



Studi Literatur Pengaruh Paparan Pestisida terhadap Fungsi Paru

Nindya Azfarina Jamhur^{1*}, Fitria Saftarina², Hesti Yuningrum³, Retno Ariza Soeprihatini Soemarwoto⁴

¹⁻⁴Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung, Indonesia

*Penulis Korespondensi: nindyaazfarina7@gmail.com

Abstract. Pesticide exposure is a major occupational health issue in the agricultural sector, particularly among farmers directly involved in pesticide mixing and spraying activities. Exposure occurs through multiple routes, primarily inhalation and dermal contact, and may adversely affect lung function. This study aims to review the determinants of pesticide exposure associated with impaired lung function among farmers using a narrative review approach. Literature searches were conducted across several scientific databases, including Google Scholar, PubMed, NCBI, ScienceDirect, and Elsevier, using publications in both English and Indonesian. The findings indicate that pesticide type and toxicity level, duration of employment, frequency and duration of spraying, and poor compliance with personal protective equipment use are key determinants associated with reduced lung function. The underlying pathophysiological mechanisms include airway inflammation, oxidative stress, alveolar damage, and reduced pulmonary diffusion capacity. Long-term exposure has been linked to an increased risk of chronic respiratory diseases, including chronic obstructive pulmonary disease. Preventive strategies such as education on safe pesticide use, improved compliance with personal protective equipment, and regular pulmonary function monitoring are essential to reduce health risks among farmers.

Keywords: Farmers; Lung Function; Occupational Health; Personal Protective Equipment; Pesticide Exposure.

Abstrak. Paparan pestisida merupakan salah satu masalah kesehatan kerja utama pada sektor pertanian, khususnya bagi petani yang terlibat langsung dalam proses pencampuran dan penyemprotan pestisida. Paparan ini terjadi melalui berbagai rute, terutama inhalasi dan kontak dermal, yang dapat berdampak negatif terhadap fungsi paru. Studi ini bertujuan untuk mengkaji determinan paparan pestisida terhadap fungsi paru pada petani melalui pendekatan *narrative review*. Penelusuran literatur dilakukan pada beberapa basis data ilmiah, yaitu Google Scholar, PubMed, NCBI, ScienceDirect, dan Elsevier, dengan menggunakan publikasi berbahasa Indonesia dan Inggris. Hasil telaah menunjukkan bahwa jenis dan tingkat toksisitas pestisida, lama kerja, frekuensi serta durasi penyemprotan, dan rendahnya kepatuhan penggunaan alat pelindung diri merupakan faktor utama yang berhubungan dengan penurunan fungsi paru. Mekanisme yang mendasari gangguan paru meliputi inflamasi saluran pernapasan, stres oksidatif, peningkatan permeabilitas alveolus, serta penurunan kapasitas vital paru. Paparan jangka panjang diketahui meningkatkan risiko penyakit paru obstruktif kronis dan gangguan pernapasan lainnya. Upaya pencegahan melalui edukasi penggunaan pestisida yang aman, peningkatan kepatuhan penggunaan APD, serta pemeriksaan fungsi paru secara berkala sangat penting untuk menurunkan risiko gangguan kesehatan pada petani.

Kata Kunci: Alat Pelindung Diri; Fungsi Paru; Kesehatan Kerja; Paparan Pestisida; Petani.

1. LATAR BELAKANG

Sektor pertanian, sebagai bagian penting dari perekonomian global, menghadapi tantangan yang signifikan terkait kesehatan kerja. Paparan berkelanjutan terhadap berbagai bahan kimia berbahaya, terutama pestisida, memberikan dampak serius terhadap kesehatan tenaga kerja di sektor ini. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa petani dan pekerja pertanian sering terpapar pestisida melalui jalur dermal maupun inhalasi, yang dapat memicu berbagai gangguan kesehatan, termasuk gangguan sistem pernapasan dan neurologis (Tǎrmure et al., 2020; Sapbamrer et al., 2024; Nurchandra et al., 2020). Selain itu, rendahnya pengetahuan mengenai penggunaan serta risiko pestisida menyebabkan pekerja tidak mematuhi prosedur

keselamatan kerja, sehingga meningkatkan risiko terjadinya gangguan kesehatan (Olirk et al., 2025).

Penggunaan pestisida telah meningkat secara drastis dalam praktik pertanian modern sebagai upaya meningkatkan produktivitas dan mengendalikan organisme pengganggu tanaman. Meskipun memberikan manfaat jangka pendek terhadap hasil pertanian, penggunaan pestisida yang berlebihan juga menimbulkan berbagai dampak kesehatan bagi petani maupun masyarakat di sekitarnya. Banyak pekerja pertanian belum memahami informasi bahaya yang tercantum pada label kemasan pestisida, sehingga meningkatkan risiko paparan terhadap bahan kimia berbahaya (Olirk et al., 2025). Beberapa jenis pestisida, seperti metil bromida dan klorpirifos, telah dilaporkan berhubungan dengan gangguan sistem pernapasan yang berpotensi fatal (Tǎrmure et al., 2020; Shentema et al., 2020).

Paparan pestisida, terutama melalui inhalasi, berkontribusi terhadap berbagai gangguan kesehatan respirasi, termasuk asma, bronkitis, dan penyakit paru obstruktif kronis (PPOK). Penelitian menunjukkan bahwa pekerja pertanian yang terpapar pestisida mengalami peningkatan signifikan dalam gejala pernapasan, seperti sesak napas, batuk kronis, dan penurunan fungsi paru dibandingkan dengan kelompok yang tidak terpapar (Sapbamrer et al., 2024; Nurcandra et al., 2020; Woldeamanuel et al., 2020). Sebuah penelitian di Thailand juga melaporkan bahwa pekerja yang terlibat dalam proses pencampuran pestisida memiliki prevalensi gejala neurologis dan gangguan respirasi yang lebih tinggi dibandingkan pekerja lainnya (Sapbamrer et al., 2024).

Dampak paparan pestisida tidak hanya dirasakan oleh pekerja pertanian, tetapi juga oleh masyarakat yang tinggal di sekitar area pertanian. Bukti ilmiah menunjukkan bahwa anak-anak yang tinggal di wilayah dengan intensitas penggunaan pestisida tinggi memiliki risiko lebih besar mengalami alergi, asma, dan gangguan sistem pernapasan lainnya (Buralli et al., 2020). Selain itu, penelitian di Ethiopia menunjukkan bahwa pekerja pertanian mengalami penurunan fungsi paru dan prevalensi gejala penyakit pernapasan yang lebih tinggi dibandingkan populasi kontrol (Woldeamanuel et al., 2020). Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa dampak negatif paparan pestisida tidak hanya terbatas pada pekerja yang terlibat secara langsung, tetapi juga berpotensi memengaruhi kesehatan masyarakat secara lebih luas.

