

BAB 3

LANDASAN TEORI

3.1. Ergonomi

Ergonomi berasal dari bahasa Yunani yaitu *ergo* yang berarti kerja dan *nomos* yang berarti aturan, prinsip dan kaidah. Ergonomi berarti suatu studi mengenai hubungan antara manusia dengan pekerjaannya. Konsep dari ilmu ergonomi adalah suatu ilmu yang membahas tentang kelebihan dan keterbatasan manusia, dan secara sistematis memanfaatkan informasi - informasi tersebut untuk tujuan rancang bangun, menghasilkan produk, sistem atau lingkungan kerja yang lebih baik.

Menurut Sutalaksana (2006), ergonomi adalah suatu cabang ilmu yang sistematis untuk memanfaatkan informasi - informasi mengenai sifat, kemampuan dan keterbatasan manusia untuk merancang sistem kerja sehingga orang dapat hidup dan bekerja pada sistem itu dengan baik, yaitu mencapai tujuan yang diinginkan melalui pekerjaan itu dengan efektif aman dan nyaman.

Menurut Suma'mur (2006), ergonomi adalah ilmu yang penerapannya berusaha untuk menyetarakan pekerjaan dan lingkungan terhadap orang dengan tujuan tercapainya produktivitas dan efisiensi yang setinggi - tingginya melalui pemanfaatan faktor manusia yang seoptimal - optimalnya.

Menurut Pulat (1992), ergonomi adalah suatu disiplin keilmuan yang mempelajari manusia dalam kaitannya dengan pekerjaannya. Ergonomi juga berkaitan pula dengan optimasi, efisiensi, kesejahteraan, keselamatan dan kenyamanan manusia di tempat kerja, di rumah, dan di tempat rekreasi. Dalam ergonomi diperlukan studi dimana manusia, fasilitas kerja, dan lingkungannya saling berinteraksi dengan tujuan utama yaitu menyesuaikan kondisi kerja terhadap manusia itu sendiri.

Menurut Bridger (1994), pusat perhatian ergonomi terletak pada rancangan dari sistem kerja dimana manusia itu bekerja, semua sistem kerja terdiri dari manusia dan mesin yang terdapat di dalam lingkungan kerjanya. Tujuan ergonomi adalah untuk memastikan bahwa kebutuhan manusia untuk bekerja secara efisien dan nyaman ditemukan dalam rancangan sistem kerjanya.

Sedangkan menurut Madyana (1996), ergonomi adalah salah satu cabang ilmu yang mempelajari keefektifan penggunaan objek fisik dan fasilitas oleh manusia sehubungan dengan keterbatasan kemampuan manusia dengan harapan untuk memelihara atau menambah nilai yang layak dalam suatu sistem kerja yang berhubungan dengan keaehatan, keselamatan, kepuasan dan lain - lain. Efisiensi dalam ergonomi ditujukan untuk mereduksi beban kerja fisik dan mental dalam rangka meningkatkan produksi. Dengan memperhatikan keterbatasan manusia, maka resiko terjadinya kecelakaan kerja dapat dikurangi atau diminimasi, serta dengan sasaran efisiensi lainnya yaitu menurunkan biaya produksi.

Menurut Tarwaka (2004) mendefinisikan ergonomi sebagai ilmu, seni dan penerapan teknologi untuk menyasikan 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.

Dalam ergonomi terdapat 5 masalah pokok yang berhubungan dengan keterbatasan manusia, kelima masalah tersebut adalah :

a. *Anthropometri*

Berhubungan dengan pengukuran dimensi - dimensi linear tubuh manusia, termasuk berat dan volume. Masalah yang sering ditemui adalah adanya ketidaksesuaian antara dimensi tubuh manusia dengan rancangan produk dan area kerja. Solusinya adalah merancang suatu area kerja dan produk tersebut dengan penyesuaian terhadap informasi yang diperoleh dari data anthro.

b. *Cognitive*

Permasalahan *cognitive* timbul berkaitan dengan terjadinya kekurangan atau kelebihan informasi yang dibutuhkan selama pemrosesan. Solusinya adalah dengan mengimbangi fungsi manusia dengan fungsi mesin untuk memaksimalkan performansi kerja.

c. *Musculoskeletal*

Sistem *musculoskeletal* terdiri dari otot, tulang dan jaringan penghubung. Untuk memenuhi kebutuhan energinya manusia memperoleh dari proses metabolisme tubuh. Aktivitas fisik yang dilakukan manusia berhubungan dengan fungsi muscular tersebut.

Timbulnya ketegangan pada otot atau rasa sakit pada tulang adalah suatu akibat dari aktivitas fisik manusia itu sendiri. Oleh karena itu sistem kerja harus dirancang sesuai dengan kemampuan fisik manusia atau mengusahakan alat bantu untuk memudahkan pekerjaan.

d. *Cardiovascular*

Berhubungan dengan fungsi organ tubuh manusia, yaitu jantung. Dalam menjalankan aktivitas fisik, otot memerlukan oksigen yang lebih banyak, maka jantung memompakan darah ke otot untuk memenuhi kebutuhan oksigen tersebut. Semakin berat aktivitas fisik yang dilakukan, semakin banyak pula oksigen yang dibutuhkan. Detak jantung akan meningkat karena semakin banyak darah yang dipompakan per unit waktu dalam paru - paru. Selain itu juga terjadi peningkatan panas dalam tubuh yang ditandai dengan keluarnya keringat dan tekanan darah yang naik. Untuk mengurangi kelelahan, beban kerja fisik diukur dan ditentukan berdasarkan pada detak jantung manusia termasuk adanya *work-rest cycle time*.

e. *Psychomotor*

Berkaitan dengan fungsi sensorik manusia (panca indera). Fungsi sensorik ini dipengaruhi oleh rangsangan eksternal, seperti informasi berupa bunyi - bunyian atau cahaya. Sehubungan adanya penerimaan dan pemrosesan informasi, maka area kerja yang melibatkan fungsi sensorik manusia ini harus mampu memberikan *display* yang sesuai dengan kebutuhannya.

Dengan adanya kelima masalah pokok yang berhubungan dengan keterbatasan manusia tersebut, maka

sistem kerja manusia harus dirancang dengan tujuan menghasilkan kenyamanan yang optimum bagi manusia.

Ada dua konsep ergonomi yang berkaitan dengan perancangan fasilitas kerja (Nurmianto, 2004).

- a. Konsep lama menyatakan bahwa manusia berdasarkan fungsi waktu harus dapat menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan kerja beserta fasilitasnya (*the man fits to the design*)
- b. Konsep baru menyatakan bahwa peralatan dirancang dengan memperhatikan kelebihan dan keterbatasan manusia yang mengoperasikannya (*the design fits to the man*).

Beberapa pokok kesimpulan tentang ergonomi menurut Wignjosoebroto (1995) antara lain :

- a. Fokus ergonomi, berkaitan dengan aspek manusia dalam perancangan *man made objects* dan lingkungan kerja.
- b. Pendekatan ergonomi akan mampu menimbulkan *functional effectiveness* dan kenikmatan pemakaian dari peralatan, fasilitas maupun lingkungan kerja yang dirancang.
- c. Tujuan utama ergonomi adalah untuk memperbaiki kinerja manusia seperti menambah kecepatan kerja dan meningkatkan keselamatan kerja, memperbaiki pendayagunaan sumber daya manusia serta meminimalkan kerusakan fasilitas yang disebabkan kesalahan manusia.
- d. Pendekatan khusus dari ergonomi ialah aplikasi sistem yang sistematis dari segala informasi yang relevan yang berkaitan dengan karakteristik dan perilaku manusia di dalam perancangan peralatan fasilitas dan lingkungan kerja yang dipakai.

Adapun tujuan dari penerapan ergonomi itu sendiri antara lain :

- 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 sistem kerja yang dilakukan sehingga tercipta kualitas kerja dan kualitas hidup yang tinggi.

3.2. Anthropometri

Istilah anthropometri berasal dari bahasa Yunani yaitu *anthropos* berarti manusia, dan *metron* berarti ukuran (Bridger, 1994). Sehingga anthropometri didefinisikan sebagai suatu kumpulan data numerik yang berhubungan dengan karakteristik fisik tubuh manusia (ukuran, bentuk dan kekuatan) serta penerapan dari data tersebut untuk penanganan masalah desain. Sedangkan menurut Sanders dan Mc Cormick (1993) anthropometri berarti pengukuran dimensi tubuh atau karakteristik fisik tubuh lainnya yang relevan dengan desain tentang sesuatu yang digunakan manusia. Kesimpulannya anthropometri adalah studi mengenai dimensi tubuh manusia atau teknik yang digunakan secara kuantitatif

untuk mengekspresikan bentuk dan dimensi dari tubuh manusia.

