

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 KOMBINASI PENGATURAN

Kombinasi pengaturan merupakan suatu himpunan suatu objek yang tidak berurutan yang bersifat *multiuser*. Kombinasi pengaturan ini lebih mengarah pada teori *state-of-art* metode Taguchi yang merupakan metode untuk merekayasa performa yang unggul dan awet kedalam produk dan proses. Metode ini berfokus pada perbaikan disain proses atau produk manufaktur sebelum produk mulai diproduksi<sup>1</sup>. Tujuan utamanya tidak lain adalah kualitas. Sebagaimana dinyatakan pada filosofi dari Taguchi bahwa tugas menjamin kualitas harus dimulai dengan merekayasa kualitas melalui optimasi produk dan proses untuk performa, kualitas dan biaya<sup>123</sup>.

Untuk dapat melakukan desain performa tersebut kedalam produk agar mendapatkan *robust design*, yaitu prosedur optimasi disain proses dan produk agar performa akhir berada pada target dan bervariasi minimum terhadap target tersebut, Taguchi mengusulkan langkah – langkah berikut ini<sup>145</sup>:

1. Disain Sistem (Konsep/Fungsional)

Merupakan suatu langkah pertama dalam disain dan memerlukan pengetahuan teknis untuk mendapatkan disain awal produk yang memberikan dasar performa fungsional sebagaimana yang diharapkan.

---

<sup>1</sup> Bagchi, Tapan P., (1993). *Taguchi Methods Explained: Practical steps to Robust Design*, Prentice-Hall, Inc., New Delhi.

<sup>2</sup> Ross, Philip J., (1989). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw-Hill, Inc., Singapore.

<sup>3</sup> Taguchi, Genichi & Clausing, Don (1988, January – February). “Robust Quality”, *Harvard Business Review*, p. 65-75.

<sup>4</sup> Taguchi, Genichi., Elsayed, A.E, & Hsiang, Thomas (1989). *Quality Engineering in Production Systems*, McGraw-Hill, Inc, Singapore.

<sup>5</sup> Ullman, David G., (1997). *The Mechanical Design Process*, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., Singapore..

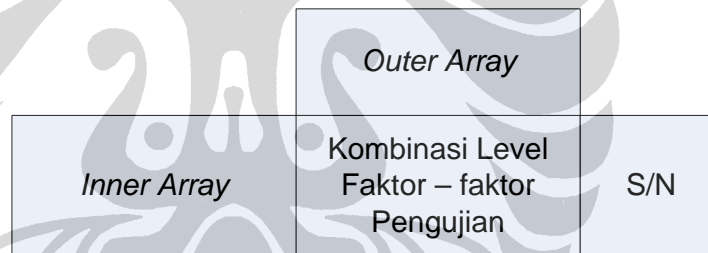
## 2. Disain Parameter

Merupakan langkah yang dilakukan untuk mendapatkan keadaan optimum parameter – parameter disain. Disini dikembangkan sebuah model fisik matematis produk berdasarkan disain fungsional.

## 3. Disain Toleransi

Merupakan langkah penentuan toleransi – toleransi pada parameter – parameter disain proses atau ditentukan *setting* optimal proses.

Pada metode Taguchi berbeda dengan analisa variansi yang umum dipergunakan, dimana pada metode Taguchi tersebut menempatkan faktor – faktor proses yang dapat dikendalikan (disebut *inner array*) terpisah dari faktor – faktor gangguan yang sulit dikendalikan (disebut *outer array*), keduanya disebut dengan *Orthogonal Array* (OA), namun mempunyai kesamaan dengan kombinasi pengaturan yang dimaksud pada penelitian ini, yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini <sup>1-5</sup>.



Gambar 2.1 *Orthogonal Array*

Dengan demikian kombinasi pengaturan tersebut erat kaitannya dengan eksperimen. Dimana dari hasil eksperimen yang didapatkan berupa level faktor – faktor pengujian yang dirancang independen satu dengan yang lainnya. Dimana sebelumnya setiap level faktor – faktor atau interaksi faktor telah dipilih untuk dapat dilibatkan dalam eksperimen tersebut. Eksperimen ini sangat tergantung pada informasi awal dari ahli yang mengerti perilaku faktor – faktor tersebut beserta interaksinya<sup>123</sup>. Dengan dilakukannya kombinasi pengaturan ini jumlah eksperimen yang dilakukan dapat diperkecil. Sehingga kombinasi pengaturan yang mengarah pada suatu desain eksperimen dapat memberikan hasil sebagaimana yang diharapkan.

## 2.2 KUALITAS/MUTU

Kualitas merupakan suatu kondisi dinamis yang berhubungan dengan produk, jasa, manusia, proses, dan lingkungan yang memenuhi atau melebihi harapan<sup>6</sup>. Sedangkan mutu didefinisikan sebagai kepatuhan terhadap standar yang ditetapkan. Namun pengertian lain tentang mutu adalah batasan yang ditetapkan oleh Standar Internasional ISO 9004-2 (1991) dimana mutu adalah ciri dan karakteristik suatu produk atau jasa secara keseluruhan yang menunjukkan kemampuannya untuk memuaskan kebutuhan yang dinyatakan atau tersirat.

Kualitas merupakan suatu hal yang sangat perlu mendapat perhatian, karena sangat mempengaruhi daya jual produk serta daya saing perusahaan. Perhatian penuh pada kualitas akan memberikan dampak positif terhadap biaya produksi dan terhadap pendapatan. Dengan hasil produk yang berkualitas serta bebas dari tingkat kerusakan yang mungkin terjadi, berarti dihindarkan terjadinya pemborosan dan inefisiensi sehingga ongkos produksi akan menjadi rendah sehingga membuat harga produk menjadi kompetitif<sup>7</sup>.

Definisi strateginya, yang menyatakan bahwa kualitas adalah segala sesuatu yang mampu memenuhi keinginan atau kebutuhan pelanggan (*meeting the needs of customer*), ISO 9000:2000 yang mengatur definisi kosakata, mendefinisikan mutu sebagai : “derajat atau tingkat karakteristik yang melekat pada produk yang mencakup persyaratan atau keinginan”<sup>8</sup>. Keistimewaan atau keunggulan produk dapat diukur melalui tingkat kepuasan pelanggan. Keistimewaan ini tidak hanya terdiri dari karakteristik produk yang ditawarkan, tetapi juga pelayanan yang menyertai produk itu, seperti cara pemasaran, cara pembayaran, ketepatan penyerahan, dan lain-lain. Keistimewaan suatu produk dapat dibagi dalam dua bagian, yaitu ; keistimewaan langsung dan keistimewaan atraktif. Keistimewaan langsung berkaitan dengan kepuasan pelanggan yang diperoleh secara langsung dengan mengkonsumsi produk yang memiliki karakteristik unggul seperti produk tanpa cacat, keterandalan (reliability), dan

<sup>6</sup> Goetsch, D.L. & Davis, S. (1994). Introduction to Total Quality : Quality, Productivity, Competitiveness. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall International, Inc. p.4.

<sup>7</sup> Feigenbaum, A.V., (1991). Total Quality Control, 3<sup>rd</sup> edition Mc Graw-Hill, Inc.

<sup>8</sup> Suardi, Rudi (2001). Sistem Manajemen Mutu ISO 9000:2000; Penerapannya untuk mencapai TQM, Jakarta : Penerbit PPM.

lain-lain. Sedangkan keistimewaan atraktif memberikan kepuasan pelanggan yang diperoleh secara tidak langsung dengan mengkonsumsi produk itu.

Berdasarkan definisi tentang kualitas baik yang konvensional maupun yang lebih strategik, dapat dikatakan bahwa pada dasarnya kualitas mengacu pada pengertian pokok berikut:

1. Kualitas terdiri dari sejumlah keistimewaan produk, baik keistimewaan langsung maupun atraktif yang memenuhi keinginan pelanggan dan dengan demikian memberikan kepuasan atas penggunaan produk itu.
2. Kualitas terdiri dari segala sesuatu yang bebas dari kekurangan atau kerusakan, untuk itu diperlukan proses dan system pengendalian proses yang bias menjamin kesesuaian produk dengan kebutuhan atau keinginan pelanggan.

Berdasarkan pengertian dasar tentang kualitas diatas, tampak bahwa kualitas selalu berfokus pada pelanggan (*customer focus quality*). Dengan demikian produk-produk didesain, diproduksi, serta pelayanan diberikan untuk memenuhi keinginan pelanggan demi tercapainya kepuasan pelanggan (*customer satisfaction*).