2. KAJIAN TEORITIS

Strategi Guru Sejarah

Strategi pembelajaran merupakan komponen fundamental dalam proses belajar mengajar karena menentukan arah, metode, dan efektivitas pencapaian tujuan pembelajaran. Djamarah dan Zain (2002) dalam Ayuningsih, R., S et al. (2025) mendefinisikan strategi belajar mengajar sebagai pola umum kegiatan Guru dan Siswa dalam mewujudkan kegiatan belajar mengajar untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Strategi tersebut meliputi tahapan perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi pembelajaran yang disusun secara sistematis dengan mempertimbangkan karakteristik peserta didik, tujuan pembelajaran, serta materi yang diajarkan. Sejalan dengan itu, Hamalik (2003) dalam Mudasir (2024) memandang pembelajaran sebagai suatu sistem yang menghubungkan tujuan, materi, metode, media, dan evaluasi dalam satu kesatuan yang utuh. Dengan demikian, strategi Guru menjadi faktor penting dalam menciptakan interaksi belajar yang efektif dan bermakna.

Sanjaya (2006) membedakan antara pendekatan, strategi, metode, dan teknik pembelajaran, serta menempatkan strategi sebagai perencanaan tindakan yang mencakup pemilihan metode dan pemanfaatan sumber belajar untuk mencapai tujuan tertentu (Ayuningsih, R., S Adrianto, D Kueniawan, 2025). Dalam pembelajaran sejarah, strategi memiliki karakteristik khusus karena tidak hanya berorientasi pada penguasaan fakta, tetapi juga pada pembentukan kesadaran sejarah, nilai, dan karakter bangsa. Hasan (2012) dalam Mudasir (2024) menegaskan bahwa Guru sejarah harus mampu menghubungkan peristiwa masa lalu dengan kehidupan Siswa masa kini melalui pembelajaran yang kritis, reflektif, dan kontekstual. Berdasarkan pandangan tersebut, strategi Guru sejarah dapat dipahami sebagai upaya sistematis dalam merencanakan, melaksanakan, dan mengevaluasi pembelajaran guna meningkatkan kualitas proses dan hasil belajar Siswa.

Teori Prestasi Belajar

Prestasi belajar merupakan indikator keberhasilan Siswa dalam mengikuti proses pembelajaran. Sudjana (2005) dalam Hidayah et al. (2025) menjelaskan bahwa prestasi belajar adalah hasil yang dicapai Siswa setelah melalui proses belajar yang diwujudkan dalam bentuk kemampuan kognitif, afektif, dan psikomotor. Sementara itu, Hamalik (2003) dalam Hidayah et al. (2025) menyatakan bahwa prestasi belajar dipengaruhi oleh faktor internal, seperti minat, motivasi, dan kesiapan belajar, serta faktor eksternal yang meliputi strategi pembelajaran Guru, metode mengajar, media pembelajaran, dan iklim kelas. Oleh karena itu, strategi yang diterapkan Guru memiliki pengaruh yang besar terhadap motivasi dan keterlibatan Siswa dalam proses pembelajaran.

Dalam penelitian ini, teori yang digunakan adalah teori prestasi belajar menurut Sudjana (2005) dalam Hidayah et al. (2025), karena konsep tersebut memandang prestasi belajar sebagai hasil yang dicapai Siswa melalui proses pembelajaran yang tercermin pada aspek kognitif, afektif, dan psikomotor. Pemilihan teori ini sejalan dengan fokus penelitian yang tidak hanya menekankan hasil belajar secara akademik, tetapi juga perkembangan sikap dan keterampilan peserta didik. Dengan demikian, indikator yang digunakan dalam penelitian ini meliputi hasil yang dicapai Siswa, kemampuan kognitif, kemampuan afektif, dan kemampuan psikomotor sebagai bagian dari prestasi belajar.

Teori Peningkatan Prestasi

Peningkatan prestasi belajar merupakan proses perbaikan hasil belajar yang dilakukan secara terencana melalui penerapan strategi pembelajaran yang sesuai. Djamarah dan Zain (2002) dalam Hidayah et al. (2025) menegaskan bahwa peningkatan prestasi belajar dapat dicapai apabila Guru mampu memilih strategi pembelajaran yang tepat sesuai dengan tujuan dan kondisi Siswa. Strategi yang efektif akan meningkatkan keterlibatan dan motivasi belajar serta menciptakan suasana pembelajaran yang kondusif (Nurfitriani & Haifaturrahmah, 2025). Selanjutnya, Arends (2012) dalam Ayuningsih, R., S et al. (2025) menjelaskan bahwa Guru profesional perlu menguasai berbagai model pembelajaran, seperti pembelajaran langsung, pembelajaran kooperatif, dan pembelajaran berbasis masalah, karena keterlibatan aktif Siswa akan berdampak pada peningkatan pemahaman dan hasil belajar (Nurfitriani & Haifaturrahmah, 2025).

Dalam konteks pembelajaran sejarah, peningkatan prestasi belajar dapat diwujudkan melalui strategi yang mendorong Siswa untuk berpikir kritis, berdiskusi, serta merefleksikan makna peristiwa sejarah. Hasan (2012) dalam Aguilar-Moya dan Diamanti (2025) menekankan bahwa pembelajaran sejarah yang bermakna akan menghasilkan pemahaman yang lebih mendalam dan berdampak pada peningkatan hasil belajar peserta didik. Berdasarkan pemaparan tersebut, dapat disimpulkan bahwa peningkatan prestasi belajar merupakan hasil dari penerapan strategi pembelajaran yang efektif, sistematis, dan kontekstual. Penelitian ini berfokus pada strategi Guru sejarah dalam meningkatkan prestasi belajar Siswa di SMA Negeri 1 Kasimbar dengan asumsi bahwa strategi Guru merupakan faktor penting dalam menentukan keberhasilan pembelajaran sejarah.

