

Resiko Gangguan Pernapasan pada Industri Besi Baja

Joko Susilo^{1*}, Feny Tunjungsari²

¹Rumah Sakit Umum Daerah dr. Soedomo Trenggalek

²Universitas Muhammadiyah Malang

ABSTRAK

Pekerjaan pada pabrik besi baja dekat dengan paparan debu, asap, dan gas. Polutan dari aktivitas pada pekerja pabrik seperti debu besi dan partikel lainnya dapat meningkatkan permeabilitas dari mukosa saluran pernapasan. Debu besi dapat menyebabkan kerusakan surfaktan paru dan fungsi paru serta kuarsa dapat memberikan resiko silikosis, kanker paru, penyakit kardiovaskular, dan mortalitas. Studi ini menggunakan beberapa kajian literatur melalui beberapa jurnal internasional dari tahun 2015 sampai 2020. Pencarian artikel berkaitan dengan resiko gangguan pernapasan pada pabrik besi baja. Paparan pada pekerja pabrik diantaranya meliputi asap logam, debu, silika, gas asam. Gangguan pernapasan muncul dalam bentuk gejala klinis yang terbagi menjadi gejala kronis dan akut serta perubahan fungsi paru yang terlihat dari perubahan pada FVC dan FEV1 dari pemeriksaan spirometri. Faktor yang mempengaruhi adalah agen logam yang dapat terhirup, lamanya pekerja terpapar, bekerja di ruang terbatas, kurangnya ventilasi yang memadai, pelatihan keselamatan dan kesehatan kerja yang kurang, dan kepatuhan pekerja dalam penggunaan alat pelindung diri. Resiko gangguan pernafasan pada pekerja industri baja adalah penurunan fungsi paru yang disertai gangguan pernafasan akut maupun kronik. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi gangguan pernapasan pada pekerja sehingga perusahaan produksi besi baja disarankan melakukan pendekatan holistik komprehensif dalam menangani permasalahan resiko gangguan pernapasan pada pabrik besi baja.

Kata Kunci: Gangguan Pernapasan, Industri Besi Baja, Pekerja

ABSTRACT

Work in steel mills is close to exposure to dust, fumes, and gases. Pollutants from activities in factory workers such as iron dust and other particles can increase the permeability of the respiratory tract mucosa. Iron dust can cause damage to lung surfactant and lung function and quartz can pose a risk of silicosis, lung cancer, cardiovascular disease, and mortality. This study uses several literature reviews through several international journals from 2015 to 2020. Search articles related to the risk of respiratory disorders in steel factories. Exposures to factory workers include metal fumes, dust, silica, acid gases. Respiratory disorders appear in the form of clinical symptoms which are divided into chronic and acute symptoms as well as changes in lung function as seen from changes in FVC and FEV1 from spirometry examination. The influencing factors are metallic agents that can be inhaled, the length of time workers are exposed to, working in confined spaces, lack of adequate ventilation, lack of occupational safety and health training, and worker compliance in the use of personal protective equipment. The risk of respiratory disorders in steel industry workers is a decrease in lung function accompanied by acute and chronic respiratory disorders. There are several factors that affect respiratory disorders in workers so that steel production companies are advised to take a comprehensive holistic approach in dealing with the risk of respiratory problems in steel factories.

Keywords: Respiratory Disorders, Steel Industry, Worker

***Korespondensi penulis:** □ 10pt, Times New Roman bold

Nama: **Joko Susilo**

Instansi: Rumah Sakit Umum Daerah dr. Soedomo Trenggalek

Alamat: Jl. Dr. Sutomo No 2 Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur, (0355) 793118

Email: joko_susilo@umm.ac.id

Pendahuluan

Pada industri besi dan baja, pekerja terpapar bahan kimiawi seperti uap, asap, bahaya fisik seperti kebisingan, getaran, suhu. Pekerjaan yang dekat dengan paparan debu, asap, dan gas berhubungan dengan peningkatan prevalensi gejala pernafasan dan gangguan fungsi paru.¹ Baja diproduksi melalui serangkaian proses, melalui peleburan dan pengecoran hingga pembuatan dari produk jadi. Emisi asap dan partikelnya merupakan masalah utama bagi pekerja yang bekerja pada industri logam cair, kokas, dan tungku. Ada bukti bahwa pekerja baja lebih rentan terhadap penyempitan saluran pernafasan reversibel, prevalensi gejala pernafasan kronis yang lebih besar dan tanda-tanda seperti batuk, dahak, mengi, dan sesak serta perubahan indeks fungsi paru.²

Pekerja di pabrik baja menghirup partikel debu yang mengandung senyawa logam. Paparan partikel logam dalam waktu yang lama dapat menyebabkan kerusakan surfaktan paru dan fungsi paru sehingga menyebabkan penyakit paru kronik. Penurunan fungsi paru yang signifikan berkaitan sejalan dengan obstruksi jalan napas ringan. Paparan debu diantara pekerja baja sangat berhubungan dengan penurunan volume ekspirasi paksa dalam 1 detik (FEV1), kapasitas vital paksa (FVC), dan persentase FEV1/FVC.³ Pekerja besi dan baja yang terpapar debu terhirup akibat kerja menderita gejala respirasi dan gangguan fungsi paru. debu terhirup akibat kerja juga dihubungkan dengan penurunan *peak expiratory flow* (PEF).⁴

Kebanyakan proses pembuatan baja tidak otomatis dan oleh karena itu para pekerja terlibat langsung dalam banyak proses dan tugas. Aktivitas-aktivitas ini mengarah pada paparan debu, uap, logam

berat, asap, bahan panas dan racun lainnya.⁵ Emisi polutan berbahaya yang dihasilkan pada saat peleburan baja berakibat tingginya resiko kesehatan pada pekerja. Peleburan baja dianggap sebagai salah satu sumber emisi logam berat terpenting. Selama proses peleburan, logam berat diuapkan dari matrik logam karena titik didih rendah dan suhu tinggi. Paparan debu logam dapat mengiritasi saluran napas dan menyebabkan obstruksi.⁶