### 2.2.1 Dimensi Kualitas

Fokus dari kualitas adalah kepuasan pelanggan, Sehingga perlu memahami komponen-komponen yang berkaitan dengan kepuasan pelanggan itu. Karena kepuasan pelanggan sangat dipengaruhi oleh persepsi dan ekspektasi mereka, maka produsen perlu mengetahui faktor yang mempengaruhi hal tersebut. Faktor yang mempengaruhi persepsi dan ekspektasi pelanggan adalah:

1. Kebutuhan dan keinginan yang berkaitan dengan hal-hal yang dirasakan pelanggan ketika sedang mencoba melakukan transaksi dengan produsen / pemasok produk.
2. Pengalaman masa lalu ketika mengkonsumsi produk dari perusahaan atau pesaing-pesaingnya.
3. Pengalaman dari sesama pelanggan, dimana mereka akan saling menceritakan kualitas produk yang akan dibeli oleh pelanggan itu.
4. Konsumsi melalui iklan dan pemasaran juga mempengaruhi persepsi pelanggan.

Untuk menganalisis karakteristik kualitas produk tersebut maka diperlukan dimensi kualitas produk seperti yang dikemukakan oleh Gravin(1987)

1. Performansi(*performance*), berkaitan dengan aspek fungsional itu dan merupakan karakteristik utama yang dipertimbangkan pelanggan ketika akan membeli suatu produk. Misalnya untuk mobil adalah akselerasi, kecepatan, kenyamanan dan pemeliharaan.
2. *Features*, aspek kedua dari performansi yang menambah fungsi dasar, berkaitan dengan pilihan-pilihan dan pengembangannya. Misalnya untuk produk penerbagan adalah memberikan minuman dan makanan gratis dalam pesawat, pembelian tiket pesawat melalui telepon dan penyerahan dirumah. Untuk produk mobil seperti atap yang dibuka, dll.
3. Keandalan(*comformance*), berkaitan dengan tingkat kesesuaian produk terhadap spesifikasi yang telah ditetapkan sebelumnya berdasarkan keinginan pelanggan. Karakteristik ini mengukur banyaknya atau persentase produk yang gagal memenuhi sekumpulan standar yang ditetapkan dan karena itu perlu dikerjakan ulang atau diperbaiki.
4. *Durability*, merupakan ukuran masa pakai suatu produk. Karakteristik ini berkaitan dengan daya tahan atau masa pakai produk itu. Misalnya pelanggan akan membeli ban mobil berdasarkan daya tahan ban itu dalam penggunaan, sehingga ban-ban mobil yang memiliki masa pakai yang lebih panjang tentu akan merupakan salah satu karakteristik kualitas produk yang dipertimbangkan oleh pelanggan ketika akan membeli ban.
5. Estetika (*aesthetics*), Merupakan karakteristik yang bersifat subjectif sehingga berkaitan dengan pertimbangan pribadi atau refleksi dari preferensi atau pilihan individual.
6. Kualitas yang dirasakan (*perceived quality*), bersifat subjectif, berkaitan dengan perasaan pelanggan dalam mengkonsumsi produk seperti: meningkatkan harga diri, moral, dll.

Dimensi kualitas yang diyakini didasarkan berdasarkan suatu pandangan tertentu. Pandangan tersebut dapat didasarkan dari 2 sudut pandang umum, yaitu dari pandangan tradisional dan pandangan modern. Secara tradisional, para pembuat produk

(manufaktur) biasanya melakukan inspeksi terhadap produk setelah produk itu selesai dibuat dengan jalan menyortir produk yang baik dari yang jelek, kemudian mengerjakan ulang bagian – bagian produk cacat itu. Dengan demikian pengertian tradisional tentang konsep tradisional hanya berfokus pada aktivitas inspeksi untuk mencegah lolosnya produk – produk cacat ke tangan pelanggan. Kegiatan inspeksi ini dipandang dari perspektif sistem kualitas modern adalah sia – sia, karena tidak memberikan kontribusi pada peningkatan kualitas (*quality improvement*). Dewasa ini, pengertian dari konsep kualitas adalah lebih luas daripada sekedar aktivitas inspeksi. Pengertian modern dari konsep kualitas adalah membangun system kualitas modern, Pada dasarnya, system kualitas modern dapat dicirikan oleh lima karakteristik yang diuraikan sebagai berikut<sup>9</sup> :

**Pertama**, Sistem kualitas modern berorientasi pada pelanggan. Produk-produk didesain sesuai dengan keinginan pelanggan melalui suatu riset pasar, kemudian diproduksi dengan cara-cara yang baik dan benar sehingga produk yang dihasilkan memenuhi spesifikasi desain (memiliki derajat konformansi yang tinggi), Serta pada akhirnya memberikan kepuasan pelanggan.

**Kedua**, Sistem kualitas modern dicirikan oleh adanya partisipasi aktif yang dipimpin oleh manajemen puncak (*Top Management*) dalam proses peningkatan kualitas secara terus-menerus.

**Ketiga**, Sistem kualitas modern dicirikan oleh adanya pemahaman dari setiap orang terhadap tanggung jawab spesifik untuk kualitas. Meskipun kualitas seharusnya menjadi tanggung jawab setiap orang, namun patut pula diketahui bahwa setiap orang memiliki tanggung jawab yang berbeda, tergantung pada posisi kerjanya dalam perusahaan.

**Keempat**, Sistem kualitas modern dicirikan oleh adanya aktivitas yang berorientasi pada tindakan pencegahan kerusakan, bukan upaya untuk mendeteksi kerusakan saja. Meskipun tetap menjadi persyaratan untuk melakukan beberapa inspeksi singkat atau audit terhadap produk akhir, tetapi usaha kualitas dari perusahaan seharusnya lebih difokuskan pada tindakan pencegahan sebelum terjadinya kerusakan dengan jalan melaksanakan aktivitas secara baik dan benar pada waktu pertama kali mulai melaksanakan suatu

---

<sup>9</sup> Gaspers, Vincent (2001). Total Quality Management, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

aktivitas (*do it right the first time*). Dengan melaksanakan prinsip ini, usaha meningkatkan kualitas akan mampu mengurangi ongkos produksi.

**Kelima**, Sistem kualitas modern dicirikan oleh adanya suatu filosofi yang menganggap bahwa kualitas merupakan “jalan hidup” (*way of life*). Dengan demikian, sistem kualitas modern dicirikan oleh adanya kultur perusahaan yang melaksanakan proses peningkatan kualitas secara terus-menerus.

Namun lain halnya apabila suatu kualitas tersebut dirancang. Dimana dalam hal ini kualitas dirancang dari sudut pandang tahapan proses. Kualitas dirancang atau didesain melalui pencegahan (*prevention*) dengan melakukan aktifitas atau keinginan yang berhubungan dengan pemenuhan tingkat performansi secara keseluruhan seperti berikut:

- a. Mengintegrasikan rantai pemasok-pelanggan (*customer-supplier chain*)
- b. Meningkatkan kualitas melalui sistem
- c. Kualitas merupakan tanggung jawab semua orang

Pada dasarnya sistem kualitas modern dapat dibagi dalam tiga bagian, yaitu:

1. Kualitas desain
2. Kualitas konfirmasi
3. Kualitas pemasaran dan purna jual

**Kualitas Desain** pada dasarnya mengacu pada aktivitas yang menjamin bahwa produk baru, atau produk yang dimodifikasi, didesain sedemikian rupa untuk memenuhi keinginan dan harapan pelanggan serta secara ekonomis layak untuk diproduksi atau dikerjakan (*performance*).

**Kualitas Konformasi** (*conformance*), mengacu kepada pembuatan produk atau pemberi jasa pelayanan yang memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya pada tahap desain itu. Dengan demikian kualitas konformasi menunjukkan tingkat sejauh mana produk yang dibuat memenuhi atau sesuai dengan spesifikasi produk. Pada umumnya bagian produksi, perencanaan dan pengendalian produksi, dan pengiriman memiliki tanggung jawab utama untuk kualitas konformasi itu.

**Kualitas pemasaran dan layanan purna jual**, berkaitan dengan tingkat sejauh mana dalam menggunakan produk itu memenuhi ketentuan-ketentuan dasar tentang pemasaran, pemeliharaan, dan layanan purna jual.

Dari uraian tentang sistem kualitas modern siatis diketahui bahwa pelaksanaan kualitas secara terpadu memerlukan beberapa hal yang berkaitan dengan pengoperasian struktur kerja, pendokumentasian yang efektif, prosedur teknik dan material yang terintegrasi, dimana semua akan dijadikan sebagai petunjuk dalam melaksanakan tindakan koordinasi terhadap tenaga kerja, mesin-mesin, informasi dan lainnya untuk memenuhi kepuasan pelanggan mampu menekan ongkos produksi sampai pada tingkat minimum.

