



**MODUL 1  
HYGIENE INDUSTRI  
(IKK354)**

**Materi Pertemuan 5  
Konsep Sampling, Pengukuran dan  
Pengendalian Bahaya**

**Disusun Oleh  
Eka Cempaka Putri, SKM, MKKK**

**UNIVERSITAS ESA UNGGUL  
2018**

# KONSEP SAMPLING, PENGUKURAN DAN PENGENDALIAN BAHAYA

## A. Pendahuluan

Daftar bahaya yang dihasilkan dalam kegiatan rekognisi, ada yang perlu dilakukan evaluasi dan ada yang tidak perlu dilakukan evaluasi. Syarat bau, terlalu bising atau kabut yang pekat sebagai pertanda adanya paparan bahaya tertentu. Namun ada beberapa paparan seperti gas karbonmonoksida yang tidak berbau dan berasa harus dilakukan suatu pengukuran menggunakan alat tertentu.

Dalam tahapan ini seorang industrial hygienist harus memiliki kemampuan dalam menentukan bahaya-bahaya yang harus dilakukan pengukuran, titik sampling yang diukur, menggunakan alat-alat ukur dan melakukan analisis hasil pengukuran.

Modul sampling, pengukuran dan pengendalian bahaya ini merupakan bagian dari modul industrial hygiene secara keseluruhan dan didalam modul ini akan dibahas mengenai metode pengambilan sampling, pengukuran dan pengendalian bahaya-bahaya dalam lingkungan kerja.

## B. Kompetensi Dasar

- Mengetahui metode sampling dalam hygiene industri
- Mengetahui metode pengukuran dalam hygiene industri
- Mengetahui metode pengendalian bahaya dalam hygiene industri

## C. Kemampuan Akhir yang Diharapkan

- Mahasiswa mampu menguraikan konsep sampling, pengukuran dan pengendalian bahaya

## D. Kegiatan Belajar 1

### Konsep Sampling, Pengukuran dan Pengendalian Bahaya

#### 1. Uraian dan contoh

- Konsep Sampling  
Dalam tahapan rekognisi seorang industrial hygienist akan mengeluarkan daftar potensi bahaya yang sudah dilakukan penilaian berdasarkan prioritas tingkat risikonya. Dalam daftar bahaya tersebut ada yang perlu untuk dilakukan evaluasi namun ada yang tidak perlu dilakukan analisis. Mengevaluasi risiko memungkinkan praktisi hygiene untuk menentukan jawaban atas pertanyaan-pertanyaan dibawah ini :
  - o Apakah risiko khusus dari paparan dapat diterima?
  - o Apakah sudah memenuhi persyaratan peraturan?
  - o Apakah perlu dikendalikan untuk sehat dan aman?
  - o Apakah ada pengendalian khusus untuk bahaya ini?

- Seberapa banyak pengendalian yang sudah dibutuhkan?
- Apa mekanisme pengendalian yang paling efektif untuk proses ini?

Melakukan evaluasi bahaya dan pencegahan terjadinya penyakit dan kematian tergantung pada penilaian yang didasarkan oleh banyak faktor. Dalam buku fundamental of industrial hygiene faktor-faktor tersebut antara lain :

1. **Toksitas** adalah kapasitas inheren dari agen yang menyebabkan bahaya, sifat bahaya tersebut dan organ target yang terpengaruh.
2. **Tingkat paparan/dosis** adalah jumlah yang diserap pekerja melalui semua rute masuk selama bekerja
3. **Proses atau analisis operasional** adalah analisis operasional mulai dari bahan mentah hingga produk jadi dan bahaya yang timbul dalam prosesnya.
4. **Aktivitas perawatan** adalah risiko tumpahan dan kecelakaan, kejadian akut, kebocoran dan pelepasan gas dalam aktivitas rutin
5. **Epidemiologi dan risk assessment** adalah tinjauan literatur berbasis penelitian pada populasi dan penilaian risiko berbasis kejadian suatu kasus tertentu. Informasi mengenai pajanan dan perjalanan penyakit pada suatu perusahaan.
6. **Wawancara** adalah informasi yang diberikan oleh pekerja, mengenai kesehatan, gejala-gejala dan perubahan kondisi pekerjaan, rincian mengenai proses analisis.
7. **Ketidaksetaraan distribusi risiko** adalah kesadaran bahwa beberapa populasi dari pekerja memiliki kerentanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pekerja yang lain.
8. **Variabilitas respon** adalah variasi kerentanan individu karena faktor-faktor usia, ukuran, pernapasan dan status kesehatan.