3. METODE PENELITIAN

Metode Penyeleksian jurnal pada studi literatur ini dilakukan menggunakan metode penelitian sekunder melalui pendekatan narrative review. Sumber literatur diperoleh dari berbagai jurnal dan artikel ilmiah yang berasal dari basis data Google Scholar, PubMed, NCBI, ScienceDirect, dan Elsevier, dengan menggunakan publikasi berbahasa Indonesia dan Inggris. Proses pencarian literatur dilaksanakan pada bulan Februari 2024. Kata kunci yang digunakan dalam penelusuran meliputi “Pesticide Exposure”, “Lung Function”, “Pulmonary Function”, “Farmers”, dan “Occupational Health”. Dari hasil pencarian awal, diperoleh sebanyak 72 artikel. Selanjutnya dilakukan proses seleksi berdasarkan kesesuaian judul, abstrak, kata kunci, serta relevansi isi dengan topik determinan paparan pestisida terhadap fungsi paru pada petani, sehingga diperoleh 24 literatur yang diinklusi dan 48 literatur yang dieksklusi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Paparan Pestisida pada Petani

Intensitas penggunaan pestisida dalam sektor pertanian telah meningkat pesat untuk memenuhi permintaan produksi pangan yang terus berkembang. Sebagian besar petani menggunakan pestisida dalam skala besar, sering kali tanpa mematuhi standar keselamatan yang direkomendasikan. Penelitian menunjukkan bahwa aplikasi pestisida banyak dilakukan pada komoditas yang rentan terhadap serangan hama, seperti kapas dan sayuran, di mana petani umumnya menggunakan beberapa jenis pestisida dalam satu siklus tanam untuk mengendalikan berbagai organisme pengganggu tanaman (Marete et al., 2021; Assis et al., 2020; Manfo et al., 2024). Selain itu, kurangnya pelatihan mengenai penggunaan pestisida yang benar serta upaya perlindungan diri dari paparan bahan kimia berbahaya semakin meningkatkan risiko kesehatan bagi petani (Assis et al., 2020; Manfo et al., 2021).

Paparan pestisida juga bervariasi berdasarkan jenis tanaman yang dibudidayakan dan musim tanam. Petani yang membudidayakan tanaman pangan dan hortikultura, seperti padi dan sayuran, cenderung mengalami tingkat paparan pestisida yang lebih tinggi dibandingkan petani yang mengusahakan tanaman tahunan (Manfo et al., 2024). Perbedaan musim tanam turut memengaruhi pola penggunaan pestisida, di mana pada periode pertumbuhan tanaman yang lebih aktif, terutama musim hujan, frekuensi aplikasi pestisida umumnya meningkat (Manfo et al., 2024; Ramírez-Santana et al., 2020). Penelitian di Kenya juga menunjukkan bahwa petani sayuran mengalami paparan pestisida yang lebih tinggi selama musim tanam utama dibandingkan musim kering, ketika penggunaan pestisida relatif menurun (Marete et al., 2021).

Risiko paparan pestisida pada petani dapat dibedakan menjadi risiko akut dan risiko kronis. Paparan akut umumnya terjadi akibat kesalahan dalam proses pencampuran maupun aplikasi pestisida, yang dapat menimbulkan gejala seperti mual, pusing, muntah, hingga gangguan pernapasan (Assis et al., 2020; Manfo et al., 2020). Penelitian juga menunjukkan bahwa petani yang terpapar pestisida mengalami penurunan fungsi paru meskipun memiliki masa kerja yang relatif singkat, yaitu sekitar empat tahun (Assis et al., 2020). Sementara itu, paparan kronis berhubungan dengan berbagai gangguan kesehatan jangka panjang, termasuk gangguan neurologis, kerusakan genetik, dan peningkatan risiko kanker akibat akumulasi paparan pestisida secara terus-menerus (Marete et al., 2021; Zúñiga-Venegas & Pancetti, 2022). Pemantauan kesehatan menunjukkan bahwa petani dengan paparan jangka panjang memiliki kadar kolinesterase serum yang lebih rendah, yang mengindikasikan adanya gangguan pada sistem saraf akibat paparan pestisida (Manfo et al., 2021). Selain itu, sejumlah penelitian juga mengungkapkan adanya potensi efek genotoksik dari pestisida yang dapat meningkatkan risiko mutasi genetik dan perkembangan penyakit kronis, termasuk kanker (Assis et al., 2020; Marete et al., 2021).

Prevalensi Pestisida dan Tingkat Toksisitasnya

Petani sering kali terpapar pestisida melalui berbagai jalur, termasuk inhalasi, kontak dermal, dan ingesti. Penggunaan pestisida secara intensif untuk mengendalikan hama dan penyakit tanaman, terutama pada komoditas hortikultura seperti sayuran dan buah-buahan, meningkatkan risiko paparan terhadap bahan kimia berbahaya. Penelitian menunjukkan bahwa petani yang terlibat langsung dalam kegiatan penyemprotan pestisida memiliki tingkat paparan yang lebih tinggi dibandingkan dengan mereka yang tidak melakukan penyemprotan (Boonkhao et al., 2023; Nambunmee et al., 2021). Selain itu, penggunaan pestisida tanpa pelatihan yang memadai mengenai prosedur keselamatan kerja berkontribusi terhadap meningkatnya risiko paparan yang dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan (Mahawati, 2023).

Paparan pestisida pada petani bervariasi berdasarkan jenis tanaman yang dibudidayakan serta musim tanam. Penelitian di Thailand menunjukkan bahwa petani yang membudidayakan tanaman sayuran mengalami tingkat paparan pestisida yang lebih tinggi dibandingkan petani pada komoditas lainnya (Nambunmee et al., 2021). Intensitas penggunaan pestisida juga meningkat pada musim hujan karena tingginya serangan hama dan penyakit tanaman sehingga risiko paparan menjadi lebih besar (Nambunmee et al., 2021; Wadani et al., 2021). Pada petani padi, penggunaan pestisida meningkat selama fase-fase kritis pertumbuhan

tanaman sehingga memperbesar peluang terjadinya paparan terhadap pestisida yang bersifat toksik (Nurcandra et al., 2020).

Paparan pestisida telah terbukti menyebabkan berbagai gangguan kesehatan, terutama gangguan fungsi paru. Beberapa penelitian melaporkan adanya hubungan yang signifikan antara paparan pestisida dengan penurunan parameter spirometri, seperti *Forced Expiratory Volume in One Second* (FEV₁) dan *Forced Vital Capacity* (FVC) (Wadani et al., 2021; Hamzah et al., 2023). Selain itu, gejala akut berupa gangguan neurologis dan respirasi juga sering ditemukan pada petani yang terpapar pestisida, termasuk keluhan sesak napas, batuk kronis, mengi, dan gejala asma (Mahawati, 2023; Nurcandra et al., 2020).

Paparan pestisida dalam jangka panjang juga dikaitkan dengan meningkatnya kejadian penyakit pernapasan kronis, termasuk penyakit paru obstruktif kronis (PPOK) dan berbagai gangguan respirasi lainnya (Lee et al., 2022; Kangkhetkron & Juntarawijit, 2021). Penelitian menunjukkan bahwa paparan pestisida golongan organofosfat dapat menghambat aktivitas enzim kolinesterase sehingga meningkatkan risiko gangguan sistem saraf maupun sistem pernapasan dalam jangka panjang (Nambunmee et al., 2021; Bunsri et al., 2023).

Pestisida yang digunakan dalam sektor pertanian dapat diklasifikasikan berdasarkan golongan kimia dan mekanisme kerjanya sebagai berikut.

