

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Desain eksperimen adalah suatu rancangan penelitian yang dipergunakan untuk mencari hubungan sebab-akibat dengan adanya keterlibatan penelitian dalam melakukan manipulasi terhadap variabel bebas. Metode desain eksperimen dapat memberikan kondisi operasional yang diperlukan oleh tempat usaha tersebut, sehingga diharapkan peningkatan jumlah produksi menjadi lebih optimal. Berikut ini akan dijelaskan mengenai referensi terkait dari topik penelitian yang akan dilakukan.

##### 2.1.1. Penelitian Terdahulu

Pangestu (2008) melakukan penelitian di suatu perusahaan pembuat *paving block* di kota Pontianak dan melakukan pengujian tekan terhadap *paving block* yang memiliki permukaan tidak rata. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas *paving block* dan menentukan komposisi yang tepat adalah menggunakan desain eksperimen *Taguchi*. Layout penelitian eksperimen yang digunakan adalah  $L_8(2^7)$ . Hasil akhir penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan komposisi bahan baku yang tepat agar diperoleh *paving block* yang memenuhi spesifikasi.

Wijaya (2010) dalam tugas akhirnya yang berjudul "Analisis Penentuan Setting Parameter Mesin *Thermoforming* (Studi Eksperimental Laboratorium Proses Produksi Universitas Atma Jaya Yogyakarta)" berhasil melakukan proses eksperimen *Taguchi* pada pengoperasian mesin *Thermoforming*. Metode desain eksperimen digunakan dalam penelitian untuk memperoleh faktor-faktor yang diduga mempengaruhi kualitas hasil permesinan di mesin *Thermoforming*. Layout penelitian eksperimen yang digunakan adalah  $L_9(3^4)$ . Hasil permesinan *Thermoforming* selanjutnya dilakukan percobaan berulang dengan menguji tingkat kestabilan suhu yang berbeda. Hasil akhir penelitian berupa faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas hasil cetakan plastik pada mesin *thermoforming*, *orthogonal array* yang sesuai, dan kombinasi *setting* level mesin.

Utomo (2013) dalam tugas akhirnya yang berjudul "Desain Eksperimen pada Mesin *Electrical Discharge Machining SKM ZNC T50* " berhasil melakukan

proses eksperimen *Taguchi* pada pengoperasian mesin EDM seri EDM SKM ZNC T50. Metode desain eksperimen yang digunakan dalam penelitian untuk memperoleh faktor-faktor yang diduga mempengaruhi kualitas hasil pemesinan di mesin EDM. *Layout* penelitian eksperimen yang digunakan adalah  $L_8(2^3)$ . Hasil pemesinan EDM selanjutnya diukur menggunakan alat ukur pembanding VDI 3400 untuk mendapatkan hasil kekasaran kualitas benda kerja setelah mengalami proses EDM. Hasil akhir penelitian berupa langkah awal menentukan parameter mesin guna menghasilkan kualitas dan kuantitas produk hasil mesin EDM SKM ZNC T50.

Basuki (2013) melakukan penelitian di suatu perusahaan yang bergerak di bidang agro industri unit produksi yang menghasilkan nata de coco, yaitu CV. Agrindo Suprafood. Penelitian dilakukan menggunakan diagram *fishbone* dan dapat diperoleh faktor kontrol, serta faktor gangguan. Hasil dari data tersebut dilakukan lagi kombinasi percobaan menggunakan matriks *orthogonal array*  $L_9(3^4)$  yang merupakan salah satu langkah metode *Taguchi*. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung *loss function* yang dialami perusahaan, menentukan komposisi nutrisi yang tepat guna mengurangi tingkat kecacatan nata de coco, dan mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap kecacatan produk dalam perkembangan bakteri *Acetobacter Xylinum*.

### **2.1.2. Penelitian Saat Ini**

Penelitian sekarang dilakukan di usaha rumahan *Odd's Leather Werx*, Yogyakarta untuk mengidentifikasi dan mendapatkan faktor-faktor yang signifikan menyebabkan timbulnya cacat produk di mesin *emboss*. Metode desain eksperimen *Taguchi* digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan kondisi operasional optimal dari pengoperasian mesin *embossing* kulit. Hasil eksperimen ini nantinya akan dipergunakan untuk mengurangi jumlah cacat produk hasil *embossing* label kulit sapi. Hasil dari penelitian tersebut selanjutnya ditarik kesimpulan sehingga didapatkan *layout* desain eksperimen yang sesuai untuk mengurangi jumlah cacat produk dan kondisi operasional pemesinan proses *embossing* yang optimal. Penelitian terdahulu dapat digunakan sebagai referensi metode dan pembanding dengan penelitian yang dilakukan sekarang. Tinjauan pustaka yang digunakan dalam penelitian akan disajikan dalam Tabel 2.1 sebagai berikut ini :

**Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang**

Deskripsi	Pangestu (2008)	Wijaya (2010)	Utomo (2013)	Basuki (2013)	Penelitian sekarang (2013)
<b>Obyek Penelitian</b>	<i>Paving block</i>	Cetakan plastik kemasan	Elektroda dan material benda kerja SKD11	Nata de coco	Label kulit sapi
<b>Teknologi</b>	Pengujian kuat tekan	Mesin <i>Thermoforming</i>	Mesin EDM SKM ZNC T50	Fermentasi	<i>Embossing</i>
<b>Tujuan</b>	Mendapatkan komposisi bahan baku yang tepat agar diperoleh <i>paving block</i> yang memenuhi spesifikasi	Mengidentifikasi faktor-faktor yang dianggap mempengaruhi proses pengoperasian mesin <i>Thermoforming</i> , menentukan <i>orthogonal array</i> yang sesuai dan <i>setting</i> faktor yang cocok untuk mengoperasikan mesin <i>Thermoforming</i>	Mendapatkan faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap proses dan mendapatkan kondisi optimal operasi mesin	Menghitung <i>loss function</i> yang dialami perusahaan, menentukan komposisi yang tepat guna mengurangi tingkat kecacatan, dan mengetahui faktor yang berpengaruh	Mengidentifikasi dan mendapatkan faktor-faktor yang diduga signifikan menyebabkan timbulnya cacat produk di mesin <i>emboss</i>
<b>Metode Penelitian</b>	Metode <i>Taguchi</i>	Diagram <i>Pareto</i> dan Metode <i>Taguchi</i>	Metode <i>Taguchi</i>	Diagram <i>Fisbone</i> dan Metode <i>Taguchi</i>	Diagram <i>Fisbone</i> dan Metode <i>Taguchi</i>
<b>Layout Desain</b>	$L_8(2^7)$	$L_9(3^4)$	$L_8(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_8(2^3)$
<b>Output Penelitian</b>	Mendapatkan komposisi bahan baku yang tepat untuk <i>paving block</i> yang memenuhi spesifikasi	Mendapatkan faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas hasil cetakan plastik pada mesin <i>thermoforming</i> , <i>orthogonal array</i> yang sesuai, dan kombinasi <i>setting level</i> mesin	Mendapatkan langkah awal menentukan parameter mesin guna menghasilkan kualitas dan kuantitas produk hasil mesin EDM SKM ZNC T50	Mendapatkan komposisi dan nutrisi yang tepat pada pembuatan <i>nata de coco</i>	Mendapatkan <i>layout</i> desain eksperimen dan kondisi operasional permesinan yang optimal di mesin <i>emboss</i>