### 2.2.2 Pengukuran Performansi Dimensi Kualitas

Pengukuran performansi dari dimensi kualitas yang dilakukan produsen akan sangat bermanfaat sebagai langkah positif dalam memacu performansi bisnis sendiri. Pengukuran kualitas paling sedikit akan memberikan dua manfaat untuk pembuatan keputusan, yaitu:

1. Informasi tentang status performansi bisnis sekarang, dan
2. Identifikasi untuk perbaikan performansi bisnis

Pengukuran performansi kualitas dapat dilakukan pada tiga tingkat, yaitu: pada tingkat proses (*process level*), tingkat output internal (*internal output level*), dan tingkat output eksternal (*eksternal output level*).

**Pengukuran pada tingkat proses** (*comformance*), mengukur setiap langkah atau aktivitas dalam proses dan karakteristik input yang diserahkan oleh pemasok (*supplier*) yang mengendalikan karakteristik output yang diinginkan. Tujuan dari pengukuran pada tingkat ini adalah pengidentifikasian perilaku yang mengatur setiap langkah dalam proses, dan menggunakan ukuran-ukuran ini mengendalikan operasi serta memperkirakan output yang akan dihasilkan sebelum output itu diproduksi atau diserahkan ke pelanggan.



**Pengukuran pada tingkat output internal (reliability, durability)**, mengukur karakteristik output yang dihasilkan dibandingkan dengan spesifikasi karakteristik yang diinginkan pelanggan.

**Pengukuran pada tingkat output eksternal (serviceability dan perceived quality)**. Mengukur bagaimana baiknya suatu produk memenuhi kebutuhan pelanggan dan ekspektasi pelanggan, jadi mengukur tingkat kepuasan dalam mengkonsumsi produk yang diserahkan. Pengukuran ini merupakan tingkat tertinggi dalam pengukuran performansi kualitas.

Melaksanakan pengukuran performansi kualitas, pada dasarnya kita harus memperhatikan aspek internal (*defect and cost*) dan aspek eksternal (*customer satisfaction and market share*) dari perusahaan (organisasi). Proses pengukuran yang dilakukan seharusnya mempertimbangkan setiap aspek dari proses operasional yang mempengaruhi persepsi pelanggan tentang nilai kualitas. Dan identifikasi semua atribut produk yang menentukan kepuasan pelanggan akan berbeda untuk setiap perusahaan, namun umumnya atribut yang dipertimbangkan dalam pengukuran kualitas adalah sebagai berikut :

1. Dukungan purna-jual, terutama waktu penyerahan dan bantuan yang diberikan, mencakup beberapa hal sebagai berikut:
  - a. Kecepatan penyerahan, berkaitan dengan lamanya antara waktu pemesanan dan waktu penyerahan produk.
  - b. Konsistensi, berkaitan dengan kemampuan pemenuhan perjanjian jadwal.
  - c. Tingkat pemenuhan pesanan, berkaitan dengan kelengkapan dari pesanan yang dikirim.
  - d. Informasi, berkaitan dengan status pesanan.
  - e. Tanggapan dalam keadaan darurat, berkaitan dengan kemampuan menangani permintaan – permintaan nonstandard yang bersifat tiba – tiba.
  - f. Kebijakan pengembalian, berkaitan dengan prosedur menangani barang – barang rusak yang dikembalikan pelanggan.
2. Interaksi antara karyawan (pekerja) dan pelanggan, mencakup :

- a. Ketepatan waktu, berkaitan dengan kecepatan memberikan tanggapan terhadap keperluan – keperluan pelanggan.
- b. Penampilan karyawan, berkaitan dengan kebersihan dan kecocokan dalam pakaian.
- c. Kesopanan dan tanggapan terhadap keluhan – keluhan, berkaitan dengan bantuan yang diberikan dalam menyelesaikan masalah – masalah yang diajukan pelanggan.

Disamping berbagai elemen atribut utama, setiap organisasi bisnis seharusnya mengevaluasi elemen – elemen kunci dari operasi yang mempengaruhi kepuasan pelanggan.

### 2.2.3 Standar Mutu

Sejumlah standar sistem manajemen mutu telah dikembangkan untuk memberikan dasar tujuan bagaimana menilai kemampuan sebuah perusahaan dalam mengukur kepastian bahwa barang atau jasa yang diberikan sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Standar pertama yang dikembangkan dan digunakan di Inggris yaitu *Defence Standard 05-21* (1960-an). Pada tahun 1980-an standar diganti dengan *North Atlantic Treaty Organization Allied Quality Assurance Publication* (NATO AQAP) yang sama bobotnya. Kemudian penggunaan berkembang dan meluas ke dalam industri. Kemudian agar penyerapan lebih luas mengenai teknik – teknik manajemen mutu, pemerintah mengeluarkan prakarsa akan pentingnya mutu dan penyediaan bantuan untuk menerapkannya. Pada tahun 1987 sejumlah Negara kunci meratifikasi sebuah perjanjian pengakuan standar sistem mutu internasional (*International Quality System*), seri ISO 9000, dimana seri ini yang terkemuka hingga saat ini.

Sistem manajemen mutu adalah sistem manajemen formal yang menentukan lingkungan mutu didalam sebuah bisnis, apakah pabrikasi atau jasa, berteknologi atau tradisional. Standar – standard sistem mutu menentukan ukuran pengawasan yang diperlukan untuk membantu memastikan bahwa produk jadi atau jasa sesuai dengan kebutuhan pelanggan<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> ISO/TR 10014 (2000). Guidelines for managing the economics of quality, International Organization for Standardization.

#### 2.2.4 Biaya Mutu

Biaya mutu adalah semua biaya yang ditimbulkan oleh bisnis untuk memastikan bahwa jumlah keseluruhan layanan yang disediakan bagi pelanggan sesuai dengan tuntutan mereka. Tujuan dengan adanya suatu sistem program perbaikan mutu (*Quality Improvement Programme System*) adalah mengembangkan pendekatan guna memastikan bahwa barang atau jasa yang diproduksi untuk memenuhi kebutuhan – kebutuhan pelanggan dengan biaya serendah – rendahnya<sup>11</sup>. Didalam perusahaan biaya mutu terdiri atas dua bagian yaitu bagian biaya pengendalian dan biaya kegagalan pengendalian. Dengan demikian, biaya mutu perlu diukur adalah karena biaya – biaya tersebut besar sekali bahkan berkisar antara 20 – 40 % dari penjualan, tidak dikenal, dan dapat mempunyai dampak sangat berarti terhadap profitabilitas dan kepuasan para pelanggan<sup>12</sup>. Salah satu cara yang paling berguna dalam mengelompokkan biaya – biaya yang berkaitan dengan mutu adalah membedakan antara biaya – biaya penyesuaian dan biaya – biaya ketidaksesuaian.

Biaya penyesuaian merupakan beberapa biaya yang timbul dari kegiatan – kegiatan pencegahan yang dilakukan yang tidak dapat dihindari. Biaya ini termasuk semua biaya yang berkaitan dengan setiap kegiatan yang dirancang untuk memastikan bahwa kegiatan – kegiatan yang tepat dilaksanakan dengan benar, sejak pertama kali. Biaya – biaya mutu termasuk biaya – biaya pegawai, *overhead*, bahan – bahan yang dikonsumsi, penyusutan dan perlengkapan modal. Biaya biaya yang harus dimasukkan sebagai biaya mutu adalah semua biaya yang berhubungan untuk suatu kegiatan harus dimasukkan sebagai bagian perhitungan biaya mutu. Biaya mutu dapat digunakan sebagai dasar untuk menjadikan banyak bagian sebagai sasaran perbaikan (kegiatan yang menimbulkan biaya – biaya kegagalan yang tinggi dan memiliki dampak terbesar terhadap kepuasan pelanggan. Program perbaikan mutu juga akan terus meningkatkan mutu berupa bentuk, seperti misalnya pengembangan produk yang baru untuk menggantikan model yang tua, pemakaian teknologi yang baru, dan revisi proses untuk

<sup>11</sup> Miller, Ian (1999). Performance Improvement, part 2, Industrial Management dan Data System, MCB University Press.

