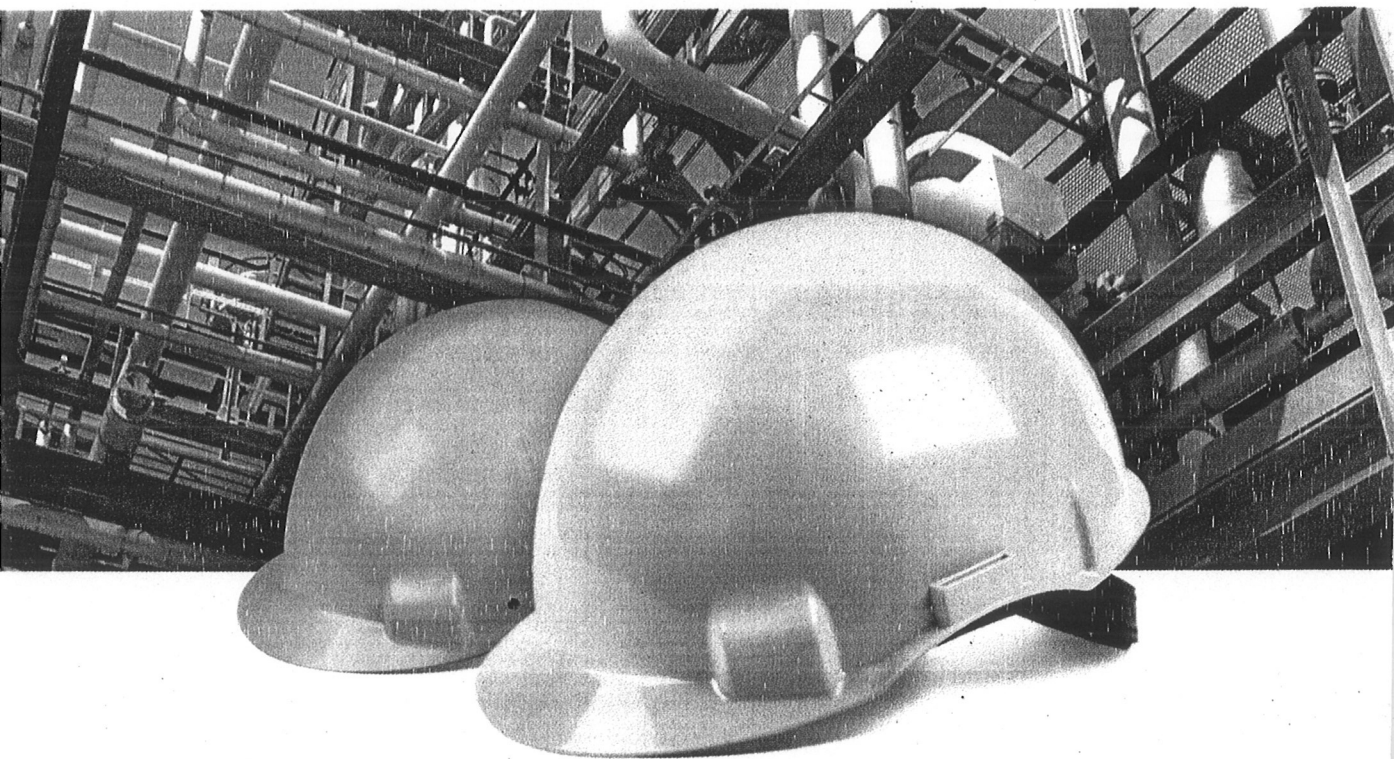


Indah Rachmatiah Siti Salami, dkk.

KESEHATAN DAN KESELAMATAN LINGKUNGAN KERJA



Gadjah Mada University Press

KESEHATAN DAN KESELAMATAN LINGKUNGAN KERJA

INDAH RACHMATIAH SITI SALAMI, dkk.

GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS

KESEHATAN DAN KESELAMATAN LINGKUNGAN KERJA

Penulis:

Indah Rachmatiah Siti Salami, dkk

Korektor:

Utari

Desain sampul:

Pram's

Tata letak isi:

Juli Soemirat

Diterbitkan dan dicetak oleh:

Gajah Mada University Press

Anggota IKAPI

Ukuran : 18,6 x 25 cm; xxv + 369 hlmn

ISBN : 978-979-420-978-3

1609196-C1E

Redaksi:

Jl. Grafika No. 1, Bulaksumur

Yogyakarta, 55281

Telp./Fax.: (0274) 561037

www.ugmpress.ugm.ac.id | gmupress@ugm.ac.id

Cetakan Pertama : Maret 2015

Cetakan Kedua : September 2016

2249.127.09.16

Hak Penerbitan © 2016 Gajah Mada University Press

Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun, baik cetak, photoprint, microfilm, dan sebagainya.

PRAKATA

Industrialisasi selain meningkatkan kesejahteraan, juga diharapkan tidak mengganggu kesehatan pekerja pada khususnya dan masyarakat pada umumnya. Bahan baku sintesis yang tergolong berbahaya dan beracun (B3) pertama kali selalu memasuki industri, sebelum dibuang ke lingkungan dan memajani masyarakat serta ekosistem secara umum. Bahan B3 sedemikian, bertambah tiap tahunnya dengan ribuan jenis. Uji toksikologi untuk mengetahui dampaknya terhadap kesehatannya sering kali hanya sebatas uji jangka pendek atau akut saja sehingga tidak diketahui efek yang sebenarnya dalam jangka panjang. Oleh karena itu, penting dipantau dan dikendalikan dampak kesehatan dan keselamatan pekerja dan lingkungan di industri, yang akan terpajan jangka panjang terhadap zat sedemikian. Untuk dapat melakukan hal ini, diperlukan pengetahuan tentang kesehatan dan keselamatan lingkungan kerja dengan sangat mendasar.

Selain itu, penyakit yang disebabkan bahan B3 di industri banyak tidak dapat disembuhkan atau *irreversible* sehingga proses pencegahannya menjadi lebih penting. Pencegahan seperti ini banyak sekali menghendaki pengetahuan kerekayasaan, dengan mengendalikan kontaminan pada sumbernya di lingkungan kerja secara khusus dan lingkungan secara umum.

Selain penyakit di dunia industri, juga banyak terjadi kecelakaan yang menimbulkan cacat bagi tenaga kerja sehingga menambah kerugian dan mengurangi produktivitas negara. Bagi Indonesia, saat ini angka kecelakaan dilaporkan masih tergolong kelompok pertama tertinggi di dunia (ILO).

Atas dasar itu semua, buku ini ditulis sebagai buku referensi utama untuk mereka yang bekerja di industri bidang kesehatan dan keselamatan lingkungan kerja dan membantu pembaca memperbaiki lingkungan kerja. Adapun bahan dihimpun dari berbagai sumber dan pengalaman laboratorium higiene industri dan toksikologi di ITB.

Tiada lain harapan para penulis adalah agar buku ini dapat memberi manfaat. Selain itu, kami juga ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya pada semua pihak yang membantu proses penulisan ini, terutama Laboratorium Higiene Industri dan Toksikologi-ITB beserta para asisten akademiknya.

Bandung, Januari 2015

Tim Penulis

DAFTAR KONTRIBUTOR

Prof. Em. Ir. Wiranto Arismunandar, M.Sc.

Prodi Teknik Mesin ITB

- Pengajar, peneliti, pembimbing peserta Magister Keselamatan dan Kesehatan Lingkungan Kerja, Prodi Teknik Lingkungan-ITB, khususnya Bidang Keselamatan Mesin di Industri.
- Konsultan industri nasional dan internasional.

Prof. Dr. dr. Retno W. Soebaryo, Sp.KK(K)

Prodi Ilmu Kesehatan Kulit dan Kelamin FKUI

- Ketua Kelompok Studi Dermatosis Akibat Kerja, merupakan bagian khusus Perhimpunan Dokter Spesialis Ilmu Kesehatan Kulit dan Kelamin (PERDOSKI), mempunyai komisariat/perwakilan daerah di seluruh universitas negeri di Indonesia.

Dr. Poppy Intan Tjahaja, M.Sc.

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)

- Peneliti dan pengajar Radioaktivitas Lingkungan, Keselamatan dan Kinetika Radiasi Pengan.
- Staf pengajar Program Magister Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan Kerja, Bidang Keselamatan Radioaktivitas, Teknik Lingkungan ITB.

Prof. Em. dr. Juli Soemirat, M.P.H., Ph.D.

Prodi Teknik Lingkungan ITB

- Pengajar, peneliti, dan pembimbing peserta Program S-2 dan S-3 bidang Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan Kerja, Toksikologi, Manajemen Mutu, dan Analisis Risiko Kesehatan.

Dr. Ir. Dwina Roosmini, M.S.

- Staf pengajar dan peneliti Prodi Teknik Lingkungan ITB.
- Ketua Prodi Pascasarjana Teknik Lingkungan.
- Staf pengajar Program Magister Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan Kerja, Bidang Keselamatan Kimiawi, Biomonitoring.

- Pengajar dan pembimbing peserta Program S-2 dan S-3 Bidang Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan Kerja.

Ir. Indah Rachmatiah Siti Salami, M.Sc., Ph.D.

- Staf pengajar dan peneliti Prodi Teknik Lingkungan ITB.
- Mantan Ketua Prodi Pascasarjana Teknik Lingkungan.
- Koordinator Magister Bidang Keselamatan dan Kesehatan Lingkungan.
- Pengajar, peneliti, dan pembimbing peserta Program S-2 dan S-3 Bidang Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan Kerja, Toksikologi Akutik, dan SMK3.

Dr. Ir. Katharina Oginawati, M.S.

- Staf pengajar dan peneliti Prodi Teknik Lingkungan ITB.
- Peneliti dan pengajar Analisis Risiko Kesehatan dan Keselamatan Kerja dan Toksikologi Lingkungan Kerja.
- Pengajar dan pembimbing peserta Program S-2 dan S-3 Bidang Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan Kerja.

Herto Dwi Ariesyady, S.T., M.T., Ph.D.

- Kaprodi Teknik Lingkungan ITB, pengajar dan peneliti Prodi Teknik Lingkungan ITB.
- Kepala Laboratorium Higiene Industri dan Toksikologi ITB.
- Wakil Kepala UPT Keamanan, Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lingkungan ITB.
- Pengajar dan pembimbing peserta Program S-2 dan S-3 Bidang Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan Kerja.

DAFTAR ISI

PRAKATA	v
DAFTAR KONTRIBUTOR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xxii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Sejarah Perkembangan K3	2
1.1.1 Perkembangan Produksi	6
1.1.2 Revolusi Industri	6
1.1.3 Perkembangan Peraturan K3	7
1.2 Perkembangan K3 Di Indonesia	8
1.3 Konsep Dasar K3/Higiene Industri	11
1.3.1 Identifikasi Faktor Bahaya dalam Lingkungan Kerja	11
1.3.2 Evaluasi	12
1.3.3 Pengelolaan Umum	14
1.3.3.1 Pengelolaan pada Sumber dan Jalur	14
1.3.3.2 Pengelolaan pada Penerima	17
1.3.4 Pengendalian Khusus	18
1.3.5 Pengendalian Secara Manajerial	18
1.3.6 Pengendalian Secara Medis	19
1.3.7 Pendidikan dan Pelatihan	19
1.4 Kecelakaan Industri di Indonesia	20
1.5 OHSAS Sebagai Sistem Mutu K3	23
1.6 Soal Latihan	23
1.7 Pustaka	25
BAB 2 PELARUT	27
2.1 Pendahuluan	27
2.2 Klasifikasi Pelarut	28
2.2.1 Pelarut Organik	28
2.2.1.1 Pelarut Hidrokarbon Alifatik	30
2.2.1.2 Pelarut Hidrokarbon Alisiklik	31
2.2.1.3 Pelarut Hidrokarbon Aromatik	31
2.2.1.4 Pelarut Organik Hidrokarbon Terhalogenasi	33
2.2.1.5 Pelarut Golongan Alkohol	34
2.2.1.6 Pelarut Golongan Ester	34
2.2.1.7 Pelarut Organik dari Golongan Keton	35
2.2.1.8 Pelarut Organik dari Golongan Eter	35
2.2.1.9 Pelarut Golongan Glikol	35
2.2.1.10 Pelarut Golongan Nitro-hidrokarbon	35

2.2.1.11	Pelarut Golongan Aldehida	36
2.3	Bahaya Potensial Pelarut	37
2.4	Bahaya Kebakaran dan Ledakan	40
2.5	Pencemaran Udara	40
2.6	Evaluasi	42
2.7	Pengendalian	43
2.7.1	Substitusi dengan Pelarut Aman	43
2.7.2	Isolasi dan Ventilasi	44
2.7.3	Respirator	44
2.7.4	Pencegahan kontak kulit	44
2.8	Pelarut Mudah Terbakar Serta Bahayanya	45
2.8.1	<i>Flash Point</i>	45
2.8.1.1	Batas Nilai Daya Bakar dan Daya Ledak	46
2.8.2	Pengendalian Pelarut Mudah Terbakar	47
2.8.2.1	Menuang Pelarut	48
2.8.2.2	<i>Grounding</i> dan <i>Bonding</i>	48
2.8.3	Pembuangan Limbah	49
2.8.4	Pengendalian Kebakaran dan Ledakan	49
2.8.5	Pelatihan dan Sertifikasi Kerja di Lingkungan Panas	49
2.8.6	Poster, Label, Dan Tag	51
2.9	Pustaka	52
BAB 3	PNEUMOCONIOSIS	53
3.1	Debu Industri	54
3.2	Efek Debu Terhadap Kesehatan	55
3.2.1	Komposisi Debu	56
3.2.2	Konsentrasi Debu	57
3.2.3	Ukuran dan Bentuk Partikel	57
3.2.4	Lama Paparan	58
3.3	Jenis Pneumoconiosis	58
3.3.1	Silicosis	58
3.3.2	Asbestosis	60
3.3.3	Antracosisilicosis	62
3.3.4	<i>Black Lung</i>	62
3.3.5	Pneumoconiosis Lainnya	63
3.4	Bahaya Lain dari Debu, Embun, dan Uap Logam	63
3.4.1	Efek Fisiologis	64
3.4.1.1	Keracunan Pb	64
3.4.1.2	Keracunan Berilium	64
3.4.1.3	Demam Logam	65
3.4.1.4	Alergi	65
3.4.2	Bakteri dan Jamur	66
3.4.3	Debu Radioaktif	66
3.4.4	Debu Pengganggu	66

3.5	Evaluasi	66
3.5.1	Pengukuran	67
3.5.1.1	Pengukuran Kontaminan Udara	67
3.5.1.2	Spirometri	68
3.6	Pengendalian	74
3.6.1	Substitusi	74
3.6.2	Isolasi	74
3.6.3	<i>Local Exhaust Ventilation (LEV)</i> /Ventilasi Setempat	75
3.6.4	Ventilasi Umum	75
3.6.5	Metode Basah	76
3.6.6	Alat Pengaman Diri (APD)	76
3.7	Pustaka	77
BAB 4	PENYAKIT KULIT AKIBAT KERJA (PKAK)	79
4.1	Pendahuluan	79
4.2	Definisi	80
4.3	Penyebab	80
4.3.1	Golongan Zat Kimia	80
4.3.1.1	Beberapa Contoh Iritan Primer	81
4.3.1.2	Beberapa Contoh Penyumbat Pori-Pori	81
4.3.1.3	Contoh Beberapa <i>Sensitizer</i>	81
4.3.2	Golongan Zat Mekanis	82
4.3.3	Golongan Zat Fisis	82
4.3.4	Golongan Racun Tanaman	82
4.3.5	Golongan Zat Biologis	82
4.4	Langkah Menuju Diagnosis	83
4.4.1	Wawancara atau Anamnesis	83
4.4.2	Pemeriksaan Fisik	84
4.4.3	Pemeriksaan Penunjang	84
4.4.4	Kunjungan Tempat Kerja (<i>Plant Visit</i>)	84
4.4.5	Penatalaksanaan	84
4.5	PKAK	85
4.5.1	PKAK Noninfeksi	85
4.5.2	PKAK Infeksi	90
4.5.2.1	Dermatofita	90
4.5.2.2	Kandidosis Kutis	91
4.5.3	PKAK Berupa Luka Bakar	91
4.6	Pengendalian	92
4.7	Soal Latihan	93
4.8	Pustaka	93
	Lampiran	94
BAB 5	KEBISINGAN	97
5.1	Pendahuluan	97
5.2	Identifikasi	98

