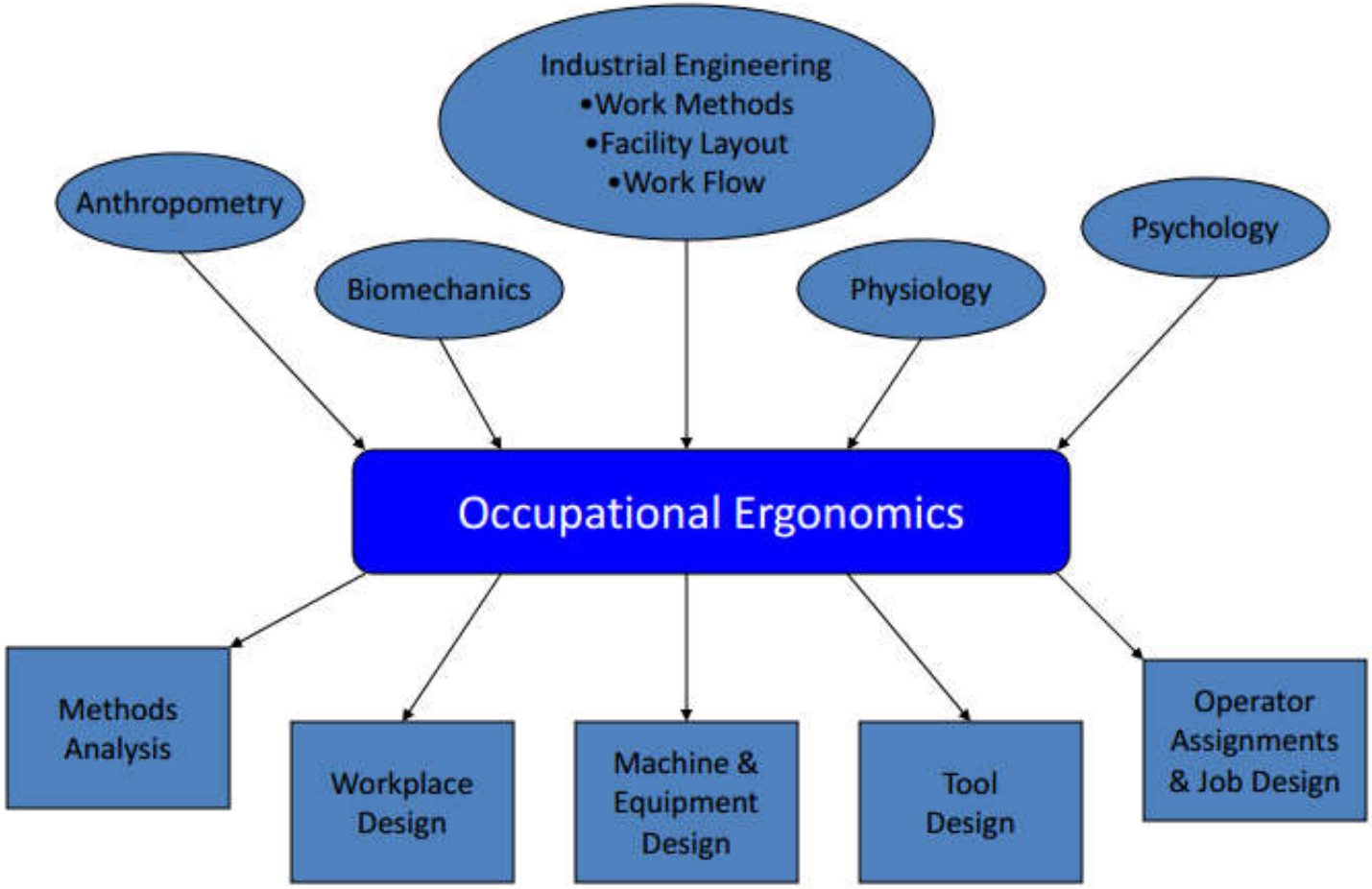