- a. Organofosfat. Kelompok pestisida ini bekerja dengan menghambat enzim asetilkolinesterase sehingga menyebabkan akumulasi asetilkolin pada sistem saraf. Contohnya adalah paration dan malation. Paparan kronis terhadap organofosfat telah dikaitkan dengan berbagai gangguan kesehatan, termasuk penurunan fungsi paru dan gangguan neurologis (Zaw et al., 2020; Mawardi et al., 2025).
- b. Karbamat. Pestisida golongan karbamat juga menghambat aktivitas asetilkolinesterase meskipun bersifat lebih reversibel dibandingkan organofosfat. Contohnya adalah karbofuran dan metomil. Paparan karbamat, terutama apabila terjadi bersamaan dengan pestisida lain, dapat memperburuk gangguan kesehatan sistem pernapasan (Țărmure et al., 2020).
- c. Piretroid. Piretroid merupakan insektisida sintetis yang dikembangkan untuk meniru aktivitas piretrin alami. Kelompok ini relatif kurang toksik dibandingkan organofosfat maupun karbamat, namun tetap dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan, gangguan sistem saraf, serta reaksi inflamasi pada individu yang terpapar (Țărmure et al., 2020).
- d. Organoklorin. Salah satu contoh kelompok ini adalah DDT yang saat ini telah banyak dilarang penggunaannya. Organoklorin memiliki sifat persisten di lingkungan dan

dikaitkan dengan berbagai dampak kesehatan, seperti gangguan endokrin, peningkatan risiko kanker, serta gangguan fungsi sistem pernapasan (Sitompul et al., 2024).

Berbagai penelitian menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara tingkat toksisitas pestisida dan penurunan fungsi paru. Paparan pestisida golongan organofosfat maupun karbamat terbukti berhubungan dengan penurunan nilai FEV₁ dan FVC sebagai indikator gangguan fungsi paru (Zaw et al., 2020; Rath et al., 2024). Selain itu, petani yang terpapar pestisida memiliki prevalensi lebih tinggi mengalami gejala respirasi, seperti batuk kronis, sesak napas, dan peningkatan produksi sputum dibandingkan kelompok yang tidak terpapar (Mawardi et al., 2025; Salehipour et al., 2024).

Penelitian lain juga melaporkan bahwa petani yang mengalami paparan pestisida menunjukkan penurunan signifikan pada kapasitas vital paksa (*Forced Vital Capacity/FVC*) maupun *Peak Expiratory Flow* (PEF), yang mencerminkan adanya gangguan fungsi paru akibat paparan pestisida secara berulang (Wadani et al., 2021). Temuan tersebut menegaskan pentingnya upaya pencegahan melalui peningkatan penggunaan alat pelindung diri, edukasi mengenai penggunaan pestisida yang aman, serta pelatihan keselamatan kerja bagi petani.

Penggunaan campuran beberapa jenis pestisida (*cocktail effect*) diketahui dapat meningkatkan risiko kesehatan secara lebih besar dibandingkan penggunaan satu jenis pestisida. Interaksi antar senyawa kimia dalam campuran tersebut dapat menghasilkan efek sinergis sehingga meningkatkan tingkat toksisitas melebihi efek masing-masing senyawa secara individual (Buralli et al., 2020; Rasiska et al., 2025). Sejumlah penelitian juga menunjukkan bahwa efek sinergis tersebut berpotensi memperburuk gangguan fungsi paru dan meningkatkan risiko penyakit respirasi kronis (Țărmure et al., 2020; Sitompul et al., 2024). Oleh karena itu, petani yang menggunakan kombinasi berbagai jenis pestisida memiliki risiko lebih tinggi mengalami gangguan kesehatan dibandingkan mereka yang hanya menggunakan satu jenis pestisida.

Kombinasi pestisida, terutama antara golongan organofosfat dan karbamat, dalam satu kali aplikasi juga dapat meningkatkan risiko terjadinya penurunan fungsi paru serta berbagai gangguan kesehatan lainnya akibat efek toksik yang bersifat aditif maupun sinergis (Zheng et al., 2023). Oleh karena itu, pengawasan terhadap penggunaan campuran pestisida, disertai penerapan standar keselamatan kerja yang ketat, menjadi langkah penting dalam melindungi kesehatan pekerja di sektor pertanian.

Rute dan Mekanisme Paparan terhadap Sistem Pernapasan

Inhalasi merupakan rute utama paparan pestisida pada pekerja pertanian. Paparan ini terjadi melalui aerosol maupun uap yang dihasilkan selama proses penyemprotan pestisida di lahan pertanian. Ketika pestisida diaplikasikan, partikel-partikel halus dapat melayang di udara dan masuk ke saluran pernapasan petani maupun individu yang berada di sekitar lokasi penyemprotan. Risiko paparan paling tinggi terjadi selama proses aplikasi karena petani tidak hanya terpapar secara langsung, tetapi juga berpotensi mencemari lingkungan sekitarnya. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pestisida yang terhirup dapat menyebabkan peradangan saluran napas, penurunan fungsi paru, serta penurunan nilai *Forced Vital Capacity* (FVC) dan *Forced Expiratory Volume in One Second* (FEV₁), yang merupakan indikator penting fungsi respirasi (Dhansoia et al., 2022; Tǎrmure et al., 2020). Temuan tersebut menunjukkan bahwa paparan melalui inhalasi merupakan salah satu jalur utama yang berkontribusi terhadap gangguan kesehatan sistem pernapasan.

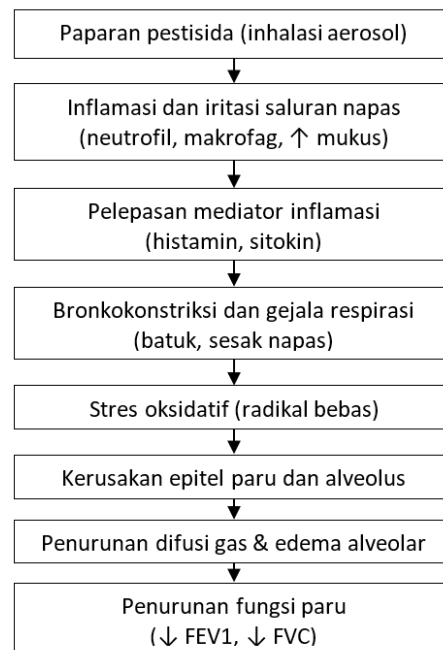
Paparan pestisida juga dapat terjadi secara tidak langsung melalui kontaminasi lingkungan kerja. Residu pestisida yang mengendap pada tanah, tanaman, peralatan kerja, maupun pakaian dapat menjadi sumber paparan bagi pekerja yang tidak terlibat langsung dalam proses penyemprotan. Selain itu, pencemaran udara akibat penggunaan pestisida dapat memperburuk kualitas udara di sekitar area pertanian sehingga meningkatkan risiko gangguan kesehatan paru. Penelitian menunjukkan bahwa interaksi antara paparan pestisida dan polusi udara memiliki efek sinergis terhadap penurunan fungsi paru, terutama pada anak-anak yang menderita asma, sehingga memperburuk gejala respirasi dan meningkatkan kerentanan terhadap infeksi saluran pernapasan (Benka-Coker et al., 2020).