Anthropometri sendiri dibedakan menjadi dua jenis, yaitu anthropometri statis dan dinamis. Dimana anthropometri statis merupakan pengukuran keadaan dan ciri - ciri fisik manusia dalam keadaan diam atau dalam posisi yang dibakukan, sedangkan anthropometri dinamis adalah pengukuran keadaan dan ciri - ciri fisik manusia dalam keadaan bergerak atau memperhatikan gerakan - gerakan yang mungkin terjadi saat pekerja tersebut melaksanakan kegiatannya.

Data anthropometri didapatkan dengan berbagai cara. Menurut Nurmiyanto (2004) pengambilan data anthropometri dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

a. Berdasarkan tabel

Data anthropometri yang digunakan berdasarkan tabel dimensi tubuh manusia yang telah ada. Tabel tersebut dapat dilihat pada buku Nurmiyanto (2004).

b. Pengambilan secara langsung

Pengambilan data anthropometri dilakukan secara langsung pada populasi yang ingin dirancang pekerjaan maupun fasilitas kerjanya.

Data anthropometri yang dapat diterapkan adalah data yang memiliki nilai rata - rata dan standar distribusi normal. Manusia pada umumnya berbeda - beda dalam hal bentuk dan dimensi ukuran tubuhnya. Faktor - faktor yang mempengaruhi data anthropometri (Wignjosoebroto, 1995) antara lain adalah sebagai berikut :

a. Umur

Manusia mengalami pertumbuhan dari lahir sampai dewasa (20-25 tahun). Setelah itu pertumbuhan akan berhenti dan mulai penyusutan pada usia sekitar 40 tahun.

b. Sex

Dimensi tubuh antara pria dan wanita memiliki perbedaan - perbedaan.

c. Posisi tubuh (*posture*)

Dalam pengukuran atau penelitian harus digunakan posisi standar. Sikap ataupun posisi tubuh akan berpengaruh terhadap ukuran tubuh. Oleh sebab itu, posisi tubuh standar harus diterapkan untuk survei pengukuran.

d. Cara berpakaian

Pakaian yang dikenakan akan menambah ukuran tubuh penggunaannya, sehingga dalam merancang area kerja harus disesuaikan dengan pakaian yang digunakan.

e. Suku bangsa

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

Selain faktor di atas, masih ada pula beberapa faktor lain yang mempengaruhi variabilitas ukuran tubuh manusia, antara lain seperti :

a. Cacat tubuh, dimana data anthropometri akan diperlukan untuk perancangan produk bagi orang - orang cacat.

b. Tebal tipisnya pakaian yang dikenakan, dimana faktor lingkungan yang berbeda akan memberikan variasi yang

berbeda - beda pula dalam bentuk rancangan dan spesifikasi pakaian.

c. Kehamilan, dimana dalam kondisi ini jelas akan mempengaruhi bentuk dan ukuran tubuh.

Berdasarkan Sutalaksana (2006) meskipun terdapat variabilitas dalam suatu data anthropometri, tetapi penerapan data anthropometri tetap dapat dilakukan apabila tersedia nilai *mean* (rata - rata) dan standar deviasi dari suatu distribusi normal. Standar deviasi pada distribusi normal menyatakan variabilitas pada data anthropometri. Distribusi frekuensi dari setiap pengukuran sering disebut juga sebagai persentil. Persentil merupakan suatu nilai yang menyatakan bahwa persentase tertentu dari sekelompok orang yang nilainya sama dengan atau lebih rendah dari nilai tersebut. Besarnya nilai persentil biasanya berkisar antara 1 hingga persentil 99.

3.3. Pengujian Data Anthro

Data yang sudah didapatkan harus diuji terlebih dahulu. Hal tersebut dilakukan agar data yang diperoleh bersifat *representative*, artinya data tersebut dapat mewakili populasi yang diharapkan. Pengujian data dilakukan dengan menggunakan uji keseragaman data, uji kenormalan data, dan uji kecukupan data.

3.3.1. Uji kenormalan data

Pengujian ini berguna untuk menguji apakah data yang telah diperoleh dari pengukuran sudah memenuhi distribusi normal atau dapat didekati oleh distribusi

normal. Data dapat dikatakan normal apabila *sig. 2-tailed* > 0,005.

3.3.2. Uji keseragaman data

Pengujian keseragaman data dilakukan untuk mengetahui :

- a. Homogenitas data
- b. Apakah data berasal dari populasi yang sama
- c. Data ekstrim yang berada di luar batas harus dihilangkan dalam perhitungan atau data tersebut dibuang dan diganti dengan data yang lain.

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menguji keseragaman data yang kontinu menurut Barnes (1980) adalah sebagai berikut :

- a. Menghitung banyaknya sub grup dengan menggunakan persamaan :

$$k = 1 + 3,3 \log N \quad (3.1)$$

dimana :

k = banyaknya sub grup

N = banyaknya data pengamatan

- b. Mengelompokkan data pengamatan dalam sub grup.

Tabel 3.1. Pengelompokan Data Dalam Sub Grup

Sub grup	Data					Rata-rata sub grup
1	X ₁₁	X ₂₁	X ₃₁	...	X _{n1}	X ₁
2	X ₁₂	X ₂₂	X ₃₂	...	X _{n2}	X ₂
.
k	X _{1k}	X _{2k}	X _{3k}	...	X _{nk}	X _k

Keterangan :

X_{ij} = data ($i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, k$)

k = banyaknya sub grup

n = ukuran sub grup

N = banyaknya data pengamatan

c. Menghitung harga rata-rata sub grup dengan menggunakan persamaan :

$$\bar{X}_k = \frac{\sum X_{ik}}{n} \quad (3.2)$$

dimana :

\bar{X}_k = rata-rata sub grup ke-k

X_{ik} = data pengamatan ke-i pada sub grup ke-k

n = ukuran sub grup

d. Menghitung harga rata-rata dari rata-rata sub grup dengan menggunakan persamaan :

$$\bar{X} = \frac{\sum \bar{X}_k}{k} \quad (3.3)$$

dimana :

\bar{X} = rata-rata dari rata-rata sub grup

\bar{X}_k = rata-rata sub grup ke-k

k = banyaknya sub grup

e. Menghitung standar deviasi data dengan menggunakan persamaan :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_{ij} - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (3.4)$$

dimana :

σ = standar deviasi

\underline{N} = banyaknya data pengamatan

\bar{X} = rata-rata dari rata-rata sub grup

X_{ij} = data

($i = 1, 2, 3, \dots, n$; $j = 1, 2, 3, \dots, k$)

f. Menghitung standar deviasi dari harga rata-rata sub grup dengan menggunakan persamaan :

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.5)$$

dimana :

σ = standar deviasi

n = ukuran sub grup

σ_x = standar deviasi dari harga rata-rata sub grup

g. Menentukan batas kontrol atas dan batas kontrol bawah dengan menggunakan persamaan :

$$\text{BKA} = \bar{X} + 3\sigma_x \quad (3.6)$$

$$\text{BKB} = \bar{X} - 3\sigma_x \quad (3.7)$$

dimana :

BKA = batas kontrol atas

BKB = batas kontrol bawah

σ_x = standar deviasi dari harga rata-rata sub grup

3.3.3. Uji kecukupan Data

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah banyaknya data yang akan dihitung telah mencukupi atau tidak untuk digunakan dalam mewakili populasinya. Uji kecukupan data dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$N' = \left[\frac{\frac{K}{S} \sqrt{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}}{\sum X_i} \right]^2 \quad (3.8)$$

dimana :

N' = banyaknya data pengamatan yang harus diamati

N = banyaknya data pengamatan

K = konstanta untuk tingkat keyakinan tertentu

S = konstanta untuk tingkat ketelitian tertentu

Menurut Barnes (1980), tingkat ketelitian menunjukkan penyimpangan maksimum hasil pengukuran dari hasil sebenarnya. Sedangkan tingkat keyakinan menunjukkan besarnya keyakinan pengukur bahwa hasil yang diperoleh memenuhi syarat ketelitian tadi. Misalnya pengukur menetapkan tingkat ketelitian 5% dan tingkat keyakinan 95%. Hal ini menunjukkan bahwa pengukur memperbolehkan rata-rata hasil pengukurannya menyimpang sejauh 5% dan keyakinan untuk mendapatkan hasil ini adalah 95%. Semakin tinggi tingkat ketelitian dan semakin besar tingkat keyakinan maka semakin banyak pengukuran yang diperlukan.

