

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian yang berkaitan dengan eksperimen menggunakan metode Taguchi telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Metode Taguchi dianggap dapat membantu perancangan desain yang berkualitas. Berikut ini adalah beberapa hasil penelitian eksperimen dengan menggunakan metode Taguchi yang pernah dilakukan sebelumnya.

Julianingsih dkk (2004) dalam jurnalnya melakukan penelitian untuk mendapatkan komposisi bahan baku kecap manis yang disukai oleh konsumen dengan metode Taguchi. Kriteria penilaian sebagai respon dalam penelitian tersebut adalah rasa, warna, serta kekentalan kecap manis terhadap kecap pesaing. Kriteria-kriteria tersebut diujikan berdasarkan urutan *orthogonal array* yang digunakan, yaitu $L_{18}(2^1 \times 3^7)$. Hasil dari penelitian tersebut adalah didapatkannya komposisi yang disukai oleh konsumen dengan proporsi sebesar 65,4%.

Darmono (2015) dalam skripsinya menyatakan bahwa kepuasan konsumen terhadap kualitas dalam persaingan di industri saat ini sangatlah penting. Kepuasan konsumen tersebut bisa didapatkan dengan jaminan kualitas pada proses produksi serta stabilnya hasil produksi tersebut. Tujuan dilakukannya penelitian tersebut adalah mendapatkan faktor-faktor yang berpengaruh pada kualitas massa tali rafia, mengoptimasi proses yang ada, serta mendapatkan hubungan faktor-faktor yang ada. Metode penelitian yang digunakan adalah metode Taguchi dengan desain percobaan menggunakan Orthogonal Array. Analisis yang dilakukan oleh peneliti menggunakan Analysis of Variance atau ANOVA. Hasil dari penelitian yang dilakukan adalah didapatkan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas massa tali dan didapatkan pengaturan mesin yang baru sehingga dihasilkan kualitas massa tali rafia yang lebih baik.

Anggraini dkk (2015) dalam jurnalnya menyebutkan bahwa kualitas produk menjadi salah satu penunjang kemajuan dalam industri rumah tangga. Tujuan dilakukannya penelitian tersebut adalah meminimasi kecacatan produk pada proses produksi paving blok. Jadi, secara tidak langsung, penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui faktor yang berpengaruh pada kualitas produk paving dan bagaimana cara meningkatkan kualitas tersebut. Untuk mengetahui sebab-

akibat dari permasalahan yang ada peneliti menggunakan *fishbone* diagram. Metode Taguchi digunakan untuk mengetahui *setting* yang optimal sehingga kualitas paving dapat meningkat.

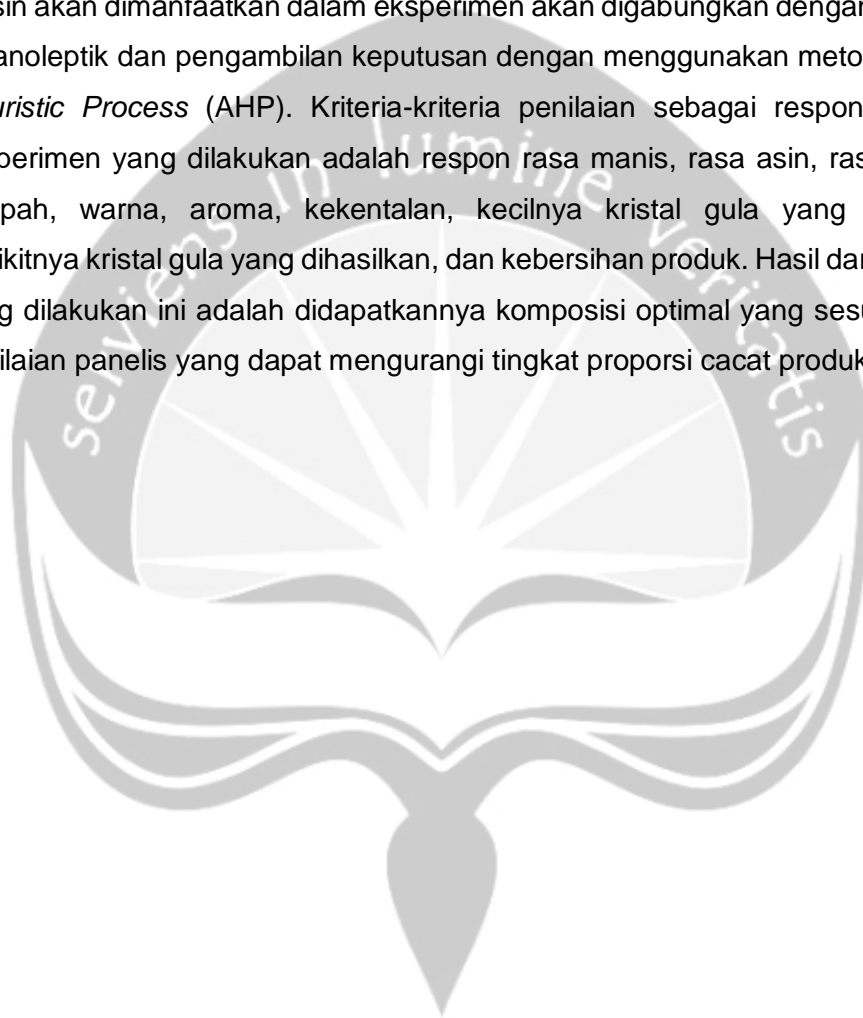
Oktajayanti dkk (2016) dalam jurnalnya menyebutkan bahwa faktor utama untuk meraih kesuksesan dalam bisnis di era globalisasi adalah kualitas. Tujuan dilakukannya penelitian tersebut adalah untuk meningkatkan produktivitas di PT Asaputex Jaya Spinning Mill Tegal. Metode Six Sigma dan Metode Taguchi digunakan dalam penelitian tersebut untuk meningkatkan kualitas produk yang ada dan menekan sumber daya dan biaya sehingga yang dikeluarkan seminimal mungkin. Hasil dari penelitian tersebut yaitu mendapatkan faktor-faktor yang paling berpengaruh pada peningkatan kualitas produk, di mana dalam penelitian tersebut adalah benang.

