

ANTROPOMETRI & BIOMEKANIKA

Oleh: Tria Saras Pertiwi, S.KM., M.PH

A. ANTROPOMOTERI

1. Definsi & Teori

Antropometri berasal dari kata *anthro* yang berarti manusia dan *metri* yang berarti ukuran, sehingga antropometri dapat didefinisikan sebagai ilmu yang menyangkut pengukuran tubuh manusia khususnya dimensi tubuh dan aplikasi yang menyangkut geometri fisik, masa dan kekuatan tubuh manusia. Pengukuran antropometri berdasarkan posisi tubuh, terbagi atas Antropometri Statis, disini tubuh diukur dalam berbagai posisi *standart* dan tidak bergerak (tetap tegak sempurna). Istilah lain dari pengukuran tubuh dengan cara ini dikenal dengan pengukuran dimensi struktur tubuh (*structural body dimension*). Antropometri Dinamis (pengukuran dimensi fungsional tubuh) dalam pengukuran antropometri dinamis dilakukan terhadap posisi tubuh pada saat berfungsi melakukan gerakan-gerakan tertentu yang berkaitan dengan kegiatan yang harus diselesaikan.

Dari segi etimologi, antropometri adalah pengukuran manusia. Dari segi etimologi ini sama sekali tidak disebut bahwa pengukuran yang dimaksud apakah terbatas pada pengukuran fisik atau tidak. Tapi entah mengapa berbagai sumber saat ini terkesan mendefinisikan bahwa antropometri terbatas hanya pada pengukuran dimensi fisik (seperti dimensi panjang tangan dsb) atau fisiologi (seperti berat badan, kekuatan jari, dsb) sehingga seperti telah terjadi penyempitan makna. Memang tidak bisa dipungkiri bahwa sejarah awal dimulainya antropometri adalah pada pengukuran fisik tubuh manusia. Tapi jika memang terbatas pada fisik mengapa namanya tidak yang bermakna “pengukuran fisik” mungkin seperti antropodimetri atau antropofisikmetri.

Seperti telah disebutkan antropometri bermakna “pengukuran manusia”. Manusia itu terdiri dari banyak atribut dan secara umum bisa dibagi menjadi dua jenis yakni atribut fisik dan non fisik. Jadi “pengukuran manusia” seharusnya bermakna “pengukuran atribut-atribut manusia secara keseluruhan baik secara fisik maupun non fisik”. Jadi jelas seharusnya tidak hanya sebatas fisik. Lalu apa itu pengukuran non fisik manusia? Pengukuran non fisik manusia itu merupakan pengukuran kognitif atau psikologi manusia. Namun, bukannya sudah ada pengukuran yang seperti itu? Ya, memang sudah ada, nama pengukuran tersebut adalah psikometri. Psikometri adalah bidang yang berkaitan dengan teori dan teknik dalam pengukuran pendidikan dan psikologis, mencakup pengukuran pengetahuan, kemampuan, sikap, dan sifat kepribadian manusia termasuk juga dalam psikologi terdapat pengukuran kognitif (yang satu ini jelas tidak asing bagi ergonom). Jadi

secara kasar bisa disebut bahwa **psikometri adalah antropometri yang non fisik**.

Sangat jarang sumber yang menyebutkan bahwa psikometri apakah merupakan bagian dari antropometri atau tidak. Bahkan yang mengaitkan psikometri dan antropometri pun masih belum banyak. Beberapa studi yang sudah mengaitkan kedua hal tersebut antara lain membahas keterkaitan pengaruh fisik manusia (antropometri dalam arti sempit) terhadap perilaku manusia (psikometri).

Ergonomi memiliki prinsip “*fit the job to the man*” yang berarti menyesuaikan kerja dengan manusia yang bekerja. Ergonomi berperan dalam desain atau redesain suatu sistem kerja (bisa berupa alat kerja, produk, dsb bahkan sampai keseluruhan sistem kerja) agar sesuai dengan keterbatasan, kebutuhan, kelebihan, kekurangan, atau atribut yang melekat pada manusia atau antropometri.

Pada awalnya ergonomi berkembang dalam ranah fisik dan antropometri yang lebih dikenal yaitu antropometri fisik. Namun, karena teknologi dan zaman berkembang dengan dinamis dan semakin kompleks maka ergonomi juga bergerak kearah non fisik sehingga antropometri non fisik (psikometri atau sejenisnya) pun digunakan untuk mendesain sistem kerja yang ergonomis. Namun lagi-lagi tetap perlu diakui bahwa aplikasi ergonomi di industri memang mayoritas berada pada ranah ergonomi fisik. Jadi bisa dimaklumi kalau antropometri yang lebih dikenal merupakan antropometri fisik.

Jika antropometri menyangkut seluruh aspek atau atribut manusia (tidak hanya fisik) dan atribut manusia itu merupakan simbol dari keterbatasan, kebutuhan, kelebihan, kekurangan, karakteristik (atau apa saja sebutannya) dari manusia dan keterbatasan, kebutuhan, kelebihan, kekurangan, karakteristik dari manusia itu merupakan *human factors* (faktor manusia), jadi antropometri mungkin merupakan perwujudan dari pengukuran atau parameter dari human factors tersebut.