Polutan dari aktivitas pada pekerja pabrik seperti debu besi dan partikel lainnya dapat meningkatkan permeabilitas dari mukosa saluran pernafasan yang meningkatkan penyusutan antigen dan alergen oleh karena paparan berulang terhadap antigen organik atau bahan kimia lingkungan kerja yang ada. Inhalasi antigen yang berulang meningkatkan respon kekebalan seperti peradangan di jaringan interstitial, alveoli, dan bronkiolus terminal, dan satu penyakit yang paling sering berhubungan dengan pekerjaan adalah pneumonitis hipersensitivitas yang tergolong baik itu penyakit pernafasan dan penyakit menular lainnya. Penundaan dalam mengeliminasi partikel patogen yang terhirup, dapat menyebabkan akumulasi benda asing termasuk bakteri di saluran pernafasan.⁷

Studi kohort pernah dilakukan terhadap 58.862 pria pekerja di pabrik pengolahan baja mengungkapkan hubungan yang signifikan antara paparan PAH dan peningkatan mortalitas penyakit paru obstruktif di antara para pekerja ini. Efek kesehatan yang merugikan dari paparan *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH) telah menjadi ancaman utama bagi kesehatan masyarakat di seluruh dunia. Menghirup udara yang tercemar PAH terbukti terkait dengan peningkatan risiko penyakit paru,

termasuk asma, penyakit paru obstruktif kronik (PPOK), dan kanker paru. Studi epidemiologi melaporkan bahwa PAH dapat menyebabkan kerusakan pada sistem pernapasan. Metabolisme dari PAH dapat menghasilkan sejumlah besar radikal bebas, reaktif oksigen spesies, yang dapat menyebabkan stres oksidatif dan peradangan yang pada akhirnya melukai sistem pernapasan.⁸ Paparan kromium dan Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) dapat menyebabkan kanker paru hingga kematian.⁶

Pada tahun 1987, Badan Internasional Penelitian Kanker mengklasifikasikan besi dan baja sebagai bahan karsinogenik bagi manusia.⁹ Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meneliti efek akut dan kronis dari paparan aerosol di industri baja, dengan fokus pada gejala dan tanda pernapasan serta fungsi paru-paru. Paparan aerosol pada industri pencetakan baja banyak dihubungkan dengan kuarsa yang terhirup dikarenakan paparan kuarsa berhubungan dengan peningkatan resiko silikosis, kanker paru, penyakit kardiovaskular, dan mortalitas.¹⁰

Metode

Studi ini menggunakan beberapa kajian literatur melalui beberapa jurnal internasional yang diperoleh dari 30 sumber referensi melalui mesin pencari manual pada database Science Direct, Google Scholar, PubMed, Semantic Scholar dari tahun 2015 sampai dengan tahun 2020. Kriteria inklusi yang digunakan adalah: 1) Jurnal yang termasuk dalam penelitian ini datang dalam bentuk artikel penelitian, editorial, komentar, tinjauan literatur dalam penelitian kuantitatif, kualitatif atau metode campuran; 2) Jurnal kesehatan atau terkait yang dipublikasikan pada rentang tahun 2015-2020; 3) Jurnal

yang memuat topik tentang masalah kesehatan pada pekerja industri besi baja; 4) Jurnal internasional bereputasi baik terindeks scopus maupun non scopus.

Hasil dan Diskusi

Pabrik industri besi dan baja memiliki 5 bagian prosedur yang berbeda-beda. Prosedur tersebut meliputi Rolling Mill Section (RMS) dimana pada bagian ini padat materi dari bagian SMS dilewatkan panas rolling mill. Selanjutnya bagian peleburan baja (SMS), pada bagian ini pengecoran logam cair secara terus menerus dengan lengkap aliran selubung selesai. Selanjutnya, *Quality Control Department (QCD)*, berikut produk diperiksa, diuji secara metalurgi dan kemudian dimasukkan tempat pengelupasan asam sulfat untuk menghilangkan karat dan bersihkan lubang kecil. Selanjutnya departemen pemeliharaan, dimana semua bahan termasuk mesin mekanik dan elektrikal disimpan di sini dan ditangani oleh penjaga toko dan tukang listrik. Selanjutnya, departemen administrasi, yaitu semua fungsi administrasi pabrik dilakukan di sini.¹

Efek kesehatan yang merugikan dari paparan polisiklikaromatikarbon (PAHs) telah menjadi sama untuk mengobati kesehatan masyarakat di seluruh dunia. Aktivitas alam dan antropogenik dapat meningkatkan tingkat PAH di lingkungan. Dilaporkan bahwa 22% dari total emisi global PAH.⁸ Hidrokarbon polisiklik aromatik (PAH) dan silika kromium dan nikel, debu besi dan campuran debu], kabut minyak, asap las, bahan partikulat) yang mengandung nikel dan arsen Electric Arc Furnaces (EAFs) memainkan peran yang semakin penting dalam produksi baja modern.⁹ Asap yang dihasilkan dari elektroda *stainless steel (SS)* biasanya mengandung Fe, Cr, Mn, dan Ni, sedangkan baja ringan (MS)

WF mengandung 80% Fe, dengan jumlah Mn yang sedikit. Pengelasan *stainless steel* menghadirkan bahaya pekerjaan tambahan dibandingkan dengan baja ringan karena paparan kromium heksavalen (Cr VI) dan Ni, yang merupakan dua karsinogen yang diketahui.¹¹ Pengelasan, terutama GMAW, dikaitkan dengan produksi sejumlah besar gas dan asap logam, yang secara serius memperburuk fungsi paru-paru tukang las. Proses pengelasan lainnya harus diperiksa untuk lebih memahami situasi dan mengidentifikasi risiko polutan pernapasan di antara pekerja las.¹²

