

ANALISIS IMPLEMENTASI PENGENDALIAN TOKSIKAN FORMALDEHYDE DI PERUSAHAAN CHEMICAL DYES**Aji Dwi Yuniarso, Sjahrul Meizar Nasri**

Universitas Indonesia

Email: aji.dwi32@ui.ac.id, Sjahrul@ui.ac.id**Kata Kunci:**Toksikan,
formaldehyde,
keselamatan kerja**Abstrak**

Latar belakang penelitian ini adalah risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh paparan formaldehyde di PT. X, sebuah perusahaan penghasil pewarna kimia, di mana formaldehyde digunakan dalam proses produksi. Senyawa ini bersifat karsinogenik dan dapat menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi kulit, serta efek jangka panjang seperti kanker. Tujuan penelitian adalah mengevaluasi efektivitas pengendalian toksikan formaldehyde, mengidentifikasi tantangan implementasi, dan memberikan rekomendasi perbaikan. Metode penelitian meliputi wawancara dengan manajer dan pekerja, observasi lapangan, analisis dokumentasi, serta pengujian kadar formaldehyde menggunakan metode NIOSH 2016 dan HPLC. Hasil pengukuran menunjukkan kadar formaldehyde di area produksi sebesar 0,063 ppm, masih di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) 0,3 ppm. Namun, ditemukan tantangan seperti rendahnya kepatuhan pekerja terhadap penggunaan APD dan keterbatasan fasilitas ventilasi. Implikasi penelitian ini menekankan pentingnya penguatan sistem pengawasan, pelatihan keselamatan berkelanjutan, dan peningkatan fasilitas ventilasi untuk meminimalkan risiko paparan. Selain itu, biomonitoring rutin dan penerapan standar internasional seperti NIOSH, OSHA, dan ACGIH diperlukan untuk memastikan lingkungan kerja yang aman. yang

**PENDAHULUAN**

PT. X merupakan perusahaan yang bergerak di bidang produksi pewarna kimia organik, khususnya dalam sintesis dan produksi bahan pewarna untuk berbagai aplikasi industri. Dengan kapasitas produksi 31.000 MT per tahun dan lebih dari 245 karyawan, perusahaan ini mengelola risiko bahan kimia berbahaya secara intensif, salah satunya adalah formaldehyde (CH_2O), yang digunakan dalam proses sintesis pewarna kimia.

Formaldehyde merupakan karsinogen yang terkenal dan senyawa iritan sensorik, terutama bagi individu yang sensitif (Epping & Koch, 2023; Khatib & Haick, 2022; Pan et al., 2023; Poveda, 2021; H. Salonen et al., 2009). Senyawa kimia ini bersifat volatil, dan korosif. Paparan berlebihan terhadap formaldehyde dapat menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi kulit, serta efek jangka panjang yang merugikan kesehatan pekerja. Oleh karena itu, pengendalian paparan bahan kimia ini di tempat kerja sangat penting untuk melindungi kesehatan pekerja dan mencegah kecelakaan kerja. Badan Internasional untuk Penelitian Kanker (IARC) telah mengidentifikasi tiga skenario pekerjaan utama di mana pekerja dapat terpapar formaldehyde pada konsentrasi udara yang jauh lebih tinggi daripada kadar formaldehyde di dalam dan luar ruangan: (i) produksi formaldehyde dan/atau larutannya; (ii) produksi produk yang mengandung formaldehyde atau selama penggunaannya, dan (iii) pembakaran produk yang menghasilkan formaldehyde (H. J. Salonen et al., 2009). Dengan

demikian, pekerja dalam proses produksi industri (resin, plastik, produk kayu setengah jadi, aksesoris perabotan, dan tekstil) (ATSDR, 1999).