<sup>12</sup> Beecroft, G. Dennis (2000). Cost of Quality, Quality Planning and Bottom Line, G Dennis Beecroft Inc. 275 Brokview Crt. Ancaster, ON L9G IJ8 Canada.

mengurangi angka kesalahan. Peningkatan mutu diperlukan oleh kedua jenis mutu : keistimewaan produk dan bebas dari defisiensi. Kebutuhan pelanggan adalah sasaran yang bergerak. Untuk menjaga biaya bersaing, perusahaan harus terus menerus mengurangi tingkat defisiensi produk dan defisiensi proses. Biaya yang bersaing juga merupakan sasaran yang bergerak organisasi untuk mengembangkan produk dan keistimewaan proses yang baru.

Biaya ketidaksesuaian adalah semua biaya yang timbul karena terjadinya kegagalan – kegagalan. Bila tidak terjadi kegagalan, tidak akan perlu mengadakan penilaian dan pembetulan kegiatan. Biaya – biaya ketidaksesuaian termasuk biaya – biaya kegagalan dan juga banyak biaya penilaian yang hanya diperlukan karena adanya tingkat – tingkat kegagalan yang tinggi.

1. Biaya – biaya yang timbul karena tidak mengerjakan segala sesuatu dengan benar sejak pertama kali (biaya kegagalan).
2. Biaya – biaya penilaian (biaya penerapan berbagai sistem).
3. Biaya – biaya yang berhubungan dengan pekerjaan yang salah.

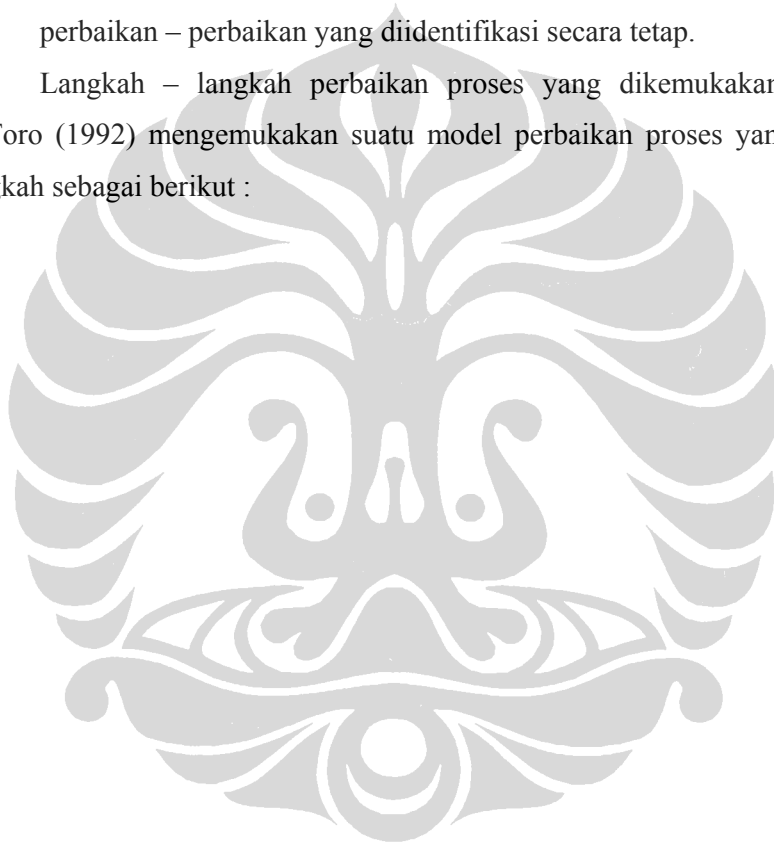
### 2.2.5 Proses dan Langkah – langkah Perbaikan Proses

Suatu proses dapat didefinisikan sebagai interaksi sekuensial dari orang, material, metode, dan mesin atau peralatan dalam suatu lingkungan guna menghasilkan nilai tambah output untuk pelanggan. Proses kerja atau proses bisnis perlu ditingkatkan performansinya secara terus – menerus agar mampu memuaskan pelanggan secara terus – menerus. Terdapat empat kelompok orang yang terlibat dalam operasi dan perbaikan proses, yaitu : pelanggan (*customer*), kelompok kerja (*work group*), pemasok (*supplier*), dan pemilik (*owner*). Konsep dari manajemen proses berkaitan dengan perbaikan kualitas. Gabriel Pall (1987) mengidentifikasi enam komponen yang terpenting untuk manajemen proses yaitu :

1. Kepemilikan (*ownership*), menugaskan tanggung jawab untuk desain, operasi dan perbaikan proses.
2. Perencanaan (*planning*), menetapkan suatu pendekatan terstruktur dan terdisiplin untuk mengerti, mendefinisikan, dan mendokumentasikan semua komponen utama dalam proses dan hubungan antar komponen utama itu.

3. Pengendalian (*control*), menjamin efektifitas, dimana semua output dapat diperkirakan dan konsisten dengan ekspektasi pelanggan.
4. Pengukuran (*measurement*), memetakan performansi atribut terhadap kebutuhan pelanggan dan menetapkan criteria untuk akurasi, presisi, dan frekuensi perolehan data.
5. Perbaikan dan peningkatan (*improvement*), meningkatkan efektifitas dari proses melalui perbaikan – perbaikan yang diidentifikasi secara tetap.
6. Optimasi (*optimization*), meningkatkan efisiensi dan produktivitas melalui perbaikan – perbaikan yang diidentifikasi secara tetap.

Langkah – langkah perbaikan proses yang dikemukakan oleh Tenner dan DeToro (1992) mengemukakan suatu model perbaikan proses yang terdiri dari enam langkah sebagai berikut :



### 2.3 DFMA (*Design For Manufacture and Assembly*)

DFMA) adalah Desain untuk X *Tool* (DFX). Ini merupakan prosedur sistematis yang bertujuan untuk membantu perusahaan membuat penuh menggunakan proses manufaktur yang ada dan menjaga jumlah bagian dalam perakitan ke minimum. Hal tersebut dapat dicapai dengan memungkinkan terhadap analisis desain ide. Ini bukan desain sistem, dan inovasi apapun harus datang dari tim desain, tetapi dapat memberikan hitungan untuk membantu membuat keputusan pada tahap awal desain. DFMA memberikan prosedur yang sistematis untuk menganalisis usulan desain dari sudut pandang manufaktur dan perakitan. DFMA mendorong dialog antara bagian yang memainkan peranan dalam menentukan produk akhir biaya selama tahap desain awal.<sup>13</sup>

Memulai dengan DFMA adalah semudah menentukan tingkat keterlibatan dalam memutuskan untuk komitmen ke DFMA. Percepatan tingkat keterlibatan DFMA adalah untuk dapat segera mempelajari biaya dari bagian yang sedang dibeli dari pemasok. Tingkat berikutnya adalah melakukan pengelolaan uji biaya dan produk yang sedang di produksi. Tingkat keterlibatan DFMA baik dalam merancang dan organisasi manufaktur yang paling berpotensi untuk biaya dramatis adalah biaya penggunaan informasi produk dan penyederhanaan pada awal pengembangan generasi produk<sup>14</sup>.

DFMA dirancang untuk memberikan cara untuk mengevaluasi dan kemudahan kemampuan perakitan manufaktur keseluruhan dari suatu produk. Desain untuk perakitan memerlukan pengguna untuk menilai apakah masing-masing diperlukan, dan mempertimbangkan waktu dan biaya perakitan produk. DFMA analisis memiliki potensi untuk mengurangi biaya manufaktur dan jalannya siklus produk.<sup>15</sup>

---

<sup>13</sup> Huang, G.Q., (1996). *Design for X: Concurrent Engineering Imperatives*, Chapman & Hall, London.

<sup>14</sup> Dewhurst, Boothroyd (2007). *DFMA and Concurrent Costing*. April 10, 2009. Boothroyd Dewhurst, Inc.  
<http://www.dfma.com/software/index.html>

<sup>15</sup> Fascicle of Management and Technological Engineering (2008). Volume VII (XVII), Annals of the ORADEA University.



Gambar 2.3.1 Cost Saving With DFMA

#### **Supplier Costing:**

Setelah desain selesai dan sudah waktunya untuk pembelian untuk bekerja sama dengan pemasok, yang harusnya biaya pendekatan DFM bersamaan pembiayaan menjadi tak ternilai. Pembelian dan pengelolaan pemasok pasokan memiliki keuntungan yang unik dengan pengetahuan biaya tagihan dari materi yang telah benar pada terapan ilmu sebelumnya. Setiap bagian dapat menyertakan perincian keterangan dalam mengidentifikasi apa yang diatur, bahan, proses, dan hiasan yg dibuat harus dengan alat pembiayaan.

