

## BAB II

### STUDI PUSTAKA

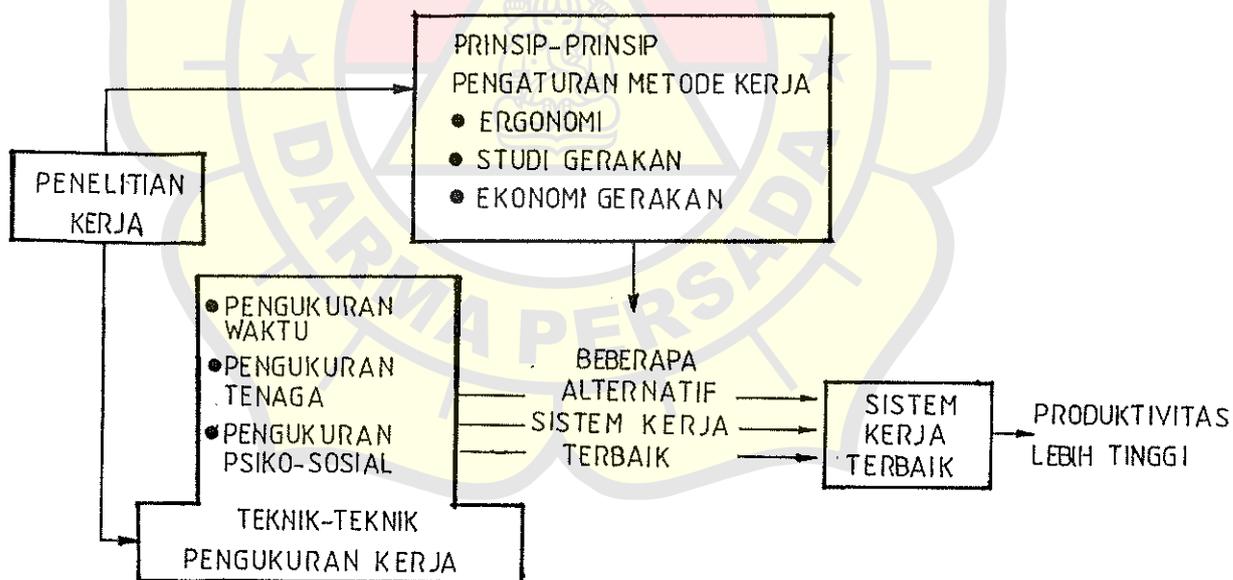
#### 2.1. Dasar Penelitian Kerja

Penelitian kerja atau yang dikenal dengan istilah asingnya *Methods Engineering, Work design, Work study* atau *Job design*, adalah aktivitas yang ditujukan untuk mempelajari prinsip-prinsip dan teknik-teknik guna mendapat suatu rancangan sistem kerja terbaik. Prinsip dan teknik kerja ini digunakan untuk mengatur komponen yang ada dalam sistem kerja yang terdiri dari manusia dengan sifat dan kemampuannya, bahan baku, mesin dan fasilitas kerja, serta lingkungan kerja sedemikian rupa sehingga tercapai tingkat efektivitas dan efisiensi kerja yang tinggi yang diukur dengan waktu yang dihabiskan, tenaga yang dikeluarkan, serta akibat psikologis atau sosiologis yang ditimbulkan.

Dalam penelitian kerja pengamatan akan lebih banyak ditujukan pada pekerjaan yang dilaksanakan oleh manusia pekerja dalam segala seginya. Unsur manusia dalam hal ini akan ditonjolkan karena pada dasarnya penelitian kerja akan lebih erat hubungannya dengan operasi yang menyangkut manusia dari pada dengan proses teknik itu sendiri. Unsur manusia yang diamati dalam penelitian meliputi semua unsur manusia yang ada dalam organisasi baik pekerja biasa, perencana, ahli teknik ataupun manajer. Faktor-faktor yang harus diamati dalam

penelitian kerja sangat kompleks sehingga akan terasa sulit bagi mereka yang tidak memiliki pengalaman dan latar belakang pengetahuan yang cukup. Pekerja dan pihak manajemen harus mempunyai visi yang sama untuk sepakat bahwa hasil dari penelitian kerja pada dasarnya justru untuk memperbaiki tingkat produktivitas yang ada sehingga keuntungan yang timbul juga akan bersama dirasakan dan dinikmati.

Ruang lingkup penelitian kerja terbagi dalam dua bagian pokok yaitu penelitian metode atau pengaturan proses kerja dan pelaksanaan pengukuran kerja. Hubungan antara penelitian kerja dan kedua bagian pokok tersebut secara sistematis dapat diperlihatkan pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2-1. Dasar Penelitian Kerja**

Disini pengaturan proses kerja berisi prinsip-prinsip pengaturan komponen sistem kerja untuk mendapatkan alternatif sistem kerja terbaik. Komponen sistem kerja diatur sehingga secara bersama-sama berada dalam suatu komposisi yang baik yaitu yang dapat memberikan efisiensi dan produktivitas tinggi. Pengetahuan yang diperlukan untuk melakukan pengaturan terhadap pekerja, bahan, peralatan/ fasilitas kerja, dan lingkungan fisik dipelajari melalui apa yang dinamakan ilmu Ergonomi (*Human Engineering*), Studi Gerakan Kerja (*Motion Study*) dan Motion Economy (*Ekonomi Gerakan*).

## **2.2. Penelitian Sistem Kerja**

Penelitian ini bertujuan secara spesifik mencatat secara sistematis dan pemeriksaan yang seksama mengenai cara-cara yang berlaku atau diusulkan untuk melaksanakan kerja. Sasaran pokok dari efektivitas ini adalah mencari, mengembangkan, dan menerapkan metode kerja yang lebih efektif dan efisien. Yang dimaksud sistem kerja disini adalah sistem yang memiliki komponen kerja seperti manusia, mesin/fasilitas kerja, material dan lingkungan kerja fisik yang berinteraksi bersama-sama dalam memberikan hasil kerja.

4 macam komponen sistem kerja yang harus dipelajari guna memperoleh metode kerja yang sebaik-baiknya meliputi :

- a. KOMPONEN MANUSIA : Bagaimana sebaiknya posisi orang pada saat proses kerja berlangsung agar mampu memberikan gerakan efektif dan efisien.
- b. KOMPONEN MESIN : Bagaimana desain dari mesin atau fasilitas kerja, apakah sesuai dengan prinsip ergonomi karena alat atau fasilitas kerja yang tidak ergonomis dapat membuat pekerja melakukan pekerjaan dalam posisi yang tidak alamiah.
- c. KOMPONEN MATERIAL : Bagaimana menempatkan material, jenis material yang mudah diproses dan lain-lain.
- d. KOMPONEN LINGKUNGAN : Bagaimana kondisi lingkungan kerja fisik tempat operasi kerja berlangsung dan apakah dirasakan cukup nyaman dan aman.

Dari apa yang telah diuraikan diatas maka dapat disimpulkan bahwa tujuan pokok dari kegiatan penelitian sistem kerja ini adalah sebagai berikut :

1. Perbaiki proses dan tata cara pelaksanaan penyelesaian pekerjaan.
2. Perbaiki dan penghematan penggunaan material, tenaga mesin/fasilitas kerja lainnya. serta tenaga kerja manusia pekerjanya.
3. Pendayagunaan usaha manusia dan pengurangan keletihan yang tidak perlu.
4. Perbaiki tata ruang kerja yang mampu memberikan suasana lingkungan kerja yang nyaman dan aman.

### **2.2.1. Analisa Kerja**

Analisa operasi kerja adalah suatu prosedur yang dilakukan untuk menganalisa operasi kerja dengan tujuan untuk memperbaiki metode kerja yang selama ini diaplikasikan. Kegiatan ini merupakan aktifitas dari analisa didalam usaha menaikkan jumlah produk per satuan waktu dan tentu saja mengurangi unit cost. Langkah awal yang harus diambil adalah dengan mendapatkan seluruh data yang berhubungan dengan seluruh kegiatan operasi, fasilitas yang dipergunakan, waktu penyelesaian masing-masing elemen kerja, gerakan perpindahan, aktifitas inspeksi, dan lain-lain yang tercakup dalam aliran proses.

