

BAB 3

LANDASAN TEORI

3.1. Ergonomi

Tujuan pokok manusia untuk selalu mengadakan perubahan rancangan peralatan - peralatan yang dipakai adalah untuk memudahkan dan mengenakan operasi penggunaannya. Disiplin keilmuan lahir dan berkembang sekitar pertengahan abad 20 yang berkaitan dengan perancangan peralatan dan fasilitas kerja yang memperhatikan aspek - aspek manusia sebagai pemakainya dikenal kemudian dengan nama ergonomi.

Ergonomi atau *ergonomics* sebenarnya berasal dari bahasa Yunani yaitu Ergo yang berarti kerja dan Nomos yang berarti hukum. Ergonomi dimaksudkan sebagai disiplin keilmuan yang mempelajari manusia dalam kaitannya dengan pekerjaannya (Wignjosoebroto, 2003).

Menurut Sutalaksana (2006) ergonomi adalah suatu cabang ilmu yang sistematis untuk memanfaatkan informasi - informasi mengenai sifat, kemampuan, dan keterbatasan manusia dalam merancang suatu sistem kerja sehingga orang dapat hidup dan bekerja pada sistem itu dengan baik yaitu mencapai tujuan yang diinginkan melalui pekerjaan itu dengan efektif, aman, sehat, nyaman, dan efisien. Menurut Tarwaka dkk., (2004) definisi ergonomi adalah ilmu, seni dan penerapan teknologi untuk menyaserasikan atau menyeimbangkan antara segala fasilitas yang digunakan baik dalam beraktivitas maupun istirahat dengan kemampuan dan keterbatasan

manusia baik fisik maupun mental, sehingga kualitas hidup secara keseluruhan menjadi lebih baik.

Menurut Manuaba (2000) istilah ergonomi yang berkaitan dengan perancangan suatu produk didefinisikan sebagai salah satu upaya dalam bentuk ilmu, teknologi dan seni untuk menyetarakan peralatan, mesin, pekerjaan, sistem, organisasi dan lingkungan dengan kemampuan, keahlian dan keterbatasan manusia sehingga tercapai satu kondisi dan lingkungan yang sehat, aman, nyaman, efisien dan produktif, melalui pemanfaatan fungsional tubuh manusia secara optimal dan maksimal. Sedangkan menurut Eko Nurmianto (2004) istilah ergonomi didefinisikan sebagai studi tentang aspek-aspek manusia dalam lingkungan kerjanya yang ditinjau secara anatomi, fisiologi, psikologi, *engineering*, manajemen dan desain/perancangan. Penerapan ergonomi pada umumnya merupakan aktivitas rancang bangun (desain) ataupun rancang ulang (re-desain).

Menurut Tarwaka dkk., (2004) secara umum tujuan dari penerapan ergonomi adalah :

- a. Meningkatkan kesejahteraan fisik dan mental melalui upaya pencegahan cedera dan penyakit akibat kerja, menurunkan beban kerja fisik dan mental, mengupayakan promosi dan kepuasan kerja.
- b. Meningkatkan kesejahteraan sosial melalui peningkatan kualitas kontak sosial, mengelola dan mengkoordinir kerja secara tepat guna dan meningkatkan jaminan sosial baik selama kurun waktu usia produktif maupun setelah tidak produktif.

- c. Menciptakan keseimbangan rasional antara berbagai aspek yaitu aspek teknis, ekonomis, antropologis dan budaya dari setiap kerja yang dilakukan sehingga tercipta kualitas kerja dan kualitas hidup yang tinggi.

Informasi yang lengkap mengenai kemampuan manusia dengan segala keterbatasannya sangat dibutuhkan untuk penerapan ergonomi. Salah satu usaha untuk mendapatkan informasi-informasi ini, telah banyak dilakukan penelitian-penelitian dan pengelompokkannya dibagi menjadi empat, (Sutalaksana dkk., 2006) yaitu:

- a. Penyelidikan tentang display.
Display yang dimaksudkan disini adalah bagian dari lingkungan yang mengkomunikasikan keadaannya kepada manusia.
- b. Penyelidikan mengenai hasil kerja manusia dan proses pengendaliannya.
Penyelidikan tentang aktivitas-aktivitas manusia ketika bekerja dan kemudian mempelajari cara mengukur dari setiap aktivitas tersebut, hal ini banyak berhubungan dengan ilmu faal kerja dan biomekanika.
- c. Penyelidikan mengenai tempat kerja.
Ukuran-ukuran dari tempat kerja harus sesuai dengan tubuh manusia, agar diperoleh tempat kerja yang baik sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan manusia. Hal-hal yang bersangkutan dengan tubuh manusia ini dipelajari dalam antropometri.
- d. Penyelidikan mengenai lingkungan fisik.
Lingkungan fisik meliputi ruangan dan fasilitas-fasilitas yang biasa digunakan oleh manusia, serta

lingkungan kerja seperti iklim, kebisingan dan pencahayaan. Semua itu banyak mempengaruhi peri kerja manusia.

3.2. Anthropometri

Istilah antropometri berasal dari kata *anthro* yang berarti manusia dan *metri* berarti ukuran. Antropometri adalah studi yang mempelajari dimensi dari tubuh manusia. Anthropometri adalah ilmu yang secara khusus mempelajari tentang pengukuran tubuh manusia guna merumuskan perbedaan - perbedaan ukuran pada tiap individu ataupun kelompok dan lain sebagainya (Panero, 1979).

Menurut Wignjosoebroto (2003) ada beberapa faktor yang akan mempengaruhi ukuran tubuh manusia, sehingga sudah semestinya seorang perancangan produk harus memperhatikan faktor - faktor tersebut antara lain :

a. Umur

Secara umum dimensi tubuh manusia akan tumbuh dan bertambah besar seiring dengan bertambahnya umur yaitu sejak awal kelahirannya sampai dengan umur sekitar 20 tahunan.

b. Jenis Kelamin (*sex*)

Dimensi ukuran tubuh laki-laki umumnya akan lebih besar dibandingkan dengan wanita, terkecuali untuk beberapa bagian tubuh tertentu.

c. Suku/Bangsa (*ethnic*)

Setiap suku, bangsa ataupun kelompok etnik akan memiliki karakteristik fisik yang akan berbeda satu dengan yang lainnya.

d. Posisi tubuh (*posture*)

Postur tubuh akan akan berpengaruh terhadap ukuran tubuh, oleh sebab itu posisi tubuh standard harus diterapkan untuk survei pengukuran.

Dalam kaitannya dengan posisi tubuh dikenal dengan 2 cara pengukuran yaitu :

- a. Anthropometri statis, yaitu anthropometri tentang ciri - ciri fisik luar manusia dalam keadaan diam atau dalam posisi yang dibakukan.
- b. Anthropometri dinamis, yaitu anthropometri mengenai keadaan dan ciri-ciri fisik manusia dalam keadaan bergerak atau memperhatikan gerakan - gerakan yang mungkin terjadi saat melakukan kegiatan (Sutalaksana dkk., 2006).

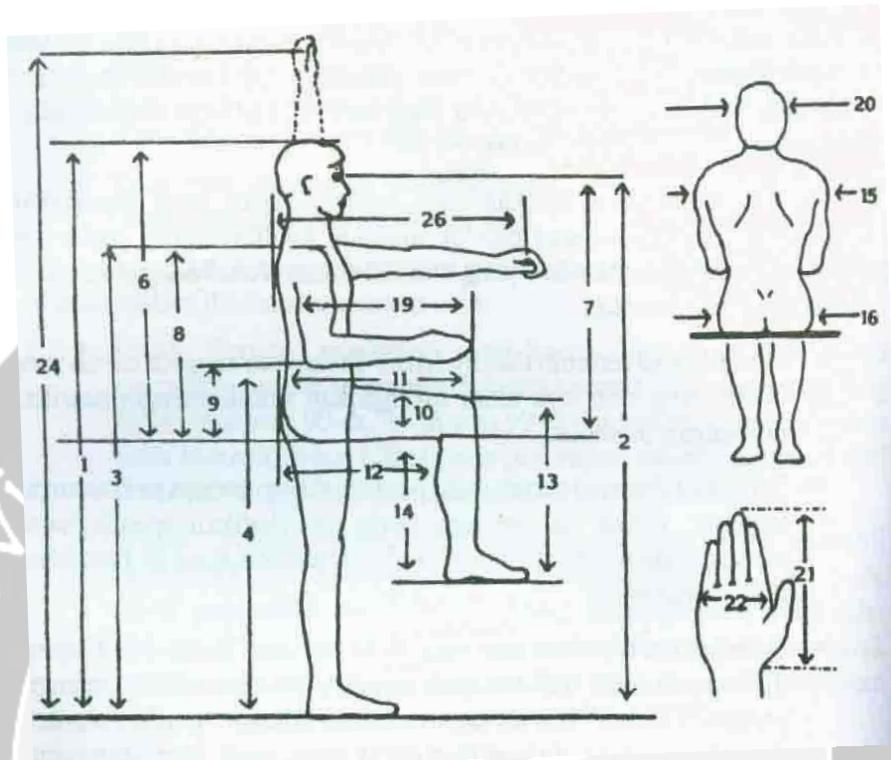
Mengingat keadaan dan ciri fisik manusia dipengaruhi oleh banyak faktor sehingga berbeda satu sama lainnya maka terdapat tiga prinsip dalam pemakaian data anthropometri yaitu :

- a. Perancangan berdasarkan individu yang ekstrem, prinsip ini digunakan apabila kita menghaarpkan agar fasilitas yang dirancang dapat dipakai dengan enak dan nyaman oleh sebagian orang yang akan memakainya.
- b. Perancangan fasilitas yang bisa disesuaikan, prinsip ini digunakan untuk merancang objek agar objek dapat menampung atau bisa dipakai dengan enak dan nyaman oleh pengguna potensial.
- c. Perancangan individual, prinsip ini hanya digunakan apabila objek yang bersangkutan khusus dirancang bagi satu individu tertentu. Ukuran bagian-bagian objek dibuat tepat untuk tubuh pemesannya.

Hal yang berhasil dicatat dan disimpulkan untuk anthropometri kelompok lanjut usia yaitu (Panero, 1979):

- a. Kaum lanjut usia pada kedua jenis kelamin cenderung lebih pendek daripada kaum muda. Pada tingkat tertentu, perbedaan tersebut mungkin terjadi karena individu-individu yang lebih tua jelas berasal dari generasi berbeda, yaitu generasi terdahulu, sementara suatu studi menunjukkan terjadi peningkatan ukuran tubuh secara umum pada masa sekarang ini. Namun juga diduga bahwa perbedaan yang terjadi mungkin berhubungan dengan adanya proses seleksi alam terhadap kelompok orang yang bertubuh pendek dan ringan.
- b. Pengukuran atas jangkauan kelompok lanjut usia menunjukkan bahwa rentang jangkauan mmereka lebih pendek daripada kaum muda. Tentu saja ada berbagai kemungkinan penyebab perbedaan ini, antara lain adalah penyakit radang sendi serta keterbatasan gerak sendi lainnya. Hal ini terbukti lebih jelas pada jangkauan genggamam vertikal.

Berikut ini adalah gambar-gambar dimensi anthropometri yang umum digunakan dalam proses perancangan.



Gambar 3.1. Data anthropometri yang diperlukan untuk perancangan produk

Tabel 3.1. Keterangan data anthropometri

No	Keterangan	Simbol
1	Dimensi tinggi tubuh dalam posisi tegak	TBB
2	Tinggi mata dalam posisi berdiri tegak	TMB
3	Tinggi bahu dalam posisi berdiri tegak	TBH
4	Tinggi siku dalam posisi berdiri tegak	TSB
5	Tinggi kepalan tangan yang terjulur lepas dalam posisi berdiri tegak	TTB
6	Tinggi tubuh dalam posisi duduk	TDT
7	Tinggi mata dalam posisi duduk	TMD

Tabel 3.1. Lanjutan

NO	KETERANGAN	Simbol
8	Tinggi bahu dalam posisi duduk	TBD
9	Tinggi siku dalam posisi duduk	TSD
10	Tebal atau lebar paha	THD
11	Panjang paha yang diukur dari pantat sampai ujung lutut	JPL
12	Panjang paha yang diukur dari pantat sampai bagian belakang dari lutut	PKP
13	Tinggi lutut yang bisa diukur baik dalam posisi berdiri maupun duduk	TLD
14	Tinggi tubuh dalam posisi duduk yang diukur dari lantai sampai paha	TPD
15	Lebar bahu	LBD
16	Lebar pinggul	LPD
17	Lebar dada dalam keadaan membusung	TDD
18	Lebar perut	TPR
19	Panjang siku yang diukur dari siku sampai dengan ujung jari-jari dalam posisi siku tegak lurus	PLB
20	Lebar kepala	LKP
21	Panjang tangan diukur dari pergelangan sampai ujung jari	PTT
22	Lebar telapak tangan	LTT
23	Lebar tangan posisi tangan terbentang lebar ke samping kiri-kanan	
24	Tinggi jangkauan tangan posisi tegak	TJT
25	Tinggi jangkauan tangan posisi duduk	TJD
26	Jarak jangkauan tangan yang terjulur ke depan	JKT

Setiap desain produk, baik produk yang sederhana maupun produk yang sangat kompleks, harus berpedoman kepada anthropometri pemakainya. Hal tersebut didasarkan atas pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

1. Manusia adalah berbeda satu sama lainnya. Setiap manusia mempunyai bentuk dan ukuran tubuh yang berbeda-beda seperti tinggi-pendek, tua-muda, kurus-gemuk, normal-cacat dan lain-lain.
2. Manusia mempunyai keterbatasan fisik maupun mental.
3. Manusia selalu mempunyai harapan tertentu dan prediksi terhadap apa yang ada disekitarnya (Tarwaka dkk., 2004).