Tujuan dilakukannya evaluasi adalah pencegahan paparan bahaya dan dampak buruk yang dihasilkan. Seorang industrial hygienist mencegah timbulnya penyakit akibat kerja melalui analisis dan mengendalikan bahaya sebelum menjadi penyakit akibat kerja. Seorang industrial hygienist menggunakan banyak sumber informasi dan metode dalam mengevaluasi tempat kerja. Dalam tahapan evaluasi seorang industrial hygienist harus menyusun strategi sampling untuk menentukan intensitas pemaparan, sumber bahaya dan kecukupan pengendalian. Termasuk sumber kesalahan, ketepatan pengukuran yang diinginkan, ketepatan pengukuran dan tingkat kepercayaan yang diperlukan untuk menginterpretasi hasil.

Pengambilan sampling sebaiknya dilakukan pada saat paparan dalam kondisi yang paling tinggi. Hal ini disebabkan pada saat paparan tinggi dapat didesain untuk menyelesaikan masalah dengan lebih mudah sebagai contoh pengukuran konsentrasi bahan kimia ketika sedang dalam kondisi paparan yang tinggi dapat menentukan gejala kesehatan dan sumber bahaya, lebih mudah menetapkan pengendalian dan memperbaiki masalah. Selain keuntungan yang disebutkan diatas pengambilan sampel dalam pada saat paparan tinggi dapat

mendeteksi adanya kerusakan pada peralatan, pertanda paparan melebihi ambang batas dan dampak pekerjaan.

Selain strategi pengambilan sampel pada saat paparan sedang tinggi ada satu strategi sampel lagi yang dinamakan *typical sampling*. Perbedaan kondisi lingkungan setiap harinya menyebabkan *typical exposure* sulit untuk di temukan dan diukur. Selain itu karyawan jika mereka mengetahui akan dilakukan pengukuran maka mereka akan menunjukkan perilaku kerja yang baik dan ventilasi sudah dioptimalkan.

Kedua strategi pengambilan sample dapat dilakukan dengan kedua metode diatas, masing-masing dipilih untuk menjawab pertanyaan apa, dimana, kapan, bagaimana dan siapa karyawan yang diambil sampel.

### **Apa dan bagaimana mengambil sampel**

Hal yang penting dalam pengambilan sampel adalah bahwa sampel harus mewakili pekerja yang terpapar. Evaluasi dari bahaya kimia yang ada di lingkungan kerja berdasar pada kuantitas dan metode yang digunakan, laporan pekerja mengenai kejadian akibat tingginya keracunan, violitas, karsinogenitas, atau teratogenitas dan campuran didalamnya. *NIOSH Manual of analytical methods 1994* sebagai referensi untuk melakukan *time-weight average sampling*. Tersedia banyak pilihan media pengumpulan sampe mulai dari *charcoal* atau *silica gel tubes* untuk uap organik nonpolar atau uap polar, untuk *cellulose ester* atau *fiberglass filter* untuk fume dan partikel material.

Jika seorang industrial hygienist mengambil sampel pada saat waktu tertentu yang spesifik, maka dapat menggunakan *colorimetric tubes* atau kantong sampling yang kemudian dapat diserahkan kepada laboratorium yang diakreditasi oleh lembaga hygiene industri. Ada beberapa instrumen yang dapat membaca langsung hasil dari paparan bahan kimia, fisik dan radiasi. Instrumen ini dapat memberikan hasil langsung mengenai kondisi dan konsentrasi bahaya di tempat kerja. Hasil dari pembacaan alat dapat digunakan untuk tindakan perbaikan secara langsung.

### **Dimana pengambilan sampel**

Personal monitoring digunakan untuk mengevaluasi paparan individu terhadap bahaya tertentu yang diambil selama pekerja tersebut bekerja termasuk jam istirahatnya. Hasil dari personal monitoring menggambarkan keefektifan dari pengendalian (teknis, pekerjaan dan administratif) untuk mencegah tingginya paparan. Pemantauan lingkungan menyediakan informasi tentang jumlah dan jenis exposure yang ditemukan di area pekerja. Pengambilan sampel lingkungan bertujuan untuk menilai keefektifan pengendalian teknis.

### **Siapa yang diambil sampelnya**

Jika di dalam lingkungan kerja terdapat area dengan potensi bahaya yang tinggi seperti keracunan, maka seorang industrial hygienist harus mengidentifikasi pekerja yang berada dekat dengan area tersebut.

Kemudian menilai apakah inlet udara, ventilasi dan pintu dan jendela yang dapat mempengaruhi paparan terhadap pekerja. Perbedaan pada kebiasaan pekerja dapat dengan significant mempengaruhi dampak dari paparan kontaminan. Walaupun beberapa pekerja melakukan pekerjaan yang sama dengan material yang sama, metode individu dalam bekerja mempengaruhi total paparan yang diterimanya.

### **Kapan melakukan sampling**

Sampling dilakukan dalam situasi terburuk (situasi dengan paparan tertinggi) di lingkungan kerja. Dimana paparan bahaya dalam kondisi yang tinggi dengan ventilasi yang lebih tertutup. Sampling diambil mengikuti shift pekerja dan sepanjang waktu kerja. Jika ada shift malam, sample akan dilakukan juga di malam hari.