5.2.1	Unsur-Unsur Kebisingan	98
5.2.1.1	Intensitas/Tekanan (<i>Sound Intensity/ Pressure</i>) ...	98
5.2.1.2	Frekuensi dan Panjang Gelombang	101
5.2.1.3	Lama Paparan	103
5.2.2	Dampak Kebisingan	104
5.2.2.1	Dampak terhadap Pendengaran	105
5.2.2.2	Dampak Psikologis	106
5.2.3	Mekanisme Pendengaran	106
5.2.3.1	Ketulian	107
5.3	Evaluasi	109
5.3.1	Pengukuran Kebisingan	109
5.3.2	Pengukuran Ketajaman Pendengaran	111
5.3.3	Peraturan Mengenai Kebisingan di Tempat Kerja	114
5.4	Pengendalian/Pengelolaan	116
5.4.1	Pengendalian secara Teknis	117
5.4.2	Cara Medis	118
5.4.3	Pengendalian dengan Manajemen	119
5.4.4	Pengendalian dengan Pendidikan dan Pelatihan	119
5.5	Pencatatan Hasil (<i>Record Keeping</i>)	120
5.6	Pustaka	120
BAB 6	KONSEP DASAR K3 RADIASI PENGION	122
6.1	Pendahuluan	122
6.1.1	Struktur Atom	122
6.1.2	Nomor Massa	123
6.1.3	Nomor Atom	123
6.1.4	Isotop	124
6.2	Pengertian Istilah	124
6.2.1	Radiasi Pengion	124
6.2.1.1	Radiasi Alpha (α)	125
6.2.1.2	Radiasi Beta (β)	126
6.2.1.3	Radiasi Neutron	127
6.2.1.4	Radiasi Gamma (γ)	127
6.2.1.5	Radiasi Sinar-X	128
6.2.2	Peluruhan Radioaktif	128
6.2.3	Satuan Ukuran Radiasi	130
6.2.3.1	Aktivitas atau Radioaktivitas	130
6.2.3.2	Paparan atau Eksposur	131
6.2.3.3	Dosis Absorpsi atau Dosis Serap	131
6.2.3.4	Dosis Ekuivalen	131
6.3	Waktu Paruh	133
6.4	Efek Radiasi	134
6.4.1	Efek Nonstokastik	134
6.4.2	Efek Stokastik	136

6.5	Bahaya Radiasi	138
6.5.1	Radiasi Eksternal	138
6.5.2	Radiasi Internal	139
6.6	Evaluasi	140
6.6.1	Pengukuran Radiasi Lingkungan	140
6.6.1.1	Ionisasi dalam Gas	141
6.6.1.2	Ionisasi dan Eksitasi pada Bahan Padat	141
6.6.1.3	Pengukuran Paparan Radiasi Personil	142
6.6.2	Perbandingan dengan Standar	143
6.7	Dasar Pengamanan	146
6.7.1	Pengendalian Bahaya Radiasi Eksterna	146
6.7.1.1	Waktu	146
6.7.1.2	Jarak	147
6.7.1.3	Perisai	148
6.7.2	Pengendalian Bahaya Kontaminasi (Radiasi Internal)	151
6.7.2.1	<i>Derived Air Concentration (DAC)</i>	151
6.7.2.2	Nilai Batas Lepasn Untuk Kontaminasi Permukaan	152
6.8	Prinsip Pengelolaan Limbah Radioaktif	152
6.8.1	Pengumpulan dan Pengelompokan	153
6.8.2	Pengolahan	153
6.8.3	Penyimpanan Sementara	153
6.8.3.1	Limbah Radioaktif Tingkat Rendah dan Sedang	153
6.8.3.2	Limbah Radioaktif Tingkat Tinggi	154
6.8.4	Penyimpanan Lestari	154
6.9	Pustaka	154
BAB 7	RADIASI ELEKTROMAGNETIK	156
7.1	Umum	156
7.2	Klasifikasi	158
7.3	Sumber EMR	159
7.4	Pengukuran	160
7.5	Spektrum EMR	160
7.6	Deskripsi Kuantitatif	160
7.6.1	Pencahayaan	164
7.6.2	Nilai Ambang Batas Iluminasi	164
7.6.3	Faktor-Faktor Penentu Iluminasi yang Baik	165
7.7	Evaluasi	166
7.8	Pengendalian	166
7.9	Soal Latihan	178
7.10	Pustaka	178
BAB 8	TEMPERATUR DAN TEKANAN EKSTREM	180
8.1	Pendahuluan	180
8.1.1	Temperatur Ekstrem	180

8.1.2	Tekanan Ekstrem	181
8.2	Identifikasi	182
8.2.1	Pengertian tentang Temperatur Ekstrem	182
8.2.2	Mekanisme Panas Tubuh	183
8.2.3	Efek Panas Ekstrem pada Manusia	183
8.2.4	Efek Dingin Ekstrem pada Manusia	186
8.2.5	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Efek Temperatur Ekstrem	187
8.2.6	Pengertian tentang Decompression Sickness (DCS)	188
8.2.6.1	<i>Decompression Sickness</i> Akibat Penyelaman	188
8.2.6.2	<i>Decompression Sickness</i> Akibat Ketinggian	188
8.2.6.3	Faktor-Faktor Penentu DCS	189
8.3	Evaluasi	190
8.3.1	Pengukuran Tekanan Panas	190
8.3.2	Indikator Tekanan Panas	191
8.3.3	Evaluasi Tekanan Ekstrem	196
8.4	Pencegahan dan Pengendalian	198
8.4.1	Pencegahan Temperatur Ekstrem	198
8.4.2	Pengendalian Tekanan Ekstrem	200
8.4.3	Pencegahan Tekanan Ekstrem	202
8.4.4	Pengobatan	202
8.5	Pustaka	203
BAB 9	ERGONOMI	204
9.1	Pendahuluan	204
9.2	Identifikasi	208
9.2.1	Kerja Statik dan Dinamis	209
9.2.2	Kelelahan Kerja	210
9.2.3	<i>The Ergonomics Awareness Checklist</i>	211
9.3	Evaluasi	213
9.3.1	Evaluasi Aktivitas Tangan dan Lengan Bawah	214
9.3.2	Kelainan Muskulo-Skeletal Akibat Kerja	216
9.3.3	Evaluasi Vibrasi	218
9.4	Yang Baik Bagi Orang dan yang Baik Bagi Mesin	221
9.5	Pengendalian dan Pencegahan	221
9.5.1	Aspek Postur Tubuh	222
9.5.2	Perbaikan Tempat Kerja	222
9.5.3	Pengendalian Rekayasa	223
9.5.3.1	Alternatif Perbaikan Perkakas	224
9.5.3.2	<i>Display</i>	225
9.5.3.3	Desain Kontrol	225
9.5.4	Perbaikan Kinesiologi/Gerak	226
9.5.5	Pelatihan	229
9.5.6	Perbaikan Administratif	232

9.6	Monitoring dan Evaluasi	232
9.7	Pustaka	232
BAB 10	KECELAKAAN KERJA	234
10.1	Pendahuluan	234
10.2	Perkembangan Sejarah Kecelakaan Kerja Dan Keselamatan	235
10.3	Penyebab Kecelakaan Kerja	237
10.3.1	Teori Domino	237
10.3.1.1	<i>Multiple Causation Theory</i>	238
10.3.1.2	<i>The Pure Chance Theory</i>	238
10.3.1.3	<i>Biased Liability Theory</i>	239
10.3.1.4	<i>Accident Proneness Theory</i>	239
10.3.1.5	<i>The Energy Transfer Theory</i>	239
10.3.1.6	<i>The "Symptoms Versus Causes" Theory</i>	239
10.3.1.7	<i>Structure Of Accidents</i>	239
10.3.2	Penyebab Kecelakaan	240
10.4	Kerugian pada Kecelakaan Kerja	241
10.4.1	Cedera dan Kematian	242
10.4.2	Kehilangan Hari dan Jam Kerja	243
10.4.3	Kerugian/Kerusakan Properti Atau Peralatan	245
10.4.4	Biaya Kecelakaan	245
10.4.5	Perkiraan Biaya Kecelakaan	248
10.5	Evaluasi pada Kecelakaan Kerja	250
10.5.1	Indikator Kinerja Keselamatan	250
10.5.2	Investigasi Kecelakaan	252
10.5.3	Pelaporan Kecelakaan	254
10.6	Pengendalian dan Pencegahan Kecelakaan Kerja	255
10.6.1	Pengendalian Kecelakaan	255
10.6.2	Penentuan Risiko	256
10.6.3	Penerapan SMK3	258
10.7	Peningkatan Kesadaran akan Keselamatan	259
10.7.1	Bagi Perusahaan	259
10.7.2	Bagi pekerja	260
10.8	Pustaka	261
BAB 11	KESELAMATAN MEKANIS DAN PENCEGAHAN KECELAKAAN DI INDUSTRI	263
11.1	Pendahuluan	263
11.2	Identifikasi Faktor Penyebab Kecelakaan	267
11.2.1	Faktor Bahaya dan Kecelakaan di Industri	267
11.2.2	Identifikasi Faktor Bahaya dan Penyebab Kecelakaan	267
11.3	Keselamatan Mekanis di Industri	270
11.3.1	Keselamatan Personel	271
11.3.2	Kondisi Mesin dan Peralatan	272
11.3.3	Lingkungan Kerja	272
11.3.4	Kebakaran dan Penanggulangannya	273

11.4	Pengendalian Bahaya dan Kecelakaan	275
11.5	Keselamatan Industri Proses dan Manufaktur	276
11.6	Keselamatan Ruang Terbatas (<i>Confined Spaces</i>)	278
11.7	Keselamatan Pekerjaan Konstruksi	279
11.8	Keselamatan Alat-Alat Angkat, Elevator, dan Konveyor	280
11.9	Pustaka	281
BAB 12	VENTILASI INDUSTRI	282
12.1	Umum	282
12.2	Ventilasi Umum/ <i>General Ventilation</i> , Ventilasi Pengenceran / <i>Dilution Ventilation</i>	283
12.2.1	Contoh Perhitungan Q untuk Mengencerkan Kontaminan	285
12.2.2	Menghitung Q untuk Mencegah Kebakaran dan Ledakan	288
12.3	Ventilasi Setempat/ <i>Local Exhaust Ventilation</i>	290
12.3.1	<i>Hood</i> atau Kap	292
12.3.1.1	Macam-Macam <i>Hood</i>	292
12.3.1.2	Efektivitas <i>Hood</i>	294
12.3.1.3	Penempatan <i>Hood</i>	296
12.3.2	Perpipaan	296
12.3.3	Pembersih Udara	296
12.3.4	Fan	298
12.4	Evaluasi	300
12.5	Pengendalian/Pemeliharaan dan Operasi Ventilasi	302
12.6	Soal Latihan	302
12.7	Pustaka	302
BAB 13	RESPIRATOR	304
13.1	Bahaya Udara di Lingkungan Kerja	305
13.2	Klasifikasi Respirator	307
13.2.1	Respirator Pembersih Udara	309
13.2.1.1	Respirator Mekanik Penyisih Partikel	310
13.2.1.2	Respirator Penyisih Gas dan Uap	310
13.2.1.3	Respirator Penyisih Partikel Uap dan Gas	311
13.2.1.4	Pemilihan dan Jenis Cartridge dan Canister ...	311
13.2.2	Respirator dengan Suplai Udara	315
13.2.2.1	<i>Airline Respirator</i>	315
13.2.2.2	<i>Self Contained Breathing Apparatus</i>	318
13.2.2.3	Kombinasi <i>Airline Supply</i> dan <i>Self Contained Breathing Apparatus</i>	320
13.3	Pemilihan Jenis Respirator	320
13.4	Pustaka	324
BAB 14	TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN KERJA	325
14.1	Pendahuluan	325
14.2	Toksisitas Bahan Kimia	326

14.2.1	Portal Entri Bahan Kimia	327
14.2.2	Klasifikasi Efek	329
14.2.3	Jenis Efek Berbahaya	329
14.3	Identifikasi	333
14.4	Evaluasi	333
14.4.1	Gejala/Efek Akibat B3	335
14.4.2	Penelitian Toksikologi	337
14.4.3	Penentuan Dosis Aman bagi Manusia	338
14.5	Pengendalian	340
14.5.1	Standar Kualitas Udara Higienis	340
14.5.2	<i>Threshold Limit Values</i>	341
14.5.3	Konsentrasi yang Dapat Diterima/ <i>Acceptable Concentration (AC)</i>	342
14.5.4	Standar Kualitas Lainnya	343
14.6	Pustaka	343
BAB 15	SISTEM PENGELOLAAN KEDARURATAN	345
15.1	Pendahuluan	345
15.2	Identifikasi	347
15.2.1	Pengenalan Bahan dan Proses Berbahaya	347
15.3	Evaluasi	349
15.3.1	Analisis Risiko	350
15.4	Pengendalian/Pengelolaan	352
15.4.1	Pengelolaan Limbah B3	353
15.4.2	Pelatihan HAZWOPER	353
15.5	Efek Kesehatan	354
15.6	Transportasi dan Label	354
15.7	Dasar-Dasar Perencanaan Sistem Pengelolaan Kedaruratan (RPK)	358
15.7.1	Pedoman Lapangan	360
15.7.2	Pemeliharaan RPK	360
15.7.2.1	Mekanisme Pemeliharaan RPK Agar Tetap <i>Up to Date</i>	361
15.8	Pengendalian Kedaruratan	362
15.8.1	Kontrol/Pengendalian Kerekayasaan	362
15.8.2	Kontrol Administrative	362
15.8.3	Pengendalian Keamanan Setempat	362
15.8.4	Komunikasi	363
15.9	Soal Latihan	363
15.10	Pustaka	364
	Lampiran	365

