BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran udara yang terjadi saat ini sudah mencapai tahap yang mengkhawatirkan, hal ini dikarenakan 9 dari 10 orang di dunia menghirup udara yang tercemar secara bergantian. Kontaminasi lingkungan dalam dan luar ruangan oleh agen kimia, fisika, atau biologis apapun yang mengubah karakteristik alami atmosfer. Lebih dari 91% penduduk dunia tinggal di daerah dengan udara tidak sehat, yang tingkat polusi udara yang melebihi standar yang dianjurkan oleh *World Health Organization (WHO)*. (1)

Pencemaran udara dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu pencemaran udara primer dan pencemaran udara sekunder. Sumber polusi udara dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama, yaitu yang disebabkan oleh manusia dan bersumber dari alam. Polusi udara yang di sebabkan oleh manusia (antropogenik), terutama melalui pembakaran berbagai jenis bahan bakar. Ini termasuk sumber yang tetap seperti pabrik, pembangkit listrik, serta sumber yang bergerak seperti kendaraan, kapal, dan pesawat. Selain itu, polusi udara yang bersumber dari alam, seperti debu dari daerah tanah gersang, metana dari pencernaan hewan seperti, serta karbon monoksida dari kebakaran alami seperti hutan dan gunung berapi. (2)

Dampak pencemaran udara tentunya berpengaruh pada kesehatan, dampaknya adalah udara yang menjadi sumber pernafasan manusia menjadi tidak bersih dan dapat menimbulkan gangguan kesehatan. Gangguan Kesehatan yang sering dialami adalah pada saluran pernafasan, gangguan penyakit jantung, kanker berbagai organ tubuh, gangguan reproduksi dan hipertensi. Pencemaran udara memiliki dampak terhadap Kesehatan baik secara jangka pendek maupun jangka panjang. (3) (4)

Pencemaran udara didasarkan pada baku mutu udara ambien menurut Peraturan Menteri Lingkugan Hidup tentang Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU), yang meliputi parameter Karbon Monoksida (CO), Ozon (O_3), Nitrogen Dioksida (NO_2), Sulfur Dioksida (SO_2), Hidrokarbon (HC), Partikulat ($PM_{2.5}$), dan Partikulat (PM_{10}). Jenis pencemaran yang paling banyak timbul adalah pencemaran udara berupa peningkatan kadar Sulfur Dioksida (SO_2) akibat proses pembakaran tidak sempurna yang dikeluarkan oleh kendaraan terutama kendaraan yang umur mesinnya sudah tua. (5)

Indonesia memiliki peringkat ke 17 sebagai negara dengan tingkat polusi udara tinggi di dunia. Parameter tertinggi yang dilaporkan adalah $PM_{2.5}$ dengan kadar 34,3 mikrogram per m^3. Sementara itu, di wilayah Asia Tenggara posisi Indonesia adalah peringkat 1 dengan kadar polusi udara tertinggi. Menurut pemantauan *Air Quality Live Index (AQLI)* kondisi kualitas udara di Indonesia terus mengalami penurunan dan memburuk. Sebanyak 91% penduduk tinggal di daerah dengan tingkat polusi udara yang

melebihi batas aman menurut ketetapan *World Health Organization (WHO)*. (6)

Kualitas pencemaran udara SO_2 di Sulawesi Selatan pada tahun 2019 dan 2020 menunjukkan bahwa konsentrasi tertinggi banyak ditemukan di sektor industri, Sebaliknya konsentrasi terendah tercatat di sektor transportasi, perkantoran/komersial, serta industri/agroindustri dan permukiman. Meskipun rata-rata konsentrasi SO_2 meningkat pada tahun 2020 dibandingkan tahun 2019, nilainya masih berada di bawah batas aman. Namun terdapat indikasi penurunan kualitas lingkungan di beberapa daerah berdasarkan analisis Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH), yang menunjukkan bahwa lebih banyak daerah mengalami kualitas udara yang kurang baik pada tahun 2020 dibandingkan tahun 2019. (7)

Kota Parepare menjadi salah satu wilayah yang tinggi tingkat pencemaran udara ambiennya. Baku mutu udara ambien konsentrasi SO_2 di Kota Parepare masih berada di bawah baku mutu udara ambien yang ditetapkan. Berdasarkan data tahun 2019, Kota Parepare tercatat memiliki konsentrasi SO_2 sebesar 35,98 $\mu g/m^3$ dari sektor industri, yang masih berada di bawah ambang batas baku mutu udara ambien nasional. Namun, Parepare masuk dalam kategori kualitas udara "kurang" dengan nilai Indeks Kualitas Udara (IKU) sebesar 60,04, sehingga tetap perlu mendapat perhatian dalam pengendalian pencemaran udara. Penelitian berjudul "Karakteristik Risiko Kesehatan Non Karsinogenik Akibat Paparan Gas SO_2 dan NO_2 pada Pemulung di TPA Jatibarang Kota Semarang" mengevaluasi risiko kesehatan

yang dihadapi oleh pemulung akibat paparan gas sulfur dioksida (SO_2). Meskipun konsentrasi rata-rata SO_2 (49,78 μg/Nm^3) di TPA Jatibarang masih di bawah baku mutu yang ditetapkan, nilai *Risk Quotient* kumulatif (RQ_kum) menunjukkan bahwa 98,70% pemulung memiliki RQ_kum > 1, yang mengindikasikan adanya risiko non-karsinogenik terhadap kesehatan mereka. (8) (9)

Sulfur dioksida (SO_2) adalah gas yang dapat mengiritasi saluran pernapasan dan menyebabkan gangguan pernapasan. Sulfur dioksida (SO_2) merupakan gas yang memiliki karakteristik tidak berwarna dan berbau tajam, apabila bereaksi dengan uap air di udara akan menjadi H2SO4 atau dikenal sebagai hujan asam yang dapat menimbulkan kerusakan baik material, benda, maupun tanaman, selain menyebabkan hujan asam SO_2 juga dapat mengurangi jarak pandang karena gas maupun partikel SO_2 mampu menyerap cahaya sehingga menimbulkan kabut. SO_2 di udara bersumber dari kegiatan transportasi pada kendaraan berbahan bakar solar dan emisi sumber tidak bergerak. Sumber emisi dominan SO_2 berasal dari emisi sumber tidak bergerak dengan bahan bakar batu bara, residu minyak bumi maupun cangkang kelapa sawit. (10)

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) adalah lokasi yang digunakan untuk menampung dan mengolah sampah sebagai bagian dari sistem pengelolaan limbah. Pemrosesan sampah menghasilkan berbagai gas yang berbahaya seperti CH_4, NH_3, N_2O, H_2S, CO_2, SO_2, dan NO_2 yang mampu mencemari udara dan mengakibatkan gangguan kesehatan. Gas sulfur dioksida (SO_2) adalah

salah satu gas berbahaya yang dapat dihasilkan di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) melalui pembakaran sampah dan proses pembusukan anaerobik yang menghasilkan hidrogen sulfida (H_2S), yang kemudian teroksidasi menjadi SO_2. Berdasarkan uraian tersebut, Saya memilih meneliti pencemaran udara SO_2 di TPA karena sumber pencemaran di lokasi ini masih sering terabaikan, padahal emisi gas seperti SO_2 juga dapat dihasilkan dari proses pembakaran terbuka sampah dan dekomposisi limbah organik yang mengandung belerang. (11)

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana estimasi risiko kesehatan *real time* dan *life time* pada pekerja akibat paparan sulfur dioksida (SO_2)?
2. Bagaimana gambaran pengelolaan risiko kesehatan pada pekerja akibat pajanan sulfur dioksida (SO_2)?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan Umum

Menganalisis risiko kesehatan akibat gas sulfur dioksida (SO_2) pada pekerja yang berakvitas di sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

Tujuan Khusus

1. Mengetahui estimasi risiko kesehatan *real time* dan *life time* pada pekerja akibat paparan sulfur dioksida (SO_2).

2. Mengetahui gambaran pengelolaan risiko kesehatan pada pekerja akibat pajanan sulfur dioksida (SO_2).

D. Manfaat Penelitian

Manfaat Teoritis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu kesehatan lingkungan, khususnya terkait resiko kesehatan gas sulfur dioksida (SO_2) di lingkungan Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

Manfaat Praktis

1. **Bagi Peneliti**

   Hasil penelitian ini diharapkan memperdalam pengetahuan penulis di bidang kesehatan lingkungan, khususnya terkait dampak paparan gas SO_2 terhadap kesehatan manusia, sehingga dapat menjadi referensi untuk penelitian serupa di masa mendatang.

2. **Bagi Pekerja**

   Hasil penelitian ini dapat memberikan informasi kepada pekerja di sekitar TPA mengenai resiko kesehatan akibat paparan gas SO_2, sehingga mereka dapat lebih waspada dan mengambil tindakan pencegahan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Telaah Pustaka

1. Pencemaran Udara

a. Pengertian Pencemaran Udara

Pencemaran udara terjadi ketika zat atau energi dari berbagai sumber masuk ke atmosfer dan menyebabkan penurunan kualitas udara hingga tidak dapat menjalankan fungsinya secara normal. Polusi udara merupakan kondisi di mana partikel fisik, senyawa kimia, maupun agen biologis berada di udara dalam jumlah yang membahayakan kesehatan manusia, hewan, serta tumbuhan. Secara umum, pencemaran udara dapat dipahami sebagai degradasi mutu udara sehingga fungsinya menurun dan tidak lagi dapat dimanfaatkan sebagaimana mestinya. (12)

b. Jenis Pencemaran Udara

Pencemaran udara dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu pencemaran udara primer dan sekunder. Pencemar primer adalah zat pencemar yang dilepaskan langsung dari sumbernya ke atmosfer. Sebagai contoh, sulfur dioksida (SO_2) diklasifikasikan sebagai pencemar primer karena berasal langsung dari proses pembakaran bahan bakar. Sebaliknya, pencemaran udara sekunder terbentuk melalui reaksi kimia di atmosfer antara berbagai polutan primer. Salah satu contohnya adalah ozon (O_3) yang muncul dalam fenomena smog fotokimia, yaitu kabut berwarna kecokelatan yang dihasilkan akibat interaksi radiasi sinar ultraviolet dengan atmosfer yang mengandung

VOC serta oksida nitrogen. Berdasarkan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), terdapat lima polutan utama yang dipantau, meliputi karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), ozon permukaan (O_3), dan partikulat debu berukuran ≤10 mikrometer (PM_{10}). (5)

c. Sumber Pencemaran Udara

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di era modern memberikan dampak besar terhadap meningkatnya pencemaran udara. Aktivitas manusia yang memanfaatkan teknologi canggih, didukung oleh bertambahnya jumlah industri bermesin serta kendaraan bermotor yang digunakan setiap hari, berkontribusi terhadap pelepasan berbagai zat berbahaya ke atmosfer. Emisi yang dihasilkan dari proses tersebut kemudian menjadi sumber utama penurunan kualitas udara. (3)

Pencemaran udara di daerah perkotaan sebagian besar dipicu oleh aktivitas manusia, antara lain kendaraan bermotor, kegiatan industri, pembuangan limbah domestik, serta pembakaran sampah. Emisi dari kendaraan pribadi menjadi kontributor utama karena jumlah penggunaannya terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan penduduk dan kemampuan ekonomi masyarakat. Di sisi lain, asap yang dihasilkan pabrik tanpa melalui mekanisme penyaringan emisi mengandung polutan berbahaya, seperti karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO_2), dan senyawa hidrokarbon. Faktor lain yang turut menyumbang polusi udara meliputi pembakaran bahan bakar fosil

(minyak bumi, batu bara, dan gas alam), aktivitas pertambangan, serta penggunaan pupuk berlebihan dalam sektor pertanian yang dapat melepaskan gas amonia. Selain aktivitas manusia, terdapat pula sumber pencemar alami seperti letusan gunung berapi maupun kebakaran hutan, meskipun dampaknya relatif lebih kecil dibandingkan aktivitas antropogenik. (13)

2. Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

a. Pengertian TPA

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan lokasi pengelolaan sampah pada tahap paling akhir setelah melalui proses pemilahan, pewadahan, pengumpulan, pengangkutan, hingga pengolahan dari berbagai sumber. TPA berfungsi sebagai area penimbunan sampah yang telah dikumpulkan, namun keberadaannya berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca akibat terjadinya dekomposisi anaerobik pada sampah organik di dalam timbunan. Sistem pengelolaan di TPA dapat dilakukan secara terbuka maupun tertutup, tergantung pada metode dan teknologi yang diterapkan dalam pengolahan sampah. (14)

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dapat dipahami sebagai fasilitas yang dirancang untuk mengolah serta mengembalikan sampah ke lingkungan dengan cara yang aman, baik bagi kesehatan manusia maupun kelestarian ekosistem. Namun, keberadaan TPA juga menimbulkan sejumlah dampak, khususnya terkait pencemaran

lingkungan. Apabila pengelolaan sampah di TPA tidak dilakukan dengan optimal, maka dapat memicu permasalahan lingkungan sekaligus membahayakan kesehatan masyarakat sekitar. Emisi gas beracun dan partikel yang dilepaskan dari TPA berkontribusi terhadap meningkatnya kasus infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), yang ditandai dengan gejala seperti batuk kronis, gangguan pernapasan, hingga menurunnya kualitas hidup. (15)

b. Proses Pembentukan Gas di TPA

Timbulan sampah diketahui menjadi salah satu sumber emisi gas rumah kaca, khususnya metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O), yang terbentuk melalui proses dekomposisi anaerobik bahan organik di dalam tumpukan sampah. Semakin besar volume sampah yang ditimbun di TPA tanpa adanya pengelolaan lanjutan, maka semakin tinggi pula potensi pelepasan emisi CH_4 dan N_2O. Kegiatan penimbunan sampah di TPA juga melepaskan gas rumah kaca lainnya, seperti karbon dioksida (CO_2), yang bersama dengan CH_4 dan N_2O berperan signifikan dalam mempercepat laju pemanasan global. (16) (14)

Pengelolaan sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) diketahui sebagai salah satu penyumbang utama emisi gas metana (CH_4) ke atmosfer. Gas ini dihasilkan dari proses dekomposisi bahan organik secara anaerob, yakni ketika material organik terurai dalam kondisi kekurangan oksigen sebagaimana yang umum terjadi di

timbunan sampah TPA. Metana memiliki potensi pemanasan global yang jauh lebih tinggi dibandingkan karbon dioksida (CO_2), sehingga perannya cukup besar dalam memperkuat efek rumah kaca serta mendorong terjadinya perubahan iklim. (17)

Pembakaran sampah yang dilakukan secara bertumpuk dan tidak teratur dapat menghasilkan emisi gas karbon dioksida (CO_2). Kondisi penumpukan sampah membuat oksigen (O_2) hanya tersedia pada lapisan permukaan, sementara bagian dalam mengalami kekurangan oksigen. Kekurangan oksigen tersebut mendorong terbentuknya CO_2 dalam jumlah besar yang berpotensi membahayakan kesehatan manusia dan, dalam kondisi ekstrem, bahkan dapat menyebabkan kematian. (18)

3. Sulfur Dioksida (SO2)

a. Pengertian Sulfur Dioksida (SO2)

Sulfur dioksida (SO_2) adalah gas bersifat iritan dapat menyebabkan gangguan pernapasan. Kadar tertinggi yang diperkenankan SO_2 di udara lingkungan kerja adalah 0,25 mg/m3, sedangkan baku mutu SO_2 di udara ambien untuk pengukuran selama 1 jam adalah 150 μg/m3. SO_2 merupakan oksida sulfur terbentuk dari proses pembakaran bahan bakar yang mengandung sulfur seperti bahan bakar fosil. Transport SO_2 dipengaruhi oleh stabilitas atmosfer, arah adanya kecepatan angin. Sulfur dioksida merupakan senyawa dengan life time panjang sehingga SO_2 tidak mudah mengalami transformasi bereaksi dengan senyawa

lain di atmosfer membentuk polutan sekunder. SO_2 termasuk salah satu polutan yang mampu menyebar lintas benua sering disebut sebagai global transport polutan. (19)

Di alam, SO_2 berada diudara akibat erupsi gunung berapi. Saat SO_2 masuk dilingkaran dan berada di udara maka dapat membentuk asam sulfit, sulfur trioksida, dan sulfat. Gas SO_2 dapat larut di dalam air dan membentuk asam sulfur bahkan tanah pun dapat menyerap SO_2. Sumber gas SO_2 di udara dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik, pembakaran, pertambangan dan pengolahan logam, sumber daerah (pemanasan domestic dan distrik), dan sumber bergerak (mesin diesel). (20)

b. Karakteristik Sulfur Dioksida (SO_2)

Sulfur dioksida (SO_2) merupakan gas yang memiliki karakteristik tidak berwarna dan berbau tajam, apabila bereaksi dengan uap air di udara akan menjadi H2SO4 atau dikenal sebagai hujan asam yang dapat menimbulkan kerusakan baik material, benda, maupun tanaman, selain menyebabkan hujan asam SO_2 juga dapat mengurangi jarak pandang karena gas maupun partikel SO_2 mampu menyerap cahaya sehingga menimbulkan kabut. SO_2 di udara bersumber dari kegiatan transportasi pada kendaraan berbahan bakar solar dan emisi sumber tidak bergerak. Sumber emisi dominan SO_2 berasal dari emisi sumber tidak bergerak dengan bahan bakar batu bara, residu minyak bumi maupun cangkang kelapa sawit. (10)

c. Sumber Pajanan Sulfur Dioksida (SO2)

Sumber pencemaran sulfur dioksida terbagi menjadi dua yaitu: sumber pencemaran alamiah dan sumber pencemaran buatan. Sumber buatan berasal dari gas, batu bara dan pembakaran minyak yang mengandung sulfur tinggi. Alamiah adalah gunung-gunung berapi, pembusukan bahan organik oleh mikroba dan reduksi sulfat secara biologis sedangkan sumber alami berasal dari pembusukan bahan organik, letusan gunung berapi dan reduksisulfat secara biologis. Berdasarkan sifat kimia, SO_2 merupakan gas berbau tajam, tidak dapat terbakar dan tidak berwarna. (21)

SO_2 di udara bersumber dari kegiatan transportasi pada kendaraan berbahan bakar solar dan emisi sumber tidak bergerak. Sumber emisi dominan SO_2 berasal dari emisi sumber tidak bergerak dengan bahan bakar batu bara, residu minyak bumi maupun cangkang kelapa sawit. SO_2 memberikan dampak negative pada kesehatan masyarakat yaitu iritasi saluran pernapasan dan penurunan fungsi paru dengan gejala batuk, sesak napas, dan meningkatkan penyakit asma. (10)

Polutan berbahaya bagi kesehatan manusia seperti Nitrogen Sulfur Dioksida (SO_2) banyak dihasilkan dari aktivitas kendaraan bermotor. Berbagai penelitian mengungkapkan kandungan polutan yang tinggi dapat menimbulkan gangguan pernapasan, iritasi mata, batuk, dan gangguan kesehatan lainnya. Pengaruh utama polutan SO_2 terhadap

manusia adalah iritasi pada sistem respirasi, dengan target utamanya menuju paru. (22)

d. Jalur Pajanan Sulfur Dioksida (SO2)

1) Inhalasi

Jalur ini terjadi ketika gas SO_2 (sulfur dioksida) masuk ke dalam tubuh melalui udara yang dihirup. Pajanan melalui inhalasi dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan, gangguan paru-paru, hingga kondisi serius seperti edema paru dan kematian, terutama jika terjadi dalam dosis tinggi atau dalam jangka waktu lama. Pajanan SO_2 dengan dosis tinggi menyebabkan iritasi mata, hidung, tenggorokan, sinus, edema paru, bahkan berujung pada kematian. Gas SO_2 dapat menyebabkan iritasi pada selaput lendir saluran pernapasan dan iritasi mata apabila terpapar dengan konsentrasi tinggi secara terus-menerus. Gas SO_2 apabila terhirup melalui pernapasan dan terakumulasi di dalam tubuh dapat menyebabkan gangguan fungsi paru, iritasi, dan asma dalam sistem pernapasan manusia. (23)

2) Dermal

Meskipun belum banyak publikasi dan penelitian ilmiah yang menjelaskan dampak polusi udara terhadap kesehatan kulit, polutan-polutan ini diduga memiliki mekanisme yang berbeda-beda dalam menyebabkan kerusakan pada kulit. Meskipun banyak penelitian lebih berfokus pada dampak polusi udara pada sistem pernapasan

dan jantung, ada bukti bahwa organ lain seperti usus, hati, dan ginjal termasuk kulit juga dapat terpengaruh setelah paparan berulang. Kulit yang merupakan organ terluas dalam tubuh manusia dan menjadi lapisan pertahanan pertama seringkali terkena polutan secara langsung. Paparan berulang dan sering terhadap polutan tingkat tinggi mungkin mempunyai efek buruk pada kulit, yang mencakup hubungan dengan atau menyebabkan penuaan dini, photodamage, lentigo solaris, melasma, dan peningkatan insiden dermatitis atopik, psoriasis, kanker kulit, dan jerawat. (2)

e. Estimasi Risiko Kesehatan Akibat Paparan SO_2

Pencemaran udara memiliki dampak terhadap kesehatan baik secara jangka pendek maupun jangka panjang.

1) *Real Time*

Pajanan SO_2 dalam jangka waktu singkat berkaitan dengan penyakit pernapasan pada anak-anak dan usia dewasa, terutama pada penderita asma dan lansia. Pada konsentrasi 20 ppm gas SO_2 mampu mengakibatkan timbulnya iritasi pada tenggorokan, hidung, mata, edema paru, sinus, hingga kematian. (11)

Efek lainnya yaitu mengakibatkan iritasi pada bagian saluran pernapasan serta menurunkan kinerja paru-paru yang mengakibatkan batuk dan sesak napas. Paparan jangka pendek

terhadap polutan udara terkait erat dengan COPD (*Chronic Obstructive Pulmonary Disease*), batuk, sesak napas, mengi, asma, penyakit pernapasan, dan tingkat rawat inap yang tinggi (morbiditas). (4)

3) Life Time

Paparan jangka panjang mampu menyebabkan asma, bronktis, dan gejala pernapasan hingga menyebabkan kematian. Adapun efek jangka panjang yang terkait dengan polusi udara seperti asma kronis, insufisiensi paru, penyakit kardiovaskular, dan kematian akibat kardiovaskular. (11)

f. Dampak Sulfur Dioksida Pada Kesehatan

Salah satu gas berbahaya yang dihasilkan dari industri adalah SO_2, yang memiliki dampak negatif signifikan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Emisi SO_2 dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk iritasi pernapasan, serta berkontribusi terhadap pembentukan hujan asam dan kerusakan tanaman. Pada konsentrasi yang sangat tinggi dapat menimbulkan kematian. (24)

1) akut

Paparan akut terhadap gas sulfur dioksida (SO_2) terjadi dalam waktu singkat namun dengan konsentrasi yang tinggi. Efek yang ditimbulkan dapat berupa bersin, iritasi tenggorokan, sesak napas, nyeri dada, laringospasme (kejang pita suara), dan edema paru.