### **Berapa lama pengambilan sampel**

Volume dari sample udara dan durasi dari sampling berdasarkan pada kesensitifan dari analisis prosedur atau pembacaan instrumen secara langsung, perkiraan konsentrasi udara dan standar OSHA atau TLV.

Durasi dari periode sampling harus menggambarkan periode waktu tertentu. Sebagai contoh pengambilan sampel untuk 1 shift secara penuh. Lama pengambilan sampel juga mengikuti batas tertinggi dari standard. Contohnya PEL, pengambilan sampel selama delapan jam penuh dalam satu shift. Sebagai perbandingan OSHA short-term exposure limit (STEL), 15 menit pengambilan sampel selama paparan tertinggi. Jika ada waktu kerja lembur maka harus dilakukan perhitungan ulang sesuai dengan standar dikarenakan paparan meningkat. Konsentrasi dari kontaminan di tempat kerja terkadang rendah. Pembacaan langsung instrumen dan peralatan lain digunakan untuk mengumpulkan jumlah sampel yang cukup.

### **Apa yang harus dicatat ketika sampling**

Pencatatan yang baik dan benar sangat mempengaruhi hasil dari pengukuran udara. Bagian-bagian yang wajib dicatat antara lain jumlah waktu pengambilan sampel, pompa flow rate, periode awal dan akhir dari periode sampling, lokasi atau orang yang dimonitor, beserta penjelasan mengenai proses operasi yang dievaluasi. Selain catatan diatas pengendalian yang terdapat di area tersebut juga harus disebutkan. Mulai dari rekayasa teknik yang sudah dilakukan, prosedur operasi dan alat pelindung diri yang digunakan oleh pekerja.

### **Berapa jumlah sampel yang diambil**

Tidak ada aturan mengenai berapa jumlah sampel yang harus diambil untuk mendapatkan data paparan pada pekerja yang adekuat. Jumlah sampel yang diambil tergantung pada tujuan dari dilakukannya sampling, jumlah jenis pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja dalam satu hari dan inheren variabilitas dari kontaminan.

### Kapan harus berhenti melakukan monitoring

Menurut OSHA monitoring harus dilakukan secara rutin untuk penggunaan bahan kimia. Frekuensi pelaksanaan monitoring tergantung pada substansi dan hasil dari pengukuran awal. Jika pada saat sampling awal ditemukan hasil kontaminasinya rendah maka tidak perlu dilakukan monitoring rutin, selama monitoring faktor penting lainnya dan program keselamatan tetap dilakukan rutin

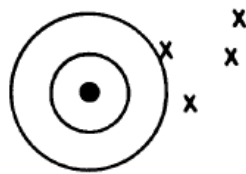
### Siapa yang harus melakukan sampling

walaupun melakukan pembacaan di instrumen alat merupakan hal yang tidak sulit, namun menentukan strategi sampling dan menginterpretasikan hasil bukanlah hal yang mudah. Sampling harus dilakukan oleh seseorang yang sudah terlatih dan diawasi oleh seorang insutrial hygienist. Mereka harus mampu menemukan error pada peralatan, melakukan kalibrasi alat, perbaikan dan menggunakan peralatan sampling. Mereka harus mengenali masalah dan menyelesaikan jika masalah tersebut muncul. Mereka juga harus menyadari kelemahan pelaksanaan sampling serta mengenai menggabungkan antara pengamatan, wawancara dan penilaian kuantitatif dan memahami jika tidak perlu dilakukan penarikan sampel.

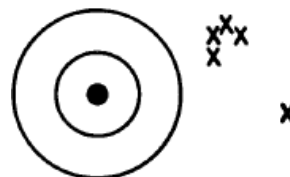
#### - Pengukuran

- **Akurasi dan presisi**

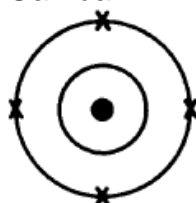
Sampling adalah kegiatan menyimpulkan hasil paparan dari suatu area dengan mengukur hanya sebagian area saja. Terjadinya kesalahan pada saat pengambilan sampel yang mempengaruhi intepretasi hasil sangat mungkin terjadi. Akurasi berfokus pada hubungan antara nilai pengukuran dan nilai sebenarnya. Hasil dari penilaian lingkungan kerja harus memiliki hasil yang sedekat mungkin dengan nilai yang sebenarnya. Presisi adalah degree of agreement yang menghasilkan hasil pengukuran yang sama jika diukur dalam kondisi yang sama dan parameter yang sama.