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Ciri-Ciri Model Piramida Penduduk	10
Tabel 1.2	Penentuan Kategori Penduduk	10
Tabel 1.3	Tindak Pengamanan yang Dapat Diambil pada Setiap Lokasi	15
Tabel 1.4	Jumlah Kecelakaan Kerja di Indonesia, 2003–2007	21
Tabel 1.5	Contoh Form MSDS	24
Tabel 2.1	Jenis-Jenis Pelarut dan Kegunaannya	29
Tabel 2.2	Sifat Fisika Berbagai Jenis Pelarut	36
Tabel 2.3	Senyawa Organik Berdasarkan Nilai <i>Vapor Hazard</i>	37
Tabel 2.4	Konsentrasi Aman Pelarut dalam Tubuh Pekerja	41
Tabel 2.5	Penetrasi Jenis Pelarut Melalui Sarung Tangan Pelindung	45
Tabel 2.6	Nilai Daya Bakar	47
Tabel 3.1	Karakteristik Debu Respirabel	55
Tabel 3.2	Laju Endap Partikel Debu Silika	57
Tabel 3.3	Beberapa Jenis Pneumoconiosis, Penyebabnya, dan Reaksi Paru-paru	58
Tabel 3.4	Kandungan Silika Bebas dalam Berbagai Material	59
Tabel 3.5	Nilai Ambang Batas Beberapa Jenis Debu Mineral di Industri	61
Tabel 3.6	Ukuran Debu dan Kecepatan Endapnya di Udara	63
Tabel 3.7	NAB, TLV berbagai Penyebab Pneumoconiosis	67
Tabel 3.8	Konsentrasi Debu Terespirasi	68
Tabel 3.9	NAB bagi Debu yang Respirabel	68
Tabel 3.10	Hasil Spirometri pada Pekerja Batu Bara dan Nonbatu Bara	73
Tabel 4.1	Risiko Pekerjaan Terkait dengan Iritasi	87
Tabel 4.2	Material Sarung Tangan bagi Berbagai Zat Kimia	93
Tabel 5.1	Hubungan Antara SP, SPL, dan Rasio Energi Suara/Energi Referensi	102
Tabel 5.2	Jenis-Jenis Dampak Kebisingan	105
Tabel 5.3	Gradasi Gangguan Pendengaran Berdasarkan Kesulitan Berkomunikasi	106
Tabel 5.4	Faktor Koreksi Usia bagi Pekerja Pria	112
Tabel 5.5	Kategori Ketulian	114
Tabel 5.6	NAB Kebisingan Berdasarkan Kepmenaker No 51 Tahun 1999	115
Tabel 5.7	NAB Kebisingan di Amerika Serikat Berdasarkan ACGIH	115
Tabel 5.8	Contoh Cara Teknis Pengendalian Kebisingan	117
Tabel 6.1	Panjang Gelombang (λ) Beberapa Jenis Gelombang Elektromagnetik	127
Tabel 6.2	Faktor Bobot (w_r) Untuk Berbagai Jenis Radiasi	132
Tabel 6.3	Faktor Bobot Jaringan (w_t) untuk Beberapa Jaringan Tubuh	133

Tabel 6.4	Dosis Serap dan Efek Radiasi yang Ditimbulkan	136
Tabel 6.5	Risiko Kanker Mematikan	137
Tabel 6.6	Toksistas Isotop Radioaktif	140
Tabel 6.7	Persyaratan Laboratorium untuk Penggunaan Radioisotop Berdasarkan Radiotoksistasnya	140
Tabel 6.8	Baku Tingkat Radioaktivitas di Lingkungan dan Batas Masukan Tahunan Menurut SK Kepala Bapeten No 2 1999	144
Tabel 6.9	Nilai Batas Dosis Radiasi Tahunan	145
Tabel 6.10	Nilai $t_{1/2}$ dan $t_{1/10}$ untuk Timbal dan Air	150
Tabel 6.11	NBL untuk Kontaminasi Permukaan	152
Tabel 7.1	Contoh Barang yang Memancarkan Gelombang EMR	158
Tabel 7.2	Unit Fisis EMR	162
Tabel 7.3	Batas Pencahayaan Minimal	165
Tabel 7.4	Daya Tembus EMR Lewat Kulit	166
Tabel 7.5	Sinar Ultraviolet, Sumber, Penggunaan, Efek Kesehatan, Evaluasi, serta Pengendaliannya	168
Tabel 7.6	Sinar Inframerah, Sumber, Penggunaan, Efek Kesehatan, Evaluasi, serta Pengendaliannya	169
Tabel 7.7	Sinar <i>Microwave</i> , Sumber, Penggunaan, Efek Kesehatan, Evaluasi, serta Pengendaliannya	170
Tabel 7.8	Cahaya, Sumber, Penggunaan, Efek Kesehatan, Evaluasi, serta Pengendaliannya	171
Tabel 7.9	RADAR, Sumber, Penggunaan, Efek Kesehatan, Evaluasi, serta Pengendaliannya	172
Tabel 7.10	Gelombang Radio, Sumber, Penggunaan, Efek Kesehatan, Evaluasi, serta Pengendaliannya	173
Tabel 7.11	LASER, Sumber, Penggunaan, Efek Kesehatan, Evaluasi, serta Pengendaliannya	174
Tabel 7.12	Media Tipikal dalam Pembuatan Sinar Laser	175
Tabel 7.13	TLV Sinar Laser	176
Tabel 7.14	TLV ACGIH Untuk Sinar Laser	176
Tabel 7.15	TLV Medan Magnet Statis	176
Tabel 7.16	TLV Subradiofrekuensi (<30Hz) Medan Magnet	177
Tabel 7.17	TLV Medan Listrik Statik dan Sub-radiofrekuensi (<30Hz)	177
Tabel 7.18	TLV Radio-frekuensi dan <i>Microwave</i> , Medan Listrik	177
Tabel 7.19	TLV Radio-frekuensi dan <i>Microwave, Induced and Contact Radiofrequency Currents Maximum Currents (mA)</i>	178
Tabel 8.1	Pengaruh Suhu Lingkungan terhadap Manusia	184
Tabel 8.2	NAB Tekanan Panas Lingkungan Kerja	192
Tabel 8.3	Evaluasi Nilai Belding dan Hatch	194
Tabel 8.4	Indeks Menggigil/ <i>Shiver Index</i>	196
Tabel 8.5	Tanda-Tanda dan Gejala <i>Decompression Sickness</i>	197
Tabel 8.6	Batas Waktu Paparan pada Kondisi Dingin	200
Tabel 9.1	Contoh Perbedaan Pekerjaan dengan Tugas	207
Tabel 9.2	Format Mencari Prioritas	211

Tabel	9.3	Prinsip Perhitungan Skor	212
Tabel	9.4	Contoh Perhitungan Skor Total	212
Tabel	9.5	<i>Checklist</i> Berisi Skor Setiap Tugas	212
Tabel	9.6	Aktivitas Tangan	215
Tabel	9.7	<i>Rating</i> Tingkat Aktivitas Tangan	215
Tabel	9.8	<i>Estimation of Normalized Peak Force for Hand Forces</i>	215
Tabel	9.9	Limit Total Paparan Per Hari	219
Tabel	9.10	Manusia Versus Mesin	221
Tabel	9.11	Jarak Ketinggian dari atas Lantai	222
Tabel	9.12	Pedoman Jarak Bahan/Alat Kerja Maksimum dari Pekerja	223
Tabel	9.13	Tipe Kesalahan Pekerja dalam Pengoperasian Mesin	226
Tabel	9.14	Variabel Kerja, Pekerja, dan Lingkungan dalam Angkat Junjung	227
Tabel	9.15	Maksimum Berat (LBS) yang Dapat Diterima untuk Diangkat oleh Laki-laki	227
Tabel	9.16	Limit Berat yang Layak (LBS) untuk Pekerjaan Angkat Junjung ...	227
Tabel	9.17	TLV untuk Mengangkat ≤ 2 Jam Per Hari dengan ≤ 60 Angkutan Per Jam	228
Tabel	9.18	TLV untuk Mengangkat > 2 Jam Per Hari dengan > 12 dan ≤ 30 Angkutan Per Jam	229
Tabel	9.19	TLV untuk Mengangkat > 2 Jam Per Hari dengan > 30 dan ≤ 360 Angkutan Per Jam	229
Tabel	10.1	Jumlah Kasus Kecelakaan Kerja di Indonesia	235
Tabel	10.2	Jumlah Kasus Kecelakaan dan Kompensasi yang Dibayarkan (1995–1999)	235
Tabel	10.3	Contoh <i>Unsafe Acts</i> dan <i>Unsafe Conditions</i>	240
Tabel	10.4	Klasifikasi Bagian Tubuh dan Jenis Jejas Cedera	243
Tabel	10.5	Contoh Kerugian Rata-rata Tahunan untuk Beberapa Kegiatan Perusahaan	247
Tabel	10.6	Peran dan Tanggung Jawab dalam Investigasi Kecelakaan	254
Tabel	10.7	Skor Risiko dan Tindak Lanjut yang Diperlukan	258
Tabel	11.1	Tiga Jenis Kecelakaan yang Lazim Terjadi pada Industri Kimia ...	265
Tabel	11.2	Efek Arus Listrik dalam Tubuh Manusia	270
Tabel	11.3	Persentase Sumber Penyala Penyebab Kebakaran	272
Tabel	11.4	Penanggulangan dan Pengendalian Proses Kecelakaan	276
Tabel	12.1	Tabel Konversi Perhitungan <i>Generation Rate</i>	286
Tabel	12.2	Sifat Kontaminan dan Kecepatan Udara dalam Perpipaian	291
Tabel	12.3	<i>Minimum Control Velocity</i> bagi Berbagai Kondisi Generasi Kontaminan	295
Tabel	12.4	Perbedaan Penting Antara GV dan LEV	299
Tabel	12.5	Jenis Uji dan Alasan Uji Sistem Ventilasi	300
Tabel	13.1	Warna <i>Canister/Cartridge</i> Berdasarkan Jenis Kontaminan di Udara	314
Tabel	13.2	Uji Kecocokan Respirator	324
Tabel	14.1	Klasifikasi Toksisitas Bahan Kimia	327
Tabel	14.2	Nilai Ambang Batas Biologis dan Bagi Ekskreta	328

Tabel	14.3	Hubungan Gender dengan Laju Respirasi dan <i>Tidal Volume</i>	329
Tabel	14.4	Jenis Industri, Zat Toksik, dan Organ Target	330
Tabel	14.5	Contoh Perhitungan Aditif	334
Tabel	14.6	Klasifikasi Kriteria TLVs ACGIH, bagi Manusia dan Hewan	342
Tabel	15.1	Contoh Beberapa Musibah dan Kedaruratan	345
Tabel	15.2	Nilai Ambang Kuantitas Bahan Kimia	347
Tabel	15.3	Ketentuan Kriteria Klasifikasi B3	348
Tabel	15.4	Klasifikasi Potensi Bahaya Kebakaran	350
Tabel	15.5	Contoh Metode Penentuan Risiko Kualitatif dan Kuantitatif	351
Tabel	15.6	Contoh Tabel Matriks Robinson	352

DAFTAR GAMBAR

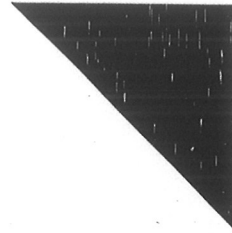
Gambar	1.1	Hygiea	2
Gambar	1.2	Bernardino Ramazzini	4
Gambar	1.3	James Watt	6
Gambar	1.4	Bentuk dan Model Piramida Penduduk	9
Gambar	1.5	Tiga Alternatif Lokasi Pengamanan: Sumber, Jalur, dan Penerima	15
Gambar	1.6	Skema Kegiatan K3	22
Gambar	2.1	Rumus Bangun Pelarut Organik	30
Gambar	2.2	Struktur Kimia Benzena	32
Gambar	2.3	Struktur Kimia Toluena	32
Gambar	2.4	Struktur Kimia Xilena	33
Gambar	2.5	Hubungan LEL dan UEL dengan NAB, Titik Didih, dan Kurva Tekanan Uap	46
Gambar	2.6	Contoh Sebuah Wadah Pelarut yang Aman/ <i>Safety Container</i>	48
Gambar	2.7	Menuang Pelarut, <i>Bonding</i> dan <i>Grounding</i> Untuk Mencegah Kebakaran/ Ledakan	50
Gambar	2.8	Contoh <i>Tag</i> dan Label	51
Gambar	3.1	Fraksi Ukuran Debu Terdeposisi pada Bagian Paru-paru	56
Gambar	3.2	Asbestos Menutupi Dinding Alveoli	61
Gambar	3.3	Asbes Menusuk pada Sel Mesothelium/Selaput Paru-Paru, dan Mesote-lioma, Kanker Selaput Paru-Paru	62
Gambar	3.4	Proses Inspirasi dan Ekspirasi pada Pernafasan	69
Gambar	3.5	Perubahan Tekanan Pada Alveoli pada Proses Inspirasi dan Ekspirasi	69
Gambar	3.6	Kapasitas dan Volume Paru-paru	71
Gambar	3.7	Suatu <i>Glovebox</i>	75
Gambar	3.8	Ventilasi Setempat/LEV; Kontaminan Langsung Diisap Keluar	75
Gambar	3.9	Alat pengaman Diri Total, Mengatasi Zat Karsinogenik, dan Metode Basah	76
Gambar	3.10	Alat Pengaman Diri Demolisi Asbestos dan Pengerjaan Laboratorium	77
Gambar	4.1	Foto-foto DKI Akibat Mencuci	85
Gambar	4.2	Patogenesis Dermatitis Kontak Iritan	86
Gambar	4.3	Kaitan Waktu Paparan dengan Terjadinya Dermatitis Kontak Iritan	86
Gambar	4.4	Foto Penderita DKA karena Sarung Tangan Karet dan Semen	86
Gambar	4.5	Tampak Depan Laki-laki	88
Gambar	4.6	Tampak Belakang Laki-laki	88
Gambar	4.7	Tampak Depan Perempuan	89
Gambar	4.8	Tampak Belakang Perempuan	89
Gambar	4.9	Foto Penderita Dermatitis	90

Gambar	4.10	Pancuran Air Pembasuh Tubuh dan Mata	92
Gambar	5.1	Keluhan-Keluhan tentang Pencemaran di Jepang menurut Jenisnya	98
Gambar	5.2	Respons Relatif pada Pembebanan A, B, dan C	100
Gambar	5.3	Respons Relatif pada Skala A dan D	100
Gambar	5.4	Gelombang Sinusoidal	102
Gambar	5.5	Garis Bentuk Kenyaringan	103
Gambar	5.6	Struktur Organ Pendengaran Manusia	107
Gambar	5.7	<i>Sound Level Meter</i>	110
Gambar	5.8	<i>Noise Dosimeter</i>	110
Gambar	5.9	Pengukuran Paparan Kebisingan Menggunakan <i>Noise Dosimeter</i> ..	111
Gambar	5.10	Hubungan antara Ketajaman Pendengaran dan Faktor Usia	111
Gambar	5.11	Contoh Audiogram Pasien	112
Gambar	5.12	Mekanisme Paparan Kebisingan dari Sumber ke Penerima	116
Gambar	5.13	<i>Ear Muffs</i>	118
Gambar	5.14	<i>Ear Plugs</i>	118
Gambar	6.1	Struktur Atom Unsur Zn	123
Gambar	6.2	Kemampuan Penetrasi Partikel α , β , dan γ dalam Materi	126
Gambar	6.3	Grafik Fungsi Perubahan Aktivitas terhadap Waktu	130
Gambar	6.4	Kurva Eliminasi Bahan Radioaktif dari dalam Tubuh	134
Gambar	6.5	Hubungan antara Dosis Radiasi dan Efek Biologi pada Efek Nonstokastik	135
Gambar	6.6	Hubungan antara Dosis Radiasi dan Risiko Efek Radiasi pada Efek Stokastik	137
Gambar	6.7	Contoh Alat Ukur Radiasi dengan Detektor <i>Ionization Chamber</i> dan Detektor GM	141
Gambar	6.8	Contoh Detektor Sintilasi	142
Gambar	6.9	<i>TLD badge</i>	143
Gambar	6.10	Perisai untuk Berbagai Jenis Radiasi	149
Gambar	6.11	Perubahan Laju Dosis Radiasi Gamma dengan Ketebalan Perisai ..	150
Gambar	7.1	Gelombang Elektromagnetik	156
Gambar	7.2	Spektrum Sinar dari Cahaya	159
Gambar	7.3	Spektrum Gelombang Elektromagnetik	161
Gambar	7.4	Intensitas Relatif Spektrum EMR saat Pengelasan dan Cahaya Matahari	162
Gambar	7.5	Kurva Sensitasi Relatif Kesilauan bagi Rerata Mata Manusia	163
Gambar	7.6	Skema Mata Manusia, Lensa, Memberi Bayangan pada Retina	163
Gambar	7.7	Standar Kurva Eritema	167
Gambar	7.8	Oven <i>Microwave</i>	171
Gambar	7.9	Pembuatan Sinar Laser yang Pertama dari Kristal Rubi	176
Gambar	8.1	Pengaruh Tekanan Panas terhadap Fungsi Tubuh	184
Gambar	8.2	<i>Globe Thermometer</i>	191
Gambar	8.3	<i>Sling Psychrometer</i>	191
Gambar	8.4	Indeks Temperatur Efektif	193
Gambar	8.5	Penentuan Indeks Belding Hatch	195

