

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai kajian layak atau tidaknya pembuatan serta pengadaan mesin penghancur sampah organik nantinya pada instansi tertentu dikemukakan oleh Marpaung (2009). Analisis aspek pasar menilai besar pangsa pasar dari mesin tersebut, analisis aspek teknis dengan menganalisis kebutuhan ruang untuk mesin tersebut dan juga melihat kapasitas mesin dalam memenuhi ketersediaan sampah organik pada waktu mendatang, analisis aspek finansial dengan metode *Net Present Value* (NPV), dan *Pay Back Period* (PBP), analisis aspek lingkungan dengan berupa suatu karya teknologi mengenai dampak suatu kegiatan yang direncanakan terhadap lingkungan hidup, yang diperlukan bagi proses pengambilan keputusan suatu studi tersebut. Hasil analisis pasar disimpulkan bahwa penambahan mesin layak dilaksanakan. Hasil analisis teknis mengindikasikan bahwa kapasitas produksi mesin dapat memenuhi jumlah produksi. Hasil analisis finansial menunjukkan bahwa investasi pengadaan mesin layak dilaksanakan, NPV menunjukkan nilai positif sebesar Rp. 1.814.616.707,00 dan PBP selama 1,086 tahun, lebih kecil dari umur peramalan yaitu lima tahun. Hasil analisis lingkungan dapat disimpulkan bahwa mesin telah melakukan penanganan dan pengolahan sampah organik dengan tepat yang pada akhirnya tercipta akan ramah lingkungan.

Pengelolaan sampah limbah rumah tangga dengan komposter elektrik berbasis komunitas yang dikemukakan oleh Mutaqin (2010). Penelitian ini bertujuan untuk membangun sebuah rancangan alat pengolah limbah sampah rumah tangga menjadi kompos. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peneleitian dan pengembangan yang diimplementasikan melalui studi kasus, dengan langkah-langkah sebagai berikut : analisis kebutuhan, analisis perancangan komposter model elektrik, ujicoba dan implementasi sistem pengelolaan sampah limbah rumah menjadi kompos organik di lapangan. Sasaran penelitian adalah masyarakat Sorowajan Banguntapan Bantul. Analisis data menggunakan analisis deskriptif-kualitatif.

Strategi pengelolaan sampah rumah tangga di kelurahan Kota Medan kecamatan Kota Manna kabupaten Bengkulu Selatan yang merupakan karya penulisan Marleni (2012). Penelitian ini berkonsentrasi pada pemberdayaan masyarakat

untuk peduli terhadap lingkungan hidup. Analisis SWOT/EFAS meliputi *strengths*; sampah organik dapat dimanfaatkan menjadi pupuk kompos, sampah anorganik dapat dimanfaatkan kembali, *weaknesses*; masih terdapat masyarakat yang belum mengetahui cara mengolah dan memanfaatkan sampah organik menjadi kompos, perlu perhatian dari pemerintah dalam menangani hal tersebut, *opportunities*; mengubah pola pikir masyarakat untuk lebih peduli terhadap lingkungan dengan meningkatkan kreatifitas masyarakat dengan mengolah sampah organik menjadi pupuk kompos, *threats*; apabila tidak ada strategi pengolahan sampah tersebut, maka volume sampah di kelurahan kota medan akan terus bertambah dan akan mengakibatkan potensi timbulnya penyakit yang disebabkan dari tumpukan sampah. Sehingga penelitian ini diharapkan mampu menggugah animo masyarakat untuk mengurangi volume timbulan sampah sejak dari sumbernya sehingga dapat mengurangi volume sampah yang akan dikirim ke TPA.

Penelitian mengenai metodologi untuk merancang dan membangun mesin pemotong sampah organik yang portable untuk kegunaan pembuatan pupuk kompos yang dipaparkan oleh Hande(2014). Peneliti memberikan beberapa alternatif rancangan yang dapat diseleksi untuk menentukan mesin pemotong sampah organik yang mampu dimanfaatkan oleh masyarakat guna mengolah sampah mudah busuk untuk menjadi pupuk kompos sehingga menambah nilai jual dari sampah organik tersebut.

Penelitian sekarang mengangkat tema perancangan mesin pencacah sampah organik dan penyaring kompos dengan satu penggerak sehingga meminimalisir biaya pengadaan mesin oleh DPUKKT untuk optimalisasi fungsi TPS3R sehingga dapat mengurangi volume sampah dari sumber timbulan sampah.

Brainstorming dilakukan bersama pemerhati dan pelaku pengolahan sampah mudah busuk di Kabupaten Temanggung. *Brainstorming* yang didapatkan digunakan sebagai gagasan yang selanjutnya disusun dengan metode *Quality Function Deployment* (QFD). Proses QFD ini akan menghasilkan sebuah *House of Quality* (HOQ) sehingga *output* yang diperoleh adalah atribut produk. Atribut produk akan digunakan perancang sebagai dasar merancang mesin pengolah sampah mudah busuk serta dengan membandingkan dengan mesin yang ada di Kabupaten Temanggung saat ini. Perangkat lunak yang digunakan dalam penerapan dari *technical requirement* adalah *SolidWorks2013* untuk

mendapatkan gambar desain mesin 3D, dan selanjutnya akan dituangkan dalam bentuk gambar kerja 2D dengan menggunakan perangkat lunak *AutoCAD2013*.

Hasil yang diharapkan adalah mendapatkan rancangan gabungan mesin pencacah sampah organik, penyaring kompos, dan pembuat granule kompos dengan menggunakan satu penggerak sehingga mampu mengurangi biaya pengadaan mesin pengolah sampah yang mudah busuk oleh Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Temanggung.



Tabel 2.1.Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Sekarang

Deskripsi	Peneliti				
	Marpaung (2009)	Mutaqin (2010)	Marleni (2012)	Hande (2014)	Penelitian Sekarang
Obyek Penelitian	Analisa investasi mesin penghancur sampah organik	Komposter elektrik	Strategi pengolahan sampah rumah tangga	Mesin pencacah sampah organik	Mesin pengolah sampah mudah busuk
Tujuan Penelitian	Menganalisis kelayakan investasi mesin penghancur sampah organik berdasarkan aspek pasr, teknik, financial dan lingkungan	Menghasilkan rancang bangun teknologi tepat guna pengolah sampah limbah rumah tangga menjadi kompos	Pemberdayaan masyarakat untuk peduli dalam pengolahan sampah	Membuat rancangan dan metode fabrikasi dalam pembuatan mesin pencacah sampah organik yang <i>portable</i>	Membuat rancangan mesin pengolah sampah mudah busuk dengan satu penggerak dan minimasi biaya pembuatan mesin
Metode Penelitian	<i>Net Present Value</i> , dan <i>Pay Back Period</i>	-	Analisis SWOT	<i>Quality Function Deployment</i>	<i>Quality Function Deployment</i>
Teknologi	-	<i>Programmable Logic Control</i>	-	-	<i>SolidWorks2013</i> dan <i>AutoCAD2013</i>
Output Penelitian	Analisis Hasil Uji Kelayakan Investasi Mesin Penghancur Sampah Organik	Rancang Bangun Dekomposer Elektrik Berbasis Komunitas	Strategi pengolahan sampah rumah tangga	Metodologi pembuatan mesin pencacah sampah organik <i>portable</i>	Rancangan Mesin pengolah sampah mudah busuk
Outome Penelitian	Skripsi	Skripsi	Skripsi	Jurnal Internasional Ilmiah	Skripsi dan Seminar Nasional

2.2. Dasar Teori

Proses penelitian pembuatan skripsi mengenai permasalahan yang terjadi pada perancangan mesin pengolah sampah mudah busuk diperlukan guna melengkapi dasar acuan peneliti dalam menyelesaikan permasalahan yang ada. Penelitian ini mengacu terhadap referensi dari teori-teori yang selama ini sudah ada dan dikembangkan lebih lanjut agar proses menentukan kondisi optimal tercapai. Dasar teori yang digunakan dijabarkan dalam sub sub bab seperti berikut.