## 2.2. Dasar Teori

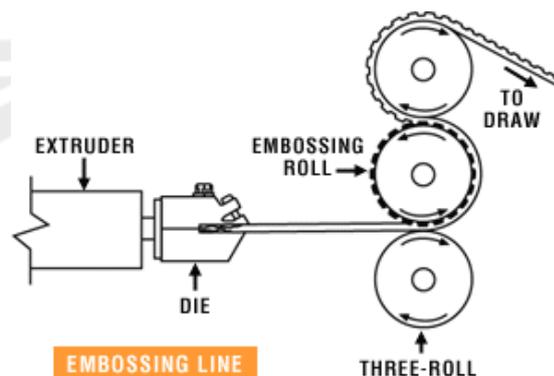
Proses penelitian pembuatan skripsi mengenai permasalahan yang terjadi pada industri rumahan *Odd's Leather Werx* diperlukan guna melengkapi dasar acuan peneliti dalam menyelesaikan permasalahan yang ada di industri tersebut. Penelitian ini mengacu terhadap referensi dari teori-teori yang selama ini sudah ada dan dikembangkan lebih lanjut agar proses menentukan kondisi optimal tercapai. Dasar teori yang digunakan dijabarkan dalam sub-bab seperti berikut.

### 2.2.1. Pengertian Proses *Embossing*

Menurut Collins *English Dictionary* (2013), dalam bidang seni dan teknis *emboss* adalah teknik untuk membentuk atau mengukir (desain atau hiasan) pada permukaan sehingga menghasilkan relief timbul dan ke dalam permukaan. Teknik *emboss* adalah salah satu metode untuk pengaplikasian olah latar pada bahan baku kulit sapi. Berikut ini adalah penjelasan dari teknik *emboss* yang sudah ada:

#### 1. Teknik *Emboss Roller*

Teknik *emboss roller* menggunakan alat yang terdiri dari silinder dengan material seperti logam, karet, dan plastik yang sudah diukir dengan motif. Media yang digunakan untuk di-*emboss* lalu digiling menggunakan alat *roller* tersebut dengan tekanan tertentu sehingga motif yang ada di *roller* mampu membuat motif yang sama pada media tersebut.



**Gambar 2.1 *Emboss Roller***

Sumber <http://www.advantagefabricatedmetals.com>

## 2. Teknik *Embossing Powder*

Teknik *embossing powder* adalah berupa serbuk yang lembut dan mudah meleleh. Serbuk ini digunakan untuk menciptakan efek timbul pada permukaan yang awalnya mendatar. Tahap pengerjaan dengan teknik *embossing powder* yaitu dengan membuat motif memakai lem atau perekat, setelah itu serbuk ditabur sehingga melekat pada lem. Proses terakhir yang terjadi adalah pemanasan menggunakan *heat gun*, sehingga serbuk meleleh dan menimbulkan efek timbul pada permukaan.



**Gambar 2.2 *Embossing Powder***

**Sumber <http://pinefeather.typepad.com>**

## 3. Teknik Cap atau *Press*

Teknik cap atau *press* prinsipnya hampir sama dengan *roller embossing*, hanya saja tidak memakai silinder melainkan plat datar yang diukir dengan motif. Cara kerja menggunakan cap yaitu media yang akan di-*emboss*, di-*press* menggunakan *emboss pressing machine* dengan tekanan tertentu dan memakai elemen panas jika dibutuhkan atau dengan mesin *heat press*.



**Gambar 2.3 Mesin *Heat Press***

**Sumber <http://mesinpercetakan.com/>**

### 2.2.2. Macam Dan Jenis Pengolahan Kulit

Kulit merupakan hasil sampingan dari hewan yang dagingnya dikonsumsi. Kulit yang dihasilkan dari binatang yang dagingnya dikonsumsi memiliki harga terjangkau, sebaliknya kulit binatang yang dagingnya tidak dikonsumsi memiliki harga relatif mahal (contoh kulit buaya, biawak dsb.). Jenis binatang langka yang dilindungi dan dilarang untuk diburu juga dikategorikan sebagai kulit dengan harga relatif mahal, misalnya gajah, buaya, harimau dsb.

Industri perkulitan sendiri memiliki ragam jenis, corak, warna dan ketebalan kulit yang digunakan untuk proses produksi. Kadang-kadang masih banyak konsumen yang kurang mengerti tentang keadaan kulit dilihat dari penggolongan hasil jadinya. Beberapa jenis kulit yang dihasilkan dari proses industri pengolahan kulit adalah:

#### 1. Kulit *Full Grain*

Kulit yang disamak dengan zat penyamak full krom dengan *nerf* atau rajah yang masih asli, tidak dibelah atau digosok. Jenis kulit seperti ini mempunyai kualitas tinggi sehingga dapat menaikkan harga pasaran kulit.

#### 2. Kulit *Corrected Grain*

Kulit yang disamak dengan zat penyamak krom, minyak, dsb karena kualitas kulit tidak baik yang disebabkan oleh cacat alami seperti dicambuk, penyakit cacar, ditusuk sehingga menimbulkan cacat pada permukaannya. Antisipasi cacat yang dilakukan pada permukaan kulit jenis ini adalah dengan cara dihaluskan dengan mesin amplas sampai halus, kemudian dicat dengan menggunakan cat sintetis. Kualitas kulit ini kurang baik dan agak kaku.

#### 3. Kulit *Light Buffing*

Kulit ini proses pengerjaannya hampir sama dengan kulit *corrected* hanya bedanya kulit jenis ini diampelas ringan pada permukaannya, sehingga kulit ini menghasilkan kualitas lebih baik.

#### 4. Kulit *Artificial*

Kulit ini keindahannya terletak pada proses penyelesaian akhir, yaitu dengan cara memberi motif tertentu, misal buaya, biawak, ular, motif kulit jeruk, dsb. Tujuan pemberian motif adalah untuk menutupi cacat yang diakibatkan oleh cacat alami atau mekanis. Kulit *artificial* sering menyerupai aslinya atau disebut kulit buatan.

Jenis kulit berdasarkan struktur tubuh dan kualitas, antara lain:

1. Bagian punggung

Bagian kulit yang letaknya ada pada punggung dan mempunyai jaringan struktur yang paling kompak, luasnya 40 % dari seluruh luas kulit.

2. Bagian leher

Kulitnya agak tebal, sangat kompak tetapi ada beberapa kerutan.

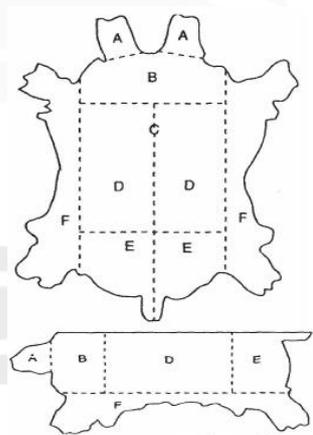
3. Bagian bahu

Kulitnya lebih tipis, kualitasnya bagus, hanya terkadang ada kerutan yang dapat mengurangi kualitas.

4. Bagian perut dan paha.

Struktur jaringan kurang kompak, kulit tipis, dan mulur. Proses pengolahan atau pengawetan kulit walaupun telah dilakukan dengan hati-hati dan menurut ketentuan yang benar, namun ternyata hasilnya tidak selalu seperti yang diharapkan. Kemungkinan setelah kering, kulit menjadi tidak sama kualitasnya.