Berikut ini tabel 3.1 untuk nilai K dengan tingkat keyakinan tertentu dan tabel 3.2 untuk nilai S dengan tingkat ketelitian tertentu :

Tabel 3.2. Nilai K untuk tingkat keyakinan

Tingkat Keyakinan	Nilai K
$\geq 68\%$	1
$68\% < K \leq 95\%$	2
$95\% < K \leq 99\%$	3

Tabel 3.3. Nilai α untuk tingkat ketelitian

Tingkat Ketelitian	Nilai α
5%	0,05
10%	0,10

Hasil uji kecukupan data sangat dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya :

- a. Tingkat ketelitian dalam persen adalah penyimpangan maksimum dari hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya.
- b. Tingkat kepercayaan dalam persen atau besarnya probabilitas bahwa data yang kita peroleh terletak dalam tingkat ketelitian yang telah ditentukan.

Jika diperoleh hasil bahwa $N' < N$ maka data tersebut dinyatakan sudah cukup.

3.4. Postur Tubuh Berbahaya

Postur tubuh berikut ini menurut Morrison (1998), memiliki potensi cedera jika dilakukan secara kontinu dalam aktivitas kerja atau bahkan bisa mengakibatkan hilangnya konsentrasi kerja karena kelelahan yang muncul. Beberapa diantaranya yaitu seperti terlihat pada gambar 3.1. berikut ini.

- a. Mengangkat tangan jauh di atas kepala.

Postur seperti ini akan mengakibatkan lengan menjadi cepat lelah karena harus menahan beban vertikal ke bawah dari massa benda yang dipegang dan massa tangan itu sendiri. Selain itu biasanya fokus pandangan akan mengikuti arah benda yang dipegang, sehingga leher akan menekuk dan beresiko mengakibatkan cedera.

- b. Membengkokkan ruas - ruas tulang punggung dengan sudut penurunan lebih dari 30° .

Kecenderungan cedera yang akan ditimbulkan dari postur ini adalah nyeri punggung atau nyeri pinggang yang biasa disebut sebagai *low back pain*. Hal ini karena ruas tulang punggung tidak dapat mencapai titik keseimbangan dari peregangan yang dilakukan ruas tulang punggung lainnya.

- c. Pembengkokkan pergelangan tangan dan ruas jari yang terlalu ekstrim.

Posisi tangan ketika beraktivitas, akan menimbulkan cedera apabila sudut penekukan pergelangan tangan ke arah atas melebihi 45° atau sudut penurunannya lebih dari 30° . Selain itu arah gerakan tangan yang semakin menjauhi garis normal juga akan berpengaruh terhadap kondisi otot di tangan.

- d. Mengangkat siku tangan melebihi bahu

Kelelahan pada lengan atas akan cepat terjadi jika siku tangan diangkat melebihi bahu. Hal itu karena tumpuan pembebanan akan tertuju pada satu titik yaitu di bagian lengan atas.

- e. Jongkok

Postur ini membuat kedua ujung kaki menjadi tumpuan utama dari beban seluruh tubuh. Hanya mengandalkan kedua ujung kaki untuk menahan massa seluruh tubuh akan mengakibatkan keseimbangan badan menjadi berkurang. Sehingga diperlukan energi tambahan yang cukup besar untuk menahan beban tubuh keseluruhan dan keseimbangan badan.

f. Membengkokkan leher

Leher yang memiliki sudut penurunan lebih dari 30° akan beresiko besar mengakibatkan cedera otot leher.

g. Bertumpu pada satu lutut

Jika hanya bertumpu pada satu lutut saja maka akan menimbulkan keadaan tidak stabil pada pekerja (*unstable*).

h. Memberikan beban berlebih pada tangan dan jari

Kemampuan jari-jemari untuk menahan beban hanya berkisar 1 kilogram dan kemampuan tangan adalah 5 kilogram. Sehingga pembebanan di tangan atau jari tidak boleh melebihi batas normal untuk menghindarkan cedera.

i. Menggunakan lutut atau telapak tangan sebagai pemukul.

Meskipun tulang memiliki kalsium yang tinggi yang menyebabkan tulang menjadi kuat, tetapi jika digunakan sebagai pemukul bisa mengakibatkan cedera atau bahkan *minor injury*.

3.5. Keluhan *Muskuloskeletal*

Keluhan *muskuloskeletal* adalah keluhan pada bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan sangat ringan sampai sangat sakit. Apabila otot menerima beban statis secara berulang dan dalam waktu yang lama, akan dapat menyebabkan keluhan berupa kerusakan pada sendi, ligament dan tendon. Keluhan hingga kerusakan inilah yang biasanya diistilahkan dengan keluhan *Musculoskeletal Disorders* (MSDs). Secara garis besar keluhan otot dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu :



Gambar 3.1. Postur Tubuh Berbahaya

- Keluhan sementara (*reversible*), yaitu keluhan otot yang terjadi pada saat otot menerima beban statis, namun demikian keluhan tersebut akan segera hilang apabila pembebanan dihentikan
- Keluhan menetap (*persistent*), yaitu keluhan otot yang bersifat menetap. Walaupun pembebanan kerja telah dihentikan, namun rasa sakit pada otot masih berlanjut.

Studi tentang MSDs pada berbagai jenis industri telah banyak dilakukan dan hasil studi menunjukkan bahwa bagian otot yang dikeluhkan adalah otot rangka

yang meliputi otot leher, bahu, lengan, tangan, jari, punggung, pinggang dan otot - otot bagian bawah. Diantara keluhan otot skeletal tersebut, yang paling banyak dikeluhkan oleh pekerja adalah otot bagian pinggang (*low back pain*).

Keluhan otot pada umumnya terjadi karena kontraksi otot yang berlebihan akibat dari pembebanan kerja yang terlalu berat dengan durasi pembebanan yang panjang. Sebaliknya, keluhan otot kemungkinan tidak terjadi apabila kontraksi otot hanya berkisar antara 15% - 20% dari kekuatan otot maksimum. Namun apabila kontraksi otot melebihi 20% maka peredaran darah ke otot berkurang menurut tingkat kontraksi yang dipengaruhi oleh besarnya tenaga yang diperlukan. Suplai oksigen ke otot menurun, proses metabolisme karbohidrat terhambat dan sebagai akibatnya terjadi penimbunan asam laktat yang menyebabkan timbulnya rasa nyeri otot (Suma'mur, 2006). Faktor penyebab terjadinya keluhan *muskuloskeletal* diantaranya adalah :

- a. Peregangan otot yang berlebihan
- b. Aktivitas berulang
- c. Sikap kerja tidak alamiah
- d. Faktor penyebab sekunder
 1. Tekanan
 2. Getaran
 3. Mikroklimat
- e. Penyebab kombinasi
 1. Umur
 2. Jenis kelamin
 3. Kebiasaan merokok
 4. Kesegaran jasmani

