

BAB IV

Kajian Kebijakan Langit Gelap untuk Pembangunan Berkelanjutan

Antonia Rahayu Rosaria Wibowo

A. Observatorium Membuka Mata tentang Polusi Cahaya

Sains dan teknologi merupakan 2 sisi koin yang tidak dapat dipisahkan. Perkembangan sains mendorong peningkatan inovasi dan teknologi, namun teknologi juga memberi kemampuan untuk dapat memahami sains lebih dalam dan lebih detail. Hal tersebut terjadi pada berbagai bidang keilmuan, termasuk bidang keantariksaan. Astronomi memberi pemahaman bagaimana memanfaatkan antariksa untuk kepentingan hidup manusia di Bumi sehingga pada akhirnya manusia dapat mengembangkan terus teknologi satelit.

Perkembangan ilmu astronomi tidak pernah lepas dari peranan observatorium. Dengan teleskop dan instrumen yang tersedia di

A. R. R. Wibowo

Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: arosariawibowo@gmail.com

© 2025 Editor & Penulis

Wibowo A. R. R. (2025). Kajian Kebijakan Langit Gelap untuk Pembangunan Berkelanjutan. Dalam T. Djamaruddin & F. Nuraeni (Ed.), Keantariksaan untuk Masyarakat dan Kemajuan Bangsa: Konsep dan Kebijakan(97–122). Penerbit BRIN.

DOI: 10.55981/brin.1592.c1498, E-ISBN: 978-602-6303-87-5

dalam observatorium, para peneliti dalam melakukan pengamatan langit untuk meningkatkan pemahaman tentang struktur dan evolusi alam semesta, ataupun mengkaji fenomena-fenomena astronomi, seperti lubang hitam, supernova, dan eksoplanet. Observatorium juga digunakan untuk memantau satelit dan objek luar angkasa lainnya yang berperan untuk nagitasi satelit dan pelaksanaan misi luar angkasa. Dengan semua fungsi dan manfaat tersebut, observatorium berkontribusi signifikan bagi perkembangan ilmu pengetahuan sekaligus diplomasi antariksa di berbagai negara.

Untuk memastikan observatorium dapat berfungsi dengan optimal, ada beberapa syarat kondisi lingkungan yang harus dipenuhi, di antaranya kondisi cuaca yang stabil dan minim awan, serta minim getaran, seperti jauh dari jalur kereta api ataupun jalan raya yang padat lalu lintas. Sebuah observatorium juga memerlukan ketinggian yang memadai untuk menghindari gangguan atmosfer dan mendapatkan pandangan yang lebih jelas ke angkasa. Selain itu, lokasi observatorium harus jauh dari polusi cahaya karena polusi cahaya dapat mengganggu pengamatan benda langit. Hal ini telah menjadi persoalan aktual yang banyak dibahas oleh para astronom. Polusi cahaya muncul karena adanya penggunaan pencahayaan yang berlebihan, yang pada umumnya ditujukan untuk penerangan perumahan dan jalan raya, lampu taman, lampu penanda fluorescent, dan lampu papan reklame. Peningkatan polusi cahaya pada umumnya terjadi seiring dengan perkembangan suatu wilayah karena perkembangan demografi dan aktivitasnya. Kasus yang telah mencuat di Indonesia terkait persoalan ini adalah yang terjadi di Observatorium Bosscha, Lembang, Bandung Barat.

Observatorium Bosscha merupakan salah satu observatorium di Asia Tenggara sekaligus observatorium pertama di Indonesia yang didirikan tahun 1923. Pada saat itu, kondisi Lembang sebagai lokasi Bosscha, memiliki kondisi lingkungan yang cukup ideal bagi berdirinya sebuah observatorium *ground-based*. Lembang merupakan daerah perbukitan dengan dominasi guna lahan perkebunan teh dan jauh dari keramaian, sebuah kondisi yang memberi hasil pengamatan

astronomi secara optimal. Selain itu, posisi geografinya yang berada di dekat ekuator, melengkapi konstelasi observatorium di dunia. Hanya sedikit dari observatorium di dunia yang berada di wilayah ekuator.

Perkembangan Kota Bandung sebagai ibukota Provinsi Jawa Barat, telah mendesak daerah pinggiran untuk ‘ikut’ mengalami urbanisasi, termasuk Kawasan Lembang. Pertumbuhan penduduk dan alih fungsi lahan hutan dan perkebunan menjadi lahan untuk aktivitas yang lebih komersial, telah mengubah langit malam Lembang yang gelap menjadi benderang. Peningkatan jumlah cahaya buatan untuk penerangan di malam hari menyebabkan polusi cahaya dan menghasilkan langit yang menghamburkan cahaya di atas kota-kota di sekitar Observatorium Bosscha. Oleh karena itu, LAPAN-BRIN atas usulan para astronom membangun observatorium baru di Indonesia, yaitu Observatorium Nasional Timau, yang diharapkan minim dari polusi cahaya dalam jangka panjang.

Bab ini merupakan hasil kajian mengenai kebutuhan kebijakan langit gelap, yang pada awalnya merupakan sebuah opsi untuk optimalisasi fungsi observatorium. Namun dalam perkembangan selanjutnya, kebutuhan langit gelap merupakan hal yang berpotensi berdampak besar pada berbagai aspek lainnya. Tentunya hal ini menjadi penting untuk mempertimbangkan aksi langit gelap sebagai sebuah kebijakan.

B. Filsafat Teknologi tentang Polusi Cahaya

Konsep polusi cahaya muncul pada awal tahun 1970an. Konsep ini diadopsi secara akademis sejak diterbitkannya makalah akademis berjudul “Light Pollution—Outdoor Lighting is a Growing Threat to Astronomy” pada 1973 (Bjelajac, Đerčan, & Kovačić, 2020; Stone, 2017). Modifikasi tingkat cahaya alami di lingkungan malam yang disebabkan oleh munculnya cahaya buatan disebut sebagai polusi cahaya (Falchi dkk., 2011). Cahaya buatan berasal dari berbagai sumber, seperti hamburan cahaya di langit, penerangan di jalan raya, mobil, penerangan gedung-gedung tinggi, lepas pantai, dan kapal bawah laut (Azman dkk., 2019).

Pada dasarnya, dari sisi sejarah, polusi cahaya dimulai dari penemuan bola lampu dan ketenagalistrikan. Penelitian mengenai ketenagalistrikan telah dilakukan sejak zaman sebelum Masehi, tetapi Benjamin Franklin-lah yang diakui sebagai penemu ketenagalistrikan di dunia modern. Selain Franklin, Thomas Alva Edison juga diakui sebagai penemu lampu. Listrik dan lampu merupakan dua penemuan yang berkaitan dengan polusi cahaya.

Penemuan listrik mengantarkan era baru kemajuan teknologi, untuk meningkatkan efisiensi energi, masa pakai, dan kualitas. Lampu listrik adalah contoh cahaya buatan. Sumber cahaya buatan diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu pijar, neon, dan *Light-Emitting Diode* (LED). Sumber cahaya pijar menghasilkan cahaya dengan memanaskan filamen kawat hingga suhu tinggi. Lampu neon, yang mengandung senyawa kimia yang disebut fosfor, memancarkan cahaya melalui efek fluoresensi. Lampu LED merupakan kemajuan terkini dalam teknologi pencahayaan, berdasarkan mekanisme elektroluminesens pada bahan semikonduktor (Botero-Valencia et al., 2015).