Asap logam terutama berilium, kadmium, merkuri, nikel, seng dan kromium merupakan salah satu penyebab toksisitas sistemik dan kontribusi partikel toksik ini dipengaruhi oleh ukuran partikel sebagai penyumbang utama, bentuk dan kerapatan. Menurut Frank, penyakit paru akibat kerja merupakan salah satu masalah yang sering terjadi pada pekerja akibat paparan di tempat kerja. Partikel dari asap las dideposit di interstisial paru-paru dalam sampel jaringan paru-paru tikus dan disimpulkan bahwa pengendapan partikel di paru-paru untuk pekerja dan hewan tergantung pada jenis asap yang dapat bertahan selama periode waktu yang signifikan. Selain itu, analisis menunjukkan bahwa nilai fungsi paru dapat menurun seiring dengan bertambahnya durasi kerja dan responsnya akut (efek samping terlihat segera setelah paparan satu kali) atau toksisitas kronis (akibat dari jangka panjang paparan zat dosis rendah).¹³ Gejala pernapasan akut yang sering terjadi adalah obstruksi bronkial, iritasi saluran napas, *metalfume fever*, asma okupasional, dan pneumonitis hipersensitivitas. Gangguan pernapasan kronis yang dikenal sebagai faktor resiko utama pada pekerja pabrik baja antara lain pneumokoniosis, bronchitis

kronis, kanker paru. Penelitian menunjukkan gejala pernapasan akut pada pekerja pengelasan yaitu perubahan fungsi paru.¹⁴ *Idiopathic Pulmonary Fibrosis* (IPF) adalah pneumonia fibrosis interstitial kronis dan progresif yang tidak diketahui. penyebabnya yang terkait dengan pola histopatologis dan/atau radiologis dari pneumonia interstitial. Faktor resiko pekerjaan telah dikaitkan dengan pneumonia interstitial.¹⁵

Penilaian eksposur logam berat menyiratkan mengidentifikasi dan mengukur sumbernya, bagaimana mereka memasuki tubuh manusia dan efek buruknya pada kesehatan manusia. Risiko kesehatan sangat tinggi bagi pekerja yang terlibat dalam peleburan karena emisi polutan berbahaya seperti logam berat di tempat kerja. Oleh karena itu, peleburan logam dianggap sebagai salah satu sumber emisi logam berat antropogenik terpenting. Selama proses peleburan, logam berat diuapkan dari matriks logam akibat titik didih yang rendah dan suhu yang tinggi. Partikel debu tersuspensi yang ada di udara tercemar diketahui menyebabkan efek kesehatan yang merugikan pada manusia karena dapat diserap ke dalam jaringan paru-paru saat bernapas. Selain itu, unsur berbahaya seperti logam berat dalam berbagai bentuk, jika terhirup atau tertelan, dapat menyebabkan bahaya kesehatan yang serius bagi manusia. Penting untuk mempelajari kualitas udara di area sekitar industri karena pelepasan logam yang signifikan ke lingkungan dapat menjadi ancaman bagi komunitas lokal. Perhitungan risiko untuk paparan logam berat di Guangzhou, Cina dengan model penilaian paparan sederhana menunjukkan bahwa risiko kanker dari fraksi yang tersedia secara hayati dari arsenik, kromium, dan kadmium adalah 33 kali lebih besar daripada tingkat yang diizinkan, yang menunjukkan risiko

kehatan yang serius bagi penduduk di daerah perkotaan ini.¹⁶

Proses pembuatan baja di Ethiopia tidak otomatis dan oleh karena itu para pekerja terlibat langsung dalam banyak proses dan tugas. Misalnya, pemisahan, pengumpulan, dan penambahan logam bekas ke tungku dilakukan secara manual. Aktivitas ini menyebabkan paparan tingkat tinggi terhadap debu, asap, logam berat, asap, bahan panas, dan racun lainnya. Akibatnya, faktor lingkungan terkait pekerjaan dapat berdampak besar pada kesehatan dan kesejahteraan pekerja baja. Mengingat asap dan debu menyebar dari tungku induksi ke seluruh pabrik baja, menggunakan penghalang seperti kayu, logam, atau cerobong asap pada tungku untuk menutup area tertentu sangat disarankan. Selain itu, harus ada pelatihan kesehatan dan keselamatan kerja dan inspeksi rutin.⁵

Di seluruh dunia, lebih dari 3 juta pekerja setiap hari terpapar partikulat asap pengelasan, dan pengelasan logam dianggap sebagai sumber utama paparan debu dan asap di lingkungan kerja. Data menunjukkan bahwa asma akibat kerja dapat menyebabkan 10–15% asma pada orang dewasa. Paparan tempat kerja dapat memicu atau memperburuk asma terutama dengan tiga jalur: (1) paparan akut konsentrasi tinggi dari sindrom disfungsi saluran udara reaktif iritan (RADS), (2) sensitisasi imunologis terhadap zat tertentu (yaitu, kromium dan nikel dalam stainless pengelasan baja) atau (3) dengan eksaserbasi yang tidak spesifik dari asma yang sudah ada.¹⁷

Pekerja las baja ringan dan baja stainless steel terpapar dengan konsentrasi besar nanopartikel Mn, Cr dan Ni yang akan memiliki kemampuan untuk mengendap dalam sistem pernapasan. Hingga 56% dari total Mn dari FCAW dikumpulkan oleh

pengambil sampel NRD. Untuk baja *stainless steel* GMAW, sampel NRD mengumpulkan 59% dari total Mn, 90% dari total Cr dan 64% dari total Ni, menunjukkan bahwa sebagian besar Cr dan lebih dari setengah Ni dan Mn dalam asap berada di fraksi nano.¹⁸