2.2.1. Pengertian Mesin Pencacah Sampah

Untuk mempercepat penghancuran sampah organik dibutuhkan alat. Sebuah mesin teknologi tepat guna yang sederhana dapat mempercepat proses penghancuran sampah mudah busuk. Pematangan sampah mudah busuk menjadi lebih kecil-kecil perlu dilakukan untuk mempercepat proses penghancuran sampah. Mesin penghancur sampah mudah busuk ini digerakkan dengan tenaga motor. Penggeraknya berupa motor yang berputar sehingga menghancurkan bahan sampah mudah busuk secara cepat dan kuat. Pekerjaan pematangan atau penghancuran sampah mudah busuk menjadi kecil-kecil lebih murah dan cepat dilakukan. Selanjutnya bahan yang sudah dihancurkan itu diproses menjadi kompos. Proses kerja mesin penghancur sampah mudah busuk ini sederhana. Material sampah dimasukkan lewat corong di bagian atas dan akan terpotong oleh pisau-pisau yang terbuat dari besi kuat. Memasukkan bahan ke dalam corong dengan memperhatikan kemampuan corong dalam menampung. Bahan yang sudah terpotong akan mengalir jatuh lewat saluran bagian bawah. Besar kecilnya hasil potongan tergantung saringan. Selanjutnya bahan yang sudah terpotong-potong itu dibawa untuk dimasukkan ke bak untuk menjalani proses pengomposan.

2.2.2. Pengertian Kompos

Pengertian Kompos atau Pupuk Kompos adalah salah satu pupuk organik buatan manusia yang dibuat dari proses pembusukan sisa-sisa bahan organik (tanaman maupun hewan). Proses pengomposan dapat berlangsung secara aerobik dan anaerobik yang saling menunjang pada kondisi lingkungan tertentu. Proses ini disebut juga dekomposisi atau penguraian. Proses pembuatan kompos sebenarnya meniru proses terbentuknya humus di alam. Namun dengan cara merekayasa kondisi lingkungan, Kompos dapat dipercepat proses pembuatannya, yaitu hanya dalam jangka waktu 30-90 hari. Waktu ini melebihi

kecepatan terbentuknya humus secara alami. Oleh karena itu, kompos selalu tersedia sewaktu-waktu diperlukan tanpa harus menunggu bertahun-tahun lamanya.

2.2.3. Elemen Mesin

Dasar dari elemen mesin pada bab ini adalah materi dari bahan ajar elemen mesin Dr. A. Teguh Siswatoro M.Sc. yang diajarkan untuk mahasiswa Atmajaya Yogyakarta. Materi elemen mesin mengacu pada buku Sularso dan Kuga (1987). Berikut materi dari elemen mesin tersebut.

a. Poros

1) Pengantar

Poros adalah elemen mesin yang digunakan untuk memindahkan daya atau putaran dari sumber daya ke mesin pemakai. Untuk memindahkan daya dari satu poros ke poros yang lain, dipasang beberapa elemen lainnya seperti pulley dan roda gigi. Gaya dan berat elemen mesin yang terpasang pada poros akan mengakibatkan poros terbelok. Dengan kata lain poros (*shaft*) digunakan untuk memindahkan torsi dan momen belok. Sedangkan as / gandar (*axle*) adalah elemen mesin yang bentuknya sama dengan poros, tetapi hanya menahan momen belok saja.

2) Bahan Poros

Bahan yang biasa digunakan untuk pembuatan poros adalah baja lunak (*mild steel*) yang kandungan karbonnya 0,05 – 0,9%. Jika diperlukan kekuatan yang tinggi, digunakan bahan baja paduan *nickel* (Ni), *Chroom* (Cr), *Vanadium*(Va) dan Molebdiun (Mo). Poros pada umumnya dibentuk dengan rol panas dan pengerjaan akhir (*finishing*) dengan mesin bubut dan gerinda. Poros rol dingin lebih kuat dari pada rol panas tetapi tegangan-tegangan sisanya lebih besar. Tegangan sisa ini dapat menyebabkan distorsi pada poros saat dikerjakan dengan mesin terutama jika saat pembuatan alur pasak. Poros yang besar biasanya ditempa dan dibubut.

3) Klasifikasi Poros

Poros dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu :

a. Poros Transmisi

Poros ini memindahkan daya dari sumbernya ke mesin-mesin pemakai.

b. Poros Mesin

Poros ini merupakan bagian mesin yang menyatu dengan mesinnya, misalnya poros engkol pada mesin otomotif.

4) Tegangan pada Poros

- a. Tegangan geser akibat pemindahan torsi (beban puntir).
- b. Tegangan normal (tarik dan tekan) akibat berat dan gaya-gaya pada roda gigi dan pulley serta berat porosnya sendiri.
- c. Tegangan kombinasi akibat beban torsi dan momen bengkok / lentur.

Untuk poros-poros yang dibeli dengan spesifikasi tertentu, tegangan tarik yang diijinkan dapat diambil 60% dari batas elastisitasnya, tetapi tidak lebih dari 36% tegangan maksimumnya. Sedangkan tegangan geser yang diijinkan dapat diambil 30% dari batas elastisitasnya tetapi tidak lebih dari 18% tegangan maksimumnya.

5) Perancangan Poros

a) Perancangan Poros Berdasarkan Kekuatannya

- a. Poros hanya menahan beban torsi atau momen puntir saja.