Sintesis dalam proses pembuatan pewarna kimia merujuk pada pembuatan senyawa pewarna melalui reaksi kimia yang menggabungkan bahan-bahan atau prekursor kimia tertentu untuk membentuk senyawa pewarna yang diinginkan. Proses ini seringkali melibatkan beberapa tahapan, termasuk reaksi penggabungan, perubahan struktur kimia, dan modifikasi kelompok fungsional pada molekul. Sintesis pewarna kimia biasanya dimulai dengan memilih bahan dasar yang cocok, seperti aromatik atau senyawa organik lain yang memiliki kemampuan untuk menyerap cahaya dalam spektrum tertentu (terutama di daerah ultraviolet dan tampak). Bahan-bahan ini kemudian diproses melalui reaksi kimia untuk membentuk senyawa pewarna yang memiliki warna yang spesifik. Setelah itu, pewarna tersebut akan diisolasi, dimurnikan, dan kadang-kadang dimodifikasi lebih lanjut agar dapat digunakan dalam aplikasi industri, seperti dalam pewarnaan kain, tinta, atau kosmetik. Proses sintesis ini sangat penting dalam industri pewarna, karena dapat menghasilkan pewarna yang memiliki sifat dan warna yang konsisten serta memenuhi kebutuhan spesifik dari aplikasi tertentu. Namun selain kebutuhan formalin di tempat kerja juga memiliki bahaya seperti bahaya kesehatan para pekerja, bahaya kebakaran dan ledakan, bahaya kontaminasi lingkungan, pencemaran dari kebocoran atau tumpahan, pengaruh pada infrastruktur dan peralatan kerja, bahaya reaksi dengan kimia lainnya, dan lain lain. Khusus untuk tulisan ini, bahaya yang akan dibahas secara spesifik adalah bahaya kesehatan terhadap para pekerja di tempat kerja.

Proses penggunaan formaldehide dalam perusahaan ini melibatkan sintesis pewarna kimia dengan metode batch system yang dilakukan secara manual. Proses ini memindahkan formaldehide dari drum penyimpanan ke dalam vessel untuk reaksi kimia yang membutuhkan pengawasan ketat untuk memastikan keselamatan selama operasi. Meskipun perusahaan telah mengimplementasikan kebijakan keselamatan dan pengendalian toksikan formaldehide, tantangan besar tetap ada terkait dengan kesadaran pekerja, pengawasan pelaksanaan prosedur, serta penggunaan peralatan pelindung diri (APD).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini berfokus untuk mengevaluasi efektivitas implementasi prosedur pengendalian toksikan formaldehide di perusahaan, khususnya terkait dengan dampaknya terhadap kesehatan pekerja. Evaluasi ini dilakukan untuk menilai sejauh mana kebijakan pengendalian yang ada dapat melindungi pekerja dari paparan formaldehide yang berbahaya. Aspek yang dianalisis meliputi penggunaan alat pelindung diri (APD), sistem ventilasi yang diterapkan, serta prosedur keselamatan yang ada dalam pengendalian paparan formaldehide di area produksi. Dengan mengevaluasi efektivitas prosedur ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang jelas mengenai keberhasilan atau kekurangan dalam pengendalian toksikan di tempat kerja.

Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tantangan yang dihadapi dalam penerapan pengendalian formaldehide. Beberapa tantangan utama yang kemungkinan muncul antara lain adalah pengawasan yang kurang ketat, yang dapat menyebabkan ketidaksesuaian antara kebijakan yang ada dengan praktik di lapangan. Selain itu, kepatuhan pekerja terhadap penggunaan alat pelindung diri (APD) yang tidak selalu konsisten dan keterbatasan fasilitas ventilasi di area produksi juga menjadi faktor penting yang dapat mempengaruhi efektivitas pengendalian. Tantangan-tantangan ini perlu dianalisis lebih lanjut agar solusi yang tepat dapat diterapkan untuk mengatasi masalah yang ada.

Berdasarkan hasil evaluasi dan identifikasi tantangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi yang dapat digunakan untuk meningkatkan pengendalian toksikan formaldehide di perusahaan. Rekomendasi yang diberikan akan mencakup berbagai langkah perbaikan, seperti peningkatan sistem pengawasan, penguatan pelatihan keselamatan untuk pekerja, serta perbaikan dan penambahan fasilitas ventilasi yang lebih efektif di area produksi. Dengan menerapkan rekomendasi-rekomendasi tersebut, diharapkan dapat tercipta lingkungan kerja yang lebih aman, yang dapat mengurangi potensi risiko kesehatan bagi pekerja yang terpapar formaldehide.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian meliputi wawancara dengan manajer dan pekerja, observasi lapangan, analisis dokumentasi, serta pengujian kadar formaldehide menggunakan metode NIOSH 2016 dan HPLC. Untuk mengumpulkan data yang komprehensif mengenai implementasi pengendalian formaldehide di perusahaan, beberapa metode pengumpulan data digunakan. Wawancara mendalam menjadi salah satu cara utama untuk menggali informasi. Wawancara ini dilakukan dengan berbagai pihak terkait, seperti manajer keselamatan, pekerja produksi, dan petugas K3, guna memperoleh pemahaman yang lebih dalam mengenai kebijakan dan praktik yang diterapkan dalam pengendalian formaldehide di tempat kerja. Melalui wawancara ini, peneliti dapat mengidentifikasi perspektif dari masing-masing pihak mengenai efektivitas kebijakan pengendalian dan tantangan yang dihadapi dalam penerapannya.