Sejalan dengan pandangan filsafat teknologi, menurut Martin Heidegger (dalam Lovitt, 1977), penemuan listrik dari sejak awal hingga berkembang menjadi berbagai jenis sumber cahaya buatan yang ada pada saat dewasa ini adalah dapat dipahami sebagai proses membuka, mengubah, menyimpan, mendistribusikan, dan mengalihkan. Keseluruhan proses tersebut adalah merupakan proses pengungkapan. Energi listrik diperoleh dari berbagai sumber, antara lain sinar Matahari, angin, reaksi kimia, dan bioenergi. Salah satu contoh pemanfaatannya adalah pembangkit energi listrik dari bahan bakar nabati. Bioenergi merupakan salah satu jenis energi yang berasal dari makhluk hidup, khususnya hewan dan tumbuhan. Interaksi antara tumbuhan hidup dan bakteri tanah dapat menyediakan sumber energi listrik. Pada dasarnya berawal dari fotosintesis yaitu ketika tanaman mengubah energi sinar matahari menjadi energi kimia. Fotosintesis menghasilkan berbagai komponen yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Zat yang dihasilkan ini sebagian dimanfaatkan oleh tanaman dan sebagian sisanya dikeluarkan melalui akar. Zat sisa inilah

yang kemudian diuraikan oleh mikroorganisme di zona perakaran tanaman. Proses penguraian ini melalui serangkaian reaksi biologis yang melepaskan elektron. Dengan menempatkan elektroda di sekitar akar pohon, elektron yang dihasilkan dapat ditangkap dan dialirkan sebagai energi listrik. Energi listrik akan terus dihasilkan tanpa batas waktu selama tanaman masih hidup (Muladi et al., 2021).

Contoh sumber energi listrik yang kedua adalah *Municipal Solid Waste* (MSW) atau limbah padat perkotaan. Ada dua metode untuk menghasilkan energi listrik dari MSW. Pertama, melalui proses biologis, seperti pencernaan anaerobik dan fermentasi. Kedua, melalui proses termokimia, yang meliputi pembakaran, pirolisis, gasifikasi, dan pencairan (Agll et al., 2014). Kedua contoh tersebut menunjukkan bahwa energi listrik adalah energi yang dibutuhkan oleh cahaya buatan, yang muncul melalui proses panjang. Pada dasarnya sumber energinya berasal dari alam. Sumber energi tersebut kemudian dibuka/ diungkap, diubah, disimpan, didistribusikan, dan dialihkan melalui mekanisme tertentu menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan manusia.

Manusia berperan dalam proses ini. Tidak akan ada energi listrik atau cahaya buatan pada era modern ini jika manusia tidak meneliti, mengamati, dan memanfaatkan alam. Hal ini sesuai dengan gagasan Heidegger bahwa inti dari teknologi bukan hanya aktivitas dan kemampuan yang diperlukan untuk menghasilkannya, melainkan segala sesuatu yang mewujudkan teknologi tersebut (Lovitt, 1977). Dalam konteks cahaya buatan, inti dari cahaya buatan bukanlah aktivitas dan kemampuan yang diperlukan untuk memproduksi lampu, melainkan keseluruhan proses yang membuat lampu tersebut menjadi kenyataan, termasuk penyelidikan dan pengamatan terhadap berbagai bahan yang berpotensi menjadi sumber listrik dan prosedur yang diperlukan untuk menghasilkan energi listrik.

Lebih lanjut, menurut Heidegger (Lovitt, 1977), inti dari teknologi adalah pembingkaian. Pembingkaian adalah kumpulan pengaturan yang menempatkan manusia pada posisi untuk mengekspos yang sebenarnya, sebagai cadangan tetap. Konsep ini menunjukkan

bahwa manusia mempunyai hubungan khusus dengan teknologi, dan hubungan tersebut membentuk kerangka acuan atau cara berpikir seseorang. Kerangka atau cara berpikir tersebut mengarahkan orang untuk membuat sesuatu atau mengungkapkan kebenaran (Lovitt, 1977). Dalam kaitannya dengan proses memperoleh energi listrik, cara berpikir tersebut membuat manusia mendang sinar matahari, angin, zat kimia, hewan, tumbuhan, dan benda alam lainnya sebagai sumber energi listrik potensial. Melalui penelitian, pengamatan, dan pemanfaatan, manusia kemudian mampu mengolah potensi tersebut untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Hubungan pembingkaian menunjukkan adanya timbal balik, manusia membingkai teknologi, sekaligus teknologi juga membingkai manusia. Hal ini terjadi karena tidak ada sesuatu yang spesifik bersifat tunggal dalam hubungan antara manusia dan teknologi. Sumber energi listrik, misalnya, tidak terbatas hanya pada sinar matahari, angin, zat kimia, hewan, atau tumbuhan tertentu karena seluruhnya berpotensi sebagai sumber energi listrik. Semuanya bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Hal ini juga terjadi pada manusia. Setiap manusia tidak memiliki kualitas yang membedakan atau unik. Laki-laki dan perempuan, tua dan muda, dari negara manapun, misalnya, bisa menerapkan pendekatan tertentu untuk mengubah benda-benda alam menjadi sumber energi listrik. Interaksi timbal balik ini yang membingkai antara manusia dan teknologi listrik telah mendorong berkembangnya beberapa bentuk sumber cahaya buatan atau lampu yang kini menjadi bagian tak terpisahkan dari kehidupan modern.

Cahaya buatan memberikan banyak manfaat bagi kehidupan manusia, mulai dari aspek keselamatan manusia, rekreasi, hingga aktivitas sosial dan ekonomi. Penerapan cahaya buatan dalam kehidupan modern sangat beragam, seperti penerangan jalan dan lalu lintas untuk keamanan, pencahayaan aksen fasad bangunan untuk meningkatkan keamanan sekaligus estetika, serta pencahayaan internal yang memungkinkan aktivitas malam yang lebih lama dan mendukung sistem kerja bergilir (shift). Selain itu, cahaya buatan

juga dimanfaatkan untuk memperindah pemandangan malam, mendukung ekspresi kreatif, penerangan taman kota dan fasilitas lanskap terkait, lampu depan kendaraan, penerangan papan reklame, serta berbagai kegiatan sosial dan ekonomi lainnya (Katabaro dkk., 2022).

Namun, dibalik manfaat tersebut, cahaya buatan juga menimbulkan sejumlah masalah bagi manusia, hewan, tumbuhan, ekosistem, bahkan perkembangan ilmu astronomi. Dampak negatif yang timbul akibat penggunaan cahaya buatan dikenal sebagai polusi cahaya. Polusi cahaya didefinisikan sebagai perubahan tingkat cahaya alami di lingkungan malam yang disebabkan oleh munculnya cahaya buatan (Falchi dkk., 2011). Ada dua jenis perubahan cahaya alami yang disebabkan oleh cahaya buatan. Pertama, cahaya muncul di tempat, waktu, dan intensitas yang tidak terjadi secara normal. Fenomena ini telah diperkuat dalam persepsi publik melalui citra satelit dan foto Bumi pada malam hari yang diperoleh astronot. Bukti ini menunjukkan meluasnya cahaya buatan pada malam hari, terutama di wilayah urbanisasi dan pusat populasi manusia yang besar. Kedua, cahaya buatan menghasilkan cahaya dengan spektrum yang berbeda dari cahaya alami, seperti sinar Matahari, cahaya Bulan, atau bintang. Spektrum cahaya buatan sangat ditentukan oleh jenis teknologi pencahayaan yang digunakan, mulai dari spektrum sempit, misalnya pada lampu natrium bertekanan rendah hingga spektrum yang lebih luas, contohnya pada lampu dengan debit intensitas tinggi dan teknologi LED (Gaston et al., 2015).