Beberapa faktor lingkungan turut memengaruhi tingkat dan intensitas paparan pestisida melalui udara, antara lain sebagai berikut.

- a. Angin. Kecepatan dan arah angin memengaruhi penyebaran partikel pestisida di udara. Pada kondisi berangin, pestisida dapat terdispersi lebih jauh sehingga meningkatkan risiko paparan bagi masyarakat maupun pekerja yang berada di sekitar area penyemprotan (Xu et al., 2021).
- b. Suhu. Suhu lingkungan yang tinggi meningkatkan volatilitas pestisida sehingga lebih banyak partikel maupun uap pestisida yang dapat terhirup. Kondisi tersebut berpotensi memperberat efek toksik pestisida terhadap sistem pernapasan (Xu et al., 2021).
- c. Ventilasi. Lingkungan kerja dengan ventilasi yang buruk menyebabkan akumulasi aerosol maupun uap pestisida di udara sehingga meningkatkan konsentrasi paparan. Sebaliknya,

ventilasi yang baik dapat menurunkan konsentrasi pestisida di udara dan mengurangi risiko gangguan kesehatan respirasi (Tǎrmure et al., 2020).

Mekanisme Patofisiologi Gangguan Paru Akibat Pestisida



Gambar 1. Mekanisme Patofisiologi Gangguan Paru Akibat Pestisida.

Peran Lama Kerja dan Frekuensi Penyemprotan

Lama masa kerja merupakan salah satu faktor penting yang berhubungan dengan penurunan fungsi paru pada petani. Paparan pestisida secara terus-menerus selama bertahun-tahun meningkatkan risiko terjadinya gangguan sistem pernapasan akibat akumulasi bahan toksik di dalam tubuh. Penelitian menunjukkan bahwa petani dengan masa kerja lebih dari sepuluh tahun memiliki nilai *Forced Vital Capacity* (FVC) dan *Forced Expiratory Volume in One Second* (FEV₁) yang lebih rendah dibandingkan petani dengan masa kerja yang lebih singkat (Ratanachina et al., 2021). Penurunan fungsi paru tersebut diduga berkaitan dengan akumulasi paparan pestisida yang meningkatkan risiko terjadinya penyakit paru obstruktif kronis (PPOK) (Zaw et al., 2020).

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa semakin lama seseorang bekerja sebagai petani, semakin tinggi frekuensi paparan pestisida yang diterima, sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya gangguan pernapasan maupun memperburuk penyakit respirasi yang telah ada, seperti asma dan infeksi saluran napas (Zaw et al., 2020). Paparan organofosfat selama lebih dari lima belas tahun diketahui berhubungan dengan penurunan fungsi paru yang lebih berat dibandingkan paparan dengan durasi yang lebih pendek (Zaw et al., 2020).

Selain lama kerja, frekuensi penyemprotan pestisida juga merupakan faktor yang sangat memengaruhi kesehatan sistem pernapasan petani. Penelitian yang dilakukan oleh Liem et al. (2021) menunjukkan bahwa petani yang melakukan penyemprotan lebih dari dua kali setiap minggu lebih sering mengalami gejala respirasi, seperti nyeri dada, batuk, dan sesak napas dibandingkan petani yang melakukan penyemprotan dengan frekuensi lebih rendah (Liem et al., 2021). Paparan yang berulang memungkinkan terjadinya akumulasi pestisida di dalam tubuh sehingga meningkatkan risiko gangguan fungsi paru (Mahawati, 2023).

Durasi penyemprotan dalam setiap sesi juga berpengaruh terhadap besarnya risiko kesehatan. Petani yang melakukan penyemprotan selama lebih dari empat jam dalam satu kali kegiatan menunjukkan penurunan fungsi paru yang lebih besar dibandingkan petani dengan durasi penyemprotan yang lebih singkat (Mahawati, 2023). Kondisi tersebut diperburuk oleh penggunaan alat pelindung diri yang tidak memadai serta rendahnya pengetahuan mengenai praktik penggunaan pestisida yang aman.

Paparan pestisida dalam jangka panjang dapat menimbulkan efek akumulatif yang menyebabkan kerusakan progresif pada jaringan paru. Paparan berulang terhadap pestisida yang bersifat neurotoksik, terutama golongan organofosfat dan karbamat, diketahui dapat menyebabkan kerusakan struktural jaringan paru sehingga meningkatkan risiko penyakit paru kronis dan penurunan fungsi paru secara bertahap (Burns & Juberg, 2021).

Studi lain juga menunjukkan bahwa petani dengan akumulasi paparan pestisida lebih dari 300 hari dalam satu tahun mengalami peningkatan yang signifikan pada gejala respirasi serta penurunan fungsi paru dibandingkan kelompok dengan paparan yang lebih rendah (Shi et al., 2022). Akumulasi paparan tersebut meningkatkan risiko terjadinya penyakit paru obstruktif dan memperburuk fungsi respirasi seiring bertambahnya waktu. Selain itu, paparan pestisida secara berulang juga meningkatkan kerentanan terhadap infeksi saluran pernapasan, mengganggu pertumbuhan dan perkembangan paru pada anak-anak di lingkungan pertanian, serta meningkatkan risiko asma dan penyakit respirasi lainnya (Salami & Oginawati, 2024; Keleb et al., 2024).

Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD)

Petani yang menyemprot pestisida diharapkan menggunakan berbagai jenis alat pelindung diri (APD) untuk meminimalkan risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh bahan kimia berbahaya ini. Jenis APD yang umum digunakan meliputi:

- a. Masker atau Respirator: Melindungi saluran pernapasan dari aerosol dan uap pestisida yang berbahaya. Penggunaan respirator yang sesuai dapat mengurangi jumlah pestisida yang terhirup (Onyando et al., 2023).
- b. Kacamata Pelindung: Melindungi mata dari percikan atau uap pestisida yang dapat mengiritasi atau merusak penglihatan (Onyando et al., 2023).
- c. Sarung Tangan: Membantu mencegah kontak langsung dengan kulit dan mengurangi risiko paparan dermal terhadap pestisida (Tham-Agyekum et al., 2024).
- d. Apron atau Pakaian Pelindung: Mengenakan pakaian yang terbuat dari bahan tahan air atau sintetis dapat mencegah pestisida menempel pada kulit dan memperkecil risiko paparan sistemik (Onyando et al., 2023).