Paparan paru-paru bahan partikulat asap logam halus (<2,5 mm) (PM2.5) merupakan masalah kesehatan kerja yang penting untuk pengelasan, penyolderan, dan pekerja pembuat mesin mematri menurut Biro Statistik Tenaga Kerja Departemen Tenaga Kerja AS, 2015. Paparan paru-paru terhadap asap logam PM2.5 dapat menyebabkan demam asap logam seperti flu. Juga, paparan kronis asap logam PM2.5 dapat menyebabkan sindrom pernapasan dan sistemik.¹⁹

Polutan udara di tempat kerja secara bertahap dapat menimbulkan efek yang tidak diinginkan pada kesehatan pekerja. Pemberdayaan industri memperburuk masalah. Konsentrasi beberapa polutan di dalam ruangan bisa lebih besar daripada konsentrasinya di luar ruangan. Salah satu industri utama dan penting dalam emisi polutan adalah industri baja. Masalah kesehatan kerja di kalangan pekerja di industri baja telah menarik perhatian penyidik. Selain itu, para pekerja merupakan sumber studi epidemiologi bagi penduduk sekitar industri baja. Tekanan di tempat kerja dalam industri besi dan baja sangat banyak dan biasanya meliputi: agen yang dapat dihirup (gas, uap, debu dan asap), bekerja di ruang terbatas, kurangnya ventilasi yang memadai, pelatihan keselamatan dan kesehatan kerja yang kurang, dan pengawasan yang buruk atas penggunaan pelindung diri peralatan antara lain. Dalam industri besi dan baja, selama operasi peleburan dan pengecoran, polutan berbahaya seperti gas, uap, asap, dan asap

dapat dihasilkan. Polutan utama yang dikeluarkan selama proses seperti pencetakan, pengeringan cetakan, pemanasan awal tungku, *Electric Arc Furnace* (EAF) dan pembuangan antara lain. Logam seperti kadmium, timbal, seng, merkuri, mangan, nikel dan kromium dapat dipancarkan dari tungku sebagai debu, asap atau uap atau mungkin diserap oleh partikulat. Particulate matter (PM) karena sifat fisikokimianya adalah salah satu polutan terpenting di udara yang memiliki efek yang tidak diinginkan pada kesehatan manusia. Secara khusus, komposisi partikel dan kandungan kimiawi yang berbahaya dapat menyebabkan kerusakan kesehatan orang yang terpapar. Studi yang lebih baru telah mengkonfirmasi peran toksisitas logam berat di PM. Efek merusak logam berat terhadap kesehatan manusia telah dibuktikan dengan banyak cara. Paparan polutan ini menyebabkan toksisitas akut dan kronis serta berbagai penyakit seperti gangguan saraf, defisiensi makanan, ketidakseimbangan hormon, obesitas, aborsi, penyakit kardiopulmoner, kerusakan hati dan ginjal, alergi dan asma, infeksi virus kronis, penurunan toleransi tubuh, infertilitas, anemia dan kelelahan, sistem kekebalan yang lemah, kerusakan genetik, penuaan dini, kehilangan ingatan, osteoporosis, rambut rontok, insomnia dan berbagai jenis kanker dan hipogenesis mental pada anak-anak dan kematian.¹⁶ Apalagi penelitian yang difokuskan khusus pada pencemaran lingkungan akibat produksi industri telah menunjukkan bahwa industri dan proses manufaktur yang berbeda menghasilkan materi partikulat dengan ukuran berbeda. Khusus untuk industri baja, literatur menunjukkan bahwa pengolahan besi dan logam berat lainnya, yang merupakan langkah awal pembuatan baja, menghasilkan

emisi debu dengan konsekuensi pencemaran yang berat di beberapa daerah.²⁰

Dalam beberapa dekade terakhir, perubahan penting dalam struktur industri Eropa telah mengubah profil paparan pekerjaan terhadap bahaya pernapasan dan oleh karena itu menggeser beban penyakit pernapasan akibat kerja. Selain itu, tenaga kerja Eropa telah berubah menjadi lebih tua, mencerminkan penuaan dari populasi umum, dan lebih "rentan" karena peningkatan prevalensi individu dengan penyakit pernapasan kronis, baik yang masuk dan tetap dalam angkatan kerja, dan rendahnya status sosial ekonomi pekerja migran. Di seluruh Eropa telah terjadi pergeseran besar dalam sumber utama paparan pekerjaan terhadap bahaya pernapasan, dari paparan tinggi hingga debu mineral pada awal abad ke-20 di industri besar yang terpusat (seperti debu batubara dan silika di sektor pertambangan dan produksi logam) terhadap alergen dosis rendah (misalnya tepung dan enzim di toko roti dan industri pengolahan makanan) dan iritan (misalnya bahan pembersih) saat ini.²¹

Beberapa penyakit yang berhubungan dengan pernafasan dan paru-paru juga banyak disebabkan oleh peningkatan produksi batu bara yang baru-baru ini dari insentif keuangan untuk pertumbuhan ekonomi menyebabkan tingkat batu bara dan debu kuarsa yang lebih terhirup, yang sering dikaitkan dengan mekanisme penambangan batu bara tembok panjang. Di Australia, peningkatan jumlah diagnosis CWP (*Coal Workers Pneumoconiosis*) baru yang diamati sejak tahun 2000 mengharuskan peninjauan ulang batas paparan debu terhirup yang direkomendasikan, di mana batas paparan dan protokol pemantauan idealnya distandarisasi.²² Secara patologis, lesi yang menentukan CWP adalah makula debu

batubara. Lesi yang tidak dapat diraba ini muncul dengan diameter 1-4 mm, area hitam tersebar secara difus ke seluruh paru, tetapi lebih di zona atas. Secara mikroskopis, lesi makula terdiri dari kumpulan fokus makrofag berisi debu batubara pada divisi bronkiolus pernapasan. Sel-sel ini meluas ke ruang alveolar yang berdekatan serta ke interstitium peribronchiolar. Itu juga terlihat di sepanjang limfatik di dalam septa lobular sekunder, dan di bawah pleura visceral. Emfisema fokal adalah subtipe dari emfisema sentriasiin, yang dikenal sebagai tanda histopatologis CWP.²³