Menurut penelitian, cahaya buatan pada malam hari, termasuk intensitas pencahayaan di dalam ruangan, dan pola pencahayaan individu, semuanya berhubungan dengan peningkatan risiko kanker payudara. Selain itu, paparan cahaya buatan yang terang pada malam hari menurunkan pelepasan melatonin, menunda kemampuan tidur, serta meningkatkan kewaspadaan. Paparan cahaya buatan pada malam hari secara kronis dapat menyebabkan ketidakselarasan sirkadian, yang berdampak buruk pada proses psikologis, kardiovaskular, dan/atau metabolisme. Cahaya buatan pada malam hari juga mengganggu fase sirkadian, yang memburuk karena paparan cahaya

buatan yang terlalu lama di malam hari. Bahkan, jika cahayanya tidak terlalu terang, panjang gelombang cahaya yang lebih pendek akan mengganggu pelepasan melatonin dan menyebabkan perubahan fase sirkadian (Cho, 2015).

Cahaya buatan pada malam hari juga mempengaruhi ekosistem. Menurut penelitian, pencahayaan buatan pada malam hari mempengaruhi waktu kicau burung di daerah beriklim sedang. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kicau burung saat fajar dan saat malam di lokasi dengan pencahayaan buatan mempengaruhi keberhasilan reproduksi. Selain itu, ketika ada pencahayaan buatan pada malam hari, kicauan burung akan dimulai lebih awal pada musim tertentu. Selanjutnya, telah terbukti bahwa cahaya buatan pada malam hari mengubah jadwal pergerakan harian beberapa spesies, seperti migrasi vertikal zooplankton di lingkungan perairan. Proses migrasi ini sensitif terhadap tingkat fluktuasi cahaya. Bahkan, ketika cahaya alami sangat rendah, proses migrasi dipengaruhi oleh cahaya buatan pada malam hari. Terakhir, cahaya buatan pada malam hari juga dapat memengaruhi pola tidur hewan (Gaston dkk., 2017).

Dampak serupa juga ditemukan pada tumbuhan. Bagi tanaman, cahaya buatan pada malam hari dapat mempercepat waktu bertunas di lokasi beriklim sedang. Waktu bertunas ini sebagian besar dipengaruhi oleh panjang hari dan rasio pada waktu senja. Cahaya buatan pada malam hari secara signifikan meningkatkan retensi daun musim gugur pada pepohonan di perkotaan beriklim sedang, terutama di area dekat sumber penerangan buatan, seperti lampu jalan (Gaston dkk., 2017). Bagi ilmu astronomi, perkembangan cahaya buatan pada malam hari, khususnya *skylight*, telah menghambat kesempatan para astronom amatir dan profesional untuk mengamati dan mengukur langit malam beserta benda-benda langit di dalamnya. Perubahan cahaya buatan pada malam hari terus menjadi ancaman bagi sebagian besar operasi observatorium optik (Gaston & Sánchez de Miguel, 2022).

Berbagai dampak negatif cahaya buatan tersebut sejalan dengan pandangan Heidegger tentang teknologi modern. Heidegger berpen-

dapat bahwa teknologi modern dapat menjadi kekuatan destruktif yang berpotensi menghancurkan manusia dan lingkungan (Lovitt, 1977). Hal ini terjadi ketika manusia mengeksplorasi alam hanya untuk memuaskan kepentingannya sendiri tanpa logika. Kasus cahaya buatan dan polusi cahaya menjadi salah satu contohnya. Banyak orang menggunakan lampu secara berlebihan. Misalnya masyarakat menggunakan lampu tanpa pelindung sehingga mengganggu tetangganya yang ingin tidur malam. Contoh lainnya adalah pemilik toko yang memasang papan reklame yang besar dan memesona dengan cahaya yang mencolok agar pelanggan dapat melihatnya. Namun, hal tersebut justru mengganggu penglihatan pengemudi dan dapat meningkatkan risiko kecelakaan. Contoh-contoh tersebut beserta dampak negatif polusi cahaya yang telah dijelaskan di atas membuktikan bahwa pendapat Heidegger tentang teknologi modern ada benarnya.

C. Pengendalian Polusi Cahaya Bagi Indonesia

Dampak negatif polusi cahaya seperti yang sudah banyak dipaparkan pada bagian sebelumnya telah disadari oleh akademisi di Indonesia. Salah satu wujud kesadaran akademi Indonesia terhadap efek negatif polusi cahaya adalah dengan memprediksi polusi cahaya menggunakan model komputasi di sembilan wilayah yang dilindungi (*geopark*) yang ada di Indonesia. Kesembilan *geopark* tersebut meliputi Taman Botani Kuningan, Observatorium Bosscha, Observatorium Nasional Timau, Waduk Sermo, *Geopark* Gunung Batur, *Geopark* Pegunungan Seribu, *Geopark* Gunung Rinjani, *Geopark* Danau Toba, dan *Geopark* Belitung. Langkah untuk memprediksi polusi cahaya menggunakan model komputasi meliputi empat tahap. Keempat tahap tersebut, yaitu pengumpulan data, pemrosesan data, pembuatan model dan prediksi populasi, serta pembuatan model dan prediksi polusi cahaya (Riza dkk., 2023).

Selain memprediksi polusi cahaya di sembilan wilayah yang dilindungi tersebut, akademisi Indonesia juga melakukan pengamatan tingkat polusi cahaya. Pengamatan tingkat polusi cahaya di Indonesia dilakukan pada tahun 2018. Pada saat itu, pengamatan dilakukan

dengan mengobservasi kualitas langit malam di beberapa stasiun LAPAN yang terletak di Agam, Bandung, Pontianak, Sumedang, Garut, Pasuruan, dan Biak. Hasil pengamatan dari tujuh stasiun LAPAN tersebut menunjukkan bahwa Agam, Biak, Pontianak, dan Sumedang memiliki tingkat polusi cahaya moderat. Sementara itu, di kota besar, yakni Bandung dan Pasuruan, tingkat polusi cahayanya tinggi. Garut, sebagai daerah yang jauh dari pusat kota memiliki tingkat polusi cahaya rendah (Admiranto dkk., 2019; Admiranto dkk., 2021).

Setelah mengamati tingkat polusi cahaya di tujuh stasiun LAPAN tersebut, akademisi Indonesia juga membuat sebuah peta yang menunjukkan kecerahan langit di wilayah Bandung Raya. Wilayah Bandung Raya meliputi Bandung, Cimahi, dan Sumedang. Peta kecerahan langit tersebut dibuat dengan memadukan pengukuran di lokasi dan pengamatan menggunakan citra satelit. Dari perpaduan hasil pengukuran tersebut terlihat bahwa di area pusat Kota Bandung tingkat kecerahan langit cukup tinggi akibat banyaknya sumber cahaya buatan yang digunakan sebagai penerangan toko, hotel, dan fasilitas publik lain di malam hari. Sementara itu, di daerah pinggiran, seperti Sumedang dan Haurgombong, langit cenderung lebih gelap karena sumber penerangan buatan tidak sebanyak di pusat kota (Priyatikanto dkk., 2019).