Gambar	8.6	Mekanisme Kerja <i>Vortex Tube</i>	198
Gambar	8.7	Pekerja yang Menggunakan <i>Vortex Tube</i>	199
Gambar	9.1	Skema Interaksi Ilmu Multidisiplin	206
Gambar	9.2	Konsep Dasar dalam Ergonomi	207
Gambar	9.3	Grafik TLV Aktivitas Tangan	216
Gambar	9.4	Skema Faktor-Faktor Penentu Terjadinya Kelainan Muskulo-Skeletal Akibat Kerja	218
Gambar	9.5	Aksis X,Y, dan Z Dalam Pengukuran Vibrasi	220
Gambar	9.6	Vibrasi Tangan, Lengan, dan Seluruh Tubuh/ <i>WBV</i>	220
Gambar	9.7	Memperlihatkan Peralatan Tangan yang Lengkung Sesuai Lengkung Tangan sehingga Tangan Tidak Membengkok saat Kerja	224
Gambar	9.8	Sikap Tubuh pada Langkah Satu, Dua, dan Tiga dalam Angkat Junjung	230
Gambar	9.9	Sikap Tubuh Langkah Empat, Lima, dan Enam saat Angkat Junjung	231
Gambar	10.1	Teori Domino Heinrich	237
Gambar	10.2	<i>Bird Accident Ratio Study</i>	244
Gambar	10.3	<i>Bird's Iceberg Accident Cost</i>	247
Gambar	10.4	Elemen Pelaporan Kecelakaan dan Sistem Investigasi	255
Gambar	11.1	Statistik Kecelakaan menurut NIOSH	264
Gambar	11.2	Statistik Kecelakaan Per 100000 Pekerja Menurut NIOSH	264
Gambar	11.3	Jenis Kerugian Akibat Kecelakaan di Pabrik Hidrokarbon	265
Gambar	11.4	Jenis Kecelakaan di Industri Minyak dan Gas Bumi	265
Gambar	11.5	Penyebab Cedera Kecelakaan di Industri Minyak dan Gas Bumi	266
Gambar	11.6	Anggota Tubuh yang Cedera pada Kecelakaan di Industri Minyak dan Gas Bumi	266
Gambar	11.7	Hubungan antara Berbagai Faktor Penyebab Kebakaran	274
Gambar	12.1	Lokasi <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> Udara yang Baik	284
Gambar	12.2	Aliran Udara Menjauh dari Zona Pernapasan Pekerja	290
Gambar	12.3	LEV dengan Kap Jamak/ <i>Multiple Hood</i>	291
Gambar	12.4	Macam-Macam <i>Hoods</i>	292
Gambar	12.5	<i>Hoods</i> : 1= <i>capturing hood</i> ; 2= <i>receiving Hood</i> ; 3= <i>complete/ partial enclosure hood</i> , dan 4= <i>glovebox</i>	294
Gambar	12.6	Efektivitas Hood pada <i>Flanged</i> dan <i>Nonflanged Hoods</i>	294
Gambar	12.7a	Lokasi <i>Hood</i> yang Benar dan Tidak Benar	297
Gambar	12.7b	Lokasi <i>Hood</i> yang Benar dan Tidak Benar	298
Gambar	12.8	Jenis-Jenis Fan	299
Gambar	12.9	<i>Hot Wire</i> , dan Anemometer Berputar untuk Pengukuran pada Bukaan yang Besar	300
Gambar	12.10	<i>Smoke Tube Untuk Tracer Test</i>	301
Gambar	12.11	Tachometer untuk Mengukur Kecepatan Putaran/rpm	301
Gambar	12.12	Ammeter Voltmeter, untuk Mengukur Daya <i>Fan/Horsepower</i>	301
Gambar	13.1	Respirator <i>Tight-Fitting</i>	308
Gambar	13.2	Respirator <i>Loose-Fitting Facepiece</i>	309

Gambar	13.3	<i>Cartridge</i>	312
Gambar	13.4	Jenis <i>Chin Canister</i>	312
Gambar	13.5	Jenis <i>Front/Back Canister</i>	313
Gambar	13.6	Penggunaan <i>Canister</i> Jenis <i>Front</i>	313
Gambar	13.7	Respirator Pembersih Udara <i>Half Mask</i> (Kiri) dan <i>Full Facepiece</i> (Kanan)	314
Gambar	13.8	<i>Powered Air-Purifying Respirator</i> Jenis <i>Tight Fitting Full Facepiece</i> (Kiri) dan <i>Tight Fitting Half Facepiece</i> (Kanan)	315
Gambar	13.9	Regulator Aliran Udara Respirator sesuai Kebutuhan	317
Gambar	13.10	<i>Airline Respirator</i>	318
Gambar	13.11	Respirator Jenis <i>Self Contained Breathing Apparatus</i> dengan Konfigurasi Kebutuhan Bertekanan (<i>Pressure-Demand</i>)	319
Gambar	13.12	Respirator Jenis Kombinasi <i>Airline Supply</i> yang Dilengkapi dengan Tambahan Silinder Udara	320
Gambar	13.13	Diagram Alir Pemilihan Jenis Respirator	322
Gambar	13.14	<i>Qualitative Fit Testing</i>	323
Gambar	14.1	Skema Evaluasi Paparan Kimiawi	336
Gambar	14.2	Posisi Dosis RfD, NOEL, NOAEL, LOEL, LOAEL, LD, dalam Kurva Dosis-Respons	339
Gambar	14.3	Pendekatan Interdisiplin dalam Pengendalian Karsinogen	341
Gambar	15.1	Label B3 di Indonesia	355
Gambar	15.2	Label B3, Department of Transportation, USA	356
Gambar	15.3	Contoh Penulisan Label Informasi Bahan Berbahaya	357
Gambar	15.4	Contoh Penulisan Label B3	357
Gambar	15.5	Contoh APD dan Peralatan Ukur yang Mungkin Diperlukan	358

KESEHATAN DAN KESELAMATAN LINGKUNGAN KERJA



Selain meningkatkan kesejahteraan, industrialisasi juga diharapkan tidak mengganggu kesehatan pekerja pada khususnya dan masyarakat pada umumnya. Bahan baku sintetis yang tergolong berbahaya dan beracun (B3) pertama kali selalu memasuki industri sebelum dibuang ke lingkungan dan memajani masyarakat serta ekosistem secara umum. Bahan B3 itu bertambah tiap tahunnya dengan ribuan jenis. Uji toksikologi untuk mengetahui dampaknya terhadap kesehatan sering kali hanya sebatas uji jangka pendek atau akut saja sehingga tidak diketahui efek yang sebenarnya dalam jangka yang panjang. Oleh karena itu, penting untuk memantau dan mengendalikan dampak kesehatan dan keselamatan pekerja dan lingkungan di industri yang akan terpajan jangka panjang terhadap zat demikian. Untuk dapat melakukan hal ini, diperlukan pengetahuan tentang kesehatan dan keselamatan lingkungan kerja dengan sangat mendasar.

Selain itu, penyakit yang disebabkan bahan B3 di industri banyak yang tidak dapat disembuhkan atau *irreversible* sehingga proses pencegahannya menjadi lebih penting. Pencegahan seperti ini banyak sekali menghendaki pengetahuan kerekayasaan dengan mengendalikan kontaminan pada sumbernya di lingkungan kerja secara khusus dan lingkungan secara umum.

Selain penyakit di industri, juga banyak terjadi kecelakaan yang menimbulkan cacat bagi tenaga kerja sehingga menambah kerugian dan mengurangi produktivitas negara. Bagi Indonesia, saat ini angka kecelakaan dilaporkan masih tergolong sebagai kelompok pertama tertinggi di dunia (ILO).



Gadjah Mada University Press
Jl. Grafika No. 1, Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Telp./Fax.: 0274 561037, gmupress@ugm.ac.id | www.gmup.ugm.ac.id
f gmupress @gmupress

ISBN 978-979-420-978-3



9 789794 209783

BAB 8

TEMPERATUR DAN TEKANAN EKSTREM

Herto Dwi Ariesyady

8.1. PENDAHULUAN

Di dalam suatu lingkungan kerja, pekerja akan menghadapi tekanan lingkungan. Tekanan lingkungan tersebut dapat berasal dari faktor kimiawi, fisika, biologis, dan psikis. Dari berbagai faktor yang ada, temperatur dan tekanan ekstrem merupakan salah satu tekanan lingkungan dari golongan faktor fisika. Temperatur ekstrem biasanya dialami pekerja pada proses produksi atau kegiatan yang menggunakan panas seperti industri tekstil dan pengecoran logam atau terpapar oleh panas pada lingkungan alamiah, misalnya pekerja konstruksi yang bekerja di luar ruangan yang terkena sengatan sinar matahari. Sementara itu, tekanan ekstrem sering kali dialami oleh pekerja yang bekerja bukan pada tekanan atmosfer, misalnya penyelam, penerbang, dan pekerja yang bekerja di terowongan.

8.1.1. Temperatur Ekstrem

Temperatur ekstrem dapat memberikan beban tambahan bagi sirkulasi darah karena darah harus membawa oksigen kebagian otot dan harus membawa panas dari dalam tubuh ke permukaan kulit. Akibatnya, frekuensi denyut nadi akan meningkat. Peningkatan denyut nadi sebagai akibat pekerjaan fisik di lingkungan kerja panas dapat menyebabkan kelelahan otot statis, perubahan fungsional pada organ tubuh, dan dapat meningkatkan kecelakaan kerja. Tingginya angka kesalahan dan kecelakaan kerja dapat menimbulkan penurunan efisiensi kerja dan produktivitas kerja.

Temperatur ekstrem ini terbagi atas dua kategori, yaitu ekstrem panas dan ekstrem dingin. Pekerja sering kali dihadapkan untuk bekerja pada kondisi lingkungan yang ekstrem panas dan dingin. Masalah temperatur ini tentunya akan memengaruhi efisiensi kerja. Pengaturan temperatur atau suhu yang nyaman dilakukan untuk menunjang tercapainya produktivitas kerja. Temperatur yang terlalu panas mengakibatkan perasaan cepat lelah dan mengantuk. Sebaliknya, temperatur yang terlalu dingin mengurangi daya atensi dan ketidaktenangan yang berpengaruh negative, terutama pada kerja mental. Dengan demikian, penyimpangan dari batas kenyamanan suhu baik di atas maupun di bawah nyaman akan berdampak buruk terhadap produktivitas kerja.

Berdasarkan sebuah penelitian baru, suhu udara yang terlalu panas ataupun dingin dapat memicu terjadinya serangan jantung bagi orang-orang yang berisiko tinggi. Delapan studi memperlihatkan bahwa peningkatan risiko serangan jantung dalam paparan pendek berhubungan dengan temperatur ekstrem dingin pada musim dingin. Selain itu, ditemukan pula hasil bahwa terdapat hubungan antara peningkatan risiko serangan jantung dan temperatur panas pada musim panas pada 7 dari 14 studi yang dilakukan. Penelitian tersebut juga memperlihatkan bahwa orang yang terbiasa berada pada kondisi hangat memiliki risiko terkena serangan jantung yang lebih tinggi apabila terkena temperatur ekstrem dingin, begitu pula sebaliknya.

Suhu kerja yang sesuai dengan orang Indonesia yaitu sekitar 24–26°C. Suhu dingin mengurangi efisiensi dengan keluhan kaku atau kurangnya koordinasi otot (1). Pada kondisi ruangan yang dingin, pekerja biasanya dilindungi dengan aliran udara panas di ruangan jika memungkinkan, kecuali untuk tempat-tempat yang memang diharuskan dingin seperti laboratorium pengujian, tempat penyediaan dan pengolahan serta penyimpanan makanan.

Pergerakan udara merupakan hal yang lebih penting pada pengendalian temperatur ekstrem, terutama pada lingkungan dingin karena efek kombinasi antara angin dan temperatur dapat menghasilkan kondisi yang dinamakan "*windchill*". Indeks *windchill* harus diperhatikan oleh pekerja yang terpapar oleh temperatur dingin dan angin. Pekerja yang terpapar oleh suhu di bawah 10°F dan angin dengan kecepatan 20 mph kemungkinan besar akan mengalami beku. Oleh karena itu, tanpa perlindungan pakaian yang cukup, seorang pekerja yang bekerja di luar akan mengalami masalah kesehatan yang serius. Penelitian yang dilakukan oleh Puspasari dkk. (2006) di sebuah industri penyimpanan *ice cream* menyatakan bahwa temperatur ekstrem dingin telah meningkatkan tekanan darah, denyut nadi, dan temperatur badan pada kelompok yang terpapar. Meskipun masih tergolong "*little danger*", hal ini meningkatkan risiko kesehatan pada pekerja, terutama pada durasi kerja di atas 45 menit (2).

8.1.2. Tekanan Ekstrem

Decompression sickness (DCS), *the bends*, *dysbarism*, atau *caisson disease* adalah kondisi ketika terdapat gejala-gejala yang diakibatkan oleh paparan pada tekanan barometrik yang menjadi lebih rendah, misalnya pada saat:

- seorang penyelam naik ke permukaan ketika sedang menyelam (*diving DCS*);
- sebuah pesawat mengudara ke atas (*altitude DCS*);
- seorang pekerja keluar dari ruang bertekanan atau area pertambangan yang telah diberi tekanan untuk mengeluarkan air.

Menurut hukum Henry, bilamana tekanan gas di atas cairan turun, jumlah gas terlarut di dalam cairan tersebut juga akan turun. Contoh praktis hukum ini adalah ketika membuka minuman ringan (*soft drink*). Saat tutup dilepaskan dari botol, terdengar suara gas keluar dan gelembung akan terbentuk di dalam soda. Gas karbon dioksida ini terlepas dari larutan sebagai akibat dari paparan mendadak pada tekanan barometrik yang rendah. Seperti hal tersebut, gas lembam/*inert* (terutama nitrogen) merupakan zat yang terlarut dan tersimpan di dalam cairan dan organ tubuh. Bilamana tubuh dipaparkan pada tekanan barometrik yang rendah (sebagaimana dalam penerbangan menggunakan pesawat tanpa

tekanan atau selama dekompresi cepat pada penyelaman), nitrogen terlarut tersebut akan terlepas dari larutan. Jika nitrogen tersebut terlepas terlalu cepat, gelembung akan terbentuk di dalam tubuh, menyebabkan bermacam-macam tanda dan gejala. Gejala yang paling umum ialah sakit pada persendian yang dikenal dengan nama "*bends*".