Mekanisme terjadinya gangguan pernapasan pada pekerja pabrik baja belum diketahui sepenuhnya. Namun, hipotesis mengatakan bahwa asap debu logam atau gas berbahaya hasil dari pembuatan baja menyebabkan perubahan pada sel epitel saluran pernapasan atau menekan sistem pertahanan tubuh lini pertama. Selain itu, pada penelitian Rahmani dilaporkan terdapat inflamasi akut pada hasil sitologi pekerja pabrik.²⁴ Paparan bahan kimia dan polutan dalam konsentrasi yang besar menyebabkan kerusakan paru akut maupun kronik.²⁵ Dalam penelilitannya, Heidari menemukan bahwa paparan bahan kimia seperti asam klorida dalam konsentrasi sedikit pun bisa meningkatkan resiko kerusakan saluran napas dan gangguan fungsi paru. Selain bahan kimia, debu besi adalah salah satu bahan iritan yang ada dilingkungan pabrik sebagai polutan udara yang dapat mengakibatkan gangguan transportasi mukosilier pada saat dihirup. Pada penelitian menunjukkan bahwa pergerakan mukosilier pekerja pabrik lebih lambat atau memanjang dibandingkan dengan bukan pekerja pabrik.⁷

Pekerja pengelasan yang telah terpapar asap las besi baja konsentrasi tinggi untuk waktu yang lama diketahui dapat

berkembang menjadi fibrosis paru, kanker paru, pneumonia, asma, dan batuk produktif, akan tetapi proses fibrosis paru itu masih menjadi perdebatan internasional. Menghirup asap dari besi baja telah diketahui selama bertahun-tahun dapat menyebabkan pneumoconiosis ringan dan reversible, yaitu siderosis dengan reaksi fibrotik paru atau dikenal dengan siderofibrosis.²⁶

Sebanyak 10%-15% asma yang terjadi pada dewasa merupakan asma akibat kerja atau okupasional asma dan disebabkan faktor pencetus yang berada di tempat kerja. Hal ini tergantung pada kepekaan individu yang terpapar, terdapat perbedaan patofisiologi penyebab asma, diantaranya atopik, rhinitis, dan genetik merupakan kontributor utama berkembangnya asma, sementara kontaminasi di tempat kerja merupakan faktor resiko lingkungan yang penting dalam perkembangan asma.²⁵

Pada tahun 1987, Badan Internasional Penelitian Kanker mengklasifikasikan besi dan baja sebagai bahan karsinogenik bagi manusia. Kandungan logam dapat meningkatkan stres oksidatif dan mendorong pelepasan mediator proinflamasi. Terdapat bukti peningkatan kerusakan DNA dan peroksidasi lipid melalui stress oksidatif ditemukan pada pekerja bagian pengecoran. Paparan debu logam yang mengandung nikel dan arsen jangka panjang pada pekerja pabrik baja dapat menyebabkan perubahan histon yang merupakan mekanisme epigenetic penyebab kanker.⁹ Analisis toksikoproteomik PM (*particulate matter*) yang kaya akan PAH dan logam konsentrasi tinggi yang digunakan dalam pembuatan baja telah dilakukan penelitian dengan perawatan sel kanker pada manusia. PM menyebabkan stress oksidatif yang dapat menyebabkan kerusakan DNA dan menyebabkan tumor. Ketidakseimbangan antara kerusakan DNA

dan kemampuan sel untuk memperbaiki kerusakan DNA dapat menyebabkan ketidakstabilan genom yang mampu bertindak sebagai pengontrol selama PM dapat menyebabkan karsinogenesis.²⁷

Pada tahun 2017, Badan Internasional untuk penelitian kanker juga mengklasifikasikan asap hasil pengelasan sebagai bahan karsinogenik pada manusia. Baik pada pengelasan baja ringan dan baja tahan berat, keduanya dapat meningkatkan resiko kanker paru pada pekerja pengelasan. Pada penelitian yang dilakukan Falcone tahun 2018, menunjukkan bahwa Fe_2O_3 adalah mediator penting dalam toksisitas asap beracun yang didukung temuan epidemiologi dan klasifikasi IARC.²⁸

Paparan debu silica berkonsentrasi tinggi di pabrik baja menyebabkan banyak masalah kesehatan. Formaldehid merupakan senyawa karbonil yang sangat reaktif yang dapat menyebabkan iritasi dan gejala kesehatan. Pekerja yang terpapar dilaporkan menderita iritasi pada saluran pernapasan bagian atas. Perubahan fungsi paru seperti penurunan FEV1 dan mengalami efek sensitisasi. IARC mengklasifikasikan formaldehid sebagai karsinogen kanker nasofaring pada manusia. Perubahan *reversible* fungsi paru telah diamati pada paparan 2,4 mg/m³.²⁹

Gejala pernapasan yang sering terjadi pada pekerja di pabrik baja diantaranya adalah sesak napas dan asma. Pada penelitian yang dilakukan oleh Rahmani pada tahun 2018 menunjukkan bahwa gejala pernapasan lebih sering timbul pada pekerja dengan masa kerja yang lama.²⁴ Selain karena paparan logam berat, prevalensi gangguan pernapasan akibat paparan asam klorida juga cukup tinggi diantara pekerja yang terpapar. Asam klorida digunakan pada proses pembuatan baja untuk pengawetan baja dan

menghilangkan karat. Kelarutan asam klorida yang tinggi menjadikannya sebagai pemicu yang poten pada membrane mukosa hidung, tenggorokan, sistem respirasi, dan sebagian besar kasus menyebabkan iritasi pada saluran napas. Sensitifitas hidung, iritasi tenggorokan, dan sesak napas merupakan keluhan yang paling utama diantara pekerja.²⁵ Selain gejala yang menonjol yang bisa disadari pekerja, penurunan fungsi paru kronis sering tidak disadari.⁴ Gejala gangguan pernapasan pada pekerja meningkat secara signifikan selama hari kerja.³⁰