Secara lebih spesifik, pengukuran kecerahan langit dilakukan di sekitar Observatorium Bosscha. Hasil pengukuran selama 400 malam pada tahun 2011–2012 menunjukkan bahwa rata-rata kadar kecerahan langit malam di Observatorium Bosscha sebesar $17,75 \pm 0,86$ mag/arcsec² dan angka tertingginya sebesar $19,14 \pm 0,79$ mag/arcsec². Bandung dan Lembang merupakan wilayah perkotaan yang dekat dengan Observatorium Bosscha dan berkontribusi menyebabkan polusi cahaya di observatorium tersebut (Herdiwijaya, 2019).

Akibat adanya polusi cahaya di sekitar Observatorium Bosscha, muncul kebutuhan untuk mencari wilayah lain untuk lokasi alternatif bagi pembangunan observatorium baru. Salah satu wilayah yang dipandang sesuai untuk observatorium baru adalah wilayah kaki

Gunung Timau, yang memiliki nilai kecerahan langit malam lebih dari 21 mpsas. Wilayah ini dipandang sesuai untuk observatorium karena angka kecerahan langit malam sehingga memungkinkan untuk melakukan pengamatan astronomi dari wilayah ini. Selain itu, belajar dari pengalaman Observatorium Bosscha, ada kemungkinan bahwa wilayah-wilayah di sekitar kaki Gunung Timau akan berpotensi menjadi wilayah dengan sumber polusi cahaya di masa depan. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya proteksi terhadap fasilitas observatorium yang sedang dibangun di Timau. Salah satu upaya proteksi dari polusi cahaya yang bisa dilakukan adalah dengan membuat kawasan taman langit gelap di sekitar wilayah observatorium di Timau (Murti dkk., 2023).

Apabila dilihat melalui kacamata filsafat teknologi, upaya prediksi dan pemantauan polusi cahaya, serta pengukuran tingkat kecerahan langit menunjukkan bahwa para akademisi di Indonesia tidak memberikan teknologi menguasai mereka. Mereka menyadari bahwa listrik dan cahaya buatan sangat bermanfaat dalam kehidupan, khususnya sebagai sumber penerangan di malam hari. Namun, apabila tidak digunakan secara bijak, cahaya buatan justru dapat menyebabkan polusi cahaya yang berdampak negatif untuk manusia, ekosistem, dan perkembangan ilmu astronomi. Oleh karena itu, upaya pemantauan dan perlindungan tingkat polusi cahaya dan kecerahan langit tersebut menunjukkan pola berpikir yang kritis dan reflektif, yaitu tidak sekadar “pasrah” atau “membiarkan saja” terikat oleh teknologi listrik dan cahaya buatan, tetapi berusaha mengelolanya dengan bijaksana.

D. Kebijakan Berorientasi Langit Gelap

Munculnya kebijakan langit gelap ternyata sejalan dengan berbagai penelitian yang menunjukkan keterkaitan langit gelap dengan beberapa aspek, seperti aspek kesehatan, energi, bahkan keanekaragaman hayati. Penelitian menunjukkan bahwa polusi cahaya berdampak signifikan pada manusia, hewan, dan tumbuhan. Bagi manusia, polusi cahaya dapat menyebabkan sakit kepala, kelelahan, ketegangan, penurunan fungsi seksual, peningkatan risiko kanker payudara, dan peningkatan

kecemasan (Rajkhowa, 2014). Penelitian mengenai dampak polusi cahaya terhadap kesehatan manusia telah dilakukan di seluruh dunia. Misalnya, penelitian mengenai polusi cahaya yang menyebabkan obesitas telah dilakukan di Nigeria, Amerika Serikat, Puerto Rico, dan Jepang; penelitian mengenai polusi cahaya penyebab kanker telah dilakukan di Inggris, Spanyol, Kanada, Amerika Serikat, dan Denmark; dan penelitian mengenai polusi cahaya yang menyebabkan gangguan mental telah dilakukan di Korea Selatan, Jepang, dan Amerika Serikat (Cao et al., 2023).

Bagi hewan, polusi cahaya dapat menyebabkan disorientasi pada burung migran, mengganggu perburuan penyu betina untuk bersarang, dan menyulitkan tukik mencari jalan menuju laut (Rajkhowa, 2014). Selain itu, beberapa spesies, termasuk burung hitam, burung penyanyi, tikus, rubah, dan kelelawar tertentu, terdampak polusi cahaya, baik harian maupun musiman (Dominoni, 2017). Bagi tumbuhan, polusi cahaya mengganggu proses adaptasi pepohonan terhadap perubahan musim. Polusi cahaya juga mengganggu kemampuan navigasi ngengat dan serangga nokturnal lainnya yang berperan sebagai penyerbuk. Karena tidak ada penyerbuk pengganti yang tidak terpengaruh oleh cahaya buatan, bunga yang mekar di malam hari dan mengandalkan ngengat untuk penyerbukannya akan berpotensi gagal bereproduksi. Dalam jangka panjang, hal ini dapat mengakibatkan punahnya tumbuhan yang tidak mampu bereproduksi dan mengubah ekologi jangka panjang di suatu wilayah (Rajkhowa, 2014).

Selain dampaknya terhadap manusia, hewan, dan tumbuhan, polusi cahaya juga berdampak pada ilmu astronomi. Meningkatnya populasi manusia dan aktivitas ekonominya ke daerah-daerah terpencil telah meningkatkan penggunaan cahaya buatan. Semakin cerobohnya penggunaan cahaya buatan oleh manusia di kota-kota besar dan kecil di seluruh dunia membuat pengamatan langit menjadi mustahil (Kaushik et al., 2022). Cahaya dari berbagai sumber pencahayaan diarahkan ke langit dan menyebar di udara, menghasilkan cahaya yang tersebar di langit yang disebut *skyglow*. Cahaya ekstra di langit ini mengaburkan sumber-sumber langit redup yang mem-

berikan pengetahuan ilmiah penting tentang awal mula dunia dan kehidupan (International Astronomical Union & Spain, 2021).

Kebutuhan untuk meneliti asal usul alam semesta dan kehidupan mengharuskan adanya akses untuk pengamatan langit gelap. Mengontrol penyebaran lampu intrusif di wilayah tertentu diperlukan untuk memastikan akses ke langit gelap dan desain pencahayaan yang tepat sangat penting untuk mengendalikan penggunaan lampu buatan. Untuk pemanfaatan energi cahaya yang efisien, posisi, ketinggian pemasangan, dan tujuan pencahayaan luar ruangan harus diperhatikan (Elsahragty & Lee Kim, 2015). Selain itu, Asosiasi Langit Gelap Internasional (IDA) telah merilis enam tindakan untuk mengendalikan penggunaan lampu sebagai berikut: 1) alih-alih menggunakan dioda pemancar cahaya (LED) dan lampu neon kompak (CFL), gunakan bohlam berwarna hangat; 2) peredup, sensor gerak, dan pengatur waktu dapat digunakan untuk mengurangi tingkat pencahayaan rata-rata dan menghemat lebih banyak energi; 3) menutupi sumber cahaya untuk mengurangi silau dan penyebaran cahaya ke tempat-tempat yang tidak perlu; 4) beralih ke pencahayaan LED; 5) mematikan pencahayaan interior yang berlebihan; dan 6) menghindari lampu biru di malam hari.