Gejala ini biasanya muncul secara tiba-tiba dan dapat membahayakan sistem pernapasan, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, dan penderita asma. (23)

2) kronis

Paparan kronis adalah paparan jangka panjang terhadap SO_2 dalam konsentrasi rendah namun berulang. Efeknya meliputi perubahan kemampuan indra penciuman serta gangguan fungsi paru-paru yang bisa berkembang secara perlahan. Meskipun begitu, menurut Badan Internasional untuk Penelitian Kanker (IARC), hingga saat ini SO_2 belum diklasifikasikan sebagai zat karsinogenik pada manusia, namun tetap berisiko terhadap kesehatan pernapasan jika terpapar dalam waktu lama. (23)

g. Pengukuran Sulfur Dioksida

Pengukuran konsentrasi SO_2 di udara dilakukan menggunakan metode SNI 7119-7:2017 berbasis metode *West-Gaeke* dengan larutan penjerap tetrakloromerkurat (TCM) dan analisis menggunakan pararosanilin. Proses analisis dilakukan dalam dua tahap, yaitu pembentukan senyawa kompleks berwarna ungu melalui reaksi antara SO_2, pararosanilin, dan formaldehid, serta penambahan EDTA untuk membentuk senyawa stabil terhadap oksidan di udara. Metode ini mampu mendeteksi konsentrasi SO_2 dalam rentang 0,005–5 ppm. Untuk menghindari interferensi, ozon dihilangkan dengan delay time, oksida nitrogen dengan asam

sulfamat, dan logam transisi seperti besi, mangan, serta krom dengan penambahan EDTA. (19)

4. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

a. Identifikasi Bahaya

Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*) adalah tahap awal Analisis Risiko Kesehatan Ling-kungan (ARKL) untuk mengetahui sumber risiko. Informasinya bisa ditelusuri dari sumber dan pengguaan risk agent memakai pendekatan *agen oriented.*

b. Analisis Dosis Respon

Analisis dosis-respon, disebut juga *dose-response assesment* atau *toxicity assesment*, menetapkan nilai –nilai kuantitatif toksitas *risk agent* untuk setiap bentuk spesi kimianya. Toksisi-tas dinyatakan sebagai dosis referensi (*refenrence dose, RFD*) untuk efek –efek nonkarsinogenik dan *Cancer Stope Factor* (CSF)atau *Cancer Unit Risk* (CCR) untuk efek –efek karsinogenik. Analisis dosis-respon meupakan tahapan paling menentukan kare-na Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (AKRL) han-ya bisa dilakukan untuk risk agent yang sudah ada dosis-responnya

c. Analisis Pemajanan

Analisis pemajanan atau *exposure assesment* atau yang disebut juga penilaian kontak bertujuan untuk mengenali jalur –jalur pajanan *Risk Agent* agar jumlah asupan yang diterima individu dalam

populasi berisiko bisa. Adapun intake atau asupan dari agen risiko perhitungan intake dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\boldsymbol{I = \frac{CA \text{ x } IR \text{ x } ET \text{ x } EF \text{ x } ED}{BB \text{ x } AT}}$$

Keterangan :

CA	: Konsentrasi zat pencemar di udara (mg/m3)
IR	: Laju inhalasi (m3/jam)
ET	: Waktu pajanan (jam/hari)
EF	: Frekuensi pajanan (hari/tahun)
ED	: Durasi pajanan (tahun)
BB	: Berat badan responden (kg)
AT	: Rata-rata waktu [Real time: 365 x jam kerja, Lifetime: 365 x 70]

d. Karakteristik Risiko

Karakteristik risiko kesehatan dijelaskan menggunakan pendekatan *Risk Quotient* (RQ). Tingkat risiko untuk efek-efek non-karsinogenik dihitung dengan membagi dosis paparan harian (Intake) dengan *Reference Concentration* (RfC), yaitu:

$$RQ = \frac{\mathrm{I}}{\mathrm{RfC}}$$

Di mana:

1. RQ adalah *Risk Quotient* (nilai perbandingan risiko)
2. Intake adalah dosis paparan harian (mg/kg/hari)

3. RfC adalah Reference Concentration (konsentrasi harian zat kimia di udara)

Interpretasi Nilai RQ:

1. RQ > 1

   Artinya, konsumsi atau paparan zat melebihi batas aman, sehingga berpotensi menimbulkan risiko kesehatan. Dalam hal ini, pengendalian risiko diperlukan untuk menurunkan tingkat paparan.

2. RQ < 1

   Artinya, konsentrasi atau dosis paparan zat berada di bawah ambang batas yang ditentukan. Zat tersebut tidak menimbulkan efek merugikan terhadap kesehatan, dan risikonya dapat dianggap dapat diterima.

3. RQ = 1

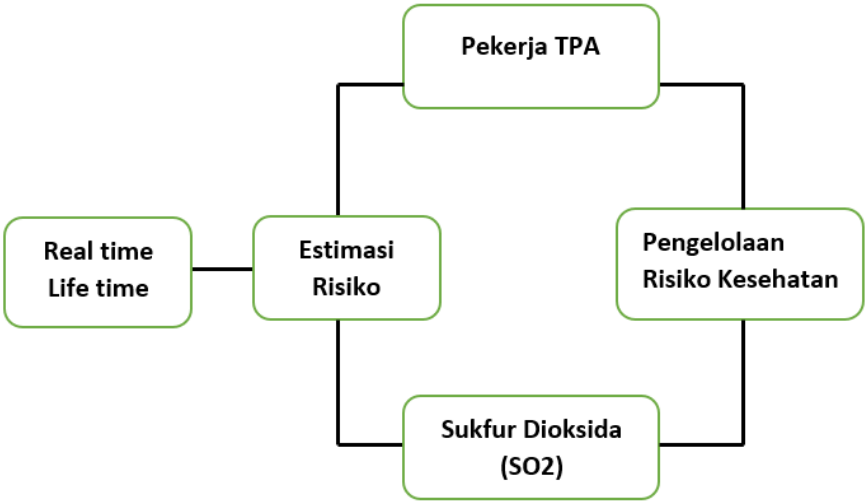
   Artinya, paparan zat berada tepat pada batas aman. Meskipun tidak perlu dilakukan pengendalian secara langsung, namun tetap diperlukan monitoring dan evaluasi agar nilai RQ tidak melebihi ambang batas. Nilai kuantitatif ini dapat digunakan sebagai dasar untuk merumuskan strategi manajemen risiko kesehatan dan menentukan prioritas pengendalian terhadap agen pencemar. (25)

B. Kerangka Teori



Gambar 1. Kerangka Teori

C. Kerangka Pikir



Gambar 2. Kerangka Pikir

BAB III METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif analitik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis estimasi risiko kesehatan akibat paparan gas sulfur dioksida (SO_2) pada pekerja di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Aloppoe Kota Parepare. Pengukuran konsentrasi SO_2 dilakukan dengan menggunakan data sekunder dari citra satelit *Google Earth Engine*, serta didukung dengan data primer melalui kuesioner dan observasi langsung di lapangan.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Aloppoe yang terletak di Kelurahan Lapadde, Kecamatan Ujung, Kota Parepare, Sulawesi Selatan. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung selama kurang lebih satu bulan, yaitu pada bulan juni 2025.

C. Populasi dan Sampel

1. Populasi

   Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh pekerja yang berada di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Aloppoe, Kota Parepare, dengan jumlah 62 responden. Populasi tersebut terdiri atas 1 orang pengawas TPA, 11 orang petugas pengangkut sampah, dan 50 orang pemulung yang secara rutin beraktivitas di area TPA.

2. Sampel

Sampel penelitian ini ditentukan dengan teknik total sampling, yaitu seluruh anggota populasi yang memenuhi kriteria inklusi dijadikan sebagai responden. Kriteria inklusi dalam penelitian ini adalah pekerja yang telah bekerja di TPA Aloppoe selama lebih dari satu tahun, sehingga diharapkan mampu memberikan gambaran yang lebih representatif terkait pajanan lingkungan kerja. Dengan demikian, jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 62 responden sesuai dengan populasi yang memenuhi kriteria.

D. Definisi Operasional Variabel

Tabel 1 Definisi Operasional

Variabel	Definisi Operasional	Satuan Ukur
Konsentrasi SO2	Jumlah kandungan gas sulfur dioksida di udara lingkungan kerja	mg/m^3
Laju Inhalasi (IR)	Volume udara yang dihirup oleh responden per hari	m^3/hari
Waktu Pajanan (ET)	Durasi pajanan per hari saat bekerja	Jam/hari
Frekuensi Pajanan (EF)	Banyaknya hari kerja dalam satu minggu	hari/minggu
Durasi Pajanan (ED)	Lama bekerja di lokasi TPA	tahun
Berat Badan (BB)	Berat badan responden saat pengukuran	Kg
Rata-Rata Waktu (AT)	Jumlah hari dalam periode waktu pajanan	Hari
Risk Quotient (RQ)	Perbandingan antara nilai intake dengan RfC	-

E. Instrumen Penelitian

1. Alat Ukur Konsentrasi SO_2: Data sekunder diperoleh dari platform *Google Earth Engine* untuk mengetahui konsentrasi gas SO_2 di area penelitian.

2. Kuesioner: Digunakan untuk memperoleh informasi mengenai aktivitas kerja, berat badan, dan riwayat kerja responden.

3. Observasi Langsung: Digunakan untuk mencatat kondisi lingkungan kerja dan mendukung validitas data.

F. Teknik Pengumpulan Data

1. Data Primer: Dikumpulkan melalui observasi, pengukuran berat badan, dan penyebaran kuesioner terkait pajanan dan kesehatan pernapasan.
2. Data Sekunder: Meliputi data konsentrasi SO_2 dari *Google Earth Engine*.

G. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), yang meliputi:

1. Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*) Menentukan bahwa SO, adalah agen pencemar utama yang berisiko terhadap kesehatan pekerja.
2. Penilaian Pajanan (*Exposure Assessment*) Menghitung dosis harian atau intake menggunakan rumus:

$$I = \frac{\mathbf{CA \times IR \times ET \times EF \times ED}}{\mathbf{BB \times AT}}$$

Dimana:

CA = Konsentrasi SO_2 (mg/m^3)

IR = Laju inhalasi (m^3/jam)

ET = Waktu pajanan (jam/hari)

EF = Frekuensi pajanan (hari/tahun)

ED = Durasi pajanan (tahun)

BB = Berat badan (kg)

AT = Rata-rata waktu (hari) [Real time: 365 x jam kerja, Lifetime: 365 x 70]

3. Penilaian Risiko (*Risk Characterization*) Menentukan besarnya risiko non-karsinogenik dengan perhitungan *Risk Quotient* (RQ): RQ Intake RfC

$$RQ = \frac{\mathrm{I}}{\mathrm{RfC}}$$

Interpretasi:

RQ < 1: Risiko dapat diterima.

RQ = 1: Risiko pada batas aman, monitoring dibutuhkan.

RQ > 1: Risiko tidak dapat diterima, diperlukan tindakan pengendalian.

4. Pengelolaan Risiko (*Risk Management*) Memberikan rekomendasi pengendalian sesuai hasil analisis, seperti penggunaan APD.

Dengan menggunakan metode ini, penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran kuantitatif mengenai tingkat risiko kesehatan yang dialami pekerja di TPA Aloppoe akibat paparan SO, dan menjadi dasar untuk pengambilan kebijakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Aloppoe terletak di Kelurahan Lapadde, Kecamatan Ujung, Kota Parepare, Sulawesi Selatan. TPA ini merupakan fasilitas utama pengelolaan sampah Kota Parepare yang telah beroperasi selama 13 tahun. Lokasi ini dapat dijangkau melalui jalur darat dari pusat kota dengan waktu tempuh sekitar 15-20 menit. Secara geografis, TPA Aloppoe berada pada koordinat 4°0’32.0” Lintang Selatan dan 119°37’5.0” Bujur Timur. Lokasinya dikelilingi oleh perbukitan serta dekat dengan permukiman dan lahan pertanian warga, sehingga menimbulkan kekhawatiran akan dampak pencemaran udara, air, dan tanah.