Pratiwi dkk (2018) dalam jurnalnya ingin memanfaatkan serbuk kayu hasil limbah perusahaan mebel di sekitar Kecamatan Kedungkandang, Malang, sebagai bahan tambahan dalam pembuatan bata merah. Metode DMAIC digunakan untuk memperbaiki kualitas produk, sedangkan metode Taguchi digunakan untuk mencari komposisi produk terbaik dengan menambahkan serbuk kayu dalam pembuatan bata merah. Penambahan serbuk kayu ini dinilai dapat menghasilkan bata merah yang lebih kuat dan mampu memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI). Hasil dari penelitian ini adalah didapatkannya komposisi baru dalam pembuatan bata merah dan terjadi peningkatan kualitas dengan menurunnya jumlah cacat produk dalam produksi.

Yudana (2018) dalam skripsinya yang berjudul "Perancangan Produk Kecap pada Perusahaan Sarico dengan Metode Design For Six Sigma" menyatakan bahwa pertumbuhan industri yang ada di Indonesia beerlangsung dengan sangat cepat. Pertumbuhan industri ini membuat persaingan yang ada di pasar menjadi semakin ketat. Tujuan dilakukannya penelitian tersebut untuk menganalisis karakteristik kualitas yang cocok untuk dipadukan dengan mie ayam dan bakso di kota Purworejo, merancang produk kecap dengan kualitas yang sesuai dengan karakteristik yang ada dengan metode DFSS. Metode penelitian yang digunakan memiliki tahapan Define-Measure-Analyse-Design-Verify untuk merancang produk kecap manis yang sesuai dengan keinginan pedagang bakso dan mie ayam di Kota Purworejo. Desain percobaan dilakukan dengan menggunakan *tools design review* dan analisis yang dilakukan dengan menggunakan Teoriya

Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch (TRIZ). Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah didapatkan komposisi baru produk yang sesuai dengan keinginan pedagang mie ayam dan bakso di kota Purworejo.

Penelitian yang dilakukan saat ini memiliki tujuan untuk mendapatkan komposisi optimal untuk mengurangi cacat produk dengan metode Taguchi. Penelitian ini dilakukan di CV Srikandi Makmur Sejahtera, Kebumen, Jawa Tengah, Indonesia. Metode Taguchi yang biasa digunakan untuk mencari *setting* optimal sebuah mesin akan dimanfaatkan dalam eksperimen akan digabungkan dengan pengujian organoleptik dan pengambilan keputusan dengan menggunakan metode *Analytic Heuristic Process* (AHP). Kriteria-kriteria penilaian sebagai respon dari hasil eksperimen yang dilakukan adalah respon rasa manis, rasa asin, rasa rempah-rempah, warna, aroma, kekentalan, kecilnya kristal gula yang dihasilkan, sedikitnya kristal gula yang dihasilkan, dan kebersihan produk. Hasil dari penelitian yang dilakukan ini adalah didapatkannya komposisi optimal yang sesuai dengan penilaian panelis yang dapat mengurangi tingkat proporsi cacat produk.



Tabel 2.1. Ringkasan Tinjauan Pustaka

Deskripsi	Penelitian						
	Julianingsih dkk (2004)	Darmono (2015)	Anggraini dkk (2015)	Oktajayanti dkk (2016)	Pratiwi dkk (2018)	Yudana (2018)	Penelitian yang dilakukan
Topik Penelitian	Penentuan Komposisi Bahan Baku Optimal Produk Kecap X dengan Metode Taguchi	Rekayasa Kualitas Produksi Tali Rafia dengan Pendekatan Metode Taguchi	Aplikasi Metode Taguchi untuk Menurunkan Tingkat Kecacatan pada Produk Paving	Pendekatan Metode Six Sigma-Taguchi dalam Meningkatkan Kualitas Produk (di PT Asaputex Jaya Spinning Mill Tegal)	Penerapan Siklus DMAIC dengan Metode Taguchi untuk Meningkatkan Kualitas Bata Merah dengan Penambahan Serbuk	Perancangan Produk Kecap pada Perusahaan Sarico dengan Metode Design for Six Sigma	Penentuan Komposisi Optimal Kecap Manis di CV SMS untuk Mengurangi Cacat Produk dengan Metode Taguchi
Tujuan Penelitian	Mendapatkan komposisi yang disukai oleh konsumen	Mendapatkan faktor yang berpengaruh pada massa tali dan variasinya yang muncul, mengoptimasi proses untuk mengatasi faktor-faktor yang ada, mendapatkan hubungan antara faktor-faktor yang ada terhadap kualitas massa tali.	Mengetahui faktor yang berpengaruh pada kecacatan produk paving; Meningkatkan kualitas produk sehingga cacat yang dihasilkan menurun	Meningkatkan produktivitas dengan menurunkan jumlah produk cacat yang dihasilkan; Meningkatkan kualitas produk benang yang dihasilkan	Meningkatkan kualitas (kekerasan) bata merah dengan menemukan komposisi baru, Meningkatkan level Sigma dan meningkatkan kapabilitas proses dari pembuatan Bata Merah	Menganalisis karakteristik kualitas yang cocok untuk dipadukan dengan mie ayam dan bakso di kota Purworejo secara spesifik, perancangan produk kecap dengan kualitas yang sesuai dengan karakteristik kualitas yang cocok, merancang produk baru dengan menggunakan metode DFSS	Menemukan komposisi baru yang diduga tetap disukai oleh konsumen yang diwakili oleh panelis dan dapat menurunkan proporsi produk cacat akibat munculnya kristal pada produk