5. Kekuatan fisik

6. Anthropometri

3.6. Bahaya Mesin

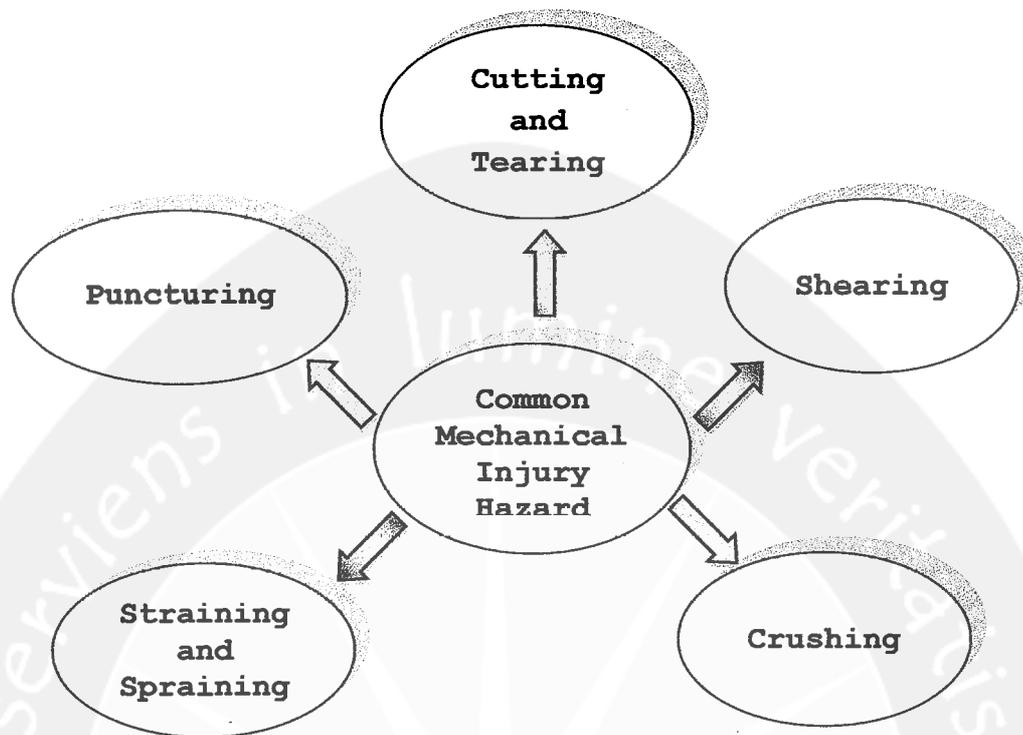
Bahaya mesin adalah bahaya - bahaya yang berhubungan dengan mesin dan peralatannya baik otomatis maupu manual. Jenis - jenis bahaya mekanis seperti terlihat pada gambar 3.2. meliputi : *cutting dan tearing, shearing, crushing, breaking, straining dan spraining, puncturing* (Goetsch, 1997). Bahaya mesin tersebut dapat disebabkan oleh peralatan sabuk transmisi yang berputar, *gear* yang terbuka, dan kekuatan hantaman (Hammer dan Dennis, 2001).

3.7. Jenis - Jenis Cedera Mekanik

Di dalam industri, manusia berinteraksi dengan mesin - mesin yang dirancang untuk mengebor, memotong, menempa, menipiskan, mengelupas atau mengetan, membentuk bahan - bahan seperti logam, komposit, dan plastik. Jika pelindung yang sesuai tidak pada tempatnya atau jika para pekerja gagal untuk mengikuti tindakan pencegahan maka dapat mengakibatkan bahaya mekanis seperti *cutting dan tearing, shearing, crushing, breaking, straining dan spraining, puncturing* (Goetsch, 1997).

a. Cutting dan tearing

Luka potong terjadi ketika bagian tubuh terkena benda tajam. Benda tajam dengan tekanan yang cukup dapat menyebabkan kulit tergores. Bila tekanan tersebut cukup kuat maka benda tajam tersebut dapat menyobek sampai ke dasar tulang dan otot.



Gambar 3.2. Jenis Bahaya Mesin

Tersobeknya kulit (*tearing*) dapat terjadi ketika suatu titik atau potongan tajam mengenai kulit dan daging. Selain itu tergoresnya kulit dan daging terjadi ketika permukaan mendapat tekanan yang besar dari benda tajam. Oleh karena itu, pemakaian cincin dan jam tangan seringkali dilarang ketika melakukan aktivitas produksi, karena benda tersebut dapat menyebabkan kulit tergores.

b. *Shearing*

Shearing terjadi ketika benda tajam dalam gerakan linear dengan arah vertikal mengenai tangan operator atau dapat terjadi ketika tangan terjepit antara dua objek, satu diantaranya mengalami pergerakan.

c. *Crushing*

Kecelakaan ini dapat berakibat fatal karena kemungkinan tidak bisa disembuhkan. Kecelakaan ini terjadi ketika bagian dari tubuh itu berada di antara dua permukaan keras yang saling menumbuk. Bahaya kecelakaan ini dapat dibagi dalam dua kategori *squeeze-points types* dan *run-in points*. *Squeeze-points types* terjadi ketika dua permukaan keras, ataupun satu yang bergerak untuk menghancurkan suatu benda diantaranya. *Run-in points* terjadi ketika dua benda atau satu, berputar dan saling mendekati satu sama lain secara cepat. Selain itu kecelakaan ini bisa terjadi ketika suatu benda berat menimpa bagian tubuh.

d. *Breaking*

Sebagian dari peralatan atau mesin dapat menghancurkan bagian tubuh, misalnya saja kedua permukaan benda yang keras dapat menyebabkan kerusakan tulang. Kadang mesin - mesin yang digunakan untuk mengubah bentuk bahan - bahan dengan bermacam cara mempunyai dampak resiko kecelakaan tulang menjadi rusak. Resiko tersebut adalah peretakan tulang. Retak digolongkan menjadi retak sederhana, campuran, lengkap dan tak lengkap.

e. *Straining dan spraining*

Kesalahan otot - otot atau keseleo dapat terjadi dalam perindustrian. Kecelakaan tersebut dapat menyebabkan pembengkakan sehingga mengganggu operator untuk melakukan suatu pekerjaan.

f. *Puncturing*

Mesin pelubang yang mempunyai perkakas tajam dapat menusuk suatu bagian tubuh apabila tindakan pencegahan dan alat pelindung diri tidak diperhatikan. Resiko terbesar dari bahaya tersebut adalah terjadinya kebocoran pada organ atau bagian badan yang internal.

3.8. Jenis - Jenis Bahaya Mesin

Menurut Davis, jenis - jenis bahaya mesin meliputi beberapa hal, antara lain :

- a. *Rotation*
- b. Gerak lawan arah
- c. Gerigi
- d. *Cutting*
- e. *Punching, shearing* dan *bending*
- f. *Rolling* atau *moving vehicles*
- g. "*Other hazard*" *projecties, noise, dust, fumes, vibration, hand/arm strain*, dan lain - lain.

3.9. *Machine Guard* dan *Safety Devices*

Alat pelindung dan pengaman sangat diperlukan seiring dengan banyaknya jenis kecelakaan kerja seperti tergoresnya kulit, luka lecet atau kulit tersobek, hancurnya tangan bahkan terpotongnya tangan.

Suatu alat pelindung merupakan alat yang mencegah masuknya bagian tubuh ke dalam area yang berbahaya, seperti penutup gerigi. Suatu alat pengaman merupakan suatu pengendalian mesin dimana alat tersebut dapat mencegah atau menghentikan suatu jika bagian tubuh dari

operator seperti tangan masuk ke dalam area yang berbahaya.

Suatu alat pelindung dan pengaman yang efektif harus mempunyai kriteria sebagai berikut (Suma'mur 1989).

- a. Alat tersebut haruslah memberikan perlindungan yang positif. Mesin akan berhenti otomatis jika bagian tubuh operator mendekati area berbahaya.
- b. Alat pengaman tersebut harus mencegah masuknya bagian tubuh ke area yang berbahaya.
- c. Alat pengaman tersebut harus didesain sesuai dengan bahaya, mesin, dan jenis operasinya.
- d. Alat pengaman tersebut hanya memerlukan pemeliharaan minimum.
- e. Alat tersebut tidak mempunyai resiko bahaya sendiri.
- f. Alat tersebut tidak boleh menyebabkan ketidaknyamanan atau gangguan bagi operator.
- g. Alat pengaman harus bekerja secara otomatis atau hanya memerlukan sedikit bantuan operator.
- h. Alat pengaman harus tahan terhadap api dan korosi.
- i. Alat pengaman harus tahan terhadap efek pemakaian mesin yang lama.

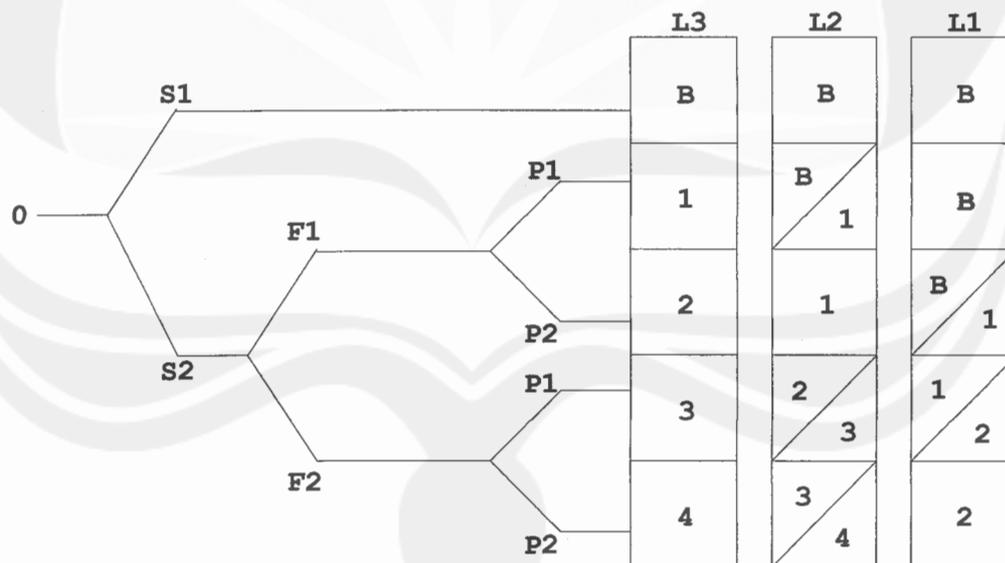
3.10. Risk Assessment

Merupakan proses penentuan level resiko dari operasi serangkaian mesin. *Risk assessment* mempunyai empat pertimbangan yaitu *severity* (keparahan cedera), *frequency*, *possibility* (kemungkinan menghindari bahaya), dan *likelihood* (kemungkinan bahaya terjadi atau kegagalan pengendalian bahaya). (Goetsch, 1997).