#### **Product Costing:**

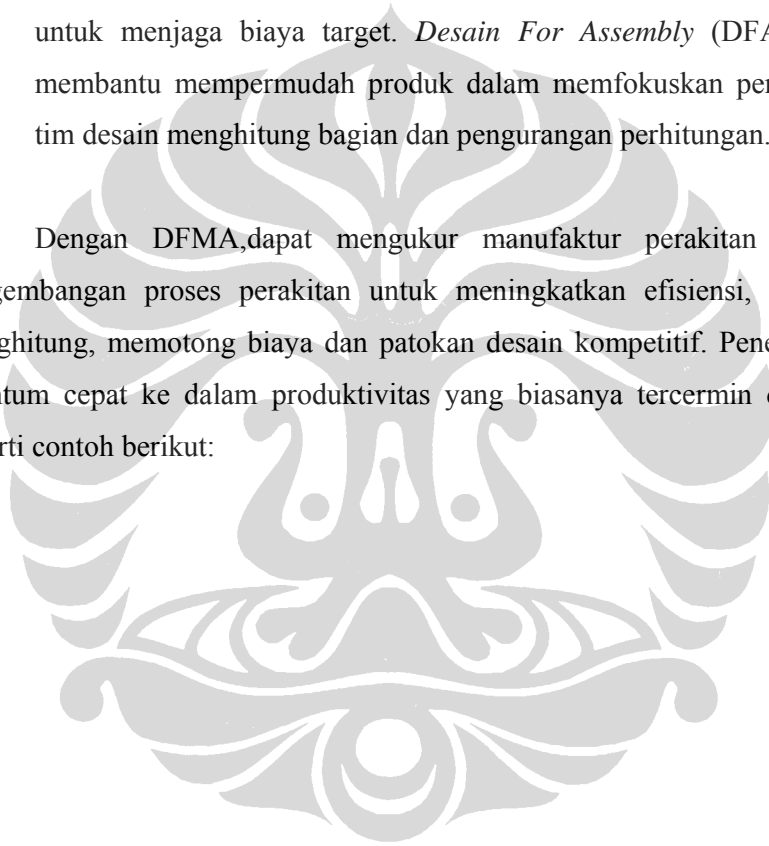
Potensi penurunan biaya terus bila memilih bahan yang optimal dan proses produksi untuk setiap bagian dalam desain. Untuk menggunakan desain Industri (DFM) perangkat lunak, mencapai pemahaman menyeluruh dari biaya penggerak utama yang terkait dengan manufaktur produk dan membentuk sebuah patokan untuk produk "biaya tetap." Pendekatan Pusat biaya tetap yang nyata akumulasi informasi tentang biaya produksi dan biaya khusus mencatat yang muncul dalam desain. Biaya yang besar dalam pengembangan produk yang

berhubungan dengan desain kemampuan manufaktur, jadi harus berbagi informasi dengan biaya-pemasok dapat membuat kolaborasi lebih menghasilkan. Biaya dalam model DFM pembiayaan bersamaan pada perangkat lunak memandu melalui proses penilaian alternatif dan bahan-bahan dan memberikan informasi untuk biaya rancang bahan.

***Product Simplification:***

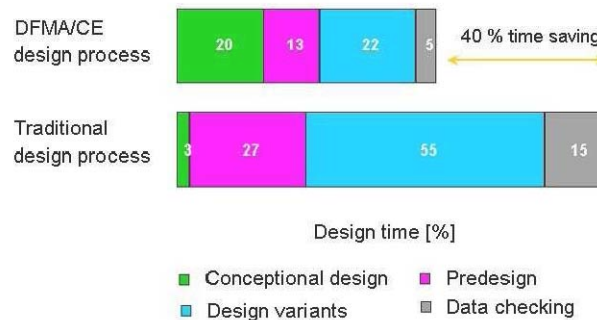
Selama tahap awal desain, pengawasan perhitungan adalah bagian terpenting untuk menjaga biaya target. *Desain For Assembly* (DFA) perangkat lunak membantu mempermudah produk dalam memfokuskan perhatian pada bagian tim desain menghitung bagian dan pengurangan perhitungan.

Dengan DFMA, dapat mengukur manufaktur perakitan dan biaya dalam pengembangan proses perakitan untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi bagian menghitung, memotong biaya dan patokan desain kompetitif. Penerapan DFMA pada kuantum cepat ke dalam produktivitas yang biasanya tercermin dalam perampingan seperti contoh berikut:





### Advantages of DFMA



### 3/L Shortened design process

Gambar 2.3.2 Desain Proses Singkat

Ratusan perusahaan terkemuka DFMA menggunakan metode dan alat-alat untuk membuat produk mereka "bersandar dari awal." Sejak metodologi dan alat-alat yang diperkenalkan ke pasar oleh Dr Boothroyd dan Dr Dewhurst pada tahun 1983, perusahaan berikut termasuk Harley-Davidson, John Deere, dan Abbott Laboratorium - telah memotong jutaan dolar dari produk mereka, sementara biaya produksi dalam membuat produk lebih mudah untuk mempertahankan dan menghasilkan.

DFMA memberikan manfaat nyata seluruh produk pengembangan organisasi:

1. Manufaktur Teknik
  - a. Perkiraan desain daya tenaga kerja, termasuk sub-komponen secara individu
  - b. Menganalisa manufaktur sel atau lini hasil perakitan
  - c. Memberikan umpan balik ke desain teknik yang dapat berhubungan dengan (uang, waktu, kompleksitas), dalam dua cara yang berbeda dan cara menjaga diskusi yang konstruktif dan membantu membuat kemajuan yang terukur ke arah tujuan yang realistis, desain manufaktur.

DFMA memungkinkan untuk menampilkan, baik dalam bentuk grafis dan datar, berbagai biaya yang berkaitan dengan proses manufaktur dan bahan-bahan.

DFMA dapat membantu Anda memahami dan mengukur dampak alternatif desain pada manufaktur, dari awal tahapan pembangunan suatu produk.

## 2. Desain Teknik

Penggunaan DFMA mengurangi atau bahkan menghilangkan yang mahal, kembali dan selanjutnya pelatihan yang biasanya ditandai dengan proses pengembangan produk.

## 3. Biaya Manajemen

DFMA memungkinkan untuk dapat melihat kritis yang ada di desain, dan membuka peluang untuk biaya, terutama melalui pengurangan bagian dalam desain. Tentu saja, setiap kali mengurangi bagian, akan juga mengurangi kompleksitas perakitan, tetapi pengurangan tersebut hampir selalu menjadi kecil oleh pengurangan yang dipotong sebagai bagian dari biaya.

## 4. C-Level Pelaksana

Perusahaan yang paling efisien di dunia adalah melakukan semua hal-hal dengan menggunakan *Desain For Manufacture and Assembly* (DFMA). Keunggulan kompetitif dan biaya dapat lebih mudah dicapai jika desain, manufaktur, dan biaya tim manajemen memiliki alat "antisipasi" yang dapat digunakan untuk mengevaluasi berbagai alternatif, pemilihan yang benar, dan kemudian menggunakan hasil evaluasi sehingga berhasil mengelola desain dan proses produksi. DFMA merupakan alat yang membantu Anda menurunkan biaya barang yang dijual, ketika meningkatkan kualitas dan kemampuan produk manufaktur.

Perusahaan menggunakan DFMA untuk mencapai tiga tujuan utama<sup>16</sup>:

1. Meningkatkan produk mereka sejalan mengurangi biaya. Mereka menyederhanakan produk mereka, meningkatkan kualitas, mengurangi biaya produksi dan perakitan, dan mengukur peningkatan.

---

<sup>16</sup> Dewhurst, Boothroyd (2005, April). How to Use Design For Manufacture and Assembly (DFMA) to Slash Manufacturing Overhead, Make Products Competitive and Bring New Efficiencies to the Manufacturing Process, A White Paper for Corporate Management.

2. Meningkatkan keunggulan kompetitif. Mereka belajar kompetitif produk, mengukur dan menentukan kualitas produksi dan kesulitan perakitan, dan menciptakan produk unggulan.
3. Bertanggung jawab pemasok. Mereka menggunakan DFMA sebagai "biaya tetap" untuk memprediksi biaya, menganalisa dan membicarakan tawaran pemasok, dan kepada pemasok luar untuk menjalankan yang terbaik.

DFMA dapat membantu anda memotong biaya ke titik di mana *outsourcing* tidak lagi menjadi pilihan hemat biaya. Atau, jika sudah menggunakan *outsourcing*, dapat membawa efisiensi dan ekonomi baru untuk *outsourced* manufaktur<sup>17</sup>.