DCS adalah jejas utama yang memengaruhi penyelam. Tekanan air di sekitar penyelam akan meningkat seiring dengan kedalaman penyelaman dan akan mengecil ketika penyelam naik ke permukaan. Risiko DCS akan meningkat dengan penyelaman dalam waktu yang lama dengan kedalaman besar tanpa naik secara perlahan dan melakukan perhentian dekompresi (*decompression stops*) yang diperlukan untuk menghilangkan gas lembam secara normal. Beberapa penyelam bahkan memiliki kepekaan yang lebih tinggi daripada yang lainnya pada kondisi yang sama.

Kasus pertama DCS yang berhasil didokumentasikan dilaporkan terjadi pada tahun 1841 oleh seorang ahli pertambangan yang mengamati adanya rasa sakit dan kejang otot di antara penambang batu bara yang terpapar lorong tambang yang bertekanan yang didesain untuk mengeluarkan air. Banyak sekali kasus *bends* yang ditemui pada penyelam (*snorkelers*) yang menyelam secara tanpa henti. Kasus pertama yang berhubungan dengan aktivitas penyelaman ketika menggunakan topi bertekanan dilaporkan terjadi pada tahun 1869. DCS kemungkinan adalah penyebab penyakit taravana yang memengaruhi penduduk asli Kepulauan Pasifik Selatan yang terbiasa menyelam tanpa peralatan menyelam. Oleh karena potensi bahayanya tersebut, maka kegiatan-kegiatan pencatatan kasus-kasus seperti ini harus dilakukan secara lengkap dan terdokumentasi secara baik untuk melihat efek jangka panjang akibat paparan tekanan terhadap seorang pekerja.

8.2. IDENTIFIKASI

8.2.1. Pengertian tentang Temperatur Ekstrem

Tekanan panas (*heat stress*) di suatu lingkungan kerja merupakan perpaduan antara suhu udara, kelembapan, radiasi, kecepatan gerakan udara, dan panas metabolisme sebagai aktivitas dari seseorang serta pakaian yang digunakan saat bekerja. Tekanan panas merupakan perpaduan suhu dan kelembapan udara, kecepatan aliran udara, suhu radiasi dengan panas yang dihasilkan oleh metabolisme tubuh (3). Tekanan panas merupakan suatu mikro meteorologi dari lingkungan kerja (4).

Tekanan dingin (*cold stress*) berbeda secara signifikan dari tekanan panas. Secara umum, tubuh akan beradaptasi dengan kondisi tekanan panas dengan meningkatkan laju pengeluaran keringat sebagai upaya untuk mendinginkan tubuh. Adaptasi terhadap tekanan dingin biasanya termasuk penurunan aliran darah ke kulit. Penyebab utama tekanan dingin ialah paparan terhadap paparan temperatur dingin dan getaran, baik salah satu maupun gabungan kedua hal tersebut.

8.2.2. Mekanisme Panas Tubuh

Di dalam kehidupan, tubuh manusia selalu memproduksi panas. Proses menghasilkan panas ini disebut metabolisme. Proses metabolisme dalam tubuh merupakan proses kimiawi dan pada dasarnya merupakan proses oksidasi dari bahan-bahan seperti karbohidrat, lemak, protein, yang diatur oleh enzim (4). Hasil metabolisme ini antara lain energi dan panas. Panas yang dihasilkan inilah yang merupakan sumber utama panas tubuh manusia. Manusia termasuk golongan makhluk homoetermis, yaitu makhluk yang mampu mempertahankan suhu tubuhnya walaupun suhu lingkungan sekitarnya berubah-ubah. Suhu tubuh manusia dipertahankan hampir menetap oleh suatu sistem pengatur suhu. Suhu menetap ini merupakan akibat kesetimbangan di antara panas yang dihasilkan di dalam tubuh sebagai akibat metabolisme dan pertukaran panas tubuh dengan lingkungan sekitar (1). Temperatur tubuh pada bagian dalam berada pada kisaran $37 \pm 5^\circ\text{C}$, sedangkan pada permukaan kulit $29\text{--}36^\circ\text{C}$.

Tubuh manusia selalu akan menghasilkan panas sebagai akibat proses pembakaran zat-zat makanan dengan oksigen. Panas akan terus dibentuk walaupun dalam keadaan istirahat selama proses metabolisme berlangsung (5). Bila proses pengeluaran panas oleh tubuh terganggu, suhu tubuh akan meningkat. Antara tubuh dan lingkungan sekitarnya selalu terjadi pertukaran panas dan proses pertukaran panas ini tergantung pada suhu lingkungannya (3). Suhu tubuh manusia yang dapat kita raba atau rasakan tidak hanya didapat dari metabolisme, tetapi juga dipengaruhi oleh panas lingkungan. Semakin tinggi panas lingkungan, semakin besar pula pengaruhnya terhadap suhu tubuh. Sebaliknya, semakin rendah suhu lingkungan, semakin banyak pula yang hilang. Dengan kata lain, terjadi pertukaran panas antara tubuh manusia yang didapat dari metabolisme dengan tekanan panas yang dirasakan sebagai kondisi panas lingkungan. Selama pertukaran ini seimbang dan serasi, tidak akan timbul gangguan, baik penampilan kerja maupun kesehatan kerja (5). Bila suhu tubuh diturunkan, terjadi vasokonstriksi pembuluh darah kulit yang menyebabkan suhu kulit mendekati suhu tubuh. Bila temperatur tubuh melebihi kehilangan panas, akan terjadi vasodilatasi pembuluh darah perifer dan pengeluaran keringat dalam jumlah yang banyak. Apabila kondisi ini tidak segera diatasi, akan timbul kejadian sengatan panas (*heat stroke*).

8.2.3. Efek Panas Ekstrem pada Manusia

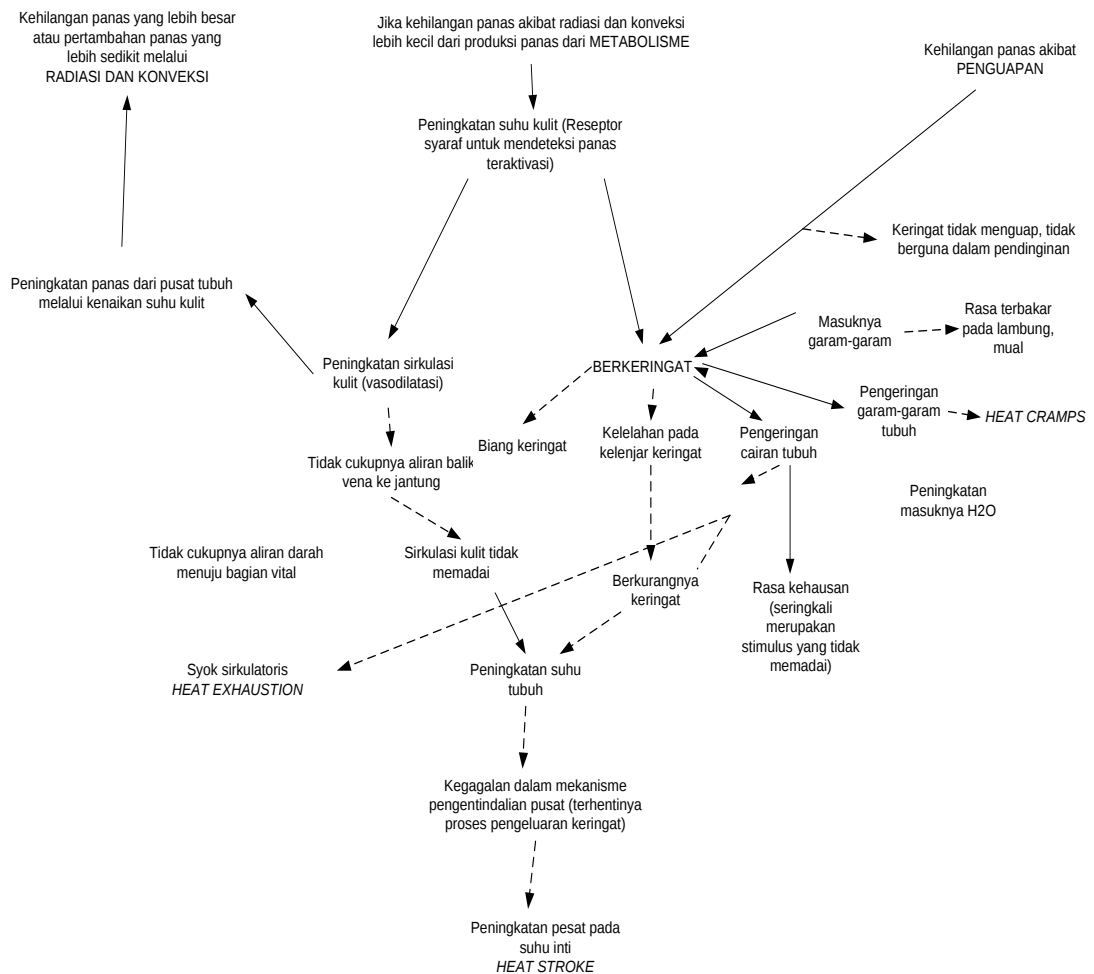
Seseorang yang terkena tekanan panas akan menunjukkan gejala-gejala yang bisa terukur mencakup hal-hal berikut ini.

1. peningkatan denyut nadi
2. tingkat pengeluaran keringat yang berlebihan
3. peningkatan temperatur tubuh

Pengaruh fisiologi akibat tekanan panas dapat dilihat hubungannya pada Gambar 8.1. Bagi tubuh, panas yang terlalu tinggi atau terlalu rendah akan memberikan efek negatif. Putra (2004) menyatakan bahwa efek-efek panas bagi tubuh manusia akan berdampak terhadap tingkat kemampuan fisik dan mental (Tabel 8.1) (6).

Tabel 8.1 Pengaruh Suhu Lingkungan terhadap Manusia (6)

No	Tingkat Temperatur (°C)	Efek terhadap Tubuh
1.	$\pm 49^{\circ}\text{C}$	Temperatur yang dapat ditahan sekitar 1 jam, tetapi jauh di atas tingkat kemampuan fisik dan mental. Aktivitas mental dan daya tangkap mulai menurun dan cenderung untuk membuat kesalahan dalam pekerjaan. Kondisi optimum Kekakuan fisik
2.	$\pm 30^{\circ}\text{C}$	
3.	$\pm 24^{\circ}\text{C}$	
4.	$\pm 10^{\circ}\text{C}$	


Gambar 8.1 Pengaruh Tekanan Panas terhadap Fungsi Tubuh (7)

Kelainan atau gangguan yang tampak secara klinis akibat gangguan tekanan panas ekstrem dibagi atas lima kategori dasar yaitu: millaria rubra, kejang panas, dehidrasi, kelelahan panas, dan sengatan panas.

Millaria Rubra (*Heat Rash*)

Kondisi ini sering terjadi pada pekerja fisik yang tinggal di daerah iklim panas yang ditandai dengan adanya bintik papulovesikal kemerahan pada kulit yang terasa nyeri bila kepanasan. Hal ini terjadi sebagai akibat sumbatan kelenjar keringat dan terjadi retensi keringat disertai reaksi peradangan (5). Kelainan ini dapat mengganggu tidur sehingga efisiensi fisiologi menurun dan meningkatkan kelelahan kumulatif. Keadaan ini merupakan faktor predisposisi untuk terjadinya faktor yang lebih serius. Adanya kelainan kulit mengakibatkan proses berkeringat dan evaporasi terhambat sehingga proses pendinginan tubuh terganggu (5).

Kejang Panas (*Heat Cramps*)

Kejang panas dapat terjadi sebagai kelainan tersendiri atau timbul bersamaan dengan kelelahan panas. Kejang otot timbul secara mendadak, terjadi setempat atau menyeluruh, terutama pada otot-otot ekstremitas dan abdomen. Penyebab utamanya ialah karena defisiensi garam. Kejang otot yang berat dalam udara panas menyebabkan keringat diproduksi banyak. Bersama keluarnya keringat, hilang sejumlah air dan garam (5).

Dehidrasi (*Dehydration*)

Dehidrasi terjadi apabila terjadi kehilangan cairan dalam jumlah berlebih. Penyebab umum dehidrasi ini ialah berkeringat secara berlebihan, muntah, diare, dan konsumsi alkohol. Gejala dehidrasi sering kali tidak jelas, tetapi biasanya mencakup kelelahan, kelemahan, mulut kering, penurunan produktivitas kerja, dan lain-lain (8).

Kelelahan Panas (*Heat Exhaustion*)

Kelelahan panas timbul sebagai akibat kolaps sirkulasi darah perifer karena dehidrasi dan defisiensi garam. Dalam usaha menurunkan panas, aliran darah perifer bertambah yang juga mengakibatkan produksi keringat bertambah. Penimbunan darah perifer menyebabkan darah yang dipompa dari jantung ke organ-organ lain yang cukup sehingga timbul gangguan. Kelelahan panas dapat terjadi pada keadaan dehidrasi atau defisiensi garam tanpa dehidrasi. Kelainan ini dapat dipercepat terjadinya pada orang-orang yang kurang minum, berkeringat banyak, muntah-muntah, diare, atau penyebab lain yang mengakibatkan pengeluaran air berlebihan (5).

Sengatan Panas (*Heat Stroke*)

Sengatan panas adalah suatu keadaan darurat medis dengan angka kematian yang tinggi. Pada kelelahan panas, mekanisme pengatur suhu bekerja berlebihan, tetapi masih berfungsi, sedangkan pada sengatan panas, mekanisme pengatur suhu tubuh sudah tidak berfungsi lagi disertai terhambatnya proses evaporasi secara total (5). Suhu tinggi biasanya berkaitan dengan berbagai penyakit seperti di atas, yaitu pukulan panas, kejang panas, kegagalan dalam penyelesaian terhadap panas, dehidrasi, kelelahan tropis, dan millaria rubra. Penyakit-penyakit tersebut jarang ditemukan pada tenaga kerja Indonesia. Sampai

saat ini, tidak ada kasus kejang panas, melainkan diare kronis pada tenaga yang berada dalam cuaca panas yang tinggi. Walaupun demikian, suhu di tempat kerja tampaknya berkaitan dengan kenaikan angka-angka sakit seperti masuk angin, influenza, dan sebagainya (1). Tekanan panas yang berlebihan merupakan beban tambahan yang harus diperhatikan dan dipehitungkan. Beban tambahan berupa panas lingkungan dapat menyebabkan beban fisiologis, misalnya kerja jantung menjadi bertambah (5).

Tekanan panas yang berlebihan juga dapat mengakibatkan perubahan fungsional pada organ yang bersesuaian pada tubuh manusia serta dapat mengakibatkan rasa letih dan kantuk, mengurangi kestabilan, dan meningkatkan jumlah angka kesalahan kerja sehingga dapat menurunkan efisiensi kerja (9). Chairin (2010) yang melakukan penelitian di perusahaan garmen di Karawang menyatakan adanya hubungan signifikan antara pajanan panas di lingkungan kerja dan tingkat kelelahan pekerja dengan melakukan analisis risiko bahaya panas terhadap perubahan fisiologi pekerja dengan pengukuran suhu tubuh, tekanan darah, denyut nadi, dan waktu reaksi pekerja (10).