Selain penelitian mengenai dampak polusi cahaya dan cara meminimalisirnya, banyak juga penelitian mengenai polusi cahaya dan keberlanjutan. Empat di antaranya dikutip di sini. Pertama, penelitian bertajuk “The Risk of Light Pollution on Sustainability” membahas tentang pengaruh polusi cahaya terhadap keberlanjutan ekonomi. Ketika terdapat sejumlah besar lampu buatan di lokasi yang tidak perlu, polusi cahaya berdampak pada keberlanjutan ekonomi. Hal ini merupakan pemborosan sumber daya karena penggunaan listrik sangat mahal. Pada tahun 2018, Amerika Serikat sendiri menciptakan 3.600 miliar kilowatt-jam energi untuk konsumsi listrik, senilai USD 362 juta (Faid et al., 2019). Ketika listrik tidak digunakan dengan baik, sejumlah besar uang menjadi sia-sia, sehingga menimbulkan masalah perekonomian negara. Kedua, penelitian bertajuk “Analysis of Light Pollution as a Neglected Issue in Development” membahas

tentang pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk sebagai penyebab terjadinya polusi cahaya (Isnarti, 2020).

Ketiga, penelitian berjudul “Connections of the Light Pollution Issue to the UN Sustainable Development Goals” menganalisis 17 tujuan dan 169 target dari Tujuan Pembangunan Berkelanjutan dari Perserikatan Bangsa Bangsa yang terkait dengan polusi cahaya (Mika & Apró, 2021). Keempat, penelitian berjudul “Reviewing the Role of Outdoor Lighting in Achieving Sustainable Development Goals” melakukan tinjauan literatur komprehensif atas 227 dokumen yang mengontekstualisasikan pencahayaan luar ruangan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan, menunjukkan potensinya untuk menyelesaikan beberapa permasalahan yang ada terkait dengan target tujuan pembangunan berkelanjutan (Tavares et al., 2021).

Mengingat luasnya dampak negatif dari cahaya buatan terhadap manusia, hewan, tumbuhan, dan ilmu astronomi, maka sangat penting untuk mengurangi dampak tersebut. Metode mitigasi polusi cahaya bersifat ekonomis dan mudah diterapkan. Cara-cara tersebut adalah sebagai berikut: mengarahkan cahaya ke tempat yang diperlukan; mematikan lampu apabila tidak diperlukan; meredupkan cahaya dan memilih iluminan, spektrum warna, dan filter yang paling sesuai; meneduhkan cahaya untuk melindungi lingkungan; dan belajar dari alam serta menciptakan kawasan dengan kegelapan yang dijaga (Schroer & Hölker, 2017). Area dengan kegelapan yang dijaga disebut taman langit gelap.

Menurut Asosiasi Langit Gelap Internasional atau International Dark-Sky Association (IDA), taman langit gelap didefinisikan sebagai sebuah kawasan yang memiliki kualitas malam berbintang dan lingkungan malam hari yang luar biasa atau istimewa dan sengaja dilestarikan untuk kepentingan ilmu pengetahuan, lingkungan, pendidikan, warisan budaya, dan/atau kesenangan umum. Lebih lanjut, IDA menyebutkan enam tujuan taman langit gelap, sebagai berikut:

- 1) untuk mengidentifikasi, memperbaiki, dan memelihara lahan publik, seperti taman nasional, serta lahan pribadi yang dapat diakses publik, dengan komitmen dan keberhasilan luar biasa

- dalam melaksanakan tujuan pelestarian langit gelap dan langit malam yang cerah;
- 2) untuk mempromosikan ekowisata dan astrowisata;
 - 3) untuk mendorong pelestarian lingkungan alami malam hari, kenikmatan publik atas langit malam dan warisannya, serta lokasi yang kondusif bagi astronomi profesional dan amatir;
 - 4) untuk meyakinkan para pegiat konservasi bahwa langit gelap adalah sumber daya berharga yang memerlukan perlindungan penuh kewaspadaan;
 - 5) untuk memberikan pengakuan nasional dan internasional terhadap taman langit gelap; dan
 - 6) mendesak taman nasional dan lembaga publik lain yang sebanding untuk menjadi pelopor dalam isu lingkungan terkait langit gelap dengan menjelaskan manfaat langit gelap kepada masyarakat umum dan komunitas sekitar dan dengan menunjukkan potensi taman langit gelap jika pengelolaannya tepat (International Dark Sky Association, 2018).

Definisi dan tujuan taman langit gelap tersebut dengan jelas menggambarkan bahwa taman langit gelap merupakan salah satu upaya untuk mengurangi dampak negatif polusi cahaya. Menurut Heidegger, strategi ini merupakan upaya untuk menggunakan teknologi secara bertanggung jawab dan alami, tanpa dikuasai olehnya (Lovitt, 1977). Polusi cahaya berkurang ketika cahaya buatan digunakan secara bertanggung jawab dan alami. Polusi cahaya dapat dikurangi dengan memasang pelindung pada lampu atau mematikan lampu bila tidak diperlukan. Memasang pelindung pada lampu dan mematikan lampu saat tidak diperlukan merupakan contoh upaya memanfaatkan teknologi yaitu cahaya buatan dengan bijak dalam situasi ini.

Mempertahankan wilayah tertentu sebagai taman langit gelap lebih sulit daripada memasang pelindung pada lampu atau mematikan lampu. Hal ini lebih sulit dilakukan karena tidak dapat dilakukan sendiri, tetapi memerlukan kerja sama antara pemerintah dan masyarakat. Untuk mewujudkan kerja sama tersebut, setiap orang

harus menyadari dampak negatif polusi cahaya. Pengetahuan bersama ini menunjukkan bahwa, baik pemerintah maupun masyarakat tidak dikuasai oleh teknologi, khususnya cahaya buatan.

Menurut penelitian Papalambrou et al. (2021), memelihara tempat-tempat tertentu dan mengembangkannya menjadi taman langit gelap dapat membantu melindungi ekosistem dan ilmu astronomi. Hal ini juga dapat membantu menjaga kelestarian ekologi karena terdapat banyak spesies hewan dan tumbuhan yang harus dipertahankan di kawasan yang ditetapkan sebagai taman langit gelap. Kawasan tersebut biasanya merupakan habitat asli suatu spesies yang harus dilindungi (Papalambrou, dkk., 2021).

Selain itu, taman langit gelap dapat menunjang kajian astronomi karena konsep astrowisata berkembang dari pelestarian tempat-tempat tertentu seperti taman langit gelap. Astrowisata adalah jenis pariwisata berkelanjutan baru yang berpusat pada pengamatan langit yang gelap, bebas polusi cahaya, dan semua pengalaman yang tumbuh di sekitarnya. Astrowisata dapat mendukung ilmu astronomi karena didasarkan pada pengamatan langit malam. Menurut penelitian Escario-Sierra et al. (2022), taman langit gelap mempunyai konsekuensi sosio-ekonomi yang positif karena berpeluang bagi pembangunan sosio-ekonomi endogen dan berkelanjutan di wilayah yang kurang terlayani.