Penelitian yang dilakukan Hamzah NA mengungkapkan hubungan antara paparan debu metal yang terhirup secara kumulatif dengan peningkatan prevalensi gejala pernafasan di antara pekerja besi baja. Akumulasi kromium merupakan prediktor signifikan untuk peningkatan gejala pernafasan. Merokok juga menyumbang peningkatan prevalensi dari kejadian nafas pendek atau *shortness of breath* secara signifikan. Bagaimanapun juga penggunaan masker tidak dihubungkan pada peningkatan gejala pernafasan ini. Oleh karena itu manajemen kesehatan bagi pekerja harus ditingkatkan untuk mengurangi paparan debu logam di tempat kerja seiring dengan mengedukasi pekerja untuk mematuhi pemakaian APD selama bekerja.² Berdasarkan dari analisis masing masing pekerjaan, paparan terhadap debu atau asap logam atau debu organik meningkatkan resiko terkena pneumonia interstitial. Bahkan pada pekerja yang merokok, resiko meningkat hingga dua kali lipat.¹⁵

Beberapa penelitian meneliti efek akut atau kronis dari paparan aerosol pada proses pembuatan baja yang mengenai pekerja bagian pengecoran yaitu gejala gangguan pernapasan dan fungsi paru.

Mereka melaporkan terdapat peningkatan gejala yang signifikan pada pekerja pengecoran seperti batuk, berdahak, dan mengi, peningkatan FVC dan FEV₁ yang tidak signifikan pada kapasitas vital terkait paparan debu.¹⁰

Amino tersier seperti trietilamina digunakan pada proses inti pembuatan baja. Dimana senyawa ini juga menyebabkan banyak masalah kesehatan. Efek yang sering terjadi adalah iritasi, sakit kepala, mual, gelisah, pingsan, dan efek korosif pada kulit, membrane mukosa, mata, hidung, tenggorokan, gangguan pernapasan, batuk, edem kornea.²⁹

Pada penelitian yang dilakukan Kumar De pada tahun 2019 menyatakan bahwa kepatuhan pekerja di pabrik untuk menggunakan masker cukup rendah karena pekerja merasa tidak bisa bernapas dengan nyaman dan kacamata yang mereka pakai menjadi berembun akibat pemakaian masker.⁴ Partikel terbentuk ketika logam cair dipadatkan di udara karena perbedaan suhu diluar mesin. Tanpa alat pelindung diri yang tepat, partikel akan tetap berada di udara dan dapat terhirup kemudian mencapai alveoli yang akan merusak fungsi paru. Penelitian yang dilakukan Hamzah pada tahun 2016 menunjukkan bahwa frekuensi penggunaan masker pada pekerja pabrik baja memiliki hubungan positif dan signifikan dengan FVC. Kepatuhan penggunaan APD dapat meminimalisasi bahaya kesehatan, meningkatkan produktivitas, meningkatkan harapan hidup.³ Pekerja yang merokok yang terbiasa bekerja tanpa menggunakan pelindung respiratori atau sistem ventilasi ruang kerja buruk dapat meningkatkan resiko percepatan penurunan FEV₁. Meskipun pada penelitian tidak menunjukkan hubungan kebiasaan merokok dan fungsi paru antara pekerja dan bukan pekerja.¹⁴ Faktor

perlindungan diperkirakan rendah pada pekerja pengelasan karena pada saat pengelasan, pekerja berulang kali membuka helm pelindung untuk memeriksa lapisan pengelasan.³⁰

Konsentrasi materi partikulat yang tinggi di udara adalah faktor utama bahaya kesehatan yang terkait dengan polusi udara dan partikel yang lebih halus (diameter 2,5 mikrogram atau lebih kecil) semakin besar bahayanya untuk kesehatan. Kebanyakan ahli epidemiologi meneliti mengenai tingkat kematian dan penyebabnya. Misalnya American Health association telah membuktikan bahwa pada pencemaran lingkungan akibat konsentrasi PM, orang cenderung meninggal karena gangguan pernapasan, kardiovaskular dan penyakit onkologi lebih banyak dari biasanya. Pada literature internasional yang berfokus pada partikulat dengan diameter 2,5 mikrogram menunjukkan bahwa setiap kenaikan konsentrasi 10 µg/m³ sesuai dengan peningkatan kematian sebanyak 8% akibat kanker paru.²⁰ Kondisi kesehatan penduduk yang ada di sekitar pabrik baja dimana terdapat kandungan polusi yang sangat tinggi di daerah tersebut, terdapat 28% penduduk mengalami gangguan pernapasan dimana sample yang diambil mewakili sekelompok dewasa muda dengan usia rata-rata 31 tahun yaitu kelompok usia yang umumnya kelainan spirometri sangat rendah.

Simpulan

Resiko gangguan pernafasan pada pekerja industri baja adalah penurunan fungsi paruyang disertai gangguan pernafasan akut maupun kronik. Gejala pernafasan akut yang sering terjadi adalah obstruksi bronkial, iritasi saluran napas, metalfume fever, asma okupasional, dan pneumonitis hipersensitivitas. Sedangkan gangguan

pernapasan kronis yang dikenal sebagai faktor resiko utama pada pekerja pabrik baja antara lain pneumonia fibrotic, pneumokoniosis, bronchitis kronis, kanker paru. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi munculnya gangguan pernafasan tersebut antara lain logam yang dapat terhirup (gas, asap pengelasan, uap, debu), lamanya pekerja terpapar, bekerja di ruang terbatas, kurangnya ventilasi yang memadai, pelatihan keselamatan dan kesehatan kerja yang kurang, dan kepatuhan pekerja di pabrik untuk menggunakan masker cukup rendah serta pengawasan yang buruk atas penggunaan alat pelindung diri. Oleh karena itu, pada perusahaan produksi besi baja disarankan memaksimalkan standar keamanan terhadap debu atau emisi yang menyebar, pengaturan ruang kerja dan ventilasi yang baik, mengedukasi dan melakukan pengawasan terhadap kepatuhan penggunaan APD yang baik.