Kepatuhan terhadap penggunaan APD sangat berpengaruh terhadap risiko gangguan paru pada petani. Penelitian menunjukkan bahwa petani yang secara rutin menggunakan APD memiliki risiko lebih rendah untuk mengalami masalah respirasi seperti batuk, sesak napas, dan penurunan fungsi paru dibandingkan dengan mereka yang tidak menggunakan APD (Ratanachina et al., 2022). Sebuah studi di Kenya menunjukkan bahwa petani yang menggunakan APD secara disiplin menunjukkan hasil kesehatan yang lebih baik dan rentang indikator fungsi paru yang lebih stabil (Onyando et al., 2023). Hal ini menunjukkan pentingnya kepatuhan terhadap protokol keselamatan dalam penggunaan pestisida untuk melindungi kesehatan pernapasan.

Dalam konteks ini, terdapat hubungan langsung antara tingkat kepatuhan penggunaan APD dengan frekuensi serta tingkat keparahan gejala gangguan paru. Petani yang tidak mengikuti pedoman penggunaan APD lebih mungkin mengalami efek merugikan akibat paparan pestisida (Ratanachina et al., 2022; Chekol, 2024). Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa meningkatnya kesadaran mengenai pentingnya penggunaan APD dapat menurunkan kejadian penyakit pernapasan secara signifikan (Onyando et al., 2023).

Banyak petani menghadapi berbagai hambatan dalam menggunakan APD secara konsisten. Faktor-faktor tersebut meliputi:

- a. Biaya: Banyak petani tidak mampu membeli APD yang berkualitas karena harganya relatif mahal, terutama di daerah pedesaan (Tham-Agyekum et al., 2024).

- b. Ketersediaan: Ketidaktersediaan APD di toko lokal atau pasar juga menjadi kendala karena perlengkapan pelindung tidak selalu mudah diperoleh (Tham-Agyekum et al., 2024).
- c. Kurangnya Pengetahuan dan Kesadaran: Meskipun pelatihan telah diberikan, rendahnya pemahaman mengenai risiko kesehatan akibat pestisida dan cara penggunaan APD yang benar masih menjadi hambatan utama (Shakya & Acharya, 2023). Pemahaman yang rendah mengenai pentingnya APD dalam melindungi kesehatan juga sering menyebabkan ketidakpatuhan (Shakya & Acharya, 2023).
- d. Ketidaknyamanan: APD yang dirasakan tidak nyaman, terutama saat digunakan dalam kondisi cuaca panas, dapat menurunkan kepatuhan petani dalam mengenakan alat pelindung secara benar (Hamzah et al., 2023).
- e. Kebiasaan dan Budaya Kerja: Kebiasaan serta budaya kerja tradisional di kalangan petani sering kali mengabaikan penggunaan APD karena adanya anggapan bahwa mereka tidak memerlukan perlindungan tambahan (Chekol, 2024).

Upaya Pencegahan dan Pengendalian Risiko

Edukasi yang efektif mengenai penggunaan pestisida yang aman dan rasional merupakan langkah penting dalam melindungi kesehatan petani dan masyarakat. Program pelatihan harus mencakup pengetahuan mengenai jenis-jenis pestisida, cara aplikasi yang benar, dan potensi bahaya yang ditimbulkan akibat penggunaan pestisida yang tidak sesuai. Penelitian oleh Ahmadipour dan Nakhei menunjukkan bahwa peningkatan pengetahuan petani mengenai risiko kesehatan akibat pestisida dapat mengurangi ketidakpatuhan terhadap prosedur keselamatan dan menurunkan paparan yang berbahaya (Ahmadipour & Nakhei, 2024). Dengan mengedukasi petani mengenai alternatif pengendalian hama, termasuk penggunaan pestisida yang lebih aman dan strategi nonkimia, kejadian gangguan kesehatan akibat pestisida dapat diminimalkan.

Peningkatan penggunaan alat pelindung diri (APD) harus menjadi fokus utama dalam pengendalian risiko kesehatan petani. Penelitian yang dilakukan oleh Lari et al. menunjukkan bahwa penggunaan APD secara konsisten mampu mengurangi dampak negatif paparan pestisida, termasuk gangguan pernapasan dan peradangan saluran napas (Lari et al., 2023). Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan kebijakan yang mendorong penggunaan APD serta memperkenalkan praktik kerja yang sehat, seperti memastikan ventilasi yang baik saat penyemprotan dan memilih waktu aplikasi yang tepat untuk mengurangi paparan (Lari et al., 2023). Selain itu, pelatihan pra-kerja perlu mencakup pengenalan mengenai cara penggunaan APD yang benar agar perlindungan yang diberikan menjadi optimal.

Pemeriksaan kesehatan dan fungsi paru secara berkala sangat penting untuk mendeteksi masalah kesehatan akibat paparan pestisida. Program kesehatan yang menjadwalkan pemeriksaan rutin memungkinkan pemantauan gejala pernapasan sekaligus memfasilitasi intervensi dini bagi petani yang mengalami gangguan paru. Meskipun penelitian Kolb et al. berfokus pada fibrosis paru dalam model eksperimental, pentingnya deteksi dini dan intervensi yang tepat waktu terhadap paparan bahan berbahaya juga relevan untuk diterapkan pada petani yang terpapar pestisida (Kolb et al., 2022).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Paparan pestisida pada petani merupakan faktor risiko penting terhadap gangguan fungsi paru, terutama melalui rute inhalasi selama proses penyemprotan. Berbagai determinan seperti jenis dan toksisitas pestisida, lama kerja, frekuensi serta durasi penyemprotan, dan rendahnya kepatuhan penggunaan alat pelindung diri berkontribusi signifikan terhadap penurunan parameter fungsi paru. Mekanisme patofisiologis yang terlibat meliputi inflamasi saluran napas, stres oksidatif, kerusakan alveolus, serta penurunan kapasitas difusi paru. Dampak paparan tidak hanya bersifat akut, tetapi juga kronik, yang dapat meningkatkan risiko penyakit paru obstruktif kronis. Oleh karena itu, upaya pencegahan melalui edukasi, peningkatan penggunaan APD, serta pemantauan kesehatan paru secara berkala sangat diperlukan untuk melindungi kesehatan petani.

Petani perlu meningkatkan kepatuhan dalam penggunaan alat pelindung diri (APD) secara lengkap dan benar setiap kali melakukan pencampuran maupun penyemprotan pestisida untuk mengurangi risiko gangguan kesehatan, khususnya gangguan fungsi paru. Selain itu, pemerintah, dinas pertanian, dan tenaga kesehatan diharapkan memperkuat program edukasi, pelatihan penggunaan pestisida yang aman, penyediaan APD yang terjangkau, serta pemeriksaan kesehatan dan fungsi paru secara berkala. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan desain longitudinal dengan pengukuran paparan pestisida secara objektif dan pemeriksaan fungsi paru menggunakan spirometri agar hubungan antara paparan pestisida, penggunaan APD, dan gangguan paru dapat dibuktikan secara lebih kuat.

