

Bab VIII

Transboundary Haze Pollution

Atep Radiana dan Amalia Nurlatifah

Kebakaran hutan dan lahan terjadi ketika hutan atau vegetasi terbakar tanpa kendali atau perencanaan mengakibatkan kerusakan lingkungan dan emisi polusi udara yang merusak, termasuk dampaknya terhadap penurunan kualitas udara. Penyebabnya bermacam-macam, termasuk pembakaran oleh manusia dan keke-
ringan ekstrem, yang berdampak pada kerugian properti, penurunan kesehatan masyarakat, kerugian ekonomi, dan ketidakstabilan sosial (Brown & Davis 1973).

Dispersi adalah fenomena yang melibatkan penyebaran suatu zat atau energi dan memiliki dampak signifikan. Salah satu kasus yang fenomenal adalah pencemaran udara akibat kebakaran hutan, yang tidak hanya menurunkan kualitas udara secara umum, tetapi juga berdampak langsung terhadap kesehatan

A. Radiana & A. Nurlatifah

Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: atep001@brin.go.id

© 2026 Editor & Penulis

Radiana, A. & Nurlatifah, A. (2026). *Transboundary Haze Pollution*. Dalam Sumaryati & L. S. Supriatin (Ed.), *Fenomena Polusi Udara dan Dampaknya* (149–177). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1375.c1812

E-ISBN: 978-634-7933-34-8

manusia, salah satunya gangguan pernapasan. Selain itu, dispersi ini menyebabkan penurunan jarak pandang (visibilitas), yakni ketidakmampuan melihat objek yang jelas terlihat dengan mata telanjang, bahkan hingga menghentikan kegiatan ekonomi dan aktivitas sehari-hari akibat kondisi udara yang berbahaya. Lebih serius lagi, *transboundary pollution*—polutan yang menyebar jauh melintasi batas negara—turut mencemari wilayah negara tetangga.

Transboundary haze pollution atau polusi kabut asap lintas batas adalah kabut asap yang disebabkan oleh asap dari kebakaran lahan di satu negara dan menyebar melintasi batas negara sehingga memengaruhi negara lain (Laing & Weger, 2020; Mubariak & Sundstrom, 2016). Asap ini mengandung partikel berbahaya, seperti PM_{2.5}, yang menyebabkan masalah kesehatan pernapasan serius, iritasi mata, dan bahkan kematian (Rhee & Baik, 2017).

A. Penyebab Dan Dampak *Transboundary Haze Pollution*

Transboundary air pollution disebabkan oleh beberapa faktor, baik berkaitan dengan aktivitas manusia maupun faktor alam. Faktor utama penyebab adanya *transboundary haze pollution* adalah kebakaran hutan dan lahan. Faktor-faktor lain yang dapat menyebabkan *transboundary air pollution*, termasuk *haze pollution* di antaranya adalah praktik pembakaran terbuka, kawasan industri dan pembangkit listrik, badai pasir, dan letusan gunung api.

Kebakaran hutan dan lahan adalah penyebab utama dari *transboundary haze pollution*. Kebakaran ini sering kali disebabkan oleh aktivitas manusia seperti pembukaan lahan untuk pertanian, perkebunan, atau pembangunan infrastruktur. Selain itu, faktor alam seperti kekeringan juga dapat memicu kebakaran hutan dan lahan (Laing & Weger, 2020; Mubariak & Sundstrom, 2016). Perubahan iklim dapat meningkatkan risiko kebakaran hutan dan lahan. Hal ini dapat memperburuk masalah *transboundary haze pollution* di beberapa wilayah (Mubariak & Sundstrom, 2016).

Praktik pembakaran terbuka pun dapat menyebabkan *haze pollution*, terutama untuk membersihkan lahan pertanian atau lahan gambut yang terdegradasi juga dapat menyebabkan emisi asap yang besar. Pembakaran ini sering kali tidak terkontrol dan dapat menghasilkan jumlah asap yang signifikan (Rhee & Baik, 2017).

Faktor-faktor lain yang berkontribusi terhadap kejadian kebakaran hutan dan lahan yang luas dan berpotensi menyebabkan *transboundary haze pollution* di antaranya adalah lemahnya penegakan hukum terhadap pembakaran lahan ilegal, kurangnya kesadaran masyarakat tentang bahaya polusi kabut asap, serta keterbatasan sumber daya untuk pencegahan dan penanggulangan kebakaran lahan.

Emisi dari industri dan pembangkit listrik dapat menjadi kontributor penting terhadap *transboundary air pollution*. Pembakaran bahan bakar fosil dan proses industri lainnya menghasilkan emisi polutan yang menyumbang pencemaran udara (Laing & Weger, 2020). Selain itu, kendaraan bermotor juga merupakan sumber emisi utama yang dapat menyebabkan polusi udara.

Emisi dari kendaraan, terutama kendaraan diesel, meliputi partikel halus dan gas polutan berkontribusi terhadap *transboundary air pollution*. Faktor terakhir adalah letusan gunung api. Letusan gunung api, meskipun tidak seumum kebakaran hutan dan lahan, dapat menyebabkan *transboundary haze pollution* dari pelepasan material vulkanik ke atmosfer. Material vulkanik tersebut yang dapat menyebar ke wilayah yang jauh.

Transboundary haze pollution atau polusi kabut asap lintas batas memiliki dampak yang luas dan merugikan, tidak hanya bagi kesehatan manusia, tetapi juga bagi perekonomian dan lingkungan hidup. Kabut asap (*haze*) dapat menyebabkan gangguan pernapasan, seperti iritasi tenggorokan, batuk, dan kesulitan bernapas. Partikel-partikel berbahaya seperti $PM_{2.5}$ yang terdapat dalam asap dapat masuk ke saluran pernapasan dan menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), asma,

bronkitis, dan penyakit paru obstruktif kronis (PPOK). Kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, dan penderita penyakit pernapasan sebelumnya akan lebih terdampak (Rhee & Baik, 2017). Selain itu, paparan asap dalam jangka panjang juga dapat meningkatkan risiko penyakit jantung koroner dan kanker paru-paru (AATP, 2002).

Polusi kabut asap lintas batas juga dapat mengganggu destinasi wisata yang mengakibatkan tempat wisata menjadi tidak menarik yang otomatis mengurangi jumlah wisatawan. Sementara itu, aktivitas bisnis juga terganggu oleh polusi udara yang parah. Gangguan tersebut berupa berkurangnya produktivitas pekerja dan terhambatnya kegiatan transportasi.

Sektor pertanian juga mengalami kerugian akibat kerusakan tanaman yang disebabkan oleh asap. Kebakaran hutan dan lahan dapat merusak habitat hewan dan tumbuhan, mengancam keanekaragaman hayati, dan mengganggu siklus air dan nutrisi dalam ekosistem. Selain itu, kebakaran hutan dan lahan yang menjadi sumber asap juga dapat mempercepat perubahan iklim karena pelepasan gas rumah kaca (Sok et al., 2024).

Transboundary haze pollution dapat memicu ketegangan politik dan diplomatik antara negara-negara tetangga Indonesia yang terkena dampak, seperti Singapura, Malaysia, dan Brunei Darussalam. Hal ini dapat terjadi karena negara-negara tersebut merasa dirugikan oleh kabut asap yang berasal dari Indonesia. Namun demikian, *transboundary haze pollution* telah mendorong negara-negara ASEAN untuk meningkatkan kerja sama regional dalam bidang pencegahan dan penanggulangan kebakaran hutan dan lahan. Hal ini telah menghasilkan berbagai perjanjian dan inisiatif regional, seperti *ASEAN Agreement on Transboundary Haze Pollution* (AATHP).

Dengan memahami kejadian *transboundary haze pollution*, langkah-langkah pengendalian untuk mengurangi risiko dapat berupa pengelolaan hutan yang berkelanjutan oleh pemerintah dan masyarakat guna mencegah kebakaran hutan dan lahan. Sementara itu, lembaga terkait bertugas mengawasi praktik pembakaran terbuka

guna mengurangi polusi udara lintas batas, termasuk industri yang mengembangkan teknologi pengendalian polusi. Industri semacam itu bertujuan agar emisi gas buang dapat ditekan sementara pemerintah mendorong transportasi berkelanjutan sebagai upaya mengurangi dampak pencemaran udara.

Di tingkat regional, negara-negara ASEAN melakukan mitigasi perubahan iklim demi mencapai lingkungan bebas polusi. Hal itu sejalan dengan tujuan bersama untuk menanggulangi *transboundary haze pollution* secara efektif.

Pemerintah Indonesia menerapkan berbagai program untuk mendukung keberlanjutan lingkungan. Salah satunya adalah program Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) yang bertujuan memastikan kawasan hutan tetap produktif tanpa merusak ekosistem. Selain itu, terdapat pula program Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan (DALKARHUTLA) yang menyediakan data dan informasi terkini untuk pencegahan kebakaran hutan. Melalui program DALKARHUTLA, pemerintah mengawasi praktik pembakaran terbuka.

Pemerintah juga mempromosikan transportasi berkelanjutan dengan berbagai kebijakan dan insentif untuk mengurangi dampak lingkungan. Sementara itu, ada pula program mitigasi perubahan iklim di Indonesia. Program tersebut berkomitmen menjaga keseimbangan antara pembangunan dan kelestarian lingkungan untuk menurunkan emisi gas rumah kaca dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan dengan memastikan tingkat serapan karbon lebih tinggi daripada tingkat emisi pada tahun 2030 (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan [KLHK], 2022). Program ini merupakan bagian dari komitmen Indonesia dalam mengurangi dampak perubahan iklim global dan mendukung target penurunan emisi nasional.

B. Kebakaran Hutan dan Lahan di Indonesia

Beberapa kejadian kebakaran hutan dan lahan di Indonesia telah menyebabkan kejadian *transboundary haze pollution*. Negara tetangga, terutama Malaysia dan Singapura, sering mengeluhkan

kejadian ini. Kebakaran hutan dan lahan di Indonesia terjadi hampir setiap musim kemarau, tetapi tidak setiap tahun kejadian kebakaran hutan menghasilkan fenomena *transboundary haze pollution*. Berikut ini beberapa kejadian kebakaran hutan yang telah menyebabkan *transboundary haze pollution* ke negara tetangga.

1. Kebakaran Hutan pada Tahun 1982–1983

Sejarah mencatat bahwa pada tahun 1982, kebakaran hutan terbesar terjadi di Kalimantan Timur. Beberapa pihak menyatakan bahwa kebakaran ini terjadi akibat kelalaian dalam pengelolaan hutan dan adanya fenomena iklim El Nino. Fenomena iklim El Nino menyebabkan kekeringan parah antara Juni 1982 dan Mei 1983.

Salah satu pemicunya adalah adanya aktivitas ladang berpindah yang dilakukan masyarakat dengan membakar lahan baru untuk wilayah perkebunan tanaman semusim, seperti padi, ubi, dan jagung. Selain itu, aktivitas pembalakan liar yang menghasilkan akumulasi limbah pembalakan juga turut menjadi penyebab munculnya titik kebakaran hutan.

Akumulasi limbah ini kemudian banyak ditumbuhi oleh lapisan vegetasi yang lebih padat dan mudah terbakar dibandingkan lapisan penutup tanah yang tidak begitu rapat. Kebakaran yang terjadi pada tahun ini telah menghanguskan lahan seluas 3,2 juta ha di wilayah Kalimantan Timur, dengan 2,7 juta ha di antaranya merupakan hutan hujan tropis. Di luar kerugian ekonominya, kabut asap dari kebakaran hutan pada tahun tersebut juga menghambat aktivitas transportasi, baik jalur darat maupun udara, di negara-negara tetangga seperti Malaysia dan Singapura (Tempo.co, 2023).

2. Kebakaran Hutan pada Tahun 1997–1998

Setelah kebakaran hutan yang melanda pada tahun 1982–1983, kebakaran hutan besar terjadi kembali pada tahun 1997–1998 yang menghanguskan lebih dari 10 juta ha lahan di Indonesia. Kebakaran hutan pada tahun ini juga termasuk yang terparah di dunia. Kerugian ekonomi yang tercatat akibat bencana ini mencapai 10 miliar dolar.

Sama seperti peristiwa kebakaran hutan pada tahun 1982–1983, kabut asap dirasakan hingga ke negara-negara tetangga di Asia Tenggara. Sebagai contoh, pada kurun waktu 1997–1998, tepatnya pada bulan Agustus hingga Oktober, Singapura dan Malaysia terselimuti kabut asap akibat adanya angin yang membawa asap ke arah barat dan utara dari langit Indonesia.

Kabut asap yang menyelimuti langit ini membuat *Air Pollution Index* (API) mencapai level yang berbahaya (hingga 849). Fenomena El Nino pada era ini menjadi salah satu penyebab titik kebakaran terjadi yang kemudian tersulut oleh adanya tindakan lalai dari beberapa oknum yang tidak bertanggung jawab dalam membuka lahan.

Hasil citra satelit kelapa sawit memperlihatkan tidak terkendalinya kebakaran sehingga mencapai areal hutan di sekitarnya, termasuk rawa gambut dan berbagai lahan pertanian. Luasan area yang terbakar menyebabkan hujan tidak mampu memadamkan api. Bahkan, negara Indonesia mendapatkan bantuan dari negara lain seperti pesawat pemadam dan sumber daya manusia dari berbagai negara.

Pemerintah pusat dan daerah melakukan berbagai antisipasi pencegahan berupa pelarangan melakukan aktivitas industri perkebunan. Hal itu bertujuan untuk menghentikan pembalakan liar sekaligus menurunkan jumlah titik-titik kebakaran (Instruksi Presiden Nomor 8 Tahun 2015).

3. Kebakaran Hutan pada Tahun 2006

Berbeda dengan peristiwa kebakaran hutan pada tahun-tahun sebelumnya yang diperparah oleh fenomena El Nino, peristiwa kebakaran hutan pada tahun 2006 terekam cukup rendah dari pengaruh fenomena El Nino. Faktanya, aktivitas pembakaran lahan yang tidak terkendali pada tahun 2006 tersebut disebabkan oleh pembukaan lahan untuk keperluan pertanian.

Lebih dari 3 juta ha lahan telah terbakar dan memicu terjadinya polusi udara yang levelnya berhasil terekam melalui instrumen

NASA yang disebut *Measurements of Pollution in the Troposphere* (MOPITT). Instrumen ini berhasil melacak level karbon monoksida di atmosfer yang menjadi salah satu indikator utama adanya polusi udara. Selain gas karbon monoksida, gas karbon dioksida juga menjadi salah satu gas yang banyak diproduksi akibat kebakaran hutan dan lahan.

Kebakaran hutan di Indonesia turut menempatkan negara ini sebagai salah satu penyumbang gas rumah kaca terbesar ketiga di dunia, dengan emisi karbon dioksida yang diperkirakan mencapai sekitar 2 miliar ton akibat karhutla (Tempo.co, 2023). Tingginya emisi gas rumah kaca ini dikhawatirkan berdampak pada perubahan iklim dalam jangka panjang.

4. Kebakaran Hutan pada Tahun 2015

Lebih dari 2,6 juta ha lahan di Indonesia telah terbakar sepanjang tahun 2015. Kebakaran melanda tidak hanya di wilayah Sumatra dan Kalimantan saja, tetapi juga di 29 provinsi lainnya, kecuali DKI Jakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta, dan Kepulauan Riau.

Kalimantan Tengah menjadi area terparah, yaitu area dengan titik kebakaran hutan terbanyak dibandingkan area-area lainnya. Faktor aktivitas manusia tetap menjadi penyebab utama kebakaran. Hal ini terlihat dari mayoritas titik kebakaran yang bermula dari areal Hutan Tanaman Industri, sementara kondisi perkebunan yang kering di musim kemarau semakin memudahkan api untuk menghanguskan segalanya. Fenomena El Nino yang menurunkan intensitas curah hujan juga semakin memperparah bencana kebakaran hutan yang terjadi.

Hangusnya lahan akibat dilalap api menyebabkan hilangnya habitat orang utan dan beberapa spesies yang terancam punah lainnya. Kerugian yang berhubungan dengan lingkungan dan ekosistem ini mencapai 295 juta dolar, sedangkan kerugian ekonomi yang ditimbulkan akibat kebakaran ini mencapai 16 miliar dolar. Tidak hanya itu, seperti yang telah terjadi sebelum-sebelumnya,

emisi gas karbon dioksida di atmosfer juga meningkat sebanyak lebih dari 15,95 juta ton per harinya.

Sebuah studi yang dilakukan oleh ilmuwan dari Belanda, Inggris, dan Indonesia menyatakan bahwa sebanyak 97% dari total gas karbon dioksida yang dilepaskan ke atmosfer pada 2015 berasal dari hasil kebakaran hutan dan lahan di Indonesia. Hasil riset juga menunjukkan bahwa emisi karbon dioksida pada tahun ini jauh lebih besar dibandingkan pada tahun 1997 (Huijnen et al., 2016).

5. Kebakaran Hutan pada Tahun 2019

Kebakaran hutan yang melanda pada 2019 menyebabkan hangusnya lebih dari 850 ribu ha lahan. Data dari *Global Forest Watch* menunjukkan bahwa sebanyak 42% dari total area yang terbakar merupakan lahan gambut (Haniy et al., 2019).

Kebakaran yang terjadi di lahan gambut biasanya sulit untuk dipadamkan karena material organik yang berada di dalam gambut menyebabkan api menjadi lebih besar dan menghasilkan banyak kabut asap. Terbakarnya lahan gambut ini juga menimbulkan problematika iklim jangka panjang, karena satu hektar lahan gambut yang terbakar setara dengan pelepasan 55 metrik ton karbon dioksida per tahun. Kalimantan Tengah menjadi salah satu area yang paling banyak mengalami kebakaran hutan, mengingat area ini didominasi oleh lahan gambut.

Aktivitas pembukaan lahan dengan membakar lahan untuk kebutuhan perkebunan, terutama kelapa sawit, tetap merajalela pada tahun ini sehingga tidak mampu menahan terjadinya kebakaran hutan di Indonesia. Perubahan indeks vegetasi wilayah Kalimantan Tengah pada tahun 2019 terlihat lebih signifikan dibandingkan pada tahun-tahun sebelumnya. Hal ini karena pada tahun 2019, Provinsi Kalimantan Tengah merupakan provinsi dengan area kebakaran terluas di Indonesia.

Mayoritas area yang terbakar, sebanyak 70%-nya berasal dari lahan gambut yang telah terdegradasi. Akibatnya, 708 juta ton gas rumah kaca yang didominasi oleh karbon dioksida dirilis ke atmosfer. Banyaknya kandungan gas rumah kaca di atmosfer menjadi

salah satu pemicu terjadinya pemanasan global yang berakhir pada peristiwa perubahan iklim. Perubahan iklim ini nantinya tidak hanya akan memengaruhi siklus cuaca di bumi, tetapi juga dapat mengubah ekosistem yang menjadi habitat berbagai spesies hewan dan tanaman yang mulai langka.

Dari pemaparan kasus kebakaran hutan terbesar yang pernah terjadi di Indonesia, dapat terlihat bahwa mayoritas kebakaran hutan di negara ini disebabkan oleh faktor antropogenik atau adanya campur tangan manusia. Namun, tidak dapat dipungkiri bahwa fenomena El Nino juga turut memperparah kondisi kebakaran hutan yang terjadi. Selain itu, kondisi tanah yang didominasi oleh lahan gambut juga menyebabkan hutan dan lahan menjadi lebih rentan terkena kebakaran di berbagai wilayah di Indonesia. Adanya kebijakan yang bijaksana mengenai pengelolaan hutan dan lahan gambut dipandang dapat membantu mengatasi masalah kebakaran hutan yang sering terjadi di negara ini ((Haniy et al., 2019).

C. Metode Pembuktian Kejadian *Transboundary Haze*

Kasus *transboundary pollution* sering menjadi masalah dalam hubungan antarnegara. Suatu negara menuduh negara tetangganya mengirimkan polutan udara, sementara negara yang dituduh tidak mengakui hal tersebut. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode untuk membuktikan ada atau tidaknya kejadian *transboundary pollution*.

Membuktikan kejadian *transboundary*, seperti kabut asap yang melintasi batas negara, memerlukan kombinasi metode yang akurat dan terverifikasi. Metode yang umum digunakan adalah model, satelit, dan LIDAR.

1. Metode Berbasis Model

Model simulasi atmosfer seperti WRF-Chem (*Weather Research and Forecasting-Chemistry*) digunakan untuk memprediksi pergerakan kabut asap dan konsentrasi polutannya. Model ini mempertimbang-

kan faktor meteorologi seperti angin, suhu, dan kelembapan, serta emisi polutan dari sumber-sumbernya (Chakraborty et al., 2015).

WRF-Chem merupakan model atmosfer canggih yang dikembangkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) Amerika Serikat. Model ini dirancang untuk mensimulasikan berbagai proses atmosfer, termasuk pergerakan udara, emisi polutan, transformasi kimia, dan deposisi polutan.

Model inversi menggunakan data pengamatan kualitas udara untuk memperkirakan emisi polutan dari sumbernya. Model ini membantu mengidentifikasi lokasi dan intensitas kebakaran hutan dan lahan yang berkontribusi terhadap kabut asap *transboundary*.

Dalam dunia penelusuran sumber pencemaran udara, model inversi memegang peranan penting. Berbeda dengan model atmosfer seperti WRF-Chem yang memprediksi pergerakan polutan, model inversi bekerja dengan “kebalikannya”. Model ini menganalisis data konsentrasi polutan yang terukur di udara untuk mencari tahu sumber emisinya.

Selain model simulasi atmosfer dan model inversi, model lain yang dapat digunakan adalah model trayektori. Dalam dunia meteorologi dan ilmu lingkungan, model trayektori berperan penting dalam melacak pergerakan polutan, debu, gas, dan partikel lain di atmosfer. Model ini bekerja dengan prinsip bagaimana partikel berpindah dari sumbernya ke tempat lain. Hal ini berguna untuk berbagai keperluan, seperti mempelajari penyebaran polusi udara, mengelola dampak bencana, dan meneliti transportasi zat di atmosfer. Salah satu contoh model trayektori ini, misalnya adalah HYSPLIT (Stein et al., 2015).

2. Metode Berbasis Satelit dan LIDAR

Di era modern, sensor multi-spektrum seperti MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) dan VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) seperti mata dari langit yang membantu manusia memantau bumi dari berbagai aspek. Sensor ini menghasilkan gambar dengan resolusi spasial tinggi dan menangkap berbagai

panjang gelombang cahaya. Dengan kemampuan seperti itu, sensor dapat mendeteksi asap, api, dan perubahan tutupan lahan dengan tingkat presisi yang luar biasa.

Sensor ini mampu mendeteksi asap dan api dengan menganalisis sinyal cahaya yang dipantulkan dari permukaan bumi. Asap dan api memiliki karakteristik spektral yang berbeda dari vegetasi dan permukaan lainnya, sehingga sensor dapat mengidentifikasi dan memetakan lokasi asap dan api.

Data satelit dari sensor multi-spektrum digunakan untuk memetakan lokasi dan luas kebakaran hutan dan lahan. Informasi ini sangat penting untuk membantu otoritas terkait dalam mengupayakan pemadaman api, manajemen darurat, dan menganalisis risiko kebakaran di masa depan. Sensor ini dapat melacak pergerakan kabut asap dengan menganalisis gambar satelit yang diambil secara berkala. Informasi ini penting untuk memprediksi dampak kabut asap terhadap kualitas udara di berbagai wilayah dan membantu masyarakat dalam mengambil tindakan pencegahan. Sensor multi-spektrum juga digunakan untuk memantau perubahan tutupan lahan, seperti deforestasi dan penggurunan. Informasi ini diperlukan untuk memahami dampak manusia terhadap lingkungan dan untuk mendukung upaya pelestarian alam.

Berdasarkan penjelasan di atas, sensor multi-spektrum seperti MODIS dan VIIRS memberikan informasi tentang lokasi dan luas kabut asap. Lain halnya dengan sensor lidar seperti CALIPSO (*Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations*). Sensor jenis ini merupakan teropong laser yang menembus kabut asap dan memberikan informasi vertikal tentang profilnya, seperti melihat ke dalam lapisan asap. Dengan demikian, sensor lidar seperti CALIPSO memberikan informasi tambahan berupa profil vertikal, yang tidak dapat diperoleh dari sensor multi-spektrum

Sensor lidar memancarkan sinar laser ke atmosfer dan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk kembali setelah terpantul dari partikel kabut asap. Data ini memungkinkan sensor untuk membuat profil vertikal kabut asap, termasuk ketinggian, ketebalan, dan konsentrasi polutan di berbagai lapisan atmosfer.

Data lidar dari CALIPSO juga digunakan untuk memvalidasi model atmosfer seperti WRF-Chem yang dibahas sebelumnya. Dengan membandingkan data simulasi model dengan data pengukuran lidar, para ilmuwan dapat meningkatkan akurasi model dan mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang proses atmosfer yang terkait dengan kabut asap.

Informasi vertikal tentang profil kabut asap dari lidar membantu para ilmuwan untuk memahami dampak kabut asap pada kualitas udara dengan lebih detail. Data ini dapat digunakan untuk mempelajari bagaimana kabut asap memengaruhi kesehatan manusia, visibilitas, dan iklim regional. Data lidar juga dapat digunakan untuk mempelajari bagaimana kabut asap memengaruhi sistem pernapasan manusia. Dengan mengetahui konsentrasi polutan di berbagai ketinggian, para ilmuwan dapat memahami bagaimana kabut asap terhirup dan berdampak pada kesehatan.

Informasi profil vertikal kabut asap dari lidar dapat digunakan untuk memprediksi kualitas udara di berbagai ketinggian. Hal ini membantu masyarakat untuk mengetahui tingkat paparan polutan di tempat mereka tinggal dan mengambil langkah-langkah pencegahan yang diperlukan. Data lidar digunakan untuk mempelajari bagaimana kabut asap bergerak dan bercampur di atmosfer. Informasi ini dibutuhkan untuk memahami bagaimana kabut asap dapat berpindah ke wilayah lain dan memengaruhi kualitas udara di sana.

3. Kombinasi Metode

Penggunaan kombinasi metode berbasis model dan satelit memberikan gambaran yang lebih lengkap dan akurat tentang kejadian *transboundary haze*. Model atmosfer membantu memprediksi pergerakan dan konsentrasi kabut asap, sedangkan data satelit memberikan informasi spasial dan temporal yang detail tentang lokasi, luas, dan intensitas kebakaran hutan dan lahan, serta pergerakan kabut asap.

D. Upaya Penanggulangan *Transboundary Haze Pollution*

1. Negara yang Terlibat dalam Penanggulangan *Transboundary Haze Pollution*

Transboundary haze pollution merupakan masalah lingkungan serius di kawasan Asia Tenggara dan sekitarnya. Masalah ini terjadi akibat kebakaran hutan dan lahan yang meluas, yang dipicu oleh aktivitas manusia seperti pembukaan lahan untuk pertanian, perkebunan, dan aktivitas industri. Selain itu, faktor alam seperti kekeringan ekstrem memperburuk kondisi ini.

Sumber utama asap di Indonesia berasal dari Pulau Sumatra dan Kalimantan, terutama saat musim kemarau. Asap dari wilayah ini kemudian terbawa angin dan menyebar ke negara-negara tetangga sebagai berikut.

- a. Singapura: Negara pulau ini terletak di selatan Kepulauan Riau, Indonesia, dan sering menerima asap dari kebakaran lahan di Sumatra dan Kalimantan.
- b. Malaysia: Semenanjung Malaysia, terutama bagian barat, juga sering terpapar kabut asap lintas batas dari Sumatra dan Kalimantan.
- c. Brunei Darussalam: Negara kecil ini terletak di Pulau Kalimantan dan sering terkena dampak kabut asap dari kebakaran lahan di Indonesia.
- d. Thailand: Bagian selatan Thailand, terutama wilayah perbatasan dengan Malaysia, juga dapat terpapar kabut asap lintas batas.

Konektivitas geografis dan penyebaran polusi udara menjadi faktor penting dalam pemahaman dan penanggulangan *transboundary haze pollution*. Kawasan Asia Tenggara, yang terdiri atas negara-negara yang saling berhubungan secara geografis oleh daratan dan lautan, menghadapi tantangan serius terkait penyebaran kabut asap dan polusi udara. Dikelilingi Samudra Hindia di barat dan Samudra Pasifik di timur, serta ditutupi oleh pegunungan dan

hutan lebat, kawasan ini memiliki topografi yang beragam yang memengaruhi pergerakan udara dan distribusi polutan. Polusi udara antarnegara tidak mengenal batas-batas politik, dan angin menjadi salah satu faktor utama dalam penyebarannya.

Polusi udara dari kebakaran hutan dan lahan, serta aktivitas industri dan transportasi, dapat dengan mudah menyebar melalui pola angin regional, seperti angin muson. Lebih lanjut, topografi kawasan, seperti pegunungan dan lembah, juga memengaruhi pergerakan polusi udara, dengan kecenderungan polutan untuk terkonsentrasi di lembah dan terperangkap di antara pegunungan. Selain itu, kelembapan udara juga memainkan peran penting dalam penyebaran polusi udara. Kelembapan yang tinggi dapat membantu asap dan partikel polusi bertahan di atmosfer dan menyebar lebih jauh, serta meningkatkan dampaknya pada kualitas udara.

Dalam konteks ini, pemahaman tentang konektivitas geografis dan faktor-faktor penyebaran polusi udara menjadi penting dalam pengembangan strategi penanggulangan polusi udara lintas batas. Dengan kerja sama regional dan implementasi kebijakan yang efektif, diharapkan dapat menekan penyebaran polusi udara serta mengurangi dampak negatifnya pada kesehatan manusia, lingkungan, dan ekonomi di kawasan Asia Tenggara dan sekitarnya.

Dampak polusi kabut asap lintas batas tidak hanya dirasakan oleh negara-negara yang paling terpapar, tetapi juga dirasakan oleh negara-negara di kawasan Asia Timur, bahkan global. Asap yang mengandung polutan berbahaya dapat terbawa angin hingga ke negara-negara lain menyebabkan masalah kesehatan dan lingkungan.

2. Upaya Indonesia dalam Penanggulangan *Transboundary Haze Pollution*

Dalam mitigasi dan penanggulangan *transboundary haze pollution*, sebagai negara yang menjadi sumber polutan, Indonesia telah melakukan beberapa upaya. Langkah besar yang diambil Indonesia pada intinya adalah menekan terjadinya kebakaran hutan dan lahan dalam skala besar serta meminimalisasi dampak *haze* pada masyarakat, yang meliputi pencegahan, penanggulangan, dan program strategis.

a. Kebijakan Pemerintah Indonesia sebagai Upaya Pencegahan

Upaya yang telah dilakukan untuk mencegah kebakaran hutan di antaranya berdasarkan Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2014:

- 1) memantapkan kelembagaan dengan membentuk Sub-Direktorat Kebakaran Hutan dan Lembaga nonstruktural berupa Pusat Pengendalian Kebakaran Hutan Nasional (Pusdalkarhutnas), Pusat Pengendalian Kebakaran Hutan Daerah (Pusdalkarhutda), Satuan Pelaksana (Satlak), dan brigade-brigade pemadam kebakaran hutan di setiap Hak Pengusahaan Hutan (HPH) dan Hutan Tanaman Industri (HTI);
- 2) melengkapi perangkat lunak berupa pedoman dan petunjuk teknis pencegahan, serta penanggulangan kebakaran hutan;
- 3) melengkapi perangkat keras berupa peralatan pencegahan dan pemadam kebakaran hutan;
- 4) melakukan pelatihan pengendalian kebakaran hutan bagi aparat pemerintah, tenaga Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dan perusahaan kehutanan serta masyarakat sekitar hutan;
- 5) melakukan kampanye dan penyuluhan melalui berbagai Apel Siaga pengendalian kebakaran hutan;
- 6) memberikan pembekalan kepada pengusaha (HPH, HTI, Perkebunan, dan transmigrasi), Kepala Wilayah (Kanwil) Kementerian Kehutanan dan jajaran pemda oleh Menteri Kehutanan dan Menteri Negara Lingkungan Hidup; dan
- 7) selalu mensyaratkan pembukaan hutan tanpa bakar dalam setiap persetujuan pelepasan kawasan hutan bagi pembangunan nonkehutanan.

b. Kebijakan Pemerintah Indonesia sebagai Upaya Penanggulangan

Di samping melakukan pencegahan, pemerintah juga melakukan penanggulangan ketika kebakaran hutan dan lahan sudah tidak terelakkan lagi, melalui berbagai kegiatan, antara lain sesuai Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2014:

- 1) memberdayakan posko-posko kebakaran hutan di semua tingkat, serta melakukan pembinaan tentang hal-hal yang harus dilakukan selama siaga I dan II;
- 2) memobilisasi semua sumber daya (manusia, peralatan, dan dana) di semua tingkat, baik di jajaran Kementerian Kehutanan dan instansi lainnya, maupun di perusahaan-perusahaan;
- 3) meningkatkan koordinasi dengan instansi terkait di tingkat pusat melalui Pusdalkarhutnas dan di tingkat daerah melalui Pusdalkarhutda Daerah Tingkat I dan Satlak kebakaran hutan dan lahan; dan
- 4) meminta bantuan luar negeri untuk memadamkan kebakaran meliputi pasukan BOMBA dari Malaysia untuk kebakaran di Riau, Jambi, Sumsel, dan Kalbar; bantuan pesawat AT 130 dari Australia dan Hercules dari USA untuk kebakaran di Lampung; bantuan masker, obat-obatan dan kebutuhan lainnya dari negara-negara ASEAN.

c. Program Strategis Nasional Pemerintah Indonesia untuk Mengantisipasi *Transboundary Haze Pollution*

Transboundary haze pollution di Asia Tenggara merupakan masalah serius yang membutuhkan solusi komprehensif dan berkelanjutan. Upaya penanggulangan *transboundary haze pollution* telah dilakukan dengan beberapa program strategis sebagai berikut.

- 1) Kebijakan Pencegahan Kebakaran Hutan dan Lahan (PKHL): Kebijakan ini bertujuan untuk mencegah dan menanggulangi kebakaran hutan dan lahan dengan berbagai strategi, seperti penegakan hukum, patroli hutan, dan edukasi masyarakat (Mubariak & Sundstrom, 2016).
- 2) Rencana Aksi Nasional Udara Bersih (RAN-UB): Rencana ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas udara di Indonesia dengan berbagai program, seperti pengurangan emisi dari sektor industri dan transportasi, dan peningkatan pemantauan kualitas udara (Mubariak & Sundstrom, 2016).

- 3) Program Mangrove: Program ini bertujuan untuk merehabilitasi hutan bakau yang terbakar dan meningkatkan ketahanan kawasan pesisir terhadap kebakaran hutan dan lahan (Mubariak & Sundstrom, 2016).
 - 4) Program Pencegahan Kebakaran Dini: Program ini menggunakan teknologi untuk memantau titik api dan memprediksi potensi kebakaran hutan dan lahan (Mubariak & Sundstrom, 2016).
3. Kerja Sama dalam Penanggulangan *Transboundary Haze Pollution*

a. Kerja Sama Perjanjian Bersama di Wilayah ASEAN

Kejadian *transboundary haze pollution* sudah terjadi berulang kali, terutama saat musim kemarau yang bertepatan dengan fenomena El Nino. Beberapa negara tetangga di kawasan Asia Tenggara telah melakukan berbagai upaya untuk mengurangi dampak dan bahkan mengambil langkah hukum jika menjadi korban *transboundary pollution* dari negara tetangganya. Tentu hal tersebut berlaku umum, tidak terbatas hanya pada kasus kebakaran hutan dan lahan di Indonesia.

Beberapa upaya telah dilakukan Singapura dalam menghadapi kejadian *transboundary pollution* dalam Laing dan Weger (2020), sebagai berikut.

- 1) *Transboundary Haze Pollution Control Act*: Undang-undang ini memberikan kewenangan kepada pemerintah Singapura untuk mengambil tindakan terhadap negara-negara tetangga yang menyebabkan *transboundary pollution*.
- 2) *The National Environment Agency (NEA) Haze Plan*: Rencana ini bertujuan untuk melindungi kesehatan masyarakat dan mengurangi dampak kabut asap *transboundary* di Singapura.
- 3) *The Regional Haze Action Plan (RHAP)*: Rencana ini bertujuan untuk meningkatkan kerja sama regional dalam pencegahan dan penanggulangan *transboundary haze*.

- 4) *The Haze Alert System*: Sistem ini memberikan informasi kepada masyarakat Singapura tentang tingkat polusi udara dan langkah-langkah yang harus diambil untuk melindungi diri dari kabut asap.

Selain upaya masing-masing dalam negara, kerja sama regional di wilayah ASEAN, khususnya negara-negara yang berpotensi terkena dampak *transboundary haze pollution* telah melakukan aksi atau program bersama, seperti berikut ini.

- 1) *The Southeast Asian Haze Coordination Centre (SEAHCC)*: Pusat koordinasi ini berfungsi untuk memfasilitasi pertukaran informasi dan kerja sama antarnegara ASEAN dalam mengatasi *transboundary haze pollution* (SEAHCC, 2024).
- 2) *The ASEAN Haze Free Zone*: Program ini bertujuan untuk mewujudkan kawasan ASEAN yang bebas *transboundary haze pollution* pada tahun 2020 (ASEAN, 2024).

Selain program tersebut, hal penting dalam penanggulangan bersama *transboundary haze pollution* adalah perjanjian yang mengikat beberapa negara di wilayah ASEAN, yaitu *ASEAN Agreement on Transboundary Haze Pollution (AATHP)*. AATHP merupakan suatu perjanjian mutlak sebagai jawaban jalan keluar untuk mengatasi asap yang berulang kali terjadi setiap tahunnya, yang telah menimbulkan kerugian besar bagi negara-negara yang terimbas oleh asap tersebut. Pembentukan AATHP ini diharapkan mampu untuk mengatasi masalah kebakaran hutan dan lahan yang sering terjadi di Indonesia sehingga tidak akan ada lagi pencemaran kabut asap hingga lintas batas wilayah negara (Starke, 2012).

Namun, dengan belum diratifikasinya perjanjian ini oleh Indonesia, AATHP ini dianggap belum efektif. Persetujuan ASEAN ini memiliki banyak bagian-bagian terpenting yang berpengaruh bagi Indonesia. Pada bab pertama dalam perjanjian ini dijelaskan ketentuan umum yang berlaku, seperti penggunaan istilah, tujuan, prinsip-prinsip, dan kewajiban.

ASEAN Agreement on Transboundary Haze Pollution (AATHP) dapat dikategorikan sebagai instrumen hukum internasional yang bersifat *soft law*. Karakteristik ini menyebabkan AATHP memiliki hambatan inheren untuk dapat diimplementasikan secara efektif, karena perjanjian tersebut hanya mengikat negara yang telah meratifikasinya dan tidak menyediakan sanksi hukum yang bersifat mengikat bagi negara yang tidak mematuhi. Hal ini tampak jelas dengan tidak adanya konsekuensi hukum apa pun bagi Indonesia atas keterlambatannya meratifikasi AATHP hingga tahun 2014. Akibatnya, hingga tahun 2016, Indonesia masih belum memiliki peraturan perundang-undangan khusus yang mengatur upaya penanggulangan pencemaran asap lintas batas. Pengaturan yang ada hanya bersifat tidak langsung, yakni terkait pengelolaan hutan dan lahan yang tersebar di beberapa peraturan perundang-undangan, berikut:

- 1) Undang-Undang Nomor 41 tahun 1999 tentang Kehutanan, sebagaimana diubah dengan Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2004;
- 2) Undang-Undang Nomor 18 tahun 2004 tentang Perkebunan;
- 3) Undang-Undang Nomor 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH);
- 4) Undang-Undang Nomor 18 tahun 2013 tentang Pencegahan dan Pemberantasan Perusakan Hutan. Secara spesifik, undang-undang ini tidak mengatur tindak pembakaran hutan, melainkan mengatur tentang tindak pidana perusakan hutan.

Salah satu kebijakan penting dan dianggap dapat menjadi jalan keluar untuk mencegah gambut mengalami kekeringan dan rawan terbakar adalah diterbitkannya Peraturan Pemerintah (PP) No. 71 Tahun 2014 juncto PP No. 57 Tahun 2016 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut. Peraturan ini menjelaskan batas pemanfaatan gambut, yaitu tinggi muka air tidak boleh melebihi 40 cm dari permukaan tanah. Tujuannya adalah agar tanah gambut tetap terendam air cukup dalam sepanjang tahun.

Untuk mempertegas komitmen penyelamatan gambut, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) selanjutnya menerbitkan Peraturan Menteri LHK No. 16 Tahun 2017 tentang Pedoman Teknis Pemulihan Fungsi Ekosistem Gambut. Permen LHK tersebut mempertegas bahwa kubah gambut adalah komponen yang sangat vital dalam menjaga berjalannya fungsi Kesatuan Hidrologis Gambut (KHG). Kubah gambut yang berada di dalam area konsesi dan belum dilakukan budidaya wajib dipertahankan sebagai ekosistem dengan fungsi lindung. Dengan kata lain, segala bentuk kegiatan ekstraksi di atas area tersebut adalah terlarang. Larangan ini menimbulkan keraguan bagi para pelaku usaha ekstraktif untuk menanamkan modal, karena area produksi mereka beririsan dengan daerah terlarang ekosistem gambut.

b. Peran dan Komitmen Indonesia

Negara Republik Indonesia, sebagai anggota ASEAN, memegang teguh komitmennya untuk bekerja sama dalam pengendalian kebakaran hutan dan lahan serta penyebaran asap lintas batas negara. Prinsip-prinsip internasional yang telah disepakati dan kepentingan nasional, sesuai dengan Pancasila dan Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945, menjadi landasan dalam hal ini. Mengingat asap yang berasal dari kebakaran hutan dan lahan dapat menyebar lintas batas negara dan berpotensi merusak lingkungan, merugikan ekosistem, serta membahayakan kesehatan manusia, kerja sama antarnegara di Asia Tenggara dalam mengendalikan penyebaran asap lintas batas menjadi sangat penting.

Indonesia telah melakukan upaya pencegahan, penanggulangan, dan pemulihan dampak pencemaran asap akibat kebakaran hutan dan lahan di tingkat nasional. Namun, kesadaran akan perlunya penanganan bersama atas pencemaran asap lintas batas mendorong Indonesia dan negara-negara ASEAN lainnya untuk bekerja sama lebih erat. Kerja sama ini didasari oleh semangat kemitraan dan solidaritas di antara negara-negara ASEAN dalam mengatasi kendala penanganan asap lintas batas. Ini juga sesuai dengan prinsip hukum internasional yang menekankan hak berdaulat setiap negara untuk

mengelola sumber daya alam sesuai dengan kebijakan lingkungan dan pembangunan di wilayahnya, tetapi dengan tanggung jawab untuk mencegah pencemaran dan kerusakan lingkungan di wilayah lain.

Keberatan terhadap pencemaran asap lintas batas telah disampaikan oleh Malaysia kepada Indonesia melalui surat kepada Menteri Lingkungan Hidup Indonesia. Malaysia menyatakan keberatannya karena asap kebakaran hutan di Indonesia telah mencapai Malaysia, menyebabkan polusi udara di negaranya. Bahkan, *The National Environment Agency* (NEA) Singapura juga memperingatkan adanya kondisi berkabut akibat peningkatan jumlah *hotspot* di Indonesia. Oleh karena itu, penting bagi pemerintah Indonesia untuk menerapkan strategi dan kebijakan yang tepat, serta memberikan perhatian khusus agar dampak buruk dari kabut asap dapat diminimalisasi. Upaya ini bertujuan agar keluhan pencemaran asap lintas batas ke wilayah negara tetangga dapat dihindari di masa mendatang.

4. Tantangan dan Hambatan Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut

- a. Kebijakan Pemerintah yang Belum Sepenuhnya Berpihak pada Keberlangsungan Ekosistem Hutan dan Lahan Gambut

KLHK menerbitkan Permen LHK No. 10 Tahun 2019 tentang Penentuan, Penetapan, dan Pengelolaan Puncak Kubah Gambut Berbasis KHG. Kubah gambut yang sebelumnya menjadi area terlarang untuk dimanfaatkan diatur ulang untuk memfasilitasi aktivitas industri perkebunan ataupun kehutanan. Terlebih bagi perusahaan yang kesulitan berproduksi karena memiliki lebih dari satu kubah gambut di dalam wilayah kekuasaannya.

Program strategis nasional ini menjadi polemik ketika Menteri LHK menerbitkan Permen LHK No. 24 Tahun 2020 tentang Penyediaan Kawasan Hutan untuk Pembangunan *food estate*. Peraturan tersebut memperbolehkan pembangunan *food estate*

dilakukan di hutan produksi dan/atau kawasan hutan lindung. Meskipun aturan tersebut kemudian dicabut dan digantikan dengan Permen LHK No. 7 Tahun 2021 tentang Perencanaan Kehutanan, Perubahan Peruntukan Kawasan Hutan, dan Perubahan Fungsi Kawasan Hutan, serta Penggunaan Kawasan Hutan, secara substantif tidak banyak yang berubah. Bahkan, pada Pasal 485 masih dimungkinkan *food estate* dilakukan di kawasan hutan lindung.

Pendekatan Jakarta sentris yang membawa segala bentuk “barang” baru ke lokasi *food estate* mencabut nilai-nilai yang dipercayai masyarakat lokal selama ratusan tahun. Sebut saja 600 ha hutan di Desa Tewai Baru di Kabupaten Gunung Mas yang dibuka dan berubah fungsinya menjadi area kerja *food estate*. Tutupan pepohonan pun yang sebelumnya kaya akan hasil hutan, sekarang berubah menjadi hamparan kosong bekas tanaman singkong yang gagal tumbuh. Masyarakat desa yang sebelumnya hidup berdampingan dan menggantungkan hidup dari hasil hutan pun tersisihkan dari tanah leluhurnya karena adanya pembatasan akses untuk masuk ke dalam kawasan proyek (Permen LHK, 2020).

Pemerintah makin terang-terangan mengobral ekosistem gambut ketika disahkannya Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang (Perppu) No. 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja (UUCK)—sebuah peraturan yang tidak semestinya disahkan karena tiada kedaruratan dalam penerbitannya. Catatan dari Pantau Gambut menyebutkan 857 perkebunan sawit seluas 3,4 juta ha telah aktif beroperasi di dalam kawasan hutan tanpa adanya perizinan kehutanan yang sah.

Kemudahan untuk berusaha di dalam kawasan hutan—termasuk gambut pun dimuluskan melalui dua skema yang diatur dalam pasal 110A dan 110B. Skema 110A mengatur bahwa perkebunan yang sebelumnya hanya memiliki izin dari pemerintah daerah sebelum UUCK berlaku, hanya perlu membayar biaya administrasi kepada KLHK sebagai kompensasi untuk melegalkan usahanya. Sementara itu, skema 110B membuka peluang bagi perkebunan ilegal untuk mendapatkan izin berusaha hanya dengan membayar

sanksi administratif. Padahal jelas bahwa perkebunan tidak boleh beroperasi di kawasan hutan.

b. Kondisi Alam dan Lemahnya Penerapan Hukum dan Kesepakatan

Perubahan iklim yang dipicu oleh pemanasan global meningkatkan risiko *transboundary pollution*. Perubahan iklim menyebabkan peningkatan frekuensi dan intensitas kekeringan di kawasan Asia Tenggara. Hal ini meningkatkan risiko terjadinya kebakaran hutan yang merupakan sumber *transboundary haze pollution*. Perubahan iklim juga menyebabkan perubahan pola angin yang memengaruhi penyebaran kabut asap dan membawa polutan ke wilayah yang sebelumnya tidak terpapar. Meningkatnya permukaan laut sebagai dampak pemanasan global menyebabkan intrusi air laut ke kawasan pesisir dan merusak hutan bakau serta ekosistem lainnya yang berperan penting dalam menyerap dan menghambat polutan udara tersebar.

Meskipun berbagai perjanjian, program kerja sebagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi *transboundary haze pollution* di Asia Tenggara, masih terdapat beberapa kendala dalam penerapannya. Hal itu disebabkan oleh beberapa masalah berikut ini.

1) Kurangnya Koordinasi dan Kerja Sama Antar negara

Masalah ini merupakan salah satu hambatan utama dalam memerangi *transboundary haze pollution*. Kurangnya komunikasi dan kesatuan visi antar negara dalam menanggulangi kebakaran hutan dan lahan, emisi industri, dan polusi udara lainnya menjadi penghambat kemajuan.

2) Perbedaan Kepentingan dan Prioritas Negara

Setiap negara memiliki kepentingan dan prioritas pembangunan yang berbeda. Hal ini dapat menjadi kendala dalam mencapai kesepakatan bersama mengenai upaya penanggulangan *transboundary haze pollution*.

3) Lemahnya Penegakan Hukum

Kurangnya mekanisme hukum yang kuat dan mengikat di tingkat regional untuk menindak negara-negara yang melanggar kesepakatan terkait *transboundary pollution*. Kelemahan penegakan hukum nasional juga terjadi karena penegakan hukum terhadap pembakaran lahan ilegal dan pelanggaran lingkungan lainnya masih lemah. Hal ini memungkinkan terjadinya pelanggaran berulang tanpa efek jera.

Kurangnya transparansi dan akuntabilitas dalam proses penegakan hukum dapat menimbulkan kecurigaan dan keraguan publik terhadap keseriusan pemerintah dalam menangani masalah ini. Dugaan adanya korupsi dalam penegakan hukum dapat menjadi celah bagi pelanggar lingkungan untuk lolos dari hukuman, sehingga menghambat upaya penanggulangan *transboundary haze pollution*.

c. Harapan dan Solusi

Beberapa tantangan yang dihadapi dalam penanggulangan masalah ini mencakup kurangnya koordinasi dan kerja sama antarnegara, keterbatasan sumber daya, kurangnya penegakan hukum, dan perubahan iklim. Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan solusi yang komprehensif dan berkelanjutan, seperti meningkatkan koordinasi dan kerja sama antarnegara, meningkatkan investasi dalam pencegahan dan penanggulangan kebakaran hutan dan lahan, memperkuat penegakan hukum, mengembangkan teknologi untuk memantau dan mengurangi emisi polusi udara, serta meningkatkan kesadaran masyarakat tentang bahaya kabut asap lintas batas.