Risk Assessment merupakan suatu proses yang tersusun dan sistematis untuk menjawab empat pertanyaan berikut ini :

- Seberapa parah cedera yang terjadi.
- Seberapa sering pekerja mengalami kecelakaan.
- Apakah mungkin menghindari bahaya tersebut.
- Apakah bahaya tersebut mungkin terjadi dan dapat dikendalikan.

Secara luas teknik dari *risk assessment* menggunakan pohon keputusan berikut ini (Goetsch, 1997) seperti terlihat pada gambar 3.3. Pohon keputusan ini akan menghasilkan penilaian faktor resiko yang terdapat pada mesin atau alat *material handling*.



Gbr. 3.3. Pohon Keputusan *Risk Assessment*

Keterangan :

S = *severity*

S1 = cedera ringan (lebam, memar, lecet)

S2 = cedera parah (amputasi, meninggal)

F = *frequency*

F1 = jarang

F2 = sering dan kontinyu

P = *possibility* (kemungkinan menghindari bahaya)

P1 = mungkin dihindari

P2 = kemungkinan kecil sampai tidak mungkin

L = *likelihood*

L1 = sama sekali tidak mungkin

L2 = mungkin

L3 = sangat mungkin

Faktor Resiko

B = terendah

4 = tertinggi

3.11. Biomekanika Kerja

Menurut Frankel dan Nordin, biomekanika didefinisikan sebagai penggunaan hukum - hukum fisika dan konsep ilmu teknik untuk menggambarkan gerakan tulang setiap segmen tubuh dan gaya yang terjadi selama aktivitas tersebut (Phillips, 2000)

Biomekanika sendiri dibedakan menjadi tiga sub disiplin ilmu, yaitu :

a. Biostatics

Ilmu yang mempelajari struktur gaya makhluk hidup terhadap objek tertentu.

b. Biodynamics

Ilmu yang mempelajari sifat dan determinasi gerakan dalam kaitannya dengan gaya yang terjadi pada makhluk hidup.

c. *Bioenergetics*

Ilmu yang mempelajari transformasi energi pada makhluk hidup.

Dalam ilmu biomekanika, biomekanika kerja merupakan salah satu bentuk aplikasi dari biomekanika itu sendiri. Biomekanika kerja didefinisikan sebagai disiplin ilmu yang mempelajari keterkaitan antara interaksi pekerja dengan mesin, peralatan dan bahan yang tidak sesuai sehingga diperlukan perbaikan untuk meningkatkan performansi pekerja, meminimalkan resiko cedera otot.

Sebuah model yang representatif terhadap objek pengamatan diperlukan di dalam membuat model biomekanika kerja. Model yang dibuat harus sesederhana mungkin dengan ditunjang beberapa asumsi agar pemahaman terhadap model semakin baik.

Batasan di dalam pembuatan model biomekanika kerja adalah model ini hanya membuat perkiraan potensi bahaya cedera berdasarkan postur kerja yang diamati dan hanya pada segmen tubuh atau sistem otot tertentu saja (segmen kritis).

Melalui pengetahuan biomekanika, mekanisme dari terjadinya cedera dapat diketahui untuk dianalisis lebih lanjut sebagai bentuk perbaikan sistem kerja yang telah ada. Sebagai contoh, analisis yang dibuat digunakan sebagai bahan pertimbangan dengan NIOSH yang pada tahun 1994 merekomendasikan nilai gaya tekan pada L5/S1 di bawah 3400 newton dalam waktu 3 menit, jika melebihi dapat berpotensi bahaya terhadap pekerjanya (Chaffin, 1999).

Manfaat analisis biomekanika kerja pada industri diantaranya yaitu :

- a. Mengevaluasi beban kerja fisik pekerja.
- b. Membuat simulasi beberapa metode kerja dan menentukan cara tepat guna mengurangi beban fisik pekerja ketika beraktivitas.
- c. Membuat rekomendasi tipe dan postur pekerja yang baik untuk ditempatkan pada stasiun kerja tertentu.

Lebih lanjut mengenai *biostatics*, manusia memiliki karakteristik fisik yang beragam dan variatif, seperti berat badan dan tinggi badan yang merupakan elemen dasar fisik manusia. Tinggi badan (H) merepresentasikan dimensi tiap segmen tubuh dan berat badan (W) merepresentasikan total beban yang harus ditahan tubuh dalam satuan newton. Sebagai acuan di dalam menentukan panjang tiap segmen tubuh, tabel 3.12 memberikan pendekatan perbandingan panjang tiap segmen tubuh.

Tabel 3.4. *Anthropometric Modeling Data*

No	Body Segment	Segment Length (m)	Segment Weight (N)
1	Head and neck	0,17	0,08
2	Forearm and hand	0,2	0,02
3	Upper arm	0,2	0,03
4	Arm	0,4	0,05
5	Head, neck and both arms	-	0,18
6	Thorax and abdomen	0,3	0,36
7	Pelvis	-	0,16
8	Foot and foreleg	0,29	0,05
9	Upper leg	0,24	0,1
10	Leg	0,53	0,15
11	Head, neck, both arms, thorax, abdomen and three-eighths pelvis	-	0,6
12	One leg and five eights pelvis	-	0,25

Pada analisis biomekanika ini, tubuh manusia dianggap sebagai benda padat (*rigid body*), hal ini karena pendekatan tersebut tidak mempengaruhi persamaan kesetimbangan untuk mengetahui gaya eksternal. Berdasarkan hukum newton, persamaan kesetimbangan dalam analisis biomekanika pada segmen tubuh manusia mengikuti hukum pertama Newton, yaitu :

$$\sum F_x = 0 \quad 3.9$$

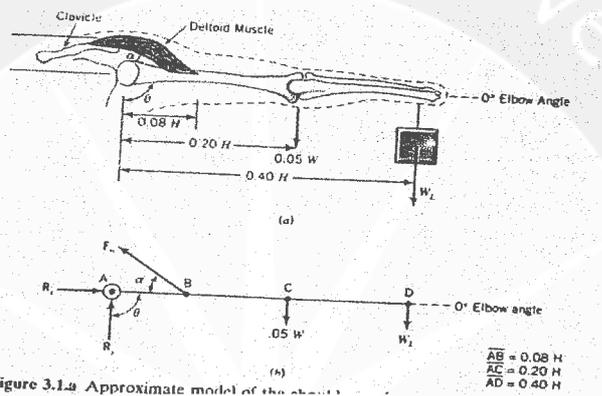
$$\sum F_y = 0 \quad 3.10$$

$$\sum M_o = 0 \quad 3.11$$

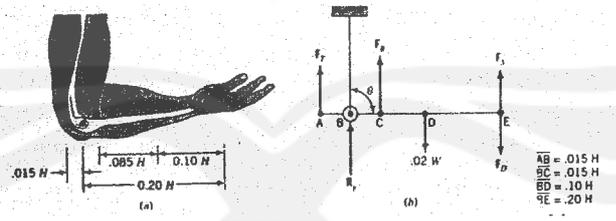
Secara umum, prosedur untuk melakukan analisis gaya - gaya eksternal dan momen pada rigid body 2 dimensi adalah sebagai berikut :

- a. Gambarkan diagram benda bebas untuk tiap segmen tubuh yang hendak diketahui gaya eksternal dan momen putarannya. Berikan nilai gaya - gaya yang sudah diketahui dan arah terhadap sumbu x dan sumbu y. Berikut ini merupakan pendekatan biomekanika model beberapa segmen tubuh yang digunakan sebagai acuan untuk membuat dan menganalisis gaya melalui diagram benda bebas.
- b. Tentukan arah positif untuk masing - masing sumbu x dan sumbu y. Buat persamaan untuk masing - masing sumbu x dan sumbu y.
- c. Cari gaya - gaya yang belum diketahui dengan menggunakan persamaan kesetimbangan 3.9 , 3.10 , dan 3.11.
- d. Selesaikan persamaan tersebut hingga mendapatkan nilai gaya proximal dan gaya distal yang belum

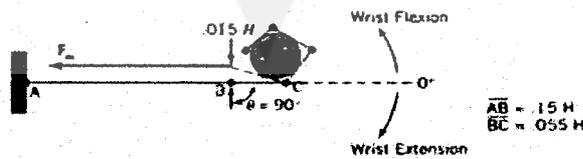
diketahui dan arah gayanya. Pengertian *distal segment* adalah segmen tubuh yang letaknya dekat dengan sumbu tubuh. Sedangkan pengertian dari *proximal segment* adalah segmen tubuh yang letaknya menjauhi sumbu tubuh dan terhubung langsung dengan segmen tubuh lainnya yang lebih dekat dengan sumbu tubuh (*Distal segment*).



