

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tekanan Panas

Tekanan panas merupakan kumpulan dari faktor lingkungan dan aktivitas fisik yang dapat meningkatkan jumlah panas di dalam tubuh. (Alpaugh, 1979) Faktor -faktor lingkungan meliputi temperatur udara, perpindahan panas radiasi, pergerakan udara, dan tekanan parsial uap air (kelembaban). Aktivitas fisik yang mempunyai kontribusi terhadap total tekanan panas adalah aktivitas yang menyebabkan terjadinya peningkatan panas metabolik dalam tubuh sesuai dengan intensitas pekerjaan. Terjadinya tekanan panas adalah melalui kombinasi dari beberapa faktor (lingkungan, pekerjaan dan pakaian) dan cenderung untuk meningkatkan suhu inti tubuh, detak jantung/denyut nadi, dan keringat. (Bernard, 2002)

Sedangkan menurut pengertian yang dikeluarkan oleh OSHA, tekanan panas adalah ketika terdapat suatu pekerjaan yang berhubungan dengan temperatur udara yang tinggi, radiasi dari sumber panas, kelembaban udara yang tinggi, pajanan langsung dengan benda yang mengeluarkan panas, atau aktifitas fisik secara terus menerus yang mempunyai potensi tinggi untuk menimbulkan tekanan panas.

Dari definisi tersebut, maka dapat di simpulkan bahwa tekanan panas merupakan kombinasi antara pajanan panas yang ditimbulkan oleh lingkungan dan panas yang dihasilkan dari aktifitas fisik manusia atau disebut juga dengan panas metabolik. Pajanan panas dipengaruhi oleh suhu udara kering, kelembaban, suhu basah, suhu global dan pergerakan udara atau angin.

Tekanan panas yang dirasakan oleh seseorang juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain diluar faktor pekerjaan seperti proses penyesuaian diri, tingkat kebugaran, jenis pakaian yang digunakan, konsumsi air, konsumsi alkohol dan obat-obatan, dan lain-lain.

2.2 Keseimbangan Panas

Perpindahan atau keseimbangan antara panas lingkungan dengan tubuh seseorang dapat terlihat pada rumus berikut : (Alpaugh, 1988)

$$H = M \pm R \pm C - E$$

Dimana : H = jumlah panas tubuh

M = panas metabolic

R = panas radian / *infra red*

C = panas konveksi

E = panas evaporasi

Karena adanya proses pengeluaran panas dari tubuh ke lingkungan melalui panas evaporasi, maka rumus keseimbangan panas juga dapat ditulis sebagai berikut :

$$H + E = M \pm R \pm C$$

Idealnya hasil perhitungan keseimbangan panas antara tubuh dan lingkungan adalah nol (0), jika keseimbangan tidak tercipta dan tubuh tidak mampu melakukan proses evaporasi dengan baik, maka akan dapat menimbulkan peningkatan panas tubuh.

2.3 Proses Perpindahan Panas

Panas pada dasarnya dapat berpindah dari suatu media ke media lain. Terdapat 3 metode dasar atau proses perpindahan panas, yaitu secara konduksi, konveksi, dan radiasi. (Talty, 1988)

a. Konduksi

Konduksi merupakan proses perpindahan panas melalui kontak secara langsung. Proses perpindahan panas secara konduksi akan terjadi jika terdapat perbedaan panas antara bagian atau objek yang saling kontak. Proses konduksi akan berbeda pada setiap jenis material. Logam biasanya merupakan konduktor (pengkonduksi) yang baik. Benda padat biasanya merupakan penghantar panas yang lebih baik jika dibandingkan dengan cairan. Media gas merupakan penghantar panas (konduktor) yang paling buruk.

b. Konveksi

Konveksi adalah suatu proses di mana terjadi perpindahan panas yang terjadi karena adanya pergerakan atau perpindahan uap air oleh udara atau angin yang melewati sumber panas. Tingkat panas akibat konveksi dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain :

- 1) Jenis uap yang melewati sumber panas (uap air lebih baik daripada gas)
- 2) Permukaan sumber panas
- 3) Posisi dari permukaan sumber
- 4) Kecepatan pergerakan udara
- 5) Suhu relatif sumber dan udara.

Panas yang pindah melalui konveksi adalah melalui pergerakan udara (angina). Konveksi itu sendiri dapat menyebabkan terjadinya pergerakan udara. Udara yang

berada dekat sumber panas akan menjadi panas, memuai dan akan menjadi ringan. Udara yang ringan akan bergerak menjauhi sumber panas dan secara otomatis udara yang dingin akan mengalir ke arah sumber panas. Udara panas yang mengalir dari sumber ke lingkungan sekitarnya akan menyebabkan terjadinya peningkatan temperatur di lingkungan sekitar. Jika suhu udara antara lingkungan dan sumber sama, maka tidak akan terjadi perpindahan panas. Metode konveksi merupakan metode yang umum dalam proses perpindahan panas di lingkungan.

c. Radiasi

Radiasi berbeda dengan konduksi dan konveksi, dimana panas yang berpindah dari suatu objek ke objek lain tidak memerlukan adanya kontak fisik maupun pergerakan udara. Energi panas berpindah dari sumber ke lingkungan sekitarnya dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau radiasi infra merah.

Suatu contoh panas radiasi adalah panas yang dipancarkan oleh matahari ke bumi. Umumnya panjang gelombang panas radiasi tidak termasuk golongan gelombang yang tidak terlihat. Diketahui adanya radiasi panas adalah dengan mengamati objek yang terkena panas radiasi yang berubah menjadi panas.

Tingkat perpindahan panas melalui radiasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu : (Talty, 1988)

- 1) Perbedaan suhu absolute antara suatu objek dengan lingkungan di sekitarnya.
- 2) Jika suhu objek dan lingkungan di sekelilingnya sama, maka tidak akan ada perpindahan panas melalui radiasi.
- 3) *Relative emissivity* antara objek dengan lingkungan sekelilingnya. *Emissivity* adalah rasio energi radiasi yang terpancar dari suatu permukaan dibandingkan

dengan energi radiasi yang dipancarkan oleh objek yang hitam sempurna pada temperatur yang sama.

d. Evaporasi

Proses penguapan uap air dari kulit (keringat) dari permukaan kulit menunjukkan adanya proses pelepasan panas dari tubuh. Kapasitas evaporasi maksimum dan pelepasan panas dari tubuh dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu :

- 1) Perbedaan temperatur kulit dengan temperatur udara ambien.
- 2) Kecepatan aliran udara.
- 3) Tekanan uap air pada kulit.
- 4) Tekanan uap air pada udara ambien.

2.4 Keseimbangan Panas Pada Tubuh Manusia

Tubuh manusia yang berdarah panas, mempunyai sistem untuk mempertahankan suhu tubuh agar tetap konstan, meskipun tubuh terpajan oleh berbagai tingkat temperatur dari lingkungan. Untuk menjaga agar suhu tubuh berada pada batas yang aman, tubuh harus melepaskan atau membuang kelebihan panasnya. Proses yang utama adalah melalui sirkulasi darah dan pengeluaran keringat. Respon otomatis pengaturan panas tubuh biasanya terjadi jika temperatur darah melebihi 98,6°F dan pengaturan serta pengendalian temperatur tubuh dilakukan oleh otak. (NIOSH, 1992)

Pengeluaran keringat oleh tubuh bukan untuk mendinginkan tubuh tapi untuk mengeluarkan cairan dari kulit melalui proses evaporasi. Pada kondisi kelembaban yang tinggi, proses evaporasi keringat dari kulit akan menurun dan upaya tubuh untuk menjaga temperatur tubuh pada batas yang bisa diterima akan menjadi

terganggu. Kondisi ini akan dapat mengganggu kemampuan kerja individu yang bekerja di lingkungan yang panas. Dengan banyaknya darah yang mengalir ke permukaan tubuh bagian luar, akan menyebabkan penurunan aktivitas otot, otak, organ internal, penurunan kekuatan, dan *fatigue* yang terjadi lebih cepat.

Tidak seperti binatang yang berdarah dingin seperti reptil yang suhu tubuhnya dapat naik turun tergantung kondisi temperatur di lingkungan, suhu tubuh manusia hanya berubah pada range yang sangat sempit. Di dalam tubuh manusia terdapat berbagai macam reaksi kimia yang sangat berkaitan dengan suhu tubuh. Jika suhu tubuh naik atau turun hanya beberapa derajat saja, maka akan menghambat proses reaksi kimia di dalam tubuh dan akan membahayakan tubuh manusia. (Davis, 2001 dalam Hendra, 2003)

Jika suhu tubuh mulai turun dalam beberapa derajat, maka tubuh akan menggigil sehingga terjadi gerakan otot tubuh yang dapat menghasilkan panas tambahan untuk membantu mempertahankan suhu tubuh. Jika panas yang dihasilkan berlebihan saja maka suhu tubuh akan naik dan makin lama tubuh akan mengalami tekanan panas.