Selain itu, taman langit gelap yang merupakan destinasi astrowisata juga memiliki kontribusi positif terhadap keberlanjutan destinasi pariwisata daerah. Seperti disebutkan sebelumnya, polusi cahaya telah meningkat antara lain akibat meningkatnya populasi, kepadatan penduduk, dan penggunaan pencahayaan buatan yang salah, termasuk perlengkapan, seperti bohlam, intensitas, dan suhu warna yang tidak tepat. Kota-kota besar dan kecil di seluruh dunia kehilangan kemampuan mereka untuk melihat bintang-bintang sebagai cahaya antroposentris karena penerangan jalan raya, iklan, lampu mobil, dan penerangan bisnis dan tempat tinggal, yang melebihi cahaya langit malam. Karena ketersediaan langit malam semakin jarang, sedangkan kebutuhan akan layanan wisata langit gelap semakin meningkat. Taman langit gelap adalah sebuah metode untuk mendapatkan kembali

kapasitas yang hilang untuk menikmati bintang-bintang (Blundell et al., 2020).

Data di atas menunjukkan bahwa pentingnya taman langit gelap untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. Menciptakan taman langit gelap dapat berkontribusi terhadap kelestarian ekosistem dan ilmu astronomi. Taman langit gelap, sebagai tujuan astrowisata, juga membantu memastikan keberlangsungan atraksi wisata daerah dalam jangka panjang. Hal ini juga menambah keberlangsungan sosial ekonomi daerah yang dipilih. Mengingat bahwa taman langit gelap dapat membantu kelestarian manusia, hewan, tumbuhan, dan ilmu astronomi. Oleh karena itu, jelas bahwa taman langit gelap diperlukan di dunia saat ini. Taman langit gelap merupakan salah satu cara untuk mengurangi dan meminimalkan polusi cahaya, juga dapat berkontribusi terhadap keberlanjutan kehidupan modern.

Menciptakan taman langit gelap adalah contoh dari pola “biarkan saja,” seperti yang dikatakan Heidegger (Lovitt, 1977). Hal ini terjadi ketika masyarakat modern tidak menolak teknologi, tetapi menggunakan secara bijak dan spontan tanpa terbebani oleh teknologi. Menciptakan taman langit gelap sesuai dengan pola “biarkan saja” yang disampaikan oleh Heidegger karena beberapa faktor harus dipertimbangkan saat merancang taman langit gelap. Beberapa faktor tersebut, misalnya mengukur kecerahan, pencahayaan, dan spektrum pencahayaan publik di area tersebut. Pendekatan ini juga mencakup identifikasi jenis luminer dan sumber cahaya, evaluasi kecukupannya, identifikasi kesalahan, dan pembuatan rekomendasi modifikasi (Papalambrou et al., 2021).

Perancangan taman langit gelap ini memerlukan penggunaan teknologi. Hal ini menunjukkan bahwa membangun taman langit gelap tidak berarti menolak teknologi, tetapi menerapkannya secara bijaksana. Penerangan memang diperlukan pada kawasan taman langit gelap, tetapi harus diprediksi dengan baik untuk menghindari polusi cahaya yang membahayakan manusia, hewan, tumbuhan, dan ilmu astronomi. Penciptaan taman langit gelap menunjukkan bahwa

manusia tidak didominasi oleh teknologi. Mereka dapat menonaktifkan teknologi tersebut ketika tidak lagi diperlukan.

E. Taman Langit Gelap bagi Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia

Berdasarkan pembahasan pada bagian sebelumnya, dapat dilihat bahwa taman langit gelap dapat mendukung pembangunan berkelanjutan. Hal tersebut dapat terjadi karena keberadaan taman langit gelap dapat membantu terjadinya keberlangsungan ekosistem, ilmu astronomi, dan pariwisata di daerah tempat sebuah taman langit gelap berada. Kondisi ini juga berlaku di Indonesia.

Saat ini, Indonesia telah memiliki sebuah observatorium nasional di lereng Gunung Timau, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Motivasi awal pembangunan observatorium di Kabupaten Kupang adalah makin tingginya polusi cahaya di observatorium Bosscha di Lembang, Jawa Barat yang mengakibatkan sulitnya melakukan pengamatan astronomi di Bosscha. Oleh karena itu, diperlukan observatorium lain untuk mengamati astronomi, mengantikan peran observatorium Bosscha (Mumpuni et al., 2018).

Selain untuk mengantikan peran observatorium Bosscha, kawasan sekitar Observatorium Nasional Timau juga telah direncanakan untuk menjadi kawasan taman langit gelap nasional yang mengikuti standar Asosiasi Langit Gelap Internasional (IDA). Pembangunan kawasan taman langit gelap di sekitar wilayah Observatorium Nasional Timau juga direkomendasikan oleh Murti et al. (2023). Namun, Murti et al. (2023) juga mengingatkan perlunya memperhatikan kawasan-kawasan di sekitar observatorium yang dapat berpotensi menjadi sumber polusi cahaya. Rencana ini penting untuk diteruskan karena dapat mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia dalam tiga aspek, sebagai berikut.

Pertama, adanya kawasan taman langit gelap di sekitar Observatorium Nasional Timau dapat mendukung keberlangsungan ekosistem hayati di sekitar wilayah tersebut. Observatorium Nasional Timau

berada di kawasan hutan lindung di lereng Gunung Timau dan merupakan habitat asli fauna khas Indonesia, seperti kuskus, rusa timor, dan babi hutan (Mumpuni et al., 2018). Oleh karena itu, sebagai bagian dari hutan lindung dengan fauna khas yang mendiaminya, kawasan Observatorium Nasional Timau perlu dijaga kelestariannya. Salah satu cara untuk menjaga kelestarian atau keberlangsungan ekosistem hayati adalah dengan membangun taman langit gelap. Taman langit gelap dapat mendukung keberlanjutan ekosistem di wilayah Observatorium Nasional Timau sebab keberadaan taman langit gelap memerlukan pengaturan cahaya yang tepat agar tidak menimbulkan polusi cahaya. Pencegahan polusi cahaya berdampak positif bagi ekosistem hayati di wilayah tersebut.

Kedua, adanya kawasan taman langit gelap di sekitar Observatorium Nasional Timau dapat menjaga keberlangsungan ilmu astronomi, baik ilmu astronomi modern maupun ilmu astronomi tradisional. Keberlangsungan ilmu astronomi modern sudah jelas akan terwujud dengan adanya fasilitas pengamatan seperti teleskop di observatorium nasional. Sementara itu, ilmu astronomi tradisional juga dapat dilestarikan dengan keberadaan taman langit gelap. Salah satu aplikasi ilmu astronomi tradisional dalam kehidupan penduduk lokal di wilayah Gunung Timau adalah untuk menentukan waktu awal musim tanam. Penduduk lokal di sekitar Gunung Timau mengetahui waktu untuk mulai bercocok tanam dengan melihat terbitnya empat bintang yang dalam bahasa daerah disebut *Kuaha'in*. Keempat bintang ini diduga adalah bintang Capella, Betelgeuse, Sirius, dan Procyon (Mumpuni et al., 2018).