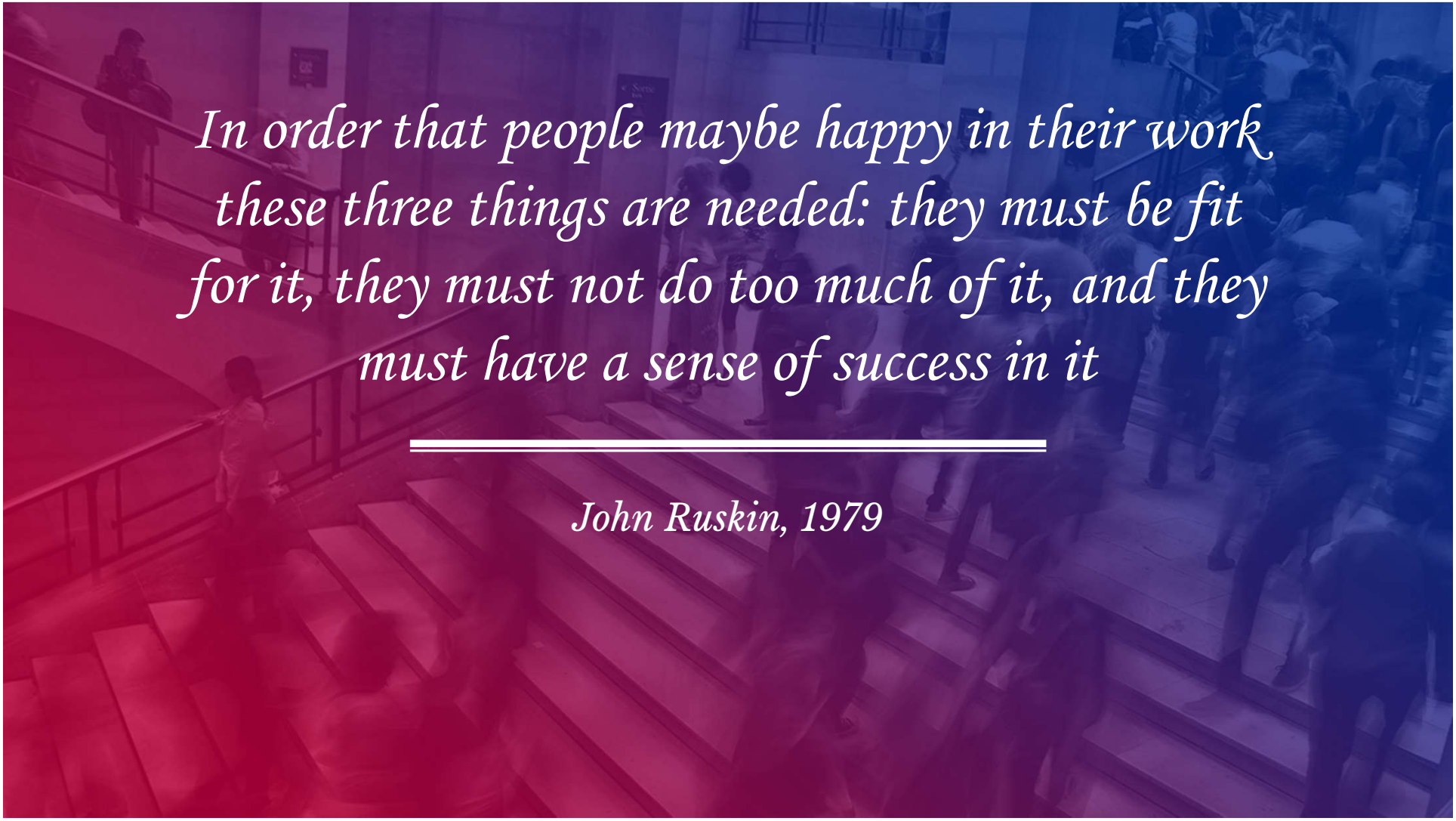
Pengukuran Energi Fisik