2. Hasil Penelitian

a. Karakteristik Responden

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa responden memiliki karakteristik yang bervariasi berdasarkan jenis kelamin, usia, berat badan, dan jenis pekerjaan di TPA. Perbedaan jenis kelamin memengaruhi kapasitas kerja fisik dan tingkat paparan, di mana laki-laki umumnya menempati pekerjaan yang lebih berat. Rentang usia responden mulai dari usia produktif muda hingga menjelang lanjut usia, yang berpengaruh terhadap daya tahan tubuh dan kerentanan terhadap penyakit. Variasi berat badan juga menjadi indikator kesehatan fisik yang dapat memengaruhi kekuatan serta risiko gangguan akibat

paparan polutan. Selain itu, jenis pekerjaan di TPA seperti pemilah sampah atau pengangkut sampah menentukan tingkat kontak langsung dengan sumber pencemar, di mana pekerja yang lebih sering berada di zona pembuangan terbuka memiliki risiko paparan lebih tinggi dibanding yang bekerja di area penunjang. Berikut hasil penelitian terkait dengan karakteristik responden:

Tabel 2 Karakteristik Responden Berdasarkan Jenis Kelamin, Umur, Berat Badan, dan Jenis Pekerjaan

Karakteristik Responden	n	%
Jenis Kelamin		
Laki-Laki	30	48,39
Perempuan	32	51,61
Usia (Tahun)		
14-25	10	16,13
26-35	21	33,87
36-45	13	20,97
46-55	11	17,74
56-65	4	6,45
66-75	3	4,84
Berat Badan		
30-40	8	12,90
41-50	15	24,20
51-60	28	45,16
> 70	11	17,74
Jenis Pekerjaan		
Pemilah Sampah	50	80,65
Pengangkut Sampah	11	17,74
Pengawas TPA	1	1,61

Karakteristik responden dalam penelitian ini meliputi jenis kelamin, usia, berat badan, dan jenis pekerjaan dengan total responden sebanyak 62 orang. Berdasarkan jenis kelamin, mayoritas responden adalah perempuan sebanyak 32 orang (51,61%) dan laki-laki sebanyak 30 orang (48,39%). Rentang usia responden bervariasi, dengan kelompok usia terbanyak berada

pada rentang 26–35 tahun sebanyak 21 orang (33,87%), dan paling sedikit kelompok usia 56–65 tahun sebanyak 3 orang (6,45%). Sebagian besar responden memiliki berat badan pada rentang 51–60 kg sebanyak 28 orang (45,16%), kemudian 41–50 kg (24,20%), 30–40 kg (12,90%), >70 kg (17,74%). Berdasarkan jenis pekerjaan, mayoritas responden bekerja sebagai pemilah sampah sebanyak 50 orang (80,65%), pengangkut sampah sebanyak 11 orang (17,74%), dan pengawas TPA 1 orsng (1,61%). Hasil ini menunjukkan bahwa responden didominasi oleh perempuan usia produktif dengan aktivitas utama sebagai pemilah sampah, yang memiliki potensi tinggi terhadap paparan bahan berbahaya seperti sulfur dioksida (SO_2) di lingkungan TPA.

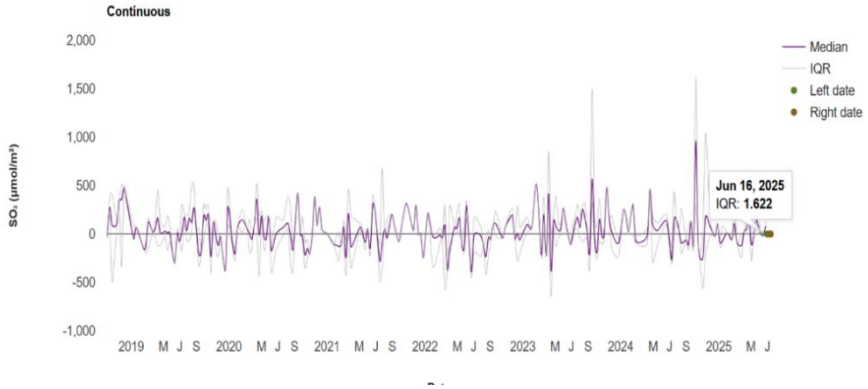
b. Estimasi Risiko Kesehatan *Real Time* dan *Life Time* Sulfur Dioksida

1) Paparan SO_2 di TPA

Konsentrasi SO_2 diukur menggunakan data citra satelit *Google Earth Engine* pada tanggal 16 Juni 2025. *Google Earth Engine* (GEE) memudahkan penelitian karena mampu menyediakan data citra satelit dan kualitas udara secara cepat dengan cakupan wilayah yang luas. Platform ini dapat menampilkan kondisi polusi udara saat ini maupun data beberapa tahun sebelumnya, sehingga perubahan dari waktu ke waktu bisa dianalisis. Proses pengolahan data dilakukan menggunakan sistem *cloud computing* sehingga hasilnya diperoleh lebih cepat tanpa memerlukan perangkat berkapasitas besar. Selain itu, GEE dapat menampilkan peta sebaran polusi

dengan visualisasi yang jelas, sehingga memudahkan identifikasi area dengan konsentrasi tinggi.

Hasil pengukuran menunjukkan nilai konsentrasi SO_2 sebesar 0,001622 mg/m³. Nilai ini masih berada jauh di bawah baku mutu udara ambien yang ditetapkan oleh PermenLHK No. 14 Tahun 2020, yaitu 150 µg/m³ untuk waktu pajanan 1 jam. Dapat dilihat pada gambar konsetrasi gas SO_2 di TPA Aloppoe.



Gambar 3. Google Earth Engine

Konsentrasi gas SO_2 awalnya dinyatakan dalam satuan mikrogram per meter kubik (µg/m³). Untuk menyesuaikan dengan standar satuan dalam perhitungan pajanan (CA) pada rumus Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), satuan tersebut kemudian dikonversi ke dalam miligram per meter kubik (mg/m³) menggunakan rumus berikut:

$$\mathrm{mg/m^3} = \frac{\mu\mathrm{g/m^3}}{1000}$$

Dengan demikian, nilai 1.622 µg/m³ dikonversi menjadi

$$\frac{1.622}{1000} = 0.001622\, mg/\mathrm{m}^3$$

2) Laju Inhalasi

Laju inhalasi (*Inhalation Rate/IR*) merupakan volume udara yang dihirup seseorang dalam satuan waktu tertentu dan menjadi salah satu komponen penting dalam perhitungan intake pajanan zat pencemar melalui jalur pernapasan. Nilai IR dipengaruhi oleh aktivitas fisik, usia, jenis kelamin, serta kondisi kesehatan individu. Dalam penelitian ini digunakan nilai IR berdasarkan acuan *United States Environmental Protection Agency (US EPA)***,** yaitu 0,83 m3/jam untuk orang dewasa dengan aktivitas ringan. Nilai tersebut kemudian dikalikan dengan lama waktu kerja responden (ET) untuk mendapatkan volume udara yang terhirup per hari di lokasi penelitian.

3) Waktu Pajanan

Waktu pajanan harian (*exposure time per day*) merupakan lama waktu pekerja berada di lingkungan TPA yang berpotensi mengandung paparan sulfur dioksida (SO_2). Berdasarkan hasil wawancara dan pengisian kuesioner, diketahui bahwa waktu kerja pekerja bervariasi antara 5 hingga 20 jam per hari, tergantung pada jenis pekerjaan dan tanggung jawab masing-masing.

4) Frekuensi Pajanan

Frekuensi pajanan (*exposure frequency*) merupakan jumlah hari dalam setahun dimana pekerja secara aktif terpapar zat berbahaya, dalam

hal ini sulfur dioksida (SO_2), di lokasi kerja. Berdasarkan hasil wawancara dan observasi di lapangan, diketahui bahwa sebagian besar pekerja di TPA Allopoe bekerja setiap hari, termasuk akhir pekan dan hari libur nasional.

5) Durasi Pajanan

Durasi pajanan (*exposure duration*) adalah lamanya waktu, dalam satuan tahun, seorang pekerja telah bekerja di lingkungan yang mengandung paparan sulfur dioksida (SO_2). Berdasarkan data hasil wawancara dan kuesioner, diketahui bahwa durasi kerja pekerja TPA Allopoe bervariasi antara 1 tahun hingga 21 tahun, tergantung pada lama pengabdian masing-masing individu.

6) Berat Badan

Berat badan (*body weight*) merupakan salah satu parameter penting, Nilai berat badan digunakan untuk menyesuaikan jumlah zat yang masuk ke tubuh berdasarkan massa tubuh masing-masing individu. Hasil pengumpulan data menunjukkan bahwa berat badan pekerja di TPA Aloppoe memiliki rentang antara 31 kg (terendah) hingga 75 kg (tertinggi).

7) Perhitungan Intake *Real Time* dan *Life Time*

Untuk memperoleh gambaran seberapa besar paparan harian gas sulfur dioksida (SO_2) yang dialami oleh para pekerja, dilakukan perhitungan intake *Real Time* dan *Life Time* nya. Estimasi ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL),

sebagaimana tercantum dalam pedoman milik US EPA (1989) serta Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 736 Tahun 2010.

Penghitungan intake mempertimbangkan sejumlah parameter, yakni konsentrasi SO_2 di udara (CA), laju inhalasi individu (IR), durasi paparan per hari (ET), frekuensi paparan dalam satu tahun (EF), durasi total pajanan dalam tahun (ED), berat badan individu (BB), serta waktu rata-rata paparan atau *Averaging Time* (AT). Keseluruhan variabel ini dimasukkan ke dalam rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{CA \text{ x } IR \text{ x } ET \text{ x } EF \text{ x } ED}{BW \text{ x } AT}$$

CA = Konsentrasi zat pencemar di udara (mg/m^3)

IR = Laju inhalasi (m^3/jam)

ET = Lama pajanan per hari (jam/hari)

EF = Frekuensi pajanan dalam setahun (hari/tahun)

ED = Durasi pajanan (tahun)

BW = Berat badan (kg)

AT = Waktu rata-rata pajanan (hari), dengan:

- Real time: AT = ED x 365
- Life time AT = 70 x 365 = 25.550

Rumus ini digunakan untuk menghitung estimasi jumlah zat pencemar (dalam hal ini SO_2) yang masuk ke dalam tubuh pekerja setiap harinya selama masa pajanan, baik dalam skala waktu aktual (*real time*) maupun skala seumur hidup (*life time*). Hasil perhitungan intake kemudian dijadikan dasar dalam evaluasi risiko kesehatan melalui nilai *Risk Quotient* (RQ). Tabel dibawah ini menyajikan nilai karakteristik responden.

Tabel 3 Nilai Karakteristik Responden

NM	JK	CA (SO2)	IR (m3/hr)	ET (jam/hr)	BB (kg)	ED (thn)	EF (hr/thn)	AT Real Time	AT Life Time
sa	L	0,001622	0,83	8	60	2	365	730	25.550
ac	L	0,001622	0,83	10	54	1	365	365	25.550
am	L	0,001622	0,83	10	52	7	365	2555	25.550
sl	L	0,001622	0,83	10	55	2	365	730	25.550
kr	L	0,001622	0,83	10	47	1	365	365	25.550
an	L	0,001622	0,83	5	31	1	365	365	25.550
ji	L	0,001622	0,83	5	26	1	365	365	25.550
ka	L	0,001622	0,83	10	53	1	365	365	25.550
ha	L	0,001622	0,83	10	56	3	365	1095	25.550
ki	L	0,001622	0,83	11	52	2	365	730	25.550
ed	L	0,001622	0,83	11	42	6	365	2190	25.550
pe	L	0,001622	0,83	11	57	3	365	1095	25.550
ma	L	0,001622	0,83	10	44	5	365	1825	25.550
ai	L	0,001622	0,83	11	58	7	365	2555	25.550
ro	L	0,001622	0,83	11	36	4	365	1460	25.550
fe	L	0,001622	0,83	11	39	2	365	730	25.550
an	L	0,001622	0,83	11	32	3	365	1095	25.550
sk	P	0,001622	0,83	8	54	20	365	7300	25.550
ir	P	0,001622	0,83	12	41	3	365	1095	25.550
fi	P	0,001622	0,83	1	40	2	365	730	25.550
sm	P	0,001622	0,83	12	48	2	365	730	25.550
is	L	0,001622	0,83	12	57	1	365	365	25.550
sp	L	0,001622	0,83	7	50	3	365	1095	25.550
su	P	0,001622	0,83	11	62	1	365	365	25.550
sn	P	0,001622	0,83	20	71	20	365	7300	25.550
al	L	0,001622	0,83	7	64	28	365	10220	25.550
ei	L	0,001622	0,83	7	68	4	365	1460	25.550
ar	L	0,001622	0,83	6	51	3	365	1095	25.550
mk	L	0,001622	0,83	5	57	5	365	1825	25.550
ai	L	0,001622	0,83	6	33	1	365	365	25.550
ko	L	0,001622	0,83	7	53	3	365	1095	25.550
sd	L	0,001622	0,83	7	72	4	365	1460	25.550
ac	L	0,001622	0,83	5	56	2	365	730	25.550
si	L	0,001622	0,83	7	75	3	365	1095	25.550
sw	P	0001622	0,83	8	62	6	365	2190	25.550
er	P	0,001622	0,83	10	56	2	365	730	25.550
sy	P	0,001622	0,83	9	54	4	365	1460	25.550
sr	P	0,001622	0,83	11	45	1	365	365	25.550
im	P	0,001622	0,83	10	55	3	365	1095	25.550
mr	P	0,001622	0,83	9	66	7	365	2555	25.550
rm	P	0,001622	0,83	9	43	1	365	365	25.550
rd	P	0,001622	0,83	8	47	1	365	365	25.550