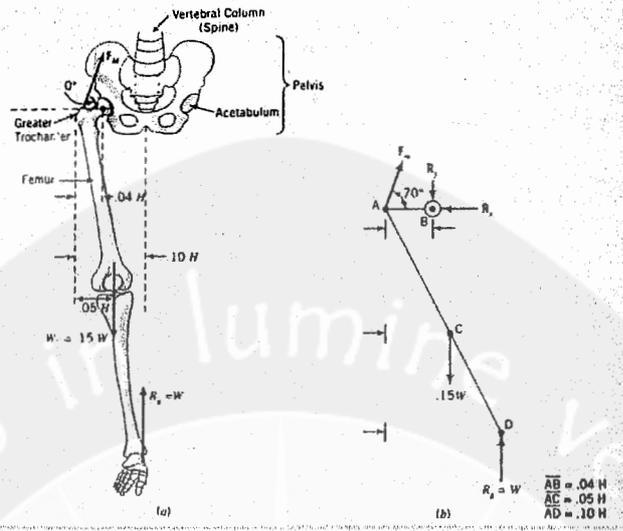
Gambar 3.4. FBD Bahu dan Lengan Atas



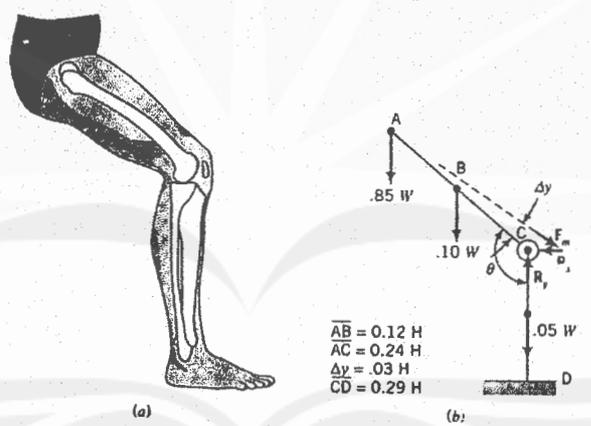
Gambar 3.5. FBD Siku dan Lengan Bawah



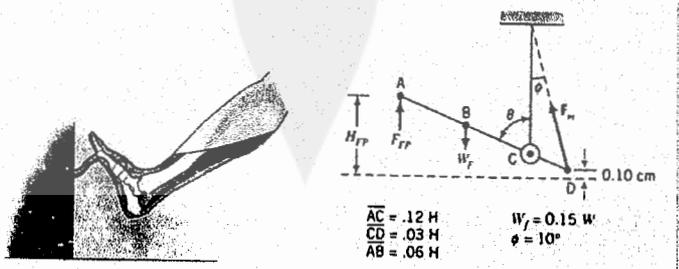
Gambar 3.6. FBD Pergelangan Tangan dan Tangan



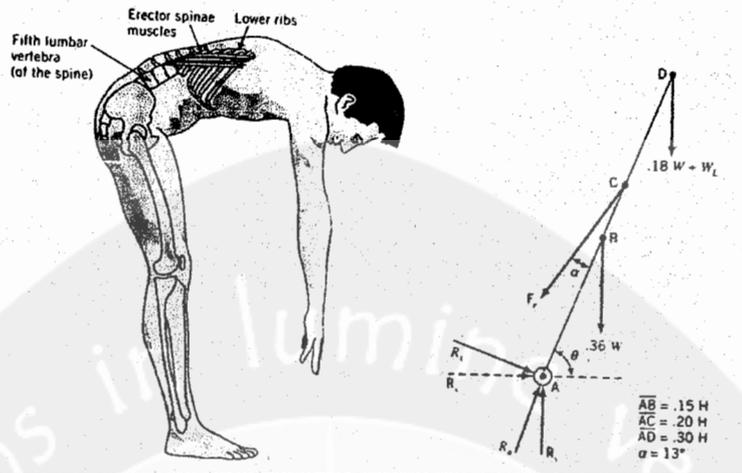
Gambar 3.7. FBD Pinggul dan Paha



Gambar 3.8. FBD Lutut dan Foreleg



Gambar 3.9. FBD Pergelangan dan Telapak Kaki



Gambar 3.10. FBD Batang Tubuh

3.12. REBA (*Rapid Entire Body Assessment*)

Salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis pekerjaan berdasarkan postur tubuh pekerja dalam ilmu ergonomi *Rapid Entire Body Assessment*. Berdasarkan Nexgen Ergonomic, Inc (2002). Metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) telah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan akan suatu metode yang secara spesifik di desain untuk menganalisis postur tubuh pekerja khususnya di bidang kesehatan dan industri. REBA didesain untuk mengevaluasi suatu pekerjaan atau tugas, dimana pekerjaan atau tugas tersebut dapat menyebabkan ketidaknyamanan pada seluruh bagian tubuh khususnya pada bagian punggung, leher, pundak lengan atas, dan lengan bawah, pergelangan tangan dan kaki. REBA menuntaskan tujuan tersebut dengan memberikan sebuah "grand score" yang dinyatakan dalam lima level resiko.

3.12.1. Kelebihan metode REBA

Metode REBA sebagai suatu metode yang didesain untuk menganalisis postur tubuh pekerja mempunyai beberapa kelebihan. Kelebihan dari metode REBA berdasarkan Nexgen Ergonomic, Inc (2005) adalah :

- a. Merupakan metode yang cepat untuk menganalisis postur tubuh pekerja pada suatu populasi pekerjaan yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan.
- b. Mengidentifikasi faktor - faktor resiko dalam pekerjaan (kombinasi efek dari otot dan usaha, postur tubuh dalam pekerjaan, pegangan atau *grip* benda kerja, pekerjaan statis atau berulang - ulang).
- c. Metode REBA dapat digunakan untuk menganalisis postur tubuh baik yang stabil maupun yang tidak stabil.
- d. *Grand score* atau nilai aktivitas dapat berguna dalam menyelesaikan masalah, untuk menentukan prioritas penyelidikan dan perubahan yang perlu dilakukan.

3.12.2. Langkah - langkah menggunakan REBA

Adapun langkah - langkah dalam menggunakan metode REBA secara singkat adalah sebagai berikut :

- a. Pengambilan data postur pekerja dengan menggunakan bantuan video atau foto. Kriteria penentuan postur pekerja yang diambil adalah :
 1. Aktivitas yang diambil merupakan aktivitas yang frekuensinya paling banyak dilakukan dalam rentang jam kerja.
 2. Postur pekerja diambil ketika dalam posisi statis.

3. Postur pekerja yang terlihat memerlukan banyak peregangan otot dan menahan gaya yang besar.
 4. Postur tubuh yang mengakibatkan ketidaknyamanan pekerja.
- b. Penentuan sudut - sudut dari bagian tubuh pekerja : punggung, leher, pundak lengan atas, dan lengan bawah, pergelangan tangan dan kaki.
 - c. Penentuan berat benda yang diangkat
 - d. Perhitungan nilai REBA untuk postur yang bersangkutan.
 - e. Merancang dan mengimplementasikan metode dan fasilitas kerja yang baru dengan menggunakan metode anthropometri.
 - f. Melakukan analisis REBA pada metode kerja yang baru.

Sedangkan lebih lanjut mengenai cara menghitung nilai tiap bagian di dalam metode REBA adalah sebagai berikut.

a. Bagian A

1. Batang tubuh

Pada bagian batang tubuh sudut yang dibentuk pada waktu melakukan pekerjaan bervariasi antara 0° - 20° sampai dengan $>60^{\circ}$. Punggung juga dapat berputar atau melekok ke samping. Semakin mendekati posisi netral dan punggung tidak berputar ataupun melekok ke samping, maka posisi kerja semakin baik dan nilai REBA semakin baik pula.