Untuk memahami tekanan panas, panas tubuh dapat dibagi menjadi 2 (dua) bagian, yaitu suhu tubuh dan suhu kulit. Suhu tubuh adalah panas yang dihasilkan dari sistem organ seperti otak, jantung, paru-paru dan saluran pencernaan. Suhu tubuh (*core temperature*) berkisar antara 99 - 100° F (37- 38° C). Untuk mendeteksi suhu tubuh dapat dilakukan melalui pengukuran suhu rectal dan mulut. Yang paling sering digunakan adalah pengukuran melalui mulut yang hasilnya 1 (satu) derajat Fahrenheit di bawah suhu tubuh yang sebenarnya. (Davis, 2001 dalam Hendra, 2003)

Sel tubuh seperti otot, lemak dan kulit berfungsi sebagai pembatas antara tubuh dengan lingkungan. Suhu kulit biasanya lebih dingin 5-6° F daripada suhu tubuh dan bisa meningkat atau turun seiring dengan kondisi lingkungan dan aktivitas fisik.

Suhu tubuh lebih banyak dipengaruhi oleh aktivitas fisik seseorang. Pada saat istirahat seorang pria dewasa dengan berat 154 pound mengeluarkan hampir 90 kilokalori per jam yang dihasilkan melalui metabolisme. Aktivitas fisik yang sangat berat akan menghasilkan lebih dari 600 Kcal/jam. Panas yang dihasilkan melalui aktivitas fisik harus dikurangi untuk menjaga suhu tubuh yang optimal. (Davis, 2001 dalam Hendra, 2003)

2.5 Dampak Tekanan Panas

Dampak akibat tekanan panas pada pekerja akan menyebabkan terjadinya *heat strain*. Kesakitan akibat pajanan panas yang berlebihan dapat terlihat dari beberapa indikator dan pajanan panas pada pekerja harus segera dihentikan jika terdapat satu atau lebih indikator berikut : (TLV's, 2002)

- a. Terjadinya peningkatan (dalam beberapa menit) denyut nadi pekerja yang melebihi 180 bpm (*beat per minute*) dikurangi umur pekerja dibandingkan denyut nadi normal, atau
- b. Suhu tubuh melebihi 38,5°C (101,3°F) untuk pekerja yang sudah mengalami aklimatisasi dan berbadan sehat, atau di atas 38°C (100,4°F) untuk sembarangan pekerja dan tanpa aklimatisasi, atau
- c. Pengembalian denyut nadi dalam satu menit setelah melakukan aktifitas lebih besar daripada 110 bpm, atau

- d. Terdapat beberapa tanda (*symptom*) seperti *fatigue* yang parah secara tiba-tiba mual, pusing, atau sakit kepala ringan.

Seorang pekerja yang terpajan akan mempunyai risiko yang lebih besar jika :

- a. Banyak mengeluarkan keringat yang terjadi berjam-jam, atau
- b. Kehilangan berat badan setelah bekerja melebihi 1,5% dari berat badan normal, atau
- c. Kadar sodium dalam eksresi urin selama 24 jam kurang dari 50 mmol.

Jika pekerja yang terpajan dengan panas mengalami disorientasi atau bingung, cepat marah tanpa alasan yang jelas, rasa tidak enak badan, dan gejala flu, sebaiknya pekerja harus dipindahkan ke tempat istirahat yang suhunya lebih dingin dan tetap dimonitor. Jika keringat berhenti dan kulit menjadi panas dan kering, maka sebaiknya segera dibawa ke rumah sakit.

Dampak akibat tekanan panas dapat dilihat dengan melakukan evaluasi terhadap dampak fisiologis akibat panas (*physiological strain*). Dampak fisiologis akibat tekanan panas dapat dilihat dari 3 aspek, yaitu : (Bernard, 1995)

2.5.1 Perubahan suhu inti tubuh (*elevations in body core temperature*)

Suhu tubuh (*core temperature*) merupakan istilah fisiologis yang digunakan untuk menjelaskan tentang suhu internal tubuh. Kriteria untuk suhu tubuh adalah selama satu hari kerja tidak boleh melebihi 100,4°F (38°C). Sedangkan jika pekerjaan yang dilakukan bersifat *intermitten* maka peningkatan suhu tubuh sampai dengan 102,2°F (39°C) seharusnya masih diperbolehkan asalkan cukup waktu istirahat untuk *mengembalikan* suhu tubuh ke suhu 37 - 37,5°C. Namun *Time Wide Average* (TWA) tetap tidak boleh melebihi 100,4°F (38°C). Dengan kata lain

bahwa suhu tubuh sebaiknya tidak melebihi 102,2°F (39°C) untuk pajanan panas di tempat kerja. (Bernard, 1995)

Ada beberapa metode yang digunakan untuk mengukur suhu tubuh. Yang paling umum digunakan adalah melakukan pengukuran pada mulut atau oral (di bawah lidah). Untuk akurasi pengukuran maka pekerja tidak boleh makan atau minum 15 menit sebelum pengukuran dan pada saat pengukuran mulut harus tertutup rapat. Suhu tubuh sama dengan hasil pengukuran suhu mulut atau oral ditambah 1 F (0,5°C). cara lain adalah dengan melakukan pengukuran pada saluran telinga (*ear canal*) atau dengan memakan pil tertentu dan suhu tubuh dapat dideteksi dari luar. (Bernard, 1995)

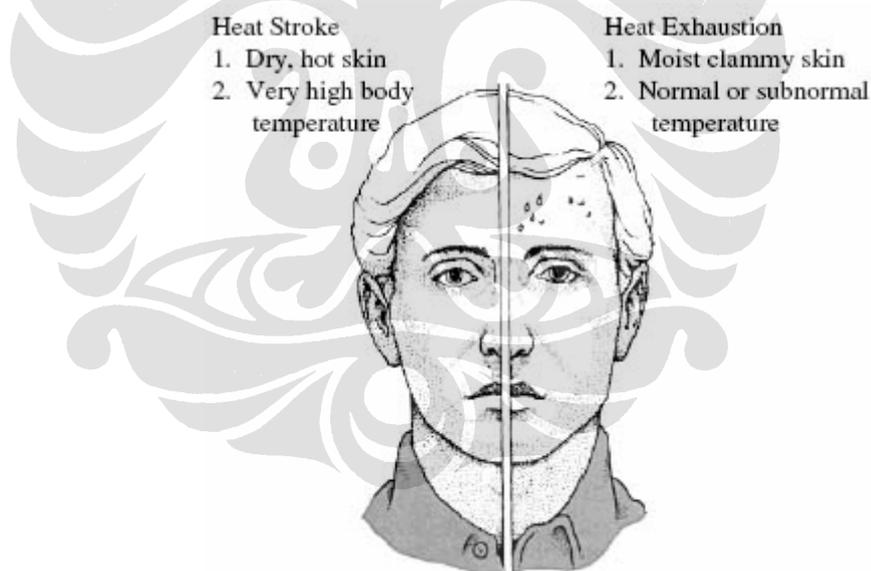
2.5.2 Denyut nadi (*heart rate*)

Indikator lain untuk melihat dampak tekanan panas (*heat strain*) adalah perubahan denyut nadi. Ada 4 cara untuk mengukur dan menganalisis perubahan denyut nadi, 3 cara adalah mengukur *recovery heart rate*, *peak heart rate*, dan rata-rata *heart rate* dalam 8 jam dan 1 cara dengan mengevaluasi *heart rate* pada periode waktu tertentu.

Untuk melihat efektifitas pengendalian *heat stress*, maka *recovery heart rate* pada 1 menit (HRR_1) tidak boleh melebihi 110 beat per menit (bpm) atau HRR_3 tidak boleh lebih dari 90 bpm atau selisih antara HRR_1-HRR_3 tidak boleh lebih dari 10 bpm. Seseorang dikatakan terpajan tekanan panas jika rata-rata denyut nadi harian melebihi 110 bpm. (Bernard, 1995)

2.5.3 Keringat (*sweating*)

Keringat akan keluar jika seseorang terpajan oleh panas yang menyebabkan terjadinya rangsangan pada sistem evaporasi untuk pendinginan. Tingkat dan volume keringat merupakan salah satu cara untuk mengukur adanya gangguan fisiologis akibat pajanan panas. Pengukuran ini kurang praktis jika dibandingkan dengan pengukuran suhu tubuh dan denyut nadi. Volume keringat lebih dari 5 liter makan mengindikasikan adaya pajanan tekanan panas yang dapat menyebabkan dehidrasi dan harus dikendalikan. Jika terjadi pajanan selama 2 – 4 jam, maka volume keringat tidak boleh lebih dari 1 liter per jam. (Bernard, 1995)



Sumber : NASD, 2004

Gambar 1. Tanda dan gejala *heat stroke* dan *heat exhaustion*

Didalam *Criteria for a recommended standard, Occupational Exposure to Hot Environments, Revised Criteria 1986*, NIOSH mengelompokkan beberapa dampak kesehatan akibat pajanan panas sebagaimana terlihat pada tabel 2.1 berikut ini.