Manusia pada dasarnya akan memiliki bentuk, ukuran (tinggi, lebar, dsb) berat dan lain-lain yang berbeda satu dengan yang lainnya. Antropometri secara luas akan digunakan sebagai pertimbangan-pertimbangan ergonomis dalam memerlukan interaksi manusia. Data antropometri yang berhasil diperoleh akan diaplikasikan secara luas antara lain dalam hal:

- a. Perancangan areal kerja (workd station), interior, mobil, dsb)
- b. Perancangan peralatan kerja seperti mesin, equipment, perkakas (tools) dan sebagainya
- c. Perancangan produk-produk konsumtif seperti pakaian, kursi, meja, computer, dll.

d. Perancangan lingkungan kerja fisik

Dalam setiap produk pada umumnya agak kurang memperhatikan dimensi yang dipakai pada alat yang tersebut. Sering terjadi ketidaknyamanan setelah memakai alat yang digunakan oleh masyarakat umum. Desain ulang produk yang mengalami masalah tersebut adalah sebuah langkah perbaikan agar mendapatkan kondisi alat yang sesuai dengan pemakaian pada ukuran *standart* yang ada.

Produk yang akan didesain ulang yaitu pintu rumah. Diantara produk tersebut sering dijumpai ketidaknyamanan yang dirasakan oleh pemakai. Diharapkan dengan desain ulang produk ini akan menjadi lebih baik dan mampu memberikan kenyamanan pada pemakai.

Antropometri adalah ilmu yang mempelajari tentang bentuk dan ukuran tubuh manusia. Data antropometri digunakan untuk berbagai keperluan seperti perancangan lingkungan kerja (*workplaces*), fasilitas kerja, dan lain-lain agar diperoleh ukuran-ukuran yang sesuai dan layak dengan dimensi ukuran anggota tubuh manusia yang akan menggunakannya. Hal ini dilakukan agar tercapai suatu kondisi yang enak, nyaman, aman, dan sehat bagi manusia dan tentunya juga dapat menciptakan kondisi kerja yang efisien dengan hasil yang efektif atau dengan kata lain adalah untuk mencapai keadaan yang ergonomis. Antropometri secara lebih luas digunakan sebagai pertimbangan ergonomis dalam proses perencanaan produk maupun sistem kerja yang memerlukan interaksi manusia. Data antropometri yang berhasil diperoleh akan diaplikasikan secara lebih luas antara lain dalam hal perancangan areal kerja (*work station*), perancangan alat kerja dan perancangan lingkungan fisik.

Berdasarkan hal tersebut maka dapat disimpulkan bahwa data antropometri akan menentukan bentuk, ukuran, dan dimensi yang tepat berkaitan dengan produk yang akan dirancang sesuai dengan manusia yang akan mengoperasikan atau menggunakan produk tersebut. Dalam kaitan ini maka perancangan produk harus mampu mengakomodasikan dimensi tubuh dari populasi terbesar yang akan menggunakan produk hasil rancangannya tersebut. Secara umum sekurang-kurangnya 90% : 95% dari populasi yang menjadi target dalam kelompok pemakai suatu produk haruslah mampu menggunakan dengan selayaknya. Dalam beberapa kasus tertentu ada beberapa produk, sebagai contoh kursi mobil yang dirancang secara fleksibel, dapat digerakkan menciptakan posisi yang nyaman. Rancangan produk yang dapat diatur secara fleksibel jelas mampu dioperasikan oleh setiap orang meskipun ukuran tubuh mereka akan berbeda-beda. Pada dasarnya peralatan kerja yang dibuat dengan mengambil referensi dimensi tubuh tertentu jarang sekali bisa mengakomodasikan seluruh *range* ukuran tubuh dari populasi yang akan memakainya. Kemampuan penyesuaian (*adjustability*) suatu produk merupakan suatu prasyarat yang amat penting

dalam proses perancangannya; terutama untuk produk-produk yang berorientasi ekspor.

Ada 3 filosofi dasar untuk desain yang digunakan oleh ahli-ahli ergonomi sebagai data antropometri untuk diaplikasikan.

- a. Desain untuk Ekstrim, yang berarti bahwa untuk desain tempat atau lingkungan kerja tertentu seharusnya menggunakan data antropometri individu ekstrim. Contoh: penetapan ukuran minimal dari lebar dan tinggi dari pintu darurat.
- b. Desain untuk penyesuaian, desainer seharusnya merancang dimensi peralatan atau fasilitas tertentu yang bisa disesuaikan dengan pengguna (*users*). Contoh: perancangan kursi mobil yang letaknya bisa digeser maju atau mundur, dan sudut sandarannya pun bisa diubah.
- c. Desain untuk rata-rata, desainer dapat menggunakan nilai antropometri rata-rata dalam mendesain dimensi fasilitas tertentu. Contoh: desain fasilitas umum seperti toilet umum, kursi tunggu, dan lain- lain.

Untuk mendapatkan suatu perancangan yang optimum dari suatu ruang dan fasilitas, maka faktor-faktor seperti panjang dari suatu dimensi tubuh baik dalam posisi statis maupun dinamis harus diperhatikan. Hal lain yang perlu diamati adalah berat dan pusat massa (*centre of gravity*) dari suatu segmen/bagian tubuh, bentuk tubuh, jarak untuk pergerakan melingkar (*angular motion*) dari tangan dan kaki, dan sebagainya.

Selain itu, harus didapatkan pula data-data yang sesuai dengan tubuh manusia. Pengukuran tersebut adalah relatif mudah untuk didapat jika diaplikasikan pada data perseorangan. Namun, semakin banyak jumlah manusia yang diukur dimensi tubuhnya, maka semakin terlihat besar variasi antara satu tubuh dengan tubuh lainnya baik secara keseluruhan tubuh maupun persegmennya.