Pengelompokan kulit berdasarkan kualitas dan beratnya adalah sebagai berikut:



**Keterangan:**

- a. Daerah Pipi
- b. Daerah Pundak
- c. Daerah Croupon
- d. Daerah Badan
- e. Daerah Pinggul
- f. Daerah Perut

**Gambar 2.4 Sketsa Bagian-Bagian Kulit**

**Sumber: Kriya Kulit Jilid 1 untuk SMK, Jakarta : Pusat Perbukuan  
Departemen Pendidikan Nasional, h. 6 - 11**

Pabrik mempunyai beberapa cara dalam memproses kulit hingga siap digunakan *customer*. Berikut adalah 5 langkah yang paling sering digunakan dalam metode prosesnya:

1. Mempersiapkan bahan kulit

Membersihkan daging dan lemak dari kulit, setelah itu dimasukkan ke dalam kendaraan yang sudah disiapkan pendingin agar segera diproses dan menuju ke penyamakan kulit. Proses selanjutnya bulu akan dibuang menggunakan beberapa metode, salah satunya menggunakan larutan natrium sulfida kapur dan diproses berputar di dalam mesin. Penetralkan terjadi setelah bulu dibuang dengan asam dan diberikan enzim agar meningkatkan kelembutan. Proses selanjutnya direndam dalam larutan asam, garam, dan air.

2. Penyamakan

Proses Penyamakan adalah proses yang mengubah kulit sapi menjadi bahan kulit. Terdapat beberapa cara untuk penyamakan, yang sering digunakan yaitu penyamakan *chrome* dan penyamakan nabati. Kulit *chrome*/krom adalah bahan produk yang sering anda temui seperti kulit tas yang kecoklatan, jok mobil, sepatu bagian atas, dsb.

-Proses *Chrome* yaitu kulit diletakan di dalam wadah yang berputar dengan diberikan bahan kimia yang mengandung krom trivalen. Proses ini diperlukan sekitar 8 jam agar *chrome* dapat tembus ke seluruh kulit. *Chrome* dapat ditambahkan lagi bahan kimia alkali seperti natrium karbonat / bikarbonat. Proses berikutnya barulah kulit dipertimbangkan dan disamak.

-Proses Nabati: kulit dengan metode penyamakan ini sering digunakan di berbagai produk seperti tas koper, sabuk/ikat pinggang, strap, sol sepatu dan lainnya. Proses penyamakan ini lebih lambat dari pada penyamakan krom dan membuatnya menggunakan zat kimia tannin, asam yang diekstrak dari kulit batang pohon. Pengerjaan ini bisa memakan waktu 3 - 4 hari di dalam wadah/ drum.

3. *Splitting*/ pemisahan dan penipisan

Langkah berikutnya adalah pemisahan, tergantung dari kebutuhan. Pengerjaan ini meliputi pengaturan lembaran kulit sesuai ketebalan yang diperlukan agar dapat masuk proses selanjutnya. *Chrome* yang telah disamak tadi dimasukan ke dalam wadah/ drum yang berputar dengan air panas dan pewarna, juga mengandung bahan penyamakan sintetis untuk mendapatkan warna yang diinginkan. Pelumasan dilakukan dengan lemak

alami atau kimia sintetis jenis lemak, bisa juga keduanya agar mendapatkan kelembutan untuk produk akhir.

#### 4. Pengaturan

Proses setelah *splitting* adalah pengaturan, yaitu menghapus kelebihan air pada kulit agar keluar sebelum proses pengeringan. Ada beberapa cara pengeringan tergantung pada jenis kulit yang dihasilkan. Jenis kulit pelapis biasanya menggunakan cara kulit dilebarkan di atas *frame*, dengan ujung-ujung kulit di berikan klip/ pengait agar mekanisme kulit lebih lunak saat pengeringan. Kulit juga dapat melalui proses pelunakan menggunakan penggilingan yang terkandung kelembaban di dalam wadahnya.

#### 5. *Finishing*

Kulit diberi jenis-jenis lapisan permukaan pada bahan kulit. Lapisan ini mempunyai fungsi untuk melindungi kulit agar menghasilkan efek yang enak dipandang mata dan diraba dengan tangan. Saat ini teknologi dalam proses *finishing* juga bermacam-macam jenis pengerjaannya. Mulai dari jenis kimia dan pewarna agar mendapatkan efek warna yang diinginkan, sampai permukaan yang lembut hingga yang mempunyai pola antik. *Press* dengan hidrolis, cetak, *emboss*, *spray* warna, dan pengering adalah beberapa mesin yang dipakai saat finishing ini dilakukan. Proses di akhir akan menentukan jenis tipe bahan kulit. Setiap jenis/ tipe memiliki kecenderungan berbeda di setiap permukaannya saat *finishing*. Ketahanan dan fleksibilitas terhadap air biasanya digunakan untuk kualifikasi dalam proses *finishing*.

#### **2.2.3. Karakteristik Aluminium**

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 sebagai suatu unsur dan pertama kali direduksi dengan logam oleh H. C. Oersted pada tahun 1825. Secara industri tahun 1886, Paul Herould di Prancis dan C. N. Mall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari *agfva* lumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terfusi. Hingga saat ini proses Herould Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Bahan dasar pembuatan aluminium adalah bauksit (biji aluminium) yang kemudian diubah menjadi alumina. Alumina inilah yang akan dielektrolisa membentuk aluminium ingot. Biji aluminium biasanya berupa senyawa oksida berupa bayerit, gibbsit

atau hidrargilat, diaspor, dan bohmit. Aluminium merupakan unsur yang sangat reaktif sehingga mudah teroksidasi. Sifat kereaktifan aluminium tidak ditemukan di alam dalam bentuk unsur melainkan dalam bentuk senyawa baik dalam bentuk oksida alumina, maupun silikon. Sumber aluminium yang sangat ekonomis adalah bauksit. Bauksit adalah biji yang banyak mengandung alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yakni 30 – 60 %, serta 12 – 30 % adalah air. Semakin banyak oksida besi yang mengotori maka akan semakin gelap warnanya. Bauksit dapat berwarna putih, krem, kuning, merah atau coklat dapat sekeras batu, namun ada pula yang selembek tanah lempung ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Paduan aluminium mengandung 99% aluminium dan 1% mengandung mangan, besi, silikon, tembaga, magnesium, seng, krom, dan titanium. Paduan aluminium mengandung logam lain, seperti: besi 0,5%, silikon 2 – 3 %, tembaga 1 – 2%, seng 0,9%, mangan 0,5 – 0,8% , magnesium 0,7%, krom 0,3%, dan titanium 0,3%. Aluminium juga memiliki sifat yang lebih unggul dibandingkan dengan sifat logam lain. Sifat-sifat Aluminium yang lebih unggul bila dibandingkan dengan logam lain seperti ringan, ketahanan terhadap korosi, daya hantar listrik baik, anti-magnetis, toksifitas (tidak beracun), kemudahan dalam proses, sifat dapat dipakai kembali.

#### **2.2.4. Pengertian Kualitas**

Arti kata kualitas menurut beberapa ahli, sebagai berikut :

1. Menurut Mitra (1998)

Kualitas suatu produk atau jasa tidak lain adalah kesesuaian suatu produk ataupun jasa sehingga diharapkan dapat mencapai tujuan yang tepat dan sesuai penggunaannya seperti yang diinginkan oleh konsumen

2. Menurut Feigenbaum (1991)

Kualitas merupakan gabungan dari semua karakteristik yang ada dalam produk dan jasa mulai dari pemasaran, rekayasa, pembuatan dan pemeliharaan yang membuat produk dan jasa yang digunakan dapat memenuhi harapan-harapan konsumennya.