Biaya dan kualitas produk ditentukan pada saat perancangan produk karena akan mempengaruhi pemilihan spesifikasi material, metode perakitan, serta pemilihan proses manufaktur. Prinsip perancangan produk dengan mempertimbangkan ketiga hal di atas dikenal dengan konsep *Design For Manufacture (DFM)* yang bertujuan untuk memudahkan proses pembuatan produk dan sekaligus meminimalkan biaya manufaktur (Boothroyd and Dewhurst, 2002). Aplikasi konsep DFM di Amerika mampu menurunkan biaya manufaktur antara 15% hingga 70% (Sackett dan Holbrook 1998). Keberhasilan DFM ditunjukkan pada hasil produksi biaya rendah tanpa mengorbankan kualitas produk<sup>18</sup>.

Pada industri peranan proses perakitan (*assembly*) menjadi sangat penting karena melibatkan jumlah komponen yang sangat banyak akibatnya diperlukan waktu yang cukup lama untuk proses perakitan. Proses perancangan produk dengan mempertimbangkan kebutuhan perakitan ini dikenal dengan konsep *Design For Assembly (DFA)* – (Boothroyd and Dewhurst, 2002). DFA merupakan pendekatan dalam sistematis dan merupakan perumusan langkah demi langkah proses.<sup>19</sup> DFA yang

<sup>17</sup> BLS's WWW user survey (n.d). US. Dept of Labor, Bureau of Statistics. April 10, 2009.  
<http://www.bls.gov/oco/>

<sup>18</sup> Ulrich, Karl T. & Eppinger, Steven D., (2000). *Product Design and Development*, 2nd Edition, Irwin McGraw-Hill.

<sup>19</sup> Boothroyd, Geoffrey., & Walker, Jack M. (1996). *Handbook of Manufacturing Engineering*, Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York, New York 10016.

menunjukkan bagaimana proses untuk mengukur faktor dari seberapa efisien desain dalam hal perakitan.

Pengurangan jumlah komponen komponen dapat dilakukan dengan cara menentukan apakah suatu komponen memenuhi ketiga syarat. Ketiga syarat tersebut adalah

1. apakah komponen tersebut bergerak relatif terhadap komponen lainnya,
2. apakah material komponen tersebut perlu dibedakan dan
3. apakah komponen tersebut harus dipisahkan dari semua komponen dalam proses assembly.

Jika terdapat komponen yang tidak memenuhi ketiga syarat tersebut maka dapat dihilangkan atau digabung dengan komponen lainnya. Tujuan dari konsep DFMA adalah mendapatkan rancangan produk yang hanya tersusun dari komponen-komponen yang memang sangat diperlukan dan tidak dapat digantikan fungsinya dengan komponen lainnya. Dengan jumlah komponen yang minimal dan proses perakitan yang lebih mudah maka akan mengurangi waktu perakitan sekaligus biaya perakitan untuk suatu produk.

Oleh karena itu, istilah *Design For Manufacture* (DFM) berarti desain untuk kemudahan manufaktur dari kumpulan bagian-bagian yang akan membentuk produk setelah perakitan dan *Design For Assembly* (DFA) berarti desain produk untuk kemudahan perakitan. Dengan demikian, *Design For Manufacture and Assembly* (DFMA) adalah kombinasi dari DFA dan DFM<sup>20</sup>.

---

<sup>20</sup> Marinescu, Ioan & Boothroyd, Geoffrey (2002). *Product Design for Manufacture and Assembly* 2ed, Manufacturing Engineering and Materials Processing, Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York, New York 10016.

## 2.4 DOE (*Design Of Experiment*)

Design Of Experiment atau yang lebih dikenal dengan perancangan eksperimen adalah sebagai sebuah metodologi yang didasari prinsip – prinsip statistika seperti yang kita kenal sekarang dirintis oleh Sir Donald F. Fisher lewat publikasinya “The Arrangement of Field Experiments” pada tahun 1926. Tiga hal yang ditekankan oleh Fisher disini: *local control*, *replication* dan *randomization*.

Dalam merencanakan riset diperlukan program riset yang merupakan usaha yang terorganisir pada sebagian saintis untuk mendapatkan pemahaman tentang proses alamiah dan manufaktur. Total program mungkin memerlukan beberapa *individual studies*. Masing – masing *individual studies* ini memerlukan beberapa keputusan kritis. Karenanya, penting bagi peneliti memiliki perencanaan tertulis yang menjadi pedomannya. Perencanaan tertulis ini dapat berupa sebuah *checklist* yang berisikan :

- a. Tujuan spesifik dari eksperimen
- b. Identifikasi faktor – faktor pengaruh dan faktor – faktor apa saja yang diubah – ubah dan apa saja yang dipertahankan konstan.
- c. Karakteristik yang akan diukur
- d. Prosedur yang spesifik untuk melakukan pengujian atau mengukur karakteristik
- e. Jumlah pengulangan (repetisi) eksperimen dasar yang akan dilakukan
- f. Sumber daya dan material yang tersedia

*Experiment* merupakan investigasi dengan membuat suatu set situasi tertentu dibawah protokol yang telah ditentukan untuk memeriksa dan menguji akibat dari hasil suatu observasi. Sedangkan *Comparative experiment* merupakan jenis eksperimen yang biasanya dilakukan peneliti pada bidang farmasi dan sejenis yang mengakibatkan dibangunnya lebih dari satu set keadaan dalam eksperimen, dan respon yang dihasilkan dari situasi yang berbeda tersebut akan saling dibandingkan. Terdapat pula suatu *treatments* yang berupa suatu set perlakuan yang dibuat untuk eksperimen untuk mendapat jawaban hipotesa riset, dan fokusnya kepada investigasi. Adapun *experimental unit* yang merupakan satuan fisik atau subyek yang dikenakan pada treatment secara indenpenden dengan satuan lainnya. Sedangkan *experimental error* merupakan variasi diantara *experimental unit* yang identik dan indenpenden. Dan

*comparative observational studies* yang merupakan studi yang sebenarnya ingin kita lakukan untuk eksperimen tetapi tidak memungkinkan karena alasan praktis atau etika.

Dengan demikian nantinya akan didapatkan hipotesa dan perancangan riset yang membuat suatu set situasi dan akibat yang ditimbulkan situasi tersebut dalam suatu eksperimen. Jadi, peneliti harus memastikan bahwa pemilihan *treatment* sesuai dengan hipotesa riset. Terdapat pula *control treatments* dimana *treatment* perbandingan yang diperlukan untuk menguji keefektifan dari suatu *treatment* percobaan. Tiga jenis *control treatment* : tanpa *treatment*, *placebo* (pemalsuan), dan standar. Dalam suatu perancangan eksperimen dikenal pula faktor yang merupakan sekelompok *treatment* tertentu dan level yang merupakan kategori dari setiap faktor yang dibuat. Sedangkan *factorial arrangement* merupakan penyusunan factorial, kombinasi yang mungkin dari beberapa level di dalam beberapa faktor *treatment*. Terdapat pula *local control* berupa tindakan peneliti yang dilakukan untuk mengurangi atau mengendalikan *experimental error*, meningkatkan akurasi observasi, dan membuat kesimpulan dasar dari penelitian. Disini peneliti mengendalikan :

- a. Teknik. Meliputi tugas – tugas seperti pengukuran akurat, persiapan media, kalibrasi, dsb. Pada level yang lebih kompleks, peneliti harus memilih metode atau peralatan yang paling akurat dan set observasi yang paling tepat dengan biaya yang tersedia. Jika suatu teknik mengakibatkan presisi semakin berkurang maka variansi *experimental error* yang diestimasi menjadi meningkat.
- b. Pemilihan satuan eksperimen yang seragam. Satuan eksperimen yang heterogen akan menghasilkan nilai variansi *experimental error* yang besar. Akan tetapi, set kondisi yang sedikit akan membatasi kesimpulan dasar dari studi dikarenakan kondisinya seragam secara artifisial. Sifat eksperimen membentuk keseimbangan antara range beberapa kondisi dan keseragaman dari satuan.
- c. *Blocking*. Experimental unit di *block* menjadi kelompok – kelompok unit yang sama pada basis faktor atau faktor – faktor yang diharapkan atau diketahui, untuk mendapatkan beberapa hubungan dengan variabel keluaran atau pengukuran yang dihipotesakan untuk menanggapi secara berbeda terhadap beberapa *treatment*. 4 kriteria utama *blocking* : *proximity* (kedekatan), karakteristik fisik, waktu dan manajemen tugas – tugas. Percobaan keseragaman

merupakan suatu eksperimen yang experimental unitnya diukur tetapi tidak mengarah kepada treatment manapun. Sedangkan observasi *baseline* merupakan pengukuran kepentingan, atau beberapa variabel yang diketahui memiliki hubungan yang kuat dengan pengukuran kepentingan.