Secara umum antropometri dibagi atas dua bagian, yaitu:

a. Antropometri statis

Antropometri statis di mana pengukuran dilakukan pada tubuh manusia yang berada dalam posisi diam. Dimensi yang diukur pada Antropometri statis diambil secara linier (lurus) dan dilakukan pada permukaan tubuh. Agar hasil pengukuran representatif, maka pengukuran harus dilakukan dengan metode tertentu terhadap berbagai individu, dan tubuh harus dalam keadaan diam.

b. Antropometri dinamis

Antropometri dinamis di mana dimensi tubuh diukur dalam berbagai posisi tubuh yang sedang bergerak, sehingga lebih kompleks dan lebih sulit diukur.

Terdapat tiga kelas pengukuran dinamis, yaitu:

- 1) Pengukuran tingkat ketrampilan sebagai pendekatan untuk mengerti keadaan mekanis dari suatu aktivitas.

Contoh: dalam mempelajari performa atlet.

- 2) Pengukuran jangkauan ruangan yang dibutuhkan saat kerja.

Contoh: Jangkauan dari gerakan tangan dan kaki efektif saat bekerja yang dilakukan dengan berdiri atau duduk.

- 3) Pengukuran variabilitas kerja.

Contoh: Analisis kinematika dan kemampuan jari-jari tangan dari seorang juru ketik atau operator komputer.

Faktor-faktor yang mempengaruhi variasi dimensi tubuh manusia, diantaranya:

a. Usia

Ukuran tubuh manusia (stature) akan berkembang dari saat lahir sampai kira-kira berumur 20-25 tahun dan mulai menurun setelah usia 35-40 tahun. Bahkan, untuk wanita kemungkinan penyusutannya lebih besar. Sementara untuk berat dan *circumference chest* akan berkembang sampai usia 60 tahun.

b. Jenis Kelamin

Pada umumnya pria memiliki dimensi tubuh yang lebih besar kecuali dada dan pinggul.

c. Suku Bangsa (Etnis) dan Ras

Ukuran tubuh dan proporsi manusia yang berbeda etnis dan ras mempunyai perbedaan yang signifikan. Orang kulit hitam cenderung mempunyai lengan dan kaki yang lebih panjang dibandingkan orang kulit putih.

d. Pekerjaan

Aktivitas kerja sehari-hari juga menyebabkan perbedaan ukuran tubuh manusia. Pemain basket profesional biasanya lebih tinggi dari orang biasa. Pemain balet biasanya lebih kurus dibanding rata-rata orang.

Selain faktor-faktor di atas, masih ada beberapa **kondisi tertentu (khusus) yang dapat mempengaruhi variabilitas ukuran dimensi tubuh manusia** yang juga perlu mendapat perhatian, seperti:

- a. Cacat tubuh.
Data antropometri akan diperlukan untuk perancangan produk bagi orang-orang cacat.
- b. Faktor iklim
Faktor iklim yang berbeda akan memberikan variasi yang berbeda pula dalam bentuk rancangan dan spesifikasi pakaian. Artinya, dimensi orang pun akan berbeda dalam satu tempat dengan tempat yang lain.
- c. Kehamilan (*pregnancy*)
Kondisi semacam ini jelas akan mempengaruhi bentuk dan ukuran dimensi tubuh (untuk perempuan) dan tentu saja memerlukan perhatian khusus terhadap produk-produk yang dirancang bagi segmentasi seperti itu.

2. Prinsip & Variabel Pengukuran Antropometri

Ada dua jenis pengukuran antropometri yakni **pengukuran secara konvensional dan digital**. Pengukuran secara konvensional atau pengukuran langsung membutuhkan beberapa instrumen atau alat seperti kursi antropometri, meteran, timbangan badan, pengukur tinggi tubuh, jangka sorong, dan sebagainya tergantung kebutuhan. Sedangkan pengukuran secara digital menggunakan teknologi pengolahan citra digital. Kelebihan pengukuran secara langsung adalah alat lebih mudah ditemui dan murah sehingga untuk memulainya tidak memerlukan biaya yang besar serta mudah diterapkan. Kelemahan pengukuran secara langsung adalah membutuhkan waktu yang lama, lebih membutuhkan banyak tenaga, dan sulit untuk melakukan pengukuran antropometri dalam jumlah besar. Sedangkan pengukuran digital secara umum tidak banyak memakan waktu dan tenaga, cocok untuk melakukan pengukuran antropometri dalam jumlah besar, mengeliminasi kontak langsung dengan subjek ukur sehingga dislokasi dan deformasi jaringan yang lunak pada tubuh dapat dihindari. Namun untuk memulai pengukuran digital memerlukan biaya yang cukup besar karena melibatkan teknologi hardware dan software komputer, serta memerlukan pelatihan khusus.

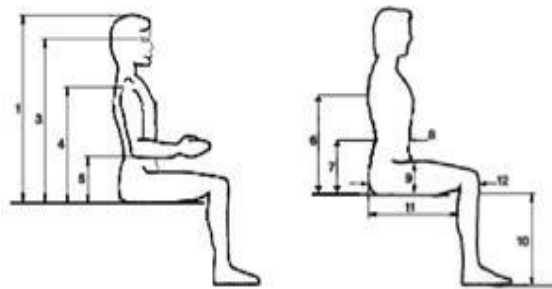
Berdasarkan ISO/TC 159 (ISO 15534 dan ISO 9241), pengambilan data ukuran tubuh manusia (antropometri) yang dilakukan dengan metode pengukuran statis idealnya memenuhi kondisi-kondisi sebagai berikut:

- a. Subjek yang diukur dalam kondisi telanjang (*nude person*).
- b. Pengukuran dilakukan dengan tidak memperhatikan (mengabaikan) gerakan tubuh, pakaian yang dikenakan, peralatan yang dipakai/dibawa, kondisi pengoperasian mesin atau fasilitas kerja dan kondisi lingkungan kerja.

