

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Efektifitas dan Efisiensi

2.1.1 Efektifitas

Mardiasmo (2009:132) efektifitas pada dasarnya berhubungan dengan pencapaian tujuan atau target kebijakan (hasil guna). Efektifitas merupakan hubungan antara keluaran dengan tujuan atau sasaran yang harus dicapai. Kegiatan operasional dikatakan efektif apabila proses kegiatan mencapai tujuan dan sasaran akhir kebijakan (*spending wisely*).

Rumus Efektifitas

Untuk mencapai suatu efektifitas maka bisa digunakan rumus efektifitas berikut ini:

$$\text{Efektifitas} = \text{Output Target} / \text{Output Aktual} > = 1$$

- a. Apabila output (keluaran) aktual berbanding output yang diinginkan < 1 maka tidak tercapai efektifitas
- b. Apabila output (keluaran) aktual berbanding output yang diinginkan > 1 atau $= 1$ maka akan tercapai efektifitas.

2.1.2 Efisiensi

Efisiensi didefinisikan sebagai efektivitas yang menghasilkan meminimalisir waktu, tenaga dan keterampilan yang terbuang (Timothi Scott Archer.2010).

Dalam sudut pandang perusahaan dikenal tiga macam efisiensi, yaitu:

1. *Technical efficiency* yang merefleksikan kemampuan perusahaan untuk mencapai level output yang maksimal dengan menggunakan tingkat input tertentu. Efisiensi ini mengukur proses produksi produksi dalam menghasilkan jumlah output tertentu dengan menggunakan input seminimal mungkin. Dengan kata lain, suatu proses produksi dikatakan efisien secara teknis apabila *output* dari suatu barang tidak dapat lagi ditingkatkan tanpa mengurangi *output* dari barang lain.
2. *Allocative Efficiency*, merefleksikan kemampuan perusahaan dalam mengoptimalkan penggunaan inputnya dengan struktur harga dan teknologinya. Terminologi Efisiensi Pareto sering disamakan dengan efisiensi alokatif untuk menghormati ekonom Italia Vilfredo Pareto yang

mengembangkan konsep *efficiency inexchange*. Efisiensi Pareto mengatakan bahwa input produksi digunakan secara efisien apabila *input* tersebut tidak lagi digunakan untuk meningkatkan suatu usaha tanpa menyebabkan setidak-tidaknya keadaan yang lain menjadi lebih buruk. Dengan kata lain, apabila input dialokasikan untuk memproduksi output yang tidak dapat digunakan atau tidak diinginkan konsumen, hal ini berarti input tersebut tidak digunakan secara efisien.

3. *Economic efficiency*, yaitu kombinasi efisiensi teknis dengan efisiensi alokatif. Efisiensi ekonomis secara implisit merupakan konsep *last cost Production*. Untuk tingkat *output* tertentu, suatu perusahaan produksinya dikatakan efisien secara ekonomi jika perusahaan tersebut menggunakan biaya dimana biaya per unit dari output adalah yang paling minimal. Dengan kata lain untuk tingkat output tertentu, proses produksi dikatakan efisien secara ekonomi jika tidak ada proses lainnya yang dapat digunakan untuk memproduksi tingkat output tersebut pada biaya per unit yang paling kecil.

2.2 OPC (Operation Process Chart)

OPC (Operation Process Chart) adalah salah satu teknik yang paling berguna dalam perencanaan produksi. Kenyataannya peta ini adalah gambaran tentang proses yang telah digunakan dalam berbagai cara sebagai alat perencanaan dan pengendalian. Dengan tambahan data lain, peta ini dapat digunakan sebagai alat manajemen.

2.2.1 Keuntungan dan Kegunaan OPC

Beberapa keuntungan dan kegunaan dari *OPC (Operation Process Chart)* ini adalah sebagai berikut:

1. Mengombinasikan lintasan produksi dan peta rakitan sehingga memberikan informasi yang lebih lengkap
2. Menunjukkan oprasi yang harus dilakukan untuk tiap komponen.
3. Menunjukkan urutan oprasi pada tiap komponen
4. Menunjukkan urutan fabrikasi dan rakitan dari tiap komponen
5. Menunjukkan kerumitan nisbi dari fabrikasi tiap komponen
6. Menunjukkan hubungan antar komponen.
7. Menunjukkan panjang nisbi dari lintas fambikasi dan ruang yang dibutuhkan
8. Menunjukkan titik tempat komponen memasuki proses.
9. Menunjukkan tingkat kebutuhan sebuah rakitan-bagian.
10. Membedakan komponen yang dibuat dengan komponen yang dibeli.

2.2.2 Prinsip-prinsip penyusun OPC

1. Pada baris paling atas terdapat kepala peta "*operation process chart*" dan identifikasi lain: nama objek yang dipetakan, nama pembuat peta, tanggal dipetakan cara lama atau cara sekarang, nomor peta dan nomor gambar.

2. Material yang akan diproses diletakkan di atas garis horizontal, untuk menunjukkan bahwa material tersebut masuk ke dalam proses.
3. Lambang-lambang ditempatkan dalam arah vertikal, yang menunjukkan terjadinya perubahan proses.
4. Penomoran terhadap suatu kegiatan operasi diberikan secara berurutan, sesuai dengan urutan operasi yang dibutuhkan untuk membuat produk tersebut, atau sesuai proses yang terjadi.
5. Penomoran terhadap suatu kegiatan inspeksi diberikan secara tersendiri dan prinsipnya sama dengan penomoran untuk kegiatan operasi.
6. Pada bagian bawah OPC dibuat ringkasan yang memuat informasi : jumlah operasi jumlah inspeksi serta jumlah waktu yang diperlukan.

Dalam setiap peta proses operasi setiap kegiatan dalam bentuk lambang atau simbol yang telah dibakukan adalah sebagai berikut:

1. Operas
Yaitu suatu kegiatan operasi yang terjadi apabila benda kerja mengalami perubahan sifat, baik fisik maupun kimiawi. Operasi merupakan kegiatan yang paling banyak terjadi dalam suatu proses yang biasanya terjadi di suatu mesin atau stasiun kerja
Contoh: membuat benda dengan mesin bubut, mengecat benda kerja dan merakit benda kerja.
2. Pemeriksaan (*Inspeksi*)
Suatu kegiatan pemeriksaan terhadap benda kerja atau peralatan, baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Lambing ini digunakan untuk melakukan pemeriksaan terhadap suatu objek tertentu agar sesuai dengan standar yang ditetapkan.
Contoh: mengukur dimensi benda kerja sesuai dengan spec, memeriksa warna benda dll.
3. Aktifitas gabungan
Suatu kegiatan yang terjadi apabila aktifitas operasi dan pemeriksaan dilakukan secara bersamaan atau pada satu tempat yang berbeda
Contoh: memeriksa benda kerja kemudian dimasukkan ke dalam box karton.
4. Penyimpanan
Suatu kegiatan penyimpanan benda kerja untuk waktu yang cukup lama. Jika benda kerja tersebut akan diambil kembali biasanya melakukan prosedur perizinan tertentu.
Contoh: bahan baku yang disimpan dalam gudang dan menyimpan benda kerja hasil produksi.

2.3 Proses Manufaktur

Definisi manufaktur sebagai pembuatan barang dan benda mengungkap sedikit tentang kerumitan problem tersebut. Definisi yang lebih khusus ditetapkan oleh CAM-I (Computer Aided Manufacturing International, Erlington, Texas). “A

series of interrelated activities and operations involving design, materials selection, planning, production, quality, assurance, management, and marketing of discrete and durable goods". artinya, serangkaian kegiatan dan operasi yang saling berhubungan yang melibatkan perancangan, pemilihan bahan, perencanaan, produksi, jaminan kualitas, manajemen serta pemasaran konsumen yang berbeda-beda dan barang-barang yang tahan lama. Ini menjelaskan mulai dari awal yang sederhana ketika seorang tukang menyediakan semua masukan mental dan fisik yang diperlukan sampai akhirnya manufaktur tumbuh menjadi suatu *sistem* dengan berbagai komponen yang berintegrasi secara dinamis.

2.3.1 Perkembangan Spesifikasi

Dalam beberapa hal, ini merupakan fase terpenting. kebutuhan ditetapkan menurut fungsi, unjuk kerja, batasan waktu, biaya dan kriteria-kriteria lain. spesifikasi yang tidak mampu memenuhi kebutuhan konsumen menyebabkan biaya membengkak tinggi dan daya saing berkurang. Jadi, tidak hanya untuk kerja maksimal yang dibutuhkan, namun juga masa kegunaan yang panjang, karena itulah unjuk kerja harus dioptimalkan. Umumnya, diketahui bahwa produk yang memenuhi persyaratan minimum dapat diproduksi dengan biaya minimum. Untuk kerja ditingkatkan dengan meningkatkan biaya-biaya tertentu menyebabkan harga penjualan secara substansial pun meningkat. Peningkatan-peningkatan selanjutnya membawa pada biaya manufaktur yang jauh lebih tinggi dengan daya tarik konsumen yang meningkat secara marginal, sehingga harga penjualan tidak dapat ditingkatkan secara proposional. Untuk memastikan bahwa produk tersebut mampu menghadapi persaingan, produk diuji banding (*benchmarking*) dengan produk lain yang terbaik di bidang itu. Kadang-kadang produk sudah ada, dimana gambar dan spesifikasi tidak tersedia, akan diproduksi ulang lewat *reverse engineering*. teknik tersebut juga digunakan untuk mengevaluasi produk-produk kompetitif, produk dirakit dan fitur-fitur barang diperhitungkan.

2.3.2 Perancangan Konseptual

Ini merupakan fase yang paling kreatif: Produk dirancang secara garis besar untuk memenuhi fungsi yang dimaksud. Tujuannya agar beroperasi secara memuaskan melebihi masa kegunaan yang diharapkan serta untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Perubahan yang signifikan dari praktik-praktik masa lampau adalah masukan dari pelanggan (seharusnya) dicari dengan sungguh sungguh. Keputusan yang dibuat akan mempengaruhi oleh ukuran pasar yang sudah diantisipasi lebih dahulu. Perkembangan pada teknologi manufaktur mengakibatkan konsumen sering mengharapkan produk yang disesuaikan dengan keinginan mereka serta pada harga produksi-masal. Jika ini yang terjadi, rancangan harus membuat produksi yang sesuai untuk manufaktur menurut sistem manufaktur yang fleksibel. Pada tahap ini gambar mendetail tidak diperlukan, namun cukup dengan membuat sketsa konseptual yang menunjukkan bagian-bagian tertentu berikut hubungannya satu sama lain. Pemilihan bahan dibuat terlebih dahulu, dan

karena bahan selalu berpengaruh pada proses, maka proses produksi ditetapkan sementara.

2.3.3 Perancangan Produk

Produk, baik itu mesin perkakas, mesin rumah tangga, produk bangunan, mobil, pesawat terbang, pabrik pengolahan bahan kimia, alat masak, atau wadah makanan, kemudian dirancang untuk memenuhi beberapa kriteria. Ini membawa pada *design for X (DFX)*, dimana *X* artinya daftar kriteria yang berkembang, beberapa diantaranya ditetapkan sebagai berikut:

1. *Perancang Industrial* berusaha menciptakan sebuah produk fungsional dengan daya tarik secara visual, yang akan dibeli pelanggan.
2. Sebagian besar produk dirakit dari sejumlah komponen; rancangan untuk perakitan [*design for assembly (DSA)*] berusaha membuat hal ini sesederhana mungkin, cara mengurangi hal-hal yang tidak perlu, menggabungkan fungsi-fungsi komponen, dan merancang komponen sedemikian rupa untuk memfasilitasi perakitannya. Perakitan besar dapat dipecah menjadi subrakitan atau modul-modul.
3. Produk harus dapat melayani konsumen, dengan memperhatikan kemampuan fisik dan keterbatasan operator atau konsumen. Aspek aspek ini menjadi pokok pembahasan ilmu pengetahuan *ergonomis* yang mengambil satu pendekatan umum dan menyeluruh tentang hubungan antara manusia dan mesin.
4. Produk harus mudah dipertahankan atau di-*maintain* selama jangka waktu tertentu sesuai dengan keinginan (*design for maintance*). Untuk itu komponen-komponen yang membutuhkan layanan tertentu harus dapat diakses dan jika tidak dapat dihindari lagi, kesalahan perakitan harus dikurangi.
5. Semua proses manufaktur dapat sangat bervariasi. rancangan kualitas [*Design For Quality (DFQ)*] membawa pada pilihan perancangan dan proses-proses yang dapat mengurangi besarnya variasi-variasi ini serta meminimalkan pengaruh mereka pada kinerja produk.

2.4 Ergonomi

2.4.1 Ergonomi Dibutuhkan

Pada era global seperti sekarang ini, negara dituntut memiliki kemampuan dalam menghadapi persaingan di segala bidang. Indonesia tidak lepas dari era global ini. Persaingan antar negara tidak sekedar hanya membeli dan memakai ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK), tetapi bagaimana dapat meningkatkan dan mengembangkan kemampuan sumberdaya manusia (SDM) yang dimiliki. Peningkatan kemampuan SDM mengoperasikan dan memanfaatkan IPTEK, kemudian mengembangkan IPTEK secara maksimal dan optimal sangat diperlukan pada era global ini. Untuk menghadapinya, pendekatan ergonomi menjadi penting, pendekatan ergonomi merupakan pendekatan yang menyetarakan dan menyetarakan tugas yang diberikan dengan kemampuan sehingga mencapai

produktivitas yang setinggi-tingginya. Pembinaan SDM dengan pendekatan ergonomis seperti itu perlu dilakukan agar kita tidak mengalami kekalahan dan kecelakaan pada persaingan di era global.

Performa, atau sikap, atau penampilan SDM yang maksimal dan optimal tidak terlepas dari keseimbangan tuntutan tugas/aktivitas dan kemampuannya. Tuntutan tugas yang besar hanya dapat dilakukan oleh SDM yang berkemampuan tinggi. Begitu pula SDM yang berkemampuan tinggi seharusnya ditempatkan pada tugas yang besar dan tepat. Semuanya itu, agar mendapatkan hasil yang produktif secara maksimal dan optimal. Bagaimana upaya pendekatan ergonomi seperti itu dapat dilakukan di segala lini kehidupan melalui optimalisasi kemampuan dan batasan fungsional manusia dalam melaksanakan tugas yang diberikan, agar mereka tetap sehat, aman-nyaman, dan bebas dari kecelakaan.

2.4.2 Ergonomi Dan Tuntutan Era Global

Dalam kehidupan era modern pada era global, mesin, peralatan dan segala produk telah dipasarkan secara bebas. Penggunaan suatu alat tidak lagi harus membuat alat sendiri, tetapi membuat alat dan menggunakan alat terpisahkan, baik itu alat sederhana maupun yang canggih. Semua produk termasuk alat harus diciptakan sesuai dengan kemampuan pengguna. Ergonomi mencoba menyatukan kesenjangan antara designer/pembuat alat dengan masyarakat pengguna, dengan maksud agar semua dapat diuntungkan. Ergonomi memberikan keyakinan bahwa kesesuaian produk dengan manusia penggunaan produk akan meningkatkan hasil kerja.

Berbagai produk termasuk peralatan telah masuk di Indonesia yang belum tentu sesuai dengan antropometri, iklim, dan budaya (*culture*) yang ada di Indonesia. Beberapa negara maju yang memiliki standar ergonomi, tentunya produk dihubungkan dengan situasi dan kondisi dimana standar tersebut dibuat. Standar ergonomi merupakan standarisasi yang diperlukan untuk perancangan ergonomi. Standar ergonomi tersebut adalah sebagai berikut : standar dimensi antropometri, lingkungan fisik, iklim kerja, kebisingan dan lain-lain. Seperti yang diungkap Pheasant (1986) dan Nurmianto (1998) bahwa “Inggris telah memiliki standar antropometri , begitupula Hongkong dan negara-negara maju lainnya. Sementara di Indonesia standar antropometri masih menggunakan standar hasil interpolasi/modifikasi dari masyarakat British dan Hongkong.

Jelas apabila suatu standar dibuat dan dipakai pada suatu negara, maka belum tentu sesuai dengan negara lain. Misalkan standar ergonomi untuk antropometri masyarakat amerika atau Eropa dipakai sebagai ukuran desain mobil, dan mobil tersebut dipasarkan di indonesia jelas tidak tepat, karena antropometri masyarakat Indonesia berbeda dengan Amerika atau Eropa. Menurut Wisnu (1997) “ Keyboard Qwerty yang didesain Amerika Serikat melalui Standard Institute pada tahun 1968 dan sesuai ISO pada tahun 1971 menimbulkan masalah nyeri otot, dan berdasarkan penelitian yang dilakukan terhadap suatu perusahaan asuransi di Indonesia yang banyak menggunakan komputer diperoleh data keluhan nyeri otot akibat pemakaian komputer sebagai berikut: 25% nyeri pada bahu, 19% nyeri pergelangan tangan, 15% nyeri pada leher secara berkala, 14% nyeri punggung.

Seperti hasil penelitian yang dilakukan Gempur (2004) menunjukkan bahwa “ mesin bubut tipe V-13 buatan Eropa digunakan untuk tukang bubut di suatu bengkel bubut di Indonesia ternyata menimbulkan kelelahan (20,8%), dan setelah dilakukan modifikasi sikapkerja terhadap mesinbubut termasuk dapat menurunkan kelelahan (36,1%)”. Hal itu menunjukkan bahwa produk ergonomis untuk digunakan di Indonesia perlu didasarkan pada standar antropometri masyarakat Indonesia, agar pengguna aman, nyaman, tidak celaka dan produktifitas meningkat. Indonesia belum mempunyai standar ergonomi, biasanya negara-negara lain yang membuat produk barang untuk di pasarkan di Indonesia menggunakan pedoman antropometri dimensi masyarakat Hongkong, dianggap masih mempunyai keamanan etnis Asia, walaupun hal itu belum tentu sesuai.

Terkai dengan hasil produk yang tidak didasarkan antropometri, karna Indonesia belum memiliki standar antropometri dan masih minimnya pengetahuan tentang pendekatan ergonomis, menurut hasil penelitian Woro (2001) “ternyata (100%) meja dan (81,11%) kursi untuk anak sekolah di Indonesia tidak ergonomis”. Artinya bahwa desain meja dan kursi sekolah yang telah diproduksi tidak sesuai dengan dimensi antropometri peserta didik. Dampaknya menurut Woro (2001) adalah “gangguan kesehatan pada peserta didik antara lain: pusing dan pegal/sakit (72,3%), anak merasa lelah (65,4%), dan leher pegal/sakit (61,3%)”. Hal ini menunjukkan bahwa desain produk berupa barang mutlak harus disesuaikan dengan dimensi antropometri agar ergonomis.

Faktor lingkungan yakni iklim tropis di Indonesia, tidak serta merta standart amerika atau Eropa harus dapat diterapkan di indonesia. Ini dapat dilakukan dengan memodifikasi dari standart yang ada atau dirintis membuat sendiri standar ergonomis di Indonesia dengan kebutuhan dan perkembangannya.

Pada desain ergonomis diperlukan beberapa standar yang berhubungan dengan kemampuan, kebolehan dan batasan manusia untuk dikaitkan dengan peralatan, cara dan lingkungan kerja yang harus dilakukan. “seperti Amerika telah mempunyai berbagai tabel standar untuk keperluan desain ergonomis yang tertuang dalam *American Conference Governmental Industrial Hgienists (ACGIH)*, pada masyarakat Eropa juga telah mempunyai berbagai tabel standar ergonomi yang dikeluarkan oleh *Occupational Safety And Healt Administration (OSHA)*” (Gempur, 2004). Sementara di Indonesia menggunakan berbagai standar berdasarkan modifikasi dari ACGIH dan OSHA, yang tidak didasarkan atas hasil penelitian terhadap kemampuan dan batasan masyarakat Indonesia. Kerena itu, diperlukan SDM berkualitas yang memiliki kemampuan meneliti dan mengembangkan serta menciptakan standar ergonomis, perancangan produk (peralatan), perancangan cara kerja dan lingkungan kerja serta lingkungan alam yang disesuaikan dengan kemampuan dan batasan alamiah manusia Indonesia pada setiap lini kehidupan.

Beberapa permasalahan di atas yang meliputi belum tersedianya standar ergonomi, masih minimnya pengetahuan ergonomis sehingga produk-produk yang dihasilkan untuk memenuhi kebutuhan hidup tidak ergonomis, dan minimnya jumlah SDM yang berkualitas dituntut untuk segera diatasi agar bangsa Indonesia tidak celaka dan tidak selalu tertinggal dalam persaingan bebas di era global seperti sekarang ini.

2.4.3 Pendekatan Ergomi

Berikut ini diberikan ilustrasi secara teoritis bagaimana pendekatan ergonomi seharusnya diterapkan dalam perancangan produk, cara dan lingkungan, baik dalam suatu perusahaan/industri maupun kehidupan sehari-hari. Ergonomi merupakan ilmu interdisipliner yang melibatkan beberapa keilmuan antara lain: anatomi, fisiologi, psikologi, biomekanik, kinesiology, engineering, desain, dan manajemen/organisasi, menurut (Adnyana, 2000) ergonomi, “merupakan suatu upaya dalam bentuk ilmu teknologi, dan seni untuk nyerasikan peralatan, mesin kerja, sistem, organisasi dan lingkungan dengan kemampuan, kebolehan dan

batasan manusia sehingga tercapai suatu kondisi dan lingkungan yang sehat, aman, nyaman, efisien dan produktif, melalui pemanfaatan tubuh manusia secara maksimal dan optimal “. Agar tercapai kondisi seperti itu, seharusnya peralatan dan lingkungan dikondisikan sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan manusia, bukan sebaliknya manusia disesuaikan dengan alat. Untuk keperluan perancangan alat dan lingkungan diperlukan standar ergonomis yang dibuat sesuai dengan kemampuan dan batasan manusia.

Menurut Gempur (2004) “ apabila ingin meningkatkan kemampuan manusia untuk melakukan tugas, maka beberapa hal disekitar lingkungan alam manusia seperti peralatan, lingkungan fisik, posisi gerak (kerja) perlu direvisi atau dimodifikasi atau redesain atau di desain disesuaikan dengan kemampuan dan keterbatasan manusia “. Dengan kemampuan tubuh yang meningkat secara optimal, maka tugas kerja yang dapat disesuaikan juga akan meningkat. Sebaliknya, apabila lingkungan alam sekitar termasuk peralatan yang tidak sesuai dengan kemampuan alamiah tubuh manusia, maka akan boros penggunaan energi dalam tubuh, cepat lelah, tidak optimal bahkan mencelakakan.

Ergonomi yang berpijak pada kemampuan psikologis, fisiologis, dan biomekanik yang melekat pada antropometri dan karakteristik manusia, tentu berbeda dengan kemampuan yang dimiliki antara anak, pemuda (remaja), dewasa (orang tua), laki-laki, perempuan, cacat, kurus atau gemuk. Perbedaan tersebut, tidak dapat dihindari, karena perbedaan adalah bersifat hakiki. Atas perbedaan tersebut, segala peralatan, jenis pekerjaan, dan kondisi lingkungan perlu disesuaikan oleh penggunanya. Menurut Adnyana (2000) “pekerjaan yang memerlukan kekuatan otot jelas orang tua, perempuan, dan anak-anak lebih lemah pada kaum muda dan laki-laki”. Menurut Suma'mur (1994) “pekerjaan yang memerlukan tanggung jawab besar dan ketetapan memberikan kebijakan, lebih cocok diberikan orang dewasa daripada anak muda”. Terkadang anak-anak terpaksa harus kerja, pekerjaan di tempat yang tinggi, pekerjaan yang menggunakan api, jangan diberikan pada anak-anak, ini membahayakan dan rawan kecelakaan, karena sifat mereka masih suka bermain-main”. Oleh karena itu desain peralatan dan jenis pekerjaan harus sudah diarahkan sedinimungkin dan sedemikian rupa disesuaikan dengan kemampuan masing-masing.

Menurut Adnyana (2000) “Pada iklim tempat kerja yang dingin, dapat diberikan kepada orang yang berbadan gemuk”. Orang gemuk memiliki kandungan lemak tubuh yang banyak guna pemanasan tubuh sehingga mereka lebih tahan ditempat tersebut. Tidak menuntut kemungkinan suatu pekerjaan harus dilakukan dengan membutuhkan waktu yang lama, suatu pilihan untuk menyesuaikan dengan keterbatasan manusia maka dilakukan pengaturan jam kerja dan istirahat pemberian istirahat makan tambahan yang cukup. Energi dalam tubuh diperlukan untuk melakukan aktifitas. Tenaga yang terkuras untuk berkerja harus seimbang dengan energi yang masuk dalam tubuh. Oleh karena itu tenaga kerja harus diberi gizi, kerja yang seimbang, agar mereka dapat berkerja secara produktif, dan efisien meningkat.

Bentuk aktifitas dengan posisi kerja yang berbeda, jumlah otot yang dilibatkan dan tenaga yang diperlukan juga berbeda. Menurut Hang (2000) seperti “ Aktifitas berjalan dan memanjat tangga, jenis otot dan kuantitas performa otot yang terlibat untuk menahan pinggang berbeda”. Berkerja posisi berdiri dan posisi duduk melibatkan jumlah kontraksi otot yang berbeda. Menurut Gempur (2003) bahwa “Berkerja posisi berdiri statis dan lama lebih banyak melibatkan intensitas kontraksi otot dibandingkan posisi duduk atau berdiri setengah duduk dan relaksasi”. Pekerja yang lebih banyak melibatkan lebih banyak intensitas kontraksi otot dan dalam keadaan anaerob akan lebih cepat melelahkan, karena konsentrasi asam lagtat meningkat dan glikogen sebagai salah satu sumber energi tubuh cepat berkurang. Hal itu sebagaimana menurut Nils (2000) bahwa “Dalam keadaan anaerob, asam lagtat banyak terjadi sehingga menimbulkan rasa lelah dan dalam hal ini glikogen dalam otot berkurang”. Dalam erkerja, harus dicari posisi alamiah atau posisi fisiologis agar tidak banyak melibatkan intensitas krontraksi otot, tidak mudah lelah produktifitas kerja dapat meningkat.

Pada suatu masyarakat sosial seseorang dapat beradaptasi dalam berbagai perubahan situasi. Begitupula pada masyarakat industri, mereka dapat beradaptasi dengan organisasi industri, proses produksi menggunakan peratan mesin, bahkan juga dapat beradaptasi dengan lingkungan, peralatan dan fasilitas yang kurang baik.

Hasil penelitian Anne (1989) menyebutkan bahwa “ Ketegangan otot akan beradaptasi dengan kondisi yang tidak tenang (tidak baik) setelah 12 hari”. Suatu misal tenaga kerja dipabrik, mereka berkerja di ruangan terbuka dengan perlengkapan tidak standar, mereka berkerja tidak ada kekuatan menurut (samadengan pasrah), tidak ada ventilasi, panas, terteka, bising, dan iklim lingkungan kerja dibawah standar. Mereka dapat beradaptasi pada kondisi buruk seperti itu, tetapi konsekwensinya menurut Gempur (2004) “kondisi tubuh menjadi kurang optimal, tidak efisien, kualitas rendah, dan seseorang dapat mengalami gangguan kesehatan seperti pusing (*motion*), nyeri pinggang (*low back pain*), gangguan otot rangka (*skeletal muscle*), dan penurunan daya dengar” yang tidak bisa dihindari. Walau tenaga kerja tersebut belum sampai sakit parah (celaka) dan masih dapat masuk kerja, suatu pertimbangan yang tepat, cerdas dan dapat mencapai kesuksesan seharusnya mempertimbangkan kaidah ergonomis, agar terjadi keserasian yang baik antara kemampuan dan batasan manusia dengan mesin dan lingkungannya.

Untuk memudahkan mengerjakan beberapa pekerjaan yang menjadi tanggungjawabnya, dapatlah memilih alat bantu yang disesuaikan dengan keterbatasan dan kemampuan manusia. Tanpa alat bantu, sangat mungkin pekerjaan yang menjadi tanggung jawab tidak akan terselesaikan secara cepat. Menurut Adnyana (2000) “Alat bantu merupakan perpanjangan anggota gerak tubuh manusia dengan tidak mengorbankan sikap alamiah manusia yang justru tetap dipertahankan”. Memilih alat kerja sebagai alat bantu harus emperhatikan faktor efisiensi. Alat bantu harus disesuaikan penggunaanya , seperti hasil penelitian Gunnar (1998) menyebutkan bahwa “Handle electrical powered tools ukuran lebar 50 mm cocok untuk tenaga kerja perempuan sementara tenaga kerja laki-laki cocok

menggunakan yang berukuran sekitar 60mm. Disinilah manfaat ergonomis, yang dapat membantu manusia agar dapat berkerja lebih mudah dan produktif dengan cara pemakaian alat yang disesuaikan dengan kemampuan dan batasan manusia.

Terkadang terdapat suatu lingkungan kerja yang melebihi ambang batas kemampuan manusia dalam melakukan tuntutan tugas, mereka dihadapkan pada sikap paksa atau salah yang dapat menimbulkan rasa sakit, penyakit dan bahkan kecelakaan. Kalau yang dihadapi adalah gas, uap, cairan beracun yang tidak mampu diadaptasi manusia, walau sudah memakai alat bantu berupa alat pelindung diri (APD) di lingkungan kerja, maka kesempatan keracunan juga sangat besar.

Menurut Gempur (2006) bahwa “pada prinsipnya keberacunan bahan yang mengakibatkan seseorang tidak sehat disebabkan oleh bahan kimia beracun paparannya tidak standar (melebihi nilai ambang batas/NAB) yang menyebar ditempat kerja (pabrik)”. Pada situasi dan kondisi seperti itu, selain manusia harus memakai APD dan penjadwalan mutasi kerja, lingkungan juga harus digarap agar konsentrasi bahan beracun bisa diganti atau dikurangi. Beberapa contoh di atas menjadi cukup jelas bahwa dalam pendekatan ergonomis harus ada keseimbangan antara kemampuan dan tuntutan tugas kalau manusia ingin memiliki penampilan yang optimal dan maksimal. Setiap manusia hidup pasti memiliki kemampuan.

Setiap manusia hidup juga pasti melakukan aktifitas (gerak/kerja/tugas). Penampilan seseorang ditentukan oleh interaksi antara kemampuan dan aktifitas/tuntutan tugas. Menurut Adnyana (2000) “kemampuan seseorang tergantung dari karakteristik seseorang, kapasitas fisiologis, psikologis dan biomekanik, kemudian tuntutan tugas tergantung pada karakteristik tugas, organisasi dan lingkungan yang dihadapi”. Apabila tuntutan tugas lebih besar daripada kemampuan tubuh, maka akan terjadi rasa tidak nyaman (paling awal), kelelahan (overstress), kecelakaan, cedera, rasa sakit, penyakit, dan paling akhir produktifitas menurun. Begitu pula, apabila tuntutan kerja lebih kecil daripada kemampuan, maka akan terjadi understress misalkan kejenuhan, kebosanan, kelesuan, kurang produktif, dan bahkan sakit. Jadi, agar tercipta penampilan ergonomis seharusnya pendekatan ergonomi sudah diterapkan sejak perencanaan baik pada alat, mesin, sistem, aktifitas, organisasi maupun lingkungan, yang semuanya itu perlu standar ergonomis yang didasarkan atas kemampuan dan batasan fungsional manusia secara maksimal dan optimal.

2.4.4 Performa Ergonomis Dan Parameternya

Setiap manusia mempunyai tugas kerja, dan setiap manusia mempunyai kemampuan tubuh. Performa seseorang secara ergonomis sama dengan keseimbangan antara tugas kerja dan kemampuan tubuh. Apabila tuntutan tugas masih lebih besar daripada kemampuan tubuh maka akan terjadi rasa tidak nyaman (paling awal), kelelahan, kecelakaan, cedera, rasa sakit, penyakit dan paling akhir produktifitas menurun. Apabila tuntutan tugas lebih kecil daripada kemampuan tubuh, akan terjadi kejenuhan, kebosanan, kelesuan, kurang produktif, sakit. Pada industri maupun sekolah tidak terlepas dari kehadiran manusia dan peralatan yang semuanya berada pada suatu lingkungan masing-masing. Oleh karena itu, pembagian tugas kerja yang seimbang disesuaikan kemampuan masing-masing

orang sangat diperlukan. Untuk menjaga lingkungan industri atau sekolah agar tidak mengganggu performa manusia didalam masing-masing lingkungannya, maka harus memperhatikan beberapa hal yang meliputi:

1. Pertama, sumber kimia berbahaya (*chemichal agents*) dan partikelnya (debu dan aerosols), fumas, gas, dan asap (*vapors*). Harus disesuaikan nilai ambang batas (NAB). Kita ambil sebuah contoh bahan debu. Misal debu asbestos: manusia boleh terpapar debu asbestos, tetapi jangan melebihi NAB debu asbestos 2 fibers per cm (Jeanne, 1975 dikutip Gempur 2006). Apabila melebihi NAB asbestos, maka akan terkena penyakit yang dikenal dengan asbestosis. Sakit asbestosis ini biasanya kandungan oksigen dalam darah menjadi rendah dan terjadi penyempitan paru. Asam organik berbagai strutur kimia misal asam carboxylic, asam anhydrides, asam amides dan berbagai asam lainnya. Bahan tersebut dapat menimbulkan berbagai efek misalkan alergi, inflamasi, metabolisme terganggu (mual, muntah, pusing) dan reaksi kompleks pada tubuh. Sumber bahan kimia tersebut harus dicegah disesuaikan dengan NAB agar tenaga kerja di industri, atau guru dan siswa di sekolah tidak mengalami gangguan kesehatan sehingga kemampuan tubuh tetap optimal.
2. Kedua, faktor lingkungan fisik, termasuk bising, getaran, temperatur dan tekanan ekstrim (iklim), elektro magnetik dan ion radiasi harus disesuaikan NAB. Kita ambil contoh faktor lingkungan fisik yakni bising. Manusia boleh terpapar bising tetapi bila melebihi NAB bising, maka akan menimbulkan penurunan daya dengar (tuli) sementara bahkan bisa tuli permanen. Bila bising memejani pada perempuan pekerja atau guru yang sedang hamil, sangat beresiko keguguran, bobot bayi rata-rata lebih rendah dibandingkan dengan wanita yang tidak terpapar bising. NAB bising dengan paparan selama 8 jam/hari menurut Depnaker dan American Conference Gorvernmental Industrial Hygienists (ACGHI) adalah 85 dB (decibel), dan menurut OSHA adalah 90 dB.
3. Ketiga, terhindar dari paparan organisme biologi, antaranya adalah: insects, mites, molds, yeast, fungsi, bakteri, dan virus. Dan
4. Keempat, faktor kerja. Antara lain: terhindar keadaan monoton (*monotony*), kecemasan (*anxiety*), gerakan berulang-ulang (*repetitive motion*), kesesuaian alat dengan dimensi antropometri dan kelelahan (*fatigue*).

Stres juga dapat disebabkan oleh berkurangnya kandungan oksigen (defisiensi oxygen) di udara dan ketidak normalan tekanan udara. Pabrik atau lingkungan sekolah yang ergonomis adalah lingkungannya sehat tidak menimbulkan stres, dapat memberi kehidupan yang sehat, segala organ

tubuh tenaga kerja, atau guru dan siswa dapat berfungsi sempurna, dan dapat berkerja secara efektif, produktif, dan efisiensi.

2.4.5 Manfaat Aplikasi Ergonomi

Berdasarkan uraian di atas pendekatan ergonomis dapat ditarik kemanfaatan aplikasi sebagai berikut:

1. Performa kerja ergonomis dapat mengurangi kelelahan dan meningkatkan produktivitas kerja.
2. Performa kerja dapat diukur menggunakan parameter MEA fluktuasi asam lagtat dan glukosa dalam darah.
3. Lingkungan industri dan sekolah harus diciptakan secara ergonomis agar tenaga kerja atau guru dan siswa tetap dalam performa optimal.

2.4.6 Praktik Ergonomi

Setiap produk baik broduk yang sederhana maupun produk yang kompleks harus berpedoman kepada antropo metri pemakaiannya. Menurut Sanders & Mc Cormik antropometri adalah pengukuran dimensi tubuh atau karakteristik fisik tubuh lainnya yang relafan dengan desain tentang sesuatu yang dipakai orang. Selanjutnya Annis & Conville membagi aplikasi ergonomi dalam kaitannya dengan antropometri menjadi dua devisi utama:

1. Ergonomi berhadapan dengan tenaga kerja, mesin berserta sarana pendukung lainnya dan lingkungan kerja. Tujuan ergonomi dari devisi ini adalah untuk menciptakan kemungkinan situasi terbaik pada perkerjaan sehingga kesehatan fisik dan mental tenaga kerja dapat terus dipelihara serta efisiensi produktifitas dan kualitas produk dapat dihasilkan dengan optimal.
2. Ergonomi berhadapan dengan karakteristik produk pabrik yang berhubungan dengan konsumen atau pemakai produk.

Dalam menentukan ukuran stasiun kerja, alat kerja dan produk pendukung lainnya, data antropometri tenaga kerja memegang peranan penting. Dengan mengetahui ukuran antropometri tenaga kerja dapat dibuat suatu desain alat kerja yang sepadan bagi tenaga kerja yang akan menggunakan, dengan harapan dapat menciptakan kenyamanan, kesehatan, keselamatan dan estetika kerja. Faktor manusia harus selalu diperhitungkan pada setiap mendesain produk dan stasiun kerja. Hal ini didasarkan atas pertimbangan sebagai berikut:

1. Manusia adalah berbeda satu sama lainnya. Setiap manusia mempunyai bentuk dan ukuran tubuh yang berbeda-beda seperti tinggi-pendek, tua-muda, kurus-gemuk, normal-cacat dll. Tetapi kita sering hanya mengatur atau mendesain stasiun kerja dengan satu ukuran untuk semua orang, sehingga hanya orang dengan ukuran tubuh tertentu yang sesuai atau tepat untuk menggunakannya.
2. Manusia mempunyai keterbatasan, manusia sering mempunyai keterbatasan baik fisik maupun mental.
 - a) Keterbatasan fisik misalnya, letak tombol oprasional dan kontrol panel didesain berdasarkan ukuran panjang jangkauan orang tertinggi maka orang yang lebih pendek tidak dapat menjangkau

secara ilmiah, sehingga menyebabkan sikap paksa dan mungkin dapat menyebabkan kesalahan operasi.

- b) Keterbatasan mental misalnya kemampuan manusia dalam proses informasi juga sering mengalami pembebanan berlebih, sehingga kesalahan dan keputusan yang tidak benar sering terjadi saat keterbatasan manusia terlampaui.
3. Manusia selalu mempunyai harapan tertentu dan prediksi terhadap apa yang ada di sekitarnya. Dalam kehidupan sehari-hari kita sudah terbiasa dengan kondisi seperti warna merah berarti larangan atau berhenti, spasi, warna hijau berarti aman atau jalan, sakelar lampu ke bawah berarti hidup dll. Kondisi tersebut menyebabkan harapan dan prediksi tersebut harus selalu dipertimbangkan dalam setiap desain alat dan stasiun kerja untuk menghindari terjadinya kesalahan dan kebingungan pekerja atau pengguna produk.

Dengan demikian maka dalam setiap desain peralatan kerja dan stasiun kerja, keterbatasan manusia harus selalu diperhitungkan, disamping kemampuan dan kebolehnya. Mengingat bahwa setiap manusia berbeda satu sama lainnya, maka aplikasi data antropometri dalam desain produk dapat meliputi:

1. Desain untuk orang ekstrim (data terkecil atau terbesar).
2. Desain untuk perorang.
3. Desain untuk kisaran yang dapat diatur (adjustable range) dengan menggunakan persentil -5 dan persentil -95 dari populasi.
4. Desain untuk ukuran rerata dengan menggunakan data persentil 95.

Namun demikian dalam pengumpulan data antropometri yang akan digunakan untuk mendesain suatu produk, harus memperhitungkan variabilitas populasi pemakai seperti variabilitas ukuran tubuh secara umum, variasi jenis kelamin, variasi umur dan variasi ras atau ednik.

2.4.7 Jenis Pengukuran Antropometri

Secara umum pengukuran antropometri dibedakan menjadi dua jenis yaitu pengukuran antropometri statis dan dinamis. Pemilihan mata ukur antropometri baik statis maupun dinamis dapat ditentukan berdasarkan fungsi dan kegunaannya (sebagian atau keseluruhan mata ukur antropometri) alat ukur yang digunakan adalah antropometer. Pada pengukuran posisi duduk harus disediakan bangku atau kursi dengan ukuran 40 x 40 x 40 cm tanpa sandaran pinggang.

Pengukuran antropometri statis biasanya dilakukan dalam dua posisi yaitu posisi berdiri dan duduk di kursi. Mata ukur antropometri statis meliputi antara lain :

Posisi berdiri

1. Tinggi badan
2. Tinggi mata
3. Tinggi bahu
4. Tinggi siku
5. Tinggi pinggang
6. Tinggi tulang pinggul
7. Tinggi kepalan tangan posisi siap

8. Tinggi jangkauan atas
9. Panjang depa
10. Panjang lengan
11. Panjang lengan atas
12. Panjang lengan bawah
13. Lebar bahu
14. Lebar dada

Posisi duduk

1. Tinggi kepala
2. Tinggi mata
3. Tinggi bahu
4. Tinggi siku
5. Tinggi pinggang
6. Tinggi tulang pinggul
7. Panjang buttoch-lutut
8. Panjang buttoch-popliteal (lekuk lutut)
9. Tinggi telapak kaki-lutut
10. Tinggi telapak kaki-popliteal (lekuk lutut)
11. Panjang kaki (tunggai-ujung jari kaki)
12. Panjang lengan bawah
13. Tebal paha dll

2.5 Antropometri

2.5.1 Desain Produk Berbasis Antropometri dan jangkauan

Antropometri merupakan salah satu tool ilmu yang digunakan untuk menciptakan kondisi kerja yang ergonomis. ergonomi merupakan ilmu perancangan berbasis manusia (*Human Centered Design*).

Pengukuran antropometri pada tubuh manusia merupakan salah satu bagian dalam mewujudkan kondisi yang ergonomis. Data dimensi manusia ini sangat berguna dalam desain produk dengan tujuan untuk mencari keserasian produk dengan manusia yang memakainya. Pemakaian data antropometri mengusahakan alat disesuaikan dengan kemampuan manusia, bukan manusia disesuaikan dengan alat. Desain yang mempunyai kompatibilitas ukuran alat dengan ukuran dimensi manusia yang memakainya sangat penting untuk mengurangi timbulnya bahaya akibat terjadinya kesalahan kerja akibat adanya kesalahan desain (*design-induced error*).

Pada saat ini banyak peralatan yang dibuat sesuai dengan ukuran tubuh (antropometri) manusia (pengguna). Desain ergonomis pada suatu populasi, peralatan yang diperuntukkan kepada kaum laki-laki dan perempuan seharusnya berbeda, karena antropometri laki-laki dan perempuan adalah berbeda. Suatu misal, kursi pengemudi mobil perempuan dan laki-laki seharusnya berbeda, karena antropometrinya berbeda, ini perlu adanya penelitian ergonomis. Begitu pula pesawat terbang atau pesawat perang perlu didesain melalui penelitian ergonomis, perancangan alat atau perancangan tempat kerja atau lingkungan yang anti pati

terhadap antropometri nampaknya akan menjadi problem besar pada suatu saat beberapa tahun yang akan datang. Kenyamanan ataupun ketidak nyamanan menggunakan alat tergantung dari kesesuaian ukuran alat dengan ukuran manusia.

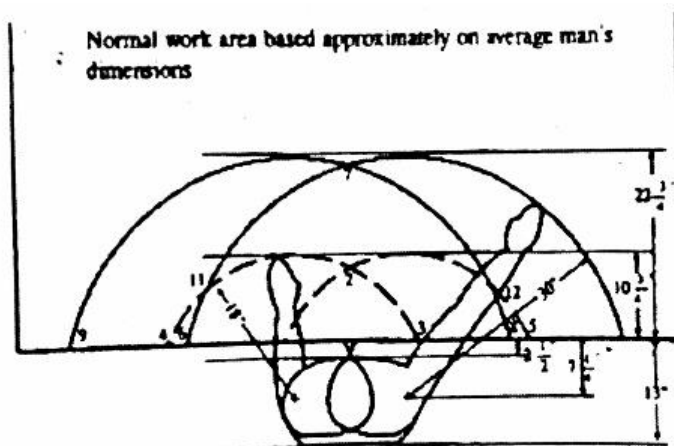
Apabila ukuran alat tidak di sesuaikan ukuran manusia pengguna alat tersebut pada jangka waktu tertentu akan mengakibatkan stress tubuh. Stress tubuh tersebut antara lain bisa berupa tidaknyaman, lelah, nyeri, pusing, dan lain-lain. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Chang (1998) terhadap 30 orang laki-laki sebagai operator pistol grip obeng peneumatik (*pneumatic screwdriver*), usia 22 tahun (rang 19-28 tahun), panjang lengannya rata-rata 18,2 cm (range 16,8-20,5 cm), dan tinggi tubuh rata-rata 168,5 cm (range 160-175 cm), ternyata yang melakukan kerja posisi duduk lebih menerima getaran *pneumatic screwdriver* tersebut dan otot rangka lengan depannya mengalami stress dibandingkan yang posisi kerja berdiri.

Nampaknya *pneumatic screwdriver* tersebut dirancang lebih cocok untuk kerja posisi berdiri daripada posisi duduk untuk ukuran tubuh seperti diatas selain itu, ada temuan lagi hasil penelitian Gunnar (1998) terhadap 20 orang wanita dan 20 orang laki-laki yang sedang menggunakan handle pelatuk powered dreel tools, median panjang lengan kelompok laki-laki 189 ± 10 mm dan kelompok perempuan 174 ± 9 mm, ternyata ketepatan membidik pelatuk *power greel tool* ukuran lebar 50 mm lebih mampu digunakan oleh kelompok perempuan dan kelompok laki-laki lebih mampu menggunakan handle pelatuk *powered tool* ukuran lebar 60 mm.

Hasil beberapa temuan penelitian diatas telah memberikan keyakinan bahwa semua peralatan harus didesain sesuai dengan antropometri pengguna. Aspek yang harus diperhatikan dalam perancangan ruang kerja dan *display* yang melibatkan antropometri antara lain:

- A. Daerah jangkauan kerja (jangkauan tangan, dll)
- B. Ketinggian diatas lantai, dll

2.5.2 Daerah Jangkauan Kerja



Gambar 2. 1 Area Kerja Manusia (Horisontal)

Daerah (area) kerja pegang tangan horizontal lihat pada gambar berikut

physical data for average man

weight =155lbs

height =69 in

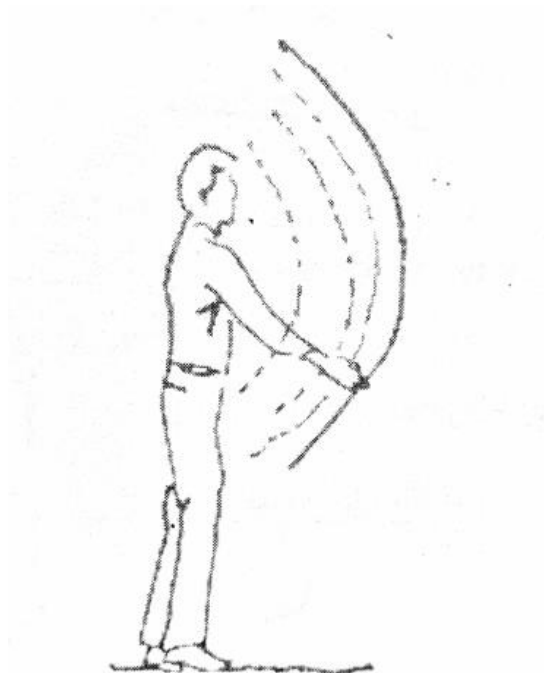
length of arm =30 in

length of forearm =18 in

length of hand =7 in

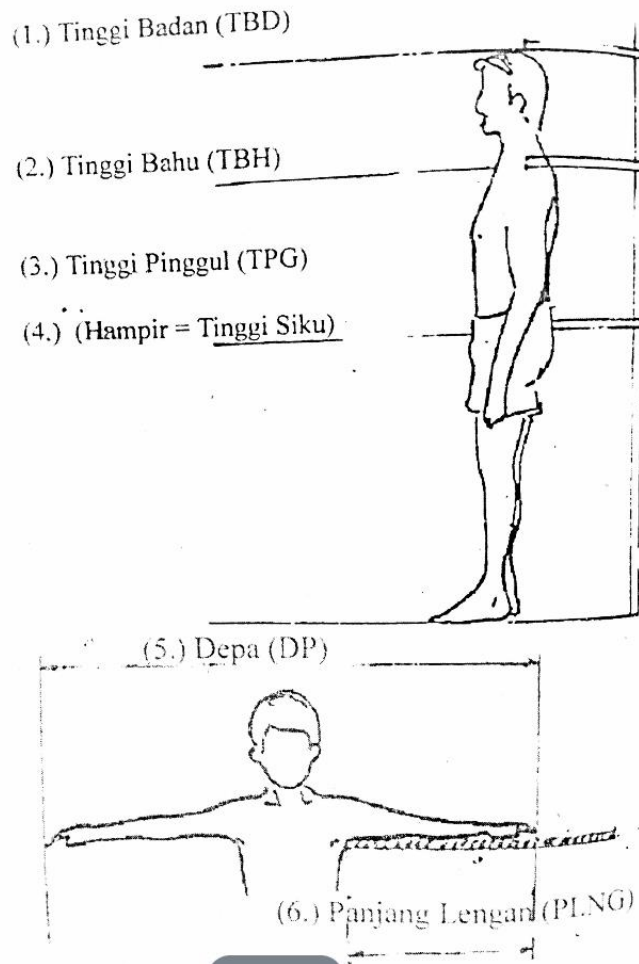
Pada gambar diatas merupakan sebuah stasiun kerja individual, menempatkan semua pekerjaan di dekat atau didepan pekerjaan adalah sangat penting, sesuai dengan ekonomi gerakan. Penempatan semua pekerjaan yang membutuhkan ekonomi gerakan adalah perlu memperhatikan jangkauan tangan terhadap pekerjaannya. Untuk mengetahui panjang dan pendeknya jangkauan tangan diperlukan data antropometri manusia. Dengan demikian, human engineering yang merupakan desain peralatan untuk kegunaan mendaatkan hasil yang lebih efektif.

Daerah jangkauan kerja posisi kerja berdiri dapat dilihat pada gambar berikut ini. Penataan display dan tombol yang dioperasikan dengan posisi kerja berdiri harus disesuaikan dengan jangkauan tangan. Untuk mendapatkan ukuran jangkauan tangan diperlukan data antropometri manusia. Dengan demikian human engineering dalam desain peralatan akan mendapatkan hasil yang lebih efektif.



Gambar 2. 2Jangkauan tangan pada posisi berdiri

2.5.3 Antropometri Posisi Berdiri

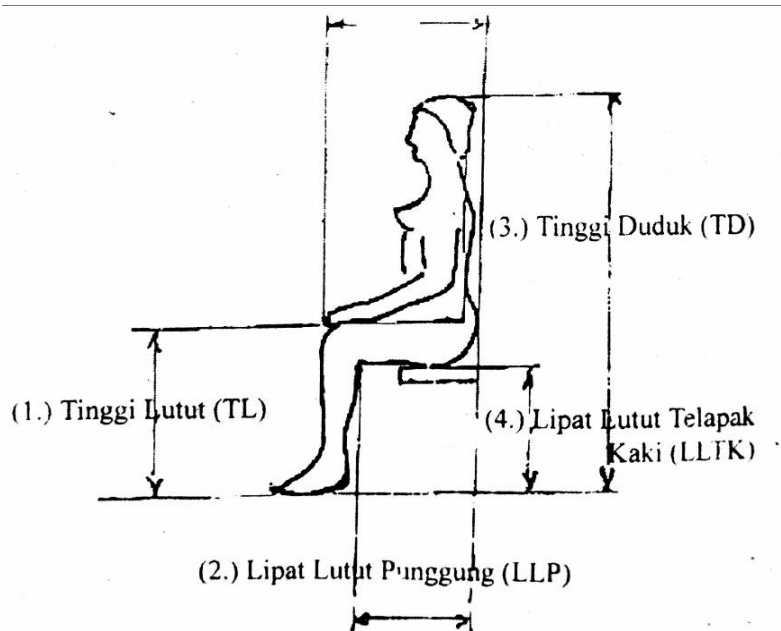


Gambar 2. 3Antropometri Posisi berdiri

Ukuran tubuh (antropometri) posisi berdiri untuk diterapkan pada ergonomi yang terpenting adalah:

1. Tinggi badan (TBD)
2. Tinggi Bahu (TBH)
3. Tinggi pinggul (TPG)
4. Tinggi siku (TSK)
5. Depa (DP)
6. Panjang lengan (PLNG)

2.5.4 Antropometri Posisi Duduk

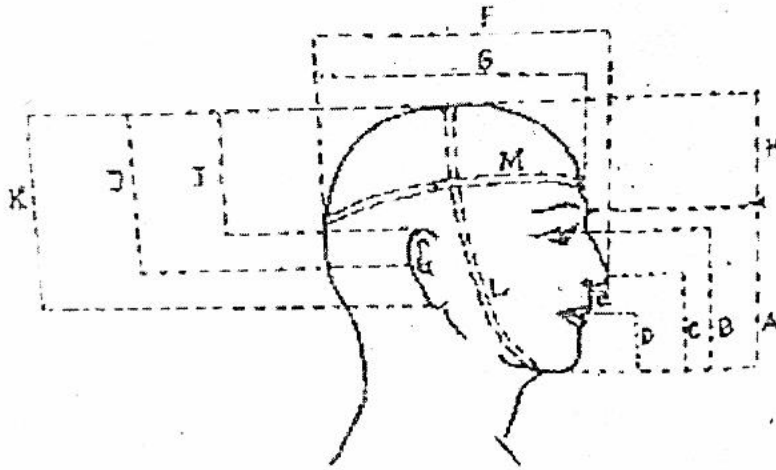


Gambar 2. 4Antropometri Posisi Duduk

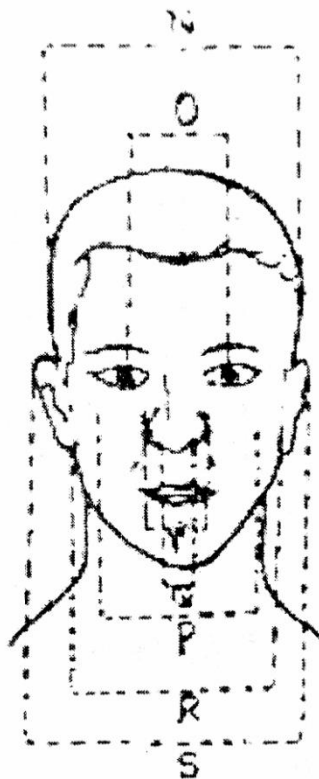
Antropometri posisi duduk terpenting yang harus diukur adalah:

1. Tinggi lutut (TL)
2. Tinggi lutut punggung (LLP)
3. Tinggi duduk (TD)
4. Lipat lutut telapak kaki (LLTK)
5. Panjang lengan bawah dan lengan (PLBL)

2.5.5 Antropometri Kepala



Antropometri Kepala Tampak Samping



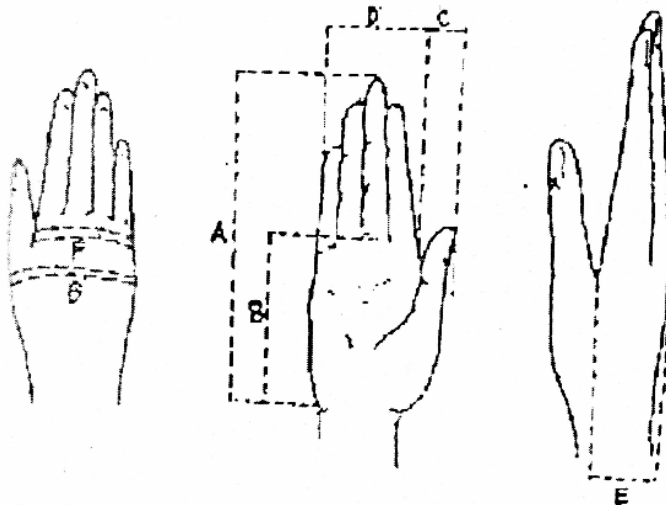
Gambar 2. 5Antropometri Kepala Tampak Depan

Beberapa bagian yang perlu diukur untuk antropometri kepala lihat pada gambar, menurut Dewa (2000) antara lain:

Tabel 2. 1 Keterangan Antropometri Kepala Tampak Depan

Kode	Keterangan
A	Jarak antara vertex dengan dagu
B	Jarak antara mata dengan dagu
C	Jarak antara hidung dengan dagu
D	Jarak antara mulut dengan dagu
E	Jarak antara ujung hidung dengan lekukan lubang hidung
F	Jarak antara ujung hidung dengan kepala belakang
G	Jarak antara dahi dengan belakang kepala
H	Jarak antara vertex dengan lekukan diantara lekukan dua alis
I	Jarak antara vertex dengan daun telinga atas
J	Jarak antara vertex dengan lubang telinga
K	Jarak antara vertex dengan daun telinga bawah
L	Lingkar kepala membujur
M	Lingkar kepala melintang
N	Lebar kepala
O	Jarak antara kedua mata
P	Jarak antara kedua pipi
Q	Jarak antara kedua lubang hidung
R	Jarak antara persendian rahang bawah
S	Jarak antara kedua daun telinga
T	Jarak antara cuping hidung

2.5.6 Antropometri Tangan



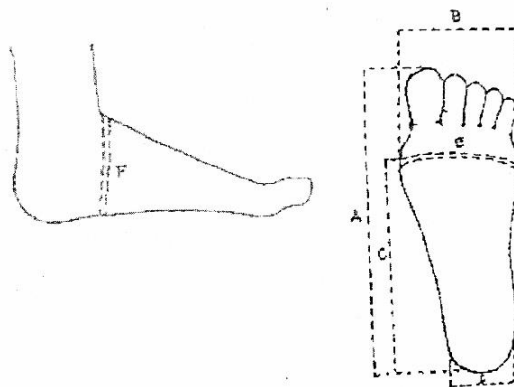
Gambar 2. 6Antropometri Tangan

Pada antropometri tangan (gambar) beberapa bagian yang perlu diukur antara lain:

Tabel 2. 2 Keterangan Antropometri Tangan

Kode	Keterangan
A	Panjang Tangan
B	Panjang telapak tangan
C	Lebar tangan sampai ibu jari
D	Lebar tangan sampai martakapal
E	Ketebalan tangan sampai Martakapal
F	Lingkar tangan sampai telunjuk

2.5.7 Antropometri Kaki



Gambar 2. 7 Antropometri Kaki

Pada antropometri kaki (gambar) beberapa bagian yang perlu diukur antara lain:

Tabel 2. 3 Keterangan Antropometri Kaki

Kode	Keterangan
A	Panjang kaki
B	Lebar kaki
C	Jarak antara tumit dengan telapak kaki yang lebar
D	Lebar tumit
E	Lingkar telapak kaki
F	Lingkar kaki membujur

2.5.8 Cara Mendapatkan Data Antropometri

Untuk mendapatkan data antropometri yang teliti sehingga dapat digunakan sebagai dasar ukuran disain suatu alat, produk, ataupun perancangan display, antara lain:

1. Jumlah sampel memenuhi
2. Sampel pada masyarakat tertentu (random)
3. Dapat digeneralisasi pada populasi

Agar data antropometri tersebut dapat digunakan, maka sample antropometri harus diklasifikasikan. Pengklasifikasian ini dibuat berdasarkan perbedaan yang terpenting ukuran manusia, klasifikasi sample tersebut antara lain:

1. Jenis kelamin
2. Suku bangsa (athnic)

2.5.9 Cara Kalibrasi Antropometri

Penerapan data antropometri dapat dilakukan jika:

1. Ada nilai rata-rata
2. SD (standar deviasi) dari suatu distribusi normal.
3. Percentil: suatu nilai yang menyatakan bahwa persentase tertentu dari kelompok orang yang dimensinya lebih besar atau sama dengan nilai tersebut.
 95 percentil \geq 95% ukuran ... (tubuh), ini menunjukkan ukuran tubuh besar.
 5 percentil \geq 5% ukuran ... (tubuh), ini menunjukkan tubuh berukuran kecil.

2.5.10 Cara Mencari Standart Deviasi

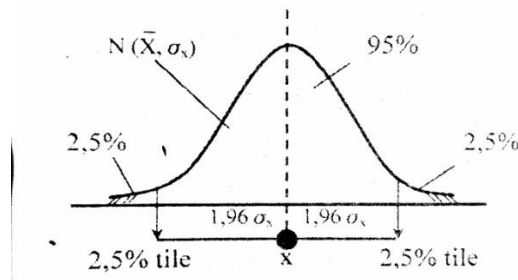
Standar deviasi dimanfaatkan oleh para ahli statistik atau orang yang berkecimpung dalam dunia tersebut untuk mengetahui apakah sampel data yang diambil mewakili seluruh populasi.

Rumus yang digunakan untuk mencari standar deviasi (SD) data tunggal dari semua hasil skornya (hasil pengukuran antropometri) berfrekuensi lebih adalah sebagai berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(Xi-M)^2}{N-1}}$$

2.5.11 Percentil

Percentil adalah suatu nilai yang menunjukkan presentase tertentu dari orang-orang yang memiliki ukuran dibawah atau pada nilai tersebut (Tayyari & Smith 1997). Sebagai contoh, 95 th percentile akan berada pada atau dibawah nilai dari suatu data yang diambil. Untuk penetapan data antropometri digunakan distribusi normal dimana distribusi ini dapat diformulasikan terhadap harga rata-rata (mean) dan simpangan bakunya (standar deviasi) dari data yang diperoleh. Dari nilai yang ada tersebut, dapat ditentukan nilai percentil sesuai dengan tabel probabilitas distribusi normal yang ada.



Gambar 2. 8Distribusi normal

$$\begin{aligned} P5 &= \bar{X} - 1,645.SD \\ P10 &= \bar{X} - 1,280.SD \\ P50 &= \bar{X} \\ P90 &= \bar{X} + 1,280.SD \\ P95 &= \bar{X} + 1,645.SD \end{aligned}$$

2.5.12 Uji Keseragaman Data

Uji keseragaman data perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum menggunakan data yang diperoleh guna menetapkan ukuran standard. Test keseragaman data dapat dilakukan dengan menggunakan Peta Kontrol atau Control Chart. Uji ini dilakukan terlebih dahulu sebelum menghitung ukuran standad. Sehingga kita dapat mendapatkan keseragaman data dari hasil pengamatan kita

Rumus yang digunakan yaitu

$$BKA = MEAN + K.SD$$

$$BKB = MEAN - K.SD$$

dimana :

BKA : batas control atas

BKB : batas kotrol bawah

2.5.13 Desain Produk (Peralatan) Ergonomis Berdasarkan Antropometri

Untuk mendisain peralatan secara ergonomis yang digunakan pada kehidupan sehari-hari atau mendisain peralatan yang ada pada lingkungan seharusnya disesuaikan dengan manusia di lingkungan tersebut. Apabila tidak ergonomis maka akan menimbulkan dampak negatif bagi manusia tersebut. Dampak negatif dari manusia tersebut akan terjadi baik dalam jangka waktu pendek (*short term*) maupun jangka panjang (*long term*).

Kerja pada kondisi tidak ergonomis dapat menimbulkan berbagai masalah, antara lain : nyeri, kelelahan bahkan kecelakaan. Richard (2001) menyebutkan bahwa saat ini 80% orang hidup setelah dewasa mengalami nyeri tubuh bagian belakang (*back pain*) karena berbagai sebab salah satunya karna tidak ergonomis, dan karena *back pain* ini mengakibatkan 40% orang tidak masuk kerja. Tidak masuknya kerja ini sangat merugikan perusahaan atau institusi, karena produksi berkurang. Hasil survey yang dilakukan Gempur (2001) menyebutkan bahwa tenaga kerja bubar manual posisi berdiri tegak tidak ergonomis mengalami kelelahan otot biomekanik pada bahu kanan sebanyak 20,8%. Kelelahan otot biomekanik pada ini mengakibatkan produktifitas kerja menurun. Lord (1997) menyebutkan bahwa terdapat lebih dari 50% di kalifornia mengalami lordosis akibat kerja dalam posisi berdiri dibanding dengan posisi duduk, pada kondisi tidak ergonomis. perubahan bentuk tubuh (*vertebral*) menjadi lordosis sudah merupakan kecelakaan yang ditimbulkan dari posisi kerja pada waktu sebelumnya secara jangka panjang, ini sangat mengganggu fisiologis kerja termasuk berkurangnya jangkauan dan motion dalam berkerja. Yassierli (2000) yang meneliti pada tenaga kerja di bengkel permesinan di Bandung menyebutkan bahwa dari 80 responden mengalami kecelakaan pada pinggang sebesar 72%. Di Hongkong seperti yang dilaporkan Anannonstak (1996) bahwa terdapat 38% tenaga kerja pabrikpakaian di Hongkong mengalami kecelakaan pada bagian pinggang. Kemudian, Liu (1998) menyebutkan bahwa di lost Angeles- USA terdapat 14,5% tenaga kerja permesinan mengalami kecelakaan berbagai kelainan tulang belakang akibat dari fasilitas yang tidak ergonomis. Memperhatikan kesimpulan empiris diatas memperhatikan bahwa kecelakaan dapat dari faktor fasilitas kerja dan posisi kerja yang tidak ergonomis. Oleh karena itu, berbagai akibat yang merugikan tenaga kerja (*jajaran manajerial-decision marker*) dan perkerja/ buruh (tenaga kerja kasar) perlu segera diselesaikan dengan pendekatan ergonomis.

Gambar desain produk ergonomis didasarkan pada antropometri. ukuran suatu alat (produk) baik berupa benda kerja maupun instansi harusnya didesain sesuai ukuran tubuh manusia (antropometri), jadi bukan manusia yang menyesuaikan alat, tetapi alat yang harus disesuaikan dengan manusia. Agar dapat mendisain suatu alat sesuai ukuran manusia, maka pada desain produk harus disesuaikan pada ukuran terbesar tubuh (95 percentile) dan ukuran terkecil tubuh (5

percentil) atau kalibrasi ukuran setiap bagian tubuh (antropometri). Produk yang didesain dengan hasil kalibrasi antropometri disebut desain produk ergonomi.

2.6 Perancangan dan Pengembangan Produk

Banya perusahaan terkemuka menyatakan bahwa produk baik dimulai dari perencanaan proses dan mengorganisasikan yang baik pula. Hal ini berkenaan pada tingkat efisiensi dan eektivitas selama pengembangan produk berlangsung. Dari beberapa penelitian dinyatakan bahwa 60-95% biaya produksi ditentukan oleh baik buruknya perancangan produk yang dilakukan (besterfield, D.H,1995) dan lebih dipertegas oleh Dranfield yang menyatakan bahwa 80% biaya produk ditentukan pada tahap perancangan.

Proses perencanaan dan pengembangan produk dari produk yang berlainan akan cenderung berbeda sesuai dengan jenis dan tingkat komplektisitas dari produk tersebut. Walaupun demikian dalam setiap proses perencanaan dan perancangan diperlukan sifat yang sistematis karena perencanaan proses sistematis menjadikan proses tersebut menjadi mudah untuk diikuti dan dipantau.proses yang sistematis juga akan memberikan pemahaman yang sama terhadap proses bagi semua pihak yang terkait. Sehingga dengan demikian produk yang dihasilkan memiliki kualitas standar dan dapat diterima seluruh *stakeholder* perusahaan.

2.6.1 Proses Generik Pengembangan Produk

Proses adalah urutan dari langkah langkah transformasi sebuah input menjadi output. Sehingga, proses pengembangan produk merupakan urutan langkah-langkah perusahaan dalam menyusun, merancang dan mengkomersialkan suatu produk.

Setiap organisasi perusahaan berbeda didalam mengembangkan proses yang mereka miliki, karena sangat tergantung dari situasi dan kondisi pada organisasi perusahaan tersebut. Boleh jadi proses pengembangan produk merupakan strategi bagi perusahaan agar dapat bersaing dengan perusahaan lain. Apapun proses pengembangan produk yang dipilih, proses pengembangan produk harus bersifat rasional yang berarti senantiasa memperhatikan 3 hal sebagai berikut:

1. Menetapkan sasaran dan rintangan perusahaan.
2. Mengenal pasar dan pelanggan yaitu dengan mendefinisikan apa dan bagaimana bentuk “produk total”.
3. Memperhatikan aspek mutu didalam memperhatikan kepuasan pelanggan.

Ada beberapa alasan perlunya proses pengembangan produkyang baik, antara lain [Ulrich dan Eppinger, 1995]:

1. Jaminan kualitas
Suatu proses pengembangan produk menjelaskan tahapan yang akan dilalui dan melakukan checkpoint selama kurun waktu pengembangan tersebut. Dengan selalu melakukan pengawasan terhadap tahapan proses pengembangan produk diharapkan kualitas daripada produk yang dihasilkan terjamin.
2. Koordinasi

Suatu proses pengembangan dapat berlaku sebagai master plan yang akan menjelaskan apa, kapan, dan bagaimana suatu tim kecil dapat memberikan masukan terhadap usaha pengembangan ini.

3. Rencana

Dalam suatu proses pengembangan terdapat hubungan antar aktivitas (kegiatan) selama proses pengembangan berlangsung, termasuk waktu yang diperlakukan tiap aktivitas. Sehingga dengan demikian akan diketahui jadwal untuk seluruh kegiatan, kapan dimulainya suatu kegiatan dan berakhirnya suatu kegiatan atau proyek pengembangan produk.

4. Manajemen

Suatu proses pengembangan merupakan suatu proses perbandingan terhadap produk sejenis dari perusahaan lain terhadap keunggulannya (*bachmarking*). Dengan melakukan perbandingan ini pihak manajemen akan mengetahui letak permasalahannya

5. Improvisasi

Sistem dokumentasi yang baik terhadap organisasi proses pengembangan produk akan membantu mengetahui peluang pengembangan

Proses generik pengembangan produk adalah salah satu proses pengembangan produk menempatkan faktor pasar yang akan faktor pemicu dan penentu keberhasilan pengembangan sebuah produk. Dalam proses ini, pengembangan produk ditentukan dan dimulai dari keinginan konsumen (pasar) dan kemudian berdasarkan data tersebut ditentukan arah perencanaan dan pengembangan produk yang dapat diputuskan secara teknis oleh pihak manajemen (*costomer driven*). Keinginan konsumen yang selalu berubah (dinamis) akan menyebabkan perusahaan selalu bersiap merespon keinginan tersebut secara efektif dan berlangsung secara terus-menerus sehingga terjadi integrasi secara pasar, rancangan dan manufaktur.

Menurut Ulrich dan Eppinger (1991), proses generik pengembangan produk memiliki lima tahapan penting yaitu pengembangan konsep (*concept development*), rancangan tingkat sistem produksi (*system level desigh*), rancangan detail (*detail design*), uji coba dan evaluasi (*testing and refinement*), uji coba proses produksi (*production ramp-up*)

1. Pengembangan konsep:

Dalam tahapan ini kebutuhan pasar (sasaran) harus dapat diketahui, juga perlu membangun dan mengevaluasi alternatif konsep produk dan pada akhirnya terpilih suatu konsep produk yang akan dikembangkan. Suatu konsep adalah suatu deskripsi tentang bentuk fungsi dan fungsi tambahan produk (*features*). Seringkali pula pada tahapan ini dibentuk suatu rangkaian tentang spesifikasi produk, analisis produk pesaing analisis ekonomi.

2. Rancangan tingkat sistem produk:

Tahapan ini mengennai tentang pendefinisian produk dan pembagian produk atas komponen-komponennya, juga didefinisikan skema perakitan terakhir untuk produk tersebut . outputnya berupa komponen dan penyusun

produk, spesifikasi tiap komponen produk dan precedence diagram yang menggambarkan keterkaitan aktivitas pada lini perakitan.

3. Rancangan detail:

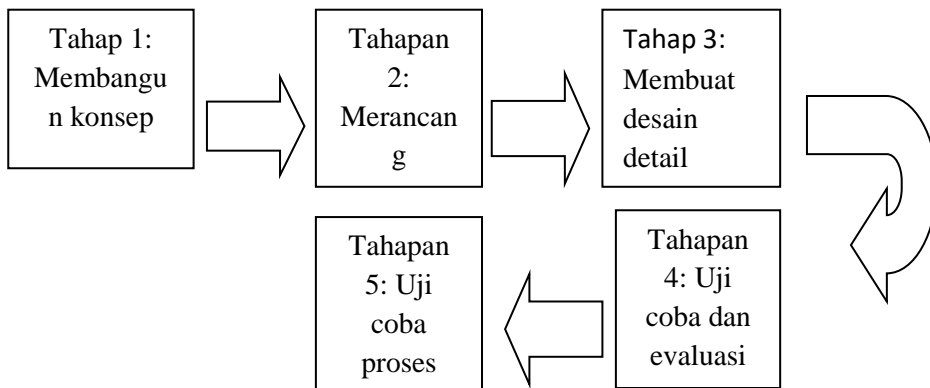
Tahap ini meliputi spesifikasi lengkap mengenai bentuk geometri produk dan komponennya, bahan yang digunakan, serta ukuran dan toleransinya, dari seluruh komponen (bagian) penyusun komponen dan produknya, serta standar ukuran komponen (bagian) yang dibeli atau dipesan, termasuk pula proses pengerjaan dan peralatan maupun mesin yang digunakan untuk seluruh komponen, rencana proses produksi untuk lini produksi maupun perakitan.

4. Uji coba dan evaluasi

Pada tahapan ini meliputi pembuatan produk percontohan (*prototype*) untuk di evaluasi sebelum dilakukan proses produksi. Penjelasan detail tentang *prototype*.

5. Uji coba proses produksi

Pada tahapan ini bertujuan untuk melatih para pekerja dan untuk mengetahui permasalahan yang terjadi ketika produk itu dicoba untuk dibuat.



Gambar 2. 9 Generik Proses Pengembangan Produk

2.6.2 Technology Push Products Vs Generic Proses

pada proses generik pengembangan produk semua proses sangat tergantung dari kondisi pasar. Sebuah perusahaan akan memulai pengembangan produk setelah melihat peluang pasar dan baru kemudian menggunakan teknologi yang dinilai tepat untuk memberikan kepuasan terhadap pelanggan yang membutuhkan. Jika pada *generic proses* peluang pasar lebih diutamakan baru melihat pemanfaatan teknologi yang digunakan.

Hal ini berbeda dengan teknologi *push products*, dimana didalam proses pengembangan produk lebih mengutamakan teknologi sebagai landasan pengembangan produk baru kemudian diciptakan pasar. Jika pada generic proses

pengembangan produk, produk yang dihasilkan dari apayang konsumen rasakan atau keluhan maka pada tecnology push, karena konsumen pada umumnya belum mengerti , konsumen baru diciptakan setelah barang dihasilkan, yang umumnya produk dihasilkan adalah produk yang berbasis pengembangan teknology seperti komputer dan peralatan elektroik canggih lainnya.

Cara kerja dari tim tecknologi push produk adalah dimana sebuah tim membuat asumsi sederhana dari sebuah produk kemudian dikembangkan melalui kemampuan teknologi yang telah ada,denngan konsep yang telah dipertimbangkan oleh tim itu sendiri. Pada dasarnya, walaupun asumsi bahwa teknologi dapat memberikan keunggulan kompetitif didalam memenuhi kebutuhan konsumen namun demikian aspek pasar yang akan diciptakan harus sudah dipertimbangkan. Kedua proses perancangan tersebut, generic proses dan teknologi push products, jika berjalan secara bersama/ simulta akan dapat saling melengkapi dan menghasilkan hasil yang lebih baik atau lebih kompetitif.

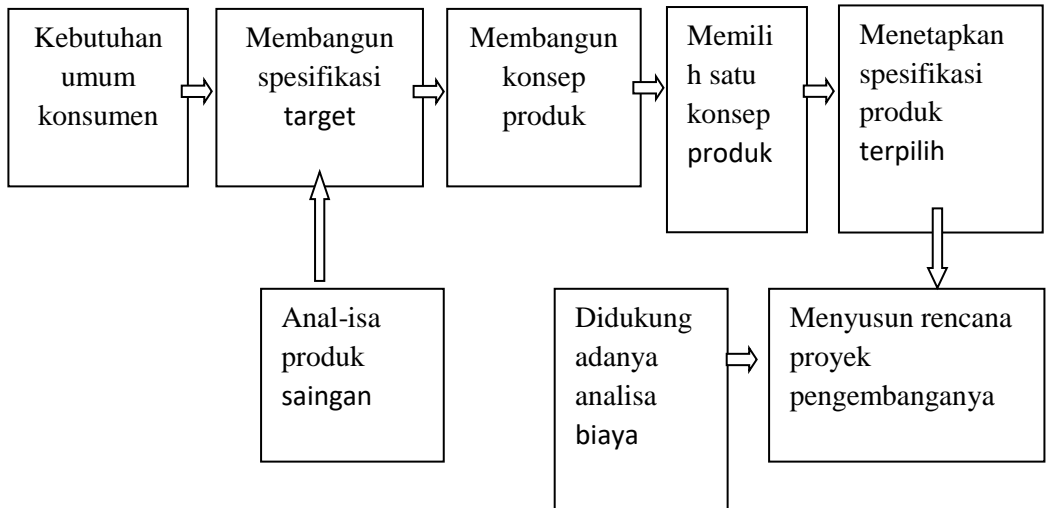
2.6.3 Pengembangan Konsep

pengembangan konsep merupakan fase paling penting dari proses generik didalam pengembangan produk. Sebab pada fase ini beberapa fungsi didalam pengembangan produk didefinisikan guna menyatukan berbagai permasalahan seputar pengembangan produk yang merupakan proses terdepan dan terbelakang dari sebuah proses pengembangan produk.pengembangan konsep disini dapat terdiri dari:

1. Mengidentifikasi kebutuhan konsumen:
Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mengerti yang dibutuhkan konsumen dan mengkomunikasikan secara efektif kepada tim tentang kebutuhan tersebut. Output dari identifikasi kebutuhan konsumen adalah merancang kebutuhan pernyataan-pernyataan konsumen untuk mentransformasikan didalam pembuatan produk. Pernyataan-pernyataan tersebut tersusun secara efektif dalam suatu daftar yang tersusun secara hierarkis dan dengan pembobotan untuk masing-masing.
2. Analisa kompetitif produk:
Pengertian dari kompetitif produk adalah usaha bagaimana produk baru dapat dibuat dari berdasarkan kekayaan ide dari tim dengan mempertimbangkan persaingan pasar yang dituju sehingga dapat membantu didalam pengembangan dan rancangan proses produksinya. Biasanya analisa kompetitif produk disebut juga kompetitif benchmarking yaitu dengan mengidentifikasi keunggulan dengan kelemahan dari pesaing. Kompetitif bench marking yaitu dengan mengidentifikasi keunggulan dan kelemahan dari pesaing. *Competitif bench marking* dibentuk dalam dukungan dari spesifikasi kegiatan seperti kegiatan pendukung dari pembangkitan konsep dan pemilihan konsep.
3. Menentukan spesifikasi target:
Spesifikasi adalah suatu gambaran yang diteliti dari apa yang suatu produk harus lakukan. Dari keseluruhan kebutuhan konsumen kedalam istilah

teknis dengan memperhatikan persaingan pasar. Hasil dari spesifikasi adalah daftar spesifikasi dan target yang harus dicapai.

4. **Pembangkitan konsep:**
Tujuan dari pembangkitan konsep adalah untuk menggali sepenuhnya ruang lingkup dari konsep produk yang diaplikasikan untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Yang termasuk didalam pembangkitan konsep adalah kreatifitas pemecahan masalah didalam tim, pencarian eksternal, dan pencarian sistematis dari berbagai solusi oleh tim pembangkit. Hasil dari kegiatan ini adalah 10-20 konsep yang berupa sketsa dan statement singkat gambaran produk.
5. **Pemilihan konsep:**
Pemilihan konsep adalah untuk menentukan konsep yang paling diminati didalam pengembangan produk setelah dilakukan analisa dan urutan-urutan penghilangan kegiatan yang tidak penting untuk ditentukan suatu konsep terpilih. Proses ini biasanya melakukan sejumlah iterasi baik itu berupa pengembangan konsep atau sekedar perbaikan konsep.
6. **Perbaikan spesifikasi:**
Sebagai nilai-nilai khusus yang mencerminkan keterbatasan yang melekat pada konsep produk yang diidentifikasi lewat pemodelan teknis dan *trade off* antara biaya dan performance.
7. **Analisa ekonomi**
Pada analisa ekonomi ini akan memberikan model ekonomi dari produk baru tersebut yang digunakan untuk menentukan kelanjutan dari program penyelesaian keseluruhan pengembangan produk baru dan untuk menyelesaikan *trade off* yang ada. Sebagai contoh biaya pengembangan dan biaya manufaktur.
8. **Perencanaan proyek:**
Kegiatan akhir dari pengembangan konsep yaitu tim membuat jadwal pengembangan, mengatur strategi waktu pengembangan yang singkat dan mengidentifikasi sumberdaya-sumberdaya yang dibutuhkan untuk melengkapi proyek.



Gambar 2. 10 Urut-urutan Pengembangan Konsep

2.6.4 Design For Manufacturing

Keberhasilan produk menembus pasar tidak hanya didasari oleh faktor kualitas dan pelayanan tetapi juga ditentukan oleh harga produk yang akan dipengaruhi oleh tingkat efisiensi proses rancangan, manufaktur dan pemasaran yang dilakukan oleh perusahaan. Dalam bab ini diuraikan hubungan antara perancangan dan proses manufaktur dalam kaitannya dengan biaya. Beberapa pertanyaan yang dapat diungkapkan menyangkut rancangan manufaktur sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perancangan produk terhadap pengurangan biaya manufaktur?
2. Faktor perancangan apa saja yang harus diperhatikan dalam merancang suatu produk sehingga proses manufaktur dapat di efisienkan?

2.6.5 Pengertian DFM

Pengembangan produk akan selalu dilakukan dunia industri untuk menyelaraskan kebutuhan konsumen dan spesifikasi produk yang dikembangkan. Hal ini menyangkut beberapa kriteria yang penting seperti reabilitas produk, kemampuan pelayanan, ketangguhan atau proses manufakturnya. Disisi lain, biaya produksi merupakan salah satu kunci utama dari nilai kesuksesan produk dilihat dari segi ekonomisnya. Sehingga, keseimbangan antara lain biaya dan pemenuhan kebutuhankonsumen menjadi bagian yang menentukan kesuksesan suatu produk. Dengan bahasa lain, kualitas dan biaya merupakan dua hal yang menjanjikan keberhasilan suatu roses perancangan produk.

Proses pengerjaan produk di lantai produksi akan sangat mempengaruhi faktor-faktor kepuasan diatas sehingga perancangan produk yang memperhatikan efisiensi proses manufaktur, yang meliputi fabrikasi dan perakitan,menjadi sangat

penting untuk dilakukan. Salah satu metode yang perlu dilakukan adalah *design for assembly (DFA)*. DFA bertujuan utama untuk mengurangi biaya manufaktur dengan tetap menjaga fungsi dan kualitas yang diinginkan dengan mengoptimalkan rancangan suatu produk hingga pabrikasi.

Untuk dapat melakukan DFM diperlukan informasi pendukung, seperti informasi yang berkaitan dengan:

1. Sketsa, penggambaran, spesifikasi produk dan design alternatif.
2. Pengertian terperinci dari produk dan proses perakitan
3. Perkiraan biaya manufaktur, kapasitas produksi dan waktu pengujian.

Dengan demikian DFM mampu mengidentifikasi berbagai hal yang tidak terpikirkan mulai dari hal terkecil sampai dengan yang terbesar. Dari hal yang tidak dipikirkan hingga hal yang paling dirisaukan oleh konsumen dan perancang terhadap suatu produk.

2.6.6 Kapan memulai DFM

DFM merupakan sebuah pendekatan manufaktur yang sangat fleksibel dalam mencapai tingkat efisiensi yang diinginkan. Dalam banyak hal DFM banyak membantu banyak perusahaan dalam mengurugi biaya produksi yang semestinya tidak muncul saat produksi dilakukan. Namun demikian DFM akan sangat menguntungkan jika dilakukan pada saat yang tepat. Ada beberapa kemungkinan situasi dalam perusahaan dimana DFM diperlukan:

1. Sebuah pengembangan produk baru
Ini merupakan situasi terbaik untuk menerapkan DFM. Segala proses dan teknik dalam DFM dapat digunakan untuk merancang produk yang memuaskan baik dalam segi rancangan proses manufaktur.
2. Dalam pertengahan proses pengembangan sebuah produk
Dalam proses pengembangan produk sering dijumpai masalah dimana harus dipertanyakan apakah proses manufaktur yang dikembangkan adalah proses yang terbaik atau tidak. DFM dapat membantu menyelesaikan masalah tersebut, sehingga DFM dapat digunakan untuk meningkatkan kemampuan manufaktur.
3. Ketika permulaan manufaktur dari produk baru
Sering ditemukan beberapa komponen yang kurang baik atau kurang efisien dalam proses manufakturnya. Apabila dengan perubahan dalam rancangan produk akan membuat manufaktur lebih mudah dan rendahnya biaya maka DFM dapat digunakan untuk membantu perbaikan tersebut.

2.6.7 Metodologi DFM

Banyak metode yang digunakan dalam DFM, mulai dari yang sangat sederhana sampai pada yang sangat kompleks yang didasarkan pada pendekatan generatif yang berorientasi pada perancangan manufaktur dan perakitan. Beberapa metode yang dapat digunakan adalah antarlain sebagai berikut:

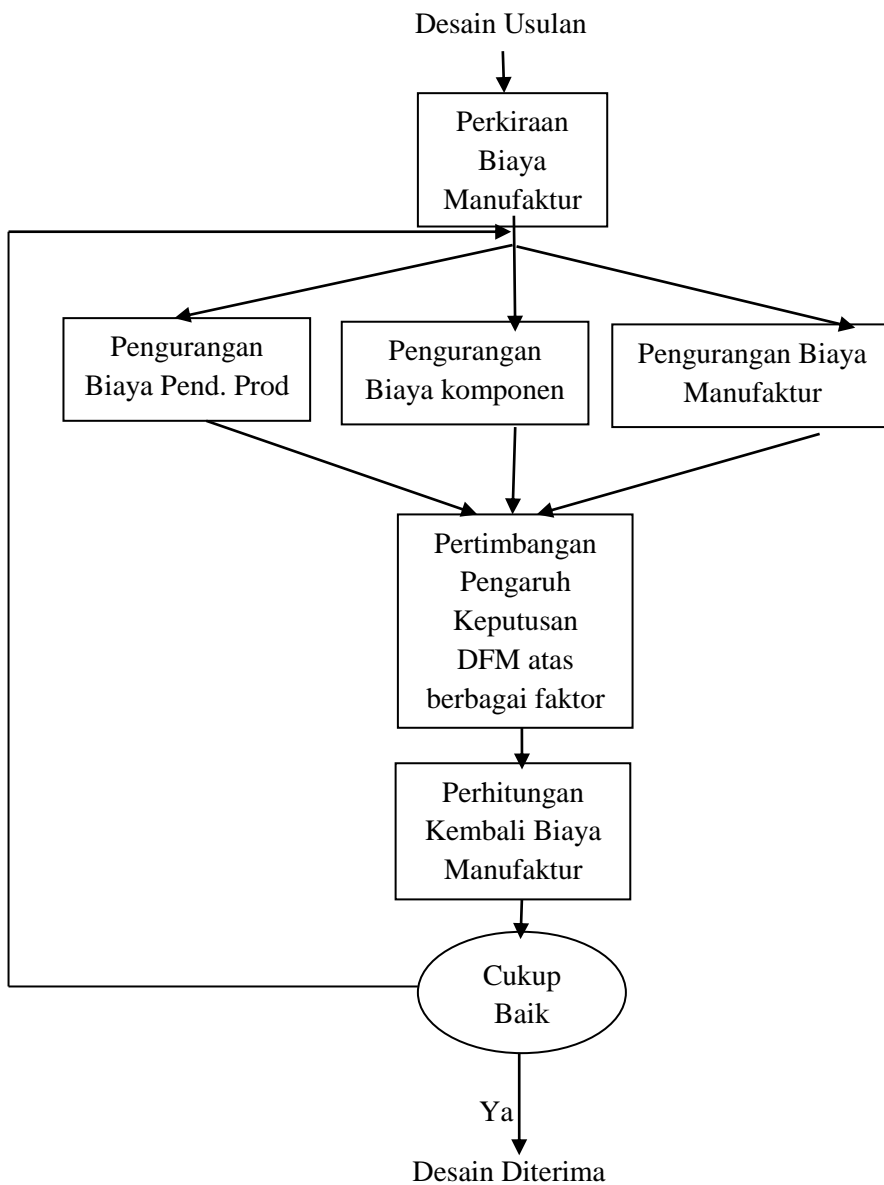
Tabel 2. 4Metode-metode Untuk DFM

Metode	Sifat
Rekayasa / analisis nilai	Meningkatkan nilai dan pengurangan biaya melalui pendefinisian fungsi dan analisis fungsi biaya
Panduan DFM	Meliputi semua aturan dan teknik untuk perakitan untuk proses manufaktur, terutama dalam pemilihan teknologi dan rancangan
Design for assembly	Meliputi semua aturan dan teknik untuk perbaikan perakitan dan perancangan untuk kemudahan handling dan perakitan
Poka yoke / metode toguchi	Metode perancangan untuk mendapatkan rancangan yang kuat (robust) dan perancangan percobaan

DFM berhubungan tentang bagaimana rancangan produk berinteraksi dengan komponen komponen lain dari sistem fabrikasi dan dalam menetapkan rancangan alternatif dengan mengoptimalkan sistem pabrikan secara keseluruhan. Metode DFM memuat lima hal pokok:

1. Perkiraan biaya manufaktur
2. Mengurangi biaya komponen
3. Mengurangi biaya perakitan
4. Mengurangi biaya pendukung produksi lain
5. Dasar pengambilan keputusan berbagai faktor

Berikut penjelasan bagaimana metode DFM secara lebih detail:



Gambar 2. 11 Metode DFM

2.6.8 Biaya manufaktur

Harga adalah salah satu komponen utama dari kesuksesan suatu produk di pasar disamping mutu dan pelayanan. Menurut porter salah satu strategi generik dalam memenangkan persaingan adalah dengan strategi harga. Strategi ini akan bertumpu pada biaya operasional yang efisien. Salah satu biaya operasional dalam industri manufaktur dan biaya manufaktur.

Biaya manufaktur adalah biaya keseluruhan dari biaya-biaya yang terlibat dalam pembuatan suatu produk yang terdiri dari sumber daya manusia, bahan baku, dan biaya-biaya pendukung. Secara umum, biaya manufaktur terdiri dari:

1. Biaya komponen
Biaya komponen terdiri atas:
 - a) Komponen standar
 - b) Komponen-komponen khusus
2. Biaya perakitan
Meliputi seluruh biaya yang berhubungan dengan proses perakitan menjadi komponen-komponen menjadi produk akhir. Perhitungan biaya perakitan, harus dibagi atas dasar penggunaan peralatan untuk merakit produk dan tenaga kerja yang mengerjakannya. Ada tiga tipe perakitan yaitu perakitan manual, semi otomatis dan fully automated.
3. Biaya overhead
Biaya overhead ini meliputi biaya-biaya lain yang merupakan pendukung biaya langsung komponen dan perakitan.

2.6.9 DFM Kualitatif dan DFM Kuantitatif

Design for manufacturing dapat dilakukan dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kualitatif umumnya didasarkan pada aturan-aturan umum dalam pembuatan suatu produk. Sedangkan pendekatan kuantitatif didasarkan pada perhitungan-perhitungan matematis. Dalam realitas yang ada sampai saat ini pendekatan kuantitatif masih pada proses pengembangan. Kesulitan yang masih dihadapi dalam pendekatan ini adalah variabilitas dari proses produksi yang disebabkan oleh variasi produk. Berikut akan diuraikan kedua pendekatan tersebut.

1. DFM Kualitatif
DFM kualitatif biasanya didasarkan pada norma-umum dalam proses produksi. Aturan-aturan dan *cecklist* telah dikembangkan beberapa lembaga riset dan industri untuk memandu proses produksi sehingga dapat mencapai tingkat efisien yang lebih baik. Beberapa aturan dalam proses produksi dikelompokkan menjadi dua yaitu:
 - Aturan-aturan fabikasi atau pembuatan komponen/produk:
 - a) Pahami hambatan-hambatan (*counstrain*) dan *cost drivers* perancang harus memahami hambatan didalam sebuah produk baik dari segi proses dan peralatan yang digunakan dalam membuat produk, agar pembuatan produk tersebut menjadi lebih mudah untuk dikerjakan. Juga, harus mengerti *ciost drivers* dari sebuah proses perancangan pembuatan produk, sehingga diketahui proses proposional. Dengan demikian akan ada pengurangan biaya-biaya yang dianggap tidak perlu.
 - b) Menurangi banyaknya langkah dari pemrosesan
Pengurangan langkah dalam pemrosesan berdampak pengurangan waktu manufaktur dan handling sehingga biaya dapat mengurangi biaya manufaktur. hal yang bisa

dilakukan adalah dengan menggabungkan beberapa langkah pemrosesan menjadi lebih sederhana.

- c) Pilih proses yang sesuai berdasarkan skala ekonomis (*economic scale*)

Biaya manufaktur dari sebuah produk akan semakin menurun seiring dengan meningkatnya volume produksi. Korelasi ini diperoleh karena biaya tetap yang dikeluarkan akan ditanggung oleh produk yang dihasilkan.

- d) Standarisasi komponen

Standarisasi komponen yang digunakan secara terus menerus dalam rancangan sebuah produk. Dengan standarisasi seperti ini akan memberikan pengaruh pada proses manufaktur dan kemudahan kerja sehingga akan menurunkan waktu dan biaya produksi.

- Aturan-aturan perakitan.

Perakitan merupakan suatu proses yang sangat penting dalam pembuatan suatu produk. Dalam tahapan ini segala kesalahan pada proses fabrikasi akan terlihat, disamping waktu perakitan yang relatif lama. Perbaikan pada proses perakitan akan dapat mengurangi waktu yang signifikan terhadap total waktu manufaktur. beberapa aturan dalam perakitan adalah:

- a) Minimalkan banyaknya komponen

Minimilisasi komponen akan memberikan pengaruh langsung pada banyaknya proses perakitan yang dilakukan sehingga akan mengurangi waktu perakitan. Cara yang dapat dilakukan sehingga akan mengurangi waktu perakitan. Cara yang dapat dilakukan adalah dengan menggabungkan komponen-komponen yang mungkin. Dengan demikian sebuah proses manufaktur yang mahal dapat ditekan menjadi lebih murah dan pada akhirnya akan menghasilkan biaya produk yang lebih murah juga.

- b) Gunakan rancangan modular

Pada rancangan modular akan mempermudah terjadinya pergantian produk dan komponen, kombinasi dari beberapa produk yang berbeda, standarisasi fabrikasi dan perakitan, dan memiliki kemampuan pelayanan yang lebih baik.

- c) Rancang multy fungsi komponen

Beberapa komponen dikombinasi fungsinya dalam sebuah komponen untuk menyederhanakan perancangan dan pengurangan komponen yang tidak dibutuhkan. Misal kombinasi dari mekanik dan listrik atau kombinasi panas dan fungsi dari struktur dari suatu komponen.

- d) Rancang komponen multy guna

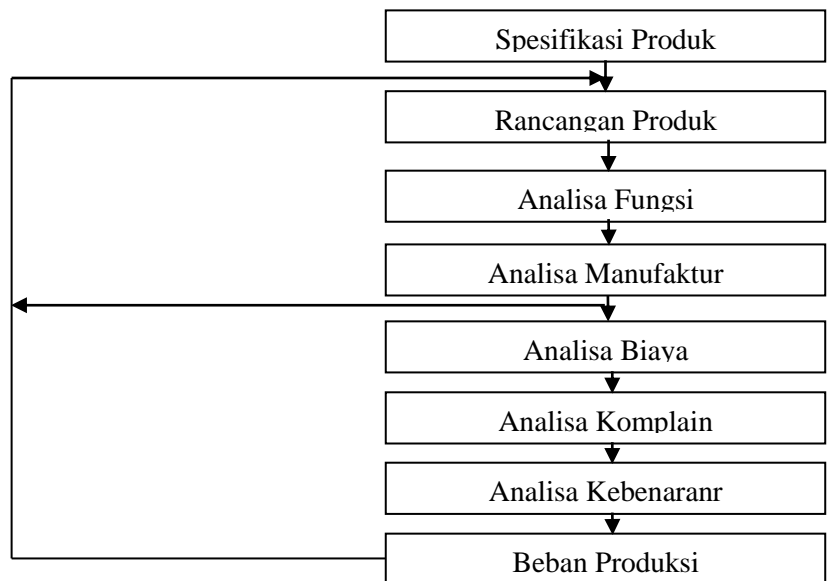
Multy fungsi komponen dapat digunakan dalam beberapa kombinasi dengan komponen-komponen lainnya atau produk lainnya. Kombinasi ini memiliki pengaruh yang standar terhadap semua komponen atau produk.

2. DFM Kuantitatif

DFM kuantitatif menggunakan pendekatan objectif, dimana proses manufaktur dievaluasi dan diperbaiki dengan perhitungan yang umumnya didasarkan pada waktu dan biaya manufaktur. Pada DFM kuantitatif ini berbagai biaya dihitung berdasarkan nilai imput yang menghasilkan output dan biaya produk. Umumnya metode yang digunakan dalam pendekatan ini didasarkan pada studi empirik yang cukup lama berbagai tipe produk dan proses manufaktur. beberapa metode yang sering digunakan didalam menganalisis DFM kuantitatif antara lain: swift, Boothroyd/dewhurst, Hitachi:assemblability Evaluation.

a. *Swift – Knowledge Based Production*

pertama kali dikembangkan oleh universitas hull inggris oleh industries. Swift menggunakan metode yang komprehensif dalam manufaktur dan perakitan. Swift ini digunakan dengan menyatukan perakitan dan manufaktur dengan sebuah stasiun kerja CAD (Computer Aided Design), kemampuan perancang untuk mengaplikasikan beban produksi didalam rancangan proses dan swift juga menyediakan perancangan dengan skor kuantitatif untuk membandingkan dengan rancangan alternat



Gambar 2. 12 Rancangan Prosedur Evaluasi

pada gambar dapat diketahui langkah pertama adalah analisis fungsi yang digunakan sebagai faktor evaluasi yang didefinisikan sebagai efisiensi rancangan (E), yang disusun dari persamaan:

$$E = \frac{\text{Jumlah mungkin minimum komponen}}{\text{total jumlah komponen}} \times 100\%$$

Langkah berikutnya adalah analisis manufaktur yang didasarkan atas estimasi biaya dari fabrikasi komponen. Analisis selanjutnya adalah perakitan dari produk dan sudah merupakan biaya perakitan dari produk.

b. Boothhroyd/Dewhurst DFM

metode ini dikembangkan oleh Boothhroyd dan Dewhurst, dimana pada metode ini didasarkan pada hubungan antara karakteristik bagian-bagian kerja (seperti: volume, berat, permukaan area, dan sebagainya) dan parameter biaya proses spesifik, yang pada akhirnya merupakan perkiraan biaya manufaktur dengan dasar informasi atas komponen. Pendekatan Boothhroyd/Dewhurst akan lebih terimplementasi pada area design for Assembly.

c. AEM-Hitachi Assemblability Evaluation Method

metode evaluasi kuantitatif seperti ini adalah untuk perakitan dan sangat sedikit dari perusahaan besar yang menggunakannya. Adapun perusahaan yang menggunakan metode ini antara lain: Hitachi, General Motors, dan General Electric. Metode ini juga sangat sedikit dipublikasi dan informasinya kurang begitu bergema tidak seperti dua metode di atas.

d. Team SET

team SET merupakan sebuah software evaluasi untuk pengenalan sebuah rancangan produk baru. TeamSET adalah sebuah produk dari CSC Computer Science Ltd, yang dikembangkan oleh Lucas. Dalam Team SET berkerja dalam sebuah bentuk rancangan team sebelum proses manufaktur untuk menjamin bahwa rancangan yang terpilih benar-benar tepat, untuk meminimumkan komponen yang tidak penting, menjaga biaya tetap murah. Ada enam modul dan fungsi yang didapat dari team SET yang secara umum akan memberikan gambaran dimana sebuah solusi bisnis dan teknik dapat dilakukan secara bersama.