#### **2.2.5. Pengertian Pengendalian Kualitas**

Beberapa definisi tentang pengendalian kualitas, antara lain :

1. Menurut Mitra (1998)

Mendefinisikan pengendalian kualitas secara umum sebagai suatu sistem yang digunakan untuk mempertahankan tingkatan kualitas dan pelayanan suatu produk. Supaya tugas tersebut dapat tercapai maka dapat dilakukan berbagai pengukuran yang berbeda, seperti : perencanaan, pembuatan desain, penggunaan alat dan prosedur yang tepat, pemeriksaan dan perbaikan apabila ditemukan hasil yang tidak sesuai dengan standar.

2. Menurut Feigenbaum (1991)

Pengendalian kualitas merupakan suatu sistem yang efektif untuk menggabungkan usaha pengembangan, pemeliharaan, dan perbaikan kualitas dalam berbagai kelompok dalam suatu organisasi sehingga dapat menempatkan pemasaran, rekayasa, produksi dan jasa pada tingkat paling ekonomis sehingga pelanggan memperoleh kepuasan penuh.

#### **2.2.6. Perancangan Eksperimen**

Guna mempertahankan atau meningkatkan kualitas produk diperlukan pengukuran dan penentuan parameter-parameter terbaik/optimal dengan melakukan perancangan eksperimen. Definisi perancangan eksperimen adalah suatu rancangan percobaan (dengan tiap langkah tindakan yang betul-betul terdefinisikan) sedemikian sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan (Sudjana, 1991). Perancangan eksperimen juga dapat diartikan suatu percobaan atau serangkaian percobaan dimana penyesuaian-penyesuaian tertentu dilakukan terhadap variabel *input* proses atau sistem sehingga dapat diteliti dan diidentifikasi sebab-sebab perubahan dari variabel *output* (Montgomery, D.C., 1997).

Eksperimen merupakan tes atau sekumpulan tes yang membuat perubahan-perubahan yang berguna terhadap variabel *input* dari suatu proses atau sehingga kita dapat mengamati dan mengidentifikasi alasan-alasan perubahan tersebut yang dapat diamati pada respon *output*. Eksperimen memiliki peranan penting dalam perancangan produk baru, pengembangan proses manufaktur, dan peningkatan proses. Secara umum, eksperimen digunakan untuk mempelajari performansi proses dan sistem.

### 2.2.7. Dasar Perancangan Eksperimen

Perancangan statistik eksperimen menunjuk pada proses perencanaan eksperimen sehingga data yang tepat yang dapat dianalisa dengan metode statistik akan dikumpulkan, menghasilkan kesimpulan yang valid dan objektif. Tiga prinsip dasar perancangan eksperimen adalah :

#### 1. *Replication* (Pengulangan)

*Replication* atau biasa disebut pengulangan eksperimen dasar perlu dilakukan karena :

- a. Dapat memberikan taksiran kekeliruan eksperimen yang dapat dipakai untuk menentukan panjang *interval confident* (selang kepercayaan).
- b. Menghasilkan taksiran yang lebih akurat untuk kekeliruan eksperimen.
- c. Memungkinkan kita untuk memperoleh taksiran yang lebih baik mengenai efek rata-rata dari suatu faktor.

*Replication* menunjuk pada pengulangan aspek-aspek utama dari eksperimen. Dengan meningkatkan jumlah perulangan dapat mengurangi variansi dari estimasi efek *treatment* dan lebih mampu mendeteksi perbedaan-perbedaan dari *treatment*. Perulangan memiliki dua karakteristik penting, yaitu :

- a. Perulangan memungkinkan peneliti (*experimenter*) mendapatkan suatu perkiraan *error* eksperimental. Perkiraan *error* ini menjadi unit dasar pengukuran untuk menentukan perbedaan-perbedaan yang diamati pada data benar-benar berbeda secara statistik.
- b. Apabila rata-rata sampel digunakan untuk mengestimasi efek dari suatu faktor dalam eksperimen, dengan adanya perulangan, *experimenter* dapat memperoleh perkiraan yang lebih tepat mengenai efek ini.

Penentuan jumlah replikasi adalah suatu siklus yang terus menerus pada proses model simulasi. Tujuannya adalah untuk menjamin bahwa hasil simulasi yang diperoleh dapat merepresentasikan kedalam keadaan yang sebenarnya. Rumus yang digunakan untuk menentukan jumlah replikasi adalah sebagai berikut :

$$Nr^*(\gamma) = \min \left\{ i \geq n; \frac{t_{i-1, 1-\alpha} \sqrt{\sigma^2(i)/i}}{|\bar{x}(i)|} \leq \gamma' \right\} \quad \dots(2.1)$$

dimana:

$Nr^*(\gamma)$  = jumlah replikasi

$\gamma$  = tingkat *error*

$i$  = jumlah sampel

$\alpha$  = tingkat kepercayaan

$\sigma$  = standar deviasi yang dimiliki

$\bar{x}(n)$  = *mean* sampel ke- $n$

## 2. *Randomization* (Pengacakan)

Perlu dilakukan karena dalam *DoE* tes signifikan (uji keberartian) akan banyak dilakukan sehingga tiap prosedur pengujian, asumsi-asumsi tertentu perlu diambil dan dipenuhi agar pengujian yang dilakukan dapat diterima. Dilakukan dengan cara sampel acak pada populasi yang diamati.

*Randomization* atau randomisasi adalah bagian penting yang menjadi dasar penggunaan metode statistik dalam perancangan eksperimen. Dengan randomisasi, pengalokasian material eksperimental dan dilakukannya individual *run* atau *trial* (percobaan) ditentukan secara random. Metode statistik memerlukan observasi (atau *error*) terdistribusi secara independen sebagai variabel random. Randomisasi biasanya menyebabkan asumsi ini *valid*. Dengan merandom eksperimen secara tepat, dapat membantu merata-ratakan efek dari faktor-faktor luar yang muncul. Randomisasi memastikan validitas dari perkiraan *error* eksperimen dan menjadi dasar pengambilan kesimpulan dalam menganalisis eksperimen.

## 3. *Error Control* (Kontrol Lokal)

*Error control* (kontrol lokal) merupakan sebagian daripada keseluruhan prinsip desain yang harus dilaksanakan. Biasanya merupakan langkah-langkah atau usaha-usaha yang berbentuk penyeimbangan, pemblokkan, dan pengelompokan unit-unit eksperimen yang digunakan dalam desain

(Sudjana, 1991). *Error control* membuat desain lebih efisien, yaitu menghasilkan prosedur pengujian dengan kuasa yang lebih tinggi.

### 2.2.8. Langkah-langkah Dalam Perancangan Eksperimen

Tujuh langkah dalam perencanaan dan implementasi eksperimen:

1. Pengenalan dan pernyataan masalah  
Mempersiapkan suatu daftar tentang masalah-masalah spesifik atau pertanyaan-pertanyaan yang ditujukan pada eksperimen, biasanya sangat membantu pada tahap ini. Pernyataan masalah yang jelas seringkali memberi informasi yang penting untuk pemahaman yang lebih baik mengenai masalah yang dipelajari dan solusi akhir dari masalah.
2. Pemilihan faktor-faktor, level-level dari faktor, dan *range*  
Saat mempertimbangkan faktor-faktor yang mungkin mempengaruhi performansi suatu proses atau sistem, peneliti biasanya menemukan bahwa faktor-faktor ini dapat diklasifikasikan sebagai *controllable factors* atau *uncontrollable factors*. Setelah peneliti memilih faktor desain kemudian memilih *range* variasi dari faktor-faktor tersebut, dan level-level tertentu untuk dapat menjalankan percobaan.
3. Pemilihan variabel respon  
Dalam memilih variabel respon, peneliti sebaiknya memastikan bahwa variabel ini benar-benar menyediakan informasi yang berguna mengenai proses yang dipelajari.
4. Pemilihan perancangan eksperimen  
Pemilihan perancangan meliputi pertimbangan ukuran sampel (jumlah replikasi), pemilihan *layout* yang cocok untuk percobaan eksperimen, dan penentuan penggunaan *blocking* (pengelompokan unit eksperimen yang homogen) atau batasan randomisasi yang lain.
5. Melakukan eksperimen  
Ketika menjalankan eksperimen, sangat penting untuk mengawasi proses untuk memastikan bahwa segala sesuatu dilaksanakan sesuai rencana. Kesalahan dalam prosedur eksperimental pada tahap ini biasanya akan menghilangkan validitas eksperimental.
6. Analisis statistik pada data

Tahap ini meliputi prosedur pengumpulan data, pengolahan data, dan perhitungan uji statistik yang digunakan untuk membuat keputusan mengenai beberapa aspek dari suatu eksperimen. Metode statistik sebaiknya digunakan untuk menganalisis data sehingga hasil dan konklusinya objektif. Namun perlu diingat bahwa metode statistik tidak dapat membuktikan bahwa suatu faktor (atau faktor-faktor) memiliki efek yang terutama, namun hanya menyediakan petunjuk mengenai reliabilitas dan validitas dari hasil. Keuntungan utama metode statistik adalah bahwa metode ini menambahkan objektivitas pada proses pembuatan keputusan.

7. Mengambil kesimpulan dan membuat rekomendasi  
Setelah data dianalisis, peneliti harus mengambil kesimpulan praktis mengenai hasilnya dan mengusulkan suatu tindakan. Metode grafik seringkali berguna pada langkah ini, terutama untuk menunjukkan hasil kepada yang lain.

#### **2.2.9. Keuntungan Perancangan Eksperimen**

Beberapa keuntungan perancangan eksperimen :

1. Berguna untuk mengidentifikasi variabel keputusan yang tidak hanya menjaga agar proses tetap terkontrol namun juga meningkatkan proses tersebut.
2. Dalam mengembangkan proses-proses baru dimana data historis tidak tersedia, desain eksperimental yang digunakan pada fase pengembangan dapat mengidentifikasi faktor-faktor penting dan level-level yang akan memaksimalkan hasil dan mengurangi biaya.

#### **2.2.10. Metode Taguchi**

Metode *Taguchi* merupakan suatu pendekatan terstruktur untuk menentukan kombinasi terbaik dalam menghasilkan produk berupa barang atau jasa. Metode ini mengembangkan suatu metodologi dengan pendekatan yang berdasarkan pada DoE (*Design of Experiment*). Suatu metode untuk mengidentifikasi menurut banyaknya masukan (*input*) yang benar dan parameter untuk membuat suatu produk berkualitas tinggi sesuai dengan keinginan pelanggan atau konsumen. Genichi *Taguchi* mengembangkan suatu pendekatan desain dari perspektif

desain yang sempurna (*robust*), dimana produk harus dibuat bebas dari cacat (*defect*) dan berkualitas tinggi.

Metode *Taguchi* merupakan salah satu filosofi dan prinsip desain eksperimen yang ditemukan oleh seorang engineer dari Jepang yang bernama Genichi *Taguchi*. Genichi *Taguchi* memiliki ide mengenai *quality engineering* dimana tujuan desain kualitas diterapkan ke dalam setiap produk dan proses yang berhubungan. Kualitas diukur berdasarkan deviasi dari karakteristik terhadap nilai targetnya (Mitra, 1998).

*Taguchi* memiliki pandangan bahwa kualitas berhubungan dengan biaya dan kerugian dalam unit moneter. Kerugian yang diderita mencangkup pada proses produksinya dan kerugian yang diderita konsumen. Definisi kualitas menurut *Taguchi* adalah kualitas suatu produk adalah kerugian minimum yang diberikan oleh suatu produk kepada masyarakat atau konsumen sejak mulai produk tersebut siap untuk dikirim kepada konsumen. Berdasarkan definisi tersebut, maka terdapat sudut pandang yang baru dimana suatu kualitas tidak hanya pada proses produksi saja tetapi juga dikaitkan dengan kerugian kepada masyarakat (produsen dan konsumen). Tujuan dari fungsi kerugian *Taguchi* (*loss function*) adalah untuk mengevaluasi kerugian kualitas secara kuantitatif yang disebabkan adanya variasi. (Belavendram, 1995).

Aktivitas *quality control* (QC) terbagi menjadi dua, yaitu (Belavendram, 1995) :

1. *Off-line* QC

*Off-line* QC merupakan aktifitas pengendalian kualitas di dalam proses dan pembuatan desain produk sebelum diproses manufaktur. Pada dasarnya merupakan tindakan pencegahan supaya proses manufaktur yang akan berjalan menghasilkan produk cacat yang minimum. Pengendalian kualitasnya dilakukan sebelum proses produksi berlangsung. Aktivitas *off-line* QC sangat mendukung dalam aktivitas *on-line* QC karena dapat mengoptimalkan desain produk dan proses. Tiga tahap pada desain proses tersebut adalah :

- a. *System design*

*System design* merupakan tahap awal berkaitan dengan pengembangan teknologi. Pada tahap ini dibutuhkan pengetahuan teknis yang luas untuk menilai dalam pengembangan produk atau proses.

b. *Parameter design*

*Parameter design* merupakan tahap kedua dimana dengan penekanan biaya dan peningkatan kualitas dengan menggunakan metode perancangan eksperimen yang efektif. Tahap ini akan ditentukan nilai-nilai parameter yang kurang sensitif terhadap *noise* lalu akan dicari kombinasi level parameter yang nantinya dapat menggunakan *noise*.

c. *Tolerance design*

*Tolerance design* adalah tahap dimana akan dilakukan pengendalian faktor-faktor yang mempengaruhi nilai target dengan menggunakan komponen yang bermutu tinggi dan biaya yang tinggi.

2. *On-line QC*

*On-line QC* adalah aktivitas pengendalian kualitas pada saat proses manufaktur. Pada aktivitas *on-line QC* biasanya digunakan *Statistical Process Control* (SPC) dimana tindakan perbaikan akan dilakukan apabila pada saat produksi dihasilkan produk cacat yang tidak memenuhi spesifikasi. Pada dasarnya *on-line QC* merupakan tindakan pengendalian kualitas yang setelah proses produksi berlangsung.

**2.2.11. *Variable Respons* (Karakteristik Kualitas)**

Karakteristik kualitas adalah suatu obyek yang menarik dari suatu produk atau proses. Secara umum setiap karakteristik kualitas memiliki suatu target. Ada 3 (tiga) karakteristik kualitas yang dikelompokkan berdasarkan targetnya, yaitu (Belavendram, 1995) :

a. *Nominal is the best*

Pengukuran karakteristik dengan nilai target yang spesifik yang ditentukan oleh pengguna (*user-defined*). Contoh : luas, ketebalan, tekanan.

b. *Smaller is the best*

Pengukuran karakteristik yang *non-negative* dimana target idealnya adalah nol. Contoh : produk cacat, pemborosan energi, waktu proses.

c. *Larger is the best.*

Pengukuran karakteristik yang *non-negative* dimana target idealnya adalah tak terbatas atau  $\infty$ . Contoh : efisiensi, waktu antar kerusakan, kekuatan.