Sebagai Tolok Ukur Perbaikan Tata Cara Kerja

(FISIOLOGI KERJA)


Industrial Engineering
•Work Methods
•Facility Layout
•Work Flow
Anthropometry
Biomechanics
Physiology
Psychology
Occupational Ergonomics
Methods Analysis
Workplace Design
Machine & Equipment Design
Tool Design
Operator Assignments & Job Design


In order that people maybe happy in their work these three things are needed: they must be fit for it, they must not do too much of it, and they must have a sense of success in it

John Ruskin, 1979

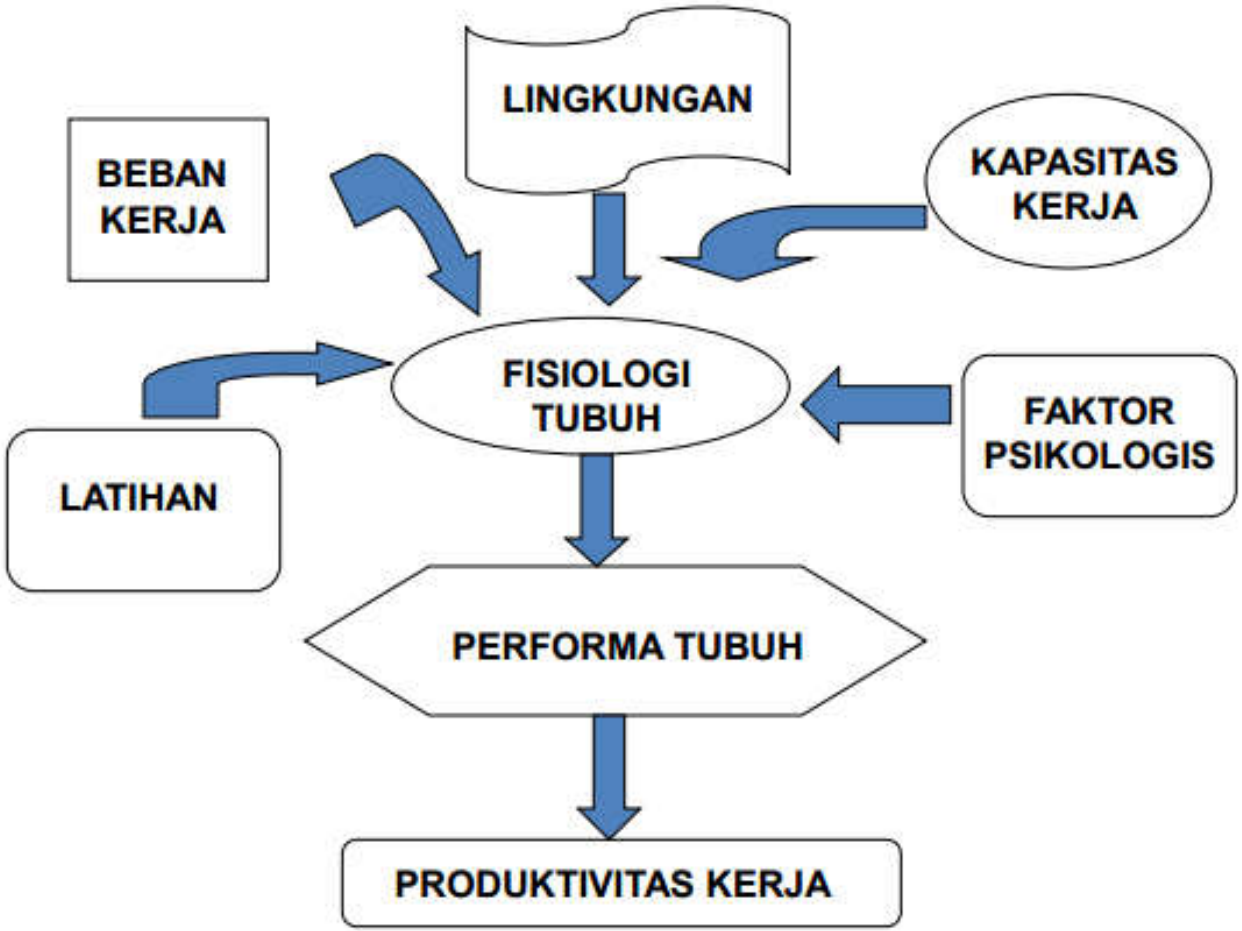
FISIOLOGI

Ilmu

Fungsi, mekanisme, dan cara kerja organ, jaringan, dan sel-sel organisme

Studi

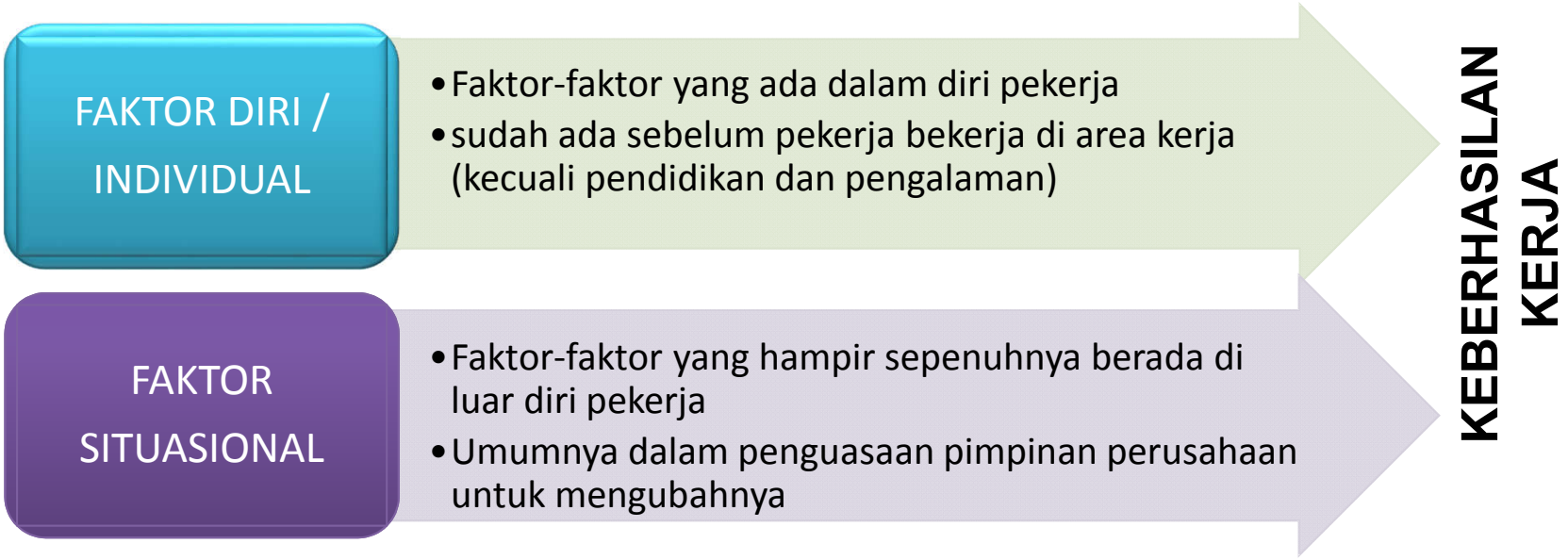
Kinerja dan kelelahan otot saat bekerja


LINGKUNGAN
BEBAN KERJA
KAPASITAS KERJA
FISIOLOGI TUBUH
LATIHAN
FAKTOR PSIKOLOGIS
PERFORMA TUBUH
PRODUKTIVITAS KERJA

LATAR BELAKANG

- *Manual Material Handling* dominan
- *Manual work → power → muscle*
- *Repetitive work*
- ***"Fitting The Task to The Man"***
- *Machine Power → Man Machine* System

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI "HASIL KERJA"