Selain itu, observasi lapangan juga dilakukan untuk memperoleh data langsung mengenai prosedur kerja yang diterapkan dalam penanganan formaldehide. Peneliti mengamati secara langsung proses kerja di area produksi, khususnya yang berkaitan dengan penggunaan alat pelindung diri (APD) dan keberadaan sistem ventilasi yang digunakan untuk mengurangi paparan bahan kimia berbahaya tersebut. Observasi ini memungkinkan peneliti untuk menilai sejauh mana prosedur yang telah ditetapkan benar-benar diterapkan di lapangan dan apakah ada ketidaksesuaian antara kebijakan tertulis dan pelaksanaannya di area kerja.

Terakhir, peneliti juga melakukan analisis dokumentasi untuk melengkapi data yang diperoleh dari wawancara dan observasi. Dokumen-dokumen yang dianalisis meliputi kebijakan keselamatan yang ada, prosedur kerja standar, serta laporan kecelakaan kerja yang melibatkan bahan berbahaya, termasuk formaldehide. Dengan menganalisis dokumentasi ini, peneliti dapat memperoleh gambaran yang lebih jelas tentang prosedur yang diterapkan, sejauh mana kebijakan keselamatan dijalankan, serta catatan insiden yang mungkin menunjukkan adanya kekurangan dalam pengendalian toksikan.

Dilakukan sampling uji untuk mengetahui pajanan toksikan formaldehide pada operator dengan metode Formaldehid NIOSH (2016) : Sampel Uji diambil menggunakan personal pump dengan media SKC 226-119, Silica Gel (2,4- Dinitrophenylhydrazine, sampel kemudian diuji menggunakan alat HPLC. Pengujian ini sesuai dengan Pedoman Teknis Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 5 Tahun 2018.

Melalui kombinasi wawancara, observasi, pengujian toksikan formaldehide dan analisis dokumentasi ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang komprehensif mengenai implementasi pengendalian formaldehide di perusahaan dan tantangan yang perlu diatasi untuk meningkatkan keselamatan kerja.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian Toksikan Formaldehide berdasarkan metode Formaldehid NIOSH (2016) : Sampel Uji diambil menggunakan personal pump dengan media SKC 226-119, Silica Gel (2,4- Dinitrophenylhydrazine, sampel kemudian diuji menggunakan alat HPLC, dan Pedoman Teknis Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 5 Tahun 2018 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Hasil Pengujian Toksikan Formaldehide

No.	Ruangan/ Bagian	Jenis Gas /Uap	Pengukuran (ppm)		<i>Tindakan Pengendalian yang telah dilakukan</i>
			Hasil Ukur	NAB	
1.	Sintesis Production	Formaldehide	0.063	0.3	Operator Produksi telah menggunakan APD. Dalam proses loading bahan kimia dibantu dengan pompa untuk meminimalisir waktu paparan

Berdasarkan data yang tertera pada Tabel 1 mengenai hasil pengujian toksikan formaldehide, ditemukan hasil pengukuran paparan formaldehide di area Synthesis Production perusahaan yang mencapai 0.063 ppm, sedangkan Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan adalah 0.3 ppm. Hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa kadar formaldehide yang terdeteksi di area tersebut masih jauh di bawah batas ambang yang ditentukan oleh regulasi keselamatan kerja.

Tindakan pengendalian yang telah dilakukan untuk meminimalkan paparan formaldehide melibatkan beberapa prosedur keselamatan. Operator produksi di area tersebut sudah menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) yang sesuai untuk melindungi diri mereka dari paparan langsung formaldehide selama proses produksi. Selain itu, selama proses loading bahan kimia yang mengandung formaldehide, pompa digunakan untuk memindahkan bahan tersebut dengan hati-hati, sehingga dapat meminimalkan durasi dan intensitas paparan terhadap pekerja.

Tindakan pengendalian ini bertujuan untuk memastikan bahwa paparan formaldehide di tempat kerja tidak melebihi batas yang dapat membahayakan kesehatan pekerja, meskipun kadar formaldehide yang terdeteksi tetap berada dalam batas yang aman menurut NAB yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan upaya perusahaan dalam menjaga keselamatan dan kesehatan pekerja serta keberhasilan kebijakan pengendalian bahan berbahaya dalam proses produksi kimia pewarna.

Formaldehide dalam bentuk larutan yang mudah terbakar muncul sebagai larutan berair tak berwarna dengan bau menyengat dan iritan. Titik nyala larutan ini bervariasi antara 50 - 85 °C. Formaldehide lebih padat daripada air, uapnya lebih berat daripada udara, larut dalam air. Dalam bentuk larutan formalin, formaldehide mengandung 37-50% formaldehide dan sejumlah metanol untuk mencegah pengendapan polimer formaldehide (Brief Profile - ECHA. (n.d.), Formaldehide | H₂CO | CID 712 - PubChem. (n.d.), FORMALIN (as FORMALDEHYDE) | Occupational Safety and Health Administration. (n.d.).