hs	P	0,001622	0,83	8	50	3	365	1095	25.550
nr	P	0,001622	0,83	11	57	4	365	1460	25.550
ft	P	0,001622	0,83	13	55	3	365	1095	25.550
id	P	0,001622	0,83	10	64	5	365	1825	25.550
dw	P	0,001622	0,83	11	56	5	365	1825	25.550
de	P	0,001622	0,83	6	53	3	365	1095	25.550
ds	P	0,001622	0,83	8	64	4	365	1460	25.550
em	P	0,001622	0,83	11	68	6	365	2190	25.550
mi	P	0,001622	0,83	9	58	4	365	1460	25.550
tn	P	0,001622	0,83	8	51	6	365	2190	25.550
my	P	0,001622	0,83	10	49	2	365	730	25.550
jh	P	0,001622	0,83	7	42	1	365	365	25.550
sur	P	0,001622	0,83	8	45	2	365	730	25.550
sar	P	0,001622	0,83	10	58	4	365	1460	25.550
mt	P	0,001622	0,83	10	61	9	365	3285	25.550
nb	P	0,001622	0,83	9	60	6	365	2190	25.550
ec	P	0,001622	0,83	11	32	1	365	365	25.550
tu	P	0,001622	0,83	11	63	8	365	2920	25.550
at	P	0,001622	0,83	10	58	6	365	2190	25.550
rm	L	0,001622	0,83	5	52	3	156	1095	25.550

Data pada tabel 3 menjadi input utama dalam perhitungan Intake dan RQ. Variasi nilai pada kolom IR, ET, BB, ED, dan EF mencerminkan perbedaan kondisi individu, jenis pekerjaan, dan lama paparan. Nilai AT *Real Time* berbeda antar responden karena dipengaruhi langsung oleh ED, sedangkan AT *Life Time* nilainya tetap untuk semua responden sesuai asumsi perhitungan pajanan seumur hidup. Tabel di bawah ini menyajikan nilai intake *Real Time* dan *Life Time* yang dihitung berdasarkan karateristik masing-masing responden.

Tabel 4 Hasil Perhitungan Nilai Intake Real Time dan Life TIme

CAxIRxETxEFxED	BBxAT RT	BBxAT LT	I RT	I LT
7,8621584	43.800	1.533.000	0,00017950	0,00000513
4,913849	19.710	1.379.700	0,00024931	0,00000356
34,396943	132.860	1.328.600	0,00025890	0,00002589
9,827698	40.150	1.405.250	0,00024477	0,00000699
4,913849	17.155	1.200.850	0,00028644	0,00000409
2,4569245	11.315	792.050	0,00021714	0,00000310
2,4569245	9.490	664.300	0,00025890	0,00000370
4,913849	19.345	1.354.150	0,00025401	0,00000363
14,741547	61.320	1.430.800	0,00024040	0,00001030
10,8104678	37.960	1.328.600	0,00028479	0,00000814
32,4314034	91.980	1.073.100	0,00035259	0,00003022
16,2157017	62.415	1.456.350	0,00025980	0,00001113
24,569245	80.300	1.124.200	0,00030597	0,00002185
37,8366373	148.190	1.481.900	0,00025533	0,00002553
21,6209356	52.560	919.800	0,00041136	0,00002351

10,8104678	28.470	996.450	0,00037971	0,00001085
16,2157017	35.040	817.600	0,00046278	0,00001983
78,621584	394.200	1.379.700	0,00019945	0,00005698
17,6898564	44.895	1.047.550	0,00039403	0,00001689
0,9827698	29.200	1.022.000	0,00003366	0,00000096
11,7932376	35.040	1.226.400	0,00033657	0,00000962
5,8966188	20.805	1.456.350	0,00028342	0,00000405
10,3190829	54.750	1.277.500	0,00018848	0,00000808
5,4052339	22.630	1.584.100	0,00023885	0,00000341
196,55396	518.300	1.814.050	0,00037923	0,00010835
96,3114404	654.080	1.635.200	0,00014725	0,00005890
13,7587772	99.280	1.737.400	0,00013859	0,00000792
8,8449282	55.845	1.303.050	0,00015838	0,00000679
12,2846225	104.025	1.456.350	0,00011809	0,00000844
2,9483094	12.045	843.150	0,00024477	0,00000350
10,3190829	58.035	1.354.150	0,00017781	0,00000762
13,7587772	105.120	1.839.600	0,00013089	0,00000748
4,913849	40.880	1.430.800	0,00012020	0,00000343
10,3190829	82.125	1.916.250	0,00012565	0,00000539
23,5864752	135.780	1.584.100	0,00017371	0,00001489
9,827698	40.880	1.430.800	0,00024040	0,00000687
17,6898564	78.840	1.379.700	0,00022438	0,00001282
5,4052339	16.425	1.149.750	0,00032909	0,00000470
14,741547	60.225	1.405.250	0,00024477	0,00001049
30,9572487	168.630	1.686.300	0,00018358	0,00001836
4,4224641	15.695	1.098.650	0,00028178	0,00000403
3,9310792	17.155	1.200.850	0,00022915	0,00000327
11,7932376	54.750	1.277.500	0,00021540	0,00000923
21,6209356	83.220	1.456.350	0,00025980	0,00001485
19,1640111	60.225	1.405.250	0,00031821	0,00001364
24,569245	116.800	1.635.200	0,00021035	0,00001503
27,0261695	102.200	1.430.800	0,00026444	0,00001889
8,8449282	58.035	1.354.150	0,00015241	0,00000653
15,7243168	93.440	1.635.200	0,00016828	0,00000962
32,4314034	148.920	1.737.400	0,00021778	0,00001867
17,6898564	84.680	1.481.900	0,00020890	0,00001194
23,5864752	111.690	1.303.050	0,00021118	0,00001810
9,827698	35.770	1.251.950	0,00027475	0,00000785
3,4396943	15.330	1.073.100	0,00022438	0,00000321
7,8621584	32.850	1.149.750	0,00023934	0,00000684
19,655396	84.680	1.481.900	0,00023211	0,00001326
44,224641	200.385	1.558.550	0,00022070	0,00002838
26,5347846	131.400	1.533.000	0,00020194	0,00001731
5,4052339	11.680	817.600	0,00046278	0,00000661
43,2418712	183.960	1.609.650	0,00023506	0,00002686
29,483094	168.780	1.481.900	0,00017468	0,00001990
3,1502484	56.940	1.328.600	0,00005533	0,00000237

Tabel 4 menyajikan hasil perhitungan intake pekerja TPA Aloppoe untuk dua waktu pajanan, yaitu *real time* dan *life time.* Perhitungan dilakukan dengan mengalikan konsentrasi SO_2 di udara (CA), laju inhalasi (IR), waktu pajanan harian (ET), frekuensi pajanan tahunan (EF), dan durasi kerja (ED), kemudian dibagi dengan hasil perkalian berat badan (BB) dan *average time* (AT) sesuai skenario. Nilai intake *real time* pada umumnya

lebih tinggi dibandingkan intake *life time* karena periode pajanan yang lebih singkat menghasilkan angka intake per hari yang relatif besar. Variasi nilai intake antar responden dipengaruhi oleh perbedaan waktu pajanan harian, durasi kerja, dan berat badan, di mana pekerja dengan jam kerja lebih lama, masa kerja lebih panjang, serta berat badan lebih rendah cenderung memiliki nilai intake lebih tinggi, yang menunjukkan tingkat paparan SO_2 per kilogram berat badan lebih besar.

Untuk mengetahui tingkat risiko kesehatan yang mungkin dialami oleh pekerja akibat pajanan gas sulfur dioksida (SO_2), dilakukan perhitungan nilai *Risk Quotient* (RQ). RQ merupakan perbandingan antara dosis pajanan yang diterima individu dengan nilai ambang batas aman atau *Reference Concentration* (RfC) yang ditetapkan oleh lembaga otoritatif seperti US EPA.

Rumus perhitungan RQ adalah sebagai berikut:

$$RQ = \frac{I}{RfC}$$

Nilai *Reference Concentration* (RfC) untuk SO_2 dari US EPA adalah 0,0026 mg/kg/hari (26)

$$RQ = \frac{I}{0{,}0026}$$

Dimana: RQ = *Risk Quotient* (indeks risiko)

I = Intake (mg/kg/hari)

RfC = *Reference Concentration* (ambang batas aman paparan, dalam mg/kg/hari).

Nilai RQ digunakan untuk menilai apakah paparan SO_2 terhadap pekerja bersifat berisiko terhadap kesehatan. Jika nilai RQ lebih dari 1 (RQ > 1), maka menunjukkan bahwa tingkat paparan melebihi ambang batas yang ditentukan, sehingga berpotensi menimbulkan dampak kesehatan. Sebaliknya, jika nilai RQ < 1, maka paparan dianggap masih dalam batas aman.

Tabel berikut menyajikan hasil perhitungan nilai intake dan RQ baik untuk *real time* maupun *life time* berdasarkan data dari 62 responden pekerja di lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

Tabel 5 Hasil Perhitungan Nilai RQ Real Time dan Life Time

NO	RESPONDEN	I RT	RQ RT	I LT	RQ LT
1	Sa	0,00017950	0,06903897	0,00000513	0,00197254
2	Ac	0,00024931	0,09588746	0,00000356	0,00136982
3	Am	0,00025890	0,09957544	0,00002589	0,00995754
4	Sl	0,00024477	0,09414406	0,00000699	0,00268983
5	Kr	0,00028644	0,11016858	0,00000409	0,00157384
6	An	0,00021714	0,08351489	0,00000310	0,00119307
7	Ji	0,00025890	0,09957544	0,00000370	0,00142251
8	Ka	0,00025401	0,09769666	0,00000363	0,00139567
9	Ha	0,00024040	0,09246291	0,00001030	0,00396270
10	Ki	0,00028479	0,10953299	0,00000814	0,00312951
11	Ed	0,00035259	0,13561227	0,00003022	0,01162391
12	Pe	0,00025980	0,09992483	0,00001113	0,00428249
13	Ma	0,00030597	0,11768007	0,00002185	0,00840572
14	Ai	0,00025533	0,09820199	0,00002553	0,00982020
15	Ro	0,00041136	0,15821432	0,00002351	0,00904082
16	Fe	0,00037971	0,14604398	0,00001085	0,00417269
17	An	0,00046278	0,17799111	0,00001983	0,00762819
18	Sk	0,00019945	0,07670997	0,00005698	0,02191713
19	Ir	0,00039403	0,15154897	0,00001689	0,00649496
20	Fi	0,00003366	0,01294481	0,00000096	0,00036985
21	sm	0,00033657	0,12944808	0,00000962	0,00369852
22	is	0,00028342	0,10900891	0,00000405	0,00155727
23	sp	0,00018848	0,07249092	0,00000808	0,00310675
24	su	0,00023885	0,09186638	0,00000341	0,00131238
25	sn	0,00037923	0,14585699	0,00010835	0,04167343
26	al	0,00014725	0,05663353	0,00005890	0,02265341
27	ei	0,00013859	0,05330215	0,00000792	0,00304584