- d. Pemilihan rancangan eksperimen. Rancangan eksperimen merupakan penyusunan experimental unit yang digunakan untuk mengendalikan *experimental error* dan, pada saat yang sama, mengakomodasi rancangan *treatment* dalam sebuah eksperimen. Hal ini menimbulkan banyak keragaman dalam rancangan eksperimen (*completely randomized design* dan *randomized complete block design*).
- e. Pengukuran kovariat sebagai pengontrol variansi. Kovariat merupakan variabel – variabel yang berhubungan dengan hasil dari variabel yang menjadi perhatian kita. Semua atribut yang dapat diukur dan diperkirakan mempunyai hubungan statistik dengan variabel utama merupakan kandidat untuk menjadi perbaikan kovariat. Variasi merupakan hasil yang berhubungan dengan variasi kovariat seperti halnya efek treatment (jika ada).

Replikasi untuk eksperimen yang sah adalah untuk menunjukkan hasil – hasil yang dapat direproduksi, penjaminan terhadap hasil yang menyimpang dari kebiasaan, mengestimasi variansi *experimental error*, dan meningkatkan presisi pada estimasi rata - rata *treatment*. Replikasi merupakan repetisi (pengulangan) independen pada eksperimen dasar. Berbeda efisiensi relative pada rancangan eksperimen yang merupakan pengukuran untuk menentukan efisiensi dari suatu rancangan yang kita gunakan relatif dengan rancangan yang lain. Efisiensi didasarkan pada presisi. Lebih banyak rataan replikasi maka lebih presisi. Dalam prakteknya, variansi untuk setiap rancangan tidak diketahui dan harus diestimasi untuk data. Estimasi dipengaruhi oleh *degree of freedom*. Fisher merumuskan konsep informasi untuk pengukuran efisiensi ini. Dalam perancangan eksperimen dikenal beberapa metode penyelesaian antara lain :

1. *Completely Randomized Design*
2. *Complete Block Design*
3. *Latin Square Design*
4. *Factorial Design*

## 5. Perbandingan *Treatment*

Dalam penelitian ini lebih terarah dan tepat pada metode penyelesaian perancangan eksperimen dengan *factorial design* dilihat dari kesesuaian – kesesuaian yang ada dibandingkan dengan metode penyelesaian lainnya.

### 2.4.1 *Factorial Design*

Banyak penelitian dalam pembelajaran yang menggunakan dua faktor atau lebih. Pada umumnya, *factorial design* merupakan yang paling efisien dalam suatu penelitian. Dengan *factorial design* apa yang kita maksudkan untuk percobaan yang lengkap atau replikasi terhadap semua kombinasi level terhadap faktor – faktor dapat diketahui<sup>2122</sup>.

#### 2.4.1.1 Definisi

Faktor adalah jenis *treatment* seperti metode kompaksi (pencampuran) dan jenis agregat (bahan pencampur), dan beberapa kategori yang berbeda dari factor disebut level dari factor tersebut. *Factorial design* adalah eksperimen dengan desain *treatment factorial* yang terdiri dari seluruh kombinasi yang mungkin dari level – level beberapa faktor. Level dapat berupa kuantitatif (bernilai metrik) juga dapat kualitatif (bernilai non-metrik). Efek faktor adalah perubahan pada respon yang diukur yang disebabkan oleh perubahan level faktor tersebut .

Ada tiga tipe efek :

1. *Simple Effect* (efek sederhana), merupakan *contrast* antara level – level dari suatu faktor dengan level – level di faktor yang lain.
2. *Main Effect* (efek utama), merupakan *contrast* antara level – level pada suatu faktor terhadap rata – rata seluruh level pada faktor yang lain.
3. *Interaction Effect* (efek interaksi), merupakan pengukur perbedaan antara *simple effect* suatu faktor dengan level – level yang berbeda di faktor yang lain.

<sup>21</sup> Montgomery, Douglas C., (2001). *Design and analysis of experiments*, 5<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons, Inc.

<sup>22</sup> Montgomery, Douglas C., (2005). *Design and analysis of experiments*, 6<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons, Inc.



### 2.4.1.2 Keunggulan

Ringkasnya *factorial design* mempunyai beberapa keunggulan. Diantaranya lebih efisien dibandingkan dengan satu faktor pada satu kali percobaan/eksperimen. Selanjutnya *factorial design* dapat dibutuhkan ketika menghindari terlewatnya kesimpulan yang terjadi dari kemungkinan interaksi yang dilakukan. Pada akhirnya *factorial design* mengikuti efek dari faktor yang diestimasi pada beberapa level dari faktor lainnya, menghasilkan kesimpulan yang valid melebihi batas kondisi eksperimen<sup>21</sup>.

### 2.4.2 The General Factorial Design

Umumnya bentuk umum *factorial design* berdasarkan banyaknya faktor yang dapat dilakukan dan diuji berdasarkan eksperimen yang akan dilakukan. Disamping itu perlakuan terhadap *treatment* yang menghasilkan beberapa replikasi yang berpotensi melengkapi hubungan interaksi yang terjadi antar faktor – faktor yang saling terkait satu dengan yang lainnya. Dengan demikian dapat dilakukan suatu rancangan eksperimen berdasarkan *factorial design* yang diinginkan dalam penelitian. Adapun ragam jenis *factorial design* yang biasa dikenal dan dilakukan antara lain :

1. *Two-level ( $2^k$ ) factorial design*
2. *Three-level ( $3^k$ ) factorial design*
3. *Mixed-level factorial design*

Namun ragam jenis diatas bukan merupakan ketentuan yang mutlak dalam suatu *factorial design* yang ada. Intinya seberapa banyak faktor yang berpotensi dan saling terkait untuk dapat dilakukan suatu eksperimen serta replikasi terhadap *treatment* yang ditetapkan dalam eksperimen itu sendiri.

Sebagai contoh, pada *three – factor analysis of variance model* :

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijkl} \quad (2.4.3.1)$$

$$\begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, c \\ l = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

Tabel 2.4.2.1 *The Analysis Of Variance Table For The Three-Factor Fixed Effects Model*

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	Expected Mean Square	$F_0$
A	$SS_A$	$a - 1$	$MS_A$	$\sigma^2 + \frac{bcn \sum \tau_i^2}{a - 1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B	$SS_B$	$b - 1$	$MS_B$	$\sigma^2 + \frac{acn \sum \beta_j^2}{b - 1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
C	$SS_C$	$c - 1$	$MS_C$	$\sigma^2 + \frac{abn \sum \gamma_k^2}{c - 1}$	$F_0 = \frac{MS_C}{MS_E}$
AB	$SS_{AB}$	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB}$	$\sigma^2 + \frac{cn \sum \sum (\tau\beta)_{ij}^2}{(a - 1)(b - 1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
AC	$SS_{AC}$	$(a - 1)(c - 1)$	$MS_{AC}$	$\sigma^2 + \frac{bn \sum \sum (\tau\gamma)_{ik}^2}{(a - 1)(c - 1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AC}}{MS_E}$
BC	$SS_{BC}$	$(b - 1)(c - 1)$	$MS_{BC}$	$\sigma^2 + \frac{an \sum \sum (\beta\gamma)_{jk}^2}{(b - 1)(c - 1)}$	$F_0 = \frac{MS_{BC}}{MS_E}$
ABC	$SS_{ABC}$	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)$	$MS_{ABC}$	$\sigma^2 + \frac{n \sum \sum \sum (\tau\beta\gamma)_{ijk}^2}{(a - 1)(b - 1)(c - 1)}$	$F_0 = \frac{MS_{ABC}}{MS_E}$
Error	$SS_E$	$abc(n - 1)$	$MS_E$	$\sigma^2$	
Total	$SS_T$	$abcn - 1$			

### 2.4.3 *Three-Level ( $3^k$ ) Factorial Design*

Pada penelitian ini dipergunakan *Three-level ( $3^k$ ) factorial design* yang lebih dikenal dengan  *$3^k$  factorial design*, yang merupakan susunan dengan  $k$  faktor yang masing – masing terdiri dari 3 level. Dimana faktor dan interaksinya akan berupa bentuk yang besar. Akan menunjuk pada 3 level dari factor yang rendah, menengah dan tinggi. Ada beberapa perbedaan penggunaan notasi untuk penyajian level faktor tersebut, satu kemungkinannya level faktor disajikan dengan digit angka 0 (untuk rendah), 1 (untuk menengah), dan 2 (untuk tinggi). Sementara masing – masing kombinasi *treatment* dalam  $3^k$  *design* ditunjukkan dengan digit pula, dimana digit pertama ditunjukkan dengan level faktor A, digit kedua ditunjukkan dengan level faktor B,..., dan digit ke  $k$  ditunjukkan dengan level faktor K.