Salah satu kumpulan variabel antropometri yang banyak dikenal di Indonesia mengacu pada variabel yang terdapat di buku Nurmianto (1996) dengan total 60 variabel antropometri meliputi:

a. Variabel Antropometri pada Posisi Duduk Samping

No.	Variabel	Keterangan
1.	Tinggi duduk tegak	Jarak vertikal dari permukaan alas duduk sampai ujung atas kepala. Subjek duduk tegak dengan memandang lurus ke depan, dan lutut membentuk sudut siku-siku.
2.	Tinggi duduk normal	Jarak vertikal dari permukaan alas duduk sampai ujung atas kepala. Subjek duduk normal dengan memandang lurus ke depan dan lutut membentuk sudut siku-siku.
3.	Tinggi mata duduk	Jarak vertikal dari permukaan alas duduk sampai ujung mata bagian dalam. Subjek duduk tegak dan memandang lurus ke depan.
4.	Tinggi bahu duduk	Jarak vertikal dari permukaan alas duduk sampai ujung tulang bahu yang menonjol pada saat subjek duduk tegak.
5.	Tinggi siku duduk	Jarak vertikal dari permukaan alas duduk sampai ujung bawah siku kanan. Subjek duduk tegak dengan lengan atas vertikal di sisi badan dan lengan bawah membentuk sudut siku-siku dengan lengan bawah.
6.	Tinggi sandaran punggung	Jarak vertikal dari permukaan alas duduk sampai pucuk belikat bawah (subjek duduk tegak).
7.	Tinggi pinggang	Jarak vertikal dari permukaan alas duduk sampai pinggang (subjek duduk tegak).
8.	Tebal perut	Jarak samping dari belakang perut sampai ke depan perut (subjek duduk tegak).
9.	Tebal paha	Jarak dari permukaan alas duduk sampai ke permukaan atas pangkal paha (subjek duduk tegak).
10.	Tinggi popliteal	Jarak vertikal dari lantai sampai bagian bawah paha.
11.	Pantat popliteal	Jarak horizontal dari bagian terluar pantat sampai lekukan lutut sebelah dalam (popliteal). Paha dan kaki bagian bawah membentuk sudut siku-siku (subjek duduk tegak).
12.	Pantat ke lutut	Jarak horizontal dari bagian terluar pantat sampai ke lutut. Paha dan kaki bagian bawah membentuk sudut siku-siku (No. 11 + tebal lutut) (subjek duduk tegak).



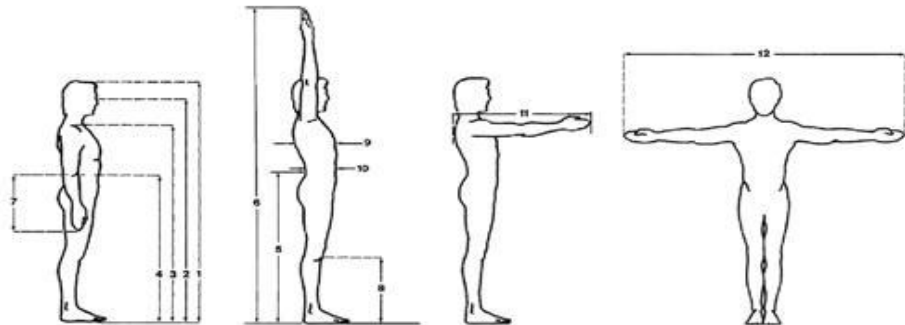
b. Variabel Antropometri pada Posisi Duduk Menghadap ke Depan

No.	Variabel	Keterangan
1.	Lebar bahu	Jarak horizontal antara kedua lengan atas. Subjek duduk tegak dengan lengan atas merapat ke badan dan lengan bawah direntangkan ke depan.
2.	Lebar pinggul	Jarak horizontal dari bagian terluar pinggul sisi kiri sampai bagian terluar pinggul sisi kanan (subjek duduk tegak).
3.	Lebar sandaran duduk	Jarak horizontal antara kedua tulang belikat. Subjek duduk tegak dengan lengan atas merapat ke badan dan lengan bawah direntangkan ke depan.
4.	Lebar pinggang	Jarak horizontal dari bagian terluar pinggang sisi kiri sampai bagian terluar pinggang sisi kanan (subjek duduk tegak).
5.	Siku ke siku	Jarak horizontal dari bagian terluar siku sisi kiri sampai bagian terluar siku sisi kanan. Subjek duduk tegak dengan lengan atas merapat ke badan dan lengan bawah direntangkan ke depan.



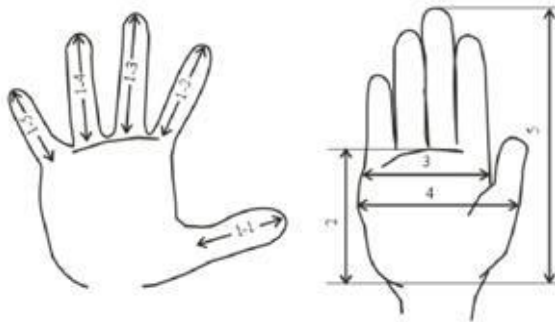
c. Variabel Antropometri pada Posisi Berdiri

No.	Variabel	Keterangan
1.	Tinggi badan tegak	Jarak vertikal telapak kaki sampai ujung kepala yang paling atas. Sementara subjek berdiri tegak dengan mata memandang lurus ke depan.
2.	Tinggi mata berdiri	Jarak vertikal dari lantai sampai ujung mata bagian dalam (dekat pangkal hidung). Subjek berdiri tegak dan memandang lurus ke depan.
3.	Tinggi bahu berdiri	Jarak vertikal dari lantai sampai bahu yang menonjol pada saat subjek berdiri tegak.
4.	Tinggi siku berdiri	Jarak vertikal dari lantai ke titik pertemuan antara lengan atas dan lengan bawah. Subjek berdiri tegak dengan kedua tangan tergantung secara wajar.
5.	Tinggi pinggang berdiri	Jarak vertikal lantai sampai pinggang pada saat subjek berdiri tegak.
6.	Jangkauan tangan ke atas	Jarak vertikal lantai sampai ujung jari tengah pada saat subjek berdiri tegak (tangan menjangkau ke atas setinggi-tingginya).
7.	Panjang lengan bawah	Jarak dari siku sampai pergelangan tangan (subjek berdiri tegak, tangan disamping).
8.	Tinggi lutut berdiri	Jarak vertikal lantai sampai lutut pada saat subjek berdiri tegak.
9.	Tebal dada	Jarak dari dada (bagian ulu hati) sampai punggung secara horizontal (subjek berdiri tegak).
10.	Tebal perut	Jarak (menyamping) dari perut depan sampai perut belakang secara horizontal (subjek berdiri tegak).
11.	Jangkauan tangan ke depan	Jarak horizontal dari punggung sampai ujung jari tengah. Subjek berdiri tegak dengan betis, pantat dan punggung merapat ke dinding, tangan direntangkan secara horizontal ke depan.
12.	Rentangan tangan	Jarak horizontal dari ujung jari terpanjang tangan kiri sampai ujung jari terpanjang tangan kanan. Subjek berdiri tegak dan kedua tangan direntangkan horizontal ke samping sejauh mungkin.



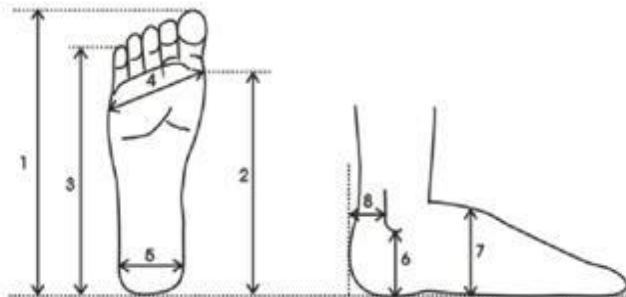
d. Variabel Antropometri Tangan

No.	Variabel	Keterangan
1.	Panjang jari 1,2,3,4,5	Jarak dari masing-masing pangkal ruas jari sampai ujung jari. Jari-jari subjek merentang lurus.
2.	Pangkal ke tangan	Jarak dari pangkal pergelangan tangan sampai pangkal ruas jari. Lengan bawah sampai telapak tangan subjek lurus.
3.	Lebar jari 2,3,4,5	Jarak dari sisi luar jari telunjuk sampai sisi luar jari kelingking. Jari-jari subjek lurus dan merapat satu sama lain.
4.	Lebar tangan	Jarak dari sisi luar ibu jari sampai sisi luar jari kelingking. Posisi jari seperti pada No. 3.
5.	Panjang telapak tangan	Jarak dari ujung jari tengah sampai pangkal pergelangan tangan.



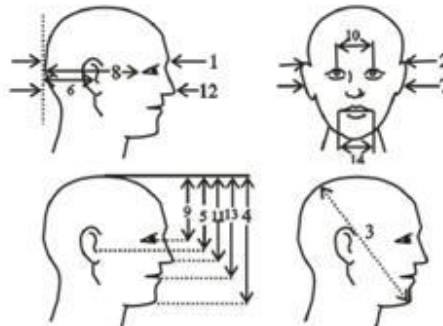
e. Variabel Antropometri Kaki

No.	Variabel	Keterangan
1.	Panjang telapak kaki	Jarak dari ujung jari kaki yang terluar sampai ujung tumit kaki.
2.	Panjang telapak lengan kaki	Jarak dari tulang pangkal jempol kaki sampai dengan ujung tumit.
3.	Panjang kaki sampai jari kelingking	Jarak dari ujung jari kelingking kaki sampai dengan ujung tumit.
4.	Lebar kaki	Jarak dari tulang pangkal jempol kaki sampai dengan tulang pangkal jari kelingking kaki.
5.	Lebar tangkai kaki	Jarak horisontal tumit kaki
6.	Tinggi mata kaki	Jarak dari tulang mata kaki samapi dengan alas kaki
7.	Tinggi bagian tengah telapak kaki	Jarak vertikal dari siku antara telapak kaki dengan tulang paha, sampai dengan alas kaki.
8.	Jarak horisontal tangkai mata kaki	Jarak horisontal dari tulang mata kaki sampai dengan tumit kaki



f. Variabel Antropometri Kepala

No.	Variabel	Keterangan
1.	Panjang kepala	Jarak horisontal dari titik tengah di antara dua alis sampai dengan belakang kepala.
2.	Lebar kepala	Jarak horisontal dari atas telinga kiri sampai dengan atas telinga kanan
3.	Diameter maksimum dari dagu	Jarak antara puncak kepala bagian belakang sampai dengan ujung dagu.
4.	Dagu ke puncak kepala	Jarak vertikal antara puncak kepala sampai dengan ujung dagu.
5.	Telinga ke puncak kepala	Jarak vertikal dari lubang telinga sampai dengan puncak kepala
6.	Telinga ke belakang kepala	Jarak horisontal dari lubang telinga sampai dengan ujung belakang kepala
7.	Antara dua telinga	Jarak horisontal antara dua lubang telinga
8.	Mata ke belakang kepala	Jarak horisontal dari pangkal mata sampai dengan ujung belakang kepala
9.	Mata ke puncak kepala	Jarak vertikal dari titik tengah mata sampai dengan puncak kepala
10.	Antara dua pupil mata	Jarak horisontal antara pupil mata sebelah kiri sampai dengan pupil mata sebelah kanan.
11.	Hidung ke puncak kepala	Jarak vertikal dari puncak hidung sampai dengan puncak kepala
12.	Hidung ke belakang kepala	Jarak horisontal dari ujung hidung sampai ujung belakang kepala.
13.	Mulut ke puncak kepala	Jarak vertikal dari mulut sampai dengan puncak kepala.
14.	Lebar mulut	Jarak horisontal antara ujung mulut kiri sampai dengan ujung mulut kanan.



B. BIOMEKANIKA

1. Definisi & Teori

Mekanika adalah salah satu cabang ilmu dari bidang ilmu fisika yang mempelajari gerakan dan perubahan bentuk suatu materi yang diakibatkan oleh gangguan mekanik yang disebut gaya. Mekanika adalah cabang ilmu yang tertua dari semua cabang ilmu dalam fisika. Tersebutlah nama-nama seperti Archimedes (287-212 SM), Galileo Galilei (1564-1642), dan Issac Newton (1642-1727) yang merupakan peletak dasar bidang ilmu ini. Galileo adalah peletak dasar analisa dan eksperimen dalam ilmu dinamika.

Sedangkan Newton merangkum gejala-gejala dalam dinamika dalam hukum-hukum gerak dan gravitasi.

Mekanika teknik (engineering mechanics) atau disebut juga dengan mekanika terapan adalah ilmu yang mempelajari penerapan dari prinsip-prinsip mekanika. Mekanika terapan mempelajari analisis dan disain dari sistem mekanik.

Biomekanika didefinisikan sebagai bidang ilmu aplikasi mekanika pada sistem biologi. **Biomekanika merupakan kombinasi antara disiplin ilmu mekanika terapan dan ilmu-ilmu biologi dan fisiologi.** Biomekanika menyangkut tubuh manusia dan hampir semua tubuh makhluk hidup. Dalam biomekanika prinsip-prinsip mekanika dipakai dalam penyusunan konsep, analisis, disain dan pengembangan peralatan dan sistem dalam biologi dan kedokteran.

Menurut Frankel dan Nordin pada tahun 1980 biomekanika merupakan ilmu mekanika teknik untuk analisa sistem kerangka otot manusia (Chaffin, 1991). Biomekanika menggunakan konsep fisika dan teknik untuk menjelaskan gerakan pada bermacam-macam bagian tubuh dan gaya yang bekerja pada bagian tubuh pada aktivitas sehari-hari. Kajian biomekanika dapat dilihat dalam dua perspektif, yaitu kinematika dan kinetika. Kinematika lebih menjurus pada karakteristik gerakan yaitu meneliti gerakan dari segi ruangan yang digunakan dalam waktu yang bersifat sementara tanpa melihat gaya yang menyebabkan gerakan. Studi kinematika menjelaskan gerakan yang menyebabkan berapa cepat obyek bergerak, berapa ketinggian atau berapa jauh obyek menjangkau jarak. Posisi, kecepatan dan percepatan tersebut merupakan studi kinematika. Kajian kinetika menjelaskan tentang gaya yang bekerja pada satu sistem, misalnya tubuh manusia. Kajian gerakan kinetika menjelaskan gaya yang menyebabkan gerakan. Dibandingkan dengan kajian kinematika, kajian kinetika lebih sulit untuk diamati, pada kajian kinetik yang terlihat adalah akibat dari gaya.

Ergonomi adalah ilmu tentang kerja. Secara garis besar, kegiatan-kegiatan kerja manusia dapat dikelompokkan menjadi kerja fisik (otot) dan kerja mental (otak). Tubuh manusia dirancang untuk melakukan kerja (dalam hal ini kerja fisik) atau aktivitas sehari-hari, adanya masa otot yang bobotnya lebih dari separuh tubuh memungkinkan manusia untuk dapat menggerakkan tubuh dan melakukan kerja. Dari sudut pandang ergonomi, setiap beban kerja yang diterima oleh seseorang harus sesuai dan seimbang terhadap kemampuan fisik, kognitif, maupun keterbatasan manusia menerima beban tersebut. Kemampuan atau keterbatasan manusia tersebut termasuk dalam hal gerakan atau postur kerja dan gaya atau beban kerja. Disinilah biomekanika berperan. Biomekanika merupakan ilmu yang menggunakan hukum-hukum fisika dan konsep-konsep mekanika untuk mendeskripsikan gerakan dan gaya pada berbagai macam bagian tubuh ketika melakukan

aktivitas. Karena biomekanika hanya berbicara dalam masalah fisik maka biomekanika termasuk dalam ranah ergonomi fisik.

Seperti telah disebutkan di atas, biomekanika berkaitan dengan sistem biologi dan menyangkut tubuh manusia dan hampir semua tubuh makhluk hidup. Namun karena ergonomi hanya membahas manusia maka lingkup biomekanika yang digunakan adalah biomekanika pada manusia.

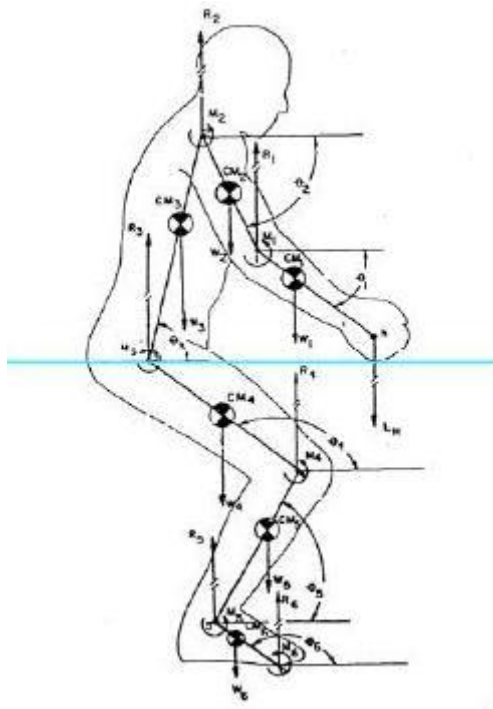
Ergonomi memiliki prinsip dasar untuk menyesuaikan kerja agar sesuai dengan batasan atau karakteristik pekerjaannya. Karakteristik ini biasanya disebut antropometri baik fisik / tubuh ataupun antropometri non fisik seperti psikometri. Biomekanika merupakan studi tentang karakteristik-karakteristik tubuh manusia dalam istilah mekanik. Biomekanika dioperasikan pada tubuh manusia baik saat tubuh dalam keadaan statis ataupun dalam keadaan dinamis. Oleh karena itu agar sistem kerja menjadi ergonomis maka harus memperhatikan biomekanika.

Penelitian aspek biomekanika akan sangat berkaitan dengan postur kerja, beban kerja dan proses perancangan peralatan kerja misalnya pembuatan alat bantu gerak yang dapat digunakan untuk meringankan penderita cacat maupun peralatan kerja lainnya. Peralatan yang digunakan secara langsung sehubungan dengan fisik manusia perlu rancangan agar sesuai dengan keadaan biomekanika seseorang. Penggunaan kekuatan otot yang berlebihan untuk menggunakan atau menggerakkan peralatan dapat mengakibatkan cedera. Penerapan biomekanika menghindari hal tersebut, dan mengupayakan agar dengan pengeluaran energi yang minimum namun dapat dicapai hasil yang optimal.

2. Biomekanika Kerja Tubuh

Dalam analisis biomekanika, tubuh manusia dipandang sebagai sistem yang terdiri dari link (penghubung) dan joint (sambungan), tiap link mewakili segmen-segmen tubuh tertentu dan tiap joint menggambarkan sendi yang ada. Menurut Chaffin dan Anderson tubuh manusia terdiri dari enam link, yaitu:

- a. Link lengan bawah yang dibatasi oleh joint telapak tangan dan siku.
- b. Link lengan atas yang dibatasi oleh joint siku dan bahu.
- c. Link punggung yang dibatasi oleh joint bahu dan pinggul.
- d. Link paha yang dibatasi oleh joint pinggul dan lutut.
- e. Link betis yang dibatasi oleh joint lutut dan mata kaki.
- f. Link kaki yang dibatasi oleh joint mata kaki dan telapak kaki

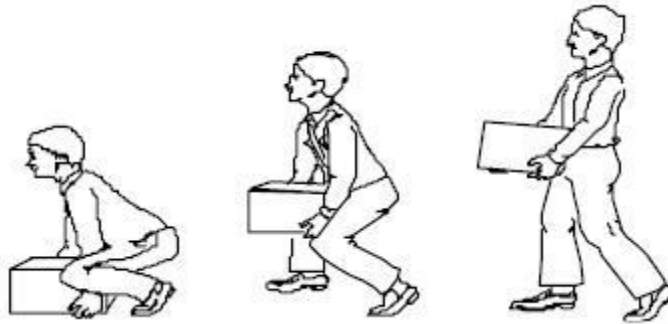


Gambar tubuh sebagai sistem enam link dan joint (Chaffin, 1991)

Seperti yang disebutkan di atas bahwa manusia dapat disamakan dengan segmen benda jamak maka panjang setiap link dapat diukur berdasarkan persentase tertentu dari tinggi badan, sedangkan beratnya berdasarkan persentase dari berat badan. Penentuan letak pusat massa tiap link didasarkan pada persentase standar yang ada. Panjang setiap link tiap segmen berotasi di sekitar sambungan dan mekanika terjadi mengikuti hukum Newton. Prinsip-prinsip ini digunakan untuk menyatakan gaya mekanik pada tubuh dan gaya otot yang diperlukan untuk mengimbangi gaya-gaya yang terjadi. Secara umum pokok bahasan dari biomekanika adalah untuk mempelajari interaksi fisik antara pekerja dengan mesin, material dan peralatan dengan tujuan untuk meminimumkan keluhan pada sistem kerangka otot agar produktivitas kerja dapat meningkat. Menghindari keluhan pada sistem kerangka otot dapat ditanggulangi dengan perancangan sistem kerja seperti alat kerja atau postur kerja yang ergonomis seperti yang telah disebutkan di atas atau melakukan pengendalian administratif (pemilihan personel yang tepat, pelatihan tentang teknik-teknik penanganan material). Misalnya pada gerakan jalan yang terpenting adalah keseimbangan. Gerakan ini akan memperlihatkan bagaimana kedua kaki saling menyeimbangkan berat tubuh dalam pergerakan berpindah. Untuk pengguna alat bantu pada kaki gerak terlihat bagaimana alat bantu tersebut menyeimbangkan pasien dalam berjalan sehingga alat tersebut nyaman dipakai.

Titik berat bahasan biomekanika adalah pada fisik manusia khususnya pada saat manusia melakukan kegiatan penanganan material secara manual

(Manual Material Handling / MMH) yang biasanya tanpa menggunakan alat bantu apapun. **Contoh MMH adalah pengangkatan dan pemindahan secara manual, atau pekerjaan lain yang dominan menggunakan otot tubuh.** Pekerjaan penanganan material secara manual (Manual Material Handling) yang terdiri dari mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik dan membawa merupakan sumber utama keluhan karyawan di industri (Ayoub & Dempsey, 1999). Meskipun kemajuan teknologi telah banyak membantu aktivitas manusia, namun tetap saja ada beberapa pekerjaan manual seperti MMH yang tidak dapat dihilangkan dengan pertimbangan biaya maupun kemudahan. Pekerjaan ini membutuhkan usaha fisik sedang hingga besar dalam durasi waktu kerja tertentu. Usaha fisik ini banyak mengakibatkan kecelakaan kerja ataupun low back pain, yang menjadi isu besar di negara-negara industri belakangan ini.



Aktivitas MMH yang tidak tepat dapat menimbulkan kerugian bahkan kecelakaan kerja. Akibat yang ditimbulkan dari aktivitas MMH yang tidak benar salah satunya adalah keluhan muskuloskeletal. Keluhan muskuloskeletal adalah keluhan pada bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan yang sangat ringan sampai sangat sakit. Apabila otot menerima beban statis secara berulang dalam jangka waktu yang lama akan dapat menyebabkan keluhan berupa kerusakan pada sendi, ligamen dan tendon. Keluhan inilah yang biasanya disebut sebagai muskuloskeletal disorder (MSDs) atau cedera pada sistem muskuloskeletal.

Khusus saat melakukan MMH jenis pengangkatan, organ tubuh yang mendapatkan pengaruh paling besar adalah pada bagian tulang belakang, biomekanika pun membahas mengenai struktur tulang belakang pada tubuh manusia. Pengangkatan manual yang dilakukan oleh operator akan membuat struktur tulang belakang mengalami tekanan yang berlebihan, meskipun pengangkatan manual tersebut dilakukan tidak terlalu sering atau dengan kata lain frekuensinya jarang. Namun demikian, hal tersebut tetap saja memberikan pengaruh buruk terhadap struktur tulang belakang.

Tingginya tingkat cedera atau kecelakaan kerja selain merugikan secara langsung yaitu sakit yang diderita oleh pekerja, kecelakaan tersebut juga akan berdampak buruk terhadap kinerja perusahaan yaitu berupa penurunan produktivitas perusahaan, baik melalui beban biaya pengobatan yang cukup tinggi dan juga ketidakhadiran pekerja serta penurunan dalam kualitas kerja.

Contoh dari penerapan ilmu biomekanika selain MMH adalah untuk menjelaskan efek getaran dan dampak yang timbul akibat kerja, menyelidiki karakteristik kolom tulang belakang, menguji penggunaan alat prosthetic, dll.

Aplikasi biomekanika sebenarnya dapat dikembangkan lebih jauh, tidak sekadar menjelaskan hukum fisika dalam sistem biologi. Biomekanika dapat menjadi dasar bagi seorang insinyur dalam mendesain suatu produk atau pekerjaan apakah berbahaya bagi pekerja atau tidak. Selain itu, konsep-konsep biomekanika juga dapat digunakan dalam dunia olahraga untuk meningkatkan performansi atlet secara signifikan.

Salah satu konsep biomekanika yang sering dibahas dalam desain suatu pekerjaan adalah biomekanika punggung, khususnya pada bagian Lumbar 5 dan Sacrum 1. Bagian tersebut merupakan bagian yang paling riskan terkena risiko pekerjaan. Oleh karena itu, para desainer atau insinyur berusaha keras agar bagian tersebut terpapar seminimal mungkin risiko. Risiko yang sering muncul pada bagian ini adalah *low back pain*. *low back pain* sebenarnya bisa dihindari dengan memanfaatkan konsep biomekanika pada bagian tersebut. Salah satu yang mungkin bisa dilakukan adalah dengan membagi-bagi beban yang harus diangkat. Dengan pembagian beban tersebut, diharapkan risiko akan menjadi lebih kecil. Selain itu, dapat pula digunakan alat bantu yang sesuai dengan beban benda. Teknik pengangkatan pun perlu didesain. Hal ini terkait dengan momen gaya yang timbul akibat pengangkatan tersebut kepada tubuh si pengangkat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hardianto Iridiastadi. 2017. *Ergonomi suatu pengantar*. PT Remaja Rosda karya. Bandung
2. Iftikar Z. Satalaksana, Ruhana Anggawisata, Jann H. Tjakraatmadja. 2006. *Teknik perancangan sistem kerja*. Penerbit ITB. Bandung
3. Kuswana. 2014. *Ergonomi & K3*. PT Remaja Rosdakarya, Bandung
4. Nurmianto, E. 1996. *Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya Edisi Pertama*. PT. Candimas Metropole, Jakarta.
5. Soedirman. 2014. *Kesehatan Kerja*. Penerbit Erlangga, Jakarta