DAFTAR REFERENSI

- Angaye, T., & Lelei, K. (2022). The toxicity of synthetic pesticides in the Niger Delta Region: A review. *Archives of Ecotoxicology*, 4(4), 105–108. <https://doi.org/10.36547/ae.2022.4.4.105-108>
- Assis, M., Barcella, R., Padilha, J., Pohl, H., & Krug, S. (2020). Health problems in agricultural workers occupationally exposed to pesticides. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, 18(3), 352–363. <https://doi.org/10.47626/1679-4435-2020-532>
- Benka-Coker, W., Hoskovec, L., Severson, R., Balmes, J., Wilson, A., & Magzamen, S. (2020). The joint effect of ambient air pollution and agricultural pesticide exposures on lung function among children with asthma. *Environmental Research*, 190, 109903. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109903>
- Boonkhao, L., Baukeaw, W., Saenrueang, T., & Rattanachaikunsopon, P. (2023). Factors influencing the level of health risks from pesticide exposure among vegetable farmers. *SEHS*, 17, 23050006. <https://doi.org/10.69598/sehs.17.23050006>
- Bunsri, S., Muenchamnan, N., Naksen, W., & Ong-Artborirak, P. (2023). The hematological and biochemical effects from pesticide exposure on Thai vegetable farmers. *Toxics*, 11(8), 707. <https://doi.org/10.3390/toxics11080707>
- Buralli, R., Dultra, A., & Ribeiro, H. (2020). Respiratory and allergic effects in children exposed to pesticides: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2740. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082740>
- Burns, C., & Juberg, D. (2021). Cancer and occupational exposure to pesticides: An umbrella review. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 94(5), 945–957. <https://doi.org/10.1007/s00420-020-01638-y>
- Chekol, G. (2024). *Understanding the factors behind non-adherence to pesticide safety guidelines among smallholder farmers in Fogera and Mecha Districts, Northwestern Ethiopia*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4763735/v1>
- Dhansoia, V., Majumdar, V., Manjunath, N., Gaharwar, U., & Singh, D. (2022). Breathing-focused yoga intervention on respiratory decline in chronically pesticide-exposed farmers: A randomized controlled trial. *Frontiers in Medicine*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.807612>
- Hamzah, N., Zahari, N., Yhaya, M., Anua, S., Samad, N., Mamat, M., et al. (2023). Occupational pesticide exposure and respiratory effects among mosquito control workers in Kota Bharu and Bachok, Kelantan. *Journal of Energy and Safety Technology*, 5(2), 39–51. <https://doi.org/10.11113/jest.v5n2.117>
- Kangkhetkron, T., & Juntarawijit, C. (2021). Pesticide exposure and lung cancer risk: A case-control study in Nakhon Sawan, Thailand. *F1000Research*, 9, 492. <https://doi.org/10.12688/f1000research.24114.4>
- Keleb, A., Daba, C., Asmare, L., Bayou, F., Arefaynie, M., Mohammed, A., et al. (2024). The association between children's exposure to pesticides and asthma, wheezing, and lower respiratory tract infections: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Public Health*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1402908>
- Lee, S., Han, J., Woo, S., & Lee, S. (2022). Occupational factors affecting the decline in pulmonary function among male farmers using occupational pesticide in Gyeonggi-do,

- South Korea. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, 34(1), e42. <https://doi.org/10.35371/aoem.2022.34.e42>
- Liem, J., Mansyur, M., Soemarko, D., Kekalih, A., Subekti, I., Suyatna, F., et al. (2021). Cumulative exposure characteristics of vegetable farmers exposed to chlorpyrifos in Central Java, Indonesia: A cross-sectional study. *BMC Public Health*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11161-5>
- Mahawati, E. (2023). Effect of safety and hygiene practices on lung function among Indonesian farmers exposed to pesticides. *South Eastern European Journal of Public Health*. <https://doi.org/10.56801/seejph.vi.262>
- Manfo, F. P. T., Mboe, S. A., Nantia, E. A., Ferdinand, N. N., Telefo, P. B., Moundipa, P. F., et al. (2020). Evaluation of the effects of agro pesticides use on liver and kidney function in farmers from Buea, Cameroon. *Journal of Toxicology*, 2020, 2305764. <https://doi.org/10.1155/2020/2305764>
- Manfo, F. P. T., Nimako, C. A., Nantia, E. A., Suh, C. E., Chenwi, S. T., Cho-Ngwa, F., et al. (2024). Exposure of male farmers and nonfarmers to neonicotinoid pesticides in the South-West and Littoral Regions of Cameroon: A comparative study. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 43(5), 952–964. <https://doi.org/10.1002/etc.5842>
- Manfo, F. P. T., Suh, C. E., Nantia, E. A., Moundipa, P. F., & Cho-Ngwa, F. (2021). Occupational use of agrochemicals results in inhibited cholinesterase activity and altered reproductive hormone levels in male farmers from Buea, Cameroon. *Toxicology Research*, 10(2), 232–248. <https://doi.org/10.1093/toxres/tfaa113>
- Marete, G. M., Lalah, J. O., Mputhia, J., & Wekesa, V. W. (2021). Pesticide usage practices as sources of occupational exposure and health impacts on horticultural farmers in Meru County, Kenya. *Heliyon*, 7(2), e06118. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06118>
- Mawardi, S., Dekasari, V., Handayani, I., Kurniawan, E., Nur, K., Kurniawan, D., et al. (2025). Causative factors of respiratory tract disorders among agricultural workers. *Health and Technology Journal*, 3(3), 365–378. <https://doi.org/10.53713/htechj.v3i3.327>
- Mehta, R., Sreenivasa, M., Mathew, M., Girard, A., Taneja, S., Ranjan, S., et al. (2020). A mixed-methods study of pesticide exposures in breastmilk and community and lactating women's perspectives from Haryana, India. *BMC Public Health*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09966-x>
- Nambunmee, K., Kawiya, T., Neitzel, R. L., & Seeprasert, P. (2021). Pesticide spraying and reduced cholinesterase activity among hill tribe farmers in Thailand. *Journal of Health and Pollution*, 11(31). <https://doi.org/10.5696/2156-9614-11.31.210908>
- Nurcandra, F., Mahkota, R., & Wahyono, T. Y. M. (2020). Adverse effect of aerosol pesticide on lung dysfunction among paddy farmers in Purworejo, Central Java, Indonesia. *Kesmas: National Public Health Journal*, 15(2). <https://doi.org/10.21109/kesmas.v15i2.2703>
- Olirk, B., Mamuya, S., Mosha, I., Moen, B., & Ngowi, A. (2025). Occupational pesticide exposure risks and gendered experiences among women in horticultural farms in Northern Tanzania. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(10), 1529. <https://doi.org/10.3390/ijerph22101529>
- Onyando, Z., Omukunda, E., Okoth, P., Khatiebi, S., Omwoma, S., Otieno, P., et al. (2023). Screening and prioritization of pesticide application for potential human health and

- environmental risks in large-scale farms in Western Kenya. *Agriculture*, 13(6), 1178. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061178>
- Pedroso, T., Benvindo-Souza, M., Nascimento, F., Woch, J., Reis, F., & Silva, D. (2021). Cancer and occupational exposure to pesticides: A bibliometric study of the past 10 years. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(12), 17464–17475. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17031-2>
- Ramírez-Santana, M., Zúñiga-Venegas, L., Corral, S., Roeleveld, N., Groenewoud, H., Velden, K., et al. (2020). Association between cholinesterase inhibition and cognitive impairment: A basis for prevention policies of environmental pollution by organophosphate and carbamate pesticides in Chile. *Environmental Research*, 186, 109539. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109539>
- Rasiska, S., Sudarjat, S., Dono, D., Suganda, T., & Setiawan, I. (2025). Evaluation behavior of highland vegetable farmers on West Bandung Regency to use good pesticide practices. *Cropsaver: Journal of Plant Protection*, 8(1), 35–46. <https://doi.org/10.24198/cropsaver.v8i1.62005>
- Ratanachina, J., Amaral, A. F. S., De Matteis, S., Cullinan, P., & Burney, P. (2021). Farming, pesticide exposure and respiratory health: A cross-sectional study in Thailand. *Occupational and Environmental Medicine*, 79(1), 38–45. <https://doi.org/10.1136/oemed-2020-107325>
- Ratanachina, J., Amaral, A. F. S., De Matteis, S., Lawin, H., Mortimer, K., Obaseki, D., et al. (2022). Association of respiratory symptoms and lung function with occupation in the multinational Burden of Obstructive Lung Disease (BOLD) study. *European Respiratory Journal*, 61(1), 2200469. <https://doi.org/10.1183/13993003.00469-2022>
- Rath, I., Mishra, J., Verma, K., Pradhan, A., & Pani, P. (2024). Assessing pulmonary function in workers exposed to rice threshing processes. *Journal of Ecophysiology and Occupational Health*, 281–286. <https://doi.org/10.18311/jeoh/2024/36482>
- Salami, I., & Oginawati, K. (2024). Pesticide residue exposure effect on health, growth, and development among children from agricultural area. *E3S Web of Conferences*, 485, 07009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448507009>
- Salehipour, S., Saedi, A., Assadollahi, Z., Lotfi, M., Rahmani, M., Nosratabadi, F., et al. (2024). The impact of pesticides exposure on thyroid function in Rafsanjan farmers in 2023–2024: A case-control study. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*. <https://doi.org/10.18502/jehsd.v9i4.17392>
- Sapbamrer, R., Sittitoon, N., Thongtip, S., Chaipin, E., Sitalangka, C., Chaiut, W., et al. (2024). Acute health symptoms related to perception and practice of pesticides use among farmers from all regions of Thailand. *Frontiers in Public Health*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1296082>
- Shakya, A., & Acharya, N. (2023). Factors affecting the knowledge of vegetable farmers of Chitwan and Makwanpur district over pesticide use. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 8(2), 221–227. <https://doi.org/10.26832/24566632.2023.0802019>
- Shentema, M., Kumie, A., Bråtvæit, M., Deressa, W., Ngowi, A., & Moen, B. (2020). Pesticide use and serum acetylcholinesterase levels among flower farm workers in Ethiopia: A cross-sectional study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 964. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030964>

- Shi, L., Yu, G., Zhao, L., Wen, Z., Li, Y., Kan, B., et al. (2022). Methemoglobinemia and delayed encephalopathy after 5-bromo-2-nitropyridine poisoning: A rare case report. *Frontiers in Public Health*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.942003>
- Sitompul, D., Lumbantobing, P., Manik, S., & Harefa, M. (2024). Optimasi penggunaan bio-pestisida sebagai pengganti pestisida kimia pada pertanian di Kec. Percut Sei Tuan, Kab. Deli Serdang. *El-Mujtama: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(2). <https://doi.org/10.47467/elmujtama.v4i2.1281>
- Țărmure, S., Alexescu, T., Orășan, O., Negrean, V., Sitar-Tăut, A., Coste, S., et al. (2020). Influence of pesticides on respiratory pathology: A literature review. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 27(2), 194–200. <https://doi.org/10.26444/aaem/121899>
- Tham-Agyekum, E., Ankuyi, F., Jones, E., Tierku, A., Sarfo, D., Bakang, J., et al. (2024). Cocoa farmers and agrochemical safety compliance: Empirical insights from Ghana. *Pelita Perkebunan (A Coffee and Cocoa Research Journal)*, 40(1), 91–104. <https://doi.org/10.22302/iccricri.jur.pelitaperkebunan.v40i1.589>
- Vorselaars, A. D. M., Berg, P. van den, & Drent, M. (2021). Severe pulmonary toxicity associated with inhalation of pyrethroid-based domestic insecticides (Bop/Sapolio): A case series and literature review. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, 27(4), 271–277. <https://doi.org/10.1097/MCP.0000000000000779>
- Wadani, Z., Azam, I., Irfan, M., & Fatmi, Z. (2021). Pesticides use and impaired lung function among male agricultural farmers in rural Sindh, Pakistan. *Asia Pacific Journal of Public Health*, 34(2–3), 230–235. <https://doi.org/10.1177/10105395211065647>
- Woldeamanuel, G. G., Mingude, A. B., Yitbarek, G. Y., & Taderegew, M. M. (2020). Chronic respiratory symptoms and pulmonary function status in Ethiopian agricultural workers: A comparative study. *BMC Pulmonary Medicine*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12890-020-1120-3>
- Xu, R., Rahmandad, H., Gupta, M., DiGennaro, C., Ghaffar zadegan, N., Amini, H., et al. (2021). Weather, air pollution, and SARS-CoV-2 transmission: A global analysis. *The Lancet Planetary Health*, 5(10), e671–e680. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00202-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00202-3)
- Zaw, T., Phyu, M., & Kyaw, S. (2020). Erythrocyte acetylcholinesterase enzyme activity, serum interleukin-6 level and respiratory function of Myanmar agricultural workers exposed to organophosphate pesticides. *International Journal of Clinical and Experimental Physiology*, 7(3), 107–111. <https://doi.org/10.5530/ijcep.2020.7.3.26>
- Zheng, R., García-González, J., Rey, R., López-Villén, A., García-Álvarez, R., Fadul-Calderón, R., et al. (2023). Occupational exposure to pesticides as a risk factor for sleep disorders. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3149. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043149>
- Zúñiga-Venegas, L., & Pancetti, F. (2022). DNA damage in a Chilean population exposed to pesticides and its association with PON1 (Q192R and L55M) susceptibility biomarker. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 63(4), 215–226. <https://doi.org/10.1002/em.22485>