Referensi

1. Jain A, Singh A, Aswar NR, Dimple VK, Doibale VK. Respiratory Abnormalities among the Workers of Iron and Steel Industry. *Scholars Journal of Applied Medical Sciences*[Internet]. 2016 [cited 2020 Aug 30];4(5E):1774-1780. Available from:<https://www.semanticscholar.org/paper/Respiratory-Abnormalities-among-the-Workers-of-Iron-Jain-singh/eab8e963facad8c4defdcc4baf728dc3447df7fb>.
2. Nurul Ainun Hamzah, Shamsul Bahri Mohd Tamrin, Noor Hassim Ismail. Metal Dust Exposure and Respiratory Symptoms among Steel Workers: A Dose-Response Relationship. *International Journal of Collaborative Research on Internal Medicine & Public Health*. 2015 March;7(3):27-39. Available From: <https://pdfs.semanticscholar.org/c740/af44c6eaf68bd150f42826cb7fd7b79236a3.pdf>.
3. Hamzah NA, Tamrin SBM, Ismail NH. Metal dust exposure and lung function deterioration among steel workers: an exposure response relationship. *International Journal of Occupational and Environmental Health* [Internet]. 2016 [cited 2020 Aug 30];67(12):1910-1913. Available from: doi: 10.1080/10773525.2016.1207040.
4. Kumar De S, Maiti S, Ghosh P, Paliwal L. Pulmonary function status of refractory workers in a steel plant: A cross-sectional study design. *Ethiop J Health Dev* [Internet]. 2019 [cited 28 August 2020];33(4):203-211. Available from: <https://www.ejhd.org/index.php/ejhd/article/view/2529>.
5. Girma F, Kebede Z. Dust Exposure Associations with Lung Function among Ethiopian Steel Workers. *Annals of Global Health* [Internet]. 2019 Jan [cited 2020 Aug 31];85(1):1-5. Available from: <https://doi.org/10.5334/aogh.242>.
6. Mousavian NA, Mansouri N, Nezhadkurki F. Estimation of heavy metal exposure in workplace and health risk exposure assessment in steel industry. *Measurement, Elsevier* [Internet]. 2017 [cited 2020 Aug 30];102:286-290. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.02.015>.
7. Tobing J, Munir D, Hasibuan M, Aboet A. The correlation of exposure to iron dust with the disorders of the nose mucociliary transport time at PT. GGS Factory workers, Medan-Indonesia. *Bali Medical Journal* [Internet]. 2017 [cited 28 August 2020];6(3):659-663. Available from: https://www.balimedicaljournal.org/index.php/bmj/article/viewFile/748/pdf_347.
8. Wang S, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons exposure and lung function decline among coke-oven workers: A four-year follow-up study. *Elsevier inc* [Internet]. 2016 May [cited 2020 Aug 31];150(1):14-22. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2016.05.025>.
9. Roberto Cappelletti, Marcello Ceppi, Justina Claudatus, Valerio Gennaro. Health status of male steel workers at an electric arc furnace (EAF) in Trentino, Italy. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 2016 Feb 20;11(7):1-10. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4761198/pdf/12995_2016_Article_95.pdf.

10. Andersson L, Bryngelsson I, Hedbrant A, Persson A, Johansson A, Ericsson A et al. Respiratory health and inflammatory markers - Exposure to respirable dust and quartz and chemical binders in Swedish iron foundries. PLOS ONE [Internet]. 2019 [cited 28 August 2020];14(11):1-19. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31675355/>.
11. Riccelli M, Goldoni M, Poli D, Mozzoni P, Cavallo D. Welding Fumes, a Risk Factor for Lung Diseases. International Journal of Environmental Research And public Health [Internet]. 2020 [cited 2020 sept 1]. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Welding-Fumes%2C-a-Risk-Factor-for-Lung-Diseases-Riccelli-Goldoni/c8e0e4f67f8985232b670c281684d601e64c0a27>.
12. Mefrinar Y, Zamanian Z, Pirami H. Respiratory Exposure to Toxic Gases and Metal Fumes Produced by Welding Processes and Pulmonary Function Tests. The international Journal of Occupational and Environmental Medicine [Internet]. 2019 [cited 2020 Ags 30];10(1);40-49. Available from: doi: 10.15171/ijoem.2019.1540. available from : DOI: 10.15171/ijoem.2019.1540
13. Bakril S, Hariri A, Ismail M. Metal fumes toxicity and its association with lung health problems among welders in automotive industry. International Conference on Mechanical and Manufacturing Engineering [Internet]. 2019 [cited 2020 sept 1]. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Metal-fumes-toxicity-and-its-association-with-lung-Bakri-Hariri/795e10ee20d94e425143a9362ed9afd7a1c16e8e>.
14. Ali Rangkooy H, Fouladi B, Ibrarrahimi Ghavamabadi L, Marghzari L, Khodabakhshnejad F. An Investigation of Respiratory Symptoms and Spirometry Parameters of Welders in a Steel Industry. Journal of Health Sciences [Internet]. 2016 [cited 28 August 2020];8(4):1-5. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/307900641_An_Investigation_of_Respirator](https://www.researchgate.net/publication/307900641_An_Investigation_of_Respirator_y_Symptoms_and_Spirometry_Parameters_of_Welders_in_a_Steel_Industry)
15. Giulia Paolocci1, Ilenia Folletti1, Kjell Torén, Magnus Ekström, Marco Dell’Omo, Giacomo Muzil. Occupational risk factors for idiopathic pulmonary fibrosis in Southern Europe: a case-control study. BMC Pulmonary Medicine. 2018 May 21;18(75):1471-2466. Available From: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29784045/> <https://doi.org/10.1186/s12890-018-0644-2>.
16. Mousavian NA, Mansouri N, Nezhadkurki F. Estimation of heavy metal exposure in workplace and health risk exposure assessment in steel industry. Measurement, Elsevier [Internet]. 2017 [cited 2020 Ags 30];102:286-290. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.02.015>.
17. Kristiansen P, Jorgensen K, Hansen J, Bonde J. Redemption of asthma pharmaceuticals among stainless steeland mild steel welders: a nationwide follow-up study. International Arch Occup Environ Health [Internet]. 2015 [cited 2020 sept 1];88:743–750. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Redemption-of-asthma-pharmaceuticals-among-steel-a-Kristiansen-J%20C3%B8rgensen/7527a1ac3cea3058bb2859b906b59864bade3c33?citingPapersSort=relevance&citingPapersLimit=10&citingPapersOffset=0&year%5B0%5D=&year%5B1%5D=&citedPapersSort=relevance&citedPapersLimit=10&citedPapersOffset=0>.
18. Cenaa L, Chisholma W, Keanea M, Chen B. A Field Study on the Respiratory Deposition of the Nano-Sized Fraction of Mild and Stainless Steel Welding Fume Metals. Journal of Occupational and Environmental Hygiene [Internet]. 2015 [cited 2020 sept 1]. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Field-Study-on-the-Respiratory-Deposition-of-the-Cena-Chisholm/40a3b96d3c7a3f9789080b55e6bae2886781505b>
19. Chuang H, et al. Pulmonary exposure to metal fume particulate matter cause sleep disturbances in shipyard welders. Environmental Pollution [Internet]. 2018 Jan [cited 2020 Aug 31];232(1):523-532. Available from:

- <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.082>.
20. Valenti C, et al. Respiratory illness and air pollution from the steel industry: the case of Piquiá de Baixo, Brazil (Preliminary report). *Multidisciplinary Respiratory Medicine* [Internet]. 2016 Nov [cited 2020 Aug 31];11(41):1-7. Available from: <https://doi.org/10.1186/s40248-016-0077-9>.
 21. Matteis D, Heederik D, Burdorf A, Colosio C, Cullinan P, Henneberger K, et al. Current and new challenges in occupational lung diseases. the European Respiratory Society Environment and Health Committee [Internet]. 2017 [cited 2020 sept 1]. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Current-and-new-challenges-in-occupational-lung-Matteis-Heederik/cc3fa34e61eb557217b0f0b487b4c250e18f0874>.
 22. Perret JL, et al. Dust Coal mine dust lung disease in the modern era. *Asian Pacific Society of Respirology* [Internet]. 2017 Mar [cited 2020 Aug 31];22(4):662-670. Available from: <https://doi.org/10.1111/resp.13033>.
 23. Altinsoy B, Oz II, Erboy F, Tor M, Atalay F. Emphysema and Airflow Obstruction in Non-Smoking Coal Miners with Pneumoconiosis. *Med Sci Monit* [Internet]. 2016 Dec [cited 2020 Ags 30];22:4887-4893. Available from: DOI: 10.12659/MSM.901820.
 24. Rahmani AH, Al-Hurabi AA, Joseph RJ, Babiker AY. Study Of Work Related Respiratory Symptoms Among Welding Workers. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research* [Internet]. 2018 Oct [cited 2020 Ags 30];11(2):97-99. Available from: DOI: 10.22159/ajpcr.2018.v11i2.22767.
 25. Heidari H, Mohammadbeigi A, Soltanzadeh A, Darabi M, Asadi-Ghalhari M. Respiratory effects of occupational exposure to low concentration of hydrochloric acid among exposed workers: a case study in steel industry. *Medical Gas Research* [Internet]. 2019 [cited 28 August 2020];9(4):208-212. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31898605/>
 26. M. P. Cosgrove. Pulmonary Fibrosis and Exposure to Steel Welding Fume. *Occupational Medicine*. 2015 July 7;65:706-712. Available From: <https://academic.oup.com/occmed/article-pdf/65/9/706/4244446/kqv093.pdf>
<https://doi:10.1093/occmed/kqv093>.
 27. S. Senthil Kumar P, Muthuselvam V, Pugalenth N, Subramanian K.M, Ramkumar T, Suresh T, et al. Toxicoproteomic analysis of human lung epithelial cells exposed to steel industry ambient particulate matter (PM) reveals possible mechanism of PM related carcinogenesis. *Environmental Pollution by Elsevier*. 2018 April 9;239:483-492. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749118300678?via%3Dihub>.
 28. Falcone LM, et al. Pulmonary toxicity and lung tumorigenic potential of surrogate metal oxides in gas metal arc welding–stainless steel fume: Iron as a primary mediator versus chromium and nickel. *Plos One Journal* [Internet]. 2018 Dec [cited 2020 Aug 31];1-5. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209413>.
 29. Zarei F, Rezazadeh Azari M, Salehpour S, Khodakarim S, Omidi L, Tavakol E. Respiratory Effects of Simultaneous Exposure to Respirable Crystalline Silica Dust, Formaldehyde, and Triethylamine of a Group of Foundry Workers. *Journal of Research in Health Sciences* [Internet]. 2017 [cited 28 August 2020];17(1):1-6. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7191016/>.
 30. Lena S. Jönsson, Håkan Tinnerberg, Helene Jacobsson, Ulla Andersson, Anna Axmon, Jørn Nielsen. The ordinary work environment increases symptoms from eyes and airways in mild steel welders. *Int Arch Occup Environ Health* 2015 March 6;88:1131–1140. Available From: <https://doi:10.1007/s00420-015-1041-2>.