Jika poros hanya menahan torsi atau momen puntir saja, maka diameter poros dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\tau = \frac{T \cdot y}{I_p} \quad (2.1)$$

Keterangan : τ = tegangan geser / puntir [N/mm²]

T = torsi pada poros [Nmm]

I_p = momen inersia polar [mm⁴]

y = jarak serat terluar dari sumbu netral poros [mm]

Untuk poros bulat pejal : $I_p = \frac{\pi}{32} \cdot d^4$ dan $y = d/2$; d = diameter poros [mm]

$$16 \cdot T \quad (2.2)$$

sehingga : $\tau = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d^3}$ atau $T = \frac{\pi}{16} \cdot d^3 \cdot \tau$

$$\tau \cdot d^3$$

Untuk poros bulat berlubang : $I_p = \frac{\pi}{32} \cdot (d_o^4 - d_i^4)$; d_o = diameter poros [mm] ; d_i = diameter lubang [mm]

$$T \cdot (d_o/2) \quad (2.3)$$

sehingga : $\tau = \dots\dots\dots$ atau $T = \frac{\pi}{16} \cdot d_o^3 [1 - (d_i/d_o)^4] \cdot \tau$

$$\frac{\pi}{32} \cdot (d_o^4 - d_i^4)$$

Catatan :

(1) Poros-poros berlubang lebih kuat untuk setiap satuan berat bahan poros. Pembuatannya dapat ditempa pada mandrel sehingga membuat bahan lebih homogen dari pada poros pejal. Jika poros berlubang ingin dibuat mempunyai kekuatan yang sama dengan poros pejal untuk bahan yang sama maka :

$$\frac{\pi}{16} \cdot d_o^3 [1 - (d_i/d_o)^4] \cdot \tau = \frac{\pi}{16} \cdot d^3 \cdot \tau \text{ atau } d_o^3 [1 - (d_i/d_o)^4] = d^3$$

(2) Torsi / momen puntir (T) dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = T \cdot \omega \quad \text{keterangan : } P = \text{daya [Watt]} \quad (2.4)$$

$$T = \text{torsi [Nm]}$$

$$\omega = \text{kecepatan sudut} = 2\pi \cdot n / 60$$

$$n = \text{putaran per menit [rpm]}$$

$$60 P \quad (2.5)$$

$$T = \dots\dots\dots$$

$$2\pi \cdot n$$

3) Pada pemindahan daya dengan sabuk dan pulley :

$$T = (T_1 - T_2) \cdot R \quad \text{keterangan : } T_1 = \text{gaya tegang pada sisi tegang [N]}$$

$$T_2 = \text{gaya tegang pada sisi kendur [N]}$$

$$R = \text{jari-jari pulley [m]}$$

b. Poros hanya menahan beban momen bengkok (as / gandar).

Bila suatu poros hanya menahan beban momen bengkok saja, maka tegangan maksimum (tarik dan tekan) dapat dihitung dengan persamaan momen bengkok berikut :

$$M \cdot y \quad (2.6)$$

$$\sigma = \dots\dots\dots \quad \text{keterangan : } \sigma = \text{tegangan normal [N/mm}^2 \text{]}$$

$$I$$

$$M = \text{momen bengkok [Nmm]}$$

$$y = \text{jarak serat terluar dari sumbu netral [mm]}$$

I = momen inersia [mm⁴]

Untuk poros bulat pejal : $I = \frac{\pi}{64} \cdot d^4$ dan $y = d/2$

$$M \cdot (d/2) \quad (2.7)$$

sehingga : $\sigma = \frac{M \cdot (d/2)}{\frac{\pi}{64} \cdot d^4}$ atau $M = \frac{\pi}{32} \cdot d^3 \cdot \sigma$

$$\frac{\pi}{64} \cdot d^4$$

Untuk poros bulat berlubang : $I = \frac{\pi}{64} \cdot (d_o^4 - d_i^4)$

sehingga : $M = \frac{\pi}{32} \times d_o^3 [1 - (d_i/d_o)^4] \times \sigma$

c. Poros menahan beban kombinasi torsi dan momen bengkok.

Jika poros harus menahan beban kombinasi torsi dan momen bengkok, maka poros harus dirancang berdasarkan dua beban yang bekerja secara serentak. Beberapa teori telah menyarankan untuk mempertimbangkan kelelahan bahan bila poros harus menahan beberapa jenis tegangan kombinasi.

(1) Teori tegangan geser maksimum (*Guest's theory*)

Teori ini digunakan untuk bahan poros yang ulet, seperti misalnya mild steel.

(2) Teori tegangan normal maksimum (*Rankine's theory*)

Teori ini digunakan untuk bahan poros yang rapuh/getas, seperti misalnya besi tuang.

b) Perancangan Poros Berdasarkan Kekakuannya.

(1). Kekakuan Torsional

Penggunaan poros pada mesin-mesin presisi menuntut adanya kekakuan torsional untuk menjamin ketelitian mesin tersebut. Kekakuan torsional ini dinyatakan dengan sudut puntir (θ) yang diijinkan dan besarnya tergantung dari pemakaiannya, biasanya bervariasi 0,3 – 30 per meter.

Untuk poros bulat pejal : $\theta = (584 T \cdot L) / (G \cdot d^4)$ [°] atau $\theta = (T \cdot L) / (G \cdot I_p)$ [rad]

Untuk poros bulat berlubang : $\theta = (584 T \cdot L) / G \cdot (d_o^4 - d_i^4)$ [°]

Keterangan : θ = sudut puntir [°]

L = panjang poros yang terpuntir [m]

T = torsi /momen puntir [N.m]

G = modulus kekakuan / gelincir [N/m²]

d = d_o = diameter poros [m]

$d_i = \text{diameter lubang [m]}$

(2). Kekakuan Lateral

Perancangan kekakuan lateral poros berdasarkan defleksi lateral yang diijinkan, misalnya pertimbangan jenis bantalan (*bearing*) yang digunakan, jenis mesin, penggunaan roda gigi dan sebagainya.

$$Y = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (2.8)$$

Keterangan : y = defleksi yang diijinkan [m]

F = beban radial pada poros [N]

l = panjang poros [m]

E = modulus elastisitas bahan poros [N/m²]

I = momen inersia [m⁴]

b. Bantalan

1) Pengantar

Bantalan (*bearing*) adalah salah satu elemen mesin yang berfungsi untuk menumpu secara langsung bagian mesin lain yang bergerak atau berputar, misalnya as, poros, roda gigi dan sebagainya. Pemasangan bantalan dimaksudkan untuk menghindari kontak langsung antara bagian-bagian yang bergerak agar :

a. Keausan terjadi hanya pada bantalannya, sehingga bahan bantalan pada umumnya terbuat dari bahan yang lebih lunak dari pada bahan bagian mesin yang ditumpu.

b. Memperkecil gesekan antara bagian-bagian mesin yang bergerak sehingga kerugian daya untuk mengatasi gesekan tersebut dapat diminimasi.

Dengan demikian putaran atau gerakan bagian-bagian mesin dapat berlangsung secara halus, aman serta panjang umur pakainya.