Dalam perancangan data anthropometri disajikan dalam bentuk persentil. Untuk tujuan penelitian, sebuah populasi dibagi bagi berdasarkan kategori-kategori dengan jumlah keseluruhan 100% dan diurutkan mulai dari populasi yang terkecil hingga terbesar berkaitan dengan beberapa pengukuran tubuh tertentu. Jadi persentil menunjukkan jumlah bagian per seratus orang dari suatu populasi yang memiliki ukuran tubuh tertentu (atau yang lebih kecil). Contoh persentil dalam dunia penerbangan ; Persentil pertama menunjukkan data sejumlah pilot yang berat badannya lebih besar daripada 1% data para pilot yang disebutkan paling kecil berat badannya, dan di lain pihak merupakan data berat badan dari setiap pilot yang kurang berat badannya dari 99% pilot dengan berat badan terbesar. Sedangkan untuk persentil ke-50 merupakan nilai yang membagi data menjadi dua bagian, yaitu yang berisi data bernilai

terkecil dan terbesar masing-masing sebesar 50% dari keseluruhan nilai tersebut. Jadi berapapun besaran nilai K- dari 1 sampai 99, maka persentil ke-K tersebut merupakan nilai yang lebih besar dari k% berat badan terkecil dan kurang dari yang terbesar (100 - K)% (Panero, 1979).

3.3. Stroke

3.3.1. Pengertian Stroke

Stroke adalah cedera vaskular akut pada otak. Ini berarti stroke adalah suatu cedera mendadak dan berat pada pembuluh - pembuluh darah otak. Cedera dapat disebabkan oleh sumbatan bekuan darah, penyempitan pembuluh darah, sumbatan dan penyempitan, atau pecahnya pembuluh darah. Semua ini menyebabkan kurangnya pasokan darah yang memadai. Stroke mungkin menampilkan gejala, mungkin juga tidak tergantung pada tempat dan ukuran kerusakan (Veigin, 2006). WHO mendefinisikan stroke merupakan gejala - gejala defisit fungsi susunan saraf yang diakibatkan oleh penyakit pembuluh darah otak dan bukan yang lain dari itu.

Stroke dibagi menjadi dua jenis yaitu *stroke iskemik* dan *hemoragik*. Pada *stroke iskemik* aliran darah ke otak terhenti karena *aterosklerosis* (penumpukan kolesterol pada dinding pembuluh darah) atau bekuan darah yang telah menyumbat suatu pembuluh darah ke otak. Hampir sebagian besar pasien atau sebesar 83% mengalami stroke jenis ini. Penyumbatan yang terjadi bisa terjadi di sepanjang jalur pembuluh darah arteri yang menuju ke otak. Darah ke otak disuplai oleh dua *arteria karotis interna* dan dua *arteri vertebralis*.

Arteri-arteri ini merupakan cabang dari lengkung aorta jantung. Pada *stroke hemorragik*, pembuluh darah pecah sehingga menghambat aliran darah yang normal dan darah merembes ke dalam suatu daerah di otak dan merusaknya. Hampir 70 persen kasus *stroke hemorragik* terjadi pada penderita hipertensi.

Faktor risiko *stroke* adalah penyakit atau keadaan yang menyebabkan atau memperparah penyakit *stroke* itu sendiri. Ada beberapa faktor risiko *stroke* (Valery, 2006) :

- a. Faktor risiko yang dapat dimodifikasi
Merupakan faktor risiko yang dapat dikendalikan atau dihilangkan sama sekali baik dengan cara medis atau nonmedis seperti minum obat tertentu dan perubahan gaya hidup.
- b. Faktor risiko yang tidak dapat diubah
Mencakup penuaan, kecenderungan genetik, dan suku bangsa.
- c. Faktor risiko medis
Mencakup hipertensi (tekanan darah tinggi), tingginya kadar zat - zat berlemak seperti kolestrol dalam darah, *aterosklerosis* (mengerasnya arteri), berbagai gangguan jantung, diabetes, *aneurisma intrakranium* yang belum pecah, riwayat *stroke* dalam keluarga atau penanda genetik lainnya, migrain. Banyak juga faktor risiko ini saling berkaitan antar penyakit satu dengan lainnya, sebagai contoh orang dengan tekanan darah tinggi cenderung menderita penyakit jantung dan *aterosklerosis*.

d. Faktor risiko perilaku

Faktor yang terjadi akibat perilaku atau gaya hidup seseorang, seperti merokok, makanan yang tidak sehat, konsumsi alkohol yang berlebihan, tidak banyak aktivitas fisik, mendengkur dan apnea tidur, kontrasepsi oral, narkoba serta kelebihan berat badan.

Gejala yang ditimbulkan pasca stroke yaitu :

- a. 80% pasien stroke mengalami penurunan parsial atau total gerakan dan kekuatan lengan dan atau tungkai di salah satu sisi tubuh (kelumpuhan parsial disebut paresis atau kelemahan otot, kelumpuhan total disebut paralisis).
- b. 80-90% menderita kebingungan, bermasalah dengan kemampuan berpikir dan mengingat.
- c. 30% mengalami satu atau lebih masalah komunikasi ; sulit berbicara atau memahami bahasa lisan (*afasia* atau *disafasia*).
- d. 30% mengalami kesulitan menelan (*disfagia*).
- e. 10% mengalami masalah melihat benda-benda di satu sisi (*hemianopia*) dan 10% memiliki penglihatan ganda (*diplopia*).
- f. Kurang dari 10% mengalami gangguan koordinasi saat duduk, berdiri, atau berjalan (*ataksia*).
- g. 30% mengalami masalah dalam orientasi kiri-kanan dan mungkin tidak menyadari masalahnya.
- h. Hingga 70% mengalami depresi.
- i. 20% merasakan nyeri di daerah bahu.
- j. Kurang dari 10% mengalami kejang atau epilepsi (paling besar kemungkinannya bagi yang mengalami pendarahan intraserebrum)

- k. Banyak pasien stroke yang menderita sakit kepala.
- l. Tanpa pencegahan yang memadai, 20% mengalami infeksi dada dalam satu bulan pertama setelah stroke.
- m. Tanpa pencegahan yang memadai, 10%-20% mengalami *dekubitus* (luka akibat terlalu lama tidur atau berbaring).
- n. Kurang dari 10% mengalami masalah dalam pengendalian buang air kecil dan atau buang air besar.
- o. Lima persen mengalami infeksi saluran kemih pada bulan pertama.
- p. Hingga 10% mengalami *deep vena thrombosis* (DVT) dalam bulan pertama.
- q. 5% mengalami embolisme paru, dimana bekuan darah terlepas dari tungkai dan menyumbat sebuah arteri utama di paru dalam bulan pertama.
- r. Kurang dari 1% mengalami *infark miokardium* (bekuan darah menyumbat salah satu arteri di jantung).
- s. 30% mengalami cacat sendi dan kontraktur (sendi yang tidak dapat ditebuk atau diluruskan).
- t. Sekitar 40% pasien terjatuh dalam tahun pertama setelah stroke.

Menurut Junaidi (2006) terdapat 5 skala kecacatan penderita pasca stroke antara lain:

- a. Kecacatan derajat 0 : tidak ada gangguan fungsi
- b. Kecacatan derajat 1 : hampir tidak ada gangguan fungsi aktivitas sehari - hari. Pasien mampu melakukan tugas dan kewajiban sehari - hari.
- c. Kecacatan derajat 2 (ringan) : pasien tidak mampu melakukan beberapa aktivitas seperti sebelumnya,

tetapi dapat melakukan sendiri tanpa bantuan orang lain.

- d. Kecacatan derajat 3 (sedang) : pasien memerlukan bantuan orang lain, tetapi masih mampu berjalan tanpa bantuan orang lain, walaupun menggunakan tongkat.
- e. Kecacatan derajat 4 (sedang - berat) : pasien tidak dapat berjalan tanpa bantuan orang lain. Perlu bantuan orang lain untuk menyelesaikan sebagian aktivitas diri seperti mandi, ke toilet, merias diri, dan lain-lain.
- f. Kecacatan derajat 5 (berat) : pasien terpaksa berbaring di tempat tidur dan buang air besar dan kecil tidak terasa (*inkontinensia*) selalu memerlukan perawatan dan perhatian.

3.3.2. Proses rehabilitasi Pasien Pasca Stroke

Rehabilitasi adalah semua tindakan yang bertujuan untuk mengurangi dampak disabilitas/ handicap agar pasca (penyandang cacat) dapat berintegrasi dalam masyarakat (WHO, 19981). Sebagian besar tenaga kesehatan mengidentikkan rehabilitasi dengan fisioterapi, tetapi sebenarnya fisioterapi merupakan salah satu sub instalasi rehabilitasi dan dikatakan standard pelayanan rehabilitasi medik di Rumah Sakit Umum di Indonesia saat ini yakni meliputi terapi okupasi, ortotik prostetik, terapi wicara, psikologi dan sosial medik. Selain itu SK (Surat Keputusan) Menteri Kesehatan No. 134/78 telah menetapkan bahwa RSU (Rumah Sakit Umum) kelas A, B, C dilengkapi dengan Unit Rehabilitasi Medik. Dalam kasus ini, RSUP Sardjito

merupakan RSUD kelas A. Dan didalamnya sudah terdapat bagian Instalasi Rehabilitasi Medik. Anggota tim rehabilitasi medik adalah perawat rehabilitasi, fisioterapis, terapis okupasional, *speech pathologist*, *psychologist*, *social worker*, rohaniawan, *recreational therapist* dan pasien itu sendiri. Pimpinan tim adalah seorang dokter, biasanya Dokter Spesialis Rehabilitasi Medik (DSRM). Tugas pimpinan tim terutama mengarahkan pemulihan motorik dan mobilitas penderita, termasuk luas gerak sendi, reduksi dari fungsi motorik, koordinasi dan balans serta membantu dalam pemilihan ortesa, alat bantu jalan dan kursi roda. Semua ini merupakan dasar untuk dapat melakukan transfer dan reduksi dari *gait*.

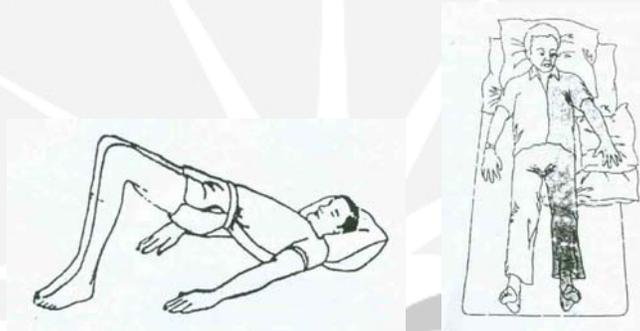
Prinsip rehabilitasi pada penyakit stroke adalah mengusahakan agar sedapat mungkin penderita tidak tergantung pada orang lain. Ukuran keberhasilan bukan hanya banyaknya jiwa yang tertolong, tetapi berapa banyak penderita yang dapat kembali berfungsi lagi di masyarakat.