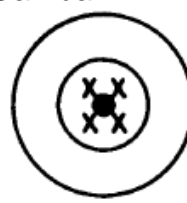
Tidak presisi dan tidak akurat  
Gambar. 1



Presisi tetapi tidak akurat  
Gambar. 2



Akurat tetapi tidak presisi  
Gambar. 3



Akurat dan Presisi  
Gambar. 4

Akurasi dipengaruhi oleh sumber kesalahan yang dapat di kendalikan. Kesalahan ini biasanya terjadi akibat kesalahan metode, kesalahan pribadi, kesalahan instrumen, kesalahan perhitungan, kecerobohan pribadi, peralatan yang tidak terkalibrasi dengan baik dan penggunaan reagen yang terkontaminasi. Faktor-faktor ini seharusnya dapat diidentifikasi sebelum melakukan sampling. Sedangkan presisi ada kesalahan yang tidak tentu atau acak yang tidak bisa dikendalikan. Penyebab tidak presisinya suatu sample diakibatkan oleh fluktuasi konsentrasi, variasi peralatan, fluktuasi dalam penambahan reagen dll. Faktor-faktor ini menyebabkan variabilitas pada hasil sampling. Untuk mengendalikan masalah ini adalah dengan teknik statistik untuk perhitungan statistik dan meningkatkan jumlah sample.

Berikut ini adalah panduan yang digunakan untuk memastikan sampel sudah akurat dan presisi adalah menggunakan :

1. Data manufaktur untuk instrumen dengan pembacaan langsung yang diperoleh dengan pernyataan keakuratan dan ketepatan metode mereka.
2. Jadwal kalibrasi harus ditetapkan dan di dokumentasikan
3. NIOSH manual harus dikonsultasikan ke akuratan dan ketepatan metode yang dipilih.

- **Intepretasi hasil**

Inteprestasi hasil merupakan langkah terakhir dalam mengevaluasi lingkungan tempat kerja. Bahan kimia yang dimonitor, area sampling dan waktu pemantauan yang terbaik yang dilakukan seorang industrial hygienist mengenai paparan yang signifikan. Potensi sumber kesalahan dan keterbatasan sampling dan metode analisis harus dikendalikan sebelumnya. Intepretasi yang dilakukan harus menyesuaikan dengan aturan yang berlaku dalam suatu negara. Apakah aturan tersebut menyaratkan untuk menggunakan PEL atau STEL. Karena ada beberapa paparan kontaminan jika diukur dalam waktu 8 jam menggunakan PEL tidak melebihi nilai ambang batas, namun jika diukur dengan STEL ternyata hasilnya melebihi tingkat ambang batas, maka tergantung dari syarat aturan mengenai bahan kimia tertentu pengukuran yang dilakukan menggunakan STEL atau PEL. Tindakan pengendalian bahaya harus tetap dilakukan untuk adanya kelebihan paparan kontaminan tertentu melalui tindakan yang dianggap efektif.

- **Perbandingan standar dan panduan**

Perbandingan hasil dengan standar merupakan hal yang pertama dilakukan ketika mendapatkan hasil. Standar yang digunakan terdiri dari standar internasional dan standar nasional. Standar internasional dapat menggunakan standar OSHA dan TLV-ACGIH sedangkan di Indonesia dapat menggunakan standar baku mutu pengukuran lingkungan yang sudah

ditetapkan oleh pemerintah dalam undang-undang. Pengambilan standar diusahakan menggunakan standar dengan nilai paparan yang lebih rendah sehingga hasil lebih aman untuk paparan kontaminan tertentu.

Jika dalam suatu pekerjaan tertentu dimana karyawan harus lembur dan pada saat jam lembur tersebut tidak dilakukan pengukuran maka perhitungannya akan berbeda. Pada masa 2 jam tersebut maka paparan akan terhitung menjadi "0" sehingga paparan akan berkurang. Padahal selama 2 jam tersebut ada paparan kontaminan tertentu. Dalam hal seorang industrial hygienist harus mengambil langkah-langkah tindakan perbaikan sesuai dengan paparan yang paling tinggi.

- **Limitasi standard**

Ada beberapa standar yang memiliki berbagai keterbatasan tertentu. Standar OSHA memiliki tingkat ketepatan sebesar 92% namun OSHA melaporkan ratusan ribu penyakit akibat kerja baru. Berikut ini kritik-kritik yang di ajukan untuk OSHA :

- OSHA hanya mengevaluasi paparan inhalasi
- Tidak up to date
- Penelitian yang dilakukan tidak adekuat karena gagal mempertimbangkan data toksisitas kronis termasuk fungsi imunitas dan endrokrin, toksisitas sistem reproduksi dan perubahan neurologi
- Standar tidak adekuat untuk melindungi pekerja yang sensitif terhadap bahan kimiayang menyebabkan asma, dermatitis dan dampak imunitas lainnya.
- Standar diambil dari data epidemiologi dari pekerja yang sebagian besar laki-laki dan berkulit putih. Tidak melakukan analisis untuk pekerja wanita dan warna kulit lain.
- Tingkat risiko dalam OSHA tidak toleran terhadap lingkungan secara umum. Seperti risiko kanker satu dibanding seribu di bandingkan dengan satu dibanding satu juta untuk paparan lingkungan.
- OSHA gagal memperhitungkan paparan ganda yang bersifat tambahan atau senergi
- OSHA menawarkan batas kurang dari 10 persen pada bahan kimia yang dipergunakan secara komersial
- Hasil sampling menggambarkan kondisi satu hari dan kemungkinan untuk melewati paparan yang terjadi tidak rutin atau terjadinya paparan yang tinggi selama perawatan, kebocoran atau situasi darurat.
- OSHA terkadang hanya mewakili kepentingan politis tertentu diatas kepentingan ilmiah.