A. ADME dan target organ

Formaldehide (CH_2O) olekul kecil dan reaktif yang mudah diserap melalui saluran pernapasan dan pencernaan. Sebagian besar paparan formaldehide terjadi melalui inhalasi, dengan sebagian kecil lainnya melalui kontak kulit atau mata. Meskipun formaldehide diserap dengan cepat, sebagian besar metabolisme terjadi dengan cepat sehingga kadar formaldehide dalam darah tidak meningkat secara signifikan (ATSDR, 1999). Paparan formaldehide berisiko tinggi terjadi di tempat kerja, terutama di industri yang memproduksi formaldehide, pertukangan kayu, dan pembuatan furnitur. Selain itu, formaldehide juga dapat ditemukan dalam asap tembakau dan udara terkontaminasi.

Formaldehide cepat dimetabolisme menjadi asam formiat di seluruh tubuh. Asam formiat dapat berbahaya pada konsentrasi tinggi dan menyebabkan ketidakseimbangan asam-basa. Formaldehide yang diserap tubuh sebagian besar dikeluarkan melalui ginjal, paru-paru, dan saluran pencernaan. Organ yang paling banyak terpapar formaldehide adalah ginjal dan hati, dengan akumulasi kecil di paru-paru, otak, dan sistem saraf pusat.

Setelah diserap, formaldehide cepat didistribusikan ke dalam tubuh, terutama ke hati dan ginjal, di mana ia dimetabolisme menjadi asam formiat. Meskipun sebagian kecil formaldehide dapat ditemukan di organ seperti otak dan paru-paru, distribusinya umumnya terbatas (ATSDR, 1999). Formaldehide dimetabolisme menjadi asam formiat oleh enzim dehidrogenase, yang lebih mudah dieliminasi oleh tubuh dibandingkan formaldehide, namun dapat berbahaya pada konsentrasi tinggi karena dapat mengganggu fungsi mitokondria.

Formaldehide dikeluarkan dari tubuh melalui ginjal, paru-paru, dan saluran pencernaan. Ginjal mengeliminasi asam formiat dan senyawa lainnya melalui urin, sedangkan paru-paru mengeluarkannya melalui pernapasan (ATSDR, 1999). Paparan akut formaldehide dapat menyebabkan iritasi pada mata, saluran pernapasan, dan saluran pencernaan, dengan dosis tinggi dapat merusak organ tersebut. Paparan jangka panjang dapat menurunkan fungsi sistem saraf pusat, menyebabkan sakit kepala, gangguan tidur, dan masalah ingatan. Pada tingkat paparan tinggi atau jangka panjang, formaldehide juga dapat menyebabkan kanker, terutama pada individu yang sensitif.

B. Dose Effect

Formaldehida (FA) umumnya digunakan dalam berbagai lingkungan industri dan medis. Paparan terhadap FA dapat mengakibatkan berbagai macam bahaya kesehatan, tergantung pada durasi dan rute paparan (Kim et al., 2011). Ada kekhawatiran tentang efek buruk kesehatan dari FA pada sistem kekebalan tubuh dan risiko karsinogenesisnya. Sayangnya, banyak penelitian yang tidak konsisten dan informasi yang tersedia terbatas sehingga perlu dilakukan lebih banyak penelitian tentang efek imunotoksik formaldehida (Beane Freeman et al., 2009). Ditemukan bahwa kadar IL10 yang abnormal dapat memodulasi respons imun inang anti-tumor. Peran IL-10 telah ditentukan oleh banyak penelitian dalam keganasan hematologi, termasuk limfoma dan myeloma (Holladay et al., 2010). Paparan formaldehide (FA) telah diuji dalam beberapa penelitian untuk menilai hubungannya dengan perubahan respons imun. Beberapa studi menghipotesiskan bahwa paparan FA dapat mengganggu sistem imun dengan mempengaruhi imunitas seluler, yang melibatkan sel T, sel B, dan sel NK, serta menyebabkan respons imun yang abnormal (Zhang et al., 2009). Uji komet digunakan untuk mengevaluasi kerusakan DNA akibat paparan formaldehide, dan hasilnya menunjukkan bahwa paparan dosis tinggi FA menyebabkan kerusakan DNA yang lebih parah. Penelitian oleh Iii et al. (2014) menunjukkan penurunan jumlah sel CD4^+ , CD8^+ , dan sel NK

pada pekerja yang terpapar FA. Selain itu, Zhang et al. (2010) melaporkan penurunan signifikan pada total limfosit, termasuk CD4⁺ dan CD8⁺, pada pekerja yang terpapar formaldehide selama satu tahun.

Kesimpulannya, paparan formaldehide menyebabkan gangguan imunotoksik, termasuk perubahan pada limfosit T, B, dan NK, serta produksi sitokin yang tidak tepat. Hal ini disertai dengan kerusakan struktur limpa dan penurunan ekspresi CD4⁺ sebagai penanda limfosit T, yang semuanya dapat berkontribusi pada risiko kanker yang terkait dengan paparan FA, mendukung hubungan kausal antara paparan formaldehide dan respons tubuh yang dihasilkan.

C. Dose Response

Dalam kondisi percobaan yang dilakukan oleh Bach et al. (1990), secara umum tidak mengonfirmasi hubungan dosis-respons yang signifikan yang merupakan ciri khas iritasi yang disebabkan oleh paparan formaldehida. Sangat mengejutkan bahwa iritasi pada selaput lendir di mata, hidung, dan tenggorokan tidak berkorelasi secara signifikan dengan paparan. Hal ini mungkin disebabkan oleh fakta bahwa subjek beradaptasi dengan paparan formaldehida eksperimental selama 30 menit sebelum pengujian apa pun dilakukan. Beberapa faktor lain dapat menjelaskan rendahnya tingkat iritasi akut yang diamati. Di antaranya adalah bahwa perbandingan hasil yang diperoleh dalam percobaan ini dengan studi epidemiologi yang diterbitkan sebelumnya harus memperhitungkan bahwa percobaan ini membahas formaldehida sebagai satu-satunya faktor variabel dalam percobaan.

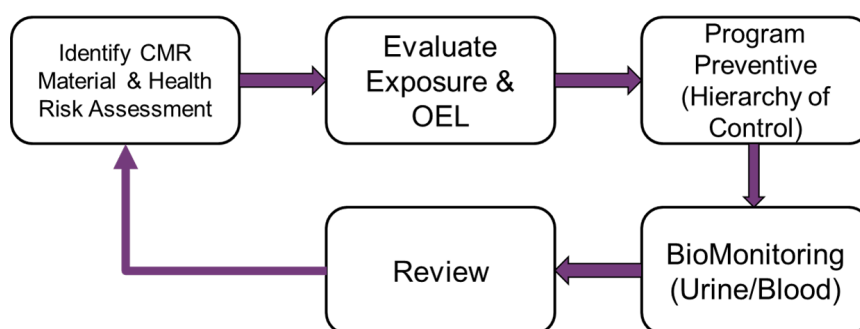
Paparan jangka panjang dapat menyebabkan gejala seperti sakit kepala, depresi, gangguan tidur, serta gangguan memori dan keseimbangan. Anak-anak lebih rentan terhadap dampak ini karena potensi periode laten yang lebih lama. Penyakit lain seperti asma dan dermatitis juga dapat terjadi pada individu yang sensitif. Dalam dosis yang sangat tinggi, formaldehide dapat berakibat fatal jika tertelan. Formaldehide menunjukkan tingkat toksisitas yang cukup tinggi, yang dapat membahayakan kesehatan manusia, baik melalui paparan langsung maupun jangka panjang. Beberapa nilai LC50 dan LD50 yang tercatat menunjukkan seberapa berbahaya formaldehide jika terpapar ke tubuh melalui berbagai jalur masuk. Misalnya, pada mice (tikus), LC50 untuk paparan inhalasi selama 4 jam tercatat sebesar 454 mg/m³, sedangkan pada rat (rattus), angka ini lebih rendah, yaitu 203 mg/m³ untuk paparan yang sama. Ini menunjukkan perbedaan tingkat sensitivitas antar spesies terhadap formaldehide.

Selain itu, formaldehide memiliki angka LD50 yang beragam tergantung pada metode pemberian. LD50 subkutan pada tikus mencatatkan angka 300 mg/kg, sedangkan untuk pemberian oral pada tikus, angka LD50 turun menjadi 42 mg/kg, menunjukkan tingkat keparahan yang lebih tinggi jika tertelan. Selain itu, paparan melalui injeksi intravena pada tikus memberikan LD50 sebesar 87 mg/kg, sementara LD50 intraperitoneal pada tikus tercatat pada 16 mg/kg, yang menandakan bahwa formaldehide sangat toksik ketika masuk langsung ke dalam tubuh.

Paparan inhalasi formaldehide juga dapat berbahaya, dengan LC50 sebesar 0.414 mg/L selama lebih dari 4 jam pada tikus, yang mengindikasikan bahwa paparan formaldehide melalui saluran pernapasan dalam jangka waktu yang cukup lama dapat menyebabkan efek toksik yang serius.

Formaldehide juga diklasifikasikan sebagai karsinogen oleh International Agency for Research on Cancer (IARC). Paparan jangka panjang terhadap formaldehide diketahui dapat meningkatkan risiko terkena kanker, terutama kanker nasofaring dan leukemia. Oleh karena itu, pengendalian paparan formaldehide di tempat kerja sangat penting untuk mencegah dampak kesehatan yang lebih serius, termasuk potensi kanker, yang disebabkan oleh paparan berulang atau berkepanjangan (Kim et al., 2011).

D. Pengendalian telah yang dilakukan



Gambar 1. Flow Pengendalian dari CMR Material di PT. X sesuai dengan NIOSH, OSHA, & ACGIH

Pengendalian Formaldehide di PT. X mengikuti dan menggabungkan dari NIOSH, OSHA, ACGIH sebagai referensi pengendalian material tersebut, antara lain: Penilaian Risiko (Risk Assessment) -

Menurut NIOSH, OSHA, & ACGIH, Sebelum melakukan pekerjaan yang melibatkan formaldehide, lakukan penilaian risiko untuk mengidentifikasi potensi bahaya yang terkait dengan proses kerja, jenis dan konsentrasi formaldehide yang digunakan, serta kondisi lingkungan kerja (misalnya ventilasi, suhu, kelembaban). Dokumen ini masuk dalam Chemical Health Risk Assessment (CHRA), kemudian dijadikan landasan/baseline untuk Dokumen Potensi Bahaya Besar yang disubmit ke KEMNAKER, DISNAKER & KEMENPERIN.

Ventilasi yang baik sangat penting untuk mengurangi konsentrasi formaldehid di udara. Pastikan area kerja memiliki ventilasi lokal yang efektif (seperti alat ventilasi eksterior atau fume hood) untuk mengeluarkan uap formaldehid dari udara.

Prosedur manual handling yang ergonomis untuk menghindari cedera fisik pada pekerja. Hindari penggunaan bahan kimia dalam jumlah besar dalam satu waktu. Jika memungkinkan, gunakan teknik penanganan bahan kimia dalam kemasan tertutup untuk menghindari paparan langsung. Latih pekerja mengenai prosedur kerja yang aman dan penanganan darurat jika terjadi kecelakaan atau tumpahan formaldehid.

Pekerja yang melakukan manual handling Formaldehide harus menggunakan masker atau respirator yang sesuai, seperti respirator dengan filter karbon aktif yang dapat menyaring uap Formaldehide. Di PT. X dalam melakukan manual handling Formaldehide menggunakan PAPR (Powered Air Purifying Respirator)

Jika ada risiko percikan atau uap yang dapat mengenai mata, pekerja harus menggunakan pelindung wajah atau kacamata pelindung. Penggunaan Pelindung mata dan wajah satu kesatuan pada penggunaan PAPR (Powered Air Purifying Respirator).



Gambar 2. Pelatihan penggunaan Respirator, PAPR serta Fit Test

Sarung tangan yang tahan terhadap bahan kimia (seperti sarung tangan nitril atau neoprene) untuk mencegah kontak langsung dengan formaldehid. Pekerja juga harus menggunakan pakaian pelindung untuk melindungi kulit dari paparan langsung.

Formaldehid harus disimpan dalam wadah yang tertutup rapat dan ditempatkan di area yang terisolasi dengan ventilasi yang baik. Untuk pengangkutan bahan kimia, pastikan bahwa pekerja mengikuti prosedur pengangkutan yang aman dan menggunakan wadah atau kontainer yang sesuai.

Pemantauan kesehatan pekerja yang terpapar Formaldehid perlu dilakukan secara rutin (1 tahun/1 kali), termasuk biomonitoring seperti pengukuran kadar asam formiat dalam urine sebagai indikator paparan formaldehid. Pemeriksaan medis juga penting untuk mendeteksi potensi efek kesehatan jangka panjang akibat paparan formaldehid. Dasar pemantauan ditentukan pada Chemical Health Risk Assessment (CHRA).

Perusahaan melakukan pengujian pajanan untuk mengetahui tingkat paparan formaldehid pada operator saat melakukan manual handling. Pengujian ini dilakukan dengan metode Formaldehid (NIOSH 2016), di mana sampel udara diambil menggunakan personal pump dengan media SKC 226-119, Silica Gel (2,4-Dinitrophenylhydrazine). Sampel yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis menggunakan alat HPLC (High-Performance Liquid Chromatography) untuk mengukur kadar formaldehid di udara kerja. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa pajanan terhadap operator tetap dalam batas aman sesuai dengan standar keselamatan dan kesehatan kerja. Seluruh proses pengambilan sampel dan analisis dilakukan berdasarkan Pedoman Teknis Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 5 Tahun 2018, yang mengatur tata cara pemantauan pajanan bahan kimia berbahaya di lingkungan kerja guna melindungi kesehatan pekerja.



Gambar 3. Monitoring Paparan Formaldehide ke operator produksi dengan metode NIOSH 2016(4)

Pengendalian toksikan, khususnya formaldehide , di tempat kerja adalah aspek kritis yang memengaruhi kesehatan dan keselamatan pekerja, terutama di industri seperti PT X yang terlibat dalam produksi pewarna kimia. Oleh karena itu, penting bagi perusahaan untuk terus menguatkan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (K3) yang ada. Salah satu langkah utama yang dapat dilakukan adalah memperkuat pengawasan terhadap paparan formaldehide melalui peningkatan prosedur pemantauan dan evaluasi secara berkala. Hal ini termasuk penggunaan teknologi modern dalam pengukuran konsentrasi bahan kimia di udara serta penerapan metode biomonitoring untuk mendeteksi kadar metabolit formaldehide dalam tubuh pekerja. Pemantauan ini tidak hanya akan memastikan batas paparan aman tetap terjaga, tetapi juga membantu perusahaan dalam mengambil langkah mitigasi yang tepat jika terjadi peningkatan paparan.

Di samping itu, perusahaan perlu memperluas program pelatihan dan penyuluhan kepada seluruh pekerja mengenai bahaya formaldehide serta cara penggunaannya yang aman. Pelatihan ini harus mencakup pemahaman tentang risiko kesehatan, langkah darurat jika terjadi tumpahan atau paparan, serta penggunaan alat pelindung diri (APD) secara efektif. Pelatihan semacam ini tidak hanya meningkatkan kesadaran pekerja, tetapi juga membantu menciptakan budaya keselamatan yang lebih baik di tempat kerja. Selain itu, skenario simulasi darurat secara berkala juga dapat membantu memastikan kesiapan operasional dalam menghadapi kejadian tak terduga.

Dari segi teknis, pengendalian risiko formaldehide perlu terus ditingkatkan melalui pengelolaan ventilasi yang memadai. Sistem ventilasi lokal dengan ekstraksi udara yang efektif sangat diperlukan untuk mengurangi konsentrasi formaldehide di area kerja. Selain itu, penyimpanan bahan kimia berbahaya harus dilakukan di area khusus yang memenuhi standar internasional untuk mencegah potensi bahaya akibat interaksi dengan bahan lain atau kerusakan pada wadah penyimpanan.

Sebagai bagian dari inovasi, perusahaan disarankan untuk mengevaluasi kemungkinan mengganti formaldehide dengan bahan alternatif yang lebih aman jika memungkinkan, atau meminimalkan penggunaannya melalui otomatisasi proses. Dengan mengurangi keterlibatan

manual dalam penanganan bahan kimia, risiko paparan langsung pada pekerja dapat diminimalkan secara signifikan.

Di sisi lain, PT X juga dapat memanfaatkan pengalamannya dalam mengelola risiko formaldehide sebagai pembelajaran berharga. Dokumentasi semua kejadian terkait keselamatan bahan kimia dapat digunakan untuk memperbaiki prosedur yang ada dan menciptakan panduan praktis yang dapat diterapkan di perusahaan lain dengan kondisi serupa. Ini tidak hanya akan meningkatkan reputasi perusahaan sebagai pelopor keselamatan kerja, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan standar keselamatan di tingkat nasional.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengendalian formaldehida di industri chemical dyes telah berhasil menjaga kadar paparan (0,063 ppm) di bawah Nilai Ambang Batas (0,3 ppm), namun risiko kesehatan jangka panjang akibat paparan berulang tetap perlu diwaspadai. Upaya mitigasi seperti penggunaan APD, prosedur kerja ketat, dan ventilasi telah diterapkan, tetapi efektivitasnya masih terkendala oleh rendahnya kepatuhan pekerja, keterbatasan fasilitas ventilasi, dan kurangnya kesadaran akan bahaya formaldehida. Untuk itu, diperlukan penguatan pengawasan, pelatihan rutin, serta biomonitoring (melalui pengukuran asam formiat dalam urin sesuai Permenaker No. 5/2018) guna deteksi dini akumulasi zat berbahaya. Standar pemantauan udara dari NIOSH, OSHA, dan ACGIH (dengan rekomendasi batas 0,3–0,75 ppm) juga harus dioptimalkan, didukung perbaikan sistem teknis seperti ventilasi lokal, otomatisasi produksi, dan penyimpanan bahan kimia yang aman. Pemeriksaan kesehatan berkala, termasuk tes fungsi paru dan biomonitoring, menjadi kunci pencegahan dampak jangka panjang. Meski kadar formaldehida saat ini aman, penelitian menekankan perlunya standar pengelolaan yang lebih ketat, inovasi pengendalian paparan, dan peningkatan kesadaran pekerja untuk menciptakan lingkungan kerja yang benar-benar aman dan berkelanjutan. otomatisasi