#### **a. Identifikasi maksud dan tujuan operasi kerja.**

Kegiatan ini bertujuan untuk mengeliminir atau mengkombinasikan operasi kerja sebelum memperbaikinya. Banyak elemen kerja yang sebenarnya tidak diperlukan tapi justru dilakukan. Banyak contoh pekerjaan atau proses yang seharusnya tidak cukup sekedar disederhanakan gerakan kerjanya (atau diperbaiki), tetapi bahkan harus dihilangkan sama sekali. Apabila suatu pekerjaan atau elemen pekerjaan dapat dihilangkan maka disini tidak diperlukan lagi pembiayaan untuk pelaksanaannya. Biasanya sekali standart kerja rutin ditetapkan maka sulit untuk membuat perubahan sekalipun akan mengijinkan untuk menghilangkan dan/atau menyederhanakan proses kerja yang berlangsung.

### **b. Perancangan komponen benda kerja.**

Suatu desain benda kerja akan memiliki kaitan erat dengan proses manufacturing yang harus berlangsung untuk merealisasikan benda kerja, sehingga cukup beralasan jika saat merancang benda kerja harus pula dipikirkan untuk mencari cara yang termudah atau termurah dalam proses manufacturnya. Maka langkah-langkah seperti dibawah ini dapat diperhatikan yaitu :

- Mengurangi jumlah komponen bagian yang tidak signifikan dan mempengaruhi fungsi produk secara keseluruhan.
- Mengurangi operasi kerja terutama yang berkaitan dengan proses pemindahan bahan.
- Menggunakan komponen produk yang standart dengan toleransi dan spesifikasi teknis yang dipilih secara tetap.
- Desain tidak saja harus dipikirkan dari aspek estetika saja tetapi lebih penting adalah kemudahan untuk pembuatannya baik proses permesinan atau perakitan.

### **c. Pemilihan bahan baku.**

Kemampuan untuk memilih dan menggunakan material yang tepat sangat mutlak untuk dilakukan. Ada 6 pertimbangan yang harus dibuat sehubungan dengan pemilihan material produk yaitu :

- Pilih dan dapatkan material yang tidak terlalu mahal.

- Pilih material yang paling mudah untuk di proses.
- Gunakan material seefisien mungkin dengan mempertimbangkan semua material habis terpakai (tidak ada skrap).
- Apabila mungkin gunakan material bekas atau sisa.
- Pergunakan supplies material dan perkakas secara ekonomis.
- Material yang dipakai harus mengikuti spesifikasi standart yang umum digunakan.

**d. Proses manufacturing.**

Untuk memperbaiki proses manufacturing yang dilaksanakan, maka pengamatan diarahkan ke hal-hal :

- Apabila akan merubah suatu proses operasi harus memperhatikan efeknya ke operasi lain.
- Mekanisasikan setiap manual operation yang kemungkinan dapat dilakukan.
- Pergunakan fasilitas dan peralatan kerja yang lebih efisien dalam proses yang akan dilaksanakan.
- Operasikan fasilitas kerja yang ada secara efektif sesuai dengan spesifikasinya yang dimiliki seperti halnya memilih pemakanan (feeds) dan kecepatan potong (cutting speed).

**e. Set-up mesin dan perkakas.**

Untuk mempercepat proses persiapan (setting up) maka akan sangat membantu sekali aplikasi dari jigs dan fixture khususnya untuk produksi massal. Proses dari set up ini sangat penting sekali dalam job shop karena disini proses produksi cenderung berlangsung singkat. Dengan mengaplikasikan “*Group Teknologi*” yang mengaplikasikan bermacam komponen dalam group produk yang memiliki bentuk dan langkah-langkah operasi kerja yang sama.

**f. Kondisi lingkungan kerja.**

Tugas *method engineering* adalah juga membuat area kerja yang baik ditinjau dari segi keselamatan dan kenyamanannya. Kondisi lingkungan kerja yang ideal diharapkan akan mampu memberikan kondisi kerja seperti :

- Memperbaiki safety record.
- Mengurangi absenteism dan ketidak disiplin kerja.
- Meningkatkan moral kerja karyawan.
- Meningkatkan produktifitas kerja.
- Mengurangi tingkat kelelahan kerja.

Untuk maksud tersebut diatas maka langkah yang diambil adalah sebagai berikut :

- Memperbaiki cahaya penerangan di lingkungan kerja.
- Mengontrol temperatur ruangan dan juga kelembabannya.
- Memberi ventilasi yang cukup.

- Mengontrol suara yang timbul dengan jalan menekan kebisingan.
- Menciptakan area kerja yang bersih dan rapi.
- Membuang sisa material (geram), skrap dan lain-lain serta memproteksi diri terhadap output kerja lain yang membahayakan seperti debu, gas, uap dan lain-lain.
- Menyediakan perlengkapan dan petunjuk untuk keselamatan kerja.
- Mempertimbangkan aspek ergonomis dan prinsip dari kerja fisik.

**g. Pемindahan bahan.**

Pemindahan bahan adalah hal yang sulit dihindari dalam suatu proses produksi. Untuk itu desain dari proses material handling beserta peralatannya harus direncanakan secara tepat dan teliti. Kekeliruan dalam perencanaan akan menyebabkan production time menjadi besar dan juga tentunya menambah biaya tidak langsung. Analisa dari material handling akan bermanfaat terhadap tata mesin atau fasilitas produksi lain, karena hal ini akan mampu mengurangi terjadinya “ *bottlenecks* “ atau interupsi dalam bentuk apapun terhadap aliran produksi yang sedang berjalan.

Proses analisa cara kerja pada prinsipnya akan menitik beratkan pada studi tentang gerakan-gerakan kerja yang dilakukan pekerja unruk menyelesaikan pekerjaan. Dari hasil studi ini akan dihasilkan gerakan standart yang efektif dan

efisien. Untuk mendapatkan kondisi kerja yang baik yaitu yang memiliki gerakan yang ekonomis maka perlu diperhatikan faktor :

1. Penggunaan badan/anggota tubuh manusia serta gerakan-gerakannya.
2. pengaturan tata letak area kerja.
3. perancangan alat dan perlengkapan kerja.

Secara umum didalam usaha mengembangkan metode dan gerakan kerja ekonomis maka beberapa hal dapat dilaksanakan antara lain yaitu :

- Hilangkan gerakan kerja yang tidak perlu yang justru memboroskan tenaga.
- Kombinasikan beberapa aktifitas menjadi satu aktifitas yang memungkinkan dilakukan secara bersamaan.
- Kurangi waktu kelelahan dengan memberi waktu istirahat dan waktu longgar lainnya yang cukup.
- Perbaiki pengaturan tempat kerja dan desain dari fasilitas / peralatan kerja yang ada.

#### **2.2.2. Prinsip Ekonomi Gerakan.**

**Prinsip ekonomi gerakan dihubungkan dengan penggunaan anggota badan atau anggota tubuh manusia :**

1. Manusia memiliki kondisi fisik dan struktur tubuh yang memberikan keterbatasan dalam melaksanakan gerakan kerja.

2. Diusahakan kedua tangan harus memulai dan menyelesaikan gerakannya dalam waktu yang bersamaan.
3. Kedua tangan tidak boleh menganggur pada waktu yang bersamaan kecuali istirahat.
4. Gerakan tangan harus simetris dan berlawanan arah.
5. Untuk menyelesaikan pekerjaan maka bagian tubuh yang memang diperlukan sajalah yang bekerja agar tidak terjadi penghamburan tenaga yang mengakibatkan kelelahan yang tidak perlu.
6. Hindari gerakan patah-patah karena cepat menimbulkan kelelahan.
7. Gerakan mata harus diatur agar tidak perlu sering mengubah fokus.