Tabel 2.1. Lanjutan

Deskripsi	Penelitian						
	Julianingsih dkk (2004)	Darmono (2015)	Anggraini dkk (2015)	Oktajayanti dkk (2016)	Pratiwi dkk (2018)	Yudana (2018)	Penelitian yang dilakukan
Metode Penelitian	Metode Taguchi	Metode Taguchi	Fishbone Diagram, Metode Taguchi	Six Sigma, Metode Taguchi	DMAIC, Metode Taguchi	Metode DFSS dengan DMADV	Metode Taguchi
Desain Percobaan	Orthogonal Array L ₁₈ (2 ¹ × 3 ⁷)	Orthogonal Array L ₁₈ (2 ¹ × 3 ³)	Orthogonal Array L ₈ (2 ⁷)	Orthogonal Array L ₉ (3 ⁴)	Orthogonal Array L ₉ (3 ⁴)	Tools Design Review	Orthogonal Array L ₂₇ (3 ⁷)
Analisis	ANOVA	ANOVA	ANOVA	ANOVA	ANOVA	TRIZ (Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch)	ANOVA, <i>Analytic Heuristic Process</i>
Hasil	Didapatkan komposisi yang disukai oleh konsumen sebesar 65,4%	Didapatkan faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap kualitas massa tali. Didapatkan <i>setting</i> mesin yang baru untuk mendapatkan kualitas massa tali yang lebih baik.	Mengetahui faktor-faktor yang paling berpengaruh pada kualitas Paving dan menghasilkan <i>setting</i> yang optimal	Mendapatkan faktor-faktor yang paling berpengaruh pada peningkatan kualitas benang.	Didapatkan karakteristik kualitas kunci yang belum mencapai standar; Nilai kapabilitas proses meningkat setelah eksperimen diterapkan; Mendapatkan komposisi baru	Didapatkan komposisi baru produk yang sesuai dengan keinginan pedagang mie ayam dan bakso di Kota Purworejo.	Didapatkan komposisi optimal sesuai dengan keinginan panelis yang dapat menurunkan tingkat proporsi produk cacat akibat kristalisasi gula.
Outcome	Jurnal Nasional	Thesis atau Skripsi	Jurnal Nasional	Jurnal Nasional	Jurnal Nasional	Thesis atau Skripsi	Thesis atau Skripsi

2.2. Dasar Teori

Dasar teori berisi tentang pemahaman tentang proses kristalisasi, pengertian kualitas, dan metode Taguchi.

2.2.1. Proses Kristalisasi

Proses kristalisasi terjadi karena terjadinya supersaturasi pada larutan yang ada. Proses ini terjadi saat adanya penguapan air pada sukrosa. Penguapan tersebut membuat molekul sukrosa yang ada mengalami keadaan lewat jenuh yang mengakibatkan terbentuknya rantai dari molekul-molekul yang ada. Brown dan Levy pada 1963 menyatakan bahwa dengan menggunakan difraksi neutron, dapat dilihat adanya dua ikatan-H intramolekul untuk molekul sukrosa dalam jaringan kristal. Menurut Kusumadiyono (1982), terdapat empat faktor yang mempengaruhi kecepatan proses kristalisasi. Keempat faktor tersebut adalah:

a. Konsentrasi Larutan.

Semakin jenuh konsentrasi dari larutan, maka proses kristalisasi akan berlangsung dengan lebih cepat. Karena, larutan yang memiliki konsentrasi jenuh besar akan memiliki sukrosa dengan kandungan yang lebih banyak. Sukrosa dengan kandungan yang lebih banyak ini akan mempercepat proses pembentukan inti kristal dan penempelan pada inti kristal.

b. Kandungan Kotoran.

Larutan yang memiliki banyak kotoran akan menyebabkan kemurnian larutan menjadi lebih rendah. Semakin kotor larutan tersebut, maka kecepatan kristalisasi akan semakin lambat.

c. Bahan Pemanas

Bahan pemanas digunakan untuk menguapkan air. Air diuapkan agar proses kristalisasi menjadi lebih cepat karena larutan semakin jenuh.

d. Jenis Alat

Alat yang digunakan untuk memasak akan berpengaruh pada lama waktu pemasakannya. Lama waktu pemasakan ini akan berpengaruh pada bahan pemanas yang digunakan.

