, Malang.
- Zahro N, Eurika N, Prafitasari AN (2021) Konsumsi Pakan Dan Indeks Pengurangan Sampah Buah Dan Sayur Menggunakan Larva Black Soldier Fly. *Bioma* 6(1):88–101. <https://doi.org/10.32528/bioma.v6i1.5034>.



Generasi emas akan menerima tongkat estafet dari apa yang telah dilakukan generasi sebelumnya.

Dengan potensi yang dimiliki, apa yang telah diupayakan saat ini dapat dikembangkan menjadi lebih baik lagi disesuaikan dengan permasalahan yang akan dihadapi.