Proses rehabilitasi penderita stroke adalah :

a. Latihan di tempat tidur

Pengaturan posisi atau gerak penderita harus selalu berada dalam lingkup pola penyembuhan atau pola anti spastik yang akan timbul kemudian. Pengaturan posisi penderita sejak dini akan banyak mempengaruhi kemajuan rehabilitasi, karena dapat mencegah dekubitus, kontraktur sendi, nyeri bahu dan pneumonia ortostatik. Posisi yang dianjurkan untuk lengan adalah protaksi gelang bahu, abduksi dan eksternal rotasi bahu, ekstensi siku, jari jari

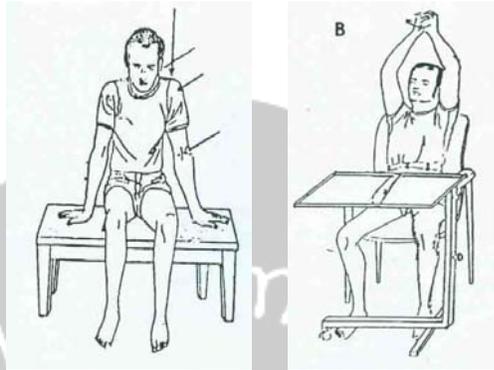
abduksi dan ekstensi. Untuk tungkai protaksi panggul, semifleksi dan internal rotasi panggul dan lutut sedikit fleksi. Kepala dalam posisi netral atau lateral fleksi ke sisi sehat. Posisi tersebut berlaku baik dalam posisi tidur terlentang, miring ke sisi yang sehat maupun sisi yang lumpuh. Kemudian *mobilisasi scapula*, penting dilakukan untuk menghindari terfiksirnya scapula dalam posisi adduksi dan gelang bahu retraksi. Angkat panggul (*brigioging*) dan berguling juga penting untuk latihan gerakan.



Gambar 3.2. Posisi Pasien Latihan di Tempat Tidur

b. Latihan duduk

Pasien juga harus melakukan latihan duduk, pasien dikondisikan untuk belajar memfleksikan sendi panggul, lutut dan pergelangan kaki dalam posisi tegak lurus untuk mencegah spasitisisitas ekstensor tungkai. Selama berlatih pasien harus belajar untuk memperoleh perasaan simetri.



Gambar 3.3. Latihan Posisi Duduk

c. Latihan berdiri dan berjalan

Pasien dilatih secara bertahap, mulai dari posisi duduk dari kursi hingga mampu berdiri. Untuk latihan transfer berat badan pada sendi paha yang lumpuh, dilakukan pada *parallel bars* serta jika diperlukan penambahan cermin agar penderita dapat mengoreksi dirinya sendiri. Pada latihan berdiri kedua kaki lurus ke depan dengan panggul dalam posisi protaksi dan rotasi interna, lutut ekstensi, bahu protraksi, dan abduksi serta siku ekstensi dan ibu jari tangan abduksi. Gerakan tubuh ke depan dan belakang, ke samping kiri dan kanan. Kemudian latihan fleksi ekstensi lutut dengan sendi paha tetap dalam posisi ekstensi, latihan mengangkat tungkai yang lumpuh dan yang sehat secara bergantian. Lalu melangkah di tempat ke depan dan belakang dan ke samping kiri dan kanan. Untuk latihan berjalan, fisioterapis berdiri di sisi yang lumpuh, tangan penderita digenggam dalam posisi saling bersalaman agar lengan penderita tetap dalam posisi anti spastik. Kemudian lengan fisioterapis berada pada dada penderita untuk

memperbaiki pemindahan berat badan penderita saat berjalan dan posisi pasien tetap dalam keadaan simetris.



Gambar 3.4. Latihan Berjalan

3.3.3. Alat Bantu berjalan

Untuk beberapa kasus penyakit, alat bantu berjalan yang digunakan berbeda-beda tergantung dari kondisi pasien serta seberapa besar penyakit yang diderita pasien. Sehingga pasien dapat menggunakan alat bantu berjalan sesuai dengan kebutuhan dan kegunaan pasien itu sendiri. Alat kesehatan untuk membantu berjalan yang umum beredar di pasaran saat ini adalah :

- a. Kursi roda (*wheelchair*)
- b. Tongkat (*Cane*)
- c. *Tripod*
- d. *Quad cane*
- e. *Crutches*
- f. *Walker*



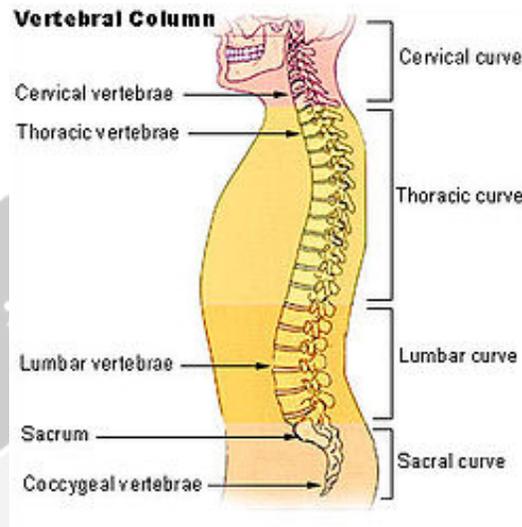
Gambar 3.5. Latihan Berjalan Menggunakan Walker

3.4. Tulang Belakang

Tulang punggung atau *vertebra* adalah tulang tak beraturan yang membentuk punggung yang mudah digerakkan terdapat 33 tulang punggung pada manusia, 5 di antaranya bergabung membentuk bagian *sacral*, dan 4 tulang membentuk tulang ekor (*coccyx*). Tiga bagian di atasnya terdiri dari 24 tulang yang dibagi menjadi 7 tulang *cervical* (leher), 12 tulang *thorax* (*thoraks* atau dada) dan, 5 tulang *lumbal*. Sebuah tulang punggung terdiri atas dua bagian yakni bagian *anterior* yang terdiri dari badan tulang atau *corpus vertebrae*, dan bagian *posterior* yang terdiri dari *arcus vertebrae*. *Arcus vertebrae* dibentuk oleh dua "kaki" atau *pediculus* dan dua *lamina*, serta didukung oleh penonjolan atau *proccesus* yakni *proccesus articularis*, *proccesus transversus*, dan *proccesus spinosus*. Prosesus tersebut membentuk lubang yang disebut *foramen vertebrale*. Ketika tulang punggung disusun, *foramen* ini akan membentuk saluran sebagai tempat sumsum tulang belakang atau *medulla spinalis*. Di antara dua tulang punggung

dapat ditemui celah yang disebut foramen intervertebrale.

Secara umum tulang punggung *cervical* memiliki bentuk tulang yang kecil dengan *spina* atau *procesus spinosus* (bagian seperti sayap pada belakang tulang) yang pendek, kecuali tulang ke-2 dan 7 yang *procesus spinosus*nya pendek. Diberi nomor sesuai dengan urutannya dari C1-C7 (C dari *cervical*), namun beberapa memiliki sebutan khusus seperti C1 atau atlas, C2 atau aksis. Pada tulang punggung *thorax*, *procesus spinosus*nya akan berhubungan dengan tulang rusuk. Beberapa gerakan memutar dapat terjadi. Bagian ini dikenal juga sebagai 'tulang punggung dorsal' dalam konteks manusia. Bagian ini diberi nomor T1 hingga T12. Bagian *lumbal* (L1-L5) merupakan bagian paling tegap konstruksinya dan menanggung beban terberat dari yang lainnya. Bagian ini memungkinkan gerakan fleksi dan ekstensi tubuh, dan beberapa gerakan rotasi dengan derajat yang kecil. Sedangkan pada tulang punggung *sacral*, terdapat 5 tulang di bagian ini (S1-S5). Tulang-tulang ini bergabung dan tidak memiliki celah atau diskus intervertebralis satu sama lainnya. Untuk tulang punggung *coccygeal* terdapat 3 hingga 5 tulang (Co1-Co5) yang saling bergabung dan tanpa celah.



Gambar 3.6. Susunan Tulang Belakang

3.4.1. Gangguan Tulang Belakang

Tulang belakang bawah atau area lumbar melayani sejumlah fungsi-fungsi yang penting untuk tubuh manusia. Fungsi-fungsi ini termasuk penunjang struktural, pergerakan, dan proteksi jaringan-jaringan tubuh tertentu. Ketika kita berdiri, tulang belakang bawah berfungsi menahan sebagian terbesar dari berat badan. Ketika kita menekuk, meregang atau memutar pada pinggang, tulang belakang bawah terlibat dalam gerakan ini. Oleh karenanya, luka-luka pada struktur-struktur yang penting untuk menopang berat, seperti tulang belakang, otot-otot, tendon-tendon, dan ligamen-ligamen, seringkali dapat dideteksi ketika tubuh berdiri tegak atau digunakan dalam berbagai gerakan-gerakan. Melindungi jaringan-jaringan lunak dari sistim syaraf dan spinal cord begitu juga dengan organ-organ yang berdekatan dari pelvis dan perut adalah suatu fungsi yang kritis dari tulang belakang lumbar dan otot-otot yang berdekatannya.

Manusia memiliki tulang dan sendi (sistem gerak) yang memiliki banyak fungsi untuk menunjang kehidupan manusia. Tanpa kondisi fit tulang dan sendi, manusia akan kesulitan untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Berikut ini adalah beberapa bentuk kelainan / gangguan tulang dan sendi pada manusia yaitu :

a. Kelainan / Gangguan Pada Tulang Belakang / Spinal Manusia

1. Kiposis / *Kyphosis*

Kiposis adalah suatu gangguan pada tulang belakang di mana tulang belakang melengkung ke depan yang mengakibatkan penderita menjadi terlihat bungkuk

2. Lordosis

Lordosis adalah suatu gangguan pada tulang belakang di mana tulang belakang melengkung ke belakang yang mengakibatkan penderita menjadi terlihat bungkuk ke belakang.

3. Skoliosis / *Scoliosis* / *Skoliosis*

Skoliosis adalah suatu gangguan pada tulang belakang di mana tulang belakang melengkung ke samping baik kiri atau kanan yang membuat penderita bungkuk ke samping.

4. Sublubrikasi

Sublubrikasi adalah kelainan pada tulang belakang pada bagian leher yang menyebabkan kepala penderita gangguan tersebut berubah arah ke kiri atau ke kanan.

b. Kelainan / Gangguan Pada Sendi Manusia

1. Keseleo / Terkilir / *Sprained*

Terkilir atau keseleo adalah gangguan sendi akibat gerakan pada sendi yang tidak biasa, dipaksakan atau bergerak secara tiba-tiba. Umumnya keseleo bisa menyebabkan rasa yang sangat sakit dan bengkak pada bagian yang keseleo.

2. Dislokasi / *Dislocation*

Dislokasi adalah gangguan pada sendi seseorang di mana terjadi pergeseran dari kedudukan awal.

3. Arthritis / *Arthritis*

Arthritis adalah radang sendi yang memberikan rasa sakit dan terkadang terjadi perubahan posisi tulang. Salah satu contoh arthritis yang terkenal adalah rematik.

4. Ankilosis / *Ankylosis*

Ankilosis adalah gangguan pada sendi di mana menyebabkan sendi tidak dapat digerakkan di mana ujung-ujung antar tulang serasa bersatu.

c. Kelainan / Gangguan Retak Tulang / Patah Tulang / Fraktura / *Fracture*

Fraktura tulang adalah retak tulang atau patah tulang yang umumnya terjadi akibat benturan, kelebihan beban, tekanan, dan lain sebagainya. Fraktura tulang sederhana yaitu keretakan tulang yang tidak melukai organ-organ yang ada di sekelilingnya. Fraktura kompleks adalah keretakan tulang yang menyebabkan luka pada organ di sekitarnya.

d. Kelainan / Gangguan Fisiologik

1. Mikrosefalus / *Microcephalus*

Mikrosefalus adalah kelainan pertumbuhan terkorak kepala yang menyebabkan kepala penderita terlihat lebih kecil dari normal.

2. Osteoporosis

Osteoporosis adalah kondisi di mana tulang rapuh, keropos dan mudah patah. Umumnya osteoporosis disebabkan oleh hormon jantan/betina yang kurang sempurna atau akibat kekurangan asupan kalsium untuk tulang.

3. Rakitis / *Rachitis* / *Rakhitis*

Rakitis adalah penyakit tulang yang terjadi akibat kurang vitamin D sehingga umumnya menyebabkan bentuk tulang kaki bengkok membentuk huruf O atau X.

3.4.2. Langkah-langkah untuk Mengatasi Keluhan Muskuloskeletal

Berdasarkan rekomendasi dari *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), tindakan ergonomik untuk mencegah adanya sumber penyakit adalah melalui dua cara, yaitu rekayasa teknik dan manajemen (kriteria dan organisasi kerja). Langkah-langkah preventif ini dimaksudkan untuk mengeleminir dan mencegah adanya sikap kerja tidak alamiah, (Tarwaka dkk., 2004).

a. Rekayasa Teknik

Rekayasa teknik pada umumnya dilakukan melalui pemilihan beberapa alternatif sebagai berikut :

1. Eliminasi, menghilangkan sumber bahaya yang ada. Hal ini jarang bisa dilakukan mengingat

kondisi dan tuntutan pekerjaan yang mengharuskan untuk menggunakan peralatan yang ada.