Terdapat dua tahapan dalam pembentukan kristal, yaitu tahap nukleasi (*nucleation*) dan tahap pertumbuhan kristal (*crystal growth*). Kristal terbentuk pada saat nuklei terbentuk. Keadaan yang dibutuhkan dalam pembentukan nuklei ini adalah keadaan di mana larutan tersebut sangat jenuh. Keadaan sangat jenuh

didapatkan dengan mengubah suhu dari larutan ataupun menghilangkan pelarut yang ada dalam larutan tersebut (biasanya air). Keadaan sangat jenuh ini disebut dengan supersaturasi metastabil. Tahap pertumbuhan kristal merupakan pertumbuhan kristal dari hasil nuklei (inti) yang berhasil. Pertumbuhan kristal ini akan terus menerus terjadi selama larutan masih berada pada keadaan jenuh. Proses pembentukan kristal dipengaruhi oleh kejenuhan larutan yang ada. Hal tersebut akan mengakibatkan diperolehnya ukuran dan bentuk kristal yang berbeda-beda. Kristalisasi akan berhenti saat larutan berada pada kondisi seimbang. Proses kristalisasi ini dapat terjadi pada larutan yang menggunakan gula seperti sirup atau kecap manis, namun munculnya kristal gula ini tidak diharapkan pada produk yang memiliki rasa manis dalam bentuk cairan seperti sirup atau kecap manis. Proses kristalisasi akan dimanfaatkan dalam pembuatan gula pasir maupun permen.

2.2.2. Tahapan Pembuatan Kecap Manis di CV Srikandi Makmur Sejahtera

Kecap manis terbuat dari bahan dasar gula jawa, kedelai hitam, garam, air, dan rempah-rempah. Terdapat dua tahap dalam pembuatan kecap manis di CV SMS. Tahapan pertama adalah proses pengolahan kedelai hitam dan tahapan kedua adalah proses pembuatan kecap manis.

a. Proses Pengolahan Kedelai Hitam

Terdapat delapan tahapan dalam pengolahan kedelai hitam agar dapat digunakan menjadi bahan baku kecap. Tahapan tersebut adalah:

1. Perendaman kedelai hitam

Perendaman kedelai hitam dilakukan selama satu hari satu malam. Perendaman ini bertujuan untuk mempercepat proses perebusan yang akan dilakukan nantinya. Selain itu, proses perendaman juga dapat berfungsi sebagai pencucian kedelai agar kedelai menjadi bersih dari kontaminasi. Proses ini juga membantu memisahkan kedelai jelek dengan kedelai yang baik. Kedelai jelek akan mengambang (kedelai sudah menjadi gabah), sedangkan kedelai yang baik akan tenggelam.

2. Perebusan kedelai Hitam

Kedelai hitam yang telah direndam, dimasukkan ke dalam wajan untuk dilakukan perebusan. Perebusan dilakukan selama tiga hingga lima jam lamanya. Lama perebusan bergantung pada usia kedelai hitam. Jika kedelai yang masih muda (baru), maka akan lebih cepat empuk dan matang. Sedangkan kedelai yang sudah

tua (lama), maka akan memakan waktu lebih lama untuk menjadi empuk dan matang.

3. Pendinginan hasil perebusan

Pendinginan hasil perebusan kedelai tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan tambir. Pendinginan dilakukan agar proses peragian dapat berjalan dengan baik. Pendinginan dilakukan karena ragi tidak dapat berkerja dengan baik apabila kedelai hitam hasil perebusan masih dalam keadaan panas. Waktu pendinginan hasil rebusan kedelai hitam kurang lebih memakan waktu satu jam.

4. Peragian hasil perebusan

Kedelai hitam hasil perebusan yang telah dingin tersebut lalu diberi ragi. Pemberian ragi bertujuan agar muncul jamur selama proses penyimpanan. Munculnya jamur ini disebut dengan proses fermentasi 1. Pemberian ragi disesuaikan dengan bobot kedelai yang ada di tambir. Semakin banyak kedelai yang ada di tambir maka ragi yang diberikan semakin banyak pula.

5. Fermentasi Pertama

Pada tahap fermentasi pertama, kedelai hitam yang telah diberi ragi tersebut didiamkan selama dua hingga tiga hari. Selama kedelai hitam didiamkan tersebut, akan tumbuh jamur pada kedelai-kedelai tersebut. Keadaan kedelai hitam saat fermentasi pertama ini adalah lembab (tidak kering) sehingga jamur dapat tumbuh dengan mudah.

6. Penjemuran

Proses penjemuran dilakukan setelah proses fermentasi pertama. Proses penjemuran memakan waktu selama tiga hingga empat hari lamanya. Proses penjemuran ini dilakukan secara manual menggunakan panas matahari. Jika cuaca cerah dan panas, maka proses penjemuran tidak akan memakan waktu yang cukup lama. Jika cuaca berawan, maka proses penjemuran dapat berlangsung lebih dari empat hari. Proses penjemuran ini dilakukan hingga kedelai hitam yang telah berjamur tersebut benar-benar menjadi kering.