Tabel 2.1 Klasifikasi, Aspek Medis, dan Pencegahan Sakit Karena Pajanan Panas

Kategori dan Gejala Klinis	Faktor yang Mempengaruhi	Gangguan Fisiologis yang Tidak Terlihat	Tindakan Pertolongan	Pencegahan
<p>1. Pengaturan Temperatur Heat Stroke</p> <p>Heat Stroke : (1) Kulit kering dan panas biasanya memerah, <i>mottled</i> atau <i>cyanotic</i>, (2) Suhu rectal 40,5°C (104°F) dan lebih; Bingung, hilang konsentrasi, suhu rectal terus meningkat, fatal jika pertolongan terlambat</p>	<p>(1) Panas makin terasa meningkat pada pekerja yang tidak melalui aklimatisasi; (2) Kegemukan dan kondisi fisik yang tidak fit; (3) Baru saja minum alcohol; (4) Mengalami dehidrasi; (5) Daya kerentanan; dan (6) Penyakit kardiovaskuler yang kronis</p>	<p>Kegagalan sistem pengatur keringat (penyebab tidak diketahui) menyebabkan kehilangan sistem pendinginan dari evaporasi dan peningkatan suhu rectum yang tidak terkendali, bisa sebagai bagian dari kegagalan dalam berkeringat.</p>	<p>Segera lakukan pendinginan melalui pencelupan di dalam air disertai pijatan atau menyelimuti dengan lembaran basah dengan dihembus udara yang dingin, tingkatkan pendinginan dan atasi shock jika terjadi</p>	<p>Pemeriksaan pekerja secara medis, seleksi pekerja berdasarkan kesehatan fisik, aklimatisasi 5-7 hari menurut tingkat pekerjaan dan pajanan panas, memantau pekerja yang bekerja dalam kondisi yang panas.</p>
<p>2. Sirkulasi hipostatis <i>Heat Syncope</i></p> <p>Merasa pusing jika berdiri tegak lurus dan tidak berpindah-pindah di lingkungan panas</p>	<p>Tidak melakukan aklimatisasi</p>	<p>Pengumpulan darah di pembuluh darah yang membesar di kulit dan tubuh bagian bawah</p>	<p>Pindahkan ke area yang lebih dingin, istirahat dengan posisi berbaring, lakukan pertolongan secepat mungkin</p>	<p>Aklimatisasi, aktivitas yang bertahap untuk membantu aliran darah ke jantung</p>

Tabel 2.1 (Lanjutan)

Kategori dan Gejala Klinis	Faktor yang Mempengaruhi	Gangguan Fisiologis yang Tidak Terlihat	Tindakan Pertolongan	Pencegahan
<p>3. Kehabisan Cairan atau Garam</p> <p>(a) <i>Heat Exhaustion</i>; (1) lelah, mual, sakit kepala, pusing; (2) kulit lembab dan basah; kulit menjadi pucat, keruh atau gelisah tiba-tiba; (3) Bisa sakit jika bernapas dengan cepat dan tekanan darah rendah; (4) suhu mulut biasanya rendah atau normal tetapi suhu rectal antara 37,5°C – 38,5°C; kurang air, volume urin sedikit, kadar garam yang tinggi pada urin dan konsentrasi klorida kurang dari 3g/L</p>	<p>(1) Semakin parah di lingkungan panas; (2) aklimatisasi tidak baik; dan (3) Kegagalan mengganti cairan yang hilang melalui keringat</p>	<p>(1) Dehidrasi karena kekurangan air; (2) Penurunan volume aliran darah; (3) Penjalaran sakit ke otot melalui sirkulasi darah</p>	<p>Pindahkan ke tempat yang lebih dingin, istirahat dengan posisi telentang, tambahkan cairan melalui mulut, tetap istirahat sampai volume urin mengindikasikan bahwa jumlah cairan tubuh sudah kembali normal.</p>	<p>Aklimatisasi pekerja dengan menggunakan jadwal 5-7 hari, hanya penambahan garam mineral selama aklimatisasi, menyediakan air minum yang banyak dan mudah diperoleh selama bekerja.</p>
<p>(b) <i>Heat Cramps</i> Nyeri kejang pada otot yang digunakan selama bekerja (lengan, kaki, atau perut); serangan selama atau beberapa jam setelah bekerja</p>	<p>(1) Banyak berkeringat selama bekerja di tempat panas; (2) Banyak minum air tanpa adanya pergantian garam tubuh yang hilang</p>	<p>Kehilangan garam tubuh melalui keringat, air yang diminum mengencerkan elektrolit tubuh terutama kalsium, cairan kurang kalsium menyebabkan kontraksi otot dan kejang</p>	<p>Berikan cairan yang mengandung garam yang sesuai kebutuhan dengan diminumkan atau melalui infuse</p>	<p>Garam yang cukup pada makanan; pada pekerja tanpa aklimatisasi berikan garam tambahan saat makan</p>

Tabel 2.1 (Lanjutan)

Kategori dan Gejala Klinis	Faktor yang Mempengaruhi	Gangguan Fisiologis yang Tidak Terlihat	Tindakan Pertolongan	Pencegahan
4. <i>Skin Eruptions</i>				
(a) <i>Heat rash (miliaria rubra "prickly heat")</i> Biang keringat merah yang sangat kecil dan bertambah banyak pada bagian yang terpajan, merasa seperti tertusuk selama terpajan panas.	Pajanan yang tidak teratur terhadap panas yang lembab dimana kulit terus-menerus basah karena pengeluaran keringat tidak sempurna	Saluran kelenjar keringat tersumbat sehingga keringat terganggu dan ada reaksi radang	Oleskan lotion pengering, bersihkan kulit untuk mencegah infeksi	Tidur di tempat yang dingin untuk pengeringan kulit antar pajanan
(b) <i>Anhidrotic Heat Exhaustion (miliaria profunda)</i> Banyak bagian kulit yang tidak bisa berkeringat saat terpajan panas, tapi menimbulkan buluroma berdiri, diperparah oleh kapasitas kerja yang tidak baik di tempat panas.	Pajanan yang konstan beberapa minggu atau beberapa bulan dengan adanya riwayat heat rush dan terbakar matahari	Trauma kulit (<i>heat rush; sun-burn</i>) yang menyebabkan kulit tidak bisa berkeringat, mengurangi penguapan dingin akibat toleransi panas	Tidak ada tindakan yang efektif untuk bagian kulit yang tidak berkeringat, recovery keringat terjadi secara perlahan pada iklim yang lebih dingin	Obati <i>heat rash</i> dan kulit yang terbakar, secara periodic kurangi pajanan dari panas yang berlebih

Tabel 2.1 (Lanjutan)

Kategori dan Gejala Klinis	Faktor yang Mempengaruhi	Gangguan Fisiologis yang Tidak Terlihat	Tindakan Pertolongan	Pencegahan
5. Behavioral Disorders				
(a) <i>Heat Fatigue-Transient</i> Gangguan kemampuan sensor motorik, mental, atau kehati-hatian bekerja di lingkungan panas	Penurunan performa kerja lebih besar pada pekerja tanpa aklimatisasi dan kurang keahlian	Ketidak nyamanan dan ketegangan fisiologis	Tidak perlu tindakan khusus kecuali terdapat dampak pajanan panas lainnya	Lakukan aklimatisasi dan pelatihan untuk bekerja di tempat panas
(b) <i>Heat Fatigue-Chronic</i> Berkurangnya kapasitas kerja, menurunnya standar perilaku secara social, tidak bisa berkonsentrasi, dll.	Pekerja yang berisiko berasal dari iklim yang dingin yang tinggal di daerah tropis untuk waktu yang lama	Tekanan psiksosial mungkin sama pentingnya dengan tekanan panas, mungkin terdapat ketidakseimbangan hormone tapi tidak ada bukti yang nyata	Tindakan secara medis untuk kasus yang serius, gejala-gejala segera terasa begitu pulang ke rumah	Penjelasan mengenai bagaimana beradaptasi di lingkungan yang panas (adat istiadat, iklim, kondisi lingkungan, dll)

2.6 Faktor Individu Yang Mempengaruhi Dampak Tekanan Panas

Dampak akibat pajanan tekanan panas akan berbeda-beda pada tiap individu. Beberapa faktor individu yang mempengaruhi perbedaan dampak kesehatan yang timbul di lingkungan kerja adalah :

2.6.1. Aklimatisasi

Aklimatisasi atau proses penyesuaian diri terhadap panas merupakan proses adaptasi secara fisiologis dan psikologis yang terjadi sehingga seseorang menjadi terbiasa untuk bekerja pada lingkungan kerja yang panas. Peningkatan penyesuaian terjadi seiring dengan makin lamanya terpajan oleh panas dan penurunan tingkat efek (strain) yang dirasakan. Peningkatan daya toleransi terhadap panas membuat seseorang menjadi lebih efektif dalam bekerja pada kondisi yang mungkin mengganggu sebelum terjadi aklimatisasi. Seseorang yang terpajan oleh panas lingkungan kerja akan terlihat tanda-tanda seperti tertekan dan tidak nyaman, peningkatan suhu tubuh dan denyut nadi, sakit kepala, perasaan mau mabuk, hilang kesadaran, dan beberapa tanda lainnya seperti *heat exhaustion* (Mutchler, 1991 dalam Hendra, 2003).