Setelah diperoleh faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas dari suatu produk, maka faktor tersebut dapat diklasifikasikan menjadi 4 (empat), yaitu:

1. Faktor *Noise* (X)

Faktor *noise* adalah faktor yang tidak dapat dikendalikan langsung oleh produsen atau suatu faktor yang menyebabkan penyimpangan karakteristik kualitas dari hasilnya. Faktor *noise* dapat dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu :

a. Faktor *noise* eksternal

Diartikan sebagai sumber-sumber variabilitas yang berasal dari luar produk.

b. Faktor *noise* dari unit ke unit

Merupakan hasil dari produksi dimana selalu ada perbedaan dari setiap *item* yang sejenis yang telah diproduksi. Disebut juga sebagai variasi toleransi.

c. Faktor *noise* deteriorasi

Disebut juga *noise* internal karena faktor ini berasal dari sesuatu (internal) yang berubah dari proses atau degradasi dari komponen mesin yang memasuki *over time*.

Perancangan eksperimen *Taguchi* merupakan penanganan faktor *noise* melalui 3 (tiga) cara, yaitu :

a. Dengan melakukan pengulangan terhadap masing-masing percobaan.

b. Dengan memasukkan faktor *noise* tersebut kedalam percobaan dengan menempatkannya di luar faktor terkendali.

c. Dengan menganggap faktor terkendali bervariasi.

2. Faktor Kontrol (Z)

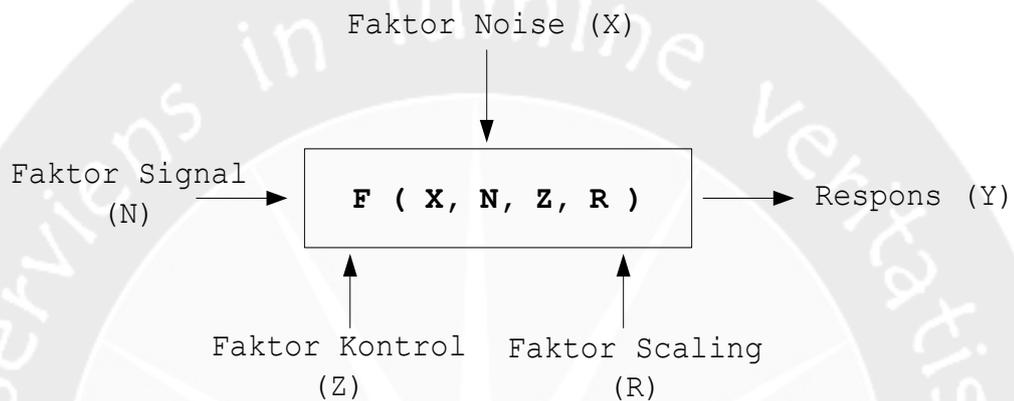
Faktor kontrol adalah faktor yang parameter nilainya ditentukan oleh ahli teknik. Faktor kontrol biasanya memiliki nilai satu atau lebih yang biasanya disebut level faktor.

3. Faktor *Signal* (N)

Faktor *signal* adalah faktor yang mengubah nilai karakteristik kualitas yang sebenarnya akan diukur. Faktor *signal* tidak ditentukan oleh ahli teknik tetapi oleh konsumen.

4. Faktor *Scaling* (R)

Faktor *scaling* ini digunakan untuk mengubah mean level karakteristik kualitas untuk mencapai hubungan fungsional yang diperlukan antara faktor *signal* dengan karakteristik kualitas.



**Gambar 2.5 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Karakteristik Kualitas**

**2.2.12. Orthogonal Array**

*Orthogonal array* adalah salah satu kelompok *Fractional Factorial Experiment* (FFE). *Orthogonal array* dapat untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah eksperimen minimum. *Orthogonal array* berfungsi untuk mendesain suatu percobaan guna menganalisis data percobaan. Pemilihan *orthogonal array* haruslah disesuaikan dengan jumlah faktor serta levelnya yang akan diamati.

Misal :  $L_{16}(2^6)$

- a. 16 artinya mengalami perlakuan sebanyak 16 kali
- b. 2 berarti ada 2 level
- c. 6 adalah jumlah faktor

Pemilihan *orthogonal array* harus memenuhi pertidaksamaan (Belavendram, 1995) :

$$V_{OA} \geq V_T \quad \dots\dots (2.2)$$

Yaitu jumlah eksperimen - 1  $\geq$  jumlah total d.o.f untuk semua faktor dan interaksinya.

dimana :

$V_{OA}$  : jumlah percobaan -1

$V_T$  : jumlah total d.o.f dari seluruh faktor

Berikut tabel standar untuk *orthogonal array* yang ditabulasi oleh *Taguchi* (Belavendram, 1995) :

**Tabel 2.2. Standar Orthogonal Array**

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Mixed-Level
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^6 \times 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$		$L_{32}(2^6 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$			$L_{36}(2^6 \times 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$				$L_{36}(2^6 \times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$				$L_{54}(2^6 \times 3^{25})$
$L_{64}(2^{63})$				$L_{50}(2^6 \times 5^{11})$

### 2.2.13. Robustness

Faktor *noise* di dalam sistem tidak dapat dihilangkan dan hal ini menyebabkan produk tidak akan mencapai target. Pada prinsip *robustness* berusaha mengurangi kerugian dengan melakukan kontrol faktor terhadap faktor *noise* supaya spesifikasi produk dapat diidentifikasi dan membuat karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap *noise* (Belavendram, 1995).

### 2.2.14. Analisis Data

Setelah percobaan dilakukan dan data diperoleh maka langkah terakhir adalah menganalisis data hasil percobaan. Setelah data dikumpulkan maka data akan disajikan dalam *layout* tertentu sesuai dengan desain yang dipilih kemudian akan dilakukan perhitungan dan pengujian data. Pengujian data tersebut seperti analisis varian (ANOVA), tes hipotesis serta penerapan rumus-rumus empiris pada data hasil percobaan.

### 2.2.15. Pengujian Distribusi Normal

Uji kenormalan data ini untuk mengetahui bahwa populasi yang diselidiki berdistribusi normal. Menguji kenormalan data dengan *plot* kenormalan data (*normal probability plot*). Jika distribusi tersebut menyebar normal, maka *plot* data sampel berada di sekitar garis lurus. Jika asumsi ini tidak dipenuhi, artinya ternyata populasi yang diselidiki tidak berdistribusi normal, maka kesimpulan dari ANOVA tidak berlaku. Karenanya sebelum teori lebih lanjut digunakan dan

kesimpulan diambil berdasarkan teori dimana asumsi normalitas dipakai, terlebih dahulu perlu diketahui apakah data sudah berdistribusi normal atau belum.

### 2.2.16. Pengujian Homogenitas Data

Uji homogenitas data dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah sampel tersebut ditarik dari populasi yang berdistribusi seragam.

### 2.2.17. ANOVA

*Analysis of Variance* (ANOVA) merupakan alat analisis yang efektif bagi perbandingan populasi yang simultan untuk menentukan apakah populasi-populasi tersebut identik atau berbeda secara signifikan. ANOVA juga merupakan sumber penting untuk mengevaluasi data yang ada dan sebagai alat yang digunakan bersama dengan suatu perancangan eksperimen. Untuk penelitian ini, perhitungan ANOVA dilakukan dengan menggunakan bantuan program *software*. ANOVA dapat dilakukan dalam beberapa langkah berikut :

1. Menghitung *sum of squares*

Perhitungan *sum of squares* dapat dilakukan dengan persamaan berikut (Belavendram, 1995) :

- a. *Total sum of squares*

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n X_{ijkl}^2 - \frac{T^2}{abcn} \dots\dots(2.3)$$

dimana

$$T = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l X_{ijkl} \dots\dots(2.4)$$

dengan :      a = jumlah faktor A  
                   b = jumlah faktor B  
                   c = jumlah faktor C  
                   n = jumlah replikasi

- b. *Sum of squares for main effects (treatment sum of squares)*

$$SS_A = \frac{1}{bcn} \sum_{i=1}^a X_i^2 - \frac{T^2}{abcn} \dots\dots(2.5)$$

$$SS_B = \frac{1}{acn} \sum_{j=1}^b X_j^2 - \frac{T^2}{abcn} \dots (2.6)$$

$$SS_C = \frac{1}{abn} \sum_{k=1}^c X_k^2 - \frac{T^2}{abcn} \dots (2.7)$$

c. *The two-factors interaction sum of squares*

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b X_{ij}^2 - \frac{T^2}{abcn} - SS_A - SS_B \dots (2.8)$$

$$= SS_{Subtotals(AB)} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c X_{ik}^2 - \frac{T^2}{abcn} - SS_A - SS_C \dots (2.9)$$

$$= SS_{Subtotals(AC)} - SS_A - SS_C$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c X_{jk}^2 - \frac{T^2}{abcn} - SS_B - SS_C \dots (2.10)$$

$$= SS_{Subtotals(BC)} - SS_B - SS_C$$

d. *The three-factors interaction sum of squares*

$$SS_{ABC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c X_{ijk}^2 - \frac{T^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} \dots (2.11)$$

$$= SS_{Subtotals(ABC)} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

e. *The error sum of squares*

$$SS_E = SS_T - ( SS_{Treatments} + SS_{Interactions} ) \dots (2.12)$$

2. Menentukan *degree of freedom* (derajat kebebasan)

Perhitungan derajat kebebasan (*degree of freedom*) dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor-faktor yang diamati.

*Degree of freedom* untuk faktor dan level faktor digunakan rumus (Belavendram, 1995) :

$$v_T = \text{jumlah level} - 1 \dots (2.13)$$

*Degree of freedom* untuk *orthogonal arrays* adalah :

$$v_{OA} = \text{jumlah eksperimen} - 1 \quad \dots(2.14)$$

Misalkan  $n_A$  dan  $n_B$  adalah jumlah level untuk faktor A dan faktor B maka :

$$v_A = n_A - 1 \quad \dots(2.15)$$

$$v_B = n_B - 1$$

$$v_A \times v_B = (n_A - 1)(n_B - 1) \quad \dots(2.16)$$

$$v_T = (n_A - 1) + (n_B - 1) + (n_A - 1)(n_B - 1) \quad \dots(2.17)$$

dengan :  $v_A$  : *degree of freedom* faktor A  
 $v_B$  : *degree of freedom* faktor B  
 $v_A \times v_B$  : *degree of freedom* untuk interaksi faktor A x B  
 $v_T$  : *degree of freedom* total

### 3. Menghitung *mean squares* (MS)

*Mean squares* atau rata-rata jumlah kuadrat diperoleh dengan cara membagi jumlah kuadrat dengan derajat kebebasan yang sesuai. Perhitungan *mean squares* dapat dilakukan dengan persamaan berikut (Belavendram, 1995) :

$$MS_{\text{Treatments}} = \frac{SS_{\text{Treatments}}}{df_{\text{Treatments}}} \quad \dots(2.18)$$

$$MS_{\text{Interactions}} = \frac{SS_{\text{Interactions}}}{df_{\text{Interactions}}} \quad \dots(2.19)$$

$$MS_{\text{Error}} = \frac{SS_{\text{Error}}}{df_{\text{Error}}} \quad \dots(2.20)$$

### 4. Menghitung *F ratio*

Uji ini dilakukan untuk melihat apakah ada perbedaan-perbedaan yang secara signifikan pada faktor-faktor dan interaksi antar faktor. Uji ini dilakukan dengan cara membandingkan variasi yang disebabkan masing-masing faktor dengan variasi *error*. Variasi *error* adalah variasi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor (luar) yang tidak dapat dikendalikan.

Misal untuk faktor A, maka uji *F ratio* adalah sebagai berikut :

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_E} \quad \dots(2.21)$$

dengan :  $MS_A$  = rata-rata jumlah kuadrat faktor A

$MS_E = \text{rata-rata jumlah kuadrat error}$

5. Mencari nilai kritis F

Hasil uji F *ratio* tersebut dibandingkan dengan nilai F dari tabel pada harga  $\alpha$  tertentu. Nilai kritis F ( $F_{\text{critical}}$ ) ditentukan dari tabel distribusi F, tergantung pada derajat kebebasan pada *numerator* ( $df_{\text{Numerator}}$ ), derajat kebebasan pada *deminator* ( $df_{\text{Deminator}}$ ), dan *level of significance* yang dipilih ( $\alpha$ ).

$$F_{\text{critical}} = (df_{\text{Numerator}}, df_{\text{Deminator}}, \alpha) \dots (2.22)$$

dimana :  
 $df_{\text{Numerator}}$  = derajat kebebasan untuk faktor  
 $df_{\text{Deminator}}$  = derajat kebebasan untuk *error*  
 $\alpha$  = tingkat kesalahan (semakin kecil nilai  $\alpha$  berarti semakin mengurangi resiko salah)

Nilai  $F_{\text{critical}}$  ini dibandingkan dengan nilai  $F_{\text{ratio}}$  untuk menentukan apakah variansi data yang signifikan atau tidak, maka :

$$F_{\text{ratio}} > F_{\text{critical}} \rightarrow \text{significant}$$
$$F_{\text{ratio}} < F_{\text{critical}} \rightarrow \text{not significant}$$

**2.2.18. Persen Kontribusi**

Persen kontribusi merupakan porsi masing-masing faktor dan atau interaksi faktor yang signifikan terhadap total varian yang diamati. Persen kontribusi ini merupakan fungsi dari *sum of squares* dari masing-masing faktor signifikan yang merupakan indikasi kekuatan sebuah faktor dan atau interaksi faktor.

Rumus perhitungan persen kontribusi (Belavendram, 1995) :

$$SS'_A = SS_A - (V_e \times v_A) \dots (2.23)$$

$$P = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \dots (2.24)$$

dengan :  
 $SS'_A$  = jumlah kuadrat murni untuk faktor A  
 $SS_A$  = *sum of squares* faktor A  
 $V_e$  = *mean squares error*  
 $v_A$  = derajat kebebasan faktor A  
 $SS_T$  = *sum of squares* total  
P = persen kontribusi

Apabila persen kontribusi kurang dari 15%, dapat diasumsikan bahwa tidak ada faktor-faktor penting yang dihilangkan dari eksperimen. Apabila persen kontribusi lebih besar dari 50%, terdapat beberapa faktor penting harus dihilangkan, kondisi tidak terkontrol dengan tepat, atau *error* pengukuran terlalu besar.

Persen kontribusi *error* merupakan suatu ukuran seberapa banyak pekerjaan yang tersisa untuk dilakukan atau seberapa banyak kesempatan yang masih ada. Apabila nilai persen kontribusi *error* ini rendah dan banyak faktor yang dipertimbangkan dalam eksperimen, kesempatan untuk perbaikan lebih lanjut tidak terlalu besar. Dan bila nilai persen kontribusi *error* tinggi, terdapat kesempatan yang baik untuk perbaikan lebih lanjut dan penelitian yang lebih banyak akan menguntungkan.