2. Substitusi, mengganti alat/bahan lama dengan alat/bahan baru yang aman, menyempurnakan proses produksi dan menyempurnakan prosedur penggunaan peralatan.
3. Partisi, melakukan pemisahan antara sumber bahaya dengan pekerja
4. Ventilasi, menambah ventilasi untuk mengurangi resiko sakit akibat suhu udara.

b. Rekayasa Manajemen

1. Pendidikan dan pelatihan, dilakukan agar pekerja menjadi lebih memahami lingkungan dan alat kerja, sehingga diharapkan dapat melakukan penyesuaian inovatif dalam melakukan upaya-upaya pencegahan terhadap resiko sakit akibat kerja
2. Pengaturan waktu kerja dan istirahat harus seimbang dan disesuaikan dengan kondisi lingkungan kerja dan karakteristik pekerjaan, sehingga dapat mencegah paparan yang berlebihan terhadap sumber bahaya.
3. Pengawasan yang intensif dapat mencegah kemungkinan terjadinya resiko sakit akibat kerja secara lebih dini.

3.5. Biomekanika

3.5.1. Pengertian

Biomechanics (bio=life + machine) adalah aplikasi dari prinsip mekanika dan fisika untuk mengukur gaya

yang dialami dalam kehidupan sehari-hari. Menurut Frankel dan Nordin (1980) dalam Chaffin, dkk (1999), biomekanika adalah ilmu yang menggunakan hukum-hukum fisika dan konsep-konsep teknik, untuk mendeskripsikan gerakan yang dialami oleh berbagai segment tubuh dan gaya-gaya pada bagian-bagian tubuh ini selama melakukan aktivitas.

Menurut Chaffin, dkk (1999) biomekanika adalah suatu aktivitas dari berbagai ilmu yang mengkombinasikan pengetahuan dari ilmu fisika dan teknik, dengan ilmu biologi serta ilmu yang lain. Berdasarkan pengertian tersebut maka, biomekanika berhubungan erat dengan tubuh manusia sebagai subjeknya serta interaksi dengan lingkungan sekitar.

Hukum dasar dalam biomekanika dirumuskan oleh Isaac Newton (1643-1727) untuk mempelajari gerak mekanik pada manusia dan hewan. Pada awalnya Newton mengembangkan hukum gerakan dan menjelaskan gaya tarik gravitasi antara dua benda. Terdapat 3 hukum dasar mekanika yang dicetuskan oleh Newton. Hukum Newton yang pertama, ini disebut juga hukum inersia (hukum kelembaman), artinya bahwa bila suatu benda yang diam relatif terhadap bumi diamati pada waktu mulai bergerak atau bila suatu benda bergerak dipercepat, diperlambat atau berubah arah kita dapat menyimpulkan bahwa pada benda tersebut beraksi suatu resultan gaya. Dengan kata lain semua benda akan bergerak bila ada gaya yang mengakibatkan pergerakan benda tersebut. Hukum Newton pertama ini dipakai untuk mengukur suatu pengamatan, sehingga dapat dirumuskan :

$$\sum F = 0 \quad \dots(3.1)$$

$$\sum F_x = 0 \quad \dots(3.2)$$

$$\sum F_y = 0 \quad \dots(3.3)$$

Hukum Newton yang kedua, menyatakan bahwa bila gaya resultan tidak nol benda bergerak dengan percepatan dan untuk gaya tertentu besarnya percepatan tergantung pada sifat benda yang disebut massa. Percepatan (a) dan gaya (F) adalah sebanding dalam besaran. Hubungan gaya (F) dan percepatan (a) oleh Newton dirumuskan sebagai berikut :

$$\sum F = m \times a \quad (1 \text{ kg m/detik}^2 = 1 \text{ N}) \quad \dots(3.4)$$

m = massa benda (kg)

a = percepatan (1 m/detik²)

Hukum Newton ketiga, bilamana suatu benda memberi gaya pada benda lain, maka benda kedua selalu memberi gaya pada benda pertama yang besarnya sama, arahnya berlawanan, dan garis kerjanya berimpit. Oleh karenanya tidaklah mungkin suatu gaya itu berdiri sendiri, dan dapat dirumuskan :

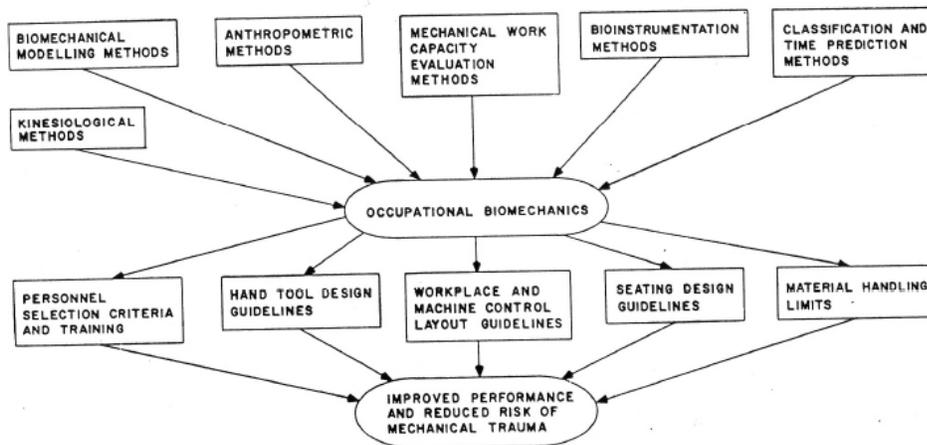
$$\sum F_{\text{aksi}} = - F_{\text{reaksi}} \quad \dots(3.5)$$

Di dalam tubuh manusia terdapat gaya yang bekerja. Gaya yang bekerja dalam tubuh dapat diketahui ketika kita menabrak suatu obyek. Sedangkan gaya yang berada dalam tubuh sering tidak diketahui, padahal gaya itu ada, misalnya gaya otot yang menyebabkan mengalirnya darah dan paru-paru yang memperoleh udara. Newton telah membuat hukum gravitasi secara universal yang merupakan dasar gaya yang dikenal dengan gaya gravitasi

Gaya pada tubuh dalam keadaan statis/stasioner berarti obyek/tubuh dalam keadaan setimbang, berarti

pula jumlah gaya dalam segala arah sama dengan nol, dan jumlah momen gaya terhadap sumbu juga sama dengan nol.

3.5.2. Metodologi biomekanika



Gambar 3.7. Metodologi biomekanika

a. Pengembangan Kinesiologi

Kinesiologi adalah bagian dari disiplin ilmu biomekanika. Kinesiologi mempelajari tentang semua area gerakan manusia. Gerakan ini dibagi menjadi 2 bagian yaitu kinematik dan kinetik. Kinematik menggambarkan gerakan seluruh badan tubuh atau bagian segmen tubuh utama, yang secara tersendiri bergerak karena adanya gaya yang menyebabkan gerakan tersebut. Variabelnya meliputi angular dan pemindahan linear, kecepatan, dan percepatan. Gerakan kinetik menggambarkan gaya berhubungan dengan pergerakan, variabelnya meliputi internal dan external gaya serta moment. Pengetahuan tentang ilmu kinesiologi menjadi prasyarat untuk mengembangkan model biomekanika dan aplikasinya.

b. Pengembangan dalam Model Biomekanika

Hasil investigasi kinesiologi terhadap gerakan kinematik pada badan tubuh digunakan untuk, pengembangan model kuantitatif biomekanika. Model tersebut menggunakan gaya dan moment pada badan tubuh manusia, yang berada dalam kondisi melakukan tugas spesifik secara manual. Metode ini dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan manusia sebagai subjek penelitian. Mengembangkan sebuah model yang meliputi seluruh segment tubuh dimungkinkan terlaksana apabila, tingkat kemampuan teknologi komputernya semakin cepat.

c. Pengembangan dalam Antropometri

Antropometri adalah ilmu pengetahuan empiris yang mencoba untuk mendefinisikan ukuran secara fisik dan benar suatu pengukuran dari, ukuran seseorang dan bentuknya sesuai dengan perbandingannya secara antropologikal. Teknik antropometri menekankan pada aplikasi semua pengukuran dengan tujuan evaluasi untuk mencari kesesuaian bagi penggunaan sistem rancangan. Suatu perancangan ruang kerja atau produk adalah salah satu contoh penerapan antropometri.

d. Metode Evaluasi Batas Kerja Mekanikal

Trauma mekanikal adalah trauma yang disebabkan karena tidak sebandingnya tenaga dari seorang pekerja dengan pekerjaan yang ada. Trauma ini terjadi karena akibat hasil beban fisik yang berlebihan dari kapasitas normal populasi secara umum yang juga masih tergantung pada faktor genetiknya, umur, latihan, keterampilan, dan

banyak faktor lainnya. Data-data dan informasi mengenai batas kapasitas musculoskeletal digunakan untuk memprediksi kapasitas dari berbagai populasi jenis pekerjaan.

e. Pengembangan dalam Bioinstrument

Pengembangan paling penting yang terjadi dalam beberapa tahun terakhir ini dalam ilmu biomekanika kerja adalah pengembangan bioinstrument. Pengembangan metode ini sangat cepat karena, menggunakan data-data sebagai dasar analisisnya. Pengembangan metode ini dapat di lihat pada :

1. Pengembangan pengukuran kinematik dan penggunaan komputer dalam analisis teknik.
2. Transducer bagi pengukur gaya pada banyak arah dan plat-plat gaya.
3. Rekaman pada banyak channel elektromiografik serta teknik pengolahan untuk memperkirakan besarnya gaya pada otot yang diijinkan melalui uji-uji eksperimental.

f. Pengembangan dalam Klasifikasi Gerak dan Prediksi Waktu

Klasifikasi kerja dan prediksi waktu kerja di maksudkan untuk pengembangan dan modifikasi kegiatan kerja di suatu industri tertentu. Klasifikasi gerak dan prediksi waktu menggunakan prinsip pengembangan biomekanika serta ilmu pengetahuan yang lain. Hasil dari klasifikasi gerakan yaitu menggambarkan aktivitas manusia dalam suatu standart tertentu yang terdiri dari berbagai element kerja. Waktu kerja dalam metode

ini diperlukan untuk, mengembangkan kemampuan dari setiap pekerja.

3.5.3. Center of Gravity

Keseimbangan adalah kemampuan untuk mempertahankan kesetimbangan tubuh ketika di tempatkan di berbagai posisi. Definisi menurut O'Sullivan, keseimbangan adalah kemampuan untuk mempertahankan pusat gravitasi pada bidang tumpu terutama ketika saat posisi tegak. Selain itu menurut Ann Thomson, keseimbangan adalah kemampuan untuk mempertahankan tubuh dalam posisi kesetimbangan maupun dalam keadaan statik atau dinamik, serta menggunakan aktivitas otot yang minimal. Keseimbangan juga bisa diartikan sebagai kemampuan relatif untuk mengontrol pusat massa tubuh (*center of mass*) atau pusat gravitasi (*center of gravity*) terhadap bidang tumpu (*base of support*).

Keseimbangan melibatkan berbagai gerakan di setiap segmen tubuh dengan di dukung oleh sistem muskuloskeletal dan bidang tumpu. Kemampuan untuk menyeimbangkan massa tubuh dengan bidang tumpu akan membuat manusia mampu untuk beraktivitas secara efektif dan efisien. Keseimbangan terbagi atas dua kelompok, yaitu

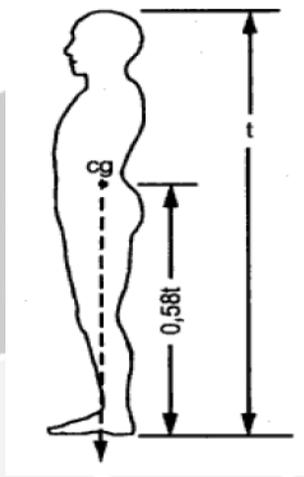
- a. Keseimbangan statis adalah kemampuan tubuh untuk menjaga kesetimbangan pada posisi tetap (sewaktu berdiri dengan satu kaki, berdiri diatas papan keseimbangan)
- b. Keseimbangan dinamis adalah kemampuan untuk mempertahankan kesetimbangan ketika bergerak.

Keseimbangan merupakan interaksi yang kompleks dari integrasi/interaksi sistem sensorik (*vestibular*, *visual*, dan *somatosensorik* termasuk *proprioceptor*) dan *muskuloskeletal* (otot, sendi, dan jaringan lunak lain) yang dimodifikasi/diatur dalam otak (kontrol motorik, sensorik, *basal ganglia*, *cerebellum*, *area asosiasi*) sebagai respon terhadap perubahan kondisi internal dan eksternal. Selain itu keseimbangan juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti, usia, motivasi, kognisi, lingkungan, kelelahan, pengaruh obat dan pengalaman terdahulu.