2. Leher

Pada bagian leher sudut yang dibentuk pada waktu melakukan pekerjaan bervariasi antara $<-20^{\circ}$ sampai $>20^{\circ}$. Leher juga dapat berputar atau melekok ke samping. Apabila posisi leher yang membentuk sudut

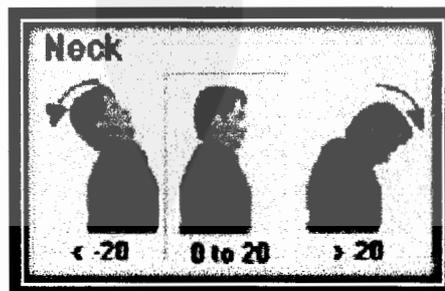
0-20° dan leher tidak berputar ataupun melekuk ke samping, maka postur pekerja semakin baik dan nilai REBA semakin baik pula.

3. Kaki

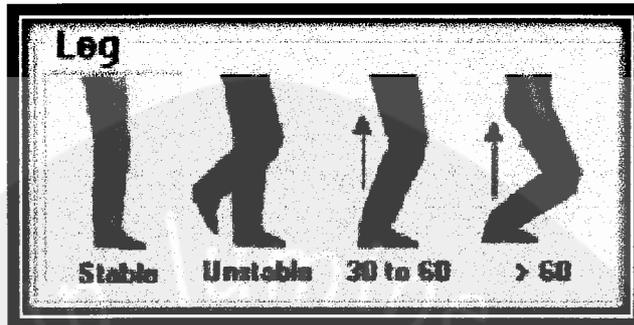
Pada bagian kaki sudut yang dibentuk pada waktu melakukan pekerjaan bervariasi antara stabil dan tidak stabil dengan sudut penekukan 30°-60° atau >60°. Kaki dikatakan stabil apabila kedua kaki mendapat tumpuan yang baik. Kaki dikatakan tidak stabil apabila salah satu atau kedua kaki tidak mendapat tumpuan yang baik. Posisi kaki yang stabil dan tidak membentuk sudut akan membuat posisi kerja semakin baik dan nilai REBA semakin baik pula.



Gambar 3.11. Postur Batang Tubuh



Gambar 3.12. Postur Leher



Gambar 3.13. Postur Kaki

Setelah membuat penilaian untuk setiap bagian A yang terdiri atas batang tubuh, leher dan kaki, dilanjutkan dengan menghitung nilai A. Nilai A diperoleh dengan cara mencari nilai A pada tabel 3.5. berdasarkan hasil penilaian di tiap elemen bagian A.

Tabel 3.5. Tabel Bagian A

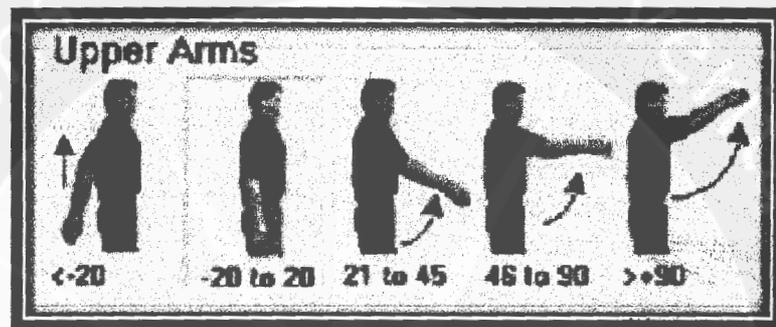
Trunk	Legs	Neck											
		1				2				3			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1		1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
2		2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
3		2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
4		3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5		4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

b. Bagian B

1. Lengan atas

Pada bagian tubuh lengan atas sudut yang dibentuk pada waktu melakukan pekerjaan bervariasi antara $<-20^{\circ}$ sampai dengan $>90^{\circ}$. Selain itu pundak dapat

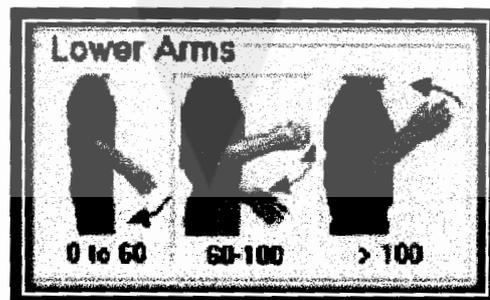
terangkat maupun disangga dengan baik. Apabila posisi lengan atas yang membentuk sudut -20° sampai dengan 20° dan lengan atas tidak diangkat serta lengan atas tersangga dengan baik maka posisi kerja semakin baik dan nilai REBA semakin baik pula.



Gambar 3.14. Postur Lengan Atas

2. Lengan bawah

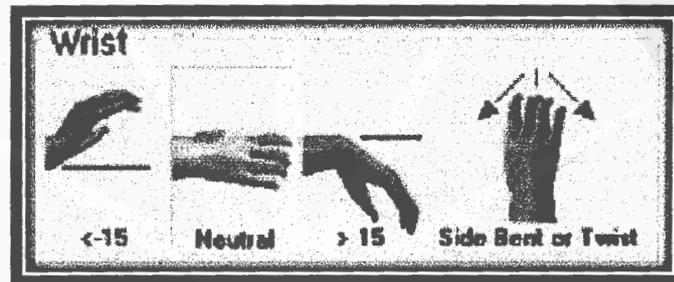
Pada bagian tubuh lengan atas sudut yang dibentuk pada waktu melakukan pekerjaan bervariasi antara 0° sampai dengan $>100^{\circ}$. Nilai REBA akan semakin baik bila sudut penekukan lengan bawah berkisar antara 60° - 100° .



Gambar 3.15. Postur Lengan Bawah

3. Pergelangan tangan

Pada bagian pergelangan tangan sudut yang dibentuk pada waktu melakukan pekerjaan bervariasi antara $<-15^{\circ}$, netral atau sampai $>15^{\circ}$. Pergelangan tangan dapat juga berputar atau melekuk ke samping. Apabila posisi pergelangan tangan yang netral dan tidak berputar ataupun melekuk ke samping, maka posisi kerja semakin baik dan nilai REBA semakin baik pula.



Gambar 3.16. Postur Pergelangan Tangan

Begitu pula dengan bagian B, sama halnya dengan bagian A, setelah membuat penilaian untuk setiap bagian B yang terdiri atas lengan atas, lengan bawah dan pergelangan tangan, dilanjutkan dengan menghitung nilai B. Nilai B diperoleh dengan cara mencari nilai B pada tabel 3.6. berdasarkan hasil penilaian di tiap elemen bagian B. Perbedaannya dengan bagian A adalah pada bagian B, nilai yang diperoleh ada 2 yaitu untuk bagian tubuh kiri dan kanan sehingga hasil akhir penilaian REBA akan terdiri dari dua bagian yaitu level resiko kiri dan level resiko kanan.

Tabel 3.6. Tabel Bagian B

Upper Arm	Wrist	Lower Arm					
		1			2		
		1	2	3	1	2	3
1		1	2	3	1	2	3
2		1	2	3	2	3	4
3		3	4	5	4	5	5
4		4	5	5	5	6	7
5		6	7	8	7	8	8
6		7	8	8	8	9	9

Jika nilai pada bagian A dan bagian B telah diketahui maka dilanjutkan dengan menambahkan berat beban kerja dengan nilai bagian A yang didapat dari tabel 3.5. Berat beban kerja yang tersedia bervariasi mulai dari 0 Kg sampai >10 kg, sedangkan nilai bagian B yang juga didapat dari tabel 3.6. selanjutnya ditambahkan dengan nilai pegangan atau *coupling*. Nilai yang tersedia bervariasi mulai dari pegangan yang memiliki nilai *good* sampai *unacceptable*.

Tabel 3.7. Tabel Bagian C

		Score B										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Score A	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12
	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Nilai bagian C dicari dengan menggunakan tabel C dari nilai bagian A yang telah ditambahkan dengan berat beban dan nilai bagian B yang telah ditambahkan *coupling*. Terakhir setelah mendapatkan nilai pada tabel 3.7. kemudian *grand score* yang ingin diketahui didapat dengan menjumlahkan nilai C dan nilai aktivitas.

Grand score atau nilai REBA digunakan untuk menilai apakah pekerjaan tersebut diperlukan perbaikan atau tidak. Apabila nilai REBA masih tinggi setelah dilakukan perbaikan, maka perlu dilakukan perbaikan lebih lanjut sehingga nilai REBA semakin baik.

Tabel 3.8. REBA Action Level

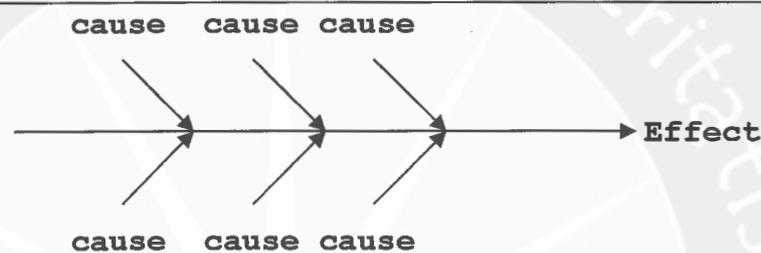
Action Level	REBA score	Risk Level	Action
0	1	Negligible	None Necessary
1	2-3	Low	May be Necessary
2	4-7	Medium	Necessary
3	8-10	High	Necessary Soon
4	11-15	Very High	Necessary Now

3.13. Cause and Effect Diagrams

Cause and effect diagrams mulai dikembangkan oleh Kaoru Ishikawa, Ph.D. pada 1943 dan sering disebut dengan Ishikawa diagrams atau *fishbone diagrams*. Menurut Ishikawa (1976) pada dasarnya *cause and effect diagrams* digunakan untuk mengidentifikasi dan melihat penyebab-penyebab yang dapat menimbulkan masalah secara sistematis. Sebuah *cause and effect diagrams* dapat membantu dalam menyelesaikan masalah. Hal itu diwujudkan dengan memberikan pemahaman yang baik terhadap masalah yang muncul, dan didukung oleh

kumpulan data yang diperlukan, serta dibantu dengan menemukan pemecahan masalah secara sistematis.

Cause and effect diagrams merupakan sebuah alat berupa gambar yang tersusun dari garis-garis dan sedikit penjelasan yang dapat merepresentasikan hubungan antara sebab dan akibat dari suatu proses. Secara umum gambaran mengenai *cause and effect diagram* dapat dilihat seperti gambar 3.17.



Gambar 3.17. Basic Cause and Effect Diagram

Sebelum mulai membuat *cause and effect diagrams*, sangat penting untuk memikirkan hal-hal atau faktor-faktor apa saja yang berpotensi menjadi kendala dan dapat menjadi penyebab terjadinya masalah. Selanjutnya kelompokkan faktor-faktor tersebut berdasarkan faktor utama penyebabnya. Dalam hal ini seringkali disebut dengan *major causes* (faktor utama), jadi setiap *major causes* terdiri dari beberapa faktor pendukung atau *minor causes*. Sebagian besar *cause and effect diagrams* menempatkan faktor manusia, metode kerja, material, lingkungan kerja, dan teknik pengukuran sebagai *major causes* (Ledolter, 1999)

Adapun langkah-langkah yang dapat digunakan sebagai panduan dalam pembuatan *cause and effect diagrams* adalah sebagai berikut :

- a. Mendefinisikan masalah (akibat) yang muncul untuk dianalisis.
- b. Membentuk suatu tim kerja untuk melakukan analisis. Kerja tim dalam mengidentifikasi faktor-faktor penyebab (causes) akan lebih baik melalui *brainstorming* dari pada kerja secara individu.
- c. Gambarkan *effect box* dan garis tengah (*center line*).
- d. Tentukan *major causes* dan tuliskan sebagai faktor utama yang terhubung dengan garis tengah.
- e. Identifikasi semua faktor-faktor *minor causes* dan masukkan berdasarkan klasifikasi yang sesuai dengan *major causes*.
- f. Menilai setiap faktor yang telah ditulis mana yang memberikan kontribusi terbesar terhadap terjadinya masalah (effect).
- g. Lakukan tindakan perbaikan.

Cause and effect diagrams dikatakan baik jika dapat menunjukkan beberapa *major causes* dengan didukung oleh banyak sebab dari subkategori yang terdapat dalam diagram. Sedangkan jika diagram tersebut hanya terdiri dari lusinan kategori tanpa memiliki cabang dari sebab-sebab yang menyertai kategori tersebut, maka diagram tersebut dikatakan diagram yang buruk.

Cause and effect diagrams penggunaannya sangat luas. Selain untuk menyelesaikan masalah di pengendalian kualitas, metode ini juga dapat digunakan di luar konteks kualitas. Antara lain, metode ini dapat digunakan untuk menggambarkan hubungan intern aktivitas dalam suatu rangkaian proses produksi, urutan dalam

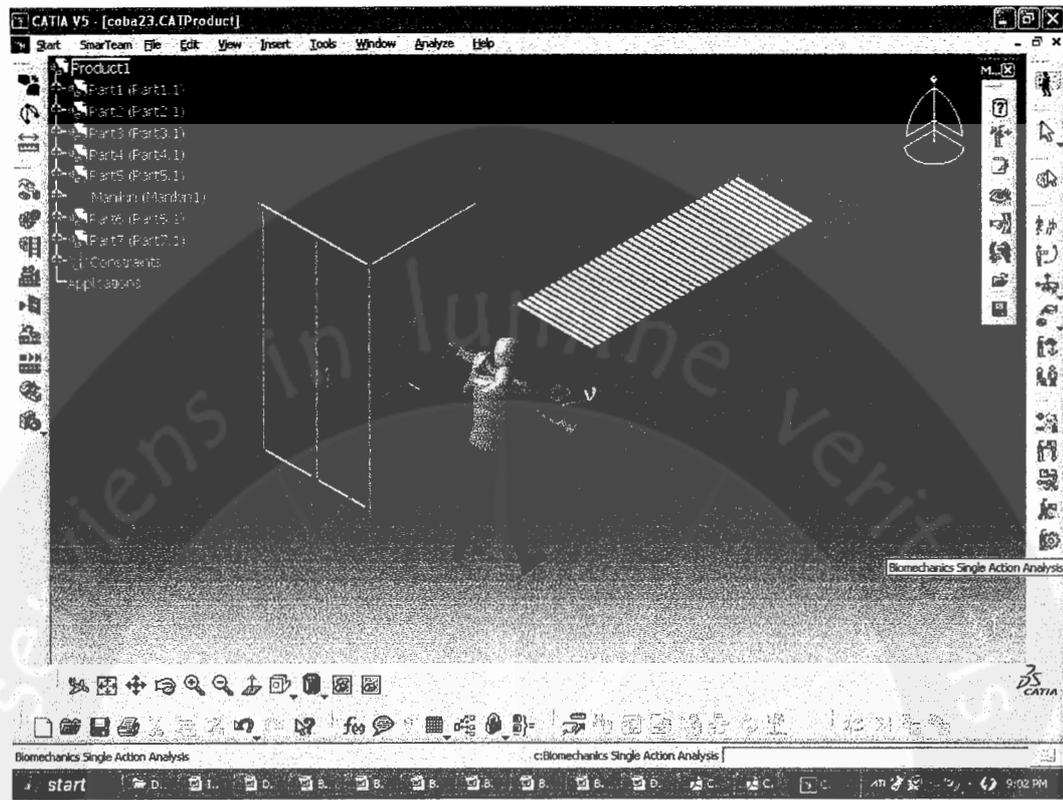
perakitan kompleks produk, atau urutan informasi dalam sebuah organisasi.

3.14. CATIA V5R13 for Students

Teknologi *software* yang berkaitan dengan kemampuan mengolah gambar 3 dimensi salah satunya adalah CATIA V5R13. Salah satu fungsi dari *software* ini adalah untuk menganalisis kajian ergonomi terhadap desain sebuah produk. Kajian ergonomi itu meliputi analisis :

- a. RULA
- b. *Lift-Lower*
- c. *Push-Pull*
- d. *Carry*
- e. *Biomechanics*

Software ini juga memiliki fitur pelengkap dalam menganalisis kajian ergonomi. Fitur tersebut diantaranya adalah fitur antropometri yang memungkinkan pengguna dapat menyesuaikan data anthro yang dimiliki dengan data anthro yang terdapat dalam *software*. Fitur lainnya yaitu pengaturan sudut - sudut yang dibentuk ketika sedang berinteraksi dengan produk dapat disesuaikan dengan kebutuhan analisis. Gambar 3.18. merupakan contoh tampilan CATIA V5R13 for Students untuk modul *ergonomic design and analysis*.



Gambar 3.18. Contoh Tampilan CATIA V5R13