Keberadaan taman langit gelap dengan pengendalian pencahayaan dapat mengurangi polusi cahaya. Minimnya polusi cahaya di langit Timau memungkinkan penduduk lokal di wilayah sekitar Gunung Timau untuk melihat bintang di atas kepala mereka. Dengan melihat gugusan bintang tersebut, mereka dapat kembali menemukan warisan leluhur mengenai nama-nama gugusan bintang dan kegunaannya dalam kehidupan sehari-hari mereka. Selain itu, mereka juga dapat belajar mengenai astronomi modern melalui fasilitas pengamatan

yang ada di observatorium nasional. Selanjutnya, dengan adanya taman langit gelap dengan kendali cahaya yang ketat dan polusi cahaya yang minim, pengetahuan dan pengamatan bintang yang terkait dengan ilmu astronomi tradisional dapat diteruskan kepada anak cucu penduduk lokal tersebut.

Ketiga, adanya kawasan taman langit gelap di sekitar Observatorium Nasional Timau dapat menumbuhkan potensi ekonomi lewat aktivitas astrowisata. Aktivitas astrowisata memerlukan kondisi langit malam yang bebas dari polusi cahaya agar pengamatan benda-benda langit dapat dilakukan dengan maksimal. Studi dari Mardita dan Perwitasari (2023) menyebutkan bahwa untuk mengembangkan astrowisata di Kabupaten Kupang, tidak bisa hanya mengandalkan keberadaan observatorium nasional sebagai daya tarik utama, tetapi perlu adanya integrasi kegiatan astrowisata dan non-astrowisata. Kegiatan non-astrowisata dilakukan dengan memanfaatkan sumber daya yang ada di wilayah tersebut. Penggabungan kegiatan astrowisata dengan non-astrowisata menghasilkan kegiatan yang menggabungkan pengamatan langit siang dan malam dengan atraksi budaya dan fisik. Studi Mardita dan Perwitasari (2023) tersebut juga merekomendasikan agar pengembangan jalur astrowisata diintegrasikan dengan taman langit gelap untuk melindungi dan menjaga kelestarian langit malam di Observatorium Nasional Timau.

Dari penjelasan tersebut, keberadaan taman langit gelap di Indonesia, khususnya di wilayah Gunung Timau, Kabupaten Kupang sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan. Manfaat pertama taman langit gelap untuk mendukung keberlanjutan ekosistem hayati sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan nomor 15, ekosistem daratan. Manfaat kedua taman langit gelap untuk mendukung keberlangsungan ilmu astronomi sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan nomor 4, pendidikan berkualitas. Manfaat ketiga taman langit gelap untuk menumbuhkan ekonomi masyarakat lewat aktivitas astrowisata sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan nomor 8, pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi.

F. Penutup

Cahaya buatan telah terbukti manfaatnya dalam menunjang kehidupan manusia. Namun, penggunaannya yang berlebihan juga menimbulkan masalah yang disebut polusi cahaya. Polusi cahaya membahayakan manusia, hewan, tumbuhan, dan ilmu astronomi. Bahaya polusi cahaya telah terungkap dalam banyak laporan penelitian. Beberapa penelitian tersebut memberikan rekomendasi untuk mengurangi polusi cahaya dan dampak negatifnya. Salah satu cara untuk mengurangi polusi cahaya adalah dengan membangun taman langit gelap.

Taman langit gelap memiliki banyak sekali manfaat untuk menunjang keberlangsungan kehidupan manusia, ekosistem, dan ilmu astronomi. Selain itu, taman langit gelap sebagai destinasi astrowisata dapat memberikan manfaat sosial ekonomi bagi sebuah wilayah. Mengingat berbagai dampak positif taman langit gelap, penting untuk menciptakan taman langit gelap guna mengurangi polusi cahaya. Mengurangi polusi cahaya dapat membantu mempertahankan kehidupan manusia, ekosistem, dan ilmu astronomi.

Mengikuti pandangan filosofis Martin Heidegger tentang teknologi, mendedikasikan suatu kawasan sebagai taman langit gelap menunjukkan bahwa manusia tidak dikendalikan atau termakan oleh teknologi modern yaitu cahaya buatan. Pertimbangan dan pengukuran mendetail yang diperlukan untuk membangun taman langit gelap menunjukkan kearifan manusia dalam memanfaatkan teknologi modern.

Dalam konteks Indonesia, taman langit gelap yang direncanakan akan dibangun di sekitar wilayah Observatorium Nasional Timau memiliki tiga manfaat. Ketiga manfaat tersebut yaitu taman langit gelap dapat membantu menjaga keberlanjutan ekosistem hayati, taman langit gelap dapat membantu menjaga keberlanjutan ilmu astronomi modern dan tradisional, serta taman langit gelap dapat menumbuhkan ekonomi daerah melalui aktivitas astrowisata. Ketiga manfaat tersebut sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan nomor 15, 4, dan

8. Oleh karena itu, rencana awal untuk mengembangkan kawasan taman langit gelap di sekitar Observatorium Nasional Timau penting untuk dilanjutkan.

Daftar Pustaka

- Admiranto, A. G., Priyatikanto, R., Maryam, S., Ellyyani, & Suryana, N. (2019). Preliminary report of light pollution in Indonesia based on sky quality Observation. *IOP Conference Series: Journal of Physics*, 1231, Article 012017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1231/1/012017>
- Admiranto, A. G., Priyatikanto, R., Maryam, S., Ellyyani, Kurniawati, S., & Saputro, M. F. E. (2021). Light pollution observations in Indonesia. In L. Hufnagel (Ed.), *Light Pollution, Urbanization and Ecology*. IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.96897>
- Agll, A. A. A., Hamad, Y. M., Hamad, T. A., & Sheffield, J. W. (2014). Study of energy recovery and power generation from alternative energy source. *Case Studies in Thermal Engineering*, 4, 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2014.06.005>
- Azman, M. I., Dalimin, M. N., Mohamed, M., & Bakar, M. A. (2019). A brief overview on light pollution. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 269(1), Article 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/269/1/012014>
- Bjelajac, D., Đerčan, B., & Kovačić, S. (2020). Dark skies and dark screens as a precondition for astronomy tourism and general well-being. *Information Technology & Tourism*, 23(1), 19–43. <https://doi.org/10.1007/s40558-020-00189-9>
- Blundell, E., Schaffer, V., & Moyle, B. D. (2020). Dark sky tourism and the sustainability of regional tourism destinations. *Tourism Recreation Research*, 45(4), 549–556. <https://doi.org/10.1080/02508281.2020.1782084>
- Cao, M., Xu, T., & Yin, D. (2023). Understanding light pollution: Recent advances on its health threats and regulations. *Journal of Environmental Sciences*, 127, 589–602. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.06.020>
- Cho, Y. M., Ryu, S. H., Lee, B. R., Kim, K. H., Lee, E., & Choi, J. (2015). Effects of artificial light at night on human health: A literature review of observational and experimental studies applied to exposure assessment. *Chronobiology International*, 32(9), 1294–1310. <http://dx.doi.org/10.3109/07420528.2015.1073158>