2) Klasifikasi

Bantalan dapat diklasifikasikan berdasarkan pada dua hal, yaitu :

a) Berdasarkan arah beban :

a. Bantalan Radial (*Radial Bearing*), bantalan ini digunakan terutama untuk menumpu beban dengan arah radial.

b. Bantalan Aksial (*Thrust Bearing*), digunakan untuk menumpu beban yang arahnya aksial.

b) Berdasarkan sifat kontak / gerakan :

a. Bantalan Luncur (*Sliding Contact Bearing / Journal Bearing*)

Pada bantalan luncur, gesekan terjadi sepanjang permukaan bidang kontak antara bagian yang bergerak dan bagian yang diam.

b. Bantalan Gelinding (*Rolling Contact Bearing*)

Pada bantalan gelinding terdapat elemen gelinding berupa bola-bola baja atau roller atau jarum. Elemen-elemen gelinding ini dipasang diantara cincin luar dan cincin dalam, sehingga terjadi gerakan menggelinding dan gesekan gelinding

c) Pertimbangan Pemilihan Jenis Bantalan

Untuk mengambil keputusan dalam memilih jenis bantalan luncur atau bantalan gelinding yang akan digunakan dapat dipengaruhi oleh satu atau beberapa hal berikut :

a. Bantalan gelinding mempunyai keuntungan bahwa torsi awal yang diperlukan relatif lebih kecil karena kerja dari elemen-elemen gelindingnya.

b. Bantalan gelinding terutama saat dioperasikan pada kecepatan tinggi akan menimbulkan suara berisik, tidak setenang bantalan luncur.

c. Bila ruangan (*space*) ke arah aksial yang tersedia terbatas, maka bantalan gelinding sangat cocok. Sebaliknya jika ruangan ke arah radial yang terbatas, bantalan luncur dapat menjadi pilihan yang tepat.

d. Lapisan minyak dalam pelumasan yang sempurna akan membantu penyekatan listrik (*electrical insulation*).

e. Bantalan gelinding memberi peringatan / gejala bila mulai terjadi kerusakan (dengan suara yang lebih berisik), sedangkan pada bantalan luncur kerusakan terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya gejala dan akibat yang akan ditimbulkan lebih fatal / parah.

f. Bantalan gelinding mampu menumpu beban kombinasi radial dan aksial, kecuali bantalan jenis straight roller hanya mampu menumpu beban radial saja.

g. Bantalan gelinding dapat diberi beban awal (*preload*) untuk mengurangi terjadinya defleksi dalam bantalan dan memberikan ketelitian yang lebih baik seperti pada mesin-mesin perkakas.

h. Bantalan gelinding memerlukan kelonggaran (*clearance*) yang lebih kecil dari pada bantalan luncur sehingga baik untuk penempatan (*positioning*) bagian-bagian mesin yang presisi seperti roda gigi.

i. Bantalan gelinding dapat dikemas dengan gemuk (*grease*) untuk pemasangan yang bebas perawatan. Bila menggunakan pelumasan minyak pada bantalan gelinding, problem pelumasan biasanya jauh lebih sederhana dibandingkan pada bantalan luncur. Akibat kerusakan sistem pelumasan pada bantalan gelinding tidak separah pada bantalan luncur.

j. Untuk jangka waktu yang pendek bantalan gelinding mampu menerima beban lebih (*overload*).

d) Bantalan Luncur

Bantalan luncur yang arah luncurannya lurus dan menumpu beban radial dinamakan *Slipper Bearing* atau *Guide Bearing* misalnya pada bagian kepala silang mesin uap, kepala lepas mesin bubut dan lain sebagainya. Bantalan luncur yang arah luncurannya mengelilingi lingkaran / busur lingkaran dan menumpu beban radial dinamakan *Journal Bearing* atau *Sleeve Bearing*. Bila sudut kontak pada *Journal Bearing* 360° dinamakan *Full Journal Bearing* dan bila sudut kontak hanya 120° (kurang dari 360°) dinamakan *Partial Journal Bearing*. Gesekan yang terjadi pada jenis terakhir ini lebih kecil, tetapi hanya dapat digunakan untuk menumpu beban dari satu arah, misalnya pada as roda kereta api. *Journal Bearing* juga disebut *Clearance Bearing* karena diameter *journal* (poros) lebih kecil dari pada diameter *bearing*. Bila *Partial Journal Bearing* tidak mempunyai *clearance* (diameter *journal* = diameter *bearing*) disebut *Fitted Bearing*. Berdasarkan arah bebannya *Journal Bearing* dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

a. Bantalan Radial :

- 1) Bantalan luncur polos (*Solid Journal Bearing*)
- 2) Bantalan luncur silinder (*Bushed Bearing*)
- 3) Bantalan luncur belahan silinder (*Split Bearing*)

b. Bantalan Aksial :

- 1) Bantalan luncur piringan (*foot step / pivot bearing*)
- 2) Bantalan luncur kerah (*Collar bearing*)

(1) Syarat Bahan Bantalan Luncur

a. Kuat terhadap tekanan

Tekanan maksimum yang terjadi pada bantalan jauh lebih besar dari pada tekanan rata-rata yang diperoleh dengan cara membagi beban dengan proyeksi luasnya. Oleh karena itu bahan bantalan harus mempunyai kekuatan tekan yang

tinggi untuk menahan tekanan maksimum ini agar tidak terjadi ekstrusi atau deformasi pada bantalan.

b. Kuat terhadap kelelahan (tahan lelah)

Bahan bantalan harus mempunyai ketahanan yang cukup agar dapat menahan beban-beban berulang tanpa terjadi keretakan pada permukaan akibat lelah. Hal ini mutlak penting terutama dalam mesin-mesin pesawat terbang dan motor bakar.

c. Mampu menyesuaikan (*conformability*)

Bahan bantalan harus mempunyai kemampuan untuk menyesuaikan diri terhadap defleksi poros dan ketidak-telitian bantalan karena deformasi plastis tanpa menimbulkan keausan dan panas yang berlebihan.

d. Mampu membenamkan (*embeddability*)

Kemampuan bahan bantalan untuk menyimpan / membenamkan partikel-partikel kecil dari debu atau kotoran tanpa menimbulkan cacat atau goresan pada permukaan bantalan.

e. Tahan korosi

Bahan bantalan harus tidak terkorosi oleh minyak pelumas. Sifat ini merupakan syarat khusus dalam mesin-mesin motor bakar yang menggunakan minyak yang sama untuk melumasi dinding-dinding silinder dan bantalan. Dalam silinder minyak pelumas mengalir bersinggungan dengan dinding silinder yang panas dan mungkin terjadi oksidasi sehingga mengumpulkan endapan-endapan karbon dari dinding silinder.

f. Konduktivitas panas tinggi

Bahan bantalan harus memiliki konduktivitas panas yang tinggi agar dapat dengan cepat melepaskan panas yang timbul akibat gesekan.

g. Pemuaian panas kecil

Koefisien muai panas bahan bantalan harus rendah / kecil agar apabila bantalan bekerja pada suhu yang melampaui batas, tidak terjadi perubahan clearance yang berlebihan.

Walaupun telah diketahui syarat-syarat yang diperlukan untuk bahan bantalan, namun sulit untuk menemukan atau menentukan bahan yang khusus untuk bantalan. Dalam prakteknya macam-macam bahan digunakan tergantung pada keperluan dan kondisi sebenarnya.