Sebelum terjadinya pajanan yang berulang, terdapat tanda adaptasi dimana terjadi perubahan fisiologis dengan peningkatan keringat secara efisien yang secara bersamaan akan menimbulkan sirkulasi yang stabil. Setelah terpajan panas beberapa hari seseorang yang melakukan pekerjaan yang sama akan mengalami penurunan suhu tubuh dan denyut nadi, namun terjadi peningkatan keringat (penurunan tekanan pada termoregulator), dan tidak ada tanda-tanda tertekan seperti yang dialami sebelumnya. Aklimatisasi penuh terhadap panas terjadi pada pajanan harian yang relatif singkat.

Minimum waktu pajanan untuk dapat beraklimatisasi terhadap panas adalah 100 menit perhari secara kontinyu. (Mutchler, 1991)

Dalam proses aklimatisasi terhadap panas dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu : (Dept. of Minerals and Energy, Western Australia, 1997 dalam Hendra ,2003)

- a. Aklimatisasi dimulai dengan pajanan pertama, kebanyakan orang kemudian dengan cepat akan mengalami aklimatisasi dalam satu minggu.
- b. Aklimatisasi dapat juga terjadi secara singkat dengan periode pajanan yang terputus-putus selama dua jam setiap harinya. Istirahat atau tidak bekerja di tempat panas hanya akan menimbulkan aklimatisasi yang sangat sedikit.
- c. Pekerja yang mempunyai kondisi fisik yang baik akan lebih cepat teraklimatisasi dan lebih mampu melakukan pekerjaan di tempat panas. Kemampuan aklimatisasi tidak hanya dikarenakan oleh kondisi fisik yang baik, tapi juga dipengaruhi oleh perbedaan kemampuan dalam beraklimatisasi.
- d. Aklimatisasi terhadap panas akan bertahan selama satu minggu jika tidak terpajan panas. Kehilangan tingkat aklimatisasi bervariasi pada setiap orang. Aklimatisasi akan hilang setelah 3 minggu dalam satu bulan tidak terpajan panas. Jika telah beberapa bulan tidak terpajan panas, proses aklimatisasi akan memerlukan upaya yang serius. Namun kondisi fisik yang baik akan membantu pengembalian aklimatisasi.

NIOSH, menyarankan untuk selalu melakukan aklimatisasi yang rutin, yaitu : (Dept. of Minerals and Energy, Western Australia, 1997, dalam Hendra 2003)

- a. Pekerja yang tidak aklimatisasi seharusnya diaklimatisasi dengan periode lebih dari 6 hari. Jadwal aklimatisasi dimulai dengan pajanan 50% untuk mengantisipasi kelebihan beban kerja dan waktu pajanan pada hari pertama. Pada hari berikutnya ditingkatkan 10% setiap harinya, sehingga mencapai 100% pada hari keenam.
- b. Pekerja yang secara tetap teraklimatisasi kemudian tidak terpajan 9 hari atau lebih seharusnya menjalani periode aklimatisasi selama 4 hari. Jadwal aklimatisasi dimulai dengan pajanan 50% untuk mengantisipasi kelebihan pajanan pada hari pertama. Pada hari berikutnya ditingkatkan 20% setiap harinya, sehingga mencapai 100% pada hari keempat.
- c. Pekerja yang secara tetap beraklimatisasi kemudian tidak terpajan selama 4 hari karena sakit seharusnya mendapat izin untuk kembali bekerja dan harus menjalani periode aklimatisasi selama 4 hari seperti pada poin b.

Tubuh manusia dapat beradaptasi terhadap pajanan panas untuk beberapa saat. Adaptasi fisiologis ini disebut aklimatisasi. Setelah periode aklimatisasi, pekerja akan sedikit sekali mengalami masalah peredaran darah. Pekerja akan lebih efisien dalam berkeringat dan akan memudahkan tubuh untuk mempertahankan suhu tubuh.

2.6.2. Umur

Informasi tentang dampak umur terhadap respon fisiologis terhadap panas sangat jarang. Fakta menunjukkan bahwa orang yang lebih tua dan sehat mempunyai kemampuan aklimatisasi lebih baik, tetapi umumnya gangguan fisiologis terjadi pada tingkat tekanan panas sedang sampai tinggi seiring dengan penambahan usia.

Fenomena ini lebih dimungkinkan karena terjadi penurunan kapasitas kardiovaskuler. Ini jelas terlihat bahwa bertambahnya usia menimbulkan penurunan kapasitas kerja dan denyut jantung maksimum. Sedangkan peningkatan panas metabolik akibat aktifitas kerja sangat sedikit sekali kaitannya dengan peningkatan usia. Tidak ada fakta yang menunjukkan bahwa tingkat toleransi suhu maksimum pada rectal menurun seiring dengan penambahan usia. Semakin bertambahnya umur seseorang akan menyebabkan respon kelenjar keringat terhadap perubahan temperatur menjadi lebih lambat, sehingga proses pengeluaran keringat menjadi tidak efektif dalam mekanisme pengendalian suhu tubuh. (WHO, 1969)

Peningkatan usia juga menyebabkan makin lambatnya respon kelenjar keringat sehingga pengendalian suhu tubuh menjadi tidak efektif. Penuaan juga menyebabkan terjadinya peningkatan aliran darah ke kulit jika terpajan oleh panas.

2.6.3. Jenis Kelamin

Besarnya proporsi pekerja wanita di beberapa industri memerlukan pemahaman yang lebih terhadap perbedaan termoregulasi antara pria dan wanita. Informasi yang ada menunjukkan bahwa hanya sedikit perbedaan kemampuan berkeringat antara pria dan wanita yang teraklimatisasi yang bekerja pada cuaca yang panas. Namun kemampuan aklimatisasi wanita tidaklah sebaik pria karena wanita mempunyai kapasitas kardiovaskuler yang lebih kecil daripada pria. Wanita hamil yang disertai dengan banyak perubahan pada sistem fisiologis tubuh termasuk sistem kardiovaskuler harus mendapat pengecualian untuk menghindari gangguan fisiologis karena pajanan

panas. Di banyak Negara sudah ada undang-undang atau peraturan yang mengatur batasan-batasan bagi pekerja wanita, wanita hamil, dan sejenisnya. (WHO, 1969)

2.6.4. Indeks massa tubuh

Secara sederhana kondisi fisik mempunyai dampak terhadap kapasitas termoregulasi. Dari penelitian terlihat bahwa orang yang kelebihan berat badan atau gemuk lebih mudah terkena *heat stroke* daripada orang yang tidak gemuk. Hal ini karena orang yang tidak gemuk mempunyai luas permukaan tubuh yang lebih kecil dari pada orang yang gemuk sehingga panas yang hilang dari tubuh akibat evaporasi lebih sedikit. Selain itu orang yang gemuk mempunyai fungsi sirkulasi yang lebih buruk daripada orang yang tidak gemuk. Orang yang tidak berbadan gemuk relatif lebih tahan panas pada saat melakukan pekerjaan mulai dari kapasitas kerja minimum sampai kapasitas kerja maksimum. (WHO, 1969)

Berdasarkan standar FAO-WHO tentang indeks massa tubuh (IMT), maka kategori IMT yang digunakan di Indonesia adalah :

Tabel 2.2 Kategori Indeks Massa Tubuh

	Kategori	IMT
Kurus	Kurus tingkat berat	< 10
	Kurus tingkat sedang	10.00-16.99
	Kurus tingkat ringan	17.00-18.49
Normal		18.50-24.49
Gemuk	Kelebihan BB Tingkat 1	25.00-29.99
	Kelebihan BB Tingkat 2	30.00-39.99
	Kelebihan BB Tingkat 3	≥ 40.00

2.6.5. Pakaian kerja

Dalam kegiatan industri, mengenakan pakaian kerja yang lebih dari sekedar pakaian biasa sangat diperlukan untuk melindungi kulit dari tergores atau tersayat, iritasi, atau dari bahan-bahan yang berbahaya. Kontak yang rapat atau dekat antara pakaian dan kulit dapat sangat mempengaruhi perpindahan panas. Efek dari pakaian sulit untuk dikaji sejak terjadinya penurunan kehilangan panas melalui evaporasi begitu juga dengan perpindahan panas melalui radiasi dan konveksi. Terjadinya penurunan tersebut sangat dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain ketebalan bahan pakaian, warna, dan apakah pakaian tersebut longgar atau tidak.

Pekerja di dalam ruangan yang terpajan oleh radiasi infra merah dan pekerja di lingkungan terbuka yang terpajan oleh radiasi sinar matahari dapat menurunkan panas radiasinya dengan mengenakan pakaian, tetapi pada saat yang sama terjadi penurunan kapasitas pendinginan melalui evaporasi. Secara umum untuk lingkungan kerja yang panas dengan tingkat panas radiasi rendah, sebaiknya cukup menggunakan pakaian yang tipis dan sedikit. Sedangkan untuk lingkungan kerja yang tingkat panas radiasinya tinggi sebaiknya gunakan pakaian yang menutup seluruh tubuh (cover all), namun sebaiknya dipilih yang longgar dan terbuat dari bahan yang ringan (WHO, 1969).

2.7 Pengukuran Tekanan Panas

2.7.1 Temperatur Lingkungan Kerja

Pengukuran temperatur lingkungan kerja adalah untuk mengetahui tingkat temperatur yang ada di lingkungan. Faktor lingkungan yang berkaitan dengan tekanan panas di tempat kerja adalah *Dry Bulb (Air) Temperature* (Suhu Udara Kering), kelembaban atau tekanan uap air, kecepatan udara, dan panas radiasi (NIOSH, 1986).

1. Suhu Udara Kering (*Dry Bulb (Air) Temperature*)

Suhu kering (t_a) merupakan yang paling sederhana untuk mengukur faktor-faktor iklim lingkungan. T_a merupakan suhu udara ambient yang terukur dengan menggunakan thermometer. Unit pengukuran yang disarankan oleh International Standard Organization (ISO) adalah dalam derajat Celcius dan derajat Kelvin, dimana $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9$ dan $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$

Jenis-jenis termometer yang lazim digunakan untuk mengukur suhu kering adalah *liquid-in-glass thermometer*, *thermocouples*, dan *resistance thermometer* (termistor). Termometer tersebut pada dasarnya mempunyai sifat, komponen, karakteristik, dan bahan *sensing element* yang berbeda.

Beberapa hal umum yang harus dipertimbangkan dalam menggunakan salah satu termometer adalah :

- Suhu yang akan diukur harus sesuai dengan skala pengukuran termometer.
- Waktu yang diperbolehkan untuk pengukuran harus lebih lama daripada waktu yang diperlukan untuk termometer kembali stabil.

- Sensing element harus kontak atau berada sedekat mungkin dengan area yang akan diukur.
- Bila berada di bawah panas radiasi (dibawah sinar matahari atau di area yang suhu permukaannya berbeda dengan suhu udara), maka *sensing element* harus diberikan pelindung.

2. Kelembaban (*Humidity*)

Kelembaban atau jumlah uap air di udara umumnya diukur sebagai kelembaban relative (*relative humidity*) atau disingkat rh, yaitu persentase embunan (uap lembab) di udara relatif terhadap jumlahnya yang dapat ditampung jika uap tersebut jenuh pada temperature yang sama. Kelembaban merupakan salah satu faktor iklim yang dapat mempengaruhi pertukaran panas antara tubuh dengan lingkungan melalui penguapan. Jika tekanan uap atau kelembaban makin tinggi, maka kehilangan panas karena evaporasi akan makin rendah.

a. Tekanan Uap Air

Tekanan uap air (pa) merupakan tekanan dimana uap dapat berkumpul di atas permukaan cairannya jika berada dalam wadah tertutup pada temperatur tetap. Standar internasional untuk satuan tekanan uap air adalah millimeter air raksa (mmHg). Untuk menghitung panas yang hilang melalui penguapan keringat, tekanan uap air ambient harus digunakan. Semakin rendah tekanan uap air ambient, maka semakin besar hilangnya panas tubuh karena penguapan.

b. Suhu Bola Basah (*Natural Wet Bulb Temperature*)

Natural Wet Bulb Temperature (t_{nwb}) atau suhu bola basah adalah temperatur yang diukur dengan menggunakan termometer yang sensornya ditutupi dengan kain katun yang basah yang diukur pada kecepatan angin biasa.

c. *Psychrometric Wet Bulb Temperature*

Psychrometric Wet Bulb Temperature (t_{wb}) diperoleh ketika kain basah yang menutupi sensor dipajankan pada pergerakan udara yang kuat. t_{wb} umumnya diukur dengan menggunakan *psychrometer* yang terdiri dari dua buah termometer air raksa yang menempel satu sama lain sepanjang alat *psychrometer*. Termometer pertama yang diberi kain katun yang digunakan untuk mengukur t_{wb} , dan termometer kedua untuk mengukur t_a . Pergerakan udara ditentukan secara manual dengan kain *psychrometer* atau secara mekanis dengan menggunakan motor penggerak *psychrometer*.

Hasil pembacaan t_{wb} pada *psychrometer* diperoleh jika tidak terdapat perbedaan pembacaan pada dua kali pengukuran. *Psychrometer* tidak dapat digunakan untuk temperatur yang sangat rendah atau mendekati 0°C (kelembaban biasanya 100% dan tekanan uap air 3 mmHg).

Hasil pembacaan *psychrometer* adalah berupa *psychrometer chart* seperti gambar di bawah ini.

d. *Dew Point Temperature*

Dew Point Temperature (t_{dp}) merupakan suhu dimana uap air di udara mulai terkondensasi. *Dew Point Temperature* diukur dengan menggunakan *Dew*

Point hygrometer dengan menghitung rata-rata pendinginan yang terjadi pada permukaan yang terpapar dan atmosfer mulai terkondensasi.

3. *Globe Temperature (Tg)*

Mengukur panas radian dari permukaan yang padat pada lingkungan sekitar dan perpindahan panas konveksi dengan udara ambient. Pengukuran *globe temperature* secara klasik adalah dengan menggunakan termometer yang dilengkapi dengan bola yang terbuat dari tembaga dan dilapisi dengan warna hitam pada bagian luarnya. Tingkat suhu radian yang terukur dipengaruhi oleh rata-rata temperatur dari permukaan di sekitar. *Globe temperature* digunakan untuk memperkirakan rata-rata suhu panas di lingkungan sekitar.

Sumber panas radiasi dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu sumber buatan (radiasi infra merah pada industri besi dan baja dan industri gelas) dan radiasi dari alam (radiasi sinar matahari). Radiasi di tempat kerja diukur dengan menggunakan *black globe thermometer* atau *radiometer* yang berbeda dengan peralatan untuk mengukur radiasi sinar matahari dan infra merah pada manusia yang umum digunakan di tempat kerja adalah *black globe temperature (tg)* dalam satuan derajat celsius.

4. Kecepatan Angin (*Air Velocity*)

Angin dihasilkan dari pergerakan tubuh manusia atau pergerakan udara (V_a) yang diukur dengan satuan *feet per menit (fpm)* atau *meter per detik (m/det)*. Angin

sangat penting dalam proses perpindahan panas antara tubuh manusia dengan lingkungan karena perannya dalam proses perpindahan panas secara konveksi dan evaporasi. Kecepatan angin diukur dengan menggunakan anemometer. Dua tipe anemometer yang sering digunakan adalah *vane anemometer* dan *thermoanemometer*.

Jika tidak terdapat anemometer untuk mengukur kecepatan pergerakan udara, maka dapat dilakukan perkiraan seperti berikut : (NIOSH, 1986)

Tabel 2.3 Tabel Perkiraan Kecepatan Angin

Fenomena	Va m/det	Vafpm
Tidak ada pergerakan udara (ruang tertutup tanpa ada sumber udara)	$V_a < 0,2$	39
Pergerakan udara lemah (terasa sedikit)	$0,2 \leq V_a \leq 1,0$	39 – 197
Pergerakan udara sedang (dapat memindahkan selembat kertas)	$1,0 \leq V_a \leq 1,5$	197 – 235
Pergerakan udara tinggi (dekat dengan kipas angin, dapat melambatkan pakaian)	$V_a > 1,5$	> 235

Sumber : *Criteria for a recommended standard, Occupational Exposure to Hot Environments, Revised Criteria 1986, NIOSH*

5. *Wet Bulb Globe Temperature*

Pengukuran beberapa faktor lingkungan seperti diuraikan di atas dilakukan secara terpisah dengan menggunakan peralatan khusus yang hanya mengukur satu faktor saja. Pengukuran faktor-faktor lingkungan tersebut dapat dilakukan secara bersamaan dengan menggunakan alat ukur *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT). Alat ukur WBGT mempunyai 3 termometer yang masing-masing berfungsi untuk mengukur suhu kering (t_a), suhu bola basah (t_{wb}), dan suhu radian atau suhu global (t_g) dan pengukuran dapat dilakukan secara bersamaan.

Pengukuran indeks WBGT paling banyak digunakan dewasa ini untuk mengevaluasi tekanan panas di lingkungan kerja. Pada dasarnya indeks WBGT merupakan pengembangan dari konsep temperatur efektif. Pengukuran temperatur lingkungan dengan menggunakan WBGT tidak lagi memerlukan pengukuran kecepatan udara karena sudah terwakili dengan pengukuran indeks tersebut. (Mutchler 1991)

Pengukuran indeks WBGT dapat dilakukan secara kontinyu (selama 8 jam kerja) atau hanya pada waktu-waktu paparan tertentu. Pengukuran seharusnya dilakukan dengan periode waktu minimal 60 menit. Sedangkan untuk pajanan yang terputus-putus minimal selama 120 menit. Rata-rata hasil pengukuran dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut : (OSHA)

$$\text{WBGT rata-rata} = \frac{\text{WBGT}_{1.t_1} + \text{WBGT}_{2.t_2} + \dots + \text{WBGT}_{n.t_n}}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

Perhitungan hasil pengukuran panas lingkungan kerja dibedakan menjadi 2 (dua) kelompok yaitu :

- a. *Indoor area*, yaitu lingkungan kerja yang tidak terpajan oleh cahaya matahari secara langsung. Perhitungan WBGT adalah dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{WBGT}_{in} = 0,7 T_{nwb} + 0,3 T_g$$

- b. *Outdoor area*, yaitu lingkungan kerja yang terpajan oleh cahaya matahari secara langsung. Pehitungan WBGT adalah dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{WBGT}_{\text{out}} = 0,7 \text{ T}_{\text{nwb}} + 0,2 \text{ T}_{\text{db}} + 0,3 \text{ T}_{\text{g}}$$

Dimana :

WBGT_{in} = WBGT *indoor*

WBGT_{out} = WBGT *outdoor*

T_{nwb} = suhu bola basah

T_{db} = suhu kering

T_{g} = suhu radian

Data pengukuran indeks WBGT yang diperbolehkan adalah seperti terlihat pada tabel halaman berikut : (TLV – ACGIH, 2002)

Tabel 2.4 Batas Paparan Tekanan Panas Untuk pekerja dengan aklimatisasi

<i>Work/Rest Regimen</i>	<i>Work Load</i>			
	<i>Light</i>	<i>Moderate</i>	<i>Heavy</i>	<i>Very Heavy</i>
<i>Continuous Work</i>	29.5°C	27.5°C	26°C	
<i>75% work and 25% rest each hour</i>	30.5°C	28.5 °C	27.5 °C	
<i>50 % work and 50 % rest each hour</i>	31.5°C	29.5°C	28.5°C	27.5°C
<i>25% work and 75% rest each hour</i>	32.5°C	31°C	30°C	29.5°C

Sumber : *Criteria for a recommended standard, Occupational Exposure to Hot Environments, Revised Criteria 1986, NIOSH*

Tabel 2.5 Batas Paparan Tekanan Panas Untuk pekerja tanpa aklimatisasi

Work/Rest Regimen	Work Load			
	Light	Moderate	Heavy	Very Heavy
Continuous Work	27.5°C	25°C	22.5°C	
75% work and 25% rest each hour	29°C	26.5 °C	24.5 °C	
50 % work and 50 % rest each hour	30°C	28°C	26.5°C	25°C
25% work and 75% rest each hour	31°C	29°C	28°C	26.5°C

Sumber : *Criteria for a recommended standard, Occupational Exposure to Hot Environments, Revised Criteria 1986, NIOSH*

Sedangkan nilai ambang batas yang terdapat pada pasal 2 di Kep-51. Men/1999 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika di Tempat Kerja, tertulis bahwa NAB iklim kerja menggunakan parameter ISBB seperti terlihat pada tabel berikut :

Tabel 2.6 Nilai Ambang Batas Iklim Kerja ISBB

Peraturan Waktu Kerja setiap jam		ISBB (°C)		
Waktu Kerja	Waktu Istirahat	Beban Kerja		
		Ringan	Sedang	Berat
Kerja terus menerus (8 jam sehari)		30.0	26.7	25.0
75%	25%	30.6	28.0	25.9
50 %	50 %	31.4	29.4	27.9
25%	75%	32.2	31.1	30.0

Sumber : Kep-51/ Men/1999.

2.7.2 Pengukuran Pada Pekerja

Pengukuran panas pada pekerja pada dasarnya adalah melakukan pengukuran untuk mengetahui suhu tubuh pekerja. Perubahan suhu tubuh dipengaruhi oleh dua hal yaitu panas yang dihasilkan dari proses metabolisme (*metabolic heat*) dan panas yang disebabkan oleh aktivitas fisik.(NIOSH, 1986)

Pengukuran secara langsung maupun tidak langsung pada dasarnya mempunyai keterbatasan dan hanya bisa pada waktu yang singkat. Salah satu metoda yang bisa digunakan adalah dengan melakukan estimasi panas metabolik yaitu dengan menggunakan tabel pengeluaran energi dan melakukan analisis tugas. Meskipun metode ini tidak seakurat pengukuran namun dapat diaplikasikan untuk durasi singkat maupun lama dan tidak memerlukan peralatan khusus. Estimasi panas metabolik yang dilakukan oleh tenaga professional umumnya mempunyai penyimpangan akurasi sekitar 10 – 15%.

Tabel 2.7 Estimasi Pengeluaran Energi Berdasarkan Analisis Tugas

A	<i>Body position and movement</i>	<i>Kcal/min*</i>	
	<i>Sitting</i>	0,3	
	<i>Standing</i>	0,6	
	<i>Walking</i>	2,0-3,0	
	<i>Walking uphill</i>	<i>add 0,8 per meter rise</i>	
B	<i>Type of work</i>	<i>Average Kcal/min</i>	<i>Range kcal/min</i>
	<i>Hand work</i>		
	<i>Light</i>	0,4	0,2-1,2
	<i>Heavy</i>	0,9	
	<i>Work one arm</i>		
	<i>Light</i>	1,0	0,7-2,5
	<i>Heavy</i>	1,8	
	<i>Work both arm</i>		
	<i>Light</i>	1,5	1,0-3,5
	<i>Heavy</i>	2,5	
	<i>Work whole body</i>		
	<i>Light</i>	3,5	2,5-9,0
	<i>Moderate</i>	5,0	
	<i>Heavy</i>	7,0	
	<i>Very Heavy</i>	9,0	
C	<i>Basal metabolism</i>	1,0	
D	<i>Sample calculation**</i>		<i>Average Kcal/min</i>
	<i>Assembling work wih heavy hand tools</i>		
	<i>Standing</i>		0,6
	<i>Two-arm work</i>		3,5

<i>Basal metabolism Total</i>	1,0 5,1 kcal/min
* For standard worker of 70 kg body weight (154 lbs) and 1,8 m ² body surface (19,4 ft ²)	
** Example of measuring metabolic heat production of worker when performing initial screening	

Sumber : Criteria for a recommended standard, Occupational Exposure to Hot Environments, Revised Criteria 1986, NIOSH

Berikut ini merupakan beberapa estimasi pengeluaran energi metabolisme (M) untuk beberapa tipe aktivitas.

Tabel 2.8. Estimasi Energi Metabolisme Beberapa Tipe Aktivitas

	Activity	Metabolic Rate			
		Btu/hr	Watts (W)	Kcal/hr	Kcal/min
	<i>Sleeping</i>	250	73	63	1,05
	<i>Sitting quietly</i>	400	117	100	1,75
<i>LIGHT WORK</i>	<i>Sitting, moderate arm and trunk movements (desk work, typing)</i>	450-550	130-160	113-140	1,8-2,3
	<i>Sitting, moderate arm and leg movements (playing organ, driving car in traffic)</i>	550-650	160-190	140-160	2,3-2,7
	<i>Standing, light work at machine or bench mostly arms</i>	550-650	160-190	140-160	2,3-2,7
<i>MODE--RATE WORK</i>	<i>Sitting, heavy arm and leg movement</i>	650-800	190-235	165-200	2,8-3,3
	<i>Standing, light work at machine or bench, some walking about</i>	650-750	190-220	165-190	2,8-3,2
	<i>Standing, moderate work at machine or bench, some walking about</i>	750-1000	220-290	190-250	3,2-4,2
	<i>Walking about, with moderate lifting or pushing</i>	1000-1400	290-410	250-350	4,2-5,8
<i>HEAVY</i>	<i>Intermittent heavy lifting, pushing or pulling (pick and shovel work)</i>	1500-2000	440-590	380-500	6,3-8,3
	<i>Hardest sustained work</i>	2000-2400	590-700	500-600	8,3-10,0

Sumber : Hendra, 2003

2.8 Pengendalian Tekanan Panas di Tempat Kerja

Bila dilihat dari rumus keseimbangan panas [$H = (M-W) \pm C \pm R - E$], total tekanan panas dapat diturunkan dengan melakukan modifikasi satu atau lebih faktor yang mempengaruhi seperti panas metabolisme yang dihasilkan, perpindahan panas melalui konveksi, radiasi, atau melalui evaporasi. Tingkat panas lingkungan (C, R, dan E) dapat dikendalikan melalui pengendalian enjiniring seperti ventilasi, AC, dan perubahan pada proses.

Ventilasi, pendinginan udara, penggunaan fan, pembatas (*shielding*), dan memberikan penyekar merupakan lima tipe utama pengendalian secara rancang bangun untuk menurunkan panas lingkungan di lingkungan kerja. Penurunan panas juga dapat dilakukan dengan bekerja menggunakan alat bantu dan tidak mengandalkan kekuatan fisik semata.

Beberapa tindakan pengendalian yang dapat dilakukan untuk menurunkan risiko akibat pajanan panas di tempat kerja antara lain adalah sebagai berikut :

2.8.1 Aklimatisasi (OSHA)

Program aklimatisasi yang baik akan menurunkan risiko terhadap penyakit akibat pajanan panas. Untuk pekerja yang mempunyai pengalaman sebelumnya maka sebaiknya terpajan 50% pada hari pertama, 60% pada hari kedua, 80% pada hari ketiga dan 100% pada hari keempat. Untuk pekerja yang baru sebaiknya terpajan 20% pada hari pertama dan ditambah 20% setiap hari berikutnya.

2.8.2 Penggantian Cairan (OSHA)

Air yang dingin (50° - 60° F) atau cairan yang dingin (kecuali alkohol) seharusnya dapat diperoleh oleh pekerja untuk membantu mereka minum lebih sering, misalnya 1 gelas setiap 20 menit. Suplai air harus dekat dengan pekerja. Minuman yang mengandung garam mineral bukanlah hal yang penting terutama bagi pekerja yang sudah melakukan aklimatisasi.

2.8.3 Pengendalian Enjiniring

Faktor-faktor lingkungan yang dapat dikendalikan secara enjiniring adalah perpindahan panas secara konveksi, radiasi, dan evaporasi. (NIOSH, 1986)

2.8.3.1 Pengendalian panas konveksi

Pengendalian terhadap panas konveksi adalah melalui pengendalian temperatur udara dan kecepatan angin. Jika suhu kering (t_a) lebih rendah dari suhu kulit (t_{sk}), tingkatkan kecepatan angin yang melewati kulit dengan cara ventilasi umum atau lokal. Namun jika t_a melebihi t_{sk} (terjadi konveksi), maka t_a seharusnya dikurangi dengan memasukkan udara luar yang lebih dingin ke tempat kerja atau melalui evaporasi atau alat pendingin udara. Selain itu kecepatan angin harus dikurangi sampai pada batas di mana evaporasi keringat menjadi stabil.

2.8.3.2 Pengendalian panas radiasi

Untuk menurunkan panas radiasi dapat dilakukan beberapa cara, yaitu : (NIOSH, 1986)

- Menurunkan temperatur proses yang biasanya tidak sesuai dengan temperatur yang seharusnya diperlukan.
- Relokasi, memberi sekat, atau pendinginan sumber panas.
- Memasang pembatas yang dapat memantulkan panas radiasi antara sumber dan pekerja.
- Merubah tingkat *emisivity* permukaan material dengan melapisi atau *coating*.

Dari beberapa cara pengendalian panas radiasi di atas yang paling baik adalah dengan memasang pembatas yang dapat memantulkan panas dan mampu menurunkan panas radiasi sebesar 80-85%. Jika tidak memungkinkan dipasang pembatas, maka sebaiknya diciptakan sistem kerja yang dapat dikendalikan secara jarak jauh (*remotely*) atau pemasangan pintu hidrolik yang hanya akan terbuka melalui sistem tertentu.

2.8.3.3 Pengendalian panas evaporasi

Panas evaporasi dapat dikendalikan dengan 2 (dua) cara, yaitu : (NIOSH, 1986)

- a. Meningkatkan kecepatan angin, dengan menggunakan kipas, fan, atau *blower*.
- b. Menurunkan tekanan uap air ambient, yang biasanya menggunakan AC atau alat pendingin udara.

Pada beberapa kasus pemasangan AC ternyata lebih murah daripada pemasangan sistem ventilasi. Penurunan tekanan uap air juga dapat dilakukan dengan mengendalikan sumber-sumber lain seperti uap proses (*steam*) dari kerangan maupun pipanya serta evaporasi dari lantai yang basah. Selain itu juga terdapat beberapa

tindakan pengendalian yang dapat dilakukan untuk menurunkan pajanan panas ditempat kerja. (OSHA)

- a. Ventilasi umum, digunakan untuk pengenceran udara panas dengan udara dingin (umumnya udara dingin diambil dari luar). Ventilasi yang dipasang permanent biasanya digunakan untuk area yang luas atau seluruh bangunan. Untuk area yang lebih kecil sebaiknya digunakan *local exhaust systems*.
- b. Pendinginan Udara, berbeda dengan ventilasi karena pendinginan udara adalah dengan memindahkan panas yang ada di udara (kadang-kadang kelembaban).
- c. AC (*Air Conditioning*), merupakan metode untuk mendinginkan udara, namun biaya pemasangan dan operasinya lebih mahal.
- d. Pendinginan udara lokal lebih efektif untuk menurunkan temperatur udara di ruangan spesifik. Dua metode yang sudah berhasil digunakan di lingkungan industri yaitu :
 - Ruang dingin yang dapat digunakan untuk area-area kerja yang memerlukan tempat *recovery*.
 - *Portabel blower* yang dapat dibawa-bawa ke area kerja yang membutuhkan.

2.8.4 Pengendalian Administratif dan *Work Practices*

Pengendalian secara administratif merupakan alternative pelengkap pengendalian secara enjiniring yang telah dilakukan. Pengendalian secara administratif pada dasarnya adalah untuk melakukan tindakan pencegahan terhadap dampak pajanan panas. Beberapa pengendalian secara administratif antara lain adalah : (NIOSH, 1986)

2.8.4.1 Pembatasan temperatur dan waktu pajanan

Beberapa cara pengendalian terhadap lama pajanan dan tingkat temperatur pada pekerja yang terpajan panas adalah :

- a. Jika memungkinkan buat jadwal kerja dimana pekerjaan yang panas dilakukan pada waktu-waktu yang lebih dingin seperti pagi hari, sore hari, atau malam hari.
- b. Buat jadwaal rutin pekerjaan *maintenance* dan perbaikan di area panas dilakukan pada musim yang lebih dingin dalam satu tahun.
- c. Merubah pola kerja dan istirahat sehingga waktu istirahat menjadi lebih lama.
- d. Menyediakan area yang lebih dingin untuk tempat istirahat dan *recovery*.
- e. Menambah jumlah karyawan untuk mengurangi waktu pajanan pada setiap pekerja.
- f. Membuat ketentuan bahwa pekerja dapat menghentikan pekerjaannya jika merasa terlalu panas dan tidak nyaman.
- g. Meningkatkan jumlah minum pada saat melakukan pekerjaan.
- h. Mengatur jadwal sehingga memungkinkan pekerjaan di tempat yang panas tidak dilakukan pada waktu dan tempat yang sama dengan pekerjaan lain.

2.8.4.2 Penurunan tingkat panas metabolisme

Pada kebanyakan industri, panas metabolisme bukan merupakan hal yang utama terhadap pajanan panas. Panas metabolik dapat dikurangi biasanya tidak lebih dari 200 kkal/jam (800 basal thermal unit/jam) dengan cara :

- a. Proses mekanisasi beberapa bagian pekerjaan fisik.

- b. Mengurangi jam kerja (mengurangi hari kerja, menambah waktu istirahat, membatasi bekerja dua shift).

2.8.4.3 Peningkatan toleransi terhadap panas

Karena kemampuan seseorang untuk melakukan toleransi terhadap panas berbeda-beda, maka perlu dilakukan skrining terhadap kemampuan setiap pekerja untuk beradaptasi dengan panas. Karena kemampuan toleransi aktivitas fisik di lingkungan panas sangat berkaitan dengan kapasitas kerja fisik, maka toleransi terhadap panas dapat diprediksi berdasarkan pemeriksaan kebugaran tubuh.

Memberikan ransangan panas sebagai bentuk adaptasi manusia dapat meningkatkan kapasitas kerja di tempat panas. Kemampuan setiap orang untuk beradaptasi sangat bervariasi. Oleh sebab itu kemampuan adaptasi terhadap panas hanya bisa dilakukan pada kelompok bukan pada individu dengan cara :

- a. Menerapkan program aklimatisasi dengan benar
- b. Meningkatkan vitalitas fisik
- c. Penyediaan air minum dan jumlah air yang diminum harus cukup selama bekerja.
- d. Menjaga keseimbangan garam dalam tubuh dengan memberikan minuman yang mengandung garam mineral sesuai dengan kebutuhan.

2.8.4.4 Pelatihan K3

- a. Supervisor dan pekerja lainnya seharusnya telah mendapatkan pelatihan tentang tanda-tanda berbagai jenis gangguan kesehatan akibat pajanan panas.

- b. Semua pekerja yang terpajan harus mengetahui instruksi dasar jika terjadi gangguan akibat pajanan panas.
- c. Semua pekerja yang bekerja di area panas harus mengetahui tentang dampak dari faktor-faktor lain yang dapat memperburuk dampak pajanan panas seperti obat-obatan, alkohol, kegemukan, dan lain-lain.
- d. Adanya program untuk mengevaluasi pemahaman supervisor atau pekerja yang sudah mendapatkan pelatihan secara berkala untuk melakukan observasi dan rekognisi pajanan panas di tempat kerja.

2.8.4.5 Program Monitoring Pekerja (OSHA)

- a. Setiap pekerja yang bekerja dilingkungan yang panas seharusnya selalu dipantau. Hal yang dipantau seperti jenis pakaian yang digunakan.
- b. Pemantauan personal dapat dilakukan dengan pemeriksaan denyut jantung, tingkat *recovery* jantung, suhu mulut, atau jumlah keringat yang dikeluarkan.

2.8.5 Penggunaan Alat Pelindung Diri

Beberapa tindakan pengendalian dengan menggunakan alat pelindung diri adalah sebagai berikut : (OSHA)

- a. Pakaian yang memantulkan, yang dapat berupa apron atau jaket yang menutupi seluruh tubuh pekerja dari leher sampai kaki yang mampu mencegah terserapnya panas radiasi oleh kulit. Karena agak mengganggu pakaian jenis ini mulai dikurangi

penggunaannya dan diganti dengan pakaian yang memberikan efek dingin pada tubuh.

b. Pakaian pendingin tubuh

Beberapa jenis pakaian tersebut adalah :

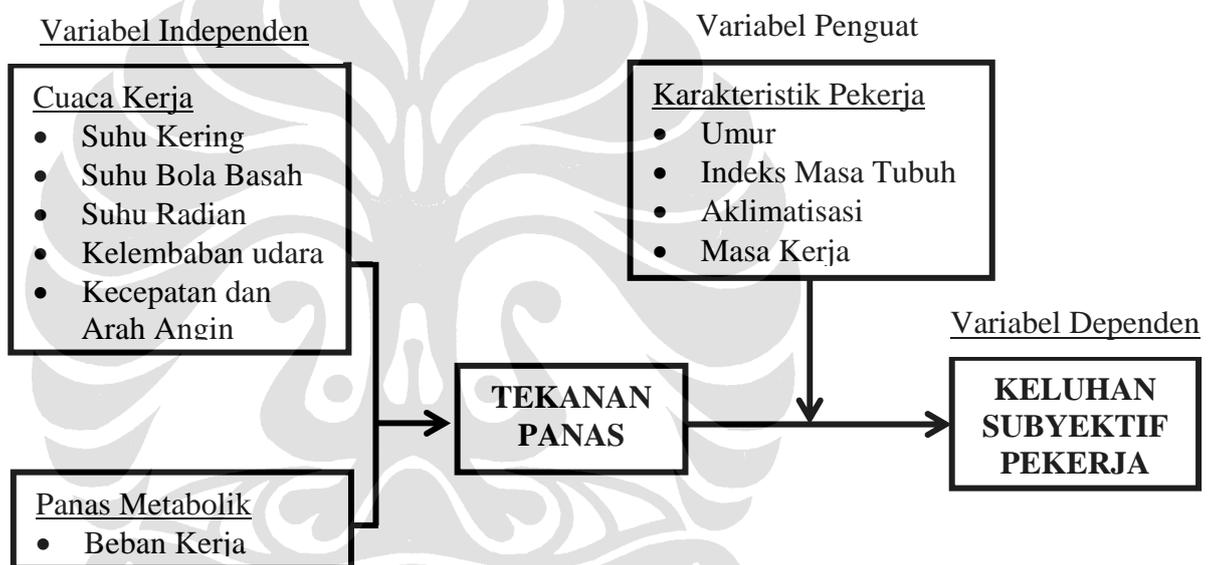
- e. *Ice vests*, yaitu rompi yang dilengkapi dengan kantong-kantong es sebagai pendingin.
- f. Penggunaan pakaian yang basah atau lembab saat bekerja
- g. *Water cooled garments*, yang mempunyai sistem pendingin sehingga setiap bagian tubuh dapat didinginkan.
- h. *Circulating air*, yaitu pakaian yang dilengkapi dengan sistem sirkulasi udara.

BAB III

KERANGKA KONSEP DAN DEFINISI OPERASIONAL

3.1 Kerangka Konsep

Kerangka konsep yang digunakan dalam penelitian gambaran tekanan panas di tempat kerja dengan keluhan subyektif pekerja adalah sebagai berikut :



Kerangka konsep menjelaskan ada dua variabel independen yang akan diteliti tentang kontribusinya terhadap tekanan panas pada pekerja yaitu faktor cuaca kerja yang terdiri dari suhu kering, suhu bola basah, suhu radian, kelembaban udara dan kecepatan arah angin dimana faktor tersebut merupakan komponen dalam indeks WBGT, serta faktor panas metabolik yang diakibatkan oleh beban kerja atau aktivitas fisik. Dari kedua variabel independen tersebut akan menimbulkan terjadinya pajanan tekanan panas pada lingkungan kerja. Akibat dari tekanan panas tersebut akan muncul keluhan subyektif dari pekerja sebagai variabel dependen

dimana variabel tersebut dapat dipengaruhi oleh variabel penguat yaitu karakteristik pekerja yang terdiri dari faktor umur, indeks masa tubuh, aklimatisasi, dan masa kerja.

3.2 Definisi Operasional

Definisi Operasional dari kerangka konsep diatas dijabarkan dalam Tabel 3.1. :



Tabel 3.1. Definisi Operasional

No	Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Skala	Hasil Pengukuran
1	Keluhan Subyektif	<p>Keluhan yang secara subyektif dirasakan oleh pekerja saat bekerja di lingkungan yang panas atau saat terpajan panas, antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> - merasa haus - pusing - mual (merasa mau muntah) - banyak berkeringat - perasaan mau pingsan - konsentrasi berkurang - badan terasa loyo - kulit terasa panas - kulit terasa perih & kemerahan (yang bergesekan dengan pakaian) - kulit terasa panas, kering dan pucat - kulit lembab dan merah-merah seperti biang keringat - limbung (hilang keseimbangan) - keram/kejang pada otot perut - keram/kejang pada otot tangan - keram/kejang pada otot kaki/betis - cepat merasa lelah - detak jantung terasa cepat - air seni & jarang kencing - keluhan lainnya. 	Kuesioner	Nominal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sangat Sering 2. Sering 3. Jarang 4. Tidak Pernah
2	Indeks WBGT	Indeks WBGT (<i>Wet Bulb Globe Temperature</i>) merupakan indeks pengukuran temperatur lingkungan kerja pada tempat kerja yang mempunyai sumber panas.	Heat Stress. Keluaran Quest Technologies Amerika	Rasio	Derajat Celcius (°C)

Tabel 3.1. (Lanjutan)

No	Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Skala	Hasil Pengukuran
3	Suhu Kering	Hasil pengukuran temperatur udara kering dengan menggunakan termometer kering pada alat ukur.	Heat Stress. Keluaran Quest Technologies Amerika	Rasio	Derajat Celcius (°C)
4	Suhu bola basah	Hasil pengukuran suhu bola basah dengan menggunakan termometer yang basah (yang ditutupi dengan kain katun yang dibasahi aquades) pada alat ukur.	Heat Stress. Keluaran Quest Technologies Amerika	Rasio	Derajat Celcius (°C)
5	Suhu Radian	Hasil pengukuran suhu udara radian dengan menggunakan termometer yang ditutupi dengan bola tembaga yang berwarna hitam pada alat ukur.	Heat Stress. Keluaran Quest Technologies Amerika	Rasio	Derajat Celcius (°C)
6	Kelembaban Udara	Hasil pengukuran tingkat kelembaban udara yang tercatat pada alat ukur.	Heat Stress. Keluaran Quest Technologies Amerika	Rasio	Derajat Celcius (°C)
7	Kecepatan Aliran Udara	Merupakan kecepatan perpindahan udara per satuan waktu yang ada di lingkungan kerja	Anemometer	Rasio	Meter/detik (m/s) : 1. > 1,5 m/dtk 2. ≤ 1,5 m/dtk
8	Beban Kerja	Merupakan ukuran beratnya pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja. Beban kerja dihitung berdasarkan estimasi kalori yang dikeluarkan oleh pekerja dalam melakukan pekerjaan berdasarkan OSHA. OSHA mengkategorikan : Beban kerja ringan : < 200 Kcal/jam Beban kerja sedang : 200 – 350 Kcal/jam Beban kerja berat : 351 – 500 Kcal/jam	Observasi Wawancara	Ordinal	1. Pekerjaan ringan 2. Pekerjaan sedang 3. Pekerjaan berat

Tabel 3.1. (Lanjutan)

No	Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Skala	Hasil Pengukuran
9	Panas Metabolik	Merupakan panas atau kalori yang dikeluarkan oleh seorang pekerja dalam melakukan pekerjaan tertentu. Panas metabolik dihitung berdasarkan estimasi terhadap pekerjaan yang dilakukan dan dikelompokan berdasarkan standar OSHA.	Observasi Wawancara	Interval	Kcal/jam ; yang terdiri dari : 1. ≥ 200 Kcal/jam 2. 200 – 350 Kcal/jam 3. 351 – 500 Kcal/jam
10	Umur	Merupakan umur pekerja pada saat dilakukan penelitian yang dihitung berdasarkan data tanggal lahir pekerja yang bersangkutan. Dengan melakukan pembulatan ke atas untuk 6 bulan atau lebih dan ke bawah untuk kurang dari 6 bulan	Kuesioner Data Sekunder	Interval	1. ≤ 20 tahun 2. 21 – 30 tahun 3. ≥ 30 tahun
11	Indeks Masa Tubuh	Merupakan kondisi status gizi pekerja pada saat dilakukan penelitian yang diukur berdasarkan rasio antara berat badan (dalam kg) dengan tinggi badan (dalam meter) pangkat dua. Hasilnya dibandingkan dengan tabel standar nilai indeks massa tubuh menurut expert committee, WHO 1995. Dengan rumus TB/BB^2 . IMT dikatakan kurus jika $< 18,5$, Normal jika 18,5 - 24,99, dan gemuk jika ≥ 25 .	Kuesioner Data Sekunder	Ordinal	1. Kurus 2. Normal 3. Gemuk
12	Aklimatisasi	Proses penyesuaian diri pekerja terhadap kondisi temperatur lingkungan kerja yang dilakukan 5 - 7 hari pada saat awal kerja atau setelah libur panjang minimal 1 tahun.	Observasi, Wawancara dan Kuesioner	Nominal	1. Mengalami aklimatisasi 2. Tidak mengalami aklimatisasi
13	Masa Kerja	Jangka waktu lama bekerja di bagian yang bersuhu panas pada saat penelitian ini dilakukan.	Kuesioner Wawancara	Interval	1. < 5 tahun 2. 6 – 10,5 tahun 3. 11 – 15 tahun