Faktor-faktor yang mempengaruhi keseimbangan antara lain:

a. Pusat gravitasi (*Center of Gravity-COG*)

Pusat gravitasi terdapat pada semua obyek, pada benda, pusat gravitasi terletak tepat di tengah benda tersebut. Pusat gravitasi adalah titik utama pada tubuh yang akan mendistribusikan massa tubuh secara merata. Bila tubuh selalu ditopang oleh titik ini, maka tubuh dalam keadaan seimbang. Pada manusia, pusat gravitasi berpindah sesuai dengan arah atau perubahan berat. Pada seseorang yang berdiri tegak dan dipandang dari belakang, pusat gravitasi (*central of gravity*) terletak di panggul di depan bagian atas sakrum pada sekitar 58% dari ketinggian orang tersebut dari lantai. Derajat stabilitas tubuh dipengaruhi oleh empat faktor, yaitu : ketinggian dari titik pusat gravitasi dengan bidang tumpu, ukuran bidang tumpu, lokasi garis gravitasi dengan bidang tumpu serta berat badan



Gambar 3.8. Pusat Massa Tubuh pada Posisi Berdiri

b. Garis gravitasi (*Line of Gravity-LOG*)

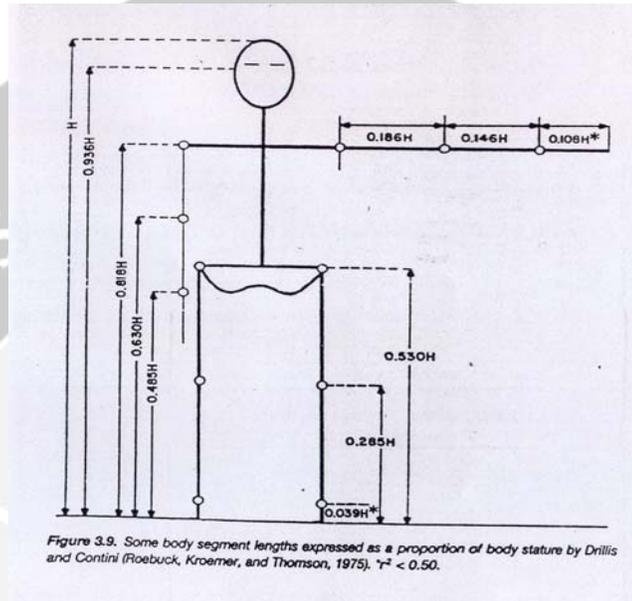
Garis gravitasi merupakan garis imajiner yang berada vertikal melalui pusat gravitasi dengan pusat bumi. Hubungan antara garis gravitasi, pusat gravitasi dengan bidang tumpu adalah menentukan derajat stabilitas tubuh.

c. Bidang tumpu (*Base of Support-BOS*)

Bidang tumpu merupakan bagian dari tubuh yang berhubungan dengan permukaan tumpuan. Ketika garis gravitasi tepat berada di bidang tumpu, tubuh dalam keadaan seimbang. Stabilitas yang baik terbentuk dari luasnya area bidang tumpu. Semakin besar bidang tumpu, semakin tinggi stabilitas. Misalnya berdiri dengan kedua kaki akan lebih stabil dibanding berdiri dengan satu kaki. Semakin dekat bidang tumpu dengan pusat gravitasi, maka stabilitas tubuh makin tinggi.

Data antropometri atau data dimensi tubuh manusia sangat diperlukan untuk melakukan model biomekanika.

Dengan mengukur tinggi tubuh seseorang, dapat dilakukan perkiraan panjang setiap segmen tubuh manusia.



Gambar 3.9. Panjang Setiap Segment Tubuh

Selain mengetahui panjang setiap segmen tubuh, melalui data berat badan tubuh dapat diketahui distribusi massa pada setiap segmen tubuh. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Damster (1955), didapatkan hasil pengukuran massa setiap segmen tubuh sebagai berikut:

Table 3.11 Estimates of Mass Distributions (kg) for Selected Percentiles of Males and Females*

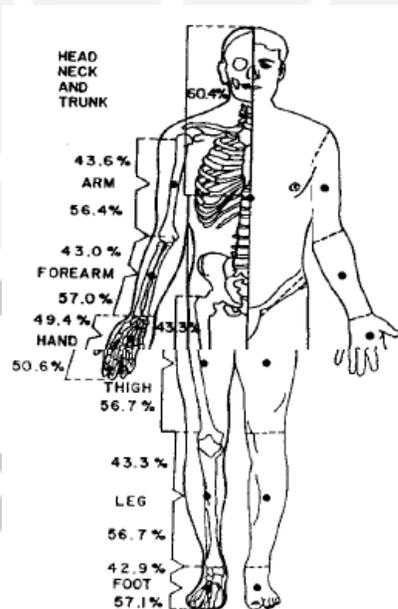
Link	Male			Female		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
Hand	0.4	0.4	0.6	0.3	0.4	0.5
Forearm	0.9	1.2	1.6	0.7	1.0	1.4
Upper arm	1.6	2.1	2.8	1.3	1.7	2.5
Head, neck, and trunk	33.0	43.4	56.8	27.2	35.8	52.1
Arms, head, and torso above L5/S1 disc ^b	27.2	35.6	46.8	22.4	29.5	42.9
Upper leg	5.7	7.4	9.7	4.7	6.2	8.9
Lower leg	2.6	3.4	4.5	2.2	2.8	4.2
Foot	0.7	1.0	1.4	0.7	0.9	1.3
Body weight ^c	57.1	75.2	98.3	47.1	62.1	90.1

*Estimates are from Dempster (1955), as corrected for fluid loss by Clauser et al. (1969).

^bBased on Morris et al. (1961).

^cBased on National Health Survey, Weight, Height, and Selected Body Dimensions of Adults, PHS Pub 1000, Series 11, No. 8 (1965).

Gambar 3.10. Tabel Ukuran Distribusi Massa



Gambar 3.11. Prosentasi Titik Berat pada setiap Elemen Tubuh Manusia

Setelah mengetahui besarnya massa dan kemudian dapat digunakan untuk menghitung besarnya gaya yang dialami setiap tubuh. Sedangkan untuk menghitung besarnya momen dibutuhkan data jarak antara pusat massa

terhadap sumbu putar tubuh. Jarak segmen tubuh ke pusat massa dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Dimension	Male			Female			Percent Link Length Dempster (1955) ^a
	5%	50%	95%	5%	50%	95%	
Wrist-to-hand CM	6.7	7.0	7.4	6.1	6.4	6.7	—
Elbow-to-lower-arm CM	11.0	11.7	12.3	9.9	10.4	11.0	43.0%
Shoulder-to-upper-arm CM	12.5	13.2	14.0	11.6	12.1	12.5	43.6%
Hip-to-trunk, neck, head CM ^b	18.1	19.3	22.5	16.7	17.9	19.1	39.6%
Knee-to-upper-leg CM	23.0	24.8	26.1	22.2	23.2	24.2	56.7%
Ankle-to-lower-leg CM	23.0	23.2	24.9	19.3	20.6	22.1	56.7%
Heel-to-foot CM	10.6	11.4	12.3	9.4	10.3	11.1	42.9%

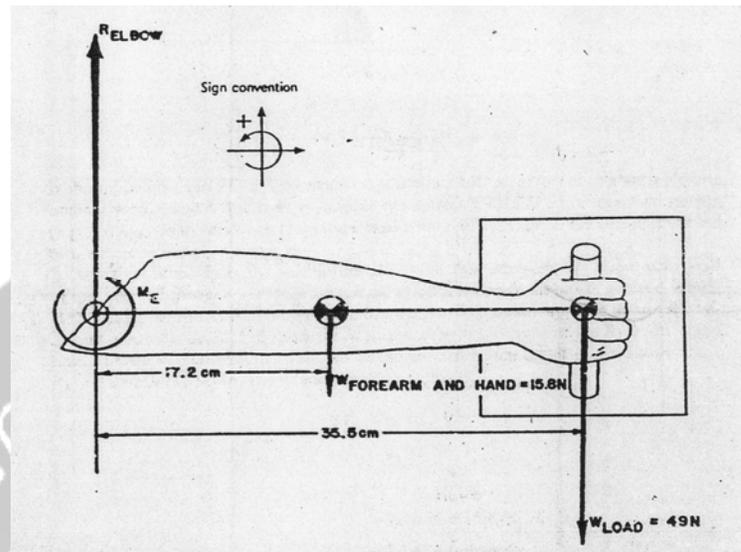
^aAll dimensions are based on the Dempster percentage of link length estimates.
^bAs measured from hip to top of head when subject is in erect posture.

Gambar 3.12. Tabel Jarak Segmen Tubuh ke Pusat Massa

3.5.4. Model statik biomekanik manual

Untuk menyelesaikan kasus statik, hal yang perlu ditentukan adalah besarnya gaya eksternal pada pusat kesetimbangan. Jadi jika seseorang melepaskan beban, maka beban tersebut akan jatuh ke bawah karena gaya tarik bumi. Menurut Hukum kedua Newton, berat sebanding dengan massa dikalikan percepatan gravitasi (g) sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$.

Dalam melakukan pemodelan, dikenal adanya *free-body diagram*. Konsep dari pembuatan *free-body diagram* adalah untuk menggambarkan gaya dan jarak antar gaya. Seperti diagram pada umumnya vektor gaya diskala untuk menunjukkan besarnya jarak dan arah gaya, dan kemudian dapat digunakan untuk menentukan besarnya gaya yang belum diketahui. Contoh dari *free-body diagram* untuk satu segmen tubuh lengan bawah dan tangan saat memegang benda dapat dilihat dari Gambar 3.13. berikut ini :



Gambar 3.13. Free-body Diagram untuk Segmen Lengan Bawah dan Tangan untuk Pria dengan Persentil 50

Dari Gambar 3.13. diatas dapat diketahui gaya yang dialami oleh siku dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Sigma \text{ forces} &= 0 \\ -49 \text{ N} - 15,8 \text{ N} + R_{\text{elbow}} &= 0 \\ R_{\text{elbow}} &= 64,8 \text{ N (ke atas)} \quad \dots (3.6)\end{aligned}$$

Sedangkan besarnya momen jika gaya dengan arah ke bawah diasumsikan negatif adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Sigma \text{ moments} &= 0 \\ 17,2 \text{ cm}(-15,8 \text{ N}) + 35,5 \text{ cm}(-49 \text{ N}) + M_E &= 0 \\ M_E &= 20,113 \text{ Nm} \quad \dots (3.7)\end{aligned}$$

Dengan perhitungan diatas dapat diketahui bahwa untuk aktivitas mengangkat beban sebesar 49 N atau setara dengan 5 kg, siku mengalami gaya sebesar 64,8 N ke atas dan momen sebesar 20,113 Nm dengan arah putar berlawanan arah jarum jam.

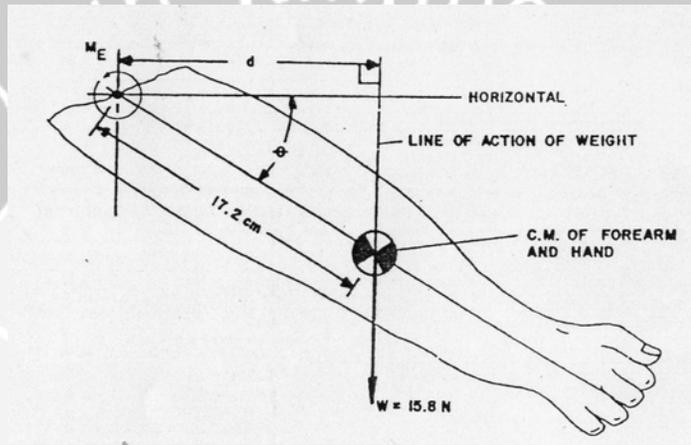
Apabila kasus yang terjadi posisi lengan bawah tidak horisontal seperti pada Gambar 3.14., maka besarnya momen pada siku dirumuskan sebagai berikut :

$$M_E = dW$$

$$= (\cos\theta \cdot 17,2 \text{ cm}) (15,8 \text{ N}) \dots (3.8)$$

dan apabila terdapat kasus di mana terdapat beban seberat L_H pada tangan maka persamaan momen pada siku sebesar :

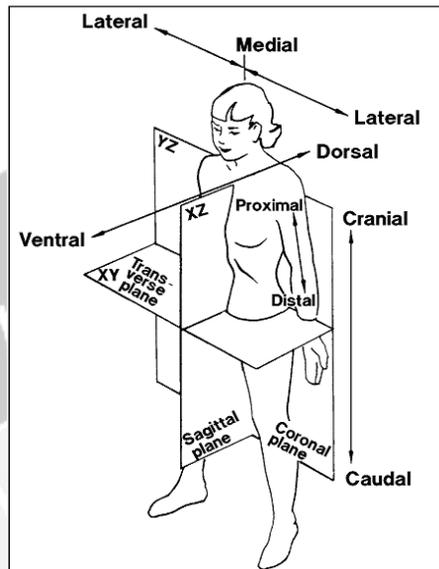
$$M_E = \cos\theta [17,2 \text{ cm} (15,8 \text{ N}) + 35,5 \text{ cm} \cdot L_H] \dots (3.9)$$



Gambar 3.14. Momen pada Siku untuk Sudut Tertentu

3.5.5. Gerak Sendi Manusia

Sistem rangka memiliki sekitar 200 persendian (sambungan) yang memungkinkan timbulnya bermacam – macam tingkat gerakan. Gerakan tubuh manusia merupakan interaksi antara otot dan gaya yang diakibatkan oleh tubuh manusia itu sendiri. Dalam biomekanika setiap gerakan dilakukan dengan efektif sehingga efisiensi dalam bergerak dapat tercapai.