7. Fermentasi 2

Pada proses fermentasi kedua ini, dibutuhkan kedelai hitam yang telah berjamur dan kering, air, serta garam. Air dan garam dicampurkan ke dalam bak penampungan terlebih dahulu. Garam yang dicampurkan harus larut dalam air tersebut. Setelah menjadi air garam, maka kedelai hitam hasil penjemuran dimasukkan ke dalam bak penampungan tersebut. Lamanya proses fermentasi

kedua ini minimal satu bulan lamanya. Hasil fermentasi kedua inilah yang akan digunakan menjadi bahan dalam pembuatan kecap manis.

b. Proses Pembuatan Kecap Manis di CV Srikandi Makmur Sejahtera

Proses pembuatan kecap manis di CV Srikandi Makmur Sejahtera diawali dengan pembuatan air garam. Air dan garam yang telah diukur dicampurkan dan diaduk hingga merata. Air garam tersebut dimasukkan ke dalam wajan pemasakan. Setelah itu, air rempah-rempah dan kedelai hasil fermentasi kedua dimasukkan pula ke dalam wajan. Bahan terakhir yang dimasukkan adalah gula jawa. Hasil pencampuran bahan baku tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1. dibawah ini.



Gambar 2.1. Hasil Pencampuran Bahan Baku

Setelah gula jawa masuk ke dalam wajan, maka campuran tersebut diaduk hingga matang secara manual hingga mendidih. Kecap yang mulai mendidih ini akan menghasilkan banyak buih. Salah satu operator yang bertugas akan mengecilkan api pada tungku masak, dan operator lainnya akan tetap mengaduk kecap. Kecap manis yang mulai mendidih dapat dilihat pada gambar 2.2. berikut ini.



Gambar 2.2. Kecap Manis Mulai Mendidih dan Menghasilkan Buih

Saat kecap mendidih, kecap akan disaring sekaligus diaduk oleh operator yang bertugas. Pengadukan kecap dilakukan terus menerus untuk mengurangi buih yang ada. Sedangkan penyaringan dilakukan untuk memisahkan kotoran yang ada agar tidak ikut dikemas. Proses penyaringan kecap secara manual dapat dilihat pada gambar 2.3. di bawah ini.



Gambar 2.3. Penyaringan Manual Kecap Manis

Kecap manis dianggap telah matang apabila kekentalannya dinyatakan sudah cukup oleh inspektur. Setelah kecap dianggap matang, maka dilakukan proses

penyaringan dengan menggunakan mesin dan kecap disimpan ke dalam bak atau tanki penampungan.

2.2.3. Pengertian Kualitas

Kualitas memiliki definisi yang bermacam-macam. Definisi yang bermacam-macam ini muncul karena kualitas itu sendiri dapat diterapkan dalam berbagai aspek kehidupan. Sesuatu disebut berkualitas apabila memenuhi standar atau ekspektasi. Menurut Garvin (1984), terdapat delapan atribut yang dapat mendefinisikan kualitas yaitu performa, fitur, keandalan, kesesuaian, daya tahan, kemudahan pelayanan, estetika, dan persepsi. Kualitas juga dapat dikatakan sebagai segala sesuatu yang dapat memenuhi kebutuhan serta keinginan pelanggan.

Pengertian kualitas menurut beberapa ahli:

- a. Joseph Juran (1974 dan 1988) : kualitas adalah *fitness for use* dan *fitness for purpose* (arti: kecocokan untuk dipakai dan kesesuaian dengan tujuan).
- b. Crosby (1979) : kualitas adalah kesesuaian dengan persyaratan atau spesifikasi.
- c. ANSI/ASQC Standard A3 (1987) : kualitas adalah keseluruhan fitur dan karakteristik produk atau layanan yang memiliki kemampuan untuk memenuhi kebutuhan baik yang tersirat maupun dinyatakan.
- d. Armand V. Feigenbaum (1991) : kualitas adalah total karakteristik produk dan layanan yang terdiri dari pemasaran, teknis, pembuatan, dan pemeliharaan dari produk dan layanan guna memenuhi harapan pelanggan.

2.2.4. Pengantar Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan metode yang dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi di tahun 1949. Dr. Genichi Taguchi bertugas untuk memperbaiki sistem telekomunikasi Jepang yang mengalami kerusakan parah sehingga tidak berfungsi dengan semestinya setelah Perang Dunia Kedua. Riset yang dilakukan mayoritas merupakan metodologi peningkatan kualitas secara komprehensif. Riset tersebut sering kali menggunakan teknik *Design of Experiment* (DOE).

Dr. Genichi Taguchi memiliki pandangan yang berbeda dalam hal pengertian kualitas. Pengertian kualitas menurut Genichi Taguchi cenderung bernada negatif. Taguchi melihat kualitas dan kaitannya dengan biaya dan kerugian yang dibawa ke dalam satuan moneter. Pengertian kualitas menurut Taguchi adalah kerugian

minimum yang diberikan oleh produk kepada konsumen sejak produk dikirim. Berdasarkan pengertian kualitas menurut Taguchi ini, maka perusahaan harus dapat menyediakan produk dan layanan yang memenuhi kebutuhan serta ekspektasi konsumen selama masa pemakaian produk (atau jasa) tersebut, dengan biaya yang mewakili nilai pelanggan.