8.2.4. Efek Dingin Ekstrem pada Manusia

Jejas akibat kondisi temperatur dingin ekstrem dapat terjadi pada lingkungan yang sangat dingin seperti halnya di beberapa instalasi pendinginan dan di luar ruangan pada saat musim dingin. Contoh dari jejas ini ialah *frostbite* dan *hypothermia*. Kondisi yang sangat dingin juga dapat mengakibatkan masalah kesehatan lainnya, seperti Raynaud's disease, asma, dan diabetes. Salju dan es pada jalanan juga bisa mengakibatkan peningkatan risiko terpeleset dan jatuh.

Chilblains

Kondisi ini terjadi akibat perlindungan pakaian yang kurang selama paparan temperatur dingin and kelembapan relatif yang tinggi. Kulit menjadi kemerahan disertai rasa gatal dan bintil merupakan indikasi utama kondisi ini.

Frostnip

Frostnip diakibatkan oleh paparan lama dan tanpa perlindungan pada temperatur dingin di atas 32°F (0°C). Gejalanya mencakup timbulnya daerah pada kulit dan/atau rasa gatal dan timbulnya warna putih pada kulit.

Frostbite

Merupakan kerusakan tubuh yang diakibatkan temperatur dingin ekstrem (kurang dari 32°F atau 0°C) akibat perlindungan yang kurang. Gejala-gejalanya mencakup mati rasa pada area yang terpapar, kulit kelihatan berminyak, kulit terasa dingin ketika disentuh, kekakuan dan kulit menjadi berwarna merah, putih, kuning, abu-abu, biru, atau hitam (tergantung pada temperatur dan lama paparan).

Hypothermia

Kondisi ini terjadi jika temperatur tubuh turun drastis sampai di bawah 95°F (35°C). Kondisi ini terjadi akibat paparan ekstrem terhadap faktor-faktor tekanan dingin, ditambah adanya dehidrasi dan/atau kelelahan. Konsumsi alkohol dan/atau obat-obatan dapat

memperparah kondisi *hypothermia*. *Hypothermia* dapat menyebabkan kerusakan permanen pada ginjal, hati, dan pankreas, bahkan menyebabkan kematian. Gejala-gejalanya meliputi mati rasa pada lengan dan kaki, kejang otot, kedinginan, dan kelelahan, serta mengigil yang hebat. Tindakan medis harus segera dilakukan jika terdapat penderita *hypothermia*.

8.2.5. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Efek Temperatur Ekstrem

Faktor-faktor yang menentukan pengaruh tekanan panas meliputi aklimatisasi, umur, jenis kelamin, perbedaan suku bangsa, ukuran tubuh, dan gizi.

Aklimatisasi

Aklimatisasi adalah suatu proses adaptasi fisiologis yang ditandai dengan pengeluaran keringat yang meningkat, penurunan denyut nadi, dan suhu tubuh sebagai akibat pembentukan keringat (3). Aklimatisasi terhadap suhu tinggi merupakan hasil penyesuaian diri seseorang terhadap lingkungannya. Aklimatisasi terhadap panas ditandai dengan penurunan frekuensi denyut nadi dan suhu tubuh sebagai akibat pembentukan keringat. Aklimatisasi ini ditujukan pada suatu pekerjaan dan suhu tinggi untuk beberapa waktu, misalnya 2 jam, mengingat pembentukan keringat tergantung pada kenaikan suhu dalam tubuh. Aklimatisasi panas biasanya tercapai sesudah 2 minggu. Bekerja dalam suhu tinggi saja belum dapat menghasilkan aklimatisasi yang sempurna (11).

Umur

Menurut WHO (1969), daya tahan seseorang terhadap panas akan menurun pada umur yang lebih tua (10). Orang yang lebih tua akan lebih lambat keluar keringatnya dibandingkan dengan orang yang lebih muda. Orang yang lebih tua memerlukan waktu yang lama untuk mengembalikan suhu tubuh menjadi normal setelah terpapar panas. Suatu studi menemukan bahwa 70% dari seluruh penderita sengatan panas (*heat stroke*) mereka yang berusia lebih dari 60 tahun. Denyut nadi maksimal dari kapasitas kerja yang maksimal berangsur-angsur menurun sesuai dengan bertambahnya umur.

Jenis Kelamin

WHO (1969), mengemukakan adanya perbedaan kecil aklimatisasi antara laki-laki dan wanita. Wanita tidak dapat beraklimatisasi dengan baik seperti laki-laki. Hal ini disebabkan mereka mempunyai kapasitas kardiovaskuler yang lebih kecil (11).

Perbedaan Suku Bangsa

Perbedaan aklimatisasi yang ada di antara kelompok suku bangsa relatif kecil. Mungkin hal ini disebabkan perbedaan ukuran tubuh (11).

Ukuran Tubuh

Adanya perbedaan ukuran tubuh akan memengaruhi reaksi fisiologis tubuh terhadap panas. Laki-laki dengan ukuran tubuh yang lebih kecil dapat mengalami tingkatan tekanan panas yang relatif lebih besar. Hal ini disebabkan mereka mempunyai kapasitas kerja maksimal yang lebih kecil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pekerja yang berat badannya

kurang dari 50 kg selain mempunyai tingkat pengambilan oksigen maksimum (*maximal oxygen intake*) yang rendah, juga kurang toleran terhadap panas daripada mereka yang mempunyai berat badan rata-rata (3).

Gizi (Nutrisi)

Gizi adalah suatu proses penggunaan makanan oleh suatu organisme yang dikonsumsi secara normal melalui proses digesti, absorpsi, transportasi, penyimpanan, metabolisme dan pengeluaran zat-zat yang tidak digunakan untuk mempertahankan kehidupan, pertumbuhan dan fungsi normal organ-organ, serta menghasilkan energi. Seseorang yang status gizinya jelek akan menunjukkan respons yang berlebihan terhadap tekanan panas yang disebabkan oleh sistem kardiovaskuler yang tidak stabil (3).

8.2.6. Pengertian tentang *Decompression Sickness* (DCS)

8.2.6.1. *Decompression Sickness* Akibat Penyelaman

DCS pada penyelam, terjadi pada beberapa keadaan berikut.

- Penyelaman lama dan dalam: gas lembam dalam gas yang dihirup seperti nitrogen dan helium diserap ke dalam organ tubuh pada konsentrasi yang lebih tinggi daripada kondisi normal (hukum Henry) ketika bernapas pada tekanan tinggi.
- Naik ke permukaan secara cepat seperti terjadi selama naik ke permukaan akan menyebabkan gas terserap akan keluar dari larutan dan membentuk gelembung mikro di dalam darah. Gelembung-gelembung ini akan secara aman meninggalkan tubuh melalui paru-paru jika pergerakan naik dilakukan perlahan sehingga volume gelembung tidak naik secara signifikan.

Pada awal abad ke-20, seorang ahli fisiologi bernama J.B.S. Haldane telah mempelajari masalah ini dan menemukan metode dekompresi gradual dan bertingkat sehingga tekanan penyelam dilepaskan secara perlahan yang menyebabkan nitrogen terlepas secara gradual tanpa timbulnya DCS. Gelembung yang akan terbentuk setiap kali penyelaman, gerakan naik secara lambat, dan perhentian dekompresi tentunya akan mengurangi volume dan jumlah gelembung sampai pada suatu tingkat yang aman bagi penyelam.

DCS yang berulang akan membawa kepada kematian sel pada struktur tulang. Beberapa kasus dapat menyebabkan kematian karena gelembung besar dapat mempersulit aliran darah yang kaya oksigen ke otak, sistem saraf pusat, dan organ vital lainnya.

8.2.6.2. *Decompression Sickness* Akibat Ketinggian

Orang yang terbang menggunakan pesawat tak bertekanan pada ketinggian tinggi, seperti bersembunyi pada bagian tak bertekanan pada pesawat, penumpang pada kegagalan tekanan kabin, atau pilot dalam kokpit yang tak bertekanan dapat menderita penyakit dekompresi. Penyelam yang sebelumnya menyelam dan kemudian mendadak bepergian menggunakan pesawat akan berisiko terkena DCS meskipun di dalam pesawat bertekanan.

Kasus yang sama juga akan terjadi pada mereka yang pergi ke dataran tinggi setelah menyelam, misalnya seseorang yang melakukan penyelaman, kemudian segera melakukan pendakian di pegunungan harus diperlakukan sama seperti terbang dengan pesawat setelah menyelam.

DCS akibat ketinggian menjadi masalah umum yang berhubungan dengan penerbangan pada tahun 1930-an. Dalam dunia penerbangan sekarang ini, sudah terdapat teknologi canggih sehingga pesawat sipil (komersial dan pribadi) dapat terbang lebih tinggi dan cepat daripada sebelumnya. Meskipun pesawat modern lebih aman dan tepercaya, penumpang masih menjadi subjek tekanan penerbangan ketinggian tinggi. Setelah satu setengah abad kasus pertama DCS diketemukan, pemahaman tentang DCS semakin meningkat dan ilmu pengetahuan tentang hal tersebut juga semakin banyak. Walaupun demikian, permasalahan yang terjadi belum bisa dipecahkan. DCS akibat ketinggian masih menjadi risiko bagi penumpang pesawat terbang modern.

8.2.6.3. Faktor-faktor Penentu DCS

- **Ketinggian**

Tidak ada ketinggian spesifik yang dipertimbangkan menjadi batas aman ketinggian, dimana di bawah ketinggian tersebut tidak terdapat kejadian DCS akibat ketinggian. Meskipun demikian, hanya ada sedikit kejadian DCS akibat ketinggian pada individu sehat pada ketinggian di bawah 18.000 kaki yang tidak melakukan SCUBA (*Self Contained Underwater Breathing Apparatus*) diving. Individu yang berada pada ketinggian antara 18.000 kaki dan 25.000 kaki sedikit sekali yang mengalami DCS akibat ketinggian. Umumnya, kasus DCS akibat ketinggian terjadi pada ketinggian 25.000 kaki atau lebih. Studi yang dilakukan oleh US Air Force memperlihatkan bahwa hanya 13% DCS terjadi pada ketinggian di bawah 25.000 kaki. Semakin tinggi keberadaan, semakin besar pula risiko terkena DCS akibat ketinggian meskipun tidak terdapat hubungan langsung dengan tingkat keparahan berbagai jenis DCS.

- **Paparan Berulang**

Paparan yang berulang pada ketinggian di atas 18.000 kaki selama periode waktu yang singkat (beberapa jam) juga meningkatkan risiko terkenanya DCS akibat ketinggian.

- **Kecepatan Naik**

Semakin cepat naik ke ketinggian tertentu, semakin besar pula risiko pembentukan DCS. Individu yang terpapar pada dekompresi cepat di atas 18.000 kaki memiliki risiko lebih tinggi terkena DCS daripada terpapar pada ketinggian yang sama tetapi dengan kecepatan naik yang lambat.

- **Lama Paparan**

Semakin lama durasi paparan pada ketinggian 18.000 kaki atau lebih, semakin besar risiko terjadinya DCS.

- **Umur**

Beberapa laporan menunjukkan adanya indikasi risiko yang lebih tinggi terkenanya DCS seiring dengan meningkatnya umur.

- **Jejas Terdahulu**

Ada indikasi bahwa luka pada persendian sebelumnya rentan terhadap timbulnya "bends".

- **Temperatur Ambien**

Beberapa bukti menunjukkan bahwa individu yang terpapar temperatur sangat dingin dapat meningkatkan risiko DCS.

- **Jenis Tubuh**

Umumnya tubuh seseorang dengan kandungan lemak tinggi akan memiliki risiko lebih besar terkena DCS. Hal ini disebabkan oleh penyediaan darah yang kurang baik sehingga nitrogen disimpan dalam jumlah besar pada jaringan lemak. Meskipun lemak hanya 15% dari total tubuh orang dewasa, lemak menyimpan lebih dari setengah total nitrogen (sekitar 1 liter) yang umumnya terlarut di dalam tubuh.

- **Aktivitas**

Bilamana seseorang aktif secara fisik ketika berada pada ketinggian 18.000 kaki, risiko DCS juga semakin besar.

- **Konsumsi Alkohol**

Konsumsi alkohol meningkatkan kerentanan terhadap DCS.

8.3. EVALUASI

8.3.1. Pengukuran Tekanan Panas

Pengukuran tekanan panas dilakukan menggunakan termometer, mencakup termometer basah, termometer kering, dan termometer bola (*globe thermometer*, Gambar 8.2), bisa analog maupun digital misalnya adalah "*Questemp*", yaitu suatu alat digital untuk mengukur tekanan panas dengan parameter indeks suhu bola basah (ISBB). Alat ini dapat mengukur suhu basah, suhu kering, dan suhu radiasi. Pengukuran tekanan panas di lingkungan kerja dilakukan dengan meletakkan alat pada ketinggian 1,2 m (3,3 kaki) bagi tenaga kerja yang berdiri dan 0,6 m (2 kaki) bila tenaga kerja duduk dalam melakukan pekerjaan. Pada saat pengukuran reservoir (tandon) termometer suhu basah diisi dengan akuades dengan waktu adaptasi alat selama 10 menit. *Sling psychrometer* juga bisa digunakan untuk melihat temperatur basah dan kering di suatu tempat (Gambar 8.3).



Gambar 8.2 *Globe Thermometer* (12)



Gambar 8.3 *Sling Psychrometer* (12)

8.3.2. Indikator Tekanan Panas

Indeks digunakan sebagai metode pengukuran sederhana untuk menyatakan besarnya pengaruh panas lingkungan pada tubuh (5). Indikator tekanan panas dalam industri dimaksudkan sebagai cara pengukuran dengan menyatukan efek sebagai faktor yang memengaruhi pertukaran panas manusia dan lingkungannya dalam satu indeks tunggal. Ada empat indikator tekanan panas yang digunakan.

Suhu Efektif (*Effective Temperature*)

Suhu efektif adalah indeks sensoris dari tingkat panas yang dialami oleh seseorang tanpa baju, kerja mudah dalam berbagai kombinasi suhu, kelembapan dan kecepatan aliran udara (1). Temperatur ini bisa diketahui melalui pendekatan grafis seperti terlihat pada

Gambar 8.4. Kelemahan penggunaan suhu efektif ialah tidak memperhitungkan panas metabolisme tubuh sendiri.

Indeks Kecepatan Keluar Keringat Selama 4 jam (*Predicted-4 Hour Sweatrate*)

Penentuan indeks ini didasarkan pada jumlah keringat yang keluar selama 4 jam sebagai akibat kombinasi suhu kelembapan dan kecepatan udara serta radiasi. Indeks ini dapat pula dikoreksi dengan jenis pakaian yang dikenakan dan tingkat kegiatan pekerjaan (7).