28	ar	0,00015838	0,06091674	0,00000679	0,00261072
29	mk	0,00011809	0,04542038	0,00000844	0,00324431
30	ai	0,00024477	0,09414406	0,00000350	0,00134492
31	ko	0,00017781	0,06838766	0,00000762	0,00293090
32	sd	0,00013089	0,05034092	0,00000748	0,00287662
33	ac	0,00012020	0,04623146	0,00000343	0,00132090
34	si	0,00012565	0,04832728	0,00000539	0,00207117
35	sw	0,00017371	0,06681191	0,00001489	0,00572674
36	er	0,00024040	0,09246291	0,00000687	0,00264180
37	sy	0,00022438	0,08629872	0,00001282	0,00493136
38	sr	0,00032909	0,12657145	0,00000470	0,00180816
39	im	0,00024477	0,09414406	0,00001049	0,00403475
40	mr	0,00018358	0,07060804	0,00001836	0,00706080
41	rm	0,00028178	0,10837513	0,00000403	0,00154822
42	rd	0,00022915	0,08813486	0,00000327	0,00125907
43	hs	0,00021540	0,08284677	0,00000923	0,00355058
44	nr	0,00025980	0,09992483	0,00001485	0,00570999
45	ft	0,00031821	0,12238727	0,00001364	0,00524517
46	id	0,00021035	0,08090505	0,00001503	0,00577893
47	dw	0,00026444	0,10170920	0,00001889	0,00726494
48	de	0,00015241	0,05861800	0,00000653	0,00251220
49	ds	0,00016828	0,06472404	0,00000962	0,00369852
50	em	0,00021778	0,08376052	0,00001867	0,00717947
51	mn	0,00020890	0,08034708	0,00001194	0,00459126
52	tn	0,00021118	0,08122232	0,00001810	0,00696191
53	my	0,00027475	0,10567190	0,00000785	0,00301920
54	jh	0,00022438	0,08629872	0,00000321	0,00123284
55	sur	0,00023934	0,09205197	0,00000684	0,00263006
56	sar	0,00023211	0,08927454	0,00001326	0,00510140
57	mt	0,00022070	0,08488398	0,00002838	0,01091366
58	nb	0,00020194	0,07766885	0,00001731	0,00665733
59	ec	0,00046278	0,17799111	0,00000661	0,00254273
60	tu	0,00023506	0,09040818	0,00002686	0,01033236
61	at	0,00017468	0,06718599	0,00001990	0,00765210
62	rm	0,00005533	0,02127914	0,00000237	0,00091196

Tabel 5 menunjukkan bahwa hasil analisis baik pada skenario *real time* maupun *life time*, seluruh responden memiliki nilai *Risk Quotient* (RQ) < 1. Hal ini berarti paparan sulfur dioksida (SO_2) yang diterima pekerja TPA Aloppoe masih berada di bawah ambang batas aman yang ditetapkan, sehingga secara umum tidak menimbulkan risiko kesehatan non-karsinogenik yang signifikan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa meskipun pekerja terpapar SO_2 selama bekerja, tingkat paparannya relatif rendah jika dibandingkan dengan nilai referensi kesehatan.

Perbedaan nilai antara skenario *real time* dan *life time* disebabkan oleh faktor waktu pajanan yang digunakan dalam perhitungan. Pada *real time,* nilai RQ cenderung lebih tinggi karena rata-rata waktu pajanan (AT) yang lebih pendek, sehingga paparan terlihat lebih intens. Sementara itu, pada *life time,* nilai RQ menjadi lebih kecil karena paparan yang sama dibagi rata selama masa hidup (70 tahun).

Gas sulfur dioksida (SO_2) tetap perlu diwaspadai karena dikenal sebagai polutan udara yang bersifat iritatif terhadap sistem pernapasan. Paparan jangka panjang pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan gangguan seperti bronkitis kronis, penurunan fungsi paru, serta memperburuk kondisi asma. Oleh karena itu, meskipun hasil analisis menunjukkan nilai RQ < 1, langkah-langkah pencegahan seperti penggunaan alat pelindung diri (APD), pengaturan waktu kerja, dan pemantauan kualitas udara secara berkala tetap penting untuk dilakukan. Upaya ini bertujuan untuk menjaga kesehatan pekerja dan mencegah risiko apabila terjadi peningkatan konsentrasi SO_2 di masa mendatang.

8) Manajemen Risiko

Berdasarkan hasil perhitungan nilai *intake* dan *Risk Quotient (RQ)* baik secara real time maupun life time, selanjutnya dilakukan perhitungan manajemen risiko. Manajemen risiko dilakukan untuk mengurangi risiko akibat pajanan suatu risk agent pada individu atau populasi berisiko. Manajemen risiko dapat dilakukan dengan cara menurunkan nilai

konsentrasi pajanan risk agent dan waktu pajanan. Perhitungan manajemen risiko menggunakan persamaan rumus sebagai berikut dengan nilai sama dengan yang digunakan pada perhitungan intake. Adapun persamaan rumus nya adalah:

a) Penentuan Konsentrasi aman (C)

$$= \frac{RfC \; x \; BB \; x \; AT}{R \; x \; EF \; x \; ET \; x \; ED}$$

b) Penentuan frekuensi pajanan (EF)

$$= \frac{RfC \; x \; BB \; x \; AT}{C \; x \; IR \; x \; ET \; x \; ED}$$

c) Penentuan lama pajanan aman (ET)

$$= \frac{RfC \; x \; BB \; x \; AT}{R \; x \; IR \; x \; Ef \; x \; ED}$$

Tabel 6 Perhitungan Manajemen Risiko

Nama	C aman	ET aman	EF aman
sa	0,023494	5.286,87	115,8766
ac	0,016916	3.806,55	104,2889
am	0,016289	3.665,56	100,4264
sl	0,017229	3.877,04	106,2202
kr	0,014723	3.313,10	90,76998
an	0,019422	4.370,48	59,86956
ji	0,016289	3.665,56	50,21318
ka	0,016602	3.736,05	102,3576
ha	0,017542	3.947,53	108,1515
ki	0,014808	3.332,33	100,4264
ed	0,011961	2.691,50	81,1136
pe	0,016232	3.652,75	110,0827
ma	0,013783	3.101,63	84,97616
ai	0,016517	3.716,83	112,014
ro	0,010252	2.307,00	69,52595
fe	0,011106	2.499,25	75,31977
an	0,009113	2.050,66	61,80084
sk	0,021145	4.758,18	104,2889
ir	0,010703	2.408,46	79,18233
fi	0,125301	28.196,63	77,25105
sm	0,01253	2.819,66	92,70126
is	0,01488	3.348,35	110,0827
sp	0,022375	5.035,11	96,56381
su	0,017656	3.973,16	119,7391
sn	0,01112	2.502,45	137,1206

al	0,02864	6.444,94	123,6017
ei	0,03043	6.847,75	131,3268
ar	0,026627	5.991,78	98,49509
mk	0,035711	8.036,04	110,0827
ai	0,017229	3.877,04	63,73212
ko	0,023718	5.337,22	102,3576
sd	0,03222	7.250,56	139,0519
ac	0,035084	7.895,06	108,1515
si	0,033563	7.552,67	144,8457
sw	0,024277	5.463,10	119,7391
er	0,017542	3.947,53	108,1515
sy	0,018795	4.229,50	104,2889
sr	0,012815	2.883,75	86,90743
im	0,017229	3.877,04	106,2202
mr	0,022972	5.169,38	127,4642
rm	0,014967	3.367,93	83,04488
rd	0,018404	4.141,38	90,76998
hs	0,019578	4.405,72	96,56381
nr	0,016232	3.652,75	110,0827
ft	0,013253	2.982,34	106,2202
id	0,020048	4.511,46	123,6017
dw	0,015947	3.588,66	108,1515
de	0,027671	6.226,76	102,3576
ds	0,02506	5.639,33	123,6017
em	0,019365	4.357,66	131,3268
mn	0,020187	4.542,79	112,014
tn	0,01997	4.493,84	98,49509
my	0,015349	3.454,09	94,63254
jh	0,018795	4.229,50	81,1136
sur	0,01762	3.965,15	86,90743
sar	0,018169	4.088,51	112,014
mt	0,019108	4.299,99	117,8079
nb	0,020884	4.699,44	115,8766
ec	0,009113	2.050,66	61,80084
tu	0,017941	4.037,25	121,6704
at	0,024142	5.432,68	148,8406
rm	0,076225	7.331,12	234,9719

Berdasarkan tabel 6 hasil perhitungan, diketahui bahwa nilai C aman pada responden berada pada rentang 0,009113 hingga 0,125301, dengan nilai tertinggi terdapat pada responden berkode *fi* dan terendah pada responden *an/ec*. Sementara itu, nilai ET aman menunjukkan lama waktu pajanan yang masih dapat ditoleransi, dengan variasi antara 2.050,66 hingga 28.196,63, di mana responden *fi* kembali memiliki nilai tertinggi dan *an/ec* terendah. Adapun nilai EF aman, yang menggambarkan frekuensi pajanan per tahun, berada pada rentang 50,21 hingga 234,97, dengan nilai terendah dimiliki oleh responden *ji* dan tertinggi oleh responden *rm*. Variasi ini menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam konsentrasi, waktu, dan

frekuensi pajanan antar responden, di mana sebagian besar responden masih berada pada kategori aman, meskipun terdapat beberapa individu dengan nilai ekstrem yang menonjol dibandingkan yang lain.

Dapat diketahui bahwa setiap kategori risiko memerlukan upaya pengendalian yang berbeda sesuai tingkat keparahan dampak dan besarnya nilai *Risk Quotient (RQ)*. Dengan adanya strategi manajemen risiko ini, diharapkan dapat meminimalkan potensi dampak kesehatan yang ditimbulkan serta menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi kebijakan maupun tindakan pencegahan di lapangan.

c. Gambaran Pengelolaan Risiko Kesehatan pada Pekerja Akibat Pajanan Sulfur Dioksida (SO_2) di TPA Aloppoe

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Allopoe, diketahui bahwa seluruh responden pekerja memiliki nilai *Risk Quotient* (RQ) baik pada skenario *real time* maupun *life time* yang berada di bawah 1. Hal ini menunjukkan bahwa paparan gas sulfur dioksida (SO_2) yang diterima masih dalam batas aman dan tidak menimbulkan risiko kesehatan non-karsinogenik yang signifikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa secara umum kualitas udara di TPA Allopoe terkait SO_2 masih tergolong aman bagi pekerja. Meskipun demikian, upaya pengelolaan risiko kesehatan tetap diperlukan, seperti penggunaan alat pelindung diri (APD), pengaturan jam kerja, serta pemantauan kualitas udara secara berkala, untuk

memastikan paparan tetap terkendali dan mencegah potensi peningkatan risiko di masa mendatang.

Penggunaan alat pelindung diri, khususnya masker, merupakan salah satu upaya penting dalam pengendalian risiko kesehatan akibat pajanan gas berbahaya seperti sulfur dioksida (SO_2). Masker berfungsi melindungi sistem pernapasan dari masuknya partikel dan gas berbahaya yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan, terutama jika terpapar secara terus-menerus.

Dalam penelitian ini, dilakukan pengamatan dan pengisian kuesioner kepada pekerja di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) untuk mengetahui perilaku mereka dalam menggunakan masker saat bekerja. Hasil yang diperoleh ada dalam tabel berikut.

Tabel 7 Distribusi Frekuensi Penggunaan Masker oleh Pekerja di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Aloppoe

Penggunaan Masker	N	%
Ya	30	48,39
Tidak	32	51,61

Berdasarkan tabel 7 diketahui bahwa sebanyak 48,39% responden menyatakan menggunakan masker saat bekerja, sedangkan 51,61% responden tidak menggunakan masker. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja di TPA belum menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) secara rutin, khususnya masker. Kurangnya penggunaan masker ini dapat meningkatkan risiko gangguan kesehatan, terutama gangguan sistem

pernapasan akibat pajanan gas sulfur dioksida (SO_2) yang dapat bersifat iritan dan merusak jaringan paru-paru jika terhirup dalam jangka panjang. Kondisi ini mencerminkan pengelolaan risiko kesehatan yang masih rendah, baik dari sisi kesadaran pekerja maupun dari pihak pengelola TPA dalam menyediakan dan mewajibkan penggunaan APD.