Industrial hygienist terkadang menganalisis hasil sampling dan menyimpulkan bahwa kepatuhan pada PELs tidak cukup untuk menjamin kesehatan di tempat kerja. Tidak hanya OSHA sebagai standar yang memiliki kelemahan TLV ACGIH juga



dikiritik untuk berbagai faktor antara lain standar TLV tidak dilakukan oleh para ilmuwan atau pemerintah melainkan dibawah perusahaan, TLV melakukan pengujian pada hewan uji yang tidak cukup paparan kontaminannya, TLV tidak memperhitungkan tingkat sensitifitas masing-masing individu. Sehingga harus dilakukan beberapa peningkatan pada prosedur, dokumentasi dan penelitiannya. Berikut ini peningkatan yang harus dilakukan :

- Menugaskan seorang ahli kesehatan kerja yang profesional sebagai staff di TLV
- Mengembangkan dan mengimplementasikan prosedur *conflict of interest*
- Mengembangkan kebijakan yang berfokus pada rapat komite TLV dengan kelompok diluar komite
- Print tanggal revisi terakhir dari booklet publikasi dari daftar booklet rekomendari panduan paparan sebagai tambahan TLV seperti RELs, PELs dll
- Mulai publikasi dokumen lengkap setiap tahun untuk semua perubahan yang dimaksud untuk mendapatkan komentar publik.

- **Perbandingan dengan data lainnya**

Perbandingan dengan data lainnya merupakan aktivitas yang penting dalam hygiene industri. Membandingkan hasil pengukuran dengan pengukuran sebelumnya untuk menentukan keefektifan pengendalian yang telah dilakukan. Membandingkan sampel harian juga penting untuk melihat keefektifan dari metode sampling dan pengukuran yang dilakukan.

- **Pengendalian Bahaya**

Bagian paling penting dalam tahapan hygiene industri adalah tahapan pengendalian bahaya. Kegagalan dalam menentukan pengendalian dapat menyebabkan terjadinya penyakit akibat kerja. Sebelum melakukan pengendalian seorang industrial hygienist harus mengetahui bahaya apa saja di lingkungan kerja, besaran paparan dan :

- Bagaimana situasi berbahaya muncul
- Apa yang dilakukan orang yang terpapar saat mereka terpapar
- Mengapa mereka melakukan tugas tersebut
- Apa hasil yang diinginkan dari program pengendalian
- Apa konsekuensinya jika tindakan pengendalian tidak memadai atau gagal melindungi pekerja

Setelah mengetahui hal-hal diatas seorang industrial hygienist dapat menentukan tindakan pengendalian yang sesuai. Menentukan pengendalian yang sesuai ini dengan mempertimbangkan prinsip ALARP (*as low as reasonably Practicable*). Prinsip ini antara lain kemampuan seorang industrial hygienist menentukan tindakan pengendalian yang paing efektif dan efisien namun tetap ekonomis. Pertimbangan ini berdasarkan pada waktu paparan, besarnya

paparan, tugas pekerjaan, kapabilitas pekerja dll. Pengendalian yang dilakukan harus mengikuti hirarki pengendalian yang telah ditetapkan. Berikut ini hirarki pengendalian :

### 1. Eliminasi/Substitusi

Eliminasi adalah proses menghilangkan bahaya ditempat kerja dengan menghapus proses atau substansi sepenuhnya dari lingkungan kerja. Proses eliminasi bahaya ini jarang dapat diterapkan di tempat kerja atau perusahaan. Karena menghilangkan bahaya ini dapat berdampak pada penutupan perusahaan sehingga tidak praktis untuk diterapkan. Biasanya kegiatan eliminasi ini akan digabungkan dengan proses substitusi yaitu suatu proses mengganti bahan berbahaya di lingkungan kerja dengan bahan yang kurang berbahaya. Berikut ini substitusi dan eliminasi pada material dan proses.