DAFTAR PUSTAKA

- ACGIH. (2023). *TLV Physical Agents Introduction*. <https://www.acgih.org/science/tlv-bei-guidelines/tlv-physical-agents-introduction/>
- ATSDR. (1999). *Perfil toxicológico del formaldehido*. ATSDR's Toxicological Profiles. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp111.pdf>
- Bach, B., Pedersen, O. F., & Mølhave, L. (1990). Human performance during experimental formaldehyde exposure. *Environ Int*, 16(2), 105–113.
- Beane Freeman, L. E., Blair, A., Lubin, J. H., Stewart, P. A., Hayes, R. B., & Hoover, R. N. (2009). Mortality from lymphohematopoietic malignancies among workers in formaldehyde industries: The national cancer institute cohort. *J Natl Cancer Inst*, 101(10), 751–761.
- Epping, R., & Koch, M. (2023). On-Site Detection of Volatile Organic Compounds (VOCs). In *Molecules* (Vol. 28, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/molecules28041598>
- Holladay, S. D., Smith, B. J., & Gogal, R. M. (2010). Exposure to formaldehyde at therapeutic levels decreases peripheral blood lymphocytes and hematopoietic progenitors in the pronephros of tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquat Biol*, 10(3), 241–247.
- Iii, H. D. H., Zhang, L., Tang, X., Vermeulen, R., Hao, Z., & Shen, M. (2014). *NIH Public Access*. 56(2), 252–257.
- Khatib, M., & Haick, H. (2022). Sensors for Volatile Organic Compounds. In *ACS Nano* (Vol. 16, Issue 5). <https://doi.org/10.1021/acsnano.1c10827>

- Kim, K. H., Jahan, S. A., & Lee, J. T. (2011). Exposure to formaldehyde and its potential human health Hazards. *J Environ Sci Heal - Part C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev*, 29(4), 277–299.
- NIOSH. (2016). *Formaldehyde: Method 2016*. NIOSH, Manual of Analytical Method, US. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service. CDC. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/2016.pdf>
- NIOSH. (2017). *Chemical carcinogen policy*. Department of health and human services. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2017-100/pdf/2017-100.pdf?id=10.26616/NIOSH PUB2017100revised>
- OSHA. (2023). *Occupational Safety and Health Standards - Carcinogens*. <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1003>
- Pan, Q., Liu, Q. Y., Zheng, J., Li, Y. H., Xiang, S., Sun, X. J., & He, X. S. (2023). Volatile and semi-volatile organic compounds in landfill gas: Composition characteristics and health risks. In *Environment International* (Vol. 174). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107886>
- Poveda, J. (2021). Beneficial effects of microbial volatile organic compounds (MVOCs) in plants. In *Applied Soil Ecology* (Vol. 168). <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104118>
- Salonen, H. J., Pasanen, A. L., Lappalainen, S. K., Riuttala, H. M., Tuomi, T. M., & Pasanen, P. O. (2009). Airborne concentrations of volatile organic compounds, formaldehyde and ammonia in Finnish office buildings with suspected indoor air problems. *J Occup Environ Hyg*, 6(3), 200–209.
- Salonen, H., Pasanen, A.-L., & Lappalainen, S. (2009). Volatile organic compounds and formaldehyde as explaining factor on reported complaints and symptoms in the office environment. *Volatile Org Compd Formaldehyde as Explain Factor Rep Complain Symptoms Off Environ*, 6(4), 239–247.
- Zhang, L., Steinmaus, C., Eastmond, D. A., Xin, X. K., & Smith, M. T. (2009). Formaldehyde exposure and leukemia: A new meta-analysis and potential mechanisms. *Mutat Res Mutat Res*, 681(2–3), 150–168.
- Zhang, L., Tang, X., Rothman, N., Vermeulen, R., Ji, Z., & Qui, C. (2010). Occupational exposure to formaldehyde, hematoto. *Biomarkers*, 19(1), 80–88.