Paparan gas berbahaya seperti sulfur dioksida (SO_2) di lingkungan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dapat berdampak langsung terhadap kesehatan pernapasan para pekerja, terutama jika terjadi secara terus-menerus tanpa perlindungan yang memadai. Salah satu indikator awal dampak paparan ini adalah munculnya gejala gangguan pernapasan seperti batuk, sesak napas, nyeri dada saat bernapas, kelelahan, batuk berdahak, napas berbunyi (wheezing), tenggorokan gatal, hingga sering bersin atau bersih-bersih saluran napas. Dalam penelitian ini, responden diminta menjawab pertanyaan terkait gejala-gejala tersebut, dan hasilnya ada pada tabel berikut:

Tabel 8 istribusi Frekuensi Gejala Gangguan Pernapasan Berdasarkan Hasil Kusioner Pekerja

Gejala Gangguan Pernapasan	ya	%	tdk	%
Batuk	38	62.30	24	37.70
Sesak Napas	41	67.21	21	32.79
Nyeri Dada	17	27.87	45	72.13
Lelah	39	63.93	24	36.07
Batuk Berdahak	17	27.87	45	72.13
Napas Berbunyi (mengi)	22	36.07	40	63.93
Tenggorokan Gatal	38	60.66	24	39.34
Bersin-Bersin	42	68.85	20	31.15

Berdasarkan hasil kuesioner yang dibagikan kepada 62 pekerja di Tempat Pembuangan Akhir (TPA), diperoleh gambaran bahwa sebagian besar pekerja mengalami gejala gangguan pernapasan yang beragam akibat paparan di lingkungan kerja. Sebanyak 62,30% responden mengalami batuk, sementara 67,21% mengalami sesak napas, dan 27,87% mengalami nyeri dada saat bernapas. Selain itu, 63,93% pekerja mengaku merasa cepat lelah, dan 27,87% mengalami batuk berdahak. Gejala lain seperti napas berbunyi dirasakan oleh 36,07% pekerja, sementara 60,66% mengeluhkan tenggorokan terasa gatal, dan 68,85% mengalami bersin-bersin.

Gejala-gejala tersebut mencerminkan adanya dampak nyata terhadap sistem pernapasan para pekerja, yang kemungkinan besar berkaitan dengan paparan gas berbahaya seperti sulfur dioksida (SO_2) yang berasal dari tumpukan sampah dan proses dekomposisi di TPA. SO_2 merupakan gas iritan yang dapat menyebabkan peradangan saluran napas dan gejala gangguan pernapasan, terutama jika terhirup dalam jangka waktu lama tanpa pelindung.

Namun demikian, tingkat kepatuhan dalam penggunaan masker sebagai alat pelindung diri masih tergolong rendah. Hanya 48,39% pekerja yang menyatakan menggunakan masker saat bekerja, sementara 51,61% tidak menggunakan masker. Hal ini menunjukkan bahwa lebih dari separuh pekerja tidak mendapatkan perlindungan pernapasan yang memadai, yang tentunya memperbesar risiko kesehatan.

Rendahnya penggunaan masker ini menjadi faktor penting yang dapat memperburuk dampak paparan SO_2 terhadap kesehatan pekerja. Oleh karena itu, peningkatan kesadaran dan kepatuhan terhadap penggunaan alat pelindung diri, penyediaan masker yang layak oleh pihak pengelola, serta edukasi berkala tentang bahaya pajanan gas beracun sangat diperlukan dalam rangka pengelolaan risiko kesehatan di lingkungan TPA.

B. Pembahasan

Hasil pengukuran konsentrasi sulfur dioksida (SO_2) di TPA Aloppoe pada tanggal 16 Juni 2025 menunjukkan nilai sebesar 0,001622 mg/m³, yang masih jauh di bawah baku mutu udara ambien yang ditetapkan oleh PermenLHK No. 14 Tahun 2020, yaitu sebesar 150 µg/m³ (atau 0,15 mg/m³) untuk pajanan selama 1 jam. Nilai ini menunjukkan bahwa tingkat pencemaran SO_2 di lokasi penelitian pada hari tersebut berada pada kategori rendah dan belum melebihi ambang batas yang berpotensi membahayakan kesehatan masyarakat atau pekerja di sekitar TPA.

Paparan gas SO_2 dalam kadar tinggi dan waktu lama dapat menyebabkan gangguan saluran pernapasan seperti iritasi, batuk, hingga memburuknya kondisi penderita asma (WHO, 2021). Namun, konsentrasi yang rendah seperti yang ditemukan dalam penelitian ini umumnya belum menunjukkan dampak akut terhadap kesehatan, meskipun tetap perlu diwaspadai jika terjadi akumulasi atau paparan jangka panjang. Penelitian ini sejalan dengan Dozzo et al. (2025), dikembangkan metode terbaru untuk memantau konsentrasi kolom sulfur

dioksida (SO_2) menggunakan data Sentinel-5P yang diproses melalui Google Earth Engine (GEE). Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis citra satelit dapat ditingkatkan akurasinya dengan integrasi teknik klasifikasi citra dan algoritma pembelajaran mesin. Model yang dikembangkan mampu menghasilkan peta distribusi spasial SO_2 yang lebih detail, serta mampu mendeteksi fluktuasi konsentrasi akibat aktivitas vulkanik dan industri secara real time. (27)

Penelitian Kazemi Garajeh et al. (2023) juga menunjukkan bahwa penggunaan citra satelit Sentinel-5 berbasis Google Earth Engine (GEE) sangat efektif untuk memantau polutan udara seperti SO_2 secara spasial dan temporal. Studi ini membuktikan bahwa metode tersebut mampu menghasilkan peta distribusi musiman dan tahunan dengan akurasi yang cukup tinggi, di mana nilai RMSE tahunan untuk SO_2 mencapai 4,62 pada tahun 2018 dan 4,31 pada tahun 2019. Selain itu, GEE mempermudah proses pengolahan data citra, pemfilteran awan, serta visualisasi rata-rata konsentrasi polutan. (28)

1. Estimasi Risiko Kesehatan Real Time dan Life Time

Berdasarkan hasil perhitungan nilai Chronic Daily Intake (CDI) dan Risk Quotient (RQ), diketahui bahwa nilai CDI real time lebih tinggi dibandingkan life time karena waktu pajanan yang lebih singkat menghasilkan intake per hari yang lebih besar, sementara variasi antar responden dipengaruhi oleh lama jam kerja, masa kerja, serta berat badan. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh responden memiliki nilai RQ < 1 baik pada skenario real time maupun life time,

yang berarti paparan sulfur dioksida (SO_2) pada pekerja TPA Aloppoe masih berada di bawah ambang batas aman yang ditetapkan US EPA sehingga tidak menimbulkan risiko kesehatan non-karsinogenik yang signifikan. Meskipun demikian, SO_2 tetap perlu diwaspadai karena bersifat iritatif terhadap sistem pernapasan, sehingga penggunaan alat pelindung diri, pengaturan jam kerja, dan pemantauan kualitas udara secara berkala tetap penting dilakukan untuk mencegah dampak kesehatan apabila terjadi peningkatan konsentrasi di masa mendatang.

Berdasarkan teori penilaian risiko non-karsinogenik menurut EPA (2022–2024), risiko kesehatan akibat paparan zat kimia atau polutan, termasuk sulfur dioksida (SO_2), dapat dievaluasi menggunakan Chronic Daily Intake (CDI) dan Risk Quotient (RQ). RQ dihitung sebagai rasio antara dosis pajanan individu dengan nilai referensi aman (RfC/RfD), di mana RQ < 1 menunjukkan bahwa paparan tidak menimbulkan risiko kesehatan non-karsinogenik yang signifikan. Perbedaan nilai CDI antara skenario real time dan life time disebabkan oleh perbedaan average time (AT); periode pajanan yang lebih pendek menghasilkan CDI per hari lebih tinggi, sehingga CDI real time umumnya lebih besar dibandingkan CDI lifetime. Selain itu, variasi antar individu dipengaruhi oleh faktor seperti laju inhalasi, durasi kerja, dan berat badan, yang menentukan tingkat paparan per kilogram berat badan. Meskipun seluruh responden dalam penelitian ini memiliki nilai RQ < 1, sifat iritatif SO_2 terhadap sistem pernapasan menegaskan pentingnya langkah pencegahan, seperti penggunaan alat pelindung diri, pengaturan jam kerja, dan pemantauan kualitas udara secara berkala, untuk

mencegah dampak kesehatan apabila terjadi peningkatan konsentrasi polutan di masa mendatang. (29)

Studi oleh Hasyim dan Nurhisanah (2022) di CCPP Indralaya, Indonesia, menggunakan metode Environmental Health Risk Assessment (EHRA) untuk menilai paparan sulfur dioksida (SO_2) pada pekerja. Hasilnya menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata SO_2 adalah 0,085 mg/m³, dengan nilai Intake Harian Non-Karsinogenik (CDI) sebesar 0,0025 mg/kg/hari untuk paparan real-time dan 0,0069 mg/kg/hari untuk paparan jangka panjang. Nilai Risk Quotient (RQ) untuk paparan real-time adalah 0,0959 dan untuk paparan jangka panjang adalah 0,2668, keduanya berada di bawah ambang batas aman (RQ < 1), menunjukkan bahwa paparan SO_2 tidak menimbulkan risiko kesehatan non-karsinogenik yang signifikan bagi pekerja. Namun, studi ini juga menekankan pentingnya langkah pencegahan seperti penggunaan alat pelindung diri dan pengaturan jam kerja untuk memastikan kesehatan pekerja tetap terjaga. (30)

Hasil penelitian ini diperkuat oleh studi Azizah, Azis, dan Jalaludin (2024) yang menganalisis risiko kesehatan akibat paparan gas sulfur dioksida (SO_2) pada masyarakat yang tinggal di sekitar kawasan industri pengolahan nikel di Kabupaten Kolaka. Dalam penelitian tersebut, konsentrasi SO_2 yang terukur mencapai 0,576 mg/m³, yang melebihi baku mutu udara ambien. Meskipun demikian, nilai Chronic Daily Intake (CDI) untuk paparan jangka pendek (real-time) dan jangka panjang (lifetime) masing-masing sebesar 0,081 mg/kg/hari**,** dan menghasilkan nilai Risk Quotient (RQ) < 1 untuk kedua skenario pajanan tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun masyarakat terekspos pada

konsentrasi SO_2 yang cukup tinggi, risiko kesehatan non-karsinogenik yang ditimbulkan tetap tergolong aman secara toksikologis. (31)

2. Gambaran Pengelolaan Risiko Kesehatan

Berdasarkan penelitian di TPA Aloppoe, seluruh pekerja memiliki nilai Risk Quotient (RQ) < 1, menunjukkan paparan sulfur dioksida (SO_2) masih berada di bawah ambang batas aman dan tidak menimbulkan risiko non-karsinogenik yang signifikan. Namun, pengamatan menunjukkan rendahnya penggunaan masker, hanya 48,39% pekerja memakai APD saat bekerja, sementara 51,61% tidak. Akibatnya, sebagian besar pekerja mengalami gejala gangguan pernapasan, seperti batuk (62,30%), sesak napas (67,21%), kelelahan (63,93%), tenggorokan gatal (60,66%), dan bersin-bersin (68,85%). Temuan ini menekankan pentingnya peningkatan kesadaran penggunaan masker, penyediaan APD yang memadai, dan edukasi berkala untuk mencegah dampak kesehatan akibat paparan SO_2 di lingkungan TPA.