#### o Material

Untuk beberapa tempat kerja tidak mungkin untuk mengganti bahaya misalnya di industri pertambangan atau peleburan logam. Konsep substitusi dapat dilakukan pada industri-industri dibawah ini :

- Industri pembuatan jam tangan melalui penggantian bahan radium dengan sulfida seng pendar. Penggantian ini menurunkan risiko paparan zat radiaktif kepada pekerja.
- Industri cat, penggantian fosfor putih dan kuning yang dapat menyebabkan “phossy jaw” yaitu nekrosis pada tulang rahang digantikan dengan fosfor merah yang kurang berbahaya.
- Penggantian asbes dengan bahan-bahan sintetis seperti (glass foam, rock atau glass wool) menurunkan kasus kanker dan mesothelioma
- Mengganti benzena (yang menyebabkan leukemia) sebagai pelarut dengan xilene
- Mengganti pasir pantai dan sungai yang mengandung kuarsa tinggi yang abrasif dengan kandungan kuarsa yang lebih rendah seperti (ilmenite, zircon, copper slag).
- Mengganti senyawa merkuri dengan asam peroksida
- Mengganti naptha petroleum dan karbon tertaklorida dengan perkhloretilen untuk pendingin
- Mengganti merkuri pada proses pemisahan emas dengan ekstraksi sianida dan pencucian carbon-inpulp.
- Pelarut hidrokarbon alifatik menggantikan pelarut n-heksana yang beracun.

#### o Process

Dalam situasi dimana mengganti material produksi tidak dimungkinkan, maka alternatif pengendalian selanjutnya adalah dengan melakukan modifikasi proses. Sebagai contoh :

- Menggunakan bentuk *masterbatch* padatan dan bukan yang berbentuk bubuk berdebu (misalnya stabilisator timbal dalam produksi pipa PVC).

- Menggunakan pelarut organik berbentuk gel yang dapat mengurangi tingkat emisi uap (misalnya gelled styrene)
- Memilih proses produksi yang tidak menghasilkan produk sampingan yang berbahaya (misalnya produk sampingan dari dioxin dalam pembuatan herbisida)
- Memilih proses produksi yang tidak membutuhkan penyimpanan dalam jumlah besar zat perantara yang sangat berbahaya (misalnya methylisocyanate dalam pembuatan pestisida atau hidrogen sianida dalam pembuatan potasium sianida)
- Perubahan proses produksi kering menjadi basah untuk mengendalikan debu
- Mengurangi suhu untuk mengurangi penguapan bahan yang mudah menguap.
- Menggunakan kuas lebih baik daripada menggunakan semprotan untuk mengurangi peningkatan paparan uap
- Menyedot debu lebih baik daripada menyapu.

Dalam beberapa kasus menggunakan produk yang sudah jadi lebih baik daripada melakukan proses produksi dengan tujuan :

- Mengurangi potensi pekerja untuk menangani bahan berbahaya
- Meminimalkan operasi yang menghasilkan bahaya khususnya bahaya udara (misalnya membatasi pengeluaran bubuk dari penyimpanan hopper ke wadah dan ke kantong.
- Menggunakan peralatan water jet untuk membersihkan dan mengurangi penyebaran kontaminasi
- Mengubah proses untuk mengurangi bahaya debu atau uap.

## 2. Engineering

Jika substitusi material berbahaya dan proses tidak dapat dilakukan maka seorang insinyur higienis harus memikirkan alternatif pengendalian teknik yang antara lain :

### ○ Isolasi

Isolasi merupakan suatu proses yang menjauhkan pekerja dari sumber bahaya. Menjauhkan pekerja ini dapat dilakukan dengan penghalang fisik dan waktu (waktu akan dimasukkan ke dalam pengendalian administratif. Berikut ini contoh-contoh isolasi antara lain :

- Penggunaan pintu atau barrier yang mencegah pekerja memasuki area dimana bahan beracun didalamnya
- Meletakkan bahan berbahaya di daerah khusus untuk material berbahaya
- Memisahkan material untuk mencegah kontaminasi silang dan menghasilkan reaksi berbahaya.
- Pengecatan dilakukan di luar jam kerja untuk mengurangi paparan pelarut kepada pekerja
- Fumigasi di tempat kerja dilakukan ketika pekerja sedang tidak berada di tempat.

- Containment

Jika ditempat kerja terdapat kontaminan debu, uap dan kebisingan di tempat kerja yang sulit dilakukan pengendalian menggunakan pengendalian di atas maka harus dilakukan pengendalian teknik yang antara lain :

  - Seluruh proses di tutup dan dilengkapi oleh sistem knalpot pembuangan
  - Ruang kendali kedap suara di lingkungan yang bising
  - Sarung tangan atau safety cabinet untuk agen infeksius
  - Laboratorium yang dikendalikan dengan jarak jauh untuk menangani isotop radioaktif
  - Menyimpan mesin dengan tingkat kebisingan yang tinggi di dalam area kedap suara
  - Sistem kedap gas, untuk pemrosesan kimia atau dalam banyak sterilisasi atau fumigasi prosedur

Sistem isolasi ini harus dipastikan bahwa tidak ada kebocoran dan benar-benar tertutup. Sistem isolasi harus dilengkapi dengan sistem pembuangan gas yang terus menerus. Sistem isolasi tidak boleh diletakan di akses pekerja yang terus menerus dan tidak boleh menghalangi jalan keluar.