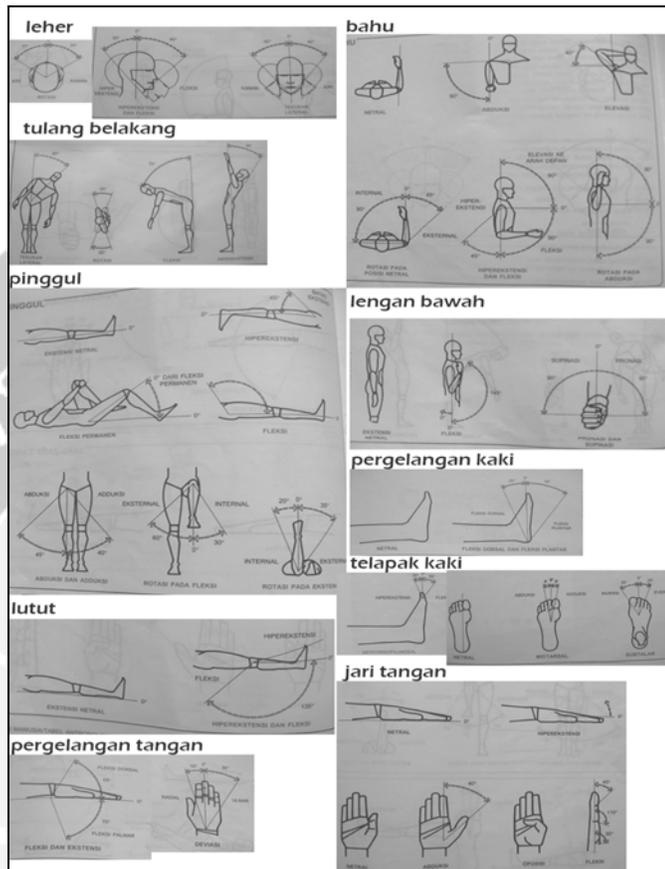


Gambar 3.15. Bidang gerak tubuh

Ada tiga bidang gerak utama dengan sumbunya yang sesuai. Setiap bidang gerak memotong badan dan membaginya menjadi ruas-ruas yang sama. Bidang gerak utama tersebut adalah :

- a. Bidang Sagital/Sumbu Lateral: membagi badan menjadi ruas-ruas kanan dan kiri dengan sebuah sumbu yang secara horizontal melalui persendian dari sisi yang satu ke sisi lainnya.
- b. Bidang Frontal/Sumbu Anterioposterior: suatu bidang gerak yang membagi badan ke dalam ruas depan dan belakang dengan sebuah sumbu dari depan ke belakang.
- c. Bidang Transversal/Sumbu Vertikal: membagi badan ke dalam separuh atas dan separuh bawah dengan sebuah sumbu yang melalui sendi secara vertikal.

Selain itu terdapat terminologi gerak sendi pada tubuh manusia yang terlihat pada Gambar 3.16 yaitu :



Gambar 3.16. Terminologi gerak sendi

Penjelasan mengenai macam - macam gerak sendi tersebut diatas adalah :

- a. Fleksi : gerakan menekuk atau memperkecil sudut yang terbentuk antara bagian - bagian tubuh.
- b. Ekstensi : gerakan meluruskan atau memperbesar sudut yang terbentuk antara bagian - bagian tubuh. Gerakan ini diartikan sebagai kebalikan gerak fleksi.
- c. Abduksi : gerakan suatu bagian tubuh menjauhi garis tengah tubuh.
- d. Adduksi : gerakan suatu bagian tubuh mendekati garis tengah tubuh.

- e. Rotasi medial : berputar ke arah garis tengah tubuh
- f. Rotasi lateral : berputar menjauhi garis tengah tubuh
- g. Pronasi : rotasi lengan bawah sedemikian rupa sehingga permukaan telapak tangan menghadap ke bawah.
- h. Supinasi : rotasi lengan bawah sedemikian rupa sehingga permukaan telapak tangan menghadap ke atas.
- i. Eversi : rotasi kaki dengan mengangkat batas lateralnya untuk memutar telapak kaki ke luar.
- j. Inversi : mengangkat tepi tengah kaki untuk memutar permukaan bawah kaki ke arah dalam.

3.6. Pemodelan Biomekanika

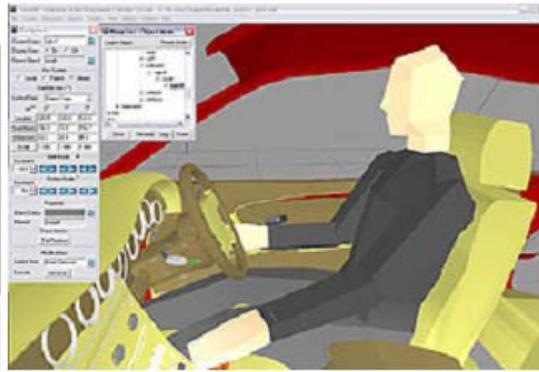
3.6.1. Penggunaan Manikin

Pengembangan simulasi saat ini sudah berkembang pesat mengingat kebutuhan - kebutuhan modern yang sudah menggunakan alat dan teknologi yang canggih. Ini dimaksudkan untuk memudahkan perancang untuk mensimulasikan hasil rancangannya tersebut dengan manusia sebagai satu kesatuan yang tidak bisa dipisahkan. Ada beberapa software yang menampilkan *human modeling system* antara lain:

a. SAMMIE CAD

SAMMIE CAD Limited dibuat pada tahun 1986 dan merupakan pengembangan dari *SAMMIE Research Group* yang berasal dari Universitas Loughborough and Nottingham. Software ini mendukung untuk pengembangan-pengembangan bentuk ergonomi di dunia industri, seperti desain, evaluasi ergonomi,

penelitian dan pengajaran riset di industri otomotif, penerbangan, manufaktur, farmasi, bahan kimia, militer, komersial, dan transportasi.

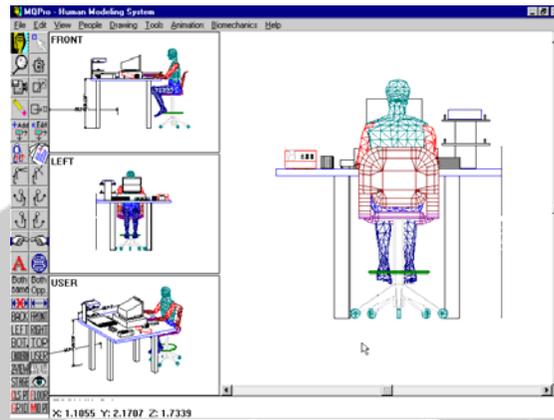


Gambar 3.17. Display Software SAMMIE CAD

Model manusia dapat digambarkan dalam bentuk CAD, dan pengembangannya dapat disimulasikan antara peran manusia dengan lingkungan sekitar yang dirancang. Selain itu digunakan pemilihan metode grafis untuk memudahkan perancang dalam menyesuaikan postur yang ada tanpa harus memperbaharui model.

b. *Mannequin Pro*

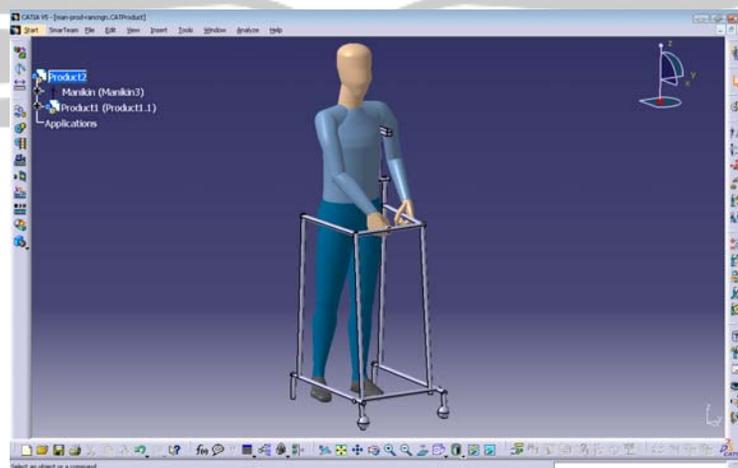
Piranti lunak *Mannequin Pro* adalah sebuah program pemodelan manusia dengan perhatian khusus terhadap aspek ergonomi secara terkomputerisasi. Software yang dikenal dengan manikin ini pertama kali dipasarkan oleh *Biomechanics Corporation of America* yang mana pada saat ini dilakukan oleh *Nexgen Ergonomics*. Model 3 dimensi manusia tersebut dapat digerakkan sesuai dengan arah dan kemampuan pergerakan dari persendian manusia, dan dapat pula dipandang dari berbagai sudut.



Gambar 3.18. Display Software Mannequin Pro

c. CATIA

CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application) adalah software terintegrasi CAD/CAM/CAE yang dikembangkan oleh Perusahaan French Dassault Systemes dan dipasarkan oleh IBM (International Business Machines Corporation). Penggunaan CATIA dapat membantu menghemat biaya dan meningkatkan profit melalui peningkatan produktivitas dalam proses desain, rekayasa, dan manufaktur.



Gambar 3.19. Display Software CATIA

Dalam menggambarkan postur tubuh penderita pada saat berjalan tanpa alat bantu, pada saat menggunakan walker lama, serta penggunaan walker hasil rancangan, peneliti menggunakan bantuan *software CATIA*. Pemilihan *software CATIA* berdasarkan pada teknologi yang dapat menggabungkan gambar benda tiga dimensi (walker) dengan objek manekin (pasien stroke). Selain itu bisa dilakukan analisis biomekanika menggunakan *software* ini. Kemudahan dalam menggerakkan dan mengubah bentuk tampilan dari manekin membuat hasil akhir menyerupai hasil penelitian di lapangan.

3.6.2. Human Modeling dalam CATIA

Terdapat empat bagian dalam *system human modeling software CATIA*, untuk pembuatan manekin. Ke empat bagian itu adalah:

a. *Human Measurement Editor*

Tool ini berfungsi untuk membantu perancang dalam mengubah bentuk dimensi manekin secara manual, dimensi-dimensi antropometri manekin dapat diubah disesuaikan dengan populasi atau kriteria yang ditentukan oleh perancang.

b. *Human Activity Analysis*

Tool ini berfungsi untuk mengevaluasi interaksi antara manusia dan produk. *Tool* ini menganalisis secara detail bagaimana manekin dapat berinteraksi dengan lingkungan sekitar atau produk hasil rancangan berdasarkan pada perhitungan ergonomi. Dalam *tool* ini terdapat lima analisis yaitu: *RULA Analysis, Lift-Lower Analysis, Push-Pull Analysis, Carry Analysis* dan *Biomechanics Single Action*

Analysis. Dalam penelitian kali ini, peneliti memakai tool ini untuk mengetahui nilai ergonomi berdasarkan pada *Biomechanics Single Action Analysis*.

c. *Human Builder*

Tool berfungsi untuk membuat manikin dan memanipulasi gerakan manikin secara dinamik.

d. *Human Posture Analysis*

Tool ini berfungsi untuk menganalisis secara kualitatif dan kuantitatif postur manikin yang digambarkan. Tool ini memberi kemudahan dalam mengatur interaksi antara manikin dan suatu produk. Hasil dari analisis membantu memberi rekomendasi atau pertimbangan kepada perancang mengenai kenyamanan dari hasil yang digambarkan dengan produk hasil rancangan.