- Denney, A. S., & Tewksbury, R. (2012). How to write a literature review. *Journal of Criminal Justice Education*, 24(2), 218–234. <http://dx.doi.org/10.1080/10511253.2012.730617>
- Dominoni, D. M. (2017). Ecological effects of light pollution: How can we improve our understanding using light loggers on individual animals? In E. Murgui, & B. Hedblom (Eds.), *Ecology and Conservation of Birds in Urban Environments* (251–270). Springer International Publishing AG 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43314-1_13
- Elsahragty, M., & Lee Kim, J. (2015). Assessment and strategies to reduce light pollution using geographic information systems. *Procedia Engineering*, 118, 479–488. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.458>
- Escario-Sierra, F., Álvarez-Alonso, C., Moseñe-Fierro, J. A., & Sanagustín-Fons, V. (2022). Sustainable tourism, social and institutional innovation—the paradox of dark sky in astrotourism. *Sustainability*, 14(11), Article 6419. <https://doi.org/10.3390/su14116419>
- Faid, M. S., Shariff, N. N. M., & Hamidi, Z. S. (2019). The Risk of Light Pollution on Sustainability. *ASM Science Journal*, 12(2), 134–142.
- Falchi, F., Cinzano, P., Elvidge, C. D., Keith, D. M., & Haim, A. (2011). Limiting the impact of light pollution on human health, environment, and stellar visibility. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2714–2722. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.029>
- Gaston, K. J., Visser, M. E., & Hölker, F. (2015). The biological impacts of artificial light at night: The research challenge. *Philosophical Transactions R. Soc. B* 370(1667), 20140133. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0133>
- Gaston, K. J., Davies, T. W., Nedelec, S. L., & Holt, L. A. (2017). Impacts of artificial light at night on biological timings. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48(1), 49–68. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022745>
- Gaston K. J., & Sánchez de Miguel, A. (2022). Environmental impacts of artificial light at night. *Annual Review of Environment and Resources*, 47(1), 373–398. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112420-014438>
- Herdwijaya, D. (2019). Light pollution at Bosscha Observatory, Indonesia. *IOP Conference Series: Journal of Physics*, 1153(1), 012133. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1153/1/012133>
- International Astronomical Union & Spain (2021). *Dark and quiet skies for science and society: Report and recommendations*. United Nations

- Office for Outer Space Affairs (UNOOSA). <https://www.iau.org/static/publications/dqskies-book-29-12-20.pdf>
- International Dark Sky Association. (2018). International Dark Sky Park Program Guidelines. Diakses pada 5 August 2024, dari <https://www.darksky.org/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2018/12/IDSP-Guidelines-2018.pdf>
- International Dark Sky Association. (2018). Light pollution solutions. Diakses pada 5 August 2024, dari <https://www.darksky.org/light-pollution/light-pollution-solutions/>
- Isnarti, R. (2020). Analysis of light pollution as a neglected issue in development. *Jurnal Power in International Relation*, 4(2), 115–126. <http://dx.doi.org/10.22303/pir.4.2.2020.115-126>
- Katabaro, J. M., Yan, Y., Hu, T., Yu, Q., & Cheng, X. (2022). A Review of the effects of artificial light at night in urban areas on the ecosystem level and the remedial measure. *Frontiers in Public Health*, 10, Article 969945. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.969945>
- Kaushik, K., Nair, S., & Ahamad, A. (2022). Studying light pollution as an emerging environmental concern in India. *Journal of Urban Management*, 11(3), 392–405. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2022.05.012>
- Lovitt, W. (1977). *Martin Heidegger: The question concerning technology and other essays*. Garland Publishing, Inc.
- Mardita, M., & Perwitasari, I. (2023). Village tourism as part of strategy of the development of astrotourism route design in NTT: A case study of Sonan Hamlet. *AIP Conference Proceeding*, 2941(1), 030037. <https://doi.org/10.1063/5.0184859>
- Mika, J. & Apró, A. (2021). Connections of the light pollution issue to the UN Sustainable Development Goals. *ACTA Universitatis, Sectio Biologiae*, Tom. XLVI, 183–192. <https://doi.org/10.33041/ActaUnivEszterhazyBiol.2021.46.183>
- Muladi, M., Jalil, M. F. A., Arifin, R. F., Aripriharta, A., Zaini, I. A. E., Sendari, S., Hidayat, S., & Utomo, W. M. (2021). An experimental study of generating electricity from urban tropical forest plants. *Journal of Physics, Conference Series* 1825(1), 012099. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1825/1/012099>
- Mumpuni, E. S., Admiranto, A. G., Priyatikanto, R., Puspitarini, L., Nurzaman, M. Z., Mumtahana, F., Yatini, C. Y., & Tanesib, J. L. (2018). *Selangkah pandang Observatorium Nasional Timau*. Kepustakaan Populer Gramedia.

- Murti, M.D., Saputra, M. B., Yatini, C. Y., Admiranto, A. G., Mumpuni, E. S., & Tanesib, J. L. (2023). Mapping the sky brightness in the neighbouring areas of Timau National Observatory. *AIP Conference Proceeding*, 2941(1), 040012). <https://doi.org/10.1063/5.0181460>
- Papalambrou, A., Doulos, L. T., Drakatos, G., Xanthakis, M., Minetos, P., & Magoula, A. E. (2021). Planning an international dark-sky place in Aenos National Park, the first steps. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 899(1), 012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/899/1/012039>
- Priyatikanto, R., Admiranto, A. G., Putri, G. P., Elyyani, Maryam, S., & Suryana, N. (2019). Map of sky brightness over Greater Bandung and the prospect of astro-tourism. *Indonesian Journal of Geography*, 51(2), 190–198. <https://doi.org/10.22146/ijg.43410>
- Rajkhowa, R. (2014). Light pollution and impact of light pollution. *International Journal of Science and Research*, 3(10), 861–867.
- Riza, L. S., Putra, Z. A. Y., Firdaus, M. F. Y., Trihutama, F. Z., Izzuddin, A., Utama, J. A., Samah, K. A. F. A., Herdiwijaya, D., NQZ, R. A., & Mumpuni, E.S. (2023). A spatiotemporal prediction model for light pollution in conservation areas using remote sensing datasets. *Decision Analytics Journal*, 9, 100334. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100334>
- Schroer, S., & Höller, F. (2017). Light pollution reduction: Methods to reduce the environmental impact of artificial light at night. In R. Karlicek, et al. (Eds.), *Handbook of Advanced Lighting Technology* (991–1010). Springer International Publishing Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-00176-0_43
- Stone, T. (2017). Light pollution: A case study in framing an environmental problem. *Ethics, Policy & Environment*, 20(3), 279–293. <https://doi.org/10.1080/21550085.2017.1374010>
- Tavares, P., Ingi, D., Araújo, L., Pinho, P., & Bhusal, P. (2021). Reviewing the role of outdoor lighting in achieving sustainable development goals. *Sustainability*, 13(22), 12657. <https://doi.org/10.3390/su132212657>
- Vargas Bonilla, J. F., Botero Valencia, J. S., & López Giraldo, F. E. (2015). Classification of artificial light sources and estimation of Color Rendering Index using RGB sensors, K Nearest Neighbor and Radial Basis Function. *International Journal on Smart Sensing Intelligent Systems*, 8(3), 1505–1524. <http://dx.doi.org/10.21307/ijssis-2017-817>.

Wibowo, A. R. R. (2022). Peran teknologi satelit komunikasi dan satelit navigasi dalam mendukung ketahanan sosial pada masa pandemi covid-19 di Indonesia. Dalam A. Rahadiati (Ed.), *Prosiding Seminar Nasional Geomatika VI: Inovasi Geospasial dalam Pengurangan Risiko Bencana* (1075–1084). Badan Informasi Geospasial.