**Prinsip ekonomi gerakan dihubungkan dengan tempat kerja :**

1. Tempat tertentu yang tak sering dipindahkan harus disediakan untuk semua alat dan bahan sehingga dapat menimbulkan kebiasaan tetap ( gerak rutin).
2. Letakkan benda dan peralatan pada jarak yang mudah tercapai sehingga mengurangi usaha mencari-cari.
3. Tata letak bahan dan peralatan diatur sedemikian rupa untuk memungkinkan urutan-urutan gerakan yang terbaik.
4. Tinggi tempat kerja (mesin, meja kerja dan lain-lain) harus sesuai dengan ukuran tubuh manusia sehingga dalam menyelesaikan pekerjaannya akan mudah dan nyaman..

5. Kondisi ruangan seperti penerangan, temperatur, kebersihan, ventilasi udara dan lain-lain yang berkaitan dengan persyaratan ergonomis harus diperhatikan agar pekerja merasa nyaman dalam bekerja dan menumbuhkan motivasi kerja yang lebih baik.

**Prinsip ekonomi gerakan dihubungkan dengan desain peralatan kerja yang dipergunakan :**

1. Kurangi sebanyak mungkin pekerjaan tubuh (manual) apabila hal tersebut dapat dilaksanakan dengan peralatan kerja.
2. Usahakan menggunakan peralatan kerja yang dapat melaksanakan berbagai macam pekerjaan sekaligus baik sejenis maupun berlainan.
3. Siapkan dan letakkan semua peralatan kerja pada posisi tepat untuk memudahkan pemakaian atau pengambilan pada saat diperlukan tanpa harus bersusah payah mencari-cari. Desain peralatan juga dibuat sedemikian rupa agar memberikan kenyamanan genggam tangan saat digunakan.
4. Beban untuk masing-masing anggota tubuh yang dipakai dalam bekerja harus terbagi seimbang sesuai dengan energi dan kekuatan yang dimiliki anggota tubuh tersebut.

### 2.3. Ergonomi

Istilah ergonomi berasal dari bahasa Latin yaitu *ERGON* (KERJA) dan *NOMOS* (HUKUM ALAM) dan dapat didefinisikan sebagai studi tentang aspek-aspek manusia dalam lingkungan kerjanya yang ditinjau secara anatomi, fisiologi, psikologi, engineering, manajemen dan desain/perancangan. Ergonomi berkenaan pula dengan optimasi, efisiensi, kesehatan, keselamatan dan kenyamanan manusia di tempat kerja, di rumah dan tempat rekreasi. Didalam ergonomi dibutuhkan studi tentang sistem dimana manusia, fasilitas kerja dan lingkungannya saling berinteraksi dengan tujuan utama yaitu menyesuaikan suasana kerja dengan manusiannya. Ergonomi disebut juga “ *Human Factors* “. Ergonomi juga digunakan oleh berbagai macam ahli/profesional pada bidangnya misalnya : ahli anatomi, arsitektur, perancangan produk industri, fisika, fisioterapi, terapi pekerjaan, psikologi dan teknik industri. Definisi ini berdasarkan pada *International Ergonomic Association*.

Penerapan ergonomi pada umumnya merupakan aktivitas rancang bangun (*desain*) ataupun rancang ulang (*re-desain*). Hal ini dapat meliputi perangkat keras seperti perkakas kerja (*tools*), bangku kerja (*benches*), platform, kursi, pegangan alat kerja (*workholders*), sistem pengendali (*control*), alat peraga (*display*), dan masih banyak lagi.

Masih dalam kaitan dengan hal tersebut diatas adalah bahasan mengenai rancang bangun lingkungan kerja (*working environment*), karena jika sistem perangkat lunak berubah maka akan berubah pula lingkungan kerjanya.

Ergonomi dapat berperan sebagai desain pekerjaan suatu organisasi misalnya penentuan jumlah jam istirahat, pemilihan jadwal pergantian waktu kerja (*shift kerja*), meningkatkan variasi pekerjaan dan lain-lain. Ergonomi dapat pula berfungsi sebagai desain perangkat lunak karena dengan semakin banyaknya pekerjaan yang berkaitan erat dengan komputer. Penyampaian informasi dalam suatu sistem komputer harus pula diusahakan sekompatibel mungkin sesuai dengan kemampuan pemrosesan informasi oleh manusia.

Disamping itu ergonomi juga memberikan peranan penting dalam meningkatkan faktor keselamatan dan kesehatan kerja, misalnya desain suatu sistem kerja untuk mengurangi rasa sakit dan nyeri pada sistem kerangka otot manusia, desain stasiun kerja untuk alat peraga visual (*visual display unit station*). Hal ini adalah untuk mengurangi ketidaknyamanan visual dan postur kerja, desain suatu perkakas kerja untuk mengurangi kelelahan kerja, desain suatu peletakan instrumen dan sistem pengendali agar didapat optimasi dalam proses transfer informasi dengan dihasilkannya suatu respon yang cepat dengan meminimumkan resiko kesalahan serta supaya didapatkan optimasi, efisiensi kerja dan hilangnya resiko kesehatan akibat metode kerja yang kurang tepat.

Penerapan faktor ergonomi lainnya yang tidak kalah pentingnya adalah untuk desain dan evaluasi produk. Produk-produk ini haruslah dapat dengan mudah diterapkan (dimengerti dan digunakan) pada sejumlah populasi masyarakat tertentu tanpa mengakibatkan bahaya/resiko dalam penggunaannya. Mencari seorang pekerja yang benar-benar kuat untuk melakukan suatu pekerjaan yang sangat manual (pemakaian kekuatan fisik), bukan suatu pekerjaan yang mudah. Meninjau dan mengevaluasi serta merancang kembali cara kerja dengan pengorganisasian kerja yang baik dan perancangan alat bantu yang sederhana, misalnya akan memudahkan kita dalam mencari pekerja yang sanggup melakukan pekerjaan tersebut. Kita akan sulit memperoleh seseorang yang memiliki tinggi badan sekitar 2 meter untuk mengoperasikan tuas kendali yang berada diatas kepala. Namun secara sederhana kita dapat merancang alat bantu berupa bangku kerja sehingga memungkinkan untuk mengubah kebutuhan atas suatu pekerjaan agar berada dalam daerah kemampuan manusia.

Dipandang dari segi sistem maka sistem yang baik hanya dapat dicapai bila dalam sistem tersebut terdapat elemen sistem yang telah dirancang sesuai kebutuhan dan elemen sistem tersebut dapat berinteraksi secara terpadu dalam mencapai tujuan bersama. Demikian pula halnya dengan manusia sebagai pemakai alat dalam melakukan pekerjaan. Bila interaksi antara manusia dengan alat

alat tersebut berlangsung secara dipaksakan (tidak sesuai) maka efektivitas dari sistem tersebut akan menurun.

Seringkali kita mendengar terjadinya suatu kecelakaan adalah akibat kesalahan manusia. Ternyata dalam penyelidikan lebih lanjut diketahui bahwa kesalahan dalam perancangan kerja dan prosedurlah yang menyebabkan timbulnya kesalahan manusia.

Menurut Sutalaksana, I. Z., dkk, 1982 ergonomi dikelompokkan atas 4 bidang penyelidikan yaitu :

- *Penyelidikan tentang tampilan (display)*

Tampilan adalah suatu perangkat antara (interface) yang mampu menyajikan informasi tentang keadaan lingkungan dan mengkomunikasikan kepada manusia dalam bentuk tanda, angka, lambang dan sebagainya.

- *Penyelidikan tentang kekuatan fisik*

Penyelidikan ini mengukur kekuatan serta ketahanan fisik manusia saat bekerja. Juga mempelajari perancangan obyek serta peralatan yang sesuai dengan kemampuan fisik manusia ketika melakukan aktivitas.