### 2.2.19. Signal to Noise Ratio

*Signal* adalah nilai rata-rata dari karakteristik dan menampilkan komponen yang diinginkan, yang mendekati nilai target yang telah ditentukan. Sedangkan *noise* adalah komponen yang tidak diinginkan dan diukur melalui variabilitas karakteristik *output*. *Signal to noise ratio (S/N ratio)* ini merupakan suatu nilai yang menunjukkan seberapa besar pengaruh faktor terkendali terhadap kualitas produk yang dihasilkan dan memperhitungkan variasi produk yang dihasilkan serta seberapa dekat produk tersebut dengan target yang telah ditentukan. *S/N ratio* digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu faktor.

Rumus perhitungan *S/N ratio* yang digunakan, yaitu: *Smaller is the best*, digunakan untuk pencapaian karakteristik kualitas yang jika semakin kecil (mendekati nol) akan semakin baik.

$$SN_{small} = -10 \log_{10} \left[ \sum (y_i)^2 / n \right] \quad \dots(2.25)$$

$$S/N_{s.i.t.b.1} = -10 \log_{10} (\mu^2 + s^2) \quad \dots(2.26)$$

dimana:

$\bar{y}$  = rata-rata pengamatan

$s^2$  = besarnya varian

$y_i$  = pengamatan perulangan ke-i

$n$  = banyak perulangan

### 2.2.20. Strategi Pooling Up

*Strategi pooling up* dirancang oleh *Taguchi* untuk mengestimasi varian *error* pada analisis varian sehingga estimasi yang dihasilkan akan lebih baik. Strategi ini akan mengakumulasi beberapa varians *error* dari beberapa faktor yang kurang berarti. Strategi ini menguji F efek kolom terkecil terhadap yang lebih besar berikutnya untuk melihat kesignifikannya. Dalam hal ini jika tidak ada rasio F signifikan yang muncul maka kedua efek tersebut di *pooling* untuk menguji kolom yang lebih besar berikutnya sampai dengan rasio F yang signifikan muncul. Atau dengan kata lain *pooling up* dilakukan jika pengaruh semua faktor yang diteliti tidak ada yang signifikan. Ini terjadi jika varian kesalahan yang mewakili kesalahan dalam percobaan mempunyai derajat kebebasan relatif lebih kecil atau nol. Oleh karena itu, pengaruh faktor yang mempunyai jumlah kuadrat yang paling kecil berikutnya digabungkan dengan jumlah kuadrat kesalahan demikian seterusnya hingga diperoleh yang signifikan. Makin besar harga rasio F, makin signifikan sumber tersebut.

Dari faktor yang tersisa tersebut akan kembali dilakukan F-test sampai diperoleh hasil *pooled* setengah dari nilai derajat kebebasan *orthogonal array*. Tujuannya untuk menghindari estimasi yang berlebihan, selain itu semakin besar nilai *degree of freedom* dari *error sum of squares* maka estimasi *error sum of squares* juga lebih baik.

Strategi *pooling up* cenderung memaksimalkan jumlah kolom yang dipertimbangkan signifikan. Dengan keputusan signifikan faktor-faktor tersebut akan digunakan dalam putaran percobaan selanjutnya atau dalam desain produk atau proses. Dengan demikian kecenderungan melakukan kesalahan  $\alpha$  (kesalahan tipe I) akan membesar yaitu pertimbangan bahwa faktor menyebabkan perbaikan, padahal tidak. Namun keadaan ini lebih baik dari pada melakukan kesalahan  $\beta$  (kesalahan tipe II) yaitu pertimbangan bahwa faktor tidak menyebabkan perbaikan padahal sebenarnya menyebabkan perbaikan.

Rumusnya (Belavendram, 1995) :

$$S(\text{Pooled } e) = S_e + S_D \quad \dots \dots (2.28)$$

$$V(\text{Pooled } e) = v_e + v_D \quad \dots \dots (2.29)$$

$$M(\text{Pooled } e) = \frac{S(\text{Pooled } e)}{V(\text{Pooled } e)} \dots\dots(2.30)$$

**2.2.21. Analisis Regresi**

Model regresi memiliki variabel respon (y) dan variabel prediktor (x). Variabel respon adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel prediktor. Variabel respon sering dikenal sebagai variabel independen karena peneliti tidak bisa bebas mengendalikannya. Kemudian variabel prediktor digunakan untuk memprediksi nilai variabel respon dan sering disebut variabel dependen karena peneliti bebas mengendalikannya. Kedua variabel dihubungkan dalam bentuk persamaan matematika. Secara umum, bentuk persamaan regresi dinyatakan sebagai berikut (Montgomery, 1997) :

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots\dots + \beta_kx_k + \epsilon \dots\dots(2.31)$$

- dimana :
- y = variabel respon
  - $\beta_i$  = koefisien regresi (i = 0,1,2,3,4)
  - $X_i$  = variabel independen (i = 1,2,3,4)
  - $x_1$  = faktor A
  - $x_2$  = faktor B
  - $x_3$  = faktor C
  - $x_4$  = faktor D

**2.2.22. Response Surface Methodology (RSM)**

*Response Surface Methodology* (RSM) adalah sekumpulan metode matematika dan teknik-teknik statistik yang bertujuan membuat model dan melakukan analisis mengenai respon yang dipengaruhi oleh beberapa variabel. RSM digunakan sebagai upaya mencari fungsi yang tepat untuk memprediksi respons. RSM mempunyai variabel prediktor lebih dari satu dan data ada yang tidak kuantitatif.

Tahap pertama dalam RSM adalah mencari fungsi hubungan antara variabel respons dengan variabel independen yang tepat. Dalam permasalahan RSM, peneliti sering tidak mengetahui hubungan antara variabel respons dan variabel independen. Untuk memodelkannya, perlu memeriksa apakah model antar variabel adalah model *linear* (model orde satu atau model polinomial). Apabila

dalam sistem terdapat pola tidak *linear*, tentu model yang tepat adalah model polinomial orde tinggi (Montgomery, 1997).

Model RSM :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{22} X_2^2 + \dots + \epsilon \quad (2.32)$$

Model RSM orde satu :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon \quad (2.33)$$

Model RSM orde dua :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \dots + \beta_{12} X_1 X_2 + \dots + \epsilon \quad (2.34)$$

- dimana :
- y = variabel respon
  - $\beta_i$  = koefisien regresi ( $i = 0, 1, 2, 3, 4$ )
  - $X_i$  = variabel independen ( $i = 1, 2, 3, 4$ )
  - $x_1$  = faktor A
  - $x_2$  = faktor B
  - $x_3$  = faktor C
  - $x_4$  = faktor D

### 2.2.23. Penentuan Titik Stasioner

Setelah persamaan model orde II yang dibentuk telah sesuai, maka langkah selanjutnya adalah menentukan titik stasioner. Titik stasioner adalah titik dimana respon yang diamati akan maksimal, minimum atau pelana (Montgomery, 1997).

### 2.2.23 Interpretasi Hasil

Interpretasi hasil merupakan langkah yang dilakukan setelah percobaan dan analisis dilakukan. Di sini membahas kesimpulan yang bisa diambil berdasarkan hasil perhitungan dan analisis data yang sudah dilakukan.

### 2.2.24 Ishikawa Diagram

Ishikawa diagram atau biasa disebut diagram sebab-akibat, digunakan untuk menyajikan penyebab suatu masalah secara grafis.