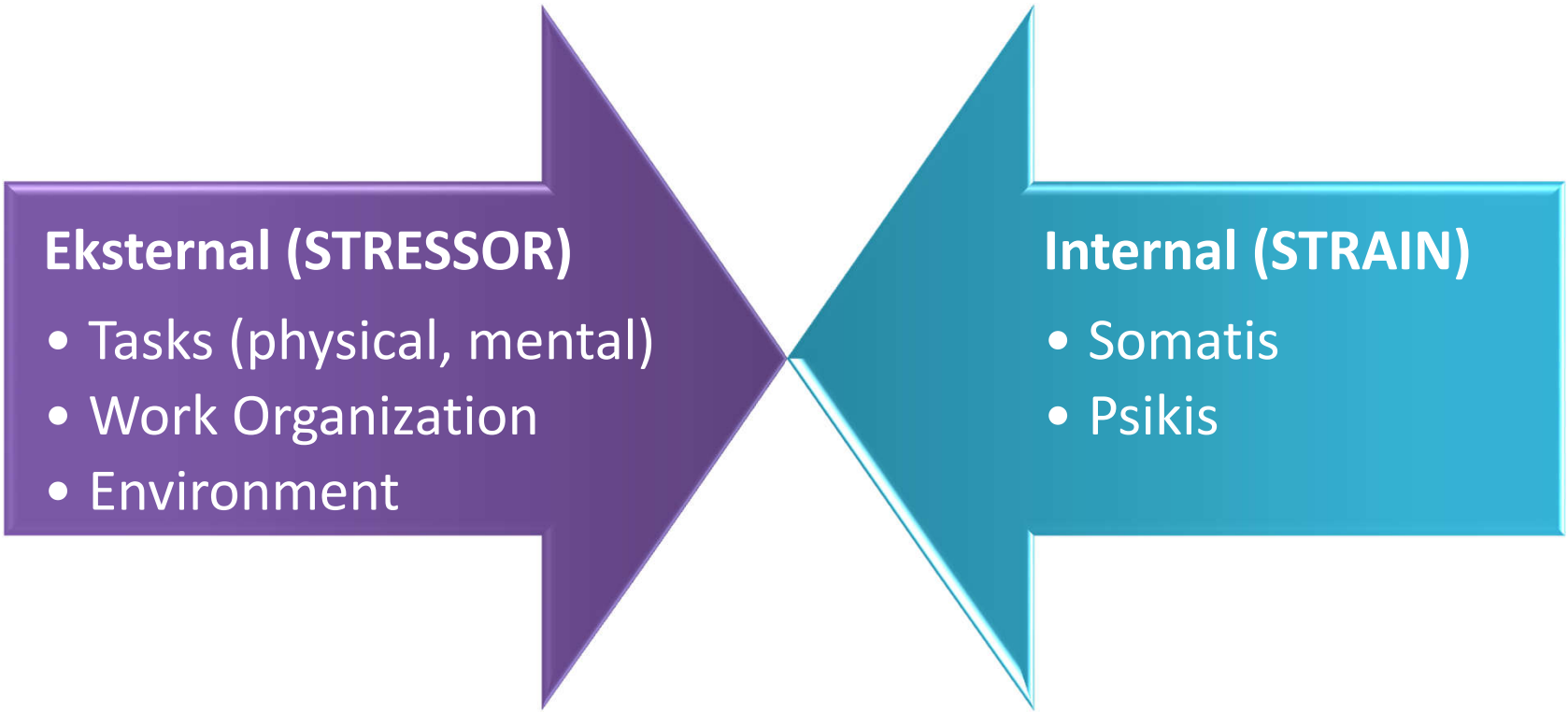


BEBAN KERJA

Menurut Permendagri No. 12/2008, beban kerja adalah besaran pekerjaan yang harus dipikul oleh suatu jabatan/unit organisasi dan merupakan hasil kali antara volume kerja dan norma waktu

Menurut Herrianto (2010) Beban kerja merupakan jumlah kegiatan yang harus diseesaikan oleh seseorang atau sekelompok orang selama periode waktu tertentu dalamkeadaan normal

Faktor yang Mempengaruhi Beban Kerja



Pengaruh Pekerjaan Terhadap Manusia dalam suatu Sistem Kerja

Menurut *Tiffin* :

- *Kriteria Faali* : kecepatan denyut jantung, konsumsi oksigen, tekanan darah, tingkat penguapan, temperatur, komposisi kimiawi dalam darah & air seni.
- *Kriteria Kejiwaan* : kejenuhan, emosi, motivasi, sikap,dll.
- *Kriteria Hasil Kerja* : output produk yang dihasilkan.

Stress pada daerah joint/sendi dan otot

Vertebra lumbale tidak menyokong dengan sempurna

GEJALA PERUBAHAN FISIK

- Heart rate
- Blood Pressure
- Body Temperature
- Sweating Rate
- Oxygen Consumption
- Latic Acid Content

“

DISKUSI

- *Beda Kerja Fisik & Mental ?*
- *Berikan contohnya ?*
- *Yang butuh energi lebih banyak Kerja Fisik atau Mental ?*

FISIOLOGI TUBUH

Secara kualitatif :	Secara kuantitatif :
• bekerja→aktivitas persarafan bertambah →otot menegang →peredaran darah ke organ yang bekerja meningkat →nafas lebih dalam →denyut jantung dan tekanan darah meningkat	• kerja fisik dan mental berbeda, dipengaruhi beban kerja

White collar worker

- Mengkonsumsi energi lebih sedikit
- Cognitive ergonomics

Blue collar worker

- Ditandai dengan perubahan :
  - Temperatur tubuh
  - Konsumsi oksigen
  - Detak jantung
  - Senyawa kimia

KERJA FISIK

- Kerja fisik adalah kerja yang memerlukan energi fisik otot manusia sebagai sumber tenaganya dan konsumsi energi merupakan faktor utama yang dijadikan tolok ukur penentu berat atau ringannya suatu pekerjaan.

KELOMPOK KERJA FISIK
(Davis & Miller)

- Kerja total seluruh tubuh
  - Mempergunakan sebagian besar otot
  - Melibatkan dua pertiga atau tiga perempat otot tubuh.
- Kerja sebagian otot
  - Membutuhkan lebih sedikit *energy expenditure* karena otot yang digunakan lebih sedikit.
- Kerja otot statis
  - Digunakan untuk menghasilkan gaya kontraksi otot.

PROSES METABOLISME

- Proses metabolisme menghasilkan panas & energi untuk kerja lewat sistem otot manusia.
- Unit/satuan yang digunakan :
  - 1 Kilokalori = 4.2 KJ
  - 1 Watt = 1 Joule / detik
  - 1 liter O2 = 4.8 Kcal = 20 KJ

Usia
Aktivitas Fisik
Jenis Kelamin
Hormon dan Obat-obatan
Laju Metabolisme Tubuh
Komposisi Tubuh
Demam
Iklim
Tidur
Gizi

PENGUKURAN KERJA FISIK

- Konsep Horse Power (*foot-pounds of work per minute)* oleh Taylor
- Tingkat konsumsi energi untuk mengukur pengeluaran energi
- Perubahan tingkat kerja jantung dan konsumsi oksigen

ENERGI KERJA

- *Kalori kerja ini menunjukkan tingkat ketegangan otot tubuh manusia dalam hubungannya dengan:*
  - Jenis kerja berat
  - Tingkat usaha kerjanya
  - Kebutuhan waktu untuk istirahat
  - Efisiensi dari berbagai jenis perkakas kerja
  - Produktivitas dari berbagai variasi cara kerja

BASAL METABOLISM RATE

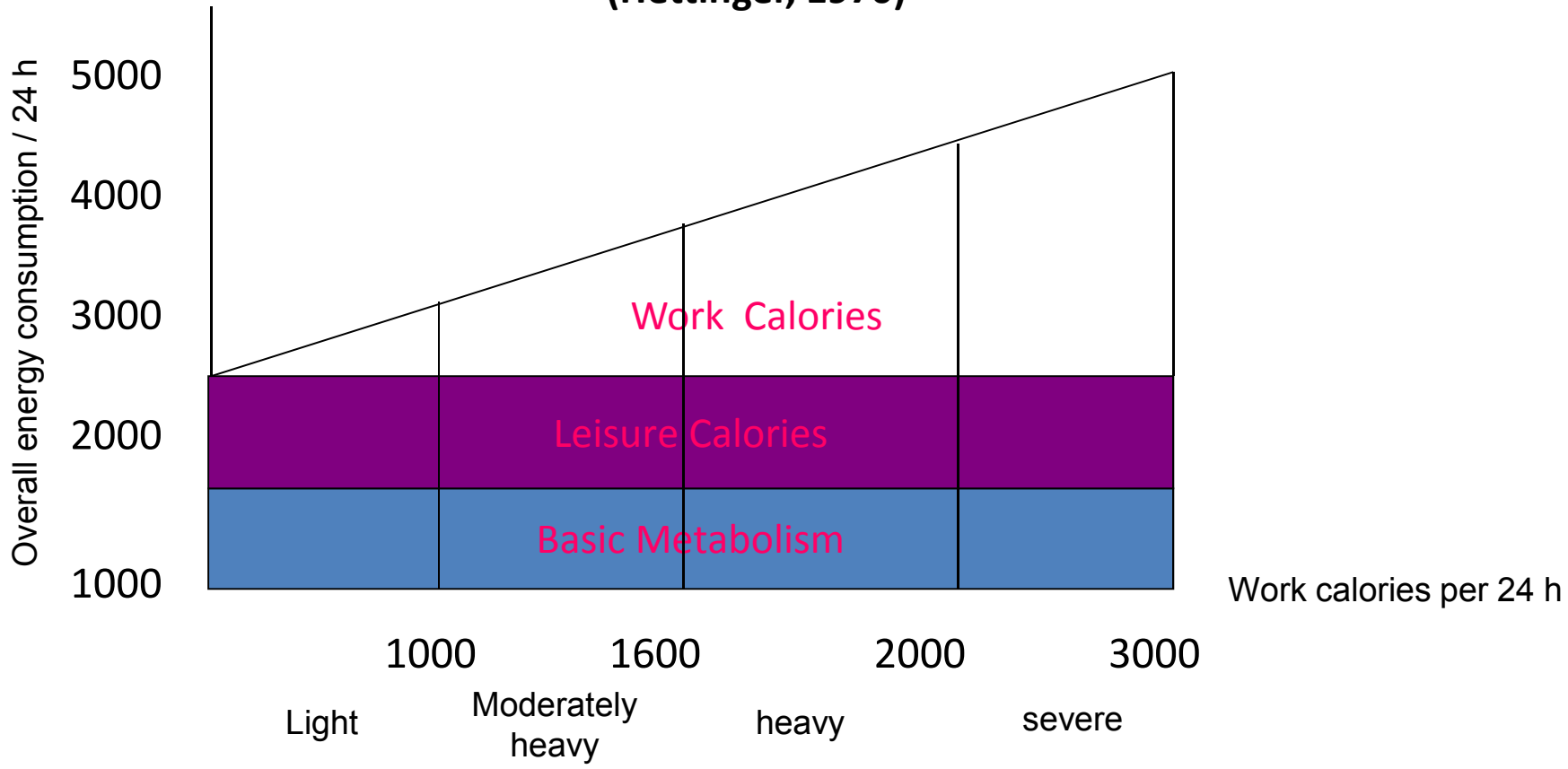
- Basal Metabolic Rate (BMR) = kecepatan konsumsi energi untuk mempertahankan hidup
- Setiap orang mempunyai BMR yang berbeda-beda, berdasarkan:
    - Usia, jenis kelamin, aktivitas fisik
    - BMR akan menurun sekitar 20% bila terjadi malnutrisi
    - Laki-laki dewasa berat 70 kg, BMR = 1,2Kkal/menit atau 1700Kkal/24 jam
    - Wanita dewasa berat 60 kg, BMR = 1 Kkal/menit atau 1450 Kkal/24 jam

MACAM KEBUTUHAN ENERGI

- **Konsumsi energi total terdiri atas :**
  - Metabolisme basal
  - Kalori untuk bersantai
  - Kalori untuk bekerja
- **Kebutuhan energi :**
  - ☞ Metabolisme dasar (tubuh sedang istirahat)
    - ☞ 25 kalori/kg berat badan (wanita)
    - ☞ 30 kalori/kg berat badan (pria)
  - ☞ **Aktivitas ringan = (1+0.5) metabolisme dasar/kg berat badan**
  - ☞ **Aktivitas berat = (1+1) metabolisme dasar/kg berat badan**

KEBUTUHAN ENERGI TOTAL

(Hettinger, 1970)



1 KEBUTUHAN KALORI

- Hitung Indeks Massa Tubuh (IMT)

  IMT = berat badan (kg)/ [tinggi (m)]^2
- Tentukan BB ideal dengan klasifikasi IMT

  BB kurang : < 18,5
  BB normal : 18,5 - 22,9
  BB lebih : >= 23,0
  BB lebih dengan risiko: 23,0 - 24,9
  Obes I: 25,0 - 29,9
  Obes II: >= 30
- Hitung Kebutuhan Kalori

1 KEBUTUHAN KALORI

- **Hitung Kebutuhan Kalori**

KALORI BASAL

Laki-laki	: BB (kg) x 30 kalori/kg	= ..... kalori
Wanita	: BB (kg) x 25 kalori/kg	

KOREKSI/PENYESUAIAN

Umur > 40 tahun	**: minus (-) 5% x kalori basal**		= - ..... kalori
Aktivitas ringan	**: plus**	**(+) 10% x kalori basal**	= + ... kalori
sedang	:	(+) 20%	
berat	:	(+) 30%	
BB gemuk	**:**	**(-) 20% x kalori basal**	= -/+ ... kalori
lebih	:	(-) 10%	
kurang :	(+) 20%		
Stres metabolik**	**(+) 10-30%xkalori basal**		= + ... kalori
Hamil trimester I&II			= + 300 kalori
Hamil trimester III/laktasi			= + 500 kalori

TOTAL KEBUTUHAN = ... kalori

**stres metabolik berupa infeksi, operasi, dll

CONTOH CASE STUDY 1

Seorang pekerja wanita berusia 25 tahun dan mempunyai berat badan 48 kg dan melakukan pekerjaan ringan. Berapa kalori untuk pekerja tersebut ?

Kebutuhan kalori = 25 x 1.5 x 48 = 1800 kal

1 KEBUTUHAN KALORI – JENIS AKTIVITAS

- SECARA TIDAK LANGSUNG : MENGUKUR KEBUTUHAN O_2
- 1 LITER O_2 = 4,8 KAL (SUMA'MUR,1982)

PENILAIAN BEBAN KERJA BERDASAR JUMLAH KEBUTUHAN KALORI (KEPMENAKER NO.: 51/MEN/1999)

BEBAN KERJA	KEBUTUHAN KALORI (KAL/JAM)
RINGAN	100-200
SEDANG	>200-350
BERAT	>350-500

1 KEBUTUHAN KALORI – JENIS AKTIVITAS

KEBUTUHAN KALORI PER JAM MENURUT JENIS AKTIFITAS

NO	JENIS AKTIFITAS	KKAL/JAM/KGBB
1	TIDUR	0,98
2	DUDUK (ISTIRAHAT)	1,43
3.	MEMBACA (INTONASI KERAS)	1,50
4.	BERDIRI (TENANG)	1,50
5.	MENJAHIT (TANGAN)	1,59

1 KEBUTUHAN KALORI – JENIS AKTIVITAS

KEBUTUHAN KALORI PER JAM MENURUT JENIS AKTIFITAS

NO	JENIS AKTIFITAS	KKAL/JAM/KGBB
6.	BERDIRI (KONSENTRSI THD SUATU OBYEK)	1,63
7.	BERPAKAIAN	1,69
8.	MENYANYI	1,74
9	MENJAHIT DG MESIN	1,93
10	MENGETIK	2,00
11	MENYETRIKA(BERAT SETRIKA 2,5 KG)	2,06

1 KEBUTUHAN KALORI – JENIS AKTIVITAS

KEBUTUHAN KALORI PER JAM MENURUT JENIS AKTIFITAS

NO	JENIS AKTIFITAS	KKAL/JAM/KGBB
11	MENYETRIKA(BERAT SETRIKA 2,5 KG)	2,06
12	MENCUCI PERALATAN DAPUR	2,06
13	MENYAPU LANTAI (KECEPATAN 38 KAL/MENIT)	2,41
14	MENJILID BUKU	2,43
15	LATIHAN RINGAN	2,43
16	JALAN RINGAN KECEPATAN 3,9 KM/JAM	2,86

1 KEBUTUHAN KALORI – JENIS AKTIVITAS

KEBUTUHAN KALORI PER JAM MENURUT JENIS AKTIFITAS

NO	JENIS AKTIFITAS	KKAL/JAM/KGBB
17	PEKERJAAN KAYU, LOGAM, PENGECATAN DI INDUSTRI	3,43
18	LATIHAN SEDANG	4,14
19	JALAN AGAK CEPAT (5,6 KM/JAM)	4,28
20	JALAN TURUN TANGGA	5,20
21	PEKERJAAN TUKANG BATU	5,71
22	LATIHAN BERAT	6,43

1 KEBUTUHAN KALORI – JENIS AKTIVITAS

KEBUTUHAN KALORI PER JAM MENURUT JENIS AKTIFITAS

NO	JENIS AKTIFITAS	KKAL/JAM/KGBB
23	MENGGERGAJI KAYU (MANUAL)	6,86
24	BERENANG	7,14
25	LARI (8 KM/JAM)	8,14
26	LATIHAN SANGAT BERAT	8,57
27	BERJALAN SANGAT CEPAT (8 KM/JAM)	9,28
28	JALAN NAIK TANGGA	15,80

CONTOH CASE STUDY 2

SEORANG LAKI-LAKI DENGAN BERAT BADAN 70 KG , BEKERJA MENGGERGAJI KAYU (MANUAL). IA BEKERJA DIBAWAH TERIK MATAHARI.TERMASUK KATEGORI BEBAN KERJA YG MANAKAH BEBAN KERJA YG IA LAKUKAN?

JAWAB:

KEBUTUHAN KALORI PER JAM= 70 X 6,86 = 480,2 KKAL/JAM

→ BEBAN KERJA BERAT (>350-500 KKAL/JAM)

(HANYA MENGGABARKAN BEBAN UTAMA)

2 KONSUMSI ENERGI

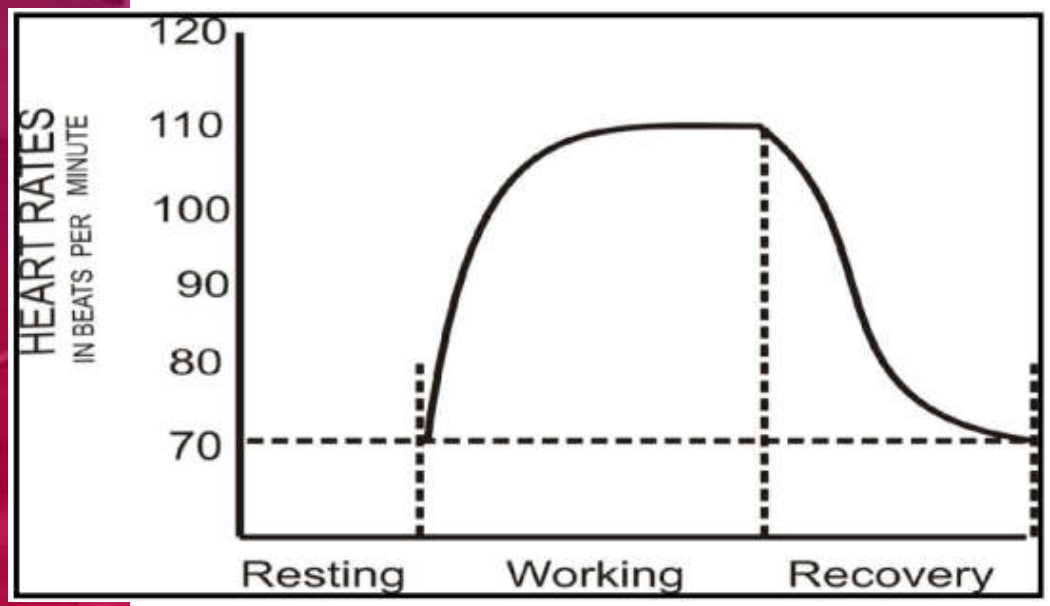
Secara Langsung

- mengukur energy expenditure melalui asupan energi selama bekerja

Secara Tidak Langsung

- menghitung denyut nadi (laju detak jantung) selama bekerja

2 KONSUMSI ENERGI – DENYUT JANTUNG



- Kondisi normal/ istirahat, laju detak jantung manusia berkisar diantara 70 bit/menit
- Kondisi bekerja, rata-rata laju detak jantung mengalami kenaikan menjadi sekitar 110 bit/menit

2 KONSUMSI ENERGI – LAJU DETAK JANTUNG

- Denyut nadi pada saat istirahat (*resting pulse*) adalah rata-rata denyut nadi sebelum pekerjaan dimulai
- Denyut nadi selama bekerja (*working pulse*) adalah rata-rata denyut nadi selama seseorang bekerja
- Denyut nadi untuk kerja (*work pulse*) adalah selisih antara denyut nadi selama bekerja dan selama istirahat
- Denyut nadi selama istirahat total (*total recovery cost*) adalah jumlah aljabar denyut nadi dari berhentinya denyut pada saat suatu pekerjaan selesai dikerjakan sampai dengan denyut berada pada kondisi istirahat
- Denyut kerja total (*total work or cardiac cost*) adalah jumlah denyut jantung dari mulainya suatu pekerjaan sampai dengan denyut berada pada kondisi istirahatnya (resting level)

2 KONSUMSI ENERGI – LAJU DETAK JANTUNG

- Pengukuran
  - Alat ukur: cardio tachometer dan pulse meter
  - Manual dg meraba denyutan pada arteri radialis

$$\text{Denyut Nadi (Denyut/Menit)} = \frac{10\ \text{Denyut}}{\text{Waktu Penghitungan}} \times 60$$

2 KONSUMSI ENERGI – LAJU DETAK JANTUNG

- **DENYUT NADI MAKSIMUM (Max Heart Rate)**
  - Menurut Astrand & Rodahl (1986)

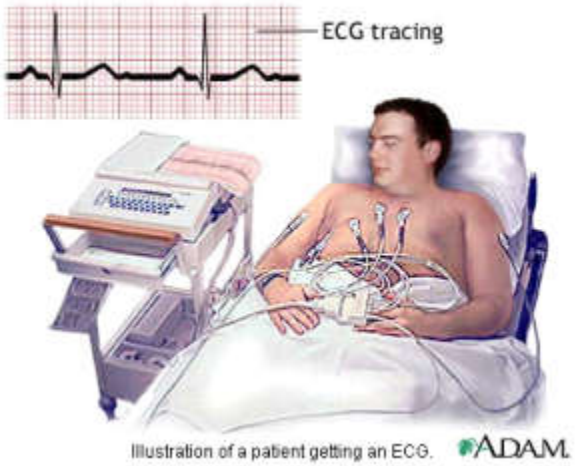
    Max. Heart Rate = 200 – (0.65 x usia)

  - Menurut Cooper dll (1975)

    Max Heart Rate = 220 - usia

  - Menurut Tarwaka (2004)
    - **LAKI-LAKI = 220 – Usia**
    - **PEREMPUAN = 200 – usia**

- Usia (dalam tahun)



CASE STUDY 3

Seorang pekerja wanita berusia 25 tahun dan mempunyai berat badan 48 kg dan melakukan pekerjaan ringan. Berapa denyut nadi maksimal untuk pekerja tersebut menurut Astrand & Rodahl?

DNM = 200 – (0.65 x 25) = 184 denyut / menit

2 KONSUMSI ENERGI – ENERGI EXPENDITURE

- Persamaan Konsumsi Energi

  a. **Persamaan Garg, 1976**: untuk estimasi pengeluaran energi pada pekerjaan pengangkatan beban

- Angkatan membungkuk (*stoop lift*)
  E = 0,0109 BW (0,0012 BW + 0,0052 L + 0,0028 S x L)f

- Angkatan Jongkok (*squat lift*)
  E = 0,0109 BW + (0,0019 BW + 0,0081 L + 0,0023 S x L)f

- Angkatan dengan tangan (*arm lift*)
  E = 0,0109 BW + (0,0002 BW + 0,0103 L – 0,0017 S x L)f

Notasi:
E = pengeluaran energi (Kkal/menit
BW= Berat badan (lbs)
L =Berat angkatan
S =Jenis kelamin (pria 1, wanita 0)
F =frekuensi angkatan (angkatan/menit)

2 KONSUMSI ENERGI – ENERGI EXPENDITURE

- Persamaan Konsumsi Energi

  b. Persamaan Astuti, 1985: menghitung energy expenditure

$$Y = 1{,}80411 - 0{,}0229038X + 4{,}71733.10^{-4}X^2$$

dengan :

- Y = energi expenditure (Kkal/menit)
- X = kecepatan denyut jantung/menit

2 KONSUMSI ENERGI

- Persamaan Konsumsi Energi

  Setelah kecepatan denyut jantung dikonversikan ke energi, maka pengeluaran energi untuk kerja tertentu dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$KE = Et - Ei$$

Notasi:
KE = Konsumsi energi (Kkal)
Et = Pengeluaran energi setelah kerja (Kkal)
Ei = Pengeluaran energi saat istirahat (Kkal)

Penerapan Konsumsi Energi

- Perancangan kerja untuk pemindahan beban variabel ysng ditinjau berat beban yang diangkat.
- Perancangan produk yang mengaplikasikan energi yang dikonsumsi pekerja.

Kriteria pekerjaan berdasar konsumsi oksigen, denyut jantung, & energy expenditure

Tingkat Pekerjaan	Energy Expenditure		Detak Jantung	Konsumsi Energi
	Kkal / menit	Kkal / 8jam	Detak / menit	Liter / menit
Undully Heavy	>12.5	>6000	>175	>2.5
Very Heavy	10.0 – 12.5	4800 – 6000	150 – 175	2.0 – 2.5
Heavy	7.5 – 10.0	3600 – 4800	125 – 150	1.5 –2.0
Moderate	5.0 – 7.5	2400 – 3600	100 – 125	1.0 – 1.5
Light	2.5 – 5.0	1200 – 2400	60 – 100	0.5 – 1.0
Very Light	< 2.5	< 1200	< 60	< 0.5

CASE STUDY 4

Seorang pekerja beraktivitas mengangkat beras beratnya 50 Kg. Denyut jantung sebelum bekerja adalah 90 pulse , setelah bekerja 130 pulse. Hitunglah konsumsi energi pekerja berdasarkan persamaan astuti!

$Y_0 = 1.80411 - (0.0229038 \times 90) + 4.71733.10^{-4} \times (90)^2$
$= 3.56805$ kkal/menit

$Y_1 = 1.80411 - (0.0229038 \times 130) + 4.71733.10^{-4} \times (130)^2$
$= 6.798904$ kkal/menit

$KE = Y_1 - Y_0 = 6.798904 - 3.56805$
$= 3.235098$ kkal/menit

3 PERHITUNGAN BEBAN KERJA KARDIOVASKULER

- Manuaba & Vanwonteerghem (1996) menentukan klasifikasi beban kerja berdasarkan peningkatan denyut jantung:

$$\%\ CVL = \frac{100 \times (Denyut\ nadi\ kerja - Denyut\ nadi\ istirahat)}{Denyut\ nadi\ maksimum - Denyut\ nadi\ istirahat}$$

% CVL	Klasifikasi % CVL
< 30%	Tidak terjadi kelelahan
30 % - 60 %	Diperlukan perbaikan
60 % - 80 %	Kerja dalam waktu singkat
80 % - 100 %	Diperlukan tindakan segera
>100 %	Tidak diperbolehkan beraktivitas

KELELAHAN (FATIGUE)

- Kelelahan : kondisi menurunnya efisiensi, performa kerja, dan berkurangnya kekuatan atau ketahanan fisik tubuh untuk melanjutkan kegiatan yang harus dilakukan
- Kelelahan: mekanisme perlindungan agar tubuh terhindar dari kerusakan lebih lanjut, sehingga akan terjadi pemulihan
- Kelelahan pada syaraf dan otot sehingga tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya
- Kelelahan pada mental sehingga tidak dapat memusatkan pikiran
- Dampak: penurunan kinerja yang berakibat pada kesalahan kerja, absence, keluar kerja, kecelakaan kerja, berpengaruh perilaku kerja

KELELAHAN (FATIGUE)

- Penyebab Kelelahan :
  - Keadaan monoton
  - Beban kerja dan lama pekerjaan (fisik/mental)
  - Keadaan lingkungan kerja
  - Keadaan kejiwaan
  - Penyakit dan keadaan gizi

KELELAHAN (FATIGUE)

- Kelelahan meliputi :
  1. I*ndustry fatique:* penurunan dalam performansi kerja

     Pengurangan dalam kecepatan dan kualitas output yang terjadi bila melewati suatu periode tertentu
  2. *Psikologis fatique:* pengurangan dalam kapasitas kerja

     perusakan otot atau ketidakseimbangan susunan saraf untuk memberikan stimulus
  3. *Functional fatique :* laporan-laporan subyektif dari pekerja berhubungan dengan perasaan gelisah dan bosan

KELELAHAN (FATIGUE)

- Jenis Kelelahan meliputi :
  1. Berdasarkan waktu terjadinya: kelelahan akut, kelelahan kronis
  2. Berdasarkan penyebab kelelahan: lelah visual, lelah fisik umum, lelah mental
  3. Berdasarkan proses dalam tubuh: lelah otot, kelelahan umm

PENGATURAN WAKTU KERJA DAN ISTIRAHAT

- Tujuan pemberian waktu istirahat :
  - Mencegah kelelahan→penurunan kemampuan fisik dan mental, hilangnya efisiensi kerja
  - Kesempatan tubuh untuk pemulihan dan penyegaran
  - Kesempatan untuk kontak sosial
- Macam istirahat
  - Istirahat spontan : istirahat pendek setelah pembebanan kerja
  - Istirahat curian : terjadi jika beban kerja tak dapat diimbangi oleh kemampuan kerja
  - Istirahat tergantung dari prosedur kerja
  - Istirahat yang ditetapkan atas peraturan perundangan
- Pengaturan jam kerja yang baik→minimalisasi istirahat spontan dan curian

Standar Energi untuk Kerja

- Murrel (1965), tubuh masih punya cadangan 25kcal sebelum muncul asam laktat
- Maksimum energi yang dikonsumsi untuk melaksanakan kerja fisik berat secara terus menerus = 5,2 Kkal/menit
- Dapat pula dikonversikan dalam bentuk:
  - Konsumsi oksigen = 1,08 liter Oksigen/menit
  - Tenaga/Daya = 21,84 KJ/menit = 364 watt

4 PENGUKURAN WAKTU KERJA & PERIODE ISTIRAHAT

LAMANYA WAKTU KERJA(T_W)

$$Tw = \frac{25}{K - 5} menit$$

K= konsumsi energi selama pekerjaan berlangsung (kkal/mnt)

(K-5)= habisnya cadangan energi (kkal/mnt)

Tw= waktu kerja (working time), (menit)

LAMANYA WAKTU ISTIRAHAT (T_R)

$$TR = \frac{T(K - S)}{K - 1.5}$$

T= total waktu kerja (menit)

K= konsumsi energi rata-rata (kkal/menit)

S= pengeluaran energi rata-rata yang direkomendasikan (biasanya 4 atau 5 kkal/menit)

CASE STUDY 5

Suatu aktivitas kerja memerlukan energi rata-rata sebesar 5,2 Kcal/mnt selama periode 1 jam. Standart beban kerja normal = 4KCal/mnt. Berapa waktu istirahat yang diperlukan?

$$TR = \frac{T(K-S)}{K-1.5} = \frac{60(5.2-4)}{5.2-1.5} = 19.46 \text{ menit}$$