Sebagai contoh dapat ditunjukkan pada tabel dibawah yang menjabarkan interaksi antara faktor.

Tabel 2.4.3.1 Contoh Tabel Interaksi Antara Faktor *Three-Level (3<sup>k</sup>) Factorial Design*

A (i)	B (j)					
	B1			B2		
	C (k)			C (k)		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
A1	n1 n2 n3	... ... ...	... ... ...	... ... ...	... ... ...	... ... ...
A2	... ... ...	... ... ...	... ... ...	... ... ...	... ... ...	... ... ...
A3	... ... ...	... ... ...	... ... ...	... ... ...	... ... ...	... ... nn

Pada nantinya, akan dilakukan analisa varian untuk menguji pengaruh dari ketiga faktor tersebut pada taraf keberartian yang telah ditentukan ( $\alpha$ ). Komponen dari analisa varian 3 faktor ( $3^k$ ) ini adalah:

- ✓ a = 3
- ✓ b = 2
- ✓ c = 3
- ✓ n = 3

Uji hipotesis dengan menggunakan batasan tingkat kepercayaan seperti diatas dan faktor faktor yang berinteraksi maka dapat dijabarkan fariasi Ho dan H1 adalah sbb:

**A. Uji hipotesis faktor berpengaruh A (i)**

$$SS_A = \frac{1}{bcn} \sum_{i=1}^a y_i^2 - \frac{y^2 \dots}{abch} \quad (2.4.3.2)$$

$$H_o : \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 0$$

$$H_i : \text{at least one } \delta \neq 0$$

**B. Uji hipotesis faktor berpengaruh B (j)**

$$SS_B = \frac{1}{acn} \sum_{j=1}^b y_{.j.}^2 - \frac{y^2 \dots}{abcn} \quad (2.4.3.3)$$

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \beta \neq 0$$

**C. Uji hipotesis faktor berpengaruh C(k)**

$$SS_C = \frac{1}{abn} \sum_{k=1}^c y_{j^2.k.} - \frac{y^2 \dots}{abcn} \quad (2.4.3.4)$$

$$H_0 : \phi_1 = \phi_2 = \phi_3 = 0$$

$$H_1 : \text{at least one } \phi_k \neq 0$$

**D. Uji hipotesis faktor yang berinteraksi A,B (ij)**

$$SS_{\text{Subtotal (AB)}} = \frac{1}{cn} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij} - \frac{y^2 \dots}{abcn} \quad (2.4.3.5)$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij} - \frac{y^2 \dots}{abcn} - SS_A - SS_B \quad (2.4.3.6)$$

$$H_0 : (\sigma_{\beta ij}) = 0 \text{ untuk } i, j$$

$$H_1 : \text{at least one } (\sigma_{\beta ij}) \neq 0$$

**E. Uji hipotesis faktor yang berinteraksi A,C (ik)**

$$SS_{\text{Subtotal (AC)}} = \frac{1}{cn} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c y_{i.k^2.} - \frac{y^2 \dots}{abcn} \quad (2.4.3.7)$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{cn} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c y_{i.k^2.} - \frac{y^2 \dots}{abcn} - SS_A - SS_B \quad (2.4.3.8)$$

$$H_0 : (\sigma_{\phi ik}) = 0 \text{ untuk } i, k$$

$$H_1 : \text{at least one } (\sigma_{\phi ik}) \neq 0$$

### F. Uji hipotesis faktor yang berinteraksi B,C (jk)

$$SS_{\text{Subtotal (BC)}} = \frac{I}{an} \sum_{j=i}^b \sum_{k=i}^c y^2 \cdot jk - \frac{y^2 \dots}{abcn} \quad (2.4.3.9)$$

$$SS_{\text{BC}} = \frac{I}{an} \sum_{j=i}^b \sum_{k=i}^c y^2 \cdot jk - \frac{y^2 \dots}{abcn} - SS_B - SS_C \quad (2.4.3.10)$$

Ho :  $(\beta\phi)_{jk} = 0$  untuk j,k

Hi : *at least one*  $(\beta\phi)_{jk} \neq 0$

### G. Uji hipotesis faktor yang berinteraksi A,B,C (ijk)

$$SS_{\text{Subtotal (ABC)}} = \frac{I}{n} \sum_{i=i}^a \sum_{j=i}^b \sum_{k=i}^c y_{ijk}^2 - \frac{y^2 \dots}{abcn} \quad (2.4.3.11)$$

$$SS_{\text{ABC}} = \frac{I}{n} \sum_{i=i}^a \sum_{j=i}^b \sum_{k=i}^c y_{ijk}^2 - \frac{y^2 \dots}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{\text{AB}} - SS_{\text{AC}} - SS_{\text{BC}} \quad (2.4.3.12)$$

Ho :  $(\sigma\beta\phi)_{ijk} = 0$

Hi : *at least one*  $(\sigma\beta\phi)_{ijk} \neq 0$

$$\begin{aligned} \gamma_{ijkl} = & \mu + \sigma_i + \beta_j + \gamma_k + (\sigma\beta)_{ij} \\ & + (\sigma\phi)_{ik} + (\beta\phi)_{jk} \\ & + (\sigma\beta\phi)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \end{aligned} \quad (2.4.3.13)$$

i = 1,2 ... a

j = 1,2 ... b

k = 1,2 ... c

l = 1,2 ... n

### H. Sum Square Error

$$SS_E = SS_T - SS_{\text{Subtotal (ABC)}} \quad (2.4.3.14)$$

### I. Sum Square Total

$$SS_{\text{Total}} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y^2_{ijkl} - \frac{y^2 \dots}{n} \quad (2.4.3.15)$$

Dari perhitungan diatas dapat diambil suatu pengelompokan data dengan mempertimbangkan derajat kebebasan, *meansquare* dan harga aktual ( $F_o$ ). Penyampaian ini dilakukan dengan tabel ANOVA.

Tabel 2.4.3.2 Contoh Tabel ANOVA

Source of Varian	Sum of Square	Dof	Mean Square	Fo
A (i..)	...	a - 1	$MS_A = SS_A/\text{dof}$	$F_o = \frac{MS_A}{MS_E}$
B (j..)	...	b - 1	$MS_B = SS_B/\text{dof}$	$F_o = \frac{MS_B}{MS_E}$
C (k..)	...	c - 1	$MS_C = SS_C/\text{dof}$	$F_o = \frac{MS_C}{MS_E}$
AxB (i,j)	...	(a - 1) (b - 1)	$MS_{AB} = SS_{AB}/\text{dof}$	$F_o = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
AxC (i,k)	...	(a - 1) (c - 1)	$MS_{AC} = SS_{AC}/\text{dof}$	$F_o = \frac{MS_{AC}}{MS_E}$
BxC (j,k)	...	(b - 1) (c - 1)	$MS_{BC} = SS_{BC}/\text{dof}$	$F_o = \frac{MS_{BC}}{MS_E}$
AxBxC (i,j,k)	...	(a - 1) (b - 1) (c - 1)	$MS_{ABC} = SS_{ABC}/\text{dof}$	$F_o = \frac{MS_{ABC}}{MS_E}$
ERROR	...	abc (n - 1)	$MS_E = SS_E/\text{dof}$	
TOTAL	...	abc (n - 1)		

Kemudian dengan menentukan batasan daerah kritis komponen faktor dan interaksi faktor pada *value* pengujian ( $F_\alpha$ ) dengan tingkat kepercayaan ( $\alpha$ ). Untuk kemudian dilakukan perbandingan *value* aktual ( $F_o$ ) dengan *value* pengujian ( $F_\alpha$ ). Sehingga dengan perbandingan yang disajikan tersebut dapat ditarik beberapa kesimpulan atas penelitian yang dilakukan.

Konsep dari replikasi kecil dapat disampaikan untuk  $3^k$  *factorial design*. Karena kelengkapan replikasi dari  $3^k$  *factorial design* memerlukan bilangan lebih besar dari

jumlah tetap untuk nilai menengah dari  $k$ , replikasi kecil dari desain ini adalah penting. Seperti yang dapat kita lihat, bagaimanapun, beberapa dari desain ini mempunyai kekurangan struktur yang lain.