Studi oleh Hasyim et al. (2024) di CCPP Indralaya juga menggunakan metode EHRA dan menemukan bahwa nilai RQ untuk paparan SO_2 real-time adalah 0,0959 dan lifetime 0,2668, yang semuanya berada di bawah ambang batas aman (RQ < 1), mengindikasikan bahwa paparan SO_2 tidak berisiko non-karsinogenik bagi pekerja. Namun, studi tersebut juga menekankan pentingnya langkah pencegahan seperti penggunaan alat pelindung diri dan pengaturan jam kerja untuk memastikan kesehatan pekerja tetap terjaga. (32)

Penelitian oleh Musfirah et al. (2024) menunjukkan bahwa paparan sulfur dioksida (SO_2) pada komunitas di Tirtonirmolo, Bantul, berada di bawah ambang batas aman berdasarkan perhitungan Risk Quotient (RQ). Nilai RQ real-time tercatat sebesar 0,0039 mg/kg/hari dan RQ lifetime sebesar 0,0033 mg/kg/hari, keduanya < 1, yang mengindikasikan tidak adanya risiko kesehatan non-karsinogenik yang signifikan. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian di TPA Aloppoe, yang juga menunjukkan nilai RQ < 1 untuk seluruh responden, menandakan bahwa paparan SO_2 masih tergolong aman. Meskipun demikian, penelitian ini menekankan pentingnya upaya pencegahan, seperti penggunaan alat pelindung diri dan pengaturan jam kerja, untuk meminimalkan potensi dampak kesehatan jangka panjang akibat sifat iritatif SO_2 terhadap sistem pernapasan. (26)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Estimasi Risiko Kesehatan**:**

Konsentrasi SO_2 terukur masih di bawah ambang batas; dari 61 responden, seluruhnya memiliki nilai RQ < 1 baik pada estimasi real-time maupun lifetime, sehingga tidak terindikasi risiko non-karsinogenik baik akut maupun jangka panjang. Temuan ini sejalan dengan tabel hasil dan narasi pada dokumen Anda yang menyatakan semua responden RQ < 1 di kedua skenario, serta penjelasan bahwa CDI real-time cenderung lebih tinggi daripada lifetime karena perbedaan *average time* dan dipengaruhi variasi jam kerja, masa kerja, dan berat badan.

2. Pengelolaan Risiko Kesehatan

Gambaran pengelolaan risiko kesehatan pada pekerja TPA Aloppoe menunjukkan bahwa sebagian besar pekerja belum menerapkan perilaku protektif secara optimal. Lebih dari separuh pekerja tidak menggunakan masker saat bekerja, sehingga meningkatkan potensi pajanan langsung terhadap gas SO_2. Kondisi ini diperburuk oleh masih ditemukannya keluhan kesehatan pernapasan berupa sesak napas, batuk, dan cepat lelah yang dilaporkan mayoritas pekerja, meskipun nilai *Risk Quotient (RQ)* secara kuantitatif menunjukkan < 1. Hal ini mengindikasikan bahwa pengelolaan risiko kesehatan belum berjalan efektif, sehingga perlu ditingkatkan melalui pemakaian alat pelindung diri secara konsisten, edukasi kesehatan kerja, serta pemantauan rutin kualitas udara di sekitar TPA.

B. Saran

1. Pemerintah Kota Parepare

Melakukan pemantauan kualitas udara secara rutin di sekitar TPA Aloppoe

dan menyediakan fasilitas kesehatan berkala bagi pekerja serta masyarakat sekitar. Selain itu, perlu disusun program sosialisasi terkait bahaya paparan SO_2 dan pentingnya penggunaan APD.

2. Pengelola TPA Aloppoe

   Memastikan semua pekerja mendapatkan dan menggunakan APD standar (masker, sarung tangan, dan sepatu kerja) secara konsisten.

3. Pemilah Sampah dan Pengangkut

   Diharapkan lebih sadar akan risiko kesehatan yang dihadapi dan secara aktif menggunakan APD saat bekerja, serta menjaga kebersihan diri setelah beraktivitas di area Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

4. Peneliti Selanjutnya

   Disarankan untuk melakukan penelitian dengan periode pemantauan yang lebih panjang, mencakup variasi musim, dan mempertimbangkan analisis polutan lain seperti partikulat ($PM_{2.5}$ dan PM_{10}) dan gas metana, sehingga gambaran risiko kesehatan menjadi lebih komprehensf.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gangguan DAN, Lainnya K. PENGARUH PENCEMARAN UDARA TERHADAP TERJADINYA AIR BORNE DISEASE PENDAHULUAN Lingkungan hidup menurut Undang- Undang Nomor 32 Tahun 2009 merupakan kesatuan ruang dengan semua benda , daya , keadaan dan

makhluk hidup termasuk di dalamnya adalah manusia bese. 2021;18(2):111–20.

2. Hidajat D, Febry Gilang Tilana, I Gusti Bagus Surya Ari Kusuma. Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan Kulit. Unram Med J. 2023;12(4).

3. Ertiana E. Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Masyarakat: Literatur Review. J Ilm Permas J Ilm STIKES Kendal. 2022;12(2):287–96.

4. Laksono S, Afiyani N. Polusi Udara Dan Penyakit Kardiovaskular: Tinjauan Pustaka. Menara Med. 2023;6(1):55–64.

5. Rejeki Takuloe SR, Jusuf H, Nakoe M, Arsad N, Kesehatan Masyarakat J, Olahraga dan Kesehatan F, et al. Risk Of Sulfur Dioxide (So2) Exposure To Public Fuel Filling Station (SPBU) Officers. J Kesmas Jambi. 2023;5(2):45–54.

6. Sudaryanto S, Prasetyawati ND, Sinaga E, Muslikah. Sosialisasi Dampak Polusi Udara Terhadap Gangguan Kesehatan Kenyamanan Dan Lingkungan. Pros Midwifery Sci Sess [Internet]. 2022;1(1):10. Available from: https://prosiding.gunabangsa.ac.id/index.php/mss/article/view/1/2

7. Thaha I, Wahyuni MS, Sutamrin S, Mu'adz AM. Perbandingan Penggerombolan Tingkat Pencemaran Udara dengan K- Medoid dan CLARA berdasarkan Indeks Kualitas Udara (IKU) di Provinsi Sulawesi Selatan. Prox J Penelit Mat dan Pendidik Mat. 2023;7(1):27–43.

8. Abdul Rahman A, Ayu DP, Rusman. Description of Ambient Air Quality andComplaint of Respiratory Disorder in the Community of Pare pare City. J Ilm Mns dan Kesehat [Internet]. 2021;4(3):351–8. Available from: http://jurnal.umpar.ac.id/index.php/makes

9. Irwan I, Wahyuni MS, Sulaiman S, Mu'adz AM. Analisis K-Medoid Untuk Pemetaan Tingkat Pencemaran Udara di Provinsi Sulawesi Selatan. J Math Comput Stat. 2022;5(2):106.

10. Tiwa SM, Sumampouw OJ, Ratag BT, Masyarakat K, Sam U. Sam Ratulangi. 2024;5(September):48–55.

11. Qolifah LN, Wahyuningsih NE, Darundiati YH. Karakteristik Risiko Kesehatan Non Karsinogenik Akibat Paparan Gas SO2 dan NO2 pada Pemulung di TPA Jatibarang Kota Semarang. J Kesehat Lingkung Indones. 2024;23(1):50–8.

12. Fuadi A. Sistem Monitoring Tingkat Pencemaran Udara Pada Ruangan Berbasis Android Menggunakan Mikrokontroler. J Tek [Internet]. 2021;7(1):56–70. Available from: http://eprints.uniska-bjm.ac.id/5391/%0Ahttp://eprints.uniska-bjm.ac.id/5391/1/ARTIKEL ILMIAH AHMAD FUADI.pdf

13. Yasir M. Pencemaran Udara Di Perkotaan Berdampak Bahaya Bagi

Manusia, Hewan, Tumbuhan dan Bangunan. J OSFOi [Internet]. 2021;1–10. Available from: https://doi.org/10.31219/osf.io/nc5rg

14. Sasmita A, Asmura J, Nurmaida B. Analisis Emisi CH4 dan Potensi Energi dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru. Rekayasa. 2022;15(1):64–70.

15. Studi P, Kesehatan I, Ilmu F. TERHADAP GANGGUAN KESEHATAN DI MASYARAKAT. 2024;3(3):10–1.

16. Hutagalung WLC, Ariska E, Rinaldi R. Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca dari Proses Pengelolaan Sampah Di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Kabupaten Kerinci. J Daur Lingkung. 2023;6(1):73.

17. Muna AA, Sitogasa PSA. Prediksi Produksi Gas Metana dan Dampak Lingkungan dari Kegiatan Landfilling di TPA Griyo Mulyo, Kabupaten Sidoarjo dengan Menggunakan Kombinasi Permodelan LandGEM dan OpenLCA. Environ Sci Eng Conf. 2023;4(1):34–40.

18. Muhammad H, Ramli R, Putri Nugraha A, Nugraha B, Wahyudin. Pengabdian kepada masyarakat dalam sinergi kreativitas dan inovasimenuju desa Malangsari yang berdaya saing di bidang lingkungan. J Pengabdi Masy Berkemajuan . 2024;8(2):1610–5.

19. Sudalma S, Sumarni S. Interferensi Metabisulfit Pada Pengukuran Kadar Sulfur Dioksida (SO2) di Udara Menggunakan Metode Tetrachloromercurat/Parasosanilin. J Pengelolaan Lab Pendidik. 2022;4(1):36–41.

20. Amalia S. Analisis Sulfur Dioksida (SO2) Udara Ambient Menggunakan Metode Pararosanilin dengan Spektrofotometer UV-Visible Kabupaten Bandung , Jawa Barat. Gunung Djati Conf Ser. 2022;15(2774–6585):11–5.

21. Alisain M, Rosdiana R, Assiddieq M. Analisis Tingkat Pencemar Sulfur Dioksida (SO2) Akibat Aktivitas Kendaraan Bermotor di Kota Kendari. J TELUK Tek Lingkung UM Kendari. 2024;4(1):014–8.

22. Sabrina AP, Ridho Pratama. Gambaran Kualitas Udara serta Analisis Risiko Nitrogen Dioksida (NO2) dan Sulfur Dioksida (SO2) di Kabupaten Bekasi. J Eng Environtmental Energy Sci. 2022;1(2):63–70.

23. Sari AW, Amir R, Muin H, Jend J, Yani A, Bukit K, et al. 4177-Article Text-15491-1-10-20220529. 2021;4(2):81–94.

24. Daffa Shidqi M, Ratni Juliardi R NA. Analisis Persebaran Emisi Gas Sulfur Dioksida dari Unit 2 Pabrik Sulphuric Acid PT Petrokimia Gresik Menggunakan Model AERMOD. Serambi Eng. 2024;IX(2):8916–26.

25. Hidayatullah F, Asti Mulasari S, Handayani L. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Hidrogen Sulfida (H2S) Dan Amonia (Nh3) Pada Masyarakat Di Tpa Piyungan. J Kesehat Lingkung J dan Apl Tek Kesehat

Lingkung. 2021;18(2):155–62.

26. Musfirah M, Rangkuti AF, Primasari IA, Santri IN, Jassey B, Lana AT ul. Environmental Health Risk Analysis of Sulfur Dioxide (So2) Inhalation Exposure in Ambient Air Among the Tirtonirmolo Community, Bantul. J Kesehat Lingkung. 2024;16(1):32–40.

27. Dozzo M, Aiuppa A, Bilotta G, Cappello A, Ganci G. A New Algorithm for the Global-Scale Quantification of Volcanic SO2 Exploiting the Sentinel-5P TROPOMI and Google Earth Engine. Remote Sens. 2025;17(3).

28. Kazemi Garajeh M, Laneve G, Rezaei H, Sadeghnejad M, Mohamadzadeh N, Salmani B. Monitoring Trends of CO, NO2, SO2, and O3 Pollutants Using Time-Series Sentinel-5 Images Based on Google Earth Engine. Pollutants. 2023;3(2):255–79.

29. USEPA. Human Health Risk Assessment for Clothianidin. 2005;(December).

30. Nurhisanah S, Hasyim H. Environmental health risk assessment of sulfur dioxide (SO2) at workers around in combined cycle power plant (CCPP). Heliyon. 2022;8(5).

31. Azis SD, Azizah R, Jalaludin J. Risk Analysis of Sulfur Dioxide (So2) Exposure To Public Health Around Kolaka District Nickel Processing Plant. J Kesehat Lingkung. 2024;16(4):302–11.

32. Susetyo SH, Abidin AU, Nagaya T, Kato N, Matsui Y. Environmental health risk assessment and acute effects of sulfur dioxide (SO2) inhalation exposure on traditional sulfur miners at Ijen Crater Volcano, Indonesia. Toxicol Reports [Internet]. 2024;13(October):101772. Available from: https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101772