- *Penyelidikan tentang tempat kerja.*

Penyelidikan ini bertujuan untuk mendapatkan rancangan tempat kerja yang sesuai dengan ukuran (dimensi) tubuh manusia.

- *Penyelidikan tentang lingkungan fisik.*

Penyelidikan ini meliputi mengenai kondisi lingkungan tempat kerja dan fasilitas kerja. Contohnya pengaturan cahaya, temperatur, kelembaman dan lain-lain.

Dari uraian di atas tampak bahwa ergonomi merupakan suatu tinjauan ilmiah yang penting dan menjadi suatu kebutuhan dalam melakukan perancangan kerja yang melibatkan manusia, peralatan, metode kerja, tempat kerja dan lingkungan. Beberapa kerugian akan dialami bila ergonomi tidak diterapkan dalam industri yaitu rendahnya hasil produksi, besarnya jumlah waktu kerja yang terbuang, bertambahnya biaya pengobatan, meningkatnya ketidakhadiran (absenteeism), rendahnya kualitas kerja dan meningkatnya kemungkinan kecelakaan dan kesalahan kerja (*KONZ, Work Design : Industrial Ergonomic*)

#### **2.4. Fisiologi Kerja**

Kerja berat, kadang-kadang disebut juga kerja kasar dapat dirumuskan sebagai kegiatan yang memerlukan upaya fisik yang kuat selama periode kerja. Kerja yang tergolong ringan lama-kelamaan juga dapat terasa berat bila dilakukan secara manual dan dalam waktu yang panjang. Apalagi bila didiamkan terus menerus tanpa adanya usaha-usaha perbaikan. Setiap kegiatan yang berlangsung pada diri manusia membutuhkan energi. Kemampuan manusia untuk melakukan berbagai kegiatan tergantung pada struktur fisik dari tubuhnya sendiri seperti struktur tulang, otot-otot rangka, sistem syaraf dan proses metabolisme. Dua

ratus enam tulang membentuk rangka manusia yang berfungsi menopang dan melakukan kegiatan-kegiatan fisik. Tulang tersebut saling berhubungan dengan sendi-sendi yang merupakan gumpalan serabut otot yang dapat berkontraksi. Fungsi dari serabut otot adalah mengubah energi kimia menjadi energi mekanik. Kegiatan otot dikontrol oleh sistem syaraf sedemikian rupa sehingga kerja otot secara keseluruhan dapat berlangsung baik. Untuk melakukan semua kegiatannya manusia memerlukan suplai energi. Energi terbentuk karena adanya proses metabolisme dalam otot yaitu berupa serangkaian proses kimia yang mengubah bahan makanan menjadi 2 bentuk energi yaitu energi mekanis dan energi panas.

#### **2.4.1. Konsumsi Energi**

Konsumsi energi dalam kerja yang dirasakan berat merupakan faktor utama yang membatasi prestasi kerja. Dengan jalan mekanisasi, permintaan akan energi kerja manusia memang dapat dikurangi. Namun banyak pula industri yang masih tetap memerlukan energi manusia seperti pada industri pertambangan, pengolahan barang logam, pertanian, kehutanan, konstruksi dan lain-lain.

Salah satu proses yang paling penting di dalam badan manusia adalah berubahnya energi kimia dari makanan menjadi energi panas dan mekanik. Makanan dipecah di dalam usus menjadi senyawa kimia sederhana hingga dapat diserap oleh dinding alat pencernaan sampai ke aliran darah. Bagian terbesar dari pecahan makanan diangkut ke hati (lever) untuk disimpan sebagai cadangan energi dalam

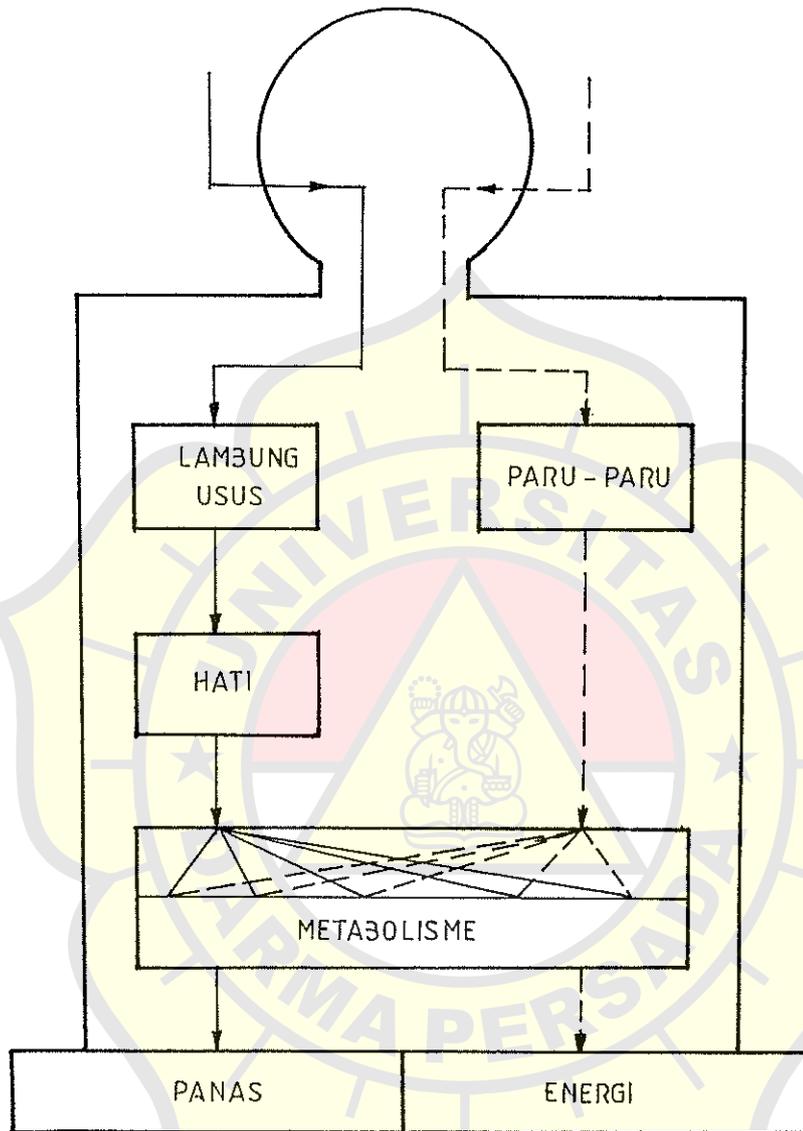
bentuk glikogen dan jika dibutuhkan akan dilepaskan ke dalam aliran darah yang sebagian besar dalam bentuk senyawa gula. Hanya sebagian kecil pecahan makanan itu terpakai untuk membangun jaringan lemak sebagai lemak. Dengan perantaraan darah, bahan makanan yang berenergi tinggi mencapai semua sel tubuh dan mendapatkan energinya dengan jalan menghancurkannya menjadi produk akhir yang berenergi rendah yaitu air, karbon dioksida dan urea.

Segecap perubahan yang menyangkut bahan makanan itu disebut “metabolisme “ dan dapat dipersamakan dengan pembakaran lamban. Persamaan tadi mudah dibenarkan kalau kita mengingat bahwa oksigen merupakan bahan pokok yang diperlukan untuk metabolisme itu .

Bahan energi tinggi + O<sub>2</sub> ----- Bahan energi rendah + energi

Oleh kerja proses metabolik itulah energi dihasilkan dan dipakai untuk kerja mekanis melalui sarana kimiawi di dalam otot. Proses ini digambarkan secara diagramatis dan dapat dilihat pada halaman 27.

Konsumsi energi diukur dengan kilo-kalori (Kkal). Dalam fisiologi kerja, konsumsi energi diukur secara tak langsung melalui konsumsi oksigen yang kemudian secara langsung dikaitkan dengan hasil kerja. Setiap liter oksigen yang dikonsumsi oleh tubuh, menghasilkan energi rata-rata 4.8 Kkal dan dinamakan nilai kalorifik dari oksigen. Jadi, untuk mendapatkan konsumsi energi dalam Kkal, kita harus mengkalikan volume oksigen yang dikonsumsi (diukur) dengan



**Gambar 2-2. Diagram urutan berubahnya makanan menjadi panas dan energi di dalam tubuh manusia**

nilai 4.8. Banyaknya oksigen yang dikonsumsi diukur dengan menggunakan meteran gas, sebuah alat yang digendong oleh orang yang diteliti, dan udara dari meteran yang diteliti itu diperiksa di laboratorium. Semakin berat kegiatan seseorang, semakin besar pula kalori yang diperlukan atau dikonsumsi. Sebagai gambaran kebutuhan kalori per jam dapat dilihat dalam tabel 8 di lembaran tabel.

Kebutuhan kalori seorang tenaga kerja seharusnya ditentukan oleh kalori metabolisme basal, kalori untuk kegiatan kehidupan sehari-hari di luar kerja dan kalori kerja. Konsumsi kalori ini ditentukan oleh ringan beratnya pekerjaan seperti yang dapat dilihat pada tabel di lembar lampiran. Kalori kerja adalah kalori yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan. Kalori ini sebagian diubah menjadi tenaga mekanik.

Jika metabolisme basal seorang tenaga kerja laki-laki 1500-1600 Kkal, kegiatan sehari-hari di luar pekerjaan 500-600 Kkal, maka kalori kerja adalah kalori yang ditambahkan di atas jumlah 2000-2200 tersebut. Suatu standart dari dunia barat adalah bahwa maksimum kalori kerja adalah 4800 Kkal sehari sebagai rata-rata setahun. Nilai ini perlu ditelaah dengan seksama mengingat perbedaan ukuran tubuh dan kapasitas kerja.

Konsumsi kalori dapat dinilai dengan melihat aneka variabel faal seperti denyut jantung per satuan waktu, suhu rektal dan kecepatan berkeringat selain

dengan pengukuran konsumsi oksigen. Tingkat beban kerja menurut variabel faal dapat dilihat pada tabel 10 di lembaran tabel.

#### **2.4.2. Pengukuran denyut jantung**

Salah satu cara pendekatan terhadap konsumsi kalori atau pengerahan tenaga pada para pekerja adalah dengan melakukan pengukuran nadi kerja. Nadi kerja seorang tenaga kerja ditentukan oleh besarnya beban langsung pekerjaan, beban tambahan dan kapasitas kerja. Pengaruh-pengaruh yang bersifat fisik dan psikologis tercermin dalam nadi kerja. Metode yang dipakai dalam pengukuran nadi kerja adalah cara 10 denyut yaitu cara menghitung sepuluh denyutan nadi pada arteri radialis (pegelangan tangan) atau arteri di leher di depan otot *sterno cleido mastoideus* sambil mengukur lamanya waktu dengan menggunakan stopwatch. Dari waktu yang dibaca pada arloji dapat ditentukan jumlah nadi per menit yaitu mengalikan 10 denyutan dengan perbandingan antara 1 menit (60 detik) dengan hasil yang dilihat dari jam henti tadi. Setelah diperoleh jumlah nadi per menit maka langkah selanjutnya adalah menentukan konsumsi  $O_2$  dari denyutan dengan menggunakan grafik dari tabel Christensen. Konsumsi  $O_2$  yang diperoleh dikalikan 4.8 karena 1 liter  $O_2 = 4.8$  kkal.

## **2.5. Pengukuran kerja dengan metode sampling**

Sampling atau dalam bahasa asingnya sering disebut dengan *Work Sampling*, *Ratio Delay Study* atau *Random Observation Method* adalah suatu teknik untuk mengadakan sejumlah besar pengamatan terhadap aktifitas kerja dari mesin, proses atau pekerja. Pengukuran kerja dengan metode sampling ini seperti halnya dengan pengukuran kerja dengan jam henti (*stopwatch time study*) diklasifikasikan sebagai pengukuran kerja secara langsung, karena pelaksanaan kegiatan pengukuran harus secara langsung di tempat kerja yang diteliti.

Pada awalnya cara ini dikembangkan di Inggris oleh seorang yang bernama L.H.C. Tippet di pabrik-pabrik tekstil di Inggris, tetapi karena berbagai kegunaannya cara ini dipakai di negara-negara lain secara lebih luas. Dari namanya dapat diduga bahwa cara ini menggunakan prinsip-prinsip sampling dari ilmu statistik. Cara jam henti sebenarnya juga menggunakan ilmu statistik (dan juga sampling), tetapi pada sampling pekerjaan ini tampak lebih nyata.

### **2.5.1. Bekerjanya sampling pekerjaan.**

Dalam metode sampling ini pengukuran sampling pekerjaan dilakukan secara sesaat-sesaat pada waktu-waktu yang ditentukan secara acak. Bagaimana suatu pengamatan demikian dapat menghasilkan sesuatu yang berguna seperti waktu kerja? Untuk memahami berbagai kegunaan sampling pekerjaan, akan lebih baik bila diketahui terlebih dahulu bagaimana bekerjanya cara ini.

Sebenarnya pengamatan sesaat pada waktu yang ditentukan secara acak tidak berbeda dengan seorang mahasiswa yang mengunjungi temannya dirumahnya. Kunjungan ini biasanya dilakukan pada waktu-waktu yang tidak menentu, kadang-kadang setiap hari sekali, dua hari sekali, atau tiga hari sekali bahkan mungkin seminggu sekali. Jika mahasiswa tersebut melakukan kunjungan seperti itu maka dikatakan bahwa ia mengunjungi temannya dalam waktu-waktu yang acak. Misalkan dia telah melakukan 10 kali kunjungan dan 7 diantaranya tidak menjumpai temannya itu karena sedang tidak ada di rumah. Berdasarkan pengalaman itu, tentunya ketika ia bertemu dengan temannya tersebut maka ia akan mengatakan bahwa sebagian waktu temannya tersebut berada di luar rumah. Katakanlah dia berkunjung 100 kali dan sebanyak 75 kali kedatangannya, ia tidak menemui temannya maka kita akan berpendapat bahwa 75 % dari waktu temannya itu dilewatkan diluar rumah.

Ilustrasi diatas menyimpulkan tentang ada tidaknya suatu kejadian dapat disimpulkan melalui kunjungan-kunjungan. Terlihat pula semakin banyak kunjungan dilakukan semakin kuat dasar untuk mengambil kesimpulan. Begitu pula kurang lebih apa yang terjadi dengan sampling pekerjaan. Kunjungan-kunjungan dilakukan untuk mengetahui apa yang terjadi di tempat kerja yang bersangkutan. Mencari catatan yang dilakukan setiap kali kunjungan dapat dilihat berbagai kegiatan yang terjadi beserta berapa sering (frekuensi) kegiatan itu

teramati. Semakin tinggi frekuensinya semakin sering kegiatan tersebut dilakukan dan dapat pula diduga bahwa total waktu yang dibutuhkan semakin banyak.

Agar kesimpulan yang diambil lebih tepat, yaitu tidak sekedar mengira-ngira, diperlukan teknik tertentu yang secara statistik dikenal sebagai sampling menduga perbandingan populasi atau *sampling for estimating population proportion*.

### **2.5.2 Kegunaan sampling pekerjaan**

Karena caranya seperti yang telah dilakukan diatas, sampling pekerjaan mempunyai bebrapa kegunaan lain dibidang produksi sampling untuk menghitung waktu penyelesaian. Kegunaan-kegunaan tersebut adalah :

- a. Untuk mengetahui distribusi pemakaian waktu sepanjang waktu kerja oleh pekerja atau kelompok pekerja.
- b. Untuk mengetahui tingkat pemanfaatan mesin-mesin atau alat-alat di pabrik.
- c. Untuk menentukan waktu baku bagi pekerja-pekerja tak langsung.
- d. Untuk memperkirakan kelonggaran bagi suatu pekerjaan.

Distribusi pemakaian waktu pekerja atau kelompok pekerja dan tingkat pemanfaatan mesin-mesin atau alat-alat secara mudah diketahui dengan mempelajari frekuensi setiap kegiatan atau catatan pengamatan setiap melakukan kunjungan. Kegunaan sampling pekerjaan ini . tampak sebagai kelebihan dibandingkan cara jam henti. Memang kecuali dengan melakukan pengukuran tak

henti sepanjang hari cara jam henti tidak dapat melakukan hal-hal diatas. Bahkan dengan jam henti sama sekali tidak dapat dilakukan pengamatan terhadap beberapa pekerjaan sekaligus yang pada sampling pekerjaan dengan mudah dilakukan yaitu dengan cara melakukan beberapa pengamatan pada pekerjaan di setiap kunjungan. Begitu pula dengan pekerja-pekerja tak langsung yang tidak mudah diukur dengan jam henti karena tidak menentunya kegiatan mereka.

Tentang lamanya pengamatan, ternyata pada umumnya cara sampling pekerjaan membutuhkan waktu yang lebih lama bahkan tidak jarang lebih lama dari cara jam henti. Misalkan saja tingkat ketelitian dan keyakinan berturut-turut yang diinginkan 5 % dan 95 %. Maka untuk suatu kegiatan yang menghabiskan waktu 20 % dari seluruh waktu yang tersediakan diperlukan 6400 kali kunjungan. Ini berarti memakan waktu 183 hari jika ditambah 5 kali kunjungan setiap jam setiap hari yang mempunyai 7 jam kerja. Dengan kata lain jika hendak diukur waktu bakunya untuk satu pekerjaan saja maka cara sampling seringkali terlalu mahal. Memang dalam keadaan demikian cara jam henti dapat memberikan hasil yang sama kualitasnya dalam waktu yang jauh lebih cepat dan tentunya biayanya lebih murah.

### **2.5.3 Langkah sebelum melakukan sampling pekerjaan.**

Pada dasarnya semua langkah dalam melakukan sampling pekerjaan tidak beda dengan yang diketengahkan pada cara jam henti. Begitu pula langkah-langkah yang dijalankan sebelum sampling dilakukan yaitu :

- a. Menetapkan tujuan pengukuran yaitu untuk apa sampling dilakukan yang akan menentukan besarnya tingkat ketelitian dan keyakinan.
- b. Jika sampling dilakukan untuk mencari waktu baku, maka penelitian pendahuluan untuk mengetahui ada tidaknya sistem kerja yang baik. Jika belum, perbaikan-perbaikan atas kondisi dan cara kerja harus dilakukan dahulu.
- c. Memilih operator yang baik.
- d. Bila perlu mengadakan latihan bagi para operator yang dipilih agar terbiasa dengan sistem kerja yang dilakukan.
- e. Melakukan pemisahan kegiatan sesuai dengan yang ingin didapatkan.

### **2.5.4. Melakukan sampling.**

Cara melakukan pengamatan dengan sampling pekerjaan tidak beda dengan jam henti. Langkah-langkah itu adalah melakukan sampling pendahuluan, menguji keseragaman data, dan menghitung jumlah kunjungan yang diperlukan. Langkah-langkah ini dilakukan terus sampai jumlah kunjungan mencukupi yang diperlukan untuk tingkat ketelitian dan keyakinan yang diinginkan.

### A. Sampling pendahuluan.

Disini dilakukan sejumlah kunjungan yang banyaknya ditentukan oleh pengukur yang biasanya tidak kurang dari 30. Contohnya dapat dilihat dibawah ini

KEGIATAN	FREKUENSI TERAMATI				JUMLAH
	1	2	3	4	
PRODUKTIF	24	29	30	26	109
NON PRODUKTIF	12	7	6	10	35
JUMLAH	36	36	36	36	144
% PRODUKTIF	67	81	83	72	

TABEL 1. SAMPLING PENDAHULUAN.

### B. Pengujian keseragaman data

Untuk ini kita tentukan batas-batas kontrolnya yaitu :

$$BKA = \bar{p} + 3 \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$$

$$BKB = \bar{p} - 3 \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$$

dimana  $\bar{p}$  adalah

$$\bar{p} = \sum pi / k$$

dengan  $p_i$  adalah presentase produktif di hari ke  $i$  dan  $k$  adalah jumlah hari pengamatan

$\bar{n}$  adalah

$$\bar{n} = \sum mi / k$$

### C. Menghitung jumlah pengamatan yang diperlukan

Jumlah pengamatan yang diperlukan untuk ketelitian dan keyakinan 5 % dan 95 % diketahui dengan rumus

$$N^I = 1600 (1 - p) / p$$

dimana  $p$  adalah persentase produktif dari seluruh pengamatan yang telah dilakukan.

Bila  $N^I$  lebih besar dari kunjungan yang telah dilakukan maka sampling tahap kedua harus dilakukan. Demikian seterusnya pengamatan dilakukan demi tahap sampai jumlah kunjungan yang telah dilakukan lebih banyak atau sama dengan yang seharusnya dilakukan.

#### **2.5.5. Cara menentukan waktu pengamatan secara acak.**

Misalkan satu satuan waktu panjangnya 5 menit. Jadi satu hari kerja (7 jam) mempunyai 84 satuan waktu. Ini berarti jumlah kunjungan per hari tidak lebih dari 84 kali. Jika dalam satu hari akan dilakukan 36 kali kunjungan maka dengan bantuan tabel bilangan acak ditentukanlah saat-saat kunjungan tersebut.

Tabel bilangan acak biasanya terdapat pada buku-buku statistik atau buku-buku tabel teknik. Dengan tabel ini kita pecahkan masalah tadi. Angka-angka pada tabel kita ikuti dua-dua sampai 36 kali. Dengan syarat pasangan angka tersebut tidak boleh lebih besar dari 84 dan tidak boleh terjadi pengulangan. Jadi di dapat angka-angka berturut-turut 39, 65, 75, 45, 19, 69, 54 ..... ( 36 pasang )

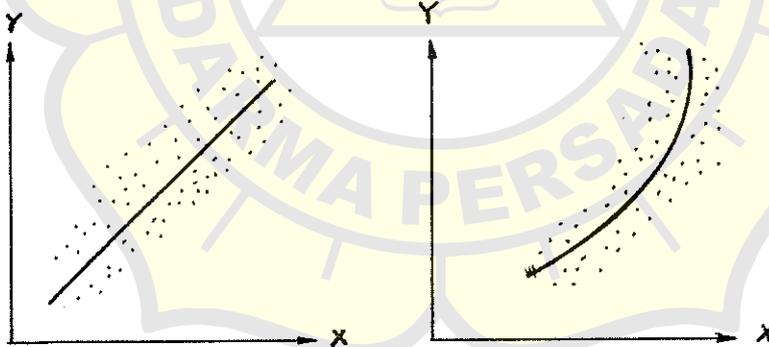
Dengan demikian kunjungan dilakukan pada satuan waktu ke 39,65 .... ( 36 kali ) yang berarti pada pukul 11.15, 14.25, dan seterusnya sampai 36 kali waktu kunjungan.

## 2.6. Korelasi

Analisa korelasi dipergunakan untuk mengetahui keeratan hubungan antara dua variabel atau lebih tanpa memperhatikan ada atau tidaknya hubungan kausal diantara variabel-variabel tersebut. Analisis korelasi sering diterapkan dalam analisis regresi, namun secara konseptual keduanya berbeda.

Korelasi dapat bersifat linier atau non linier. Korelasi dikatakan linier apabila semua titik  $(x_i, y_i)$  pada diagram tebar (*scatter diagram*) terlihat mengelompok atau bergerombol disekitar garis lurus, sedangkan dikatakan non linier apabila titik-titik tersebut berada di sekitar kurva non linier. Didalam analisis korelasi sederhana kemungkinan akan dijumpai bahwa dua variabel berkorelasi positif, negatif atau tidak berkorelasi.

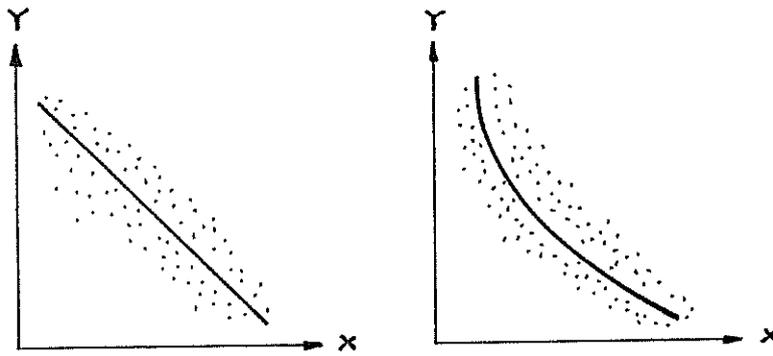
Dua variabel dikatakan berkorelasi positif jika mereka cenderung berubah secara bersama dalam arah yang sama dengan kata lain cenderung meningkat atau menurun secara bersamaan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa dua variabel berkorelasi positif apabila nilai-nilai yang besar dari satu variabel berhubungan dengan nilai-nilai yang besar dari variabel lain, demikian pula nilai-nilai kecil dari satu variabel berhubungan dengan nilai-nilai kecil dari variabel lain. Sebagai contoh dua variabel yang berkorelasi positif dipostulatkan oleh teori produksi untuk variabel penggunaan input ( $X$ ) dan variabel output ( $Y$ ), dimana semakin banyak input yang digunakan maka semakin banyak pula output yang dihasilkan, demikian pula sebaliknya. Diagram tebar dari dua buah variabel yang berkorelasi positif ditunjukkan dalam gambar berikut ini



*Gambar 2-3. Korelasi Positif*

Semua titik dalam diagram tebar terlihat terletak mendekati kurva linier atau kurva non linier dengan *slope* yang positif. Jika nilai-nilai  $(x_i, y_i)$  di atas merupakan semua nilai yang ada dalam populasi, maka koefisien korelasi yang biasa dinotasikan dengan huruf Yunani  $\rho$  (rho) akan mendekati +1, sedangkan nilai-nilai yang diperoleh dalam contoh acak yang ditarik dari populasi, maka koefisien korelasi contoh dinotasikan dengan huruf latin  $r$  akan mendekati +1. Jika semua titik terletak pada kurva linier atau kurva non linier maka korelasi dikatakan bersifat positif sempurna dan koefisien korelasi akan sama dengan +1.

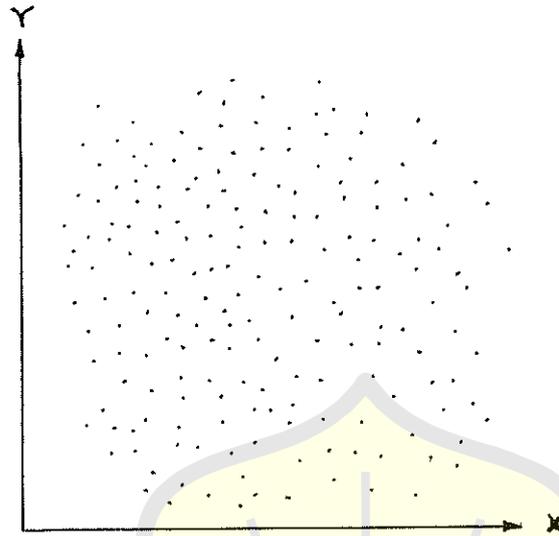
Dua variabel dikatakan berkorelasi negatif, jika mereka cenderung berubah dalam arah yang berlawanan. Dimana jika  $X$  meningkat,  $Y$  menurun demikian pula sebaliknya. Dengan kata lain dua variabel  $X$  dan  $Y$  dikatakan berkorelasi negatif jika nilai -nilai yang besar dari variabel  $X$  cenderung berhubungan dengan nilai-nilai yang kecil dari variabel  $Y$  demikian sebaliknya. Sebagai contoh variabel komoditi yang diminta (kuantitas permintaan) berkorelasi negatif dengan variabel harga, dimana bila harga meningkat maka permintaan menurun demikian pula sebaliknya. Diagram tebar dari dua variabel yang berkorelasi negatif ditunjukkan dalam gambar berikut ini



**Gambar 2-4. Korelasi Negatif**

Dalam gambar tersebut tampak bahwa titik-titik terletak di sekitar kurva linier atau kurva non linier dengan *slope* negatif dalam hal ini korelasi akan mendekati -1. Jika semua titik terletak tepat pada kurva linier atau non linier maka koefisien korelasi akan bernilai -1 dan hal ini disebut variabel yang berkorelasi negatif sempurna.

Dua variabel dikatakan tidak berkorelasi apabila mereka cenderung berubah dengan tidak ada hubungan atau kaitan satu dengan yang lainnya. Dengan kata lain tidak ada kecenderungan bagi nilai-nilai tertentu dari variabel yang satu untuk terjadi bersama-sama dengan nilai-nilai tertentu dari variabel lain. Diagram tebar untuk dua variabel yang tidak berkorelasi ditunjukkan dalam gambar berikut ini



**Gambar 2-5. Korelasi Nol**

Dalam gambar tampak bahwa semua titik menyebar disemua permukaan bidang XY, dalam hal ini korelasi akan mendekati nol. Sebagai contoh dua variabel yang tidak berkorelasi adalah variabel tinggi badan dengan produksi baja, variabel berat badan dengan warna rambut, variabel jumlah kelahiran bayi dengan kelahiran gajah dan lain-lain. Koefisien korelasi ditunjukkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\rho_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}}$$

## 2.7. Regresi

Dalam sistem nyata sering terdapat dua atau lebih elemen pembentuk sistem tersebut yang saling berhubungan, hal ini karena pada dasarnya suatu sistem terdiri dari elemen-elemen yang saling tergantung satu sama lain dan bekerja sama untuk mencapai tujuan. Dengan demikian dalam persoalan nyata yang dihadapi terdapat satu atau lebih variabel yang saling berhubungan satu sama lain, dan hal ini mendorong kita untuk menyelidiki lebih lanjut tentang hubungan tersebut. Sebagai contoh dalam suatu proses kimia, hasil produksi berhubungan dengan temperatur dimana proses tersebut berlangsung, dalam ilmu ternak, diketahui bahwa bobot karkas dari seekor sapi berhubungan dengan ukuran morfologi ternak sapi tersebut (lingkar dada, panjang badan dan lain-lain), dalam dunia manufaktur, permintaan suatu produk barang berhubungan dengan waktu yang dijadwalkan atau kebutuhan mesin proses berhubungan dengan kapasitas produksi barang yang dihasilkan dan sebagainya. Sering proses bekerja dari elemen-elemen dalam sistem sangat kompleks, sehingga untuk melihat bekerjanya hubungan tersebut ini dalam keadaan yang sebenarnya adalah sangat mustahil. Oleh karena itu hubungan tersebut perlu disederhanakan dengan jalan merangkumkan kedalam suatu bentuk tertentu yang disebut model. Dengan demikian untuk mempelajari sistem yang kompleks maka dibuatlah model. Pada dasarnya ada dua aspek dari model, yaitu :

1. Representasi yang merupakan pemetaan dari karakteristik sistem konkrit yang akan dipelajari.
2. Abstraksi yang merupakan transformasi karakteristik sistem konkrit yang akan dipelajari kedalam formula-formula yang umumnya (meskipun tidak selalu) merupakan formula matematik.

Pada dasarnya tujuan pemodelan sistem adalah :

1. Tujuan akademik :
  - a. Sebagai alat untuk menjelaskan dan menggambarkan sekumpulan atau suatu fakta, karena belum ada teori yang menerangkan hal tersebut.
  - b. Jika teori sudah ada, maka model digunakan untuk alat mencari konfirmasi, dalam hal ini kita mencari konfirmasi teori melalui model.
2. Tujuan manajerial :
  - a. Sebagai alat dalam pengambilan keputusan.
  - b. Sebagai proses belajar, tanpa harus terjun langsung mempelajari masalah-masalah manajerial
  - c. Sebagai alat komunikasi, agar seorang melihat sesuatu dengan bahasa yang sama.

Proses pemodelan pada dasarnya merupakan proses yang bersifat iteratif, yang secara garis besar terdiri dari 3 tahap yaitu :

1. Spesifikasi atau identifikasi model

2. Penentuan atau pendugaan nilai parameter model termasuk pemilihan model yang baik (seleksi model)

3. Pengujian terhadap model.

Proses pertama adalah spesifikasi atau identifikasi model yang merupakan suatu proses informal yang menyangkut perkiraan model yang sesuai dengan persoalan, termasuk memikirkan secara interaktif tentang elemen-elemen dasar dari sistem yang dimodelkan. Termasuk dalam hal ini apabila data telah ada, maka kita mencoba memperkirakan model yang sesuai, misalnya melalui penebaran data dalam grafik untuk melihat bentuk hubungannya (linier atau non linier), analisis- analisis pendahuluan, dan sebagainya, yang pada intinya untuk merumuskan model yang diperkirakan sesuai dengan perilaku sistem konkrit yang dipelajari tersebut.

Setelah model diidentifikasi, maka proses kedua adalah penentuan atau pendugaan parameter model yang telah dirumuskan tersebut. Proses ini merupakan teknik aplikasi yang lebih formal menyangkut pendugaan koefisien-koefisien dalam model, termasuk pemilihan model yang dianggap terbaik untuk menjelaskan sistem konkrit yang dipelajari.

Proses akhir dari pemodelan adalah pengujian diagnostik, yang merupakan suatu proses yang bersifat kritis, dimana ketepatan dari model yang dipilih dievaluasi kembali. Analisis terhadap tingkat kesalahan model merupakan

bagian penting dari proses ini. Pengujian diagnostik tidak hanya menyangkut apakah suatu model yang telah dipilih dianggap sesuai atau tidak, tetapi termasuk memeriksa kembali mengapa model tersebut tidak sesuai (seandainya ditemukan bahwa model yang dirumuskan tidak tepat), serta sedapat mungkin mengemukakan informasi tentang bagaimana modifikasi selanjutnya.

Jika kita memiliki 2 variabel bebas  $x_1$  dan  $x_2$  maka kita dapat melihat dengan metode least square pada sebuah data  $n$  di titik  $(x_1, x_2, y)$  dan standart deviasi dari nilai aktual  $y$  ditunjukkan dengan  $\sum (y - \bar{y})^2$ . Jadi dapat disimpulkan bahwa metode multiple regresi sama dengan metode least square (metode kuadrat terkecil).

Dalam pemecahan masalah regresi dengan 2 variabel, kita menyelesaikan persamaan linier untuk  $a$ ,  $b_1$ , dan  $b_2$  diantara dua variabel bebas  $x_1$  dan  $x_2$ . Sistem persamaan linier ini secara bersamaan ditimbulkan dari meminimalkan nilai  $\sum (y - \bar{y})^2$  yang sama dengan  $\sum [y - (a + b_1x_1 + b_2x_2)]^2$ . Maka dari bentuk persamaan ini kita dapat memperoleh nilai :

$$a = \bar{y} - b_1\bar{x}_1 - b_2\bar{x}_2$$

$$b_1 \sum (x_1 - \bar{x}_1)^2 + b_2 \sum (x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2) = \sum (x_1 - \bar{x}_1)(y - \bar{y})$$

$$b_1 \sum (x_2 - \bar{x}_2)(x_1 - \bar{x}_1) + b_2 \sum (x_2 - \bar{x}_2)^2 = \sum (x_2 - \bar{x}_2)(y - \bar{y})$$

Untuk dapat menyelesaikan persamaan tersebut maka kita harus menghitung terlebih dahulu nilai-nilai sigma yaitu  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_1^2$ ,  $x_2^2$ ,  $\bar{x}_1$ ,  $\bar{x}_2$ ,  $y$ ,  $y^2$ ,  $\bar{y}$ ,  $x_1x_2$ ,  $x_1y$  dan  $x_2y$ .

Setelah itu kita mencari nilai-nilai :

$$S_{11} = \sum (x_1 - \bar{x}_1)^2 = \sum x_1^2 - (\sum x_1)^2 / n$$

$$S_{12} = S_{21} = \sum (x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2) = \sum x_1 x_2 - (\sum x_1)(\sum x_2) / n$$

$$S_{22} = \sum (x_2 - \bar{x}_2)^2 = \sum x_2^2 - (\sum x_2)^2 / n$$

$$S_{1y} = \sum (x_1 - \bar{x}_1)(y - \bar{y}) = \sum x_1 y - (\sum x_1)(\sum y) / n$$

$$S_{2y} = \sum (x_2 - \bar{x}_2)(y - \bar{y}) = \sum x_2 y - (\sum x_2)(\sum y) / n$$

Akhirnya kita akan mendapatkan persamaan :

$$a = \bar{y} - b_1 \bar{x}_1 - b_2 \bar{x}_2$$

$$b_1 S_{11} + b_2 S_{12} = S_{1y}$$

$$b_1 S_{21} + b_2 S_{22} = S_{2y}$$

Untuk memecahkan masalah ini kita harus mengubahnya menjadi bentuk

$$1b_1 + 0b_2 = d_1$$

$$0b_1 + 1b_2 = d_2$$

dari sini kita dapat mengetahui bahwa  $b_1 = d_1$  dan  $b_2 = d_2$

Pemecahan masalah dilakukan dengan menggunakan metode matrix dimana

$$X = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \text{ dan } Y = \begin{bmatrix} S_{1Y} \\ S_{2Y} \end{bmatrix}$$

$$[X \mid Y] = \left[ \begin{array}{cc|c} S_{11} & S_{12} & S_{1Y} \\ S_{21} & S_{22} & S_{2Y} \end{array} \right]$$

Nilai X harus dijadikan  $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$  dengan beberapa langkah yang dijelaskan sebagai

berikut :

- Langkah pertama adalah merubah angka pertama ( $S_{11}$ ) di baris pertama menjadi 1 dengan membagi semua angka di baris pertama dengan angka pertama tersebut ( $S_{11}$ ).
- Langkah kedua adalah merubah angka pertama ( $S_{21}$ ) di baris kedua menjadi 0 yaitu mengalikan baris pertama dengan  $S_{21}$  dan mengurangi dengan semua angka di baris kedua
- Langkah ketiga adalah merubah angka kedua di baris kedua ( $S_{22}$ ) menjadi 1 dengan membagi semua angka di baris kedua dengan  $S_{22}$ .
- Langkah keempat adalah merubah angka kedua di baris pertama menjadi 0 yaitu mengalikan baris kedua dengan  $S_{12}$  dan mengurangi dengan semua angka di baris pertama.

Dari perhitungan tersebut dihasilkan nilai  $b_1$  dan  $b_2$  nya. Sehingga bentuk persamaan

$a = \bar{y} - b_1 \bar{x}_1 - b_2 \bar{x}_2$  dapat diselesaikan dengan memasukkan nilai  $\bar{x}_1$  dan  $\bar{x}_2$  nya sehingga nilai  $a$  dapat diketahui. Setelah itu tentunya persamaan multiple regresinya dapat terbentuk dengan memasukkan nilai  $a$ ,  $b_1$ , dan  $b_2$  nya.