Terdapat tiga konsep dasar dalam Metode Taguchi, yaitu:

- a. Kualitas didesain dalam produk, yang perlu dilakukan adalah peningkatan kualitas produk sejak desain produk dibuat. Jadi, kualitas tidak harus diinspeksi dalam produk karena kualitas sudah didesain dalam produk tersebut.
- b. Pencapaian kualitas yang terbaik dapat dilakukan dengan memperkecil penyimpangan target (deviasi produk). Produk didesain agar tidak terpengaruh oleh faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
- c. Fungsi penyimpangan standar dan kerugian merupakan biaya dari suatu kualitas yang diukur dari keseluruhan sistem.

Terdapat dua jenis aktivitas pengendalian kualitas. Dua jenis aktivitas tersebut adalah *off line quality control* dan *on line quality control*. Pengertian lengkap *off line quality control* dan *on line quality control* dapat dilihat pada penjelasan berikut.

a. Off line quality control

Off line quality control adalah jenis aktivitas pengendalian kualitas yang dilakukan pada tahap desain. Tindakan pengendalian kualitas ini digolongkan dalam tindakan *preventive*. Pengendalian kualitas ini tidak dilakukan di dalam rantai produksi, tetapi kualitas yang harus ada di produk sudah di desain sejak awal di produk tersebut. *Off line quality control* juga sering disebut dengan *robust design* atau desain yang kokoh. Desain produk dibuat agar produk tidak terpengaruh oleh faktor-faktor *noise* yang ada. Sehingga produk tidak sensitif terhadap perubahan dari faktor *noise* baik eksternal, internal, maupun *unit-to-unit*.

Pengendalian kualitas yang dilakukan ada pada tahap desain produk maupun proses produksi. Menurut Taguchi (2005) dalam bukunya yang berjudul "Taguchi's Quality Engineering Handbook", terdapat tiga tahapan dalam *off line quality control* yaitu desain sistem, desain parameter, dan desain toleransi.

a. Desain Sistem

Desain sistem sering disebut dengan desain utama. Desain sistem yang dilakukan dapat berupa pemilihan sistem yang sudah ada maupun sistem yang belum

pernah ada sama sekali (sistem baru). Sistem yang dipilih harus memperhatikan fungsi dari sistem tersebut. Biasanya, suatu perusahaan atau organisasi dalam memilih sistem akan melakukan sesi *brainstorming* untuk mendiskusikan kekuatan dan kelemahan dari sistem baru yang ada.

Desain sistem adalah tahap desain fungsional yang fokus pada teknologi yang bersangkutan. Pengetahuan teknis dan pengalaman akan proses yang dilakukan diperlukan dalam tahap ini, karena tahap ini akan menentukan proses atau produk yang hendak dibuat. Desain sistem tidak menggunakan metode optimisasi seperti *design of experiment*. Namun dalam tahap ini, dilakukan survey akan teknologi yang relevan yang dapat digunakan dalam pembuatan produk atau proses.

b. Desain Parameter

Desain parameter sering disebut dengan desain sekunder. Pada tahap ini, para desainer harus menentukan parameter dari desain yang sesuai (atau parameter sistem) dari sistem yang dipilih. Parameter yang dipilih harus bisa meningkatkan kualitas dan menurunkan biaya yang dikeluarkan.

Desain parameter memberikan cara untuk menurunkan biaya yang dikeluarkan dan meningkatkan kualitas dengan menggunakan metode *Design of Experiment* (DOE). Dalam desain parameter terdapat penentuan nilai parameter yang paling tidak sensitif atau paling tidak dipengaruhi oleh *noise*. Tahap desain parameter juga dapat menunjukkan kombinasi level dari parameter yang ada yang mampu mengurangi efek dari *noise*.

Desain parameter dilakukan identifikasi level dari faktor-faktor yang akan membuat insentif karakteristik kualitas terhadap faktor *noise*. Sehingga, desain parameter adalah tahap sentral dalam proses Robust Design (desain kokoh). Desain parameter ini akan memberikan jawaban dari kebutuhan untuk merancang produk atau proses yang memiliki kehandalan tinggi dalam berbagai kondisi. Metode *design of experiment* (DOE) digunakan dalam tahap ini. Kunci sukses dalam melakukan metode DOE dengan memilih karakteristik tujuan dan melakukan studi tentang faktor-faktor dengan mempertimbangkan kualitas produk.

c. Desain Toleransi

Desain toleransi sering disebut dengan desain tersier. Dalam desain toleransi dilakukan pengendalian faktor-faktor yang akan mempengaruhi nilai target. Desain toleransi ini digunakan untuk menentukan *trade-off* atau pertukaran antara tingkat kualitas dengan biaya yang dikeluarkan dalam perancangan. Faktor-faktor *noise*

yang ada sebisa mungkin tidak menyimpang terlalu jauh dan masih ada dalam batas toleransi. Toleransi yang ditentukan harus mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan dan juga fungsi kualitas yang hilang (*quality loss function*).

b. *On line quality control*

On line quality control adalah pengendalian kualitas yang dilakukan saat proses produksi dilakukan. Pengendalian kualitas ini juga dapat dilakukan dengan memantau pemakaian pelanggan. Perubahan dalam produk dapat terjadi karena adanya kerusakan mesin dan kesalahan manusia. Sumber perubahan tersebut dipantau dengan pengendalian kualitas *on line* selama produksi berjalan normal. Terdapat tiga jenis *on line quality control*, yaitu diagnosis dan penyesuaian proses, prediksi dan koreksi, pengukuran dan aksi.