(2) Macam Bahan Bantalan Luncur

a. Metal Babbit

Bahan ini digunakan jika tekanan maksimum bantalan (pada luas bidang proyeksi) 70 – 140 kg/Cm². Komposisi babbit adalah sebagai berikut :

- 1). Tin Base Babbit : Timah 90%, Tembaga 4,5%, Antimony 5% dan Timbal 0,5%.
- 2). Lead Base Babbit : Timbal 84%, Timah 6%, Antimony 9,5% dan Tembaga 0,5%.

b. Perunggu

Perunggu terdiri dari campuran Cu, Sn dan Zn, biasanya digunakan dalam bentuk bush yang dipress ke dalam rumah atau kerangka suatu mesin. Komposisi perunggu yang digunakan untuk bahan bantalan adalah :

- 1). Cu 88%, Sn 10%, Zn 2% (*Gun Metal*)
- 2). Cu 80%, Sn 10%, Pb 9%, P 1% (*Phosphor Bronze*)

c. Besi Tuang

Bantalan besi tuang merupakan bantalan yang murah dan mampu untuk beban ringan dan kecepatan rendah (150 psi dan 130 feet / menit). Sistem pelumasan pada bantalan ini harus memadai dan mempunyai clearance agak besar untuk menghindari goresan oleh partikel / serbuk kikisan besituang yang berada di antara bantalan dan porosnya. Kekerasan poros yang paling baik jika menggunakan bantalan dari besi tuang adalah 150 – 250 Brinell.

d. Perak

Bantalan perak dibuat untuk kondisi operasi yang berat, misalnya pada pesawat-pesawat terbang dan bantalan utama mesin diesel. Bahan ini mempunyai ketahanan lelah yang lebih tinggi dibandingkan bahan lainnya.

e. Porous Metal

Bantalan dengan bahan jenis ini bisa melumasi sendiri. Biasanya dibuat dari logam yang disinter (*sintering metals*), misalnya *leaded bronze*, besi dan *stainless steel*. Bantalan ini digunakan jika pelumasan sulit dilaksanakan atau tidak mencukupi.

f. *Carbon – Graphite*

Bantalan ini dapat melumasi sendiri dan mampu bekerja pada suhu yang lebih tinggi dari pada bantalan lainnya. Banyak digunakan di industri makanan dan industri lainnya yang tidak menginginkan adanya pencemaran / pengotoran oleh minyak pelumas.

g. Bahan Karet Lunak

Banyak digunakan dengan pelumas air atau pelumas lainnya yang mempunyai viskositas rendah, khususnya digunakan pada kondisi yang banyak kotoran pasir atau kotoran lainnya. Jenis ini baik sekali dalam hal meredam beban dan getaran. Bantalan dari bahan karet terutama digunakan pada baling-baling kapal, turbin hidrolik dan pompa.

h. *Cadmium*

Bantalan paduan cadmium mempunyai ketahanan lelah yang lebih besar dari pada bantalan babbitt. Namun demikian penggunaan bahan sangat terbatas karena tidak tahan korosi. Paduan ini mengandung 1 – 15 % Ni atau 0,4 – 0,75 % Cu dan 0,5 – 2,0 % Ag. Sifat yang paling baik bahan ini adalah mampu bekerja pada suhu yang tinggi.

i. Aluminium

Aluminium biasanya dipadu dengan sejumlah kecil timah, silicon, cadmium, nikel atau tembaga. Bantalan aluminium dengan paduan timah 20 – 30 % dan 3% tembaga bisa digunakan sebagai pengganti perunggu dalam industri. Bantalan ini cocok sekali berpasangan dengan poros yang keras. Karena koefisien muainya besar, maka kelonggarannya dibuat agak besar sehingga bantalan cenderung bersuara / gaduh terutama pada saat awal / start. Lapisan timah, timbal atau tembaga mungkin digunakan untuk bantalan aluminium yang berpasangan dengan poros-poros lunak. Paduan aluminium juga tersedia dengan sifat-sifat yang khusus dirancang untuk bantalan, misalnya kemampuan menahan beban besar, tahan lelah, konduktivitas panasnya tinggi di samping ketahanan korosinya baik sekali dan harganya murah.

j. Plastik (*Phenolic, Nylon, TFE*)

Sifat bahan ini tahan korosi, tak bersuara, mampu dicetak ke dalam bentuk yang bermacam-macam, kompatibilitasnya baik dan hanya sedikit memerlukan

pelumasan. Jika yang paling banyak digunakan *Phenolic*, *Tetra Fluoro Ethylene (TFE)* atau *Polyamide (Nylon) Resin*.

(3) Perhitungan Bantalan Luncur

a. Perhitungan Bantalan Radial

1) Bantalan radial yang terletak di ujung poros

$$F = w \cdot l \quad (2.9)$$

F = Beban total

w = Beban persatuan panjang

l = Panjang bantalan

$$M_b = F \cdot \frac{l}{2} \quad (2.10)$$

$$M_b < \sigma_b \cdot W_b W_b = \frac{\pi}{32} \cdot d^3 \longrightarrow$$

$$F \cdot \frac{l}{2} < \sigma_b \cdot \frac{\pi}{32} \cdot d^3$$

$$l < \sigma_b / (F \cdot \frac{\pi}{32} \cdot d^3 \cdot 2)$$

2) Bantalan radial yang terletak di tengah poros

e) Perhitungan Bantalan Gelinding

(1) Kapasitas Nominal Bantalan Gelinding

a. Kapasitas Nominal Dinamis Spesifik (*Basic Dynamic Load Rating*) dinotasikan dengan huruf C adalah beban yang mampu diberikan pada bantalan dengan jumlah putaran 1.000.000 (33,3 rpm selama 500 jam), di mana setelah mengalami putaran dan beban tersebut 90 % dari jumlah bantalan tidak menunjukkan kerusakan karena faktor kelelahan oleh beban gelinding pada cincin atau elemen gelindingnya.

b. Kapasitas Nominal Statis Spesifik (*Basic Static Load Rating*) dinotasikan dengan Co adalah beban yang mampu diberikan pada bantalan diam atau berayun-ayun, di mana pada titik kontak yang menerima tegangan maksimum besarnya deformasi permanen pada elemen gelinding ditambah besarnya deformasi cincin menjadi 0,0001 kali diameter elemen gelindingnya.