ISBB (Indeks Suhu Bola Basah)

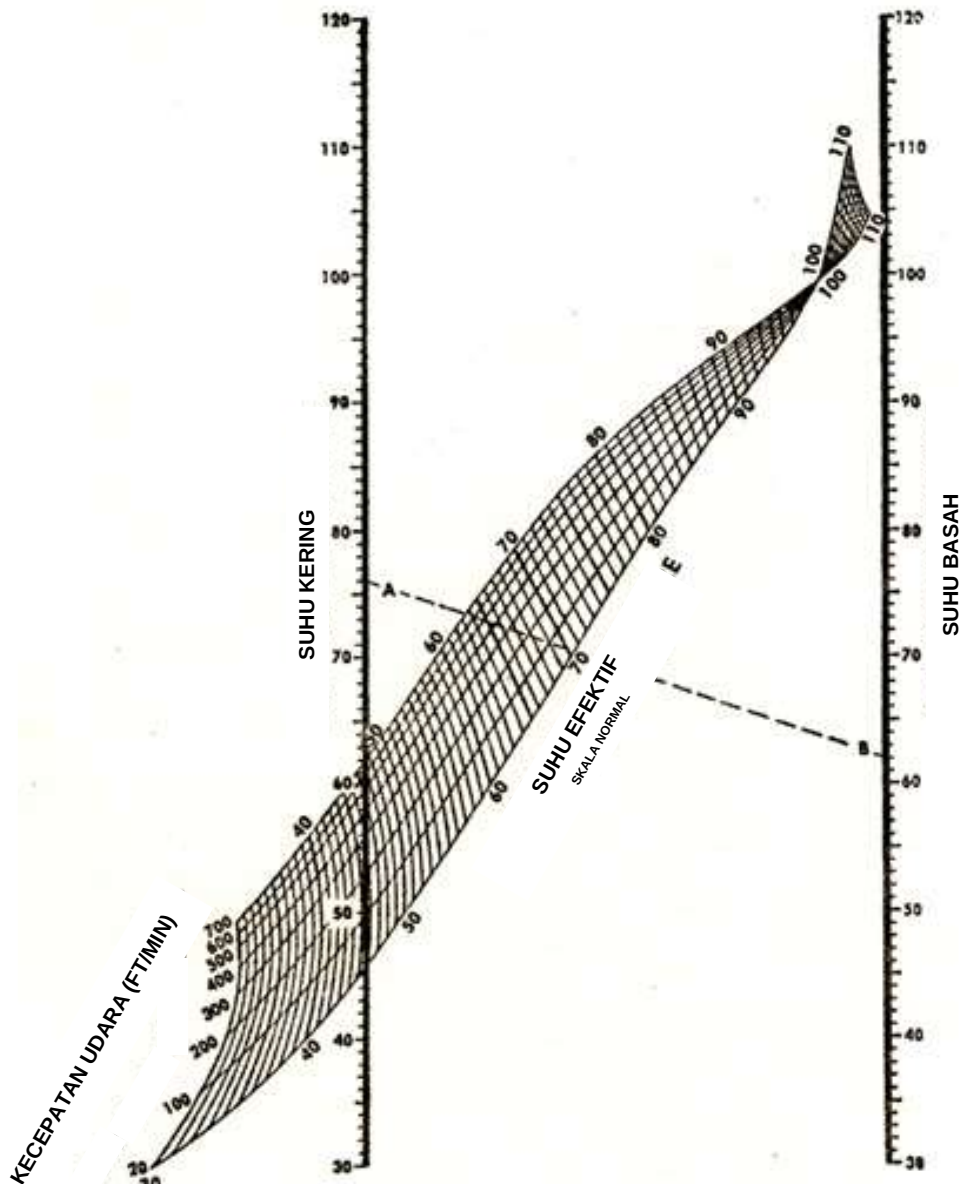
ISBB merupakan cara pengukuran yang paling sederhana karena tidak banyak membutuhkan keterampilan, cara atau metodenya tidak sulit, dan besarnya tekanan panas dapat ditentukan dengan cepat (7). Indeks ini digunakan sebagai cara penilaian terhadap tekanan panas dengan persamaan:

- 1) ISBB *outdoor* = (0,7 suhu basah) + (0,2 suhu radiasi) + (0,1 suhu kering).
- 2) ISBB *indoor* = (0,7 suhu basah alami) + (0,3 suhu radiasi).

Nilai ambang batas tekanan panas lingkungan kerja yang diperkenankan, tergantung pada pengaturan waktu kerja dan beban kerja (Tabel 8.2).

Tabel 8.2 NAB Tekanan Panas Lingkungan Kerja (13)

Pengaturan waktu kerja		ISBB °C		
Waktu Kerja	Waktu Istirahat	Beban Kerja		
		Ringan	Sedang	Berat
Beban kerja terus-menerus (8 jam/hari)	–	30,0	26,7	25,0
75%	25% istirahat	28,0	28,0	25,9
50%	50% istirahat	29,4	29,4	27,9
25%	75% istirahat	32,2	31,1	30,0



Gambar 8.4 Indeks Temperatur Efektif (7)

Indeks Belding-Hatch/*Heat Stress Index*

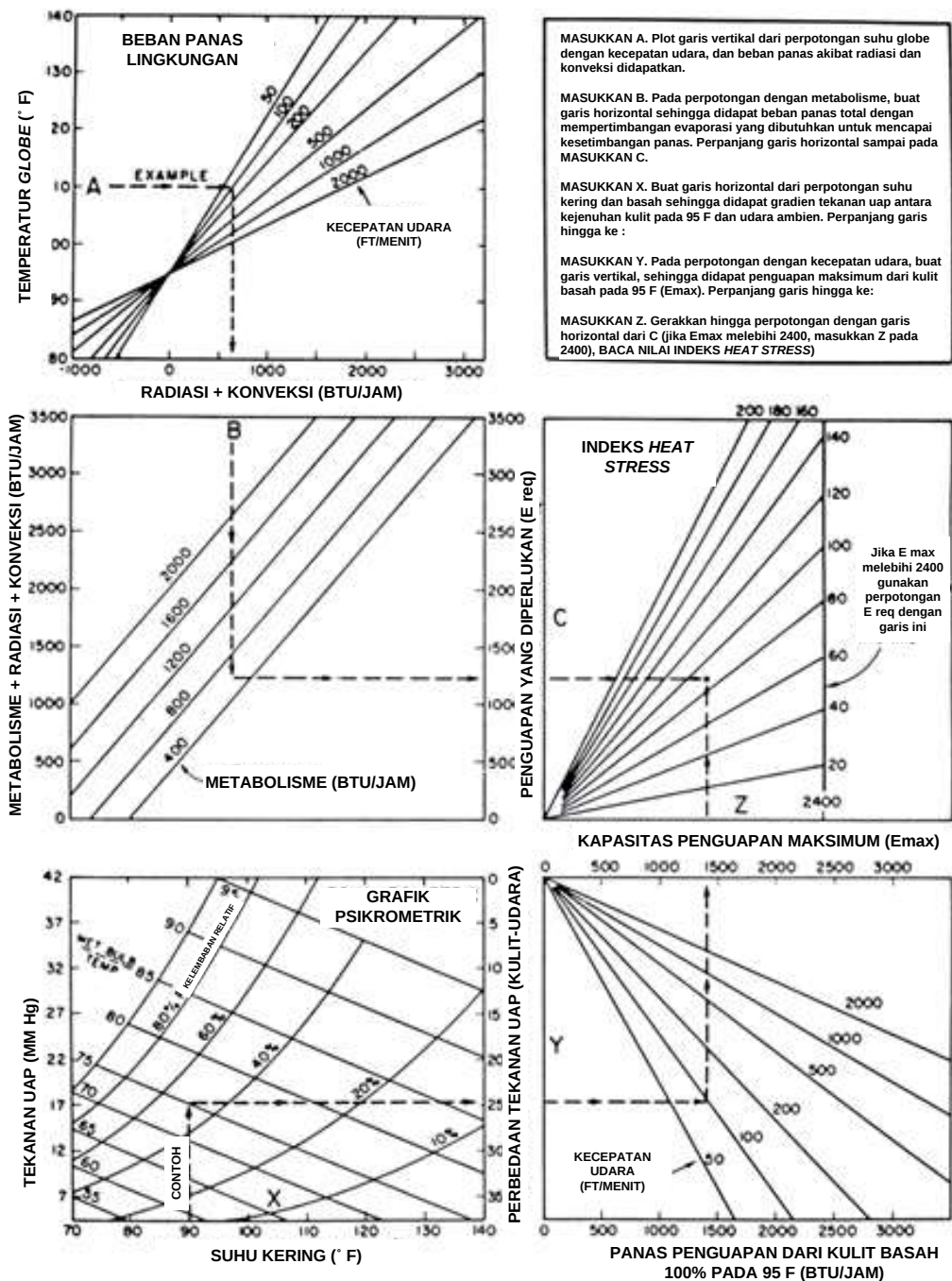
Indeks ini berhubungan dengan kemampuan berkeringat dari orang standar, yaitu orang muda dengan tinggi 170 cm dan berat 154 pon dalam keadaan sehat dan memiliki kesegaran jasmani serta beraklimatisasi terhadap panas (7). Cara penentuan indeks ini ialah dengan penarikan garis pada kurva hubungan antarametrik temperatur, metabolisme, tekanan uap, dan kecepatan angin seperti terlihat pada Gambar 8.5.

Kemudian, *heat stress index* (HSI) yang didapat pada Grafik C dibandingkan dengan tabel evaluasi nilai Belding and Hatch untuk menilai implikasi fisik-faak selama 8 jam paparan (Tabel 8.3).

Tabel 8.3 Evaluasi Nilai Belding and Hatch (7)

<i>Heat Stress Index</i>	Dampak Fisik-Faak Paparan 8 jam per Hari terhadap <i>Heat Stress</i>
-20 -10	<i>Mild cold strain</i> . Kondisi ini ditemukan pada area tempat orang membaik dari paparan suhu.
0	<i>No thermal strain</i> .
+10 20 30	<i>Mild to moderate heat strain</i> . Kerja yang memerlukan fungsi intelektual tinggi, keterampilan, atau kewaspadaan dapat menurun kinerjanya. Kerja tidak ada pengaruh terhadap kerja kasar.
40 50 60	<i>Severe heat strain</i> . Berbahaya bagi yang tidak sehat dan tidak teraklimatisasi. Penurunan kerja fisik. Tidak cocok bagi kerja mental. Seleksi pekerja yg tidak mempunyai masalah kardio-vaskuler, pernapasan, dan dermatitis kronis.
70 80 90	<i>Very severe heat strain</i> . Hanya sebagian kecil yang dapat bekerja di ruang ini. Seleksi secara medis dan <i>on the job</i> setelah aklimatisasi. Pekerja harus sehat betul bila kerja. Pengamanan teknis bila mungkin.
100	<i>Maximum strain</i> . Hanya dapat ditoleransi harian oleh orang dewasa muda yang sehat dan teraklimatisasi.

Penelitian tekanan panas pada suatu industri tekstil di Kabupaten Bandung dengan menggunakan indeks Belding dan Hatch menunjukkan bahwa apabila metode ISBB digunakan, semua kondisi panas masih memenuhi baku mutu, tetapi dengan menghitung indeks Belding Hatch, beberapa unit kerja yang diteliti sudah melampaui baku mutunya. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa pada kondisi tertentu, indeks Belding dan Hatch lebih peka daripada metode ISBB untuk menilai tekanan panas di industri (14).



Gambar 8.5 Penentuan Indeks Belding Hatch (7)

Indeks Menggigil (*Shiver Index*)

Beberapa indeks digunakan untuk mengevaluasi lingkungan dingin seperti indeks *windchill* and indeks menggigil (*shiver index*) (Tabel 8.4). Menggigil adalah usaha tubuh untuk memanaskan diri. Waktu yang diperlukan untuk menggigil bagi orang dalam suhu sub-freezing dan suhu alat geraknya menurun sampai $< 55^{\circ}\text{F}$ dan ia mulai menggigil disebut indeks menggigil. Nilai ini hanya bagi orang yang menggunakan pakaian arktik, *boots*, *mittens*, dan kerja ringan.

Tabel 8.4 Indeks Menggigil/*Shiver Index* (7)

Temperatur ($^{\circ}\text{F}$)	Waktu Sampai Menggigil (Jam)
10	6,0
0	5,0
-10	4,0
-20	2,5
-30	2,0
-40	1,5
-70	0,4

Meskipun memiliki keterbatasan, indeks-indeks tersebut sangat bermanfaat dalam memberikan informasi lingkungan dingin.

8.3.3. Evaluasi Tekanan Ekstrem

Gelembung udara dapat terbentuk di mana saja pada bagian tubuh, tetapi sering kali terdapat di pundak, sikut, lutut dan pergelangan. Tabel 8.5 memperlihatkan berbagai jenis DCS sesuai dengan gelembung yang terbentuk dan gejala umum yang timbul. "*Bends*" (sakit persendian) meliputi 60–70% dari semua kasus DCS akibat ketinggian yang sering kali terjadi pada bahu. Gejala gangguan saraf mencakup sekitar 10– 15% dari semua kasus DCS dengan rasa sakit kepala dan gangguan penglihatan sebagai gejala umumnya. Rasa tercekik jarang sekali terjadi dan hanya kurang dari 2% saja dari semua kasus. Manifestasi pada kulit terjadi dengan jumlah 10–15% dari semua kasus DCS.

Tanda-tanda dan gejala DCS dapat berupa kemerahan pada kulit, kelelahan ekstrem, sakit persendian, gangguan penglihatan, gangguan kesetimbangan, kesulitan bernapas, lemah, kekakuan, *paralysis*, ketidaksadaran, dan bahkan kematian. Gejala lainnya juga bisa mencakup gangguan pada sistem saraf pusat bahkan bisa dengan jejas yang serius. Sakit persendian biasanya terjadi pada sikut dan lutut (Tabel 8.5).

Di Indonesia, kegiatan penyelaman secara tradisional yang melibatkan masyarakat nelayan sudah lama dilakukan tanpa dibekali ilmu yang cukup mengenai *safety dive* sehingga tidak sedikit dari mereka yang lumpuh karena penyakit dekompresi, bahkan meninggal karena kurangnya penanganan medis secara cepat dan tepat. Perbandingan terjadinya

penyakit dekompresi pada penyelam tradisional 2,5 kali lebih besar daripada pada kelompok kontrol (16).

Tabel 8.5 Tanda-Tanda dan Gejala *Decompression Sickness* (DCS) (15)

Jenis DCS	Lokasi Gelembung	Tanda dan Gejala (Manifestasi Klinis)
<i>BENDS</i>	Kebanyakan persendian utama tubuh (sikut, bahu, paha, pergelangan tangan, lutut)	- Sakit lokal yang dalam - Pergerakan aktif dan pasif persendian memperparah rasa sakit - Rasa sakit berkurang dengan membengkokkan persendian sampai posisi yang nyaman - Jika diakibatkan oleh ketinggian, rasa sakit akan terjadi pada ketinggian tersebut, ketika turun atau beberapa jam kemudian
<i>NEUROLOGIC</i>	Otak	- Hilang ingatan - Sakit kepala - Spot pada area penglihatan (<i>scotoma</i>), <i>tunnel vision</i>, <i>double vision (diplopia)</i>, atau penglihatan menjadi buram - Kelelahan yang hebat atau perubahan perilaku - Seizures, pusing, <i>vertigo</i>, mual, muntah, dan bahkan pingsan
	<i>Spinal cord</i>	- Sensasi abnormal seperti rasa terbakar di sekitar bagian bawah dada dan punggung - Kelemahan dan <i>paralysis</i> - Sakit pada abdomen dan dada
	Saraf perifer	- Ketidakmampuan menahan urin dan feses - Sensasi abnormal, seperti kekakuan, rasa terbakar, <i>paresthesia</i> - Kelelahan otot saat bergerak
<i>CHOKES</i>	Paru-paru	- Rasa sakit pada dada bagian dalam (di bawah <i>sternum</i>) - Rasa sakit diperparah dengan adanya gerakan bernapas - Napas pendek (<i>dyspnea</i>) - Batuk kering
<i>SKIN BENDS</i>	Kulit	- Rasa gatal biasanya di sekitar mata, wajah, leher, lengan, dan tubuh bagian atas - Sensasi seperti ada serangga merayap di atas kulit - Perubahan warna kulit biasanya di sekitar bahu, dada bagian atas dan perut disertai dengan rasa gatal - Benjolan pada kulit disertai dengan lekukan kecil (<i>pitting edema</i>)

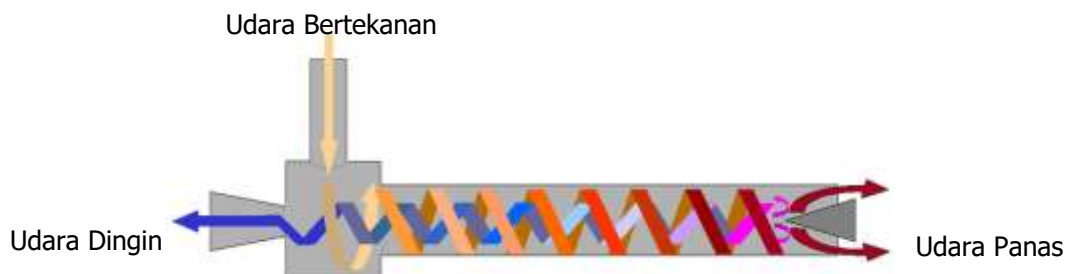
8.4. PENCEGAHAN DAN PENGENDALIAN

8.4.1. Pencegahan Temperatur Ekstrem

Pencegahan Gangguan Panas

Pencegahan terhadap gangguan panas meliputi air minum, garam, makanan, istirahat, tidur, dan pakaian (5).