Diagnosis dan penyesuaian proses sering disebut dengan kontrol proses. Proses yang ada di diagnosis dalam interval yang teratur. Jika proses normal, maka produksi akan tetap dilanjutkan. Namun jika proses tidak normal, maka produksi akan diberhentikan sementara hingga penyebab ketidak normalan tersebut diketahui. Jika sudah diketahui penyebab ketidak normalan produksi, maka dilakukan penyesuaian hingga produksi normal kembali dan proses produksi kembali dilanjutkan. *Statistical Process Control* (SPC) atau kontrol proses statistik dilakukan dalam pengendalian kualitas jenis ini. Contohnya adalah penggunaan grafik kontrol variabel seperti X-bar Sigma ($\bar{X} - S$) atau X-bar Range ($\bar{X} - R$).

Prediksi dan koreksi dilakukan dengan melakukan pengukuran karakteristik kualitatif dalam interval yang teratur. Hasil pengukuran tersebut untuk memprediksi, biasanya rata-rata atau *mean*, nilai karakteristik yang mungkin muncul jika produksi dilanjutkan tanpa adanya penyesuaian kembali. Jika nilai prediksi berbeda dengan nilai targetnya maka dilakukan tindakan koreksi untuk mengurangi perbedaannya.

Pengukuran dan aksi disebut juga dengan inspeksi. Unit yang dihasilkan dari produksi diukur. Unit yang tidak memenuhi spesifikasi, jika memungkinkan, maka unit akan dikerjakan ulang (*rework*). Jika unit tidak memungkinkan untuk dilakukan *rework*, maka unit akan dianggap cacat dan dipisahkan dari produk yang baik.

Pengukuran dan aksi termasuk ke dalam *on line quality control* yang berhubungan dengan produk secara langsung. Sedangkan diagnosis dan penyesuaian proses

serta prediksi dan koreksi merupakan *on line quality control* yang berhubungan dengan proses produksi yang dilakukan.

Selain itu, *on line quality control* juga dapat dilakukan dengan memperhatikan suara konsumen. Perusahaan dapat memberikan pelayanan konsumen yang memberikan garansi produk kepada konsumen. Garansi produk ini merupakan salah satu cara untuk menanggulangi rusaknya reputasi perusahaan karena kualitas produk yang ada di konsumen ternyata buruk.

Secara ringkas, aktivitas pengendalian kualitas *off line* maupun *on line* dapat dilihat pada tabel 2.2. berikut ini.

Tabel 2.2. Ringkasan Pengendalian Kualitas *Off Line* maupun *On Line* (Belavendram, 1995)

Realisasi Produksi	Aktivitas Pengendalian Kualitas	Kemampuan untuk Menurunkan Efek dari Faktor <i>Noise</i>		
		Eksternal	Internal	Unit-to-Unit
Desain Produk	Sistem	√	√	√
	Parameter	√	√	√
	Toleransi	√	√	√
Desain Proses Produksi	Sistem	X	X	√
	Parameter	X	X	√
	Toleransi	X	X	√
Proses Produksi (<i>Manufacturing</i>)	Diagnosis dan penyesuaian	X	X	√
	Prediksi dan koreksi (<i>Feedforward Control</i>)	X	X	√
	Pengukuran dan aksi (<i>Screening</i>)	X	X	√
Penggunaan oleh Pelanggan	Garansi dan perbaikan	X	X	X

Keterangan :

√ : Mampu menurunkan efek dari faktor *noise*

X : Tidak mampu menurunkan efek dari faktor *noise*

2.2.5. Klasifikasi Karakteristik Kualitas

Menurut Belavendram (1995), terdapat lima klasifikasi karakteristik kualitas. Kelima klasifikasi karakteristik kualitas tersebut adalah:

a. *Nominal-the-best*

Nominal-the-best adalah karakteristik kualitas yang dapat diukur dengan target yang spesifik. Nilai dari target tersebut dapat berupa bilangan positif maupun

negatif. Contoh dari karakteristik kualitas *nominal-the-best* adalah massa dan viskositas (kekentalan).

b. *Smaller-the-better*

Karakteristik kualitas *smaller-the-better* memiliki nilai non-negatif. Karakteristik kualitas ini dapat diukur dan memiliki nilai target nol (0). Contoh dari karakteristik kualitas *smaller-the-better* adalah nilai penyusutan, yaitu semakin kecil nilai penyusutan produk saat digunakan pelanggan maka akan semakin baik pula.

c. *Larger-the-better*

Karakteristik kualitas *larger-the-better* memiliki nilai non-negatif. Karakteristik kualitas ini dapat diukur dan memiliki nilai target tidak terhingga (*infinity*, ∞). Contoh dari karakteristik kualitas *larger-the-better* adalah efisiensi bahan bakar, kekuatan material, dan rata-rata waktu antar kerusakan.

d. *Signed-target*

Signed-target adalah karakteristik kualitas yang dapat diukur. Karakteristik kualitas ini memiliki nilai target nol (0). Namun karakteristik kualitas ini berbeda dengan karakteristik kualitas *smaller-the-better*. *Signed-target* dapat memiliki nilai negatif. Contoh dari karakteristik kualitas ini adalah aliran arus dalam sirkuit listrik.

e. *Classified attribute*

Karakteristik kualitas atribut klasifikasi (*classified attribute*) adalah karakteristik kualitas yang memiliki skala diskret. Biasanya penilaian kualitas pada karakteristik ini berdasarkan penilaian subjektif. Terdapat skala diskret seperti Baik-Buruk, Setuju-Tidak Setuju, maupun Rendah-Sedang-Tinggi dan lain sebagainya.