3.6.3. Modul *Biomechanics Single Action Analysis* CATIA

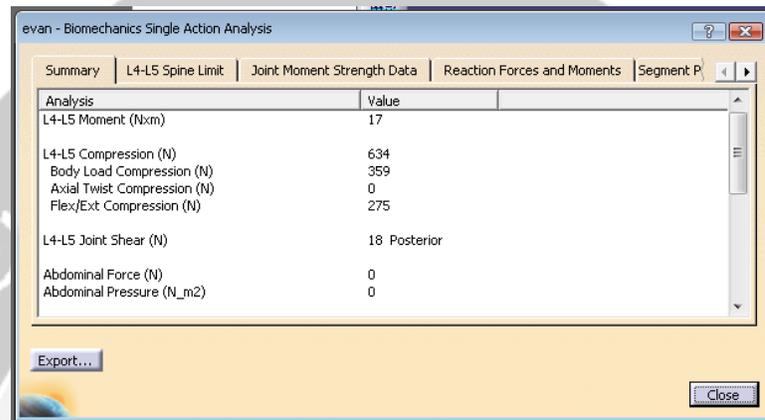
Modul *Biomechanics Single Action Analysis* pada software CATIA didasarkan dari data dimensi antropometri sampel postur tubuh manusia yang digambarkan. Atau bisa menggunakan populasi yang sudah ada di dalam program tersebut. Hasil analisis dari modul ini antara lain informasi mengenai tulang belakang (kekuatan abdominal, tekanan abdominal, pergerakan badan), gaya serta moment dari manikin.

Modul *Biomechanics Single Action Analysis* terdiri atas:

a. *Summary*: data ini memberikan informasi secara umum mengenai hasil kalkulasi dari:

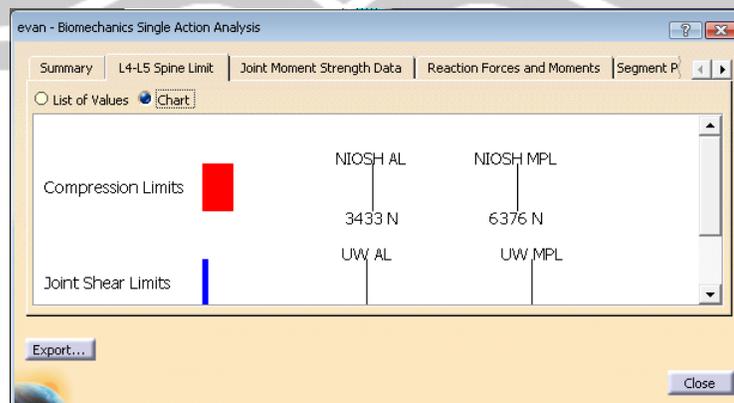
1. L4-L5 Moment
2. L4-L5 Compression

3. L4-L5 Joint Shear
4. Abdominal Force and Pressure
5. Ground Reaction



Gambar 3.20. Summary dalam Modul Biomechanics Single Action Analysis CATIA

- b. *L4-L5 Spine Limit*: data ini memberikan informasi hasil evaluasi terhadap tulang belakang dari postur manikin yang digambarkan. Tampilan data ini tersedia dalam dua bentuk yaitu *list of value* dan *chart*. Basis rekomendasi data ini diambil dari data *NIOSH* dan data *University of Waterloo*.



Gambar 3.21. L4-L5 Spine Limit Modul dalam Modul Biomechanics Single Action Analysis CATIA

- c. *Joint Moment Strength Data*: data ini memberikan informasi persentase dari populasi manikin yang tidak memiliki kemampuan kekuatan. Dasar data ini dari hasil riset Askey, An, Morrey dan Chao tahun 1987 mengenai kekuatan siku, Koski dan McGill tahun 1994 mengenai kekuatan bahu, serta studi Troup dan Chapman tahun 1969 tentang kekuatan tulang lumbar.

Joint	DOF	Moment...	% Po...	Me...	S.D...	Reference
Right Elbow	Flexion-Ext...	2 Flexion	0,0	71	15	Askew, An, Morrey an...
	Supination-...	0	0,0	9	2	Askew, An, Morrey an...
Left Elbow	Flexion-Ext...	2 Flexion	0,0	71	15	Askew, An, Morrey an...
	Supination-...	0	0,0	9	2	Askew, An, Morrey an...
Right Shoulder	Flexion-Ext...	2 Flexion	0,0	90	20	Koski and McGill (1994)
	Internal-ext...	0	0,0	27	9	Lannersten, Harms-Ri...
	Abduction-...	2 Addu...	0,0	72	28	Lannersten, Harms-Ri...
Left Shoulder	Flexion-Ext...	2 Flexion	0,0	90	20	Koski and McGill (1994)
	Internal-ext...	0	0,0	27	9	Lannersten, Harms-Ri...
	Abduction-...	2 Addu...	0,0	72	28	Lannersten, Harms-Ri...

Gambar 3.22. Joint Moment Strength dalam Modul Biomechanics Single Action Analysis CATIA

- d. *Reaction Force and Moments*: data ini memberikan informasi secara detail mengenai jumlah tenaga yang dikeluarkan dan moment dari perubahan segment tubuh secara *proximal* dan *distal*.

Segment	Proximal Force (N)	Distal Force (N)	Proximal Moment (...)	Distal Moment (Nxm)
Right Foot				
X	0	0	0	0
Y	0	0	-1	0
Z	-325	0	0	0
Right Leg				
X	0	0	0	-0
Y	0	0	-1	1
Z	-294	325	0	0
Right Thigh				
X	0	0	0	-0
Y	0	0	-1	1
Z	-227	294	0	0

Gambar 3.23. Reaction Forces And Moments dalam Modul Biomechanics Single Action Analysis CATIA

- e. *Segment Positions*: data memberikan informasi mengenai posisi, arah, pusat massa dan panjang dari segment tubuh tertentu.

Segment	Proximal Coordinates (mm)	Distal Coordinates (mm)	XZ plan...	YZ plan...	Center of
Right Foot	(-0,0 , -77,8 , -775,0)	(111,8 , -77,8 , -818,7)	-21,4	-90,0	(55,9 , 77,8 , -775,0)
Right Leg	(-0,0 , -77,8 , -383,4)	(-0,0 , -77,8 , -775,0)	-90,0	-90,0	(-0,0 , 77,8 , -775,0)
Right Thigh	(-0,0 , -77,8 , 0,0)	(-0,0 , -77,8 , -383,4)	-90,0	-90,0	(-0,0 , 77,8 , 0,0)
Left Foot	(-0,0 , 77,8 , -775,0)	(111,8 , 77,8 , -818,7)	-21,4	-90,0	(55,9 , -77,8 , -775,0)
Left Leg	(-0,0 , 77,8 , -383,4)	(-0,0 , 77,8 , -775,0)	-90,0	-90,0	(-0,0 , -77,8 , -775,0)
Left Thigh	(0,0 , 77,8 , 0,0)	(-0,0 , 77,8 , -383,4)	-90,0	-90,0	(-0,0 , 77,8 , 0,0)
Right Hand	(230,8 , -195,1 , 238,0)	(325,7 , -195,1 , 249,2)	6,8	90,0	(278,8 , -195,1 , 238,0)
Right Forearm	(-10,3 , -195,1 , 238,0)	(230,8 , -195,1 , 238,0)	0,0	0,0	(93,4 , 195,1 , 238,0)
Right Arm	(-10,3 , -143,4 , 506,6)	(-10,3 , -195,1 , 238,0)	-90,0	-79,1	(-10,3 , 143,4 , 506,6)
Left Hand	(230,8 , 195,1 , 238,0)	(325,7 , 195,1 , 249,2)	6,8	90,0	(278,8 , 195,1 , 238,0)
Left Forearm	(-10,3 , 195,1 , 238,0)	(230,8 , 195,1 , 238,0)	0,0	0,0	(93,4 , -195,1 , 238,0)

Gambar 3.24. *Segment Positions* dalam Modul *Biomechanics Single Action Analysis CATIA*

3.7. Metode Perancangan

Metode perancangan adalah setiap prosedur, teknik, bantuan dan peralatan yang digunakan untuk perancangan. Hal-hal tersebut mewakili sejumlah aktivitas tertentu yang mungkin digunakan oleh perancang dan dikombinasikan dalam suatu proses perancangan keseluruhan (Cross, N., 1994).

3.7.1. Metode Kreatif

Ada beberapa metode perancangan yang ditujukan untuk membantu merangsang cara berpikir kreatif. Pada umumnya metode-metode ini mencoba untuk meningkatkan aliran ide dengan cara menghilangkan penghalang mental yang menghambat kreativitas atau dengan memperluas area pencarian solusi (Cross, N., 1994). Cara-cara dalam metode kreatif antara lain:

a. *Brainstorming*

Metode Kreatif yang paling banyak dikenal adalah *brainstorming*. Ini adalah suatu metode untuk menghasilkan ide dalam jumlah yang banyak, sebagian besar kemudian akan dibuang, tetapi beberapa ide yang menarik akan ditindak lanjuti. Metode *brainstorming* biasanya dilakukan dalam kelompok kecil yang terdiri dari 4 sampai 8 orang. Kelompok tersebut terdiri dari beraneka macam orang. Tidak harus dari orang yang ahli tetapi bisa juga dari orang yang mengenal permasalahan tersebut.

b. *Synectics*

Pemikiran yang kreatif seringkali digambarkan pada pemikiran analogis, pada kemampuan untuk melihat persamaan atau hubungan antara topik-topik yang jelas perbedaannya. Penggunaan pemikiran analogis yang terbentuk pada metode perancangan kreatif disebut sebagai *Synetic*. *Synetic* seperti halnya dengan *brainstorming* adalah suatu kelompok aktivitas dimana sikap kritis sangat berperan dan anggota kelompok berusaha untuk membangun, mengkombinasikan dan mengembangkan ide-ide penyelesaian kreatif dalam menyelesaikan masalah. *Synetic* berbeda dengan *brainstorming*, dimana kelompok mencoba untuk bekerja bersama untuk memperoleh solusi permasalahan, daripada membangkitkan banyak ide. *Synectic* jauh lebih lama dan lebih banyak tuntutan dibandingkan dengan *brainstorming*.

c. Perluasan Daerah Penelitian (*Enlarging The Search Space*)

Bentuk penghalang berpikir kreatif yang paling umum adalah mengasumsikan batasan yang lebih sempit dimana solusi diketahui. Teknik-teknik kreatif adalah bantuan untuk memperluas daerah penelitian. Beberapa cara kreatif ini adalah *Transformation, Random Input, Why? Why? Why?* dan *Counter Planning*.

Metode-metode di atas dipakai untuk membangkitkan ide-ide kreatif, namun ide orisinal dapat muncul secara spontan tanpa penggunaan bantuan untuk berpikir kreatif.

3.7.2. Metode Rasional

Metode rasional menganjurkan suatu pendekatan sistematis dalam perancangan. Metode rasional sering memiliki tujuan yang hampir sama dengan metode kreatif, seperti memperluas daerah pencarian untuk mendapat solusi potensial, atau memfasilitasi kelompok kerja dan kelompok pengambil keputusan. Jadi tidak sepenuhnya benar bahwa metode rasional merupakan lawan atau kebalikan dari metode kreatif (Cross, N., 1994).

Beberapa perancang mencurigai metode rasional, mereka khawatir jika metode ini dapat mengekang kreativitas. Hal ini merupakan kesalahpahaman dari maksud perancangan sistematis, yang berarti untuk meningkatkan keputusan kualitas rancangan dan kualitas akhir dari produk. Beberapa tahapan dalam proses perancangan berdasarkan metode rasional adalah :

a. *Clarifying Objectives*

Tahap penting pertama dalam perancangan adalah bagaimana mencoba untuk menjelaskan tujuan perancangan. Pada kenyataannya akan sangat membantu pada keseluruhan tahap perancangan, bila tujuan perancangan sudah jelas, walaupun tujuan itu dapat berubah selama proses perancangan. Tujuan awal dan sementara dapat berubah, meluas atau menyempit, atau benar-benar berubah asalkan permasalahan menjadi lebih dimengerti dan sepanjang penyelesaian ide-ide dapat berkembang. Salah satu metode yang bisa dipakai dalam menjelaskan tujuan adalah metode pohon tujuan (*Objectives Tree*). Metode ini menawarkan format yang jelas dan berguna untuk pernyataan tujuan. *Objectives Tree* menunjukkan tujuan dan maksud umum untuk pencapaian tujuan yang sedang dalam pertimbangan. Metode ini menunjukkan bentuk diagramatis dimana tujuan-tujuan yang berbeda dihubungkan satu sama lain, serta pola hirarki tujuan dan sub tujuan. Prosedur dalam suatu *Objectives Tree* membantu menjelaskan tujuan dan mencapai persetujuan di antara klien, manager dan anggota tim perancangan. Langkah-langkah dalam pembuatan *Objectives Tree* adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan daftar tujuan perancangan. Daftar ini diambil dari ringkasan perancangan, dari pernyataan kepada klien dan dari diskusi di dalam perancangan.
2. Membuat daftar susunan ke dalam kumpulan tujuan tingkat tinggi dan tingkat rendah.