(2) Beban Ekuivalen Dinamis

Untuk bantalan radial (kecuali bantalan rol silinder) :

$$P_r = (X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a) f_s \quad (2.11)$$

Untuk bantalan aksial :

$$P_a = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (2.12)$$

Keterangan :

P_r = beban radial ekuivalen dinamis

P_a = beban aksial ekuivalen dinamis

F_r = beban radial

F_a = beban aksial

X = faktor radial

Y = faktor aksial

V = faktor putaran

$V = 1$, jika cincin dalam yang berputar

$V = 1,2$ jika cincin luar yang berputar

c. Pasak

1) Pengantar

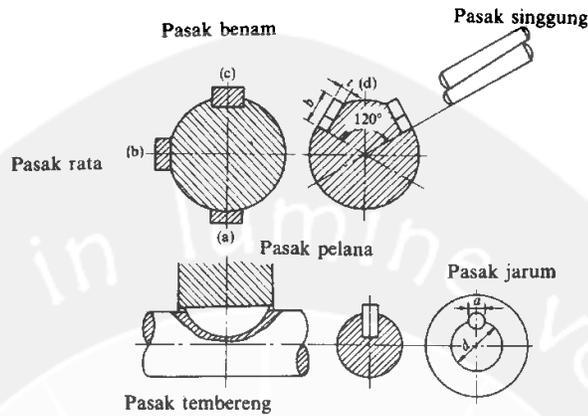
Pasak adalah elemen mesin yang digunakan untuk menetapkan bagian mesin seperti roda gigi, puli, kopling, sproket dsb pada poros. Melalui pasak momen puntir diteruskan dari poros ke naf atau sebaliknya. Elemen mesin lain yang berfungsi seperti pasak adalah splin dan gerigi (*serration*) yang mempunyai gigi luar pada poros dan gigi dalam pada nafnya yang saling terkait satu dengan lainnya.

2) Jenis-jenis Pasak

Berdasarkan letaknya pada poros dan bentuknya pasak dapat dibedakan menjadi:

- a. Pasak Pelana, salah satu permukaannya cekung sesuai dengankelengkungan permukaan porosnya dan permukaan sebaliknya rata tirus. Tidak ada alur pasak pada porosnya. Jenis ini digunakan untuk beban kecil.
- b. Pasak Rata, berpenampang segi empat. Permukaan poros diratakan sesuai ukuran lebar pasak. Ini digunakan juga untuk beban kecil.
- c. Pasak Benam, berpenampang segi empat. Sebagian tebal pasak terbenam pada alur pasak di porosnya dan bagian lainnya terbenam pada naf. Jenis ini paling banyak digunakan dan mampu memindahkan daya yang besar.
- d. Pasak Singgung, dipasang tangensial pada poros, digunakan untuk beban yang fluktuatif dan ada tumbukan.
- e. Pasak Tembereng, berbentuk tembereng lingkaran dan dipasang pada alur pasak yang juga berbentuk tembereng pada porosnya.

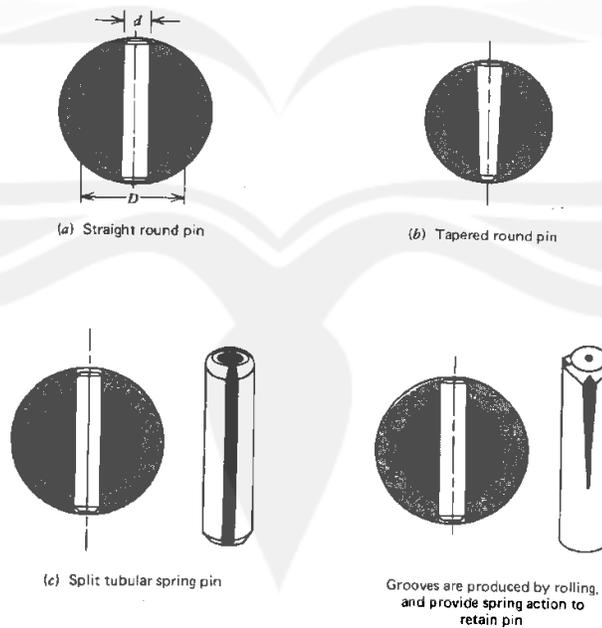
- f. Pasak Jarum, penampang pasak berbentuk bulat dengan ukuran kecil dan dipasang di antara poros dan naf.



Gambar 2.1. Jenis-jenis Pasak
(Sumber: Sularso dan Kuga (1987))

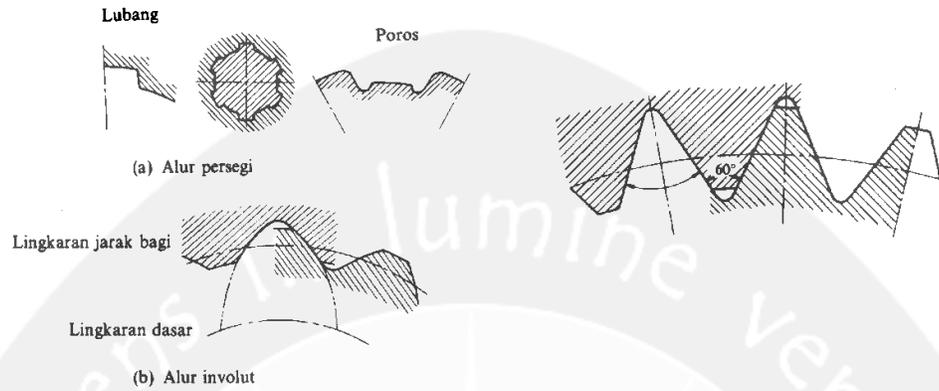
- g. Pasak Bulat (Pin)

Pasak ini dipasang menembus pada penampang melintang poros. Bentuknya ada dua yaitu silindris dan tirus. Sesuai ukurannya yang relatif kecil, maka kemampuan memindahkan torsi juga kecil.



Gambar 2.2. Jenis-jenis Pasak Bulat
(Sumber: Sularso dan Kuga (1987))

- h. Splin dan Gerigi, digunakan agar naf dapat meluncur ke arah aksial pada poros . Bentuk alurnya ada yang persegi dan ada yang involute.

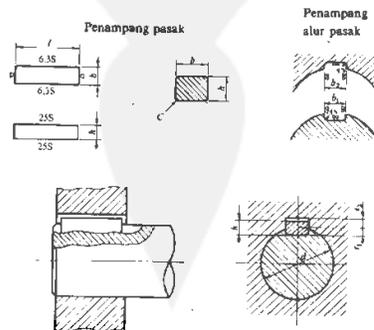


Gambar 2.3. Splin dan Gerigi
(Sumber: Sularso dan Kuga (1987))

3) Perancangan Pasak

Dalam perancangan yang perlu diperhatikan adalah memperhitungkan kekuatan pasak terhadap gaya tangensial pada permukaan poros yang timbul karena pemindahan beban momen puntir dari poros ke naf atau sebaliknya. Gaya tersebut akan menimbulkan tegangan geser dan tekanan permukaan pada pasak. Di samping itu karena secara umum harga poros jauh lebih mahal dari pada pasak, maka bahan pasak dipilih yang lebih lunak dari pada bahan poros atau dengan lain kata pasak dirancang akan lebih cepat rusak dari pada porosnya.

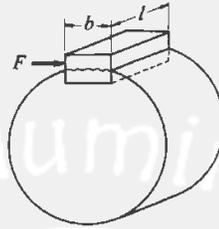
Pemasangan pasak benam sebagian tebal terbenam pada poros dan sebagian lainnya terbenam pada nafnya, seperti tampak pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4. Pemasangan Pasak Benam
(Sumber: Sularso dan Kuga (1987))

Jika momen puntir (torsi) yang akan dipindahkan T [Nm] dan diameter poros d [m], maka gaya tangensialnya F [N] adalah :

Gaya tangensial :
$$F = \frac{T}{d/2} \quad (2.13)$$



Gambar 2.5. Gaya Tangensial
(Sumber: Sularso dan Kuga (1987))

Tegangan geser yang timbul :
$$\tau = \frac{F}{b \times l} \quad (2.14)$$

b = lebar pasak

l = panjang pasak

Tekanan permukaan yang timbul :
$$p = \frac{F}{b \times l} \quad (2.15)$$

t = tebal pasak yang terbenam pada poros (t_1) atau tebal pasak yang terbenam pada naf (t_2), dipilih yang kritis yaitu yang paling kecil. Lebar pasak sebaiknya dibuat antara $b = 0,25 - 0,35 d$ dan panjang pasak $l = 0,75 - 1,5 d$.

Tegangan geser dan tekanan permukaan yang timbul ini harus lebih kecil dari pada tegangan geser dan tekanan permukaan yang diijinkan bahan pasak. Dari kedua persamaan di atas dipilih panjang pasak yang aman untuk tegangan geser dan tekanan permukaan. Tekanan permukaan yang diijinkan untuk poros kecil ($d \leq 50 \text{ mm}$) sebesar 8 kg/mm^2 dan untuk poros besar ($d > 50 \text{ mm}$) sebesar 10 kg/mm^2 .

2.2.4. Metode Perancangan

Metode perancangan adalah prosedur, teknik, bantuan atau peralatan untuk merancang. Metode perancangan menggambarkan rangkaian aktivitas secara urut yang memungkinkan perancang mengkombinasikan proses perancangan secara keseluruhan.

Tujuan utama metode ini adalah usaha untuk membawa prosedur rasional ke dalam proses perancangan. Cross (1994) menyebutkan metode perancangan bukan merupakan pertentangan dari kreativitas, imajinasi, dan intuisi.

Pertentangan sesungguhnya lebih memungkinkan pada penyelesaian masalah dalam perancangan. Pada kenyataannya, pokok umum dari metode perancangan dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar yaitu metode kreatif dan metode rasional. Dalam tugas akhir ini metode perancangan yang diilih adalah metode rasional

2.2.5. Metode Rasional

Metode rasional yang dikemukakan oleh Cross (1994) lebih sering dikenal dengan metode perancangan, karena metode rasional ini dapat mendorong terjadinya pendekatan sistematis dalam proses perancangan serta pengembangan. Pada dasarnya metode rasional dengan metode yang lain memiliki tujuan yang sama, misalkan memperluas ruang pencarian solusi atau memungkinkan pengadaan tim kerja dan grup pengambil keputusan. Metode rasional merupakan metode perancangan yang sistematis, tujuannya memperbaiki kualitas keputusan perancangan dan hasil akhir dari suatu produk. Metode rasional menggabungkan aspek *procedural* dari perancangan dan aspek *structural* dari masalah perancangan.

Proses perancangan dan metode-metode rasional yang relevan dan paling luas penggunaannya dapat diuraikan sebagai berikut :

a. Clarifying Objectives (Klarifikasi Tujuan)

Tahap pertama dari metode rasional merupakan tahapan yang penting dalam menjelaskan tujuan dari perancangan. Secara keseluruhan tahap ini sangat membantu untuk mendapatkan gagasan yang jelas dalam mencapai tujuan, meskipun tujuan-tujuan yang telah ditetapkan dapat berubah selama proses perancangan.

Metode yang digunakan dalam tahap perancangan ini adalah pohon tujuan (*Objectives Tree*). Pohon tujuan menunjukkan tujuan utama dan cara pencapaiantujuan tersebut. Metode ini ditunjukkan dalam suatu bentuk diagram dimana tujuan-tujuan yang berbeda dihubungkan satu sama lain, bersama dengan pola hirarki tujuan dan sub tujuan.

Langkah-langkah dalam pembuatan pohon tujuan adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan daftar tujuan perancangan
2. Tujuan perancangan dapat juga disebut kebutuhan konsumen dan fungsi produk itu sendiri. Daftar ini diambil dari ringkasan perancangan, dari pernyataan kepada konsumen dan dari diskusi tim perancang.
3. Menyusun daftar disusun berdasarkan tingkatan hirarki

4. Perluasan daftar tujuan dan sub tujuan akan membuat terlihat jelas adanya tingkat kepentingan yang lebih antara satu dengan yang lain. Semua ini akan dikumpulkan kedalam suatu tingkatan hirarki.
5. Menggambarkan diagram *Objectives Tree*
6. Cabang-cabang pada pohon tujuan menunjukkan hubungan yang mengusulkan bagaimana mencapai tujuan.

b. *Establishing Functions* (Penetapan Fungsi)

Analisis fungsi merupakan suatu analisis yang membantu untuk menemukan dan membatasi tingkatan permasalahan dimana penyelesaian dapat dipecahkan serta dihasilkan rancangan yang sesuai. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menetapkan fungsi-fungsi yang diperlukan serta batasan sistem dari rancangan yang baru.

Poin utama dari metode ini adalah konsentrasi pada hal yang akan dicapai dari disain yang hendak dirancang, dan bukan bagaimana cara untuk mencapainya.

Cara sederhana yang dilakukan untuk mengekspresikan hal ini adalah dengan menggunakan *black box* mengubah *input* menjadi *output* yang diinginkan.

Adapun langkah-langkah dalam menetapkan fungsi adalah sebagai berikut :

1. Menentukan fungsi rancangan secara keseluruhandalam rangka konversi *input* menjadi *output*.
2. Membagi fungsi utama menjadi sub-sub fungsi.
3. Menggambarkan blok diagram yang menunjukkan interaksi antar fungsi.
4. Menggambarkan batasan sistem (*boundry system*)
5. Menentukan komponen yang sesuai untuk setiap sub fungsi dan hubungan antar mereka.

c. *Setting Requirements* (Penetapan Spesifikasi)

Metode *performance specification* bertujuan untuk membuat spesifikasi akurat dari kebutuhan pelaksanaan suatu penyelesaian perancangan.

Langkah-langkah metode *performance specification* adalah sebagai berikut :

1. Menimbang perbedaan tingkatan umum penyelesaian yang dapat diterima. Contoh ada beberapa pilihan antara alternatif produk, tipe produk, dan ciri produk.
2. Menentukan tingkatan umum yang nanti akan dioperasikan. Keputusan ini bisa dibuat oleh klien. Tingkatan umum yang lebih tinggi memberikan kebebasan yang lebih untuk perancangan.
3. Mengidentifikasi atribut yang dibutuhkan. Atribut seharusnya diterangkan

sebagai bentuk yang independen dari beberapa penyelesaian kasus.

4. Menyebutkan dengan tepat dan ringkas kebutuhan setiap atribut.

d. *Determining Characteristics* (Penentuan Karakteristik)

Penentuan spesifikasi produk seringkali mengalami konflik dan kesalahpahaman dalam suatu perancangan. Hal ini disebabkan karena terlalu berfokus dalam perbedaan penafsiran pada apa yang harus dispesifikasikan. Metode yang komperhensif untuk mencocokkan permintaan konsumen dengan *engineering characteristics* adalah metode *Quality Function Deployment* (QFD) yang merupakan inti dalam proses disain.

Lou (1995) mengemukakan QFD (pengembangan fungsi kualitas) adalah suatu metode untuk perencanaan dan pengembangan produk yang terstruktur yang memungkinkan tim pengembangan untuk menentukan keinginan dan kebutuhan pelanggan dengan jelas, dan kemudian mengevaluasi produk atau melayani dengan kemampuan yang secara sistematis dalam pemenuhan keinginan pelanggan tersebut.

Pengembangan fungsi kualitas (QFD) merupakan suatu tindakan untuk mendesain proses terhadap tanggapan kebutuhan dan harapan pelanggan. Pengembangan Fungsi Kualitas (QFD) menterjemahkan apa yang menjadi keinginan konsumen. Hal ini memungkinkan organisasi/perusahaan untuk memprioritaskan kebutuhan pelanggan, menemukan tanggapan inovatif atas kebutuhan tersebut, dan meningkatkan proses sehingga tercapai efektivitas maksimum. Pengembangan

fungsi kualitas (QFD) adalah tindakan yang menuntun peningkatan proses yang memungkinkan dari suatu organisasi untuk memenuhi kepuasan pelanggan telah disampaikan Goetsch dan Stanley (1997).

Cross (1994) mengemukakan prosedur dalam pembentukan *Quality Function Deployment* (QFD) adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi keinginan konsumen terhadap atribut produk.

Hal ini penting untuk dilakukan, dimana pada tahap ini suara konsumen dihargai dan kebutuhan konsumen yang tidak bersubyek ditafsirkan ulang pada tim desain. Proses pengidentifikasian ini dapat menggunakan diagram afinitas. Diagram ini digunakan untuk menunjukkan masalah utama. Diagram afinitas menempatkan dan menstruktur masalah ketika situasi tidak jelas, tidak menentu dan tidak dapat diperkirakan (contoh: ketika masalah berhubungan dengan

kejadian masa depan, keadaan yang tidak dikenal, atau pengalaman baru). Diagram afinitas dilakukan dengan mengumpulkan banyak kenyataan, pendapat, dan ide dalam lembar data verbal dan menyatukannya menjadi satu diagram berdasarkan afinitasnya.

2. Menentukan beberapa atribut yang relatif penting.

Teknik pemberian ranking/penempatan nilai dapat digunakan untuk membantu menentukan bobot relative yang harus disejajarkan dengan atribut lainnya. Biasanya digunakan persentase bobot.

3. Mengevaluasi produk pesaing

Nilai yang ditujukan oleh produk pesaing dan produk rancangan harus diarahkan untuk kebutuhan konsumen.

4. Menggambar matrik atribut produk beserta karakteristik teknisnya

Termasuk di dalamnya semua karakteristik teknis yang berpengaruh pada atribut produk dan memastikan bahwa hal tersebut adalah unit yang siap diukur.

Mengidentifikasi hubungan antara atribut produk dan karakteristiknya

Kekuatan hubungan dapat diidentifikasi dengan simbol/angka. Penggunaan memiliki beberapa keuntungan, namun dapat menimbulkan sebuah keakuratan palsu.

5. Mengidentifikasi beberapa hubungan yang relevan diantara karakteristik teknis Bagian atap rumah dari *House of Quality* menyediakan daftar pengecekan, yang tergantung dari perubahan konsep desain. Menentukan target yang digambarkan agar dapat mencapai karakteristik teknis yang diinginkan, hal ini dilakukan dengan menggunakan informasi dari produk pesaing atau percobaan konsumen.

e. *Generating Alternatives* (Pembangkitan Alternatif)

Tujuan utama metode ini adalah perluasan pencarian kemungkinan penyelesaian baru. Morfologi berarti studi tentang bentuk atau ukuran, jadi analisis morfologi adalah suatu usaha sistematis untuk menganalisa bentuk yang dapat diambil oleh suatu produk atau mesin, dan bagan morfologi adalah suatu rangkuman dari analisis ini.

Langkah-langkah yang dibutuhkan dalam pembuatan metode bagan morfologi adalah sebagai berikut :

1. Menentukan daftar tampilan atau fungsi produk yang mendasar. Walaupun tidak terlalu panjang, daftar tersebut dapat secara luas mencakup fungsi-fungsi umum pada tingkat yang tepat.

2. Setiap daftar tampilan atau fungsi cara-cara yang mungkin dapat dicapai.

Daftar ini belum dapat memasukan ide baru yang sama baiknya dengan pengenalan komponen atau sub solusi yang ada.

3. Menggambarkan suatu bagan yang mengandung semua sub solusi yang memungkinkan. Bagan morfologi mewakili ruang penyelesaian total produk, membuat kombinasi sub solusi.

Mengidentifikasi kombinasi sub solusi yang memungkinkan total nomor kombinasi yang mungkin dapat sangat besar maka pencarian strategis harus diarahkan dengan batasan atau kriteria

Metode *Quality Function Deployment* (QFD) dalam prosesnya menggunakan *tool* yang disebut *House of Quality* (HOQ) untuk menghasilkan *output* yang sesuai dengan keinginan konsumen. HOQ memiliki cara atau proses untuk memenuhi keinginan konsumen dengan seluruh kekuatan dan kelemahan yang ada. Perancangan dimulai dengan melakukan riset untuk menentukan atribut produk spesifik yang diinginkan konsumen, derajat kepentingan relatif masing-masing atribut dan menentukan persepsi pelanggan terhadap produk-produk pesaing dan produk perusahaan masing-masing untuk setiap atribut yang terkandung didalamnya. HOQ dapat diasumsikan menjadi sebuah bangunan rumah dengan sisi kiri merupakan keinginan konsumen. Dalam matrik rumah merupakan pertemuan antara bagaimana produk yang tersedia dengan keinginan konsumen, bagian atap merupakan pengembangan dari atribut atau hasil yang diperlukan. Variasi yang ada pada HOQ dapat digunakan untuk mengevaluasi bagaimana pesaing dalam memenuhi keinginan konsumen.

f. *Evaluating Alternative* (Evaluasi Alternatif)

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

Langkah-langkah yang dibutuhkan dalam pengerjaan metode *weighted objectives*:

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

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

g. Improving Detail (Penyempurnaan Perancangan)

Tahap ini mengevaluasi kembali hasil dari perancangan baik itu perancangan baru ataupun perancangan lama yang disempurnakan kembali. Metode yang digunakan adalah *value engineering*. Metode ini berfokus pada nilai fungsional suatu produk dan bertujuan untuk meningkatkan perbedaan antara harga dan nilai suatu produk dengan cara mengurangi harga, menambah nilai ataupun keduanya.

Langkah-langkah dalam metode *value engineering* adalah sebagai berikut :

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