Kesadaran publik memainkan peran kunci dalam upaya mengatasi *transboundary haze pollution*. Edukasi dan kesadaran masyarakat dapat secara signifikan membantu mengurangi faktor-faktor penyebab polusi udara dan meningkatkan dukungan untuk upaya penanggulangan. Berikut ini adalah beberapa alasan mengapa kesadaran publik sangat penting.

- 1) Pemahaman tentang dampak lingkungan dan kesehatan: Melalui edukasi, masyarakat dapat memahami dampak negatif *transboundary haze pollution* terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Mereka menyadari bahwa kabut asap tidak hanya merugikan bagi mereka secara langsung, tetapi juga bagi ekosistem dan spesies lainnya.
- 2) Pengetahuan tentang penyebab dan dampak polusi: Dengan pemahaman yang lebih baik tentang penyebab polusi udara, seperti pembakaran hutan dan lahan, masyarakat dapat mengambil langkah-langkah preventif untuk mengurangi kontribusi mereka terhadap masalah ini. Mereka juga dapat mengenali gejala dan risiko kesehatan yang terkait dengan paparan kabut asap.
- 3) Peningkatan partisipasi dalam upaya penanggulangan: Kesadaran publik yang tinggi dapat mendorong masyarakat untuk aktif terlibat dalam upaya penanggulangan polusi udara, baik melalui partisipasi dalam program pembersihan lingkungan, kampanye penyuluhan, maupun mendukung kebijakan yang bertujuan untuk mengurangi emisi polutan.
- 4) Tekanan terhadap pemerintah dan industri: Dengan adanya kesadaran publik yang kuat, masyarakat dapat menuntut tindakan lebih konkret dari pemerintah dan industri untuk mengatasi masalah *transboundary haze pollution*. Mereka dapat meminta penerapan kebijakan yang lebih ketat terkait dengan pengelolaan hutan, pengendalian emisi industri, dan penegakan hukum yang lebih kuat.
- 5) Penggalangan dukungan internasional: Kesadaran publik yang tinggi juga dapat membantu menggalang dukungan internasional dalam upaya mengatasi masalah *transboundary haze pollution*. Dengan menyoroti masalah ini secara global, masyarakat dapat memperkuat tekanan pada negara-negara dan organisasi internasional untuk bekerja sama dalam penanggulangan polusi udara lintas batas.

Dengan demikian, edukasi dan kesadaran masyarakat tidak hanya penting untuk mengubah perilaku individu, tetapi juga penting untuk menciptakan perubahan yang lebih luas dalam kebijakan dan praktik yang berkontribusi pada *transboundary haze pollution*. Mendorong kesadaran publik yang lebih besar akan menjadi langkah penting dalam mencapai lingkungan yang lebih bersih dan lebih sehat bagi semua.

Daftar Pustaka

- ASEAN. (2002). *ASEAN agreement on transboundary haze pollution*. <https://asean.org/wp-content/uploads/2021/01/ASENAAgreementonTransboundaryHazePollution-1.pdf>
- Brown, A., & Davis, K. (1973). *Forest fire control and use*. McGraw-Hill.
- Chakraborty, M. (2015). Assessing air quality over the Indian subcontinent using a regional chemical transport model (WRF-Chem). *Atmospheric Science Letters*, 6(5), 438445.
- European Environmental Agency. (n.d.). *Glossarium*. Diakses 15 Juni 2007, dari <https://www.EEA.org/glossarium>
- Forum Geosaintis Muda Indonesia. (n.d.). *Rekam jejak kebakaran hutan di Indonesia*. <https://fgmi.iagi.or.id/berita/berita-dunia-geosaintis/rekam-jejak-kebakaran-hutan-di-indonesia>
- Haniy, S. U., Hamzah, H., & Hanifah, M. (2019, 7 Oktober). Intense forest fires threaten to derail Indonesia's progress in reducing deforestation. World Resources Institute. <https://www.wri.org/insights/intense-forest-fires-threaten-derail-indonesias-progress-reducing-deforestation>
- Huijnen, V., Wooster, M. J., Kaiser, J. W., Gaveau, D. L. A., Flemming, J., Parrington, M., Inness, A., Murdiyarso, D., Main, B., & van Weele, M. (2016). Fire carbon emissions over maritime southeast Asia in 2015 largest since 1997. *Scientific Reports*, 6, Article 26886. <https://doi.org/10.1038/srep26886>
- Kebakaran hutan terparah di Indonesia paling sering di Kalimantan. (n.d.). *Tempo*. <https://tekno.tempo.com/read/1768725/5>

- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor SK.168/MENLHK/PKTL/PLA.1/2/2022 tentang Indonesia's Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030 untuk Pengendalian Perubahan Iklim: Rencana Operasional Indonesia's FOLU Net Sink 2030*.
- Laing, T., & Weger, M. (2020). The haze problem in Southeast Asia. In *The Routledge handbook of Southeast Asian environmental management* (pp. 412–436). Routledge.
- Mubariak, A., & Sundstrom, K. (2016). Transboundary haze pollution in Southeast Asia: A review of its causes, impacts, and potential solutions. *Journal of Environmental Management*, 178, 148–164.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 24 Tahun 2020 tentang Penyediaan Kawasan Hutan untuk Pembangunan Food Estate.
- Presiden Republik Indonesia. (2015). *Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2015 tentang Penundaan Pemberian Izin Baru dan Penyempurnaan Tata Kelola Hutan Alam Primer dan Lahan Gambut*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ins178913.pdf>
- Rhee, S. H., & Baik, N. (2017). Transboundary haze pollution in Southeast Asia: A regional environmental problem with global implications. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 53(1), 1–21.
- Soemarsono. (1997, Desember 16). *Kebakaran lahan, semak belukar dan hutan di Indonesia (penyebab, upaya dan perspektif upaya di masa depan)* [Makalah presentasi]. Simposium Dampak Kebakaran Hutan Terhadap Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Yogyakarta, Indonesia.
- Sok, V., Peteru, S., Silviana, S. H., & Evans, M. (2024, 18 November). *Refleksi respons Asia Tenggara terhadap kabut asap lintas batas saat kemarau tiba*. CIFOR-ICRAF Forests News. <https://forestsnews.cifor.org/90277/refleksi-respons-asia-tenggara-terhadap-kabut-asap-lintas-batas>
- Starke, J. G. (2012). *Pengantar hukum internasional* (10th ed.; B. I. Djajaatmadja, Terj.). Sinar Grafika.
- Stein, A. F., Draxler, R. R., Rolph, G. D., Stunder, B. J. B., Cohen, M. D., & Ngan, F. (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(12), 2059–2077. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>

- Suryani, A. S. (2012). *Handling smoke haze from forest fire at border regions in Indonesia*. Pusat Pengkajian, Pengolahan Data dan Informasi (P3DI), Sekretariat Jenderal DPR RI.
- Tempo.co. (2023, 6 September). *5 kebakaran hutan terparah di Indonesia, paling sering di Kalimantan*. <https://www.tempo.co/lingkungan/5-kebakaran-hutan-terparah-di-indonesia-paling-sering-di-kalimantan--147402>
- Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2014 tentang Pengesahan ASEAN Agreement on Transboundary Haze Pollution (Persetujuan ASEAN tentang Pencemaran Asap Lintas Batas).