- Air minum
Merupakan unsur pendingin tubuh yang penting dalam lingkungan panas. Air diperlukan untuk mencegah terjadinya dehidrasi akibat berkeringat dan pengeluaran urin.
- Garam (NaCl)
Pada keluarnya keringat yang banyak, perlu ditambah pemberian garam, tetapi tidak boleh berlebihan karena dapat menimbulkan rasa haus dan mual.
- Makanan
Setelah makan, sebagian besar darah mengalir ke daerah usus untuk menyerap hasil pencernaan.
- Istirahat
Cara ini bermanfaat untuk menghindari terjadinya efek kelelahan kumulatif.
- Tidur
Untuk menghindari efek kelelahan setelah aktivitas fisik yang berat yang dilakukan pada lingkungan kerja yang panas, tubuh memerlukan istirahat yang cukup dan tidur sekitar 7 jam sehari.
- Pakaian
Pakaian melindungi permukaan tubuh dari radiasi sinar matahari, tetapi juga merupakan penghambat terjadinya konveksi antara kulit dengan aliran udara. Untuk mendapatkan efek yang menguntungkan, baju yang dipakai harus cukup longgar, terutama bagian leher, ujung lengan, ujung celana, dan sebagainya. Pakaian tersebut bisa dilengkapi dengan "*vortex tube*" yang bisa melindungi pekerja dari panas secara efektif (Gambar 8.6 dan 8.7). Sebagai contoh, *vortex tube* dengan kapasitas 25 cfm dapat menurunkan temperatur sebesar 40–50°F.



Gambar 8.6 Mekanisme Kerja *Vortex Tube* (17)



Gambar 8.7 Pekerja yang Menggunakan *Vortex Tube* (18)

Pencegahan Gangguan Dingin

Beberapa hal bisa dilakukan untuk mencegah gangguan kerja pada lingkungan yang dingin dan berangin.

- Menjaga kondisi tubuh *fit* selama bekerja.
- Menggunakan pakaian secara berlapis dan hal ini lebih baik daripada menggunakan satu lapisan pakaian yang tebal. Dengan cara ini, udara akan terjebak di antara lapisan di mana udara merupakan insulator yang baik.
- Menjaga agar pori-pori baju mengalirkan kelembapan tubuh.
- Menjaga agar tubuh tetap kering karena kulit yang basah akan lebih cepat membeku daripada kulit kering.
- Memasang penahan angin (*windbreak*) dan menghindari kontak langsung antara kulit dan angin.
- Segera membawa pekerja yang sudah terpapar dingin ke tempat yang hangat. Jika yang beku ialah bagian kaki, jangan dipaksa berjalan karena akan menyebabkan luka yang lebih parah.
- Menggunakan sarung tangan untuk memegang logam yang terpapar temperatur ekstra dingin.
- Menggunakan pakaian pelindung dingin yang baik.
- Menggunakan respirator tipe termal bagi pekerja yang mengalami kesulitan bernapas pada kondisi dingin.
- Pekerja yang diperbolehkan memasuki area kerja dingin harus lolos pemeriksaan medis terlebih dahulu.
- Melakukan "*buddy system*", yaitu tidak mengizinkan seseorang masuk ke area dingin sendirian saja.

- Menjaga pakaian tetap bersih dan kering.
- Sebelum memasuki ruangan dingin, pastikan agar pakaian yang digunakan cukup melindungi.
- Tidak menggunakan alas kaki yang terbuat dari bahan karet karena akan cepat membeku dengan lantai.
- Mencegah agar tidak berkeringat sebelum memasuki ruangan dingin.
- Ketika meninggalkan ruangan, bersihkan butiran-butiran es, longgarkan pakaian, tetapi jangan dilepaskan.
- Pakaian ditanggalkan di ruangan ganti pakaian dan digantung sehingga udara dapat bersirkulasi dan melepaskan kelembapan.
- Periksa secara cermat kondisi hidung, dagu, pipi, lengan, dan kaki dari kekakuan sebagai suatu tanda adanya "*frostbite*".
- Pada suhu di bawah 0°F atau kurang, sebagian wajah bawah harus ditutupi dengan masker bedah.
- Kulit yang terkena *frostbite* jangan diusap, tetapi dihangatkan dengan mengenakan kain *wool* dan segera dilakukan tindakan medis.
- Tetap berkomunikasi dengan ruang kontrol.
- Berhati-hati jika berjalan di ruangan dingin karena adanya bahaya licin. Jika perlu, ruangan dilengkapi dengan pegangan.
- Jika terkena temperatur dingin, hindari pergerakan tubuh secara cepat dan bernapaslah melalui hidung meskipun menggunakan masker.
- Menaati batas waktu yang diperkenankan untuk bekerja di ruangan dingin seperti terlihat pada Tabel 8.6 berikut.

Tabel 8.6 Batas Waktu Paparan pada Kondisi Dingin (7)

Kisaran Temperatur	Paparan Maksimum Harian
30°F–0°F	Tidak ada limit bila berpakaian baik
0°F –(–30)°F	Total: 4 jam, dilakukan secara bergilir, satu jam di dalam, satu jam di luar.
–30°F–(–70)°F	30 menit di dalam, 30 menit di luar, selang waktu minimal 4 jam. Total jam kerja 1 jam atau 15 menit di dalam dan 15 menit di luar, 4 periode/ <i>shift</i> atau: 1 jam/4 jam bila <i>chill factor</i> rendah atau: 3 jam pada –65°F
–70°F–(–100)°F	Maksimum 5 menit/8 jam–hari dengan penutup kepala, pipa pernapasan, dan pemanas sampai ke kaki

8.4.2. Pengendalian Tekanan Ekstrem

Pengendalian terhadap tekanan panas meliputi isolasi terhadap sumber panas, tirai radiasi, ventilasi setempat, pendinginan lokal, ventilasi umum, dan pengaturan lama kerja.

Isolasi terhadap Sumber Panas

Isolasi terhadap benda-benda yang panas akan mencegah keluarnya panas ke lingkungan. Ini dapat dilakukan, misalnya dengan membalut pipa-pipa yang panas, menutupi tangki-tangki yang berisi air panas sehingga dapat mengurangi aliran panas yang timbul. Cara ini paling praktis untuk membatasi paparan seseorang terhadap panas dan merupakan cara pengendalian yang dianjurkan bila di tempat kerja terdapat sumber panas yang sangat tinggi.

Tirai Radiasi

Tirai ini terbuat dari lempengan aluminium, baja antikorosi, atau bahan metal yang permukaannya mengkilap.

Ventilasi Setempat

Ventilasi ini bertujuan untuk mengendalikan panas konveksi, yaitu dengan menghisap keluar udara yang panas.

Ventilasi Umum

Cara ini sering digunakan untuk mengendalikan suhu dan kelembapan udara yang tinggi, tetapi tidak dapat menanggulangi panas radiasi yang tinggi.

Pengaturan Lama Kerja

Untuk menghindari terjadinya gangguan kesehatan akibat terpapar suhu udara yang tinggi, lamanya kerja dan istirahat harus disesuaikan dengan tingkat tekanan panas yang dihadapi oleh pekerja (3).

Melakukan Program Tekanan Panas (Heat Stress Program)

Beberapa hal berikut bisa dilakukan pada program ini.

- a. program pelatihan pada pekerja yang menginformasikan tentang bahaya tekanan panas, efeknya, cara mengenali gejala penyakit yang berhubungan dengan panas dan pencegahan penyakit tersebut;
- b. program penapisan (*screening program*) untuk mengidentifikasi kondisi kesehatan pekerja akibat perubahan temperatur kerja;
- c. program aklimatisasi bagi pekerja baru dan pekerja yang baru bekerja lagi dari ketidakhadiran selama tiga hari atau lebih;
- d. prosedur khusus harus diikuti pada situasi kedaruratan akibat panas;
- e. penyediaan P3K bagi pekerja yang menunjukkan gejala yang berhubungan dengan penyakit akibat paparan panas.

8.4.3. Pencegahan Tekanan Ekstrem

Pencegahan DCS dilakukan bisa dengan bantuan tabel dekompresi dan komputer penyelaman yang membantu penyelam menentukan kedalaman dan durasi perhentian dekompresi untuk setiap profil kedalaman.

Pencegahan dekompresi tidak mutlak dapat mencegah timbulnya DCS. Kecelakaan juga dapat terjadi pada kedalaman dangkal dan penyelaman singkat. Untuk mengurangi risiko, penyelam seharusnya mencegah penyelaman dalam dan lama dan naik secara perlahan. Selain itu, diperlukan pula perhentian dekompresi dan penyelaman dengan rentang kurang dari 16 jam setelah penyelaman sebelumnya akan meningkatkan risiko DCS. Sebagai tambahan, terbang pada ketinggian yang tinggi kurang dari 24 jam setelah penyelaman pada kedalaman yang besar dapat menjadi faktor pendukung timbulnya penyakit dekompresi. Kunaefi (2003) menyatakan bahwa nilai *Population Attribute Risk* untuk kegiatan penyelaman secara tradisional di Pulau Barrang Lompo, Makassar ialah 50%. Hal ini berarti bahwa bila menghilangkan faktor risiko berupa pengetahuan tentang prosedur kerja *safety dive* dapat mengurangi potensi terjadinya penyakit penyelaman sampai 50% (16).

Bernapas dengan 100% oksigen sebelum terpapar pada kondisi tekanan barometrik rendah (*hypobaric*) akan menurunkan risiko pembentukan DCS akibat ketinggian. Pernapasan dengan oksigen murni menyebabkan eliminasi nitrogen dari organ tubuh. Pernapasan dengan 100% oksigen selama 30 menit sebelum naik akan mengurangi DCS akibat ketinggian. Meskipun demikian, pernapasan dengan oksigen murni harus dilanjutkan tanpa interupsi selama penerbangan. Akan tetapi, pernapasan dengan 100% oksigen selama penerbangan tanpa adanya pernapasan pendahuluan dengan 100% oksigen tidak akan menurunkan risiko terkenanya DCS akibat ketinggian. Saat ini karena biaya yang dibutuhkan sangat mahal, pernapasan pendahuluan dengan oksigen murni tidak dapat dilakukan pada penerbangan sipil dan terbatas hanya pada penerbangan militer dan penerbangan luar angkasa.

8.4.4. Pengobatan

Jika seseorang diduga terkena DCS akibat ketinggian dengan cara melihat tanda dan gejala yang timbul, beberapa usaha pengobatan berikut bisa dilakukan.

- Mengenakan masker oksigen secepatnya dan dialiri dengan oksigen 100%.
- Turun ke daratan dan mendarat sesegera mungkin.
- Evaluasi secara medis untuk melihat apakah tanda dan gejala DCS sudah hilang dan meneruskan pernapasan menggunakan oksigen murni.
- Jika tanda dan gejala masih timbul, oksigenasi hiperbarik dilakukan (pemberian 100% oksigen di dalam ruang bertekanan tinggi/ruang rekompresi).
- Jika salah satu gejala yang timbul ialah sakit pada persendian, diusahakan untuk tidak menggerakkan persendian tersebut.

8.5. PUSTAKA

1. Suma'mur, P.K. 1996. *Higene Perusahaan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta: Penerbit PT Gunung Agung.
2. Puspasari, Brilliana P., Tresna Dermawan Kunaefi, dan Katharina Oginawati. 2006. "Pengaruh Kondisi Temperatur Ekstrem Rendah pada Pekerja di Industri Penyimpanan *Ice Cream*". *Jurnal Teknik Lingkungan ITB*. Edisi Khusus Agustus 2006:357–364.

3. Siswanto. 1987. *Tekanan Panas*. Surabaya: Balai Hiperkes dan Keselamatan Kerja Jawa Timur.
4. Santoso. 1985. *Higiene Perusahaan Panas*. Solo: Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret.
5. Depkes RI. 2003. *Modul Pelatihan Bagi Fasilitator Kesehatan Kerja*. Jakarta: Depkes RI Pusat Kesehatan Kerja.
6. Putra, I Nyoman Pradnyana Sucipta. 2004. "Seminar Nasional Ergonomi 2". Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
7. Olishifski, Julian B. dan Frank E. McElroy. 1971. *Fundamentals of Industrial Hygiene*. Chicago USA: National Safety Council.
8. Finucane, Edward W. 1998. *Definitions, Conversions, and Calculations for Occupational Safety and Health Professionals*. Boca Raton: Lewis Publishers.
9. Nurmianto, Eko. 1996. *Ergonomi*. Surabaya: Guna Widya.
10. Chairin, Febrima Fajriana. 2010. "Analisis Risiko Bahaya Panas Pada Pekerja Garmen PT X, Karawang". *Tesis*. Program Studi Teknik Lingkungan ITB, Bandung.
11. World Health Organization. 1969. "Health Factors Involve in Working Under Conditions of Heat Stress". *Technical Repot Series No. 412*. Geneva.
12. <http://www.novalynx.com>, diakses 31 Januari 2011.
13. Budiono, Sugeng. 2003. *Bunga Rampai Hiperkes dan KK*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
14. Moersid, M. Maliki dan Juli Soemirat. 1988. "Penentuan Indeks Tekanan Panas (*Heat Stress Index*) di Sebuah Pabrik Tekstil dan Evaluasi Pengaruh yang Ditimbulkannya terhadap Para Pekerja". Dokumen Lab HIT-ITB tahun 1988 (tidak diterbitkan).
15. Francis, T., James R., Simon J. Mitchell. 2003. "10.6: Manifestations of Decompression Disorders". In Brubakk, Alf O, Neuman, Tom S. Bennett, and Elliott's Physiology and Medicine of Diving (5th Revised Ed.). United States: Saunders Ltd.
16. Kunaefi, Tresna Dermawan. 2003. "Studi Population Attribute (PAR) pada Lingkungan Kerja Penyelam Tradisional Pulau Barrang Lompo, Makassar". *Jurnal Informatika, Manajemen dan Teknologi (Infomatek)*. Vol. 5 No. 2:100–109.
17. http://www.rmcybernetics.com/projects/experiments/experiments_vortex.htm, diakses 31 Januari 2011.
18. http://www.pryme.net.au/products/cooling-and-hydration/cooling-vests/2575_flame-retardant-vortex-cooling-vest, diakses 22 Maret 2011.