- Ventilasi

Ventilasi adalah pengendalian teknik dari kontaminan dengan pengurangan konsentrasi kontaminan dan ventilasi pembuangan. Ventilasi industri dapat menjadi cara yang efektif untuk mengendalikan paparan dan kenyamanan terkait suhu udara pada pekerja jika dirancang dan dipelihara dengan baik. Ventilasi industri harus memastikan bahwa para pekerja tidak terpapar kontaminan udara dengan konsentrasi yang berbahaya sedangkan untuk fungsi kenyamanan ventilasi industri harus memberikan kondisi udara yang nyaman buat pekerja.

Ventilasi umum ditujukan untuk mengurangi konsentrasi kontaminan dengan menambahkan udara segar ke tempat kerja. Ini dapat dikategorikan sebagai Dilution ventilation dan displacement ventilation.

Dilution ventilation tepat digunakan ketika kontaminan udara memiliki toksisitas rendah, ada banyak sumber, emisi terus menerus, konsentrasi mendekati atau lebih rendah dari paparan kerja, Volume udara yang dibutuhkan dapat dikelola, kontaminan diencerkan sebelum diinhalasi, hanya masalah kenyamanan bukan ada kontaminan lainnya, dan terjadi tumpahan dan perpanjangan ruang kerja. Contoh dari dilution ventilation adalah kipas angin. Udara yang bergerak dari tiupan kipas angin bergerak ke segala arah, sehingga udara yang penuh dengan kontaminan tidak segera bersih, hanya

berfungsi mengencerkan dan mengurangi pekatnya kontaminan.

Displacement ventilation adalah ventilasi yang menggunakan prinsip perpindahan secara termal. Udara yang terkontaminasi dikeluarkan dari ruangan melalui daya apung dari udara yang lebih hangat dari pekerja dan proses kerja daripada udara yang ada di sekitarnya. Udara sekitar 2-3 C lebih dingin ditiupkan dengan lembut dari dekat lantai (ventilasi di letakkan di bagian bawah dekat dengan lantai) untuk mengisi area sekitar 2-3 meter. Diffuser khusus digunakan untuk memastikan aliran udara tidak membuat draft. Berbeda dengan air conditioning metode ini dilakukan dengan lebih efisien karena mengandalkan konveksi alami. Ventilasi jenis ini akan bekerja bila kontaminan lebih hangat dari udara yang berada di sekitarnya, ruangnya relatif lebih tinggi dan ada pergerakan terbatas di ruangan.

### **3. Administratif**

Terkait dengan ALARP, terkadang pengendalian dengan eliminasi, substitusi dan pengendalian dengan teknis sulit untuk dilakukan oleh perusahaan. Pengendalian di atas merupakan pengendalian yang paling efektif namun juga yang paling mahal. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan perubahan sistem kerja untuk mencapai tingkat pengendalian paparan yang diinginkan. Pada jenis-jenis lingkungan kerja tertentu dimana pengendalian yang lebih tinggi tidak dapat dilakukan maka pengendalian administratiflah yang paling efektif diterapkan. Lingkungan kerja tersebut antara lain bekerja dengan suhu ekstrim dingin, bekerja di suhu ekstrim panas, dan berada di kedalaman 100 meter.

Pengendalian administratif menggunakan strategi yang berkonsentrasi pada proses dan sistem kerja dan perilaku pekerja. Pengendalian administratif ini berfokus pada pendidikan pekerja, perilaku atau prosedur kerja. Pengendalian administratif tentu berbeda dengan konsep manajemen seperti tanggung jawab, audit dan pembahasannya. Pengendalian administratif membutuhkan penilaian risiko sebagai bagian aspek integral dari penerapan suatu pengendalian administratif. Bekerja dengan tim merupakan bagian dari pengendalian administratif seperti bekerja di ruang terbatas yang harus dikerjakan dengan tim, pelabelan dan komunikasi bahaya juga merupakan bagian dari pengendalian administratif.

Kebersihan lingkungan kerja juga merupakan salah satu pengendalian yang paling penting dalam pengendalian administratif. Debu yang berada di lingkungan kerja dapat menyebabkan kebakaran dan alergi pada pekerja yang hipersensitif. Pengendalian administratif ini dapat efektif

diterapkan melalui pemberian sosialisasi kepada pekerja mengenai mengapa pengendalian administratif harus dilakukan, prosedur dan panduan yang tepat untuk diikuti, keterbatasan prosedur pengendalian administratif, konsekuensi mengabaikan pengendalian administratif. Berikut ini contoh-contoh pengendalian administratif :