Ringkasan kelima klasifikasi karakteristik kualitas tersebut dapat dilihat secara ringkas pada tabel 2.3. berikut ini.

Tabel 2.3. Ringkasan Klasifikasi Karakteristik Kualitas (Belavendram, 1995)

Karakteristik	Target	Contoh
Nominal-the-best	Terpusat pada nilai yang diberikan	Voltase alat elektronik
Smaller-the-better	Semakin kecil semakin baik (nol atau mendekati nol)	Kekasaran permukaan benda
Larger-the-better	Semakin besar semakin baik (tidak terhingga)	Kekuatan las, efisiensi bahan bakar
Signed-target	Nol, dapat bernilai negatif	Sisa arus
Classified attribute	-	Rendah-Sedang-Tinggi, Buruk-Baik

2.2.6. Klasifikasi Parameter

Terdapat empat faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas (Belavendram, 1995). Keempat faktor tersebut adalah:

a. Faktor Kebisingan (*Noise Factors*)

Faktor kebisingan adalah faktor yang tidak dapat dikendalikan. Faktor kebisingan adalah parameter yang menyebabkan munculnya penyimpangan pada karakteristik kualitas. Faktor kebisingan ini dapat mempengaruhi karakteristik kualitas secara tidak terduga dan tidak dapat diprediksi. Faktor kebisingan ini biasanya memang tidak dapat dikendalikan, atau untuk mengendalikannya membutuhkan biaya yang sangat besar. Namun dalam eksperimen, faktor ini harus dapat dikendalikan dalam skala yang kecil.

b. Faktor Kontrol (*Control Factors*)

Faktor kontrol adalah faktor yang dapat dikendalikan oleh desainer. Faktor kontrol ini dapat memiliki banyak nilai yang disebut dengan level. Pada akhir eksperimen yang dilakukan, level yang cocok dari setiap faktor kontrol akan dipilih sebagai hasil eksperimen. Dalam perancangan kokoh (*Robust Design*), dicari nilai yang optimal dari faktor kontrol sehingga karakteristik kualitas tidak akan terpengaruh oleh faktor kebisingan atau faktor *noise*.

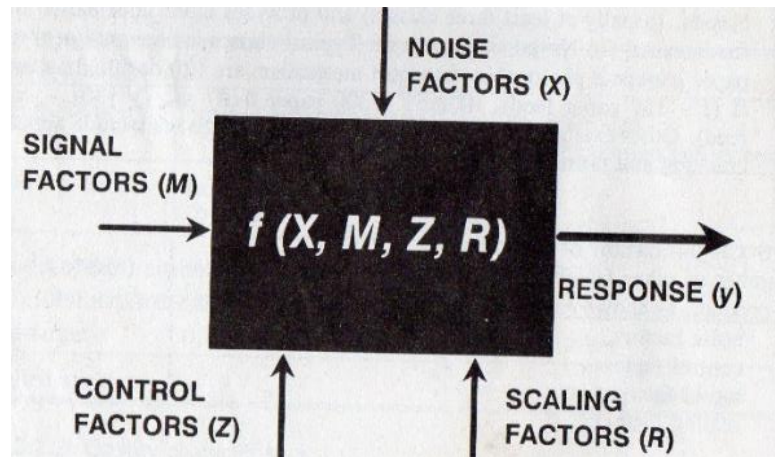
c. Faktor Sinyal (*Signal Factors*)

Faktor sinyal akan mengubah nilai dari karakteristik kualitas yang diukur. Jika karakteristik kualitas memiliki nilai yang konstan, maka karakteristik kualitas tersebut disebut dengan karakteristik statis. Karakteristik statis ini tidak dimasukkan sebagai faktor. Sedangkan faktor sinyal yang memberikan nilai bermacam-macam dari karakteristik kualitas disebut dengan karakteristik dinamis. Faktor sinyal ini ditentukan oleh pengguna berdasarkan hasil yang diinginkan pengguna, bukan ditentukan oleh perancang eksperimen atau desainer.

d. Faktor Skala (*Scaling Factors*)

Faktor skala adalah faktor yang digunakan untuk menggeser rata-rata level karakteristik kualitas. Dengan menggunakan faktor skala maka dapat dilihat hubungan fungsional antara faktor sinyal dengan karakteristik kualitasnya.

Hubungan faktor-faktor tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4. berikut ini.



Gambar 2.4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kualitas
 (sumber: Quality By Design Taguchi Techniques for Industrial Experimentation)

2.2.7. Variabilitas berdasarkan Faktor Noise

Faktor-faktor yang mempengaruhi munculnya perubahan-perubahan (variabilitas) pada produk sering disebut dengan Faktor *Noise*. Terdapat tiga tipe dari *noise* yaitu *external noise*, *internal noise*, dan *unit-to-unit noise*.

a. *External Noise*

External noise adalah faktor yang berasal dari lingkungan atau kondisi yang mempengaruhi fungsi dari produk. Contoh dari *external noise* adalah suhu atau temperature udara, kelembaban, debu, getaran, kesalahