JURNAL ECOCENTRISM
P ISSN 2775-3220 || E ISSN 2807-1085 Volume 6 | Nomor 2

ANALISIS DAMPAK OPERASIONAL GALANGAN KAPAL TERHADAP KUALITAS UDARA DAN KEBISINGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN DISPERSI

Fachrie Rezka Ayyub [1*)], Fatma [2)]

[1)] Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Sulawesi Selatan
[2)] Program Studi Ilmu Kelautan, Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa Makassar, Sulawesi Selatan

*Email korespondensi: fachrie.ayyub@gmail.com

ABSTRAK

Operasional galangan kapal dan Terminal Untuk Keperluan Sendiri (TUKS) di Desa Batupute, Kabupaten Barru, memberikan kontribusi ekonomi signifikan namun memiliki risiko terhadap penurunan kualitas udara dan kenyamanan akustik masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik dispersi partikulat debu serta intensitas kebisingan yang dihasilkan selama tahap operasional pada tahun 2025. Metode yang digunakan mencakup observasi lapangan, uji laboratorium terhadap parameter TSP, SO_2, NO_2 dan tingkat tekanan suara, serta simulasi pemodelan sebaran partikel berdasarkan dinamika musim barat dan timur. Hasil analisis menunjukkan bahwa dispersi partikulat debu sangat dipengaruhi oleh arah angin dominan; pada musim barat, polutan cenderung mengarah ke daratan yang berdampak langsung pada pemukiman warga dan fasilitas pendidikan (SD Inpres Awerange), sementara pada musim timur sebaran bergerak menuju laut. Di sisi lain, intensitas kebisingan yang bersumber dari aktivitas bengkel besi dan operasional genset berkapasitas 250 KVA menunjukkan tren yang berpotensi mengganggu aktivitas sosial di sekitar lokasi studi. Evaluasi terhadap langkah mitigasi menekankan pentingnya penerapan metode *wet suppression* melalui penyiraman area terbuka secara berkala dan pembangunan dinding pembatas fisik (*barrier*) dengan ketinggian minimal dua meter di sekeliling tapak proyek.

Kata Kunci: Dispersi Udara, Kebisingan, Galangan Kapal, Dampak Lingkungan

ABSTRACT

The operation of the shipyard and the Self-Supporting Terminal (TUKS) in Batupute Village, Barru Regency, provides significant economic contributions but carries risks of reducing air quality and community acoustic comfort. This study aims to analyze the characteristics of dust particulate dispersion and the intensity of noise generated during the operational phase in 2025. The methods used include field observations, laboratory tests on TSP, SO_2, NO_2 parameters and sound pressure levels, and particle distribution modeling simulations based on the dynamics of the west and east seasons. The analysis results show that dust particulate dispersion is strongly influenced by the dominant wind direction; during the west season, pollutants tend to move towards the land, directly impacting residential areas and educational facilities (SD Inpres Awerange), while during the east season the distribution moves towards the sea. On the other hand, the intensity of noise originating from the activities of the iron workshop and the operation of a 250 KVA generator shows a trend that has the potential to disrupt social activities around the study location. Evaluation of mitigation measures emphasizes the importance of implementing

the wet suppression method through regular watering of open areas and the construction of a physical barrier wall with a minimum height of two meters around the project site.

***Keywords** : Air Dispersion, Noise, Shipyard, Environmental Impact*

Copyright © [2026] Author(s). Published by Jurnal Ecocentrism. Licensed CC BY-SA 4.0.

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan luas wilayah perairan yang mencapai dua pertiga dari total luas teritorialnya, telah menetapkan sektor maritim sebagai pilar utama dalam transformasi ekonomi nasional. Visi "Poros Maritim Dunia" bukan sekadar slogan politik, melainkan peta jalan strategis untuk mengoptimalkan potensi laut melalui penguatan konektivitas antar pulau. Dalam ekosistem ini, industri galangan kapal (*shipyard*) dan Terminal Untuk Keperluan Sendiri (TUKS) memegang peranan vital sebagai infrastruktur pendukung yang menjamin kelancaran arus barang, jasa, dan mobilitas penduduk. Tanpa industri galangan yang mumpuni, efisiensi logistik nasional akan terhambat, mengingat setiap armada kapal memerlukan perawatan berkala (*maintenance*), perbaikan (*repair*), maupun perombakan (*overhaul*) guna menjaga standar keselamatan pelayaran yang ditetapkan secara internasional.

Sulawesi Selatan dengan posisi geografisnya yang strategis sebagai pintu gerbang Indonesia Timur, menjadi salah satu pusat pertumbuhan industri maritim yang paling progresif. Kabupaten Barru, khususnya Desa Batupute di Kecamatan Soppeng Riaja, telah bertransformasi menjadi titik konsentrasi industri galangan kapal yang signifikan. Pilihan lokasi di pesisir Barru didasarkan pada karakteristik perairan yang relatif tenang, kedalaman yang memadai untuk sandar kapal bertonase besar, serta aksesibilitas yang terhubung langsung dengan urat nadi transportasi darat yaitu Jalur Trans Sulawesi. Keberadaan galangan kapal di wilayah ini diharapkan mampu memberikan efek pengganda (*multiplier effect*) terhadap ekonomi lokal, mulai dari penyerapan tenaga kerja terampil hingga tumbuhnya sektor-sektor usaha penunjang di sekitar kawasan industri.

Namun, di balik kontribusi ekonominya yang substansial, operasional industri galangan kapal secara inheren membawa konsekuensi lingkungan yang bersifat multidimensi. Industri ini dikategorikan sebagai kegiatan dengan risiko lingkungan yang nyata, terutama terkait dengan penurunan kualitas udara ambien dan peningkatan polusi suara atau kebisingan (Li *et al*., 2025). Aktivitas utama di galangan kapal melibatkan proses mekanis dan kimiawi yang intensif. Secara teoretis, siklus perbaikan lambung kapal dimulai dengan pembersihan kerak laut dan karat melalui metode *abrasive blasting* atau yang lebih dikenal sebagai *sandblasting*. Proses ini menyemprotkan material pasir dengan tekanan tinggi ke permukaan baja yang secara langsung melepaskan partikulat debu atau *Total Suspended Particulates* (TSP) dalam volume besar ke atmosfer.

Menurut Syam & Asis (2025), partikulat debu yang dihasilkan dari aktivitas industri berat memiliki karakteristik aerodinamis yang memungkinkannya melayang di udara dalam waktu lama. Dampaknya tidak hanya terbatas pada penurunan jarak pandang (*visibility*) yang dapat membahayakan pengguna jalan di Jalur Trans Sulawesi, tetapi juga

menyasar aspek kesehatan masyarakat secara fundamental. Partikel TSP yang terhirup secara kronis dapat menembus sistem pertahanan saluran pernapasan, menyebabkan iritasi mukosa, memicu asma, hingga risiko jangka panjang seperti silikosis jika material abrasif yang digunakan mengandung kadar silika tinggi. Selain partikulat debu, penggunaan alat berat seperti *crane*, mesin las busur listrik, hingga pembangkit listrik mandiri (genset) berkapasitas megawatt yang berbahan bakar fosil, turut mengemisikan gas-gas polutan seperti Sulfur Dioksida (SO_2) dan Nitrogen Dioksida (NO_2). Dalam konteks Desa Batupute, beban emisi ini bersifat akumulatif; polutan industri bercampur dengan gas buang kendaraan bermotor dari lalu lintas padat Trans Sulawesi, menciptakan fenomena polusi udara kompleks yang melampaui daya dukung lingkungan lokal (Mahmud *et al*., 2017).

Mekanisme penyebaran atau dispersi polutan ini tidak terjadi dalam ruang hampa, melainkan sangat dipengaruhi oleh dinamika meteorologi lokal yang fluktuatif. Di wilayah pesisir Kabupaten Barru, pola sirkulasi udara mengikuti siklus musiman yang tegas, yaitu Musim Barat dan Musim Timur. Karakteristik sebaran polutan udara sangat bergantung pada kecepatan angin, arah angin dominan, stabilitas atmosfer, serta kelembapan udara. Angin laut yang berembus kencang pada siang hari memiliki potensi membawa partikel debu dari bibir pantai menuju daratan, menyasar area-area sensitif. Penelitian terdahulu menekankan bahwa tanpa adanya sistem barier hijau (*green belt*) atau dinding pembatas yang dirancang secara teknis, polutan udara industri dapat terbawa hingga radius kilometer, menembus dinding-dinding rumah penduduk dan fasilitas umum (Sukriya *et al*., 2025). Oleh karena itu, melakukan simulasi dispersi udara berdasarkan variasi musim di tahun 2025 menjadi sangat esensial untuk memetakan risiko paparan polutan secara spasial dan temporal.

Selain permasalahan udara, intensitas kebisingan muncul sebagai eksternalitas negatif yang paling sering memicu gesekan sosial. Kebisingan di galangan kapal memiliki karakteristik yang unik: bersifat kontinu dari deru mesin genset dan kompresor, namun juga bersifat impulsif (mendadak dengan tekanan suara tinggi) yang bersumber dari aktivitas pemukulan plat baja (*chipping*), pemotongan logam, dan benturan material berat. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, setiap entitas bisnis diwajibkan untuk memastikan bahwa kegiatan operasionalnya tidak melampaui baku mutu kebisingan yang ditetapkan, terutama untuk kawasan pemukiman sebesar 55 dB(A).

Di Desa Batupute, tantangan pengelolaan kebisingan menjadi sangat krusial karena adanya "reseptor sensitif" berupa SD Inpres Awerange yang letaknya berdampingan langsung dengan tapak proyek industri. Kebisingan yang melampaui batas toleransi bukan sekadar masalah kenyamanan, melainkan gangguan terhadap hak dasar untuk mendapatkan pendidikan yang layak. Paparan suara bising yang terus-menerus dapat mengakibatkan gangguan komunikasi instruksional antara guru dan siswa, menurunkan daya konsentrasi belajar, serta memicu gangguan kesehatan psikologis seperti stres dan kecemasan bagi warga yang tinggal menetap di sekitar lokasi (Mulyati, 2022). Ketidakmampuan industri dalam mengendalikan kebisingan impulsif ini seringkali

menjadi sumbu utama munculnya persepsi negatif masyarakat terhadap investasi maritim.

Sejumlah penelitian terdahulu telah berupaya memetakan dampak operasional industri maritim terhadap lingkungan sekitar. Sebagai contoh, Sukriya *et al.* (2025) melakukan simulasi sebaran partikulat TSP pada aktivitas *shipyard* menggunakan pendekatan matematis Model Gauss. Namun, penelitian tersebut memiliki keterbatasan karena hanya menganalisis dispersi udara secara statis tanpa mengintegrasikan parameter polusi energi berupa kebisingan. Di sisi lain, Mulyati (2022) mengkaji dampak kebisingan industri terhadap institusi pendidikan di sekitarnya secara mendalam, tetapi analisis mereka bersifat parsial karena mengabaikan variabel meteorologi lokal yang dinamis seperti perubahan arah angin musiman. Secara metodologis, terdapat kekosongan riset (*research gap*) di mana belum ada studi yang mengintegrasikan secara simultan pemodelan dispersi udara tingkat lanjut (AERMOD) dan algoritma kontur kebisingan ruang terbuka dengan mempertimbangkan pengaruh perlindungan akustik alami (*acoustic shield*) dari tata letak bangunan (*site layout*) proyek. Karakteristik wilayah pesisir Desa Batupute yang mengalami fluktuasi ekstrem antara dinamika musim barat dan musim timur memerlukan pendekatan pemodelan yang komprehensif dan terintegrasi ini.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, studi ini hadir untuk mengisi kekosongan literatur dengan melakukan analisis integratif yang memetakan dispersi partikulat debu (TSP) sekaligus intensitas kebisingan sepanjang tahun operasional 2025. Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada pemodelan prediktif dua musim secara spasial yang dikonfrontasikan langsung dengan posisi reseptor sensitif, yaitu SD Inpres Awerange dan pemukiman warga. Dengan demikian, hasil analisis tidak hanya menghasilkan data angka pemantauan, tetapi juga memberikan justifikasi ilmiah yang konkrit mengenai efektivitas penerapan metode *wet suppression* dan struktur pembatas fisik (*barrier*) sebagai solusi mitigasi lingkungan yang terpadu di kawasan pesisir.

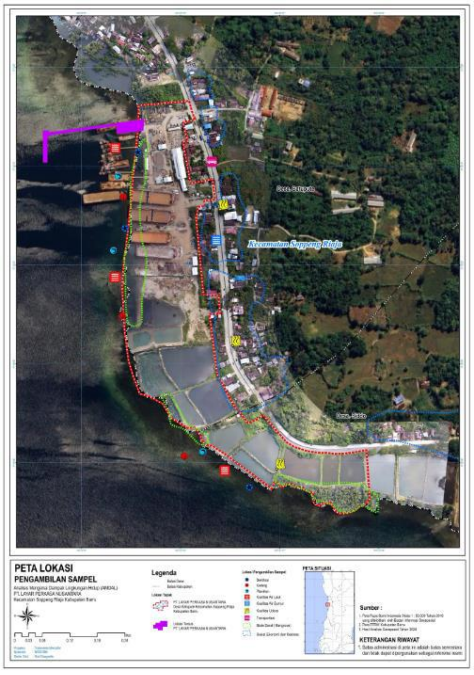
Kegagalan dalam mengelola dampak lingkungan secara sistematis dapat berujung pada hilangnya *Social License to Operate* atau izin sosial dari masyarakat setempat. Ketidaknyamanan akibat debu yang mengotori hunian warga serta kebisingan yang mengganggu waktu istirahat dan ibadah merupakan pemicu potensial konflik horizontal. Padahal, secara regulatif, pemerintah telah menyediakan instrumen pengawasan melalui Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 45 Tahun 2005, di mana setiap perusahaan wajib menyampaikan laporan berkala melalui dokumen Rencana Pengelolaan Lingkungan dan Rencana Pemantauan Lingkungan (RKL-RPL). Namun, dalam praktiknya, kepatuhan administratif seringkali tidak sejalan dengan realitas kualitas lingkungan di lapangan. Diperlukan analisis evaluatif yang lebih kritis terhadap tren data pemantauan untuk melihat apakah strategi mitigasi yang selama ini diterapkan, seperti penyiraman jalan (*wet suppression*), penggunaan jaring penahan debu (*dust net*), atau pembangunan Ruang Terbuka Hijau (RTH), telah berjalan efektif atau hanya sekadar pemenuhan kewajiban di atas kertas (Nusantara Infrastructure Tbk., 2025).

Berdasarkan kompleksitas permasalahan tersebut, studi ini difokuskan pada analisis dispersi partikulat debu dan pemetaan intensitas kebisingan di wilayah terdampak Desa Batupute sepanjang tahun operasional 2025. Penelitian ini mengambil posisi strategis untuk mengevaluasi efektivitas pengelolaan lingkungan pada titik-titik kritis, dengan memberikan perhatian khusus pada area sekolah dan pemukiman padat. Dengan menggabungkan data pemantauan lapangan dan pemodelan matematis, studi ini bertujuan untuk mengukur sejauh mana polutan menyimpang dari ambang batas yang ditetapkan dalam regulasi terbaru. Hasil studi ini diharapkan tidak hanya menjadi dokumen akademik semata, tetapi mampu memberikan rekomendasi teknis yang aplikatif bagi pengelola galangan kapal di Kabupaten Barru untuk melakukan perbaikan berkelanjutan (*continual improvement*). Lebih jauh, penelitian ini diharapkan menjadi acuan bagi otoritas lingkungan hidup dalam merumuskan kebijakan pengawasan industri maritim di wilayah pesisir Sulawesi Selatan, guna mewujudkan sinergi antara pertumbuhan ekonomi industri dan perlindungan kualitas hidup masyarakat lokal.

2. METODOLOGI

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dan pengambilan data lapangan dilakukan secara berkala sepanjang tahun operasional 2025 untuk menangkap karakteristik fluktuasi dua musim yang ekstrem. Pengumpulan data primer untuk representasi Musim Barat dilaksanakan pada bulan Desember, Januari dan Februari, sedangkan untuk representasi Musim Timur dilaksanakan pada bulan Juni, Juli dan Agustus. Lokasi studi secara administratif terletak di Desa Batupute, Kecamatan Soppeng Riaja, Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis, wilayah ini berbatasan dengan tanah warga di sisi utara dan selatan, jalan negara di sisi timur, serta laut di sisi barat. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk menganalisis dampak operasional galangan kapal dan Terminal Untuk Keperluan Sendiri (TUKS) terhadap kualitas lingkungan udara dan akustik di Desa Batupute, Kabupaten Barru. Ruang lingkup penelitian mencakup pemantauan kualitas udara ambien dan intensitas kebisingan sepanjang tahun operasional 2025.

Data primer diperoleh melalui observasi lapangan dan pengukuran langsung secara simultan pada titik pantau yang ditentukan secara representatif berdasarkan arah angin dominan (*prevailing wind*). Parameter kualitas udara ambien yang diukur meliputi konsentrasi partikulat debu (*Total Suspended Particulates*/TSP) menggunakan metode *High Volume Air Sampler* (HVAS), serta polutan gas berupa SO_2, NO_2 dan CO menggunakan metode impinger selama 24 jam. Untuk aspek kebisingan, pengukuran intensitas suara dilakukan menggunakan alat *Sound Level Meter* (SLM) yang diposisikan pada area sumber utama (bengkel fabrikasi besi dan Genset Stamford 250 KVA) serta pada area penerima (*sensitive receptors*) yang meliputi pemukiman warga terdekat dan SD Inpres Awerange. Data sekunder berupa data meteorologi permukaan (*surface data*) dan udara atas (*upper air data*) historis selama rentang waktu 10 tahun (2015–2025) dikumpulkan melalui stasiun meteorologi terkait untuk mendukung pemodelan dispersi polutan.

Analisis data melibatkan pembuatan simulasi visualisasi sebaran spasial polutan menggunakan perangkat lunak AERMOD versi 8.9.0. Proses pengambilan data lapangan dan pemodelan dibagi secara ketat ke dalam dua periode utama guna menangkap fenomena pembalikan angin musiman di wilayah pesisir Sulawesi Selatan, yaitu Musim Barat (Desember, Januari, Februari) untuk memetakan dispersi polutan dari laut ke daratan dan Musim Timur (Juni, Juli, Agustus) sebagai pembanding. Simulasi prediktif 24 jam ini bertujuan untuk memetakan arah dan jangkauan pergerakan polutan dari aktivitas *sandblasting* serta mobilisasi alat berat, sehingga dapat memberikan pemetaan risiko paparan yang akurat terhadap kesehatan masyarakat dan aktivitas institusi pendidikan di sekitar tapak proyek.

2.3 Analisa Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengintegrasikan hasil uji laboratorium dan observasi lapangan melalui tiga metode evaluasi utama guna mendapatkan gambaran dampak lingkungan yang akurat. Pertama, Evaluasi Kecenderungan (*Trend Evaluation*) diterapkan untuk mengamati perubahan kualitas lingkungan antar waktu selama tahun 2025, sehingga dapat diketahui apakah konsentrasi debu dan kebisingan mengalami tren kenaikan atau penurunan seiring dengan dinamika operasional galangan. Kedua, Evaluasi Tingkat Kritis (*Critical Level Evaluation*) digunakan untuk menilai kondisi lingkungan pada lokasi-lokasi yang bersifat sensitif, seperti area yang berbatasan langsung dengan pemukiman warga di sisi timur dan SD Inpres Awerange, guna mengukur seberapa besar tekanan polusi yang diterima oleh masyarakat terdampak. Terakhir, Evaluasi Penaatan (*Compliance Evaluation*) dilakukan dengan membandingkan data rill hasil pengukuran parameter TSP dan intensitas bising terhadap Baku Mutu Lingkungan yang ditetapkan pemerintah dalam dokumen RKL-RPL. Selain itu,

data arah angin diolah secara visual untuk memodelkan pola dispersi polutan pada musim barat dan musim timur yang menjadi landasan dalam menentukan efektivitas mitigasi seperti pemasangan *barrier* fisik dan pengelolaan ruang terbuka hijau.

Pemodelan dispersi udara dalam penelitian ini disimulasikan menggunakan perangkat lunak AERMOD (AERMIC Dispersion Model) versi 8.9.0. Pemilihan model ini didasarkan pada kemampuannya yang superior dalam mensimulasikan distribusi polutan di lapisan batas atmosfer (*atmospheric boundary layer*) wilayah pesisir, dibandingkan dengan Model Gauss konvensional. Proses pemodelan AERMOD dilakukan melalui tiga tahapan utama input data terintegrasi:

1. Data Meteorologi (AERMET): Mengintegrasikan data meteorologi permukaan (*surface data*) dan udara atas (*upper air data*) historis selama rentang waktu 10 tahun (2015–2025). Parameter yang diolah meliputi arah angin dominan, kecepatan angin, suhu udara ambien, kelembapan, serta tinggi lapisan pencampuran (*mixing height*).
2. Data Karakteristik Sumber Emisi: Parameterisasi sumber emisi dalam model ditetapkan sebagai Sumber Area (*Area Source*) yang merepresentasikan zona operasional utama galangan, yaitu area bongkar muat material curah, fabrikasi plat besi, dan titik pelaksanaan *sandblasting*.
3. Data Grid Reseptor dan Medan (AERMAP): Titik koordinat reseptor sensitif dimasukkan secara spesifik (*Cartesian grid*), dengan fokus utama pada koordinat SD Inpres Awerange dan batas terluar pemukiman warga di sisi timur proyek.

Simulasi dijalankan untuk mengukur konsentrasi rata-rata harian (24 jam) parameter TSP, SO_2 dan NO_2. Hasil keluaran (*output*) model AERMOD berupa visualisasi grafis sebaran kontur polutan spasial yang membedakan karakteristik dispersi secara kontras antara pergerakan angin Musim Barat dan Musim Timur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Dispersi Partikulat Debu dan Kualitas Udara Ambien

Kualitas udara merupakan parameter krusial dalam menjamin keberlanjutan operasional di sektor industri maritim, khususnya pada fasilitas terintegrasi yang menggabungkan fungsi terminal laut (TUKS) dan galangan kapal. Polutan utama yang dihasilkan dari aktivitas ini umumnya berupa partikulat debu, atau *Particulate Matter* (PM) yang bersumber dari proses mekanis maupun pembakaran. Dalam konteks operasional galangan, fokus pemantauan diarahkan pada parameter *Total Suspended Particulates* (TSP), serta polutan gas seperti Sulfur Dioksida (SO_2) dan Nitrogen Dioksida (NO_2). Karakteristik dispersi partikulat di kawasan pesisir memiliki keunikan tersendiri karena sangat dipengaruhi oleh interaksi termal antara daratan dan lautan yang membentuk pola angin darat dan angin laut secara periodik.

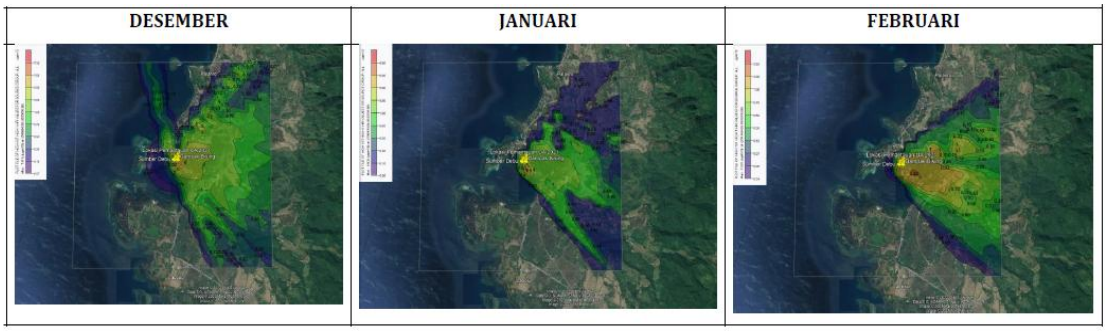
Secara teoretis, perilaku partikel di atmosfer ditentukan oleh ukurannya; partikel berdiameter lebih dari 10 μm cenderung mengendap lebih cepat di sekitar sumber akibat gaya gravitasi atau *dry deposition*. Sebaliknya, partikel halus seperti $PM_{2,5}$ atau PM_{10} memiliki kemampuan untuk tetap melayang di atmosfer dalam waktu yang lama, sehingga berpotensi berpindah hingga puluhan kilometer dari titik asal (Maharani & Razif, 2020). Di area operasional ini, sumber utama debu berasal dari intensitas kegiatan

bongkar muat material curah, termasuk besi plat, material galian C, serta pasir silika yang digunakan dalam proses *sand blasting* untuk pembersihan lambung kapal. Selain aktivitas produksi, mobilisasi kendaraan berat yang melintasi jalan akses non-aspal turut memperburuk kondisi udara melalui resuspensi debu permukaan yang terjadi secara kontinu.

Selain partikulat, kontribusi emisi gas buang berasal dari unit pembangkit energi berupa Genset Stamford berkapasitas 250 KVA. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, pembakaran bahan bakar solar pada unit ini melepaskan beban polutan berupa SO_2, NO_2 dan Karbon Monoksida (CO) ke udara ambien (Islami *et al*., 2026).

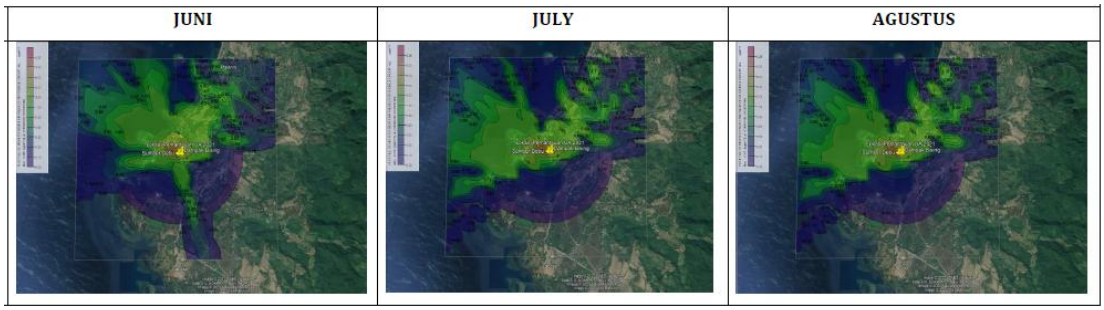
Untuk memvisualisasikan pola persebaran polutan ini secara spasial, dilakukan pemodelan dispersi udara menggunakan perangkat lunak AERMOD versi 8.9.0 (Wangsa *et al*., 2022). Simulasi ini mengintegrasikan data kualitas udara ambien terkini, data meteorologi angin historis selama 10 tahun, serta dimensi luasan sumber emisi area. Perbandingan dua kondisi musiman dilakukan berdasarkan panduan teknis U.S. EPA (2026) dalam *User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model* yang menetapkan bahwa pemodelan menggunakan sumber area (*area source*) harus secara akurat mengintegrasikan fluktuasi data meteorologi permukaan guna meminimalkan ketidakpastian (*uncertainty*) arah dispersi. Hasil simulasi artikel ini membuktikan prinsip tersebut, di mana perbedaan distribusi polutan yang kontras antar musim dalam rentang waktu pemodelan 24 jam sangat dipengaruhi oleh dinamika sirkulasi angin lokal pesisir Kabupaten Barru.

Pada periode musim barat, angin dominan bertiup dari arah barat menuju timur dan tenggara dengan kecepatan yang relatif tinggi. Kondisi meteorologi ini menyebabkan partikel debu dari area galangan terbawa jauh hingga mencapai kawasan pemukiman warga dan lahan pertanian yang terletak di sisi timur tapak proyek. Kecenderungan akumulasi polutan di sekitar area operasional serta pola sebaran spasial yang sangat dipengaruhi oleh faktor meteorologi pesisir ini sejalan dengan studi serupa oleh Ramadhani (2025) pada kawasan pelabuhan maritim.



Gambar 2. Hasil Simulasi dan Visualisasi Sebaran Partikel Debu pada Musim Barat

Sebaliknya, pada musim timur, pola dispersi bergeser ke arah laut atau sejajar dengan garis pantai. Polutan lebih banyak terakumulasi di atas perairan yang meskipun mengurangi dampak langsung pada manusia, tetap memberikan beban deposisi pada ekosistem laut sekitar.



Gambar 3. Hasil Simulasi dan Visualisasi Sebaran Partikel pada Musim Timur

Berdasarkan data hasil simulasi sebaran partikulat sumber area operasional TUKS dan Galangan Kapal diketahui bahwa sebaran ini akan dipengaruhi oleh arah angin dan kecepatan angin sehingga akan mempengaruhi jarak jatuhnya partikulat dan konsentrasi yang di dispersikan. Jika ditinjau berdasarkan musim, arah dispersi dan nilai konsentrasi Partikel Debu/TSP akan berbeda yakni pada musim barat condong ke Timur dan Timur-Timur Laut dengan range 2,114-3,553 µg/m^3 dan musim timur condong ke Barat, Barat-barat Laut dan Barat Laut dengan range. 3,988-4,212 µg/m^3. Adanya faktor pergerakan angin dan kecepatan angin yang cepat sehingga mengakibatkan yang berasal dari sumber area bergerak horizontal mengikuti arah angin sehingga semakin besar kecepatan angin maka potensi angin tersebut untuk terdispersi semakin besar. Namun, dari kedua musim ini dapat dilihat bahwa nilai yang di dispersikan tersebut masih berada di bawah baku mutu sebesar 230 µg/Nm^3 sehingga partikulat ini tidak mengganggu kesehatan masyarakat**.**

Selain parameter partikulat (TSP), pengujian laboratorium juga dilakukan terhadap konsentrasi polutan gas berupa Sulfur Dioksida (SO_2), Nitrogen Dioksida (NO_2) dan Karbon Monoksida (CO) yang bersumber dari aktivitas pembakaran bahan bakar solar pada Genset Stamford 250 KVA serta mobilisasi alat berat. Hasil pengukuran rill di titik pemukiman warga dan area sekolah disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Konsentrasi Gas Polutan Ambien di Lokasi Studi

No	Parameter	Konsentrasi Rata-rata (µg/m^3)	Baku Mutu Nasional (PP No. 22/2021)	Status
1	Sulfur Dioksida (SO_2)	24,15	150 (24 Jam)	Memenuhi
2	Nitrogen Dioksida (NO_2)	18,30	200 (1 Jam)	Memenuhi
3	Karbon Monoksida (CO)	450,20	10.000 (1 Jam)	Memenuhi

Sumber : Data Primer, 2025

Berdasarkan Tabel 1 di atas, diketahui bahwa seluruh parameter gas polutan ambien masih berada jauh di bawah ambang batas Baku Mutu Nasional yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021. Rendahnya konsentrasi SO_2, NO_2 dan CO ini disebabkan karena operasional genset tidak berlangsung secara terus-menerus selama 24 jam penuh,

melainkan hanya sebagai sumber energi cadangan (*back-up power*) saat aktivitas fabrikasi puncak berlangsung. Selain itu, letak cerobong genset yang dirancang cukup tinggi memberikan keuntungan mekanis berupa pengenceran polutan (*dilution*) yang sangat cepat oleh tiupan angin laut yang kencang di sekitar wilayah pesisir Desa Batupute, sebelum gas-gas tersebut sempat mengendap di area pemukiman warga.

Kondisi aman ini juga diperkuat oleh studi pemodelan kualitas udara di kawasan pelabuhan oleh Ofrial (2019) yang menyatakan bahwa zona paparan kritis atau jarak minimum aman pemukiman dari sebaran emisi CO aktivitas maritim berkisar antara 86 hingga 92 meter dari pusat sumber emisi. Mengingat tata letak (*site layout*) pemukiman warga terdekat dan fasilitas sensitif di sekitar galangan kapal ini berada di luar radius kritis tersebut, maka risiko paparan toksisitas gas terhadap masyarakat lokal dapat dikategorikan sangat rendah. Oleh karena itu, dispersi polutan udara yang berpotensi memberikan dampak paparan spasial sejauh 1.000 meter ke daratan didominasi oleh partikulat debu (TSP) dari aktivitas mekanis *sandblasting*, sebagaimana disimulasikan pada tabel sebaran berikut.

Tabel 2. Hasil Pemodelan Beban Emisi pada Kegiatan Operasional

No	Jarak Sebaran (m)	Konsentrasi TSP (µg/m3) 3 Sumber Emisi Area	
		Musim Barat (Desember, Januari, Februari)	Musim Timur (Juni, Juli, Agustus)
1	100	3.295	4.212
2	200	3.553	4.189
3	300	3.416	4.165
4	400	3.170	4.142
5	500	2.974	4.118
6	600	2.789	4.093
7	700	2.609	4.068
8	800	2.437	4.042
9	900	2.277	4.015
10	1000	2.114	3.988

Sumber : Data Primer, 2025

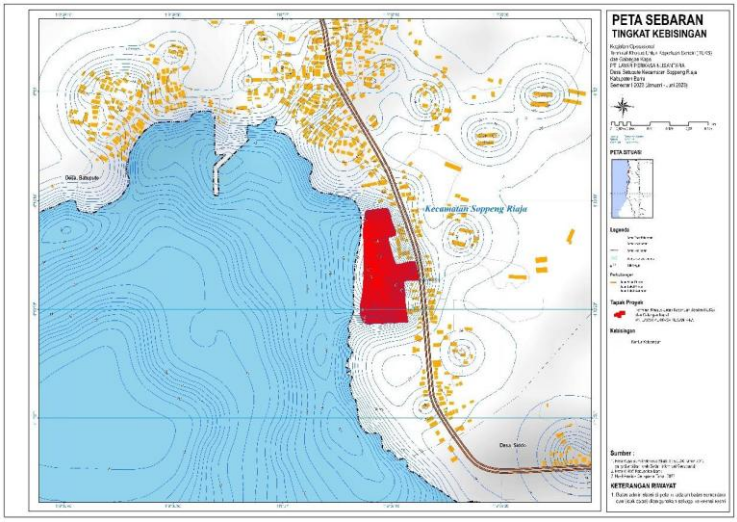
Meskipun perhitungan matematis menunjukkan bahwa beban emisi total di titik reseptor masih memenuhi Baku Mutu Udara Ambien Nasional berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021, pengawasan ketat tetap diperlukan, terutama pada jam operasional puncak. Untuk menjaga stabilitas kualitas udara tersebut, perusahaan menerapkan strategi pengelolaan dispersi debu melalui pendekatan teknis yang terpadu. Salah satu langkah utamanya adalah implementasi sistem *wet suppression* atau penyiraman rutin pada area terbuka dan jalur transportasi menggunakan alokasi air tanah sebesar 1,5 m^3/hari. Secara teknis, peningkatan kelembapan pada permukaan tanah ini berfungsi meningkatkan kohesi antarpartikel, sehingga efektif mencegah debu halus terbang ke atmosfer.

Selain intervensi pada permukaan, dibangun pula pembatas fisik berupa dinding setinggi 2 meter di sekeliling area proyek. *Barrier* ini berfungsi sebagai penghalang mekanis yang mampu memecah momentum angin, sehingga partikel debu kasar dipaksa meluruh atau mengendap (*settling*) di dalam area kerja sebelum sempat keluar dari tapak proyek (Yang *et al*., 2026).

Strategi mitigasi ini semakin diperkuat dengan penyediaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) seluas ±9.600 m^2 yang mencakup sekitar 30% dari total luas lahan darat. RTH ini dirancang sebagai "sabuk hijau" (*green belt*) yang menjalankan fungsi filtrasi udara secara biologis. Vegetasi dengan tajuk rapat dan permukaan daun yang kasar memiliki kemampuan alami untuk menjerat partikulat melalui proses adsorpsi dan absorbsi, sekaligus menyuplai oksigen segar melalui fotosintesis. Penempatan RTH yang difokuskan pada sisi timur yang berbatasan langsung dengan pemukiman dan SD Inpres Awerange, menjadi langkah strategis untuk menciptakan zona perlindungan bagi kelompok rentan dari paparan polusi udara (Rizal, 2016).

3.2 Analisis Dampak dan Sebaran Kebisingan

Berbeda dengan polutan udara yang berwujud materi partikulat, kebisingan dikategorikan sebagai polusi energi dalam bentuk gelombang longitudinal yang merambat melalui medium udara. Pada fasilitas galangan kapal, kebisingan merupakan residu operasional yang dihasilkan dari aktivitas mekanis dengan intensitas tinggi. Sumber bunyi utama berasal dari proses fabrikasi seperti pemotongan plat baja menggunakan *oxy-cutting*, penggerindaan yang menghasilkan suara frekuensi tinggi, operasional mesin kompresor bertekanan tinggi untuk *sand blasting*, hingga raungan konstan dari mesin Genset Stamford berkapasitas 250 KVA. Karakteristik kebisingan di area ini bersifat impulsif dan kontinu yang secara klinis dapat memberikan tekanan akustik pada organ pendengaran (Bonita *et al*., 2026). Jika paparan ini melampaui ambang batas 85 dB dalam durasi 8 jam kerja secara terus-menerus, risiko terjadinya gangguan pendengaran permanen (*Noise-Induced Hearing Loss*) meningkat secara signifikan, di samping potensi gangguan psikososial bagi masyarakat sekitar (Maharani *et al*., 2025).



Gambar 4. Hasil Simulasi dan Visualisasi Tingkat Kebisingan

Untuk mengevaluasi dampak nyata operasional terhadap rona lingkungan hidup, dilakukan pemantauan pada titik-titik strategis yang mewakili area kerja dan area reseptor. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tingkat tekanan suara tertinggi secara eksklusif terkonsentrasi di dalam area galangan, di mana penggunaan alat-alat berat secara simultan menciptakan beban akustik yang masif. Namun, pengukuran di luar batas lahan, terutama pada perimeter yang berbatasan dengan pemukiman dan sekolah, menjadi indikator krusial ketaatan terhadap standar kenyamanan lingkungan. Data lapangan menunjukkan adanya korelasi kuat antara jarak terhadap sumber suara dengan penurunan intensitas bunyi yang membuktikan bahwa atenuasi alami sedang terjadi. Analisis tren pada periode tahun 2025 menunjukkan bahwa meskipun terdapat fluktuasi yang selaras dengan jadwal kerja galangan, tingkat kebisingan di kawasan pemukiman penduduk cenderung stabil di bawah ambang batas 55 dB.

Untuk memetakan distribusi suara secara spasial, dilakukan pemodelan dispersi kebisingan menggunakan algoritma perambatan suara di ruang terbuka (Andini & Mirwan, 2023). Pemodelan ini secara detail mempertimbangkan variabel kompleks seperti divergensi geometris, koefisien penyerapan atmosfer, serta efektivitas penghalang (*barrier*) di lapangan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa intensitas suara tertinggi terkonsentrasi di titik *graving dock* dan rumah *winch*. Namun, seiring bertambahnya jarak dari sumber emisi, terjadi degradasi energi suara yang signifikan. Dalam hal ini, bangunan kantor dan gudang logistik di dalam tapak proyek berfungsi sebagai *acoustic shield* (perisai akustik) alami yang efektif memecah dan meredam gelombang suara agar tidak merambat langsung ke arah timur (Ahwaludin *et al*., 2024). Berdasarkan peta kontur tersebut, area sensitif seperti ruang kelas di SD Inpres Awerange teridentifikasi tetap berada dalam "zona hijau" atau tingkat kebisingan aman yang membuktikan bahwa integrasi tata letak bangunan (*site layout*) dan vegetasi Ruang Terbuka Hijau (RTH) berhasil meminimalisir dampak polusi suara bagi komunitas sekitar.

Tabel 3. Hasil Sebaran Tingkat Kebisingan

Jarak (m)	Kebisingan (dB)
20	52
40	50
60	45
80	39
100	37
120	34
140	31
160	29
180	27
200	26

Sumber: Data Primer, 2025

Korelasi antara jarak dan penurunan intensitas bunyi diperkuat oleh data hasil simulasi sebaran di area operasional TUKS dan Galangan Kapal. Tren data menunjukkan penurunan kebisingan yang konsisten, yakni dari level tinggi sebesar 52 dBA pada jarak

20 meter, menyusut hingga 26 dBA pada jarak 200 meter dari sumber. Nilai ini menegaskan bahwa tingkat kebisingan di titik reseptor berada jauh di bawah ambang batas yang ditetapkan untuk kawasan permukiman penduduk, yaitu 55 dBA. Dengan demikian, aktivitas industri di lokasi ini secara teknis tidak mengganggu kenyamanan maupun kesehatan masyarakat sekitar.

Jika dikomparasikan dengan standar internasional, tren penurunan tingkat kebisingan hingga mencapai 26 dBA pada jarak 200 meter ini tidak hanya memenuhi regulasi domestik, tetapi juga sejalan dengan rekomendasi WHO dalam *Environmental Noise Guidelines* (2018). WHO menekankan pentingnya mempertahankan paparan kebisingan lingkungan di bawah ambang rata-rata guna mencegah gangguan kognitif serta gangguan tidur pada area sensitif seperti institusi pendidikan. Keberhasilan area sekolah SD Inpres Awerange tetap berada dalam 'zona hijau' membuktikan bahwa integrasi tata letak bangunan (*site layout*) dan vegetasi Ruang Terbuka Hijau (RTH) berhasil meminimalisir dampak polusi suara bagi komunitas sekitar.

Sebagai langkah preventif tambahan, pengendalian dampak bising dilakukan melalui pendekatan manajerial dan teknis yang ketat. Perusahaan menerapkan pembatasan jam kerja pada periode sensitif, seperti waktu ibadah dan jam istirahat masyarakat, guna menjaga harmoni sosial. Dari sisi teknis, perawatan rutin terhadap mesin genset dan alat berat dilakukan secara berkala untuk mencegah getaran atau kebisingan berlebih akibat kelonggaran komponen mekanis. Bagi pekerja yang terpapar langsung di zona bising tinggi, penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) berupa *earplug* atau *earmuff* menjadi kewajiban mutlak yang dipantau melalui prosedur K3. Terakhir, pembangunan *barrier* setinggi 2 meter memberikan kontribusi ganda; selain mengendalikan debu, struktur ini berfungsi sebagai peredam suara (*sound barrier*) yang memantulkan gelombang suara kembali ke area industri (Rofida, 2025).

4. PENUTUP

Analisis dispersi partikulat debu dan kebisingan pada kawasan operasional ini menunjukkan bahwa meskipun aktivitas industri memiliki potensi dampak besar, penerapan strategi mitigasi yang terintegrasi mampu menjaga kualitas lingkungan tetap dalam ambang batas aman. Integrasi antara penyiraman rutin, pembangunan barrier fisik, dan pemanfaatan RTH seluas 30% lahan merupakan pilar utama dalam menjaga kesehatan udara. Sementara itu, manajemen waktu operasional dan pemeliharaan mesin menjadi kunci dalam pengendalian polusi suara.

Berdasarkan hasil pemodelan, direkomendasikan agar pengelola fasilitas tetap konsisten melakukan pemantauan pada masa transisi musim, mengingat perubahan arah angin dapat secara drastis mengubah zona terpapar polutan. Evaluasi ketaatan yang dilakukan selama tahun 2025 menunjukkan hasil yang positif, namun perbaikan berkelanjutan (*continuous improvement*) pada sistem filtrasi udara dan teknik peredaman suara pada mesin-mesin tua tetap diperlukan demi harmoni antara kemajuan industri dan kesejahteraan masyarakat lokal.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Sulawesi Selatan serta Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa atas dukungan fasilitas dan bimbingan yang diberikan selama penelitian ini. Apresiasi tinggi juga ditujukan kepada Pemerintah Desa Batupute dan masyarakat Kabupaten Barru yang telah menyambut baik serta membantu kelancaran proses pengambilan data di lapangan. Tidak lupa, kami mengapresiasi pihak manajemen industri galangan kapal dan TUKS setempat atas keterbukaan informasi dan kerja sama yang solid demi terwujudnya keberlanjutan lingkungan. Semoga hasil analisis dampak lingkungan ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengelolaan wilayah pesisir yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Ahwaludin, B., Wulandari, D. T., Hanun, E. A., Aulia K, M., & Iskandar, T. M. (2024). The Effectiveness of green belt vegetation in reducing air pollution and noise. *Indoor Environmental Quality and Green Building, 1*(2), 90-98. https://doi.org/10.61511/ineq.v1i2.2024.1846

Andini, R. P., & Mirwan, M. (2023). Analisa tingkat kebisingan terhadap pekerja pada proses produksi industri semen. *Envirous*, *1*(2), 19–25. https://doi.org/10.33005/envirous.v1i2.31

Bonita, A. F. H., Rahmawan, U. K., Fajriani S, S., Wardani, R., Putri, A. M., Prilly, D., Annisa, A. S. S., Anggraeny, Y., & Roswati, R. (2026). Analisis tingkat kebisingan pada area produksi PT. Industri Kapal Indonesia (Persero). *Multidisiplin Pengabdian Kepada Masyarakat*, *5*(2), 65-74. https://ejournal.seaninstitute.or.id/index.php/pkm/article/view/8691

Islami, N. I., Fitri, Y., Retnawaty, S. F., Pratiwi, V. A., & Adista, Y. S. (2026). Pengaruh faktor meteorologi terhadap dispersi emisi NO_2, SO_2, dan PM dari cerobong pabrik kelapa sawit berdasarkan model AERMOD dan analisis PCA. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *24*(2), 410-421. https://doi.org/10.14710/jil.24.2.410-421

Li, Z., Zhang, H., Wang, N., Zhang, S., Luo, Z., Xuan, X., Liu, M., Chen, X., Li, X., Xue, L., & Wu, J. (2025). Effects of air pollution and noise exposure on occupational hearing loss in oil workers: A prospective cohort study. *BMC Public Health*, *25*, Artikel 2527. https://doi.org/10.1186/s12889-025-23677-1

Maharani, I. D., & Razif, M. (2020). Analisa dispersi PM2,5 menggunakan model Gauss point source di kawasan industri dan desain venturi scrubber beserta IPAL untuk effluent venturi (Studi kasus: Industri peleburan aluminium PT. X Kecamatan Kesamben, Jombang). *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, *12*(2), 76-85. https://doi.org/10.33005/envirotek.v12i2.65

Maharani, Z. K., Fitria, L., & Hartono, B. (2025). Analisis risiko kesehatan lingkungan pajanan Particulate Matter (PM2.5) pada masyarakat sekitar. *Jurnal Nasional Kesehatan Lingkungan Global*, *6*(2), 47-54. https://doi.org/10.7454/jnklg.v6i2.1055

Mahmud, A. K. R., Adisasmitha, S. A., & Hustim, M. (2017). Prediksi kebisingan lalu lintas di Kota Makassar menggunakan model ASJ-RTN 2008. *Jurnal Transportasi*, *17*(3), 165-174. https://doi.org/10.26593/jtrans.v17i3.2865.%25p

Mulyati, S. (2022). The impact of environmental noise on student concentration. *Green Health and Environmental Physics Journal*, *3*(2), 45-54. https://riverstudies.id/index.php/ghep/article/download/132/80/279

Nusantara Infrastructure Tbk. (2025). *HSE Manual Annex: Fugitive particulate matter emissions controls and efficiencies*. NI-HSE Repository. https://www.nusantarainfrastructure.com/assets/pdf/NI-HSE-Manual-Copy_opt.pdf

Ofrial, S. A. M. P. (2019). *Model matematis kualitas udara ambien di pelabuhan (Studi kasus: Pelabuhan Bakauheni)* (Laporan Penelitian). Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Lampung. http://repository.lppm.unila.ac.id/15649/1/sinta2019-putriofrial.pdf

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021. *Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Sekretariat Negara. https://peraturan.go.id/id/pp-no-22-tahun-2021

Ramadhani. (2025). *Pemodelan kualitas udara ambien di kawasan sekitar Pelabuhan Batu Bara Kabupaten Tapin menggunakan AERMOD* (Skripsi, Institut Teknologi Nasional Malang). Eprints ITN Repository. http://eprints.itn.ac.id/14771/

Rizal, Reda. (2016). *Studi kelayakan lingkungan (AMDAL, UKL-UPL & SPPL): Buku ajar analisis mengenai dampak lingkungan hidup* (Edisi ke-3). Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta. https://repository.upnvj.ac.id/194/1/ebook 9786027311404 AMDAL Reda Rizal.pdf

Rofida, R. (2025). *Modul pembelajaran pencemaran udara dan perubahan iklim*. Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. https://tekniklingkungan.uin-malang.ac.id/wp-content/uploads/2025/09/Modul-Pencemaran-Udara-dan-Perubahan-Iklim-Rona_compressed.pdf

Sukriya, I. N. M., Purnaweni, H., & Muhammad, F. (2025). Modeling and analysis of Total Suspended Particulate (TSP) on the cement industry distribution route in Grobogan Regency, Central Java. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, *26*(2), 156–163. https://doi.org/10.55981/jtl.2025.8574

Syam, A. R., & Asis, A. (2025). Pemodelan sebaran polutan TSP dari sumber emisi point source industri kimia menggunakan AERMOD View. *Jurnal Manajemen Teknologi Lingkungan*, *6*(1), 45-54. https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jmtluntan/article/viewFile/96261/pdf

U.S. EPA. (2026). *User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD)*. Office of Air Quality Planning and Standards, Air Quality Assessment Division. Research Triangle Park, North Carolina. https://gaftp.epa.gov/aqmg/SCRAM/models/preferred/aermod/aermod_userguide.pdf

Wangsa, D., Bachtiar, V. S., & Raharjo, S. (2022). Uji model AERMOD terhadap sebaran Particulate Matter 10 µm (PM10) di sekitar kawasan PT Semen Padang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *20*(2), 291-301. https://doi.org/10.14710/jil.20.2.291-301

World Health Organization. (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen, Denmark. https://www.who.int/europe/news/item/10-10-2018-new-who-noise-guidelines-for-europe-released

Yang, J., Sun, L., Xu, W., & Shen, Z. (2026). CFD-based analysis of construction dust dispersion and the height-dependent performance of dust control fences in surrounding environments. *Sustainability*, *18*(14), 7432. https://doi.org/10.3390/su18147432