Perluasan daftar tujuan dan sub tujuan secara kasar dapat dikelompokkan ke dalam tingkatan hirarki.

3. Menggambarkan diagram *Objectives Tree*, menunjukkan hubungan hirarki dan garis hubungannya. Cabang-cabang atau akar dalam pohon menggambarkan hubungan yang mengusulkan bagaimana mencapai tujuan.

b. *Establishing Functions*

Salah satu metode yang dipakai pada tahap ini adalah metode analisis fungsi (*Function Analysis*). Metode ini menawarkan cara-cara untuk mempertimbangkan fungsi-fungsi dasar dan tujuan tingkat masalahnya. Fungsi dasar tersebut adalah fungsi dimana alat-alat, produk dan sistem yang akan dirancang harus meyakinkan, tidak peduli dengan komponen fisik yang digunakan. Tingkat permasalahan ditentukan dengan menentukan batasan sekitar sub-kumpulan fungsi yang logis. Prosedur-prosedur dari metode ini adalah:

1. Menjelaskan keseluruhan fungsi perancangan dalam hal perubahan *input* menjadi *output*. Tahapan awal dari metode ini adalah menetapkan apa yang harus dicapai dengan desain yang baru dan bukan bagaimana cara mencapainya. Cara yang paling sederhana untuk memperlihatkan hal ini adalah dengan membayangkan produk yang akan dirancang sebagai 'Kotak Hitam' sederhana yang mengubah *input* tertentu menjadi *output* yang diinginkan. 'Kotak Hitam' terdiri dari

seluruh fungsi yang diperlukan untuk mengubah *input* menjadi *output*.

2. Memecah keseluruhan fungsi menjadi sub-fungsi dasar. Proses perubahan input menjadi output dalam 'Kotak Hitam' adalah hal yang rumit. Fungsi dalam 'Kotak Hitam' dipecah menjadi beberapa sub-fungsi yang memiliki *input* dan *output* sendiri agar lebih jelas. Masing-masing sub-fungsi memiliki *input* dan *output* sendiri-sendiri dan kecocokan diantaranya harus ditinjau. Penambahan sub-fungsi bantuan mungkin saja dilakukan namun tidak akan mempengaruhi secara langsung keseluruhan fungsi.
3. Menggambarkan diagram blok yang menggambarkan interaksi antara sub-fungsi. Diagram blok terdiri dari seluruh sub-fungsi yang diidentifikasi terpisah dengan merangkumnya dalam kotak dan menghubungkannya bersama. Kotak hitam dibuat 'tembus pandang', hal ini menyebabkan sub-fungsi dan hubungannya dapat dilihat dengan jelas.
4. Menggambarkan batas sistem. Menggambarkan 'Kotak Hitam' diperlukan batasan fungsional produk atau alat yang akan dirancang. Mencari komponen yang tepat untuk menampilkan sub fungsi dan interaksinya. Pada tahap ini dicari alternatif komponen yang sesuai untuk tiap sub fungsi.

c. *Setting Requirements*

Metode yang dipakai pada tahap ini adalah *Performance Spesification*. Metode ini bertujuan membantu menemukan masalah dalam perancangan. Langkah-langkah metode ini adalah sebagai berikut:

1. Mempertimbangkan perbedaan tingkatan umum penyelesaian yang dapat diterima. Misalnya ada beberapa pilihan alternatif produk, tipe produk dan ciri-ciri produk.
2. Menentukan tingkatan umum yang nantinya akan dioperasikan. Keputusan ini biasanya dibuat oleh konsumen. Tingkatan umum yang lebih tinggi memberikan kebebasan yang lebih untuk perancang.
3. Mengidentifikasi atribut yang dibutuhkan. Atribut harus dinyatakan secara bebas untuk solusi tertentu.
4. Menyebutkan persyaratan yang diperlukan atribut dengan tepat dan teliti. Spesifikasi harus dalam bentuk kuantitatif dan mengidentifikasikan jarak antar batas jika hal tersebut memungkinkan.

d. *Determining Characteristics*

Dalam menentukan spesifikasi produk, konflik dan kesalahpahaman terkadang dapat timbul dalam tim perancang. Hal ini disebabkan mereka terlalu berfokus pada perbedaan penafsiran pada apa yang harus dispesifikasikan. Metode yang komperhensif untuk mencocokkan antara permintaan konsumen dengan *engineering characteristics* adalah metode *Quality Function Deployment (QFD)* yang merupakan

inti dalam proses desain. Prosedur dalam melakukan metode ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi permintaan konsumen untuk digunakan dalam atribut produk. Suara konsumen sangat penting untuk dikenali dan digunakan dalam menentukan atribut produk.
2. Menentukan atribut relatif yang penting. Teknik rank-ordering atau points-allocations derajat dapat digunakan untuk membantu menentukan bobot relatif yang seharusnya dicantumkan pada berbagai atribut.
3. Mengevaluasi atribut dari produk saingan.
4. Menggambarkan matriks atribut produk dengan engineering characteristics
5. Mengidentifikasi hubungan antara atribut produk dengan engineering characteristics.
6. Mengidentifikasi beberapa interaksi yang relevan antara engineering characteristics.
7. Mengatur target yang sudah ditetapkan agar sesuai dengan engineering characteristics.

e. *Generating Alternatives*

Tahap ini merupakan inti atau aspek penting dalam perancangan. Metode yang bisa dipakai adalah *Morphological Chart Method*. *Morphological Chart* ini berguna untuk membangkitkan keseluruhan alternatif solusi dalam perancangan produk, dan mencari solusi baru yang potensial. Tujuan dari pembangkitan alternatif adalah untuk membangkitkan solusi-solusi rancangan alternatif atau memperluas ruang pencarian terhadap solusi-solusi baru yang potensial. Kombinasi yang berbeda dari sub-solusi

dapat dipilih dari *morphological chart*, dan diharapkan dapat memunculkan solusi baru yang belum pernah teridentifikasi sebelumnya. Langkah-langkah dalam pembuatan *Morphology Chart* adalah sebagai berikut:

1. Membuat daftar fitur atau fungsi yang penting bagi produk.
2. Membuat daftar cara-cara untuk mencapai fitur atau fungsi tersebut.
3. Menggambarkan bagan yang memuat semua sub-solusi yang memungkinkan.
4. Mengidentifikasi kombinasi sub-solusi yang memungkinkan.

f. *Evaluating Alternatives*

Alternatif-alternatif perancangan sudah dibuat dan permasalahan yang kemudian muncul adalah memilih alternatif yang terbaik. Metode yang digunakan adalah metode *weighted objectives* (pembobotan obyektif). Metode *weighted objectives* menyediakan peralatan untuk memperkirakan dan membandingkan alternatif perancangan yang menggunakan perbedaan pembobotan yang obyektif. Tujuan dari metode ini untuk mengambil suatu keputusan alternatif dalam pengembangan alternatif-alternatif yang sudah ada. Pemilihan dilakukan berdasarkan jumlah dari skor dikalikan bobot yang menghasilkan angka terbesar. Langkah-langkah yang dibutuhkan dalam pengerjaan metode *weighted objectives*:

1. Membuat daftar tujuan perancangan, dan *objective tree* dapat digunakan untuk membantunya.

2. Mengurutkan tingkatan tujuan. Perbandingan menurut pasangan dapat membantu menyusun urutan tingkatan.
3. Menentukan pembobotan relatif tujuan. Nilai numeriknya harus di dalam skala interval.
4. Menetapkan performansi parameter atau menyusun nilai kegunaan untuk setiap tujuan.
5. Menghitung dan membandingkan nilai kegunaan relatif perancangan alternatif. Alternatif terbaik akan memiliki skor terbesar.

g. *Improving Details*

Tahap ini mengevaluasi kembali hasil dari perancangan, baik itu perancangan baru ataupun perancangan lama yang disempurnakan kembali. Metode yang digunakan adalah *value engineering*. Metode ini berfokus pada nilai fungsional suatu produk dan bertujuan untuk meningkatkan perbedaan antara harga dan nilai suatu produk dengan cara mengurangi harga, menambahkan nilai atau keduanya. Langkah-langkah dalam melaksanakan metode *value engineering* adalah sebagai berikut:

1. Membuat daftar komponen dari produk secara terpisah dan mengenali fungsi masing-masing komponen tersebut.
2. Menentukan nilai dari fungsi yang sudah diidentifikasi.
3. Menentukan harga dari komponen-komponen tersebut.
4. Mencari alternatif untuk mengurangi harga tanpa mengurangi nilai atau menambah nilai tanpa menambah harga produk.

5. Mengevaluasi alternatif-alternatif tadi dan memilih perbaikannya

3.8. Analisis Teknis

3.8.1. Gaya

Gaya adalah konsep pokok dalam ilmu fisika. Bila kita mendorong atau menarik suatu benda, dikatakan kita memberi gaya (*force*) pada benda tersebut. Gaya juga bisa diberikan oleh benda - benda mati seperti misalnya suatu pegas yang teregang memberi gaya pada suatu benda yang melekat pada ujungnya. Gaya merupakan besaran vektor, jadi perlu dibahas juga mengenai arah dan besarnya gaya tersebut mendorong atau menarik dalam standar satuan gaya.

Pembedaan yang jelas antara massa dan berat haruslah jelas. Massa dari suatu benda adalah jumlah dari zat yang menyusun oleh benda tersebut. Sedangkan berat dari suatu benda adalah gaya benda terhadap gravitasi. Percepatan gravitasi adalah sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$ (*g*). Semua benda yang dekat permukaan bumi, percepatan gravitasi yang dialamu benda dianggap sama, sehingga berat benda sebanding dengan massanya. Jadi gaya berat pada suatu benda yang dekat dengan permukaan bumi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$W = m \times g \quad \dots(3.10)$$

Keterangan :

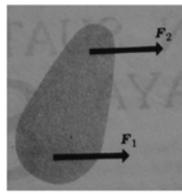
$$W = \text{Gaya berat} \quad (1 \text{ kgm/detik}^2 = 1 \text{ N})$$

$$m = \text{massa} \quad (\text{kg})$$

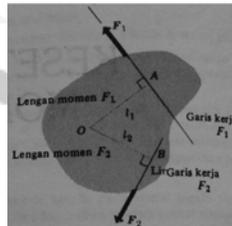
$$g = \text{percepatan gravitasi} \quad (1 \text{ m/detik}^2)$$

3.8.2. Moment

Kecenderungan suatu gaya menyebabkan putaran tergantung pada garis kerja serta besar gaya tersebut. Momen juga dikenal sebagai puntiran atau torsi. Pada Gambar 3.25 terlihat gaya F_1 bila beraksi sendiri pada benda seperti gambar akan menyebabkan putaran melawan arah jarum jam dan translasi ke kanan, sedangkan gaya F_2 yang beraksi sendiri akan menyebabkan putaran searah dengan jarum jam dan translasi ke kanan, meskipun gaya tersebut besar dan arahnya sama dengan F_1 .



Gambar 3.25. Gaya F_1 Dan F_2 Beraksi Sendiri



Gambar 3.26. Momen Suatu Gaya Terhadap Suatu Sumbu

Kecenderungan gaya F_1 pada Gambar 3.26 untuk menyebabkan putaran terhadap sumbu melalui O diukur secara bersamaan oleh besar gaya dan jarak l_1 antara garis kerja gaya dan sumbu. Jarak l_1 disebut lengan momen gaya F_1 terhadap sumbu O, dan hasil kali F_1 dengan l_1 disebut momen gaya terhadap sumbu O. Kedua besaran tersebut dapat saling dipertukarkan. Sehingga momen dapat dirumuskan :

$$\Gamma = F \times l \quad \dots (3.11)$$

Keterangan :

Γ = Momen (Nm)

F = Gaya (N)

l = jarak (m)

Lengan momen F_1 adalah jarak tegak lurus OA yang panjangnya l_1 , dan Lengan momen F_2 adalah jarak tegak lurus OB yang panjangnya l_2 . Pengaruh gaya F_1 menimbulkan putaran berlawanan arah jarum jam terhadap sumbu (+), sedangkan F_2 menyebabkan putaran searah jarum jam (-).