- **Persyaratan Hukum**  
Semua undang-undang, peraturan kesehatan, keselamatan, kode praktis dan standar industri merupakan bagian dari pengendalian administratif. Membuat rangkuman kepatuhan terhadap peraturan merupakan bentuk implementasi dari bagian persyaratan ini.
- **Pendidikan dan Pelatihan**  
Bentuk pengendalian administratif yang paling umum adalah memberikan pendidikan dan pelatihan melalui berbagai bentuk kegiatan seperti pemberian safety orientasi untuk pekerja yang baru memasuki area kerja, sosialisai paparan di tempat kerja, pemberian label-label keselamatan di tempat area dengan potensi bahaya yang tinggi, menyediakan MSDS (Material Safety Data Sheet) di tempat kerja, mengendalikan riwayat training calon karyawan beserta kompetensinya pada awal di rekrut dan melakukan pertemuan rutin terkait komunikasi penilaian bahaya dan risiko.
- **Schedule kerja dan Prosedur kerja**  
Schedule kerja umumnya sesuai dengan undang-undang adalah 8 jam perhari dan 40 jam perminggu. Tingginya aktivitas kerja lembur mengakibatkan terjadinya kelelahan dan bias pada saat pengukuran paparan.
- **Rotasi pekerja dan menjauhkan paparan dari pekerja**  
Rotasi pekerja dilakukan jika terdapat paparan yang tinggi di lingkungan kerja sehingga pembatasan waktu paparan merupakan metode yang dinilai efektif untuk mengurangi paparan.

#### **4. Alat pelindung diri**

Alat pelindung diri merupakan metode pengendalian yang paling akhir dimana metode ini memiliki tingkat keefektifan yang paling rendah dari hirarki pengendalian. Alat pelindung diri sangat penting untuk melindungi tubuh manusia dari bahaya-bahaya di tempat kerja. Alat pelindung diri meliputi helm, sepatu keselamatan, overall, kacamata keselamatan, earplug atau earmuff, dan sarung tangan.

Masing-masing alat pelindung diri mulai dari kepala sampai kaki menyesuaikan dengan kondisi bahaya di lingkungan kerja. Sebagai contoh penggunaan helm disesuaikan dengan lokasi kerja, dekat dengan listrik atau tidak, pekerja dengan potensi bahaya listrik harus menggunakan helm dengan kemampuan menahan listrik.

Alat pelindung diri selain harus disediakan oleh perusahaan juga harus dikomunikasikan kepada karyawan melalui pelatihan pelatihan yang diberikan meliputi bagaimana alat pelindung diri digunakan, bagaimana menguji adanya kebocoran atau kerusakan dan ketidakefektifan dari alat pelindung diri yang digunakan. Melakukan perawatan alat pelindung diri juga hal harus dilakukan oleh seorang karyawan. Metode pencucian, penggunaan desinfektan, pemeriksaan kondisi alat pelindung diri dan metode penyimpanannya.

Penggunaan alat pelindung diri ini sangat berpengaruh pada sikap pekerja, pengetahuan pekerja terhadap alat pelindung diri dan kesadaran dari pekerja mengenai pentingnya menggunakan APD. Setelah hal-hal tersebut sudah dijalankan dengan baik maka penggunaan APD dapat efektif untuk mengendalikan bahaya di tempat kerja.

## 2. Latihan

a. Jawablah latihan soal dibawah ini sesuai dengan petunjuk

- 1) Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi evaluasi bahaya?
- 2) Apakah yang dimaksud dengan ketidaksetaraan distribusi risiko?
- 3) Sebutkan tujuan dilakukannya evaluasi?
- 4) Kapan waktu yang tepat untuk melakukan sampling?
- 5) Dimana pengambilan sampel yang tepat?
- 6) Apakah yang dimaksud dengan akurasi?
- 7) Apakah tujuan membandingkan dengan data lain pada tahap pengukuran?
- 8) Sebutkan hirarki pengendalian bahaya?
- 9) Mengapa tahap eliminasi dianggap yang paling penting?
- 10) Sebutkan metode pengendalian administratif?

b. Petunjuk Latihan

Soal no. 1-3 dapat dijawab dengan mempelajari bagian sampling, soal no. 4 sampai 7 dapat dijawab dengan mempelajari bagian pengukuran, soal no. 8-10 dapat dijawab dengan mempelajari bagian pengendalian.

## E. Daftar Pustaka

Barbara Plog, *Fundamental of Industrial Hygiene*, 5th Edition, National Safety Council

Cherilyn Tillman. 2007. *Principles of Occupational Health & Hygiene*.

Soeripto. 2008. *Higiene Industri*. Jakarta : UI Press

O. ALLI, Benjamin. 2008. *Fundamental Principles of Occupational Health and Safety*. 2nd Edition. ILO Office

Hughes, Phil, Ferret, Ed. 2009. *Introduction to Health and Safety at Work*. NEBOSH

Kurniawidjaja, L. Meily. (2012). *Teori dan Aplikasi Kesehatan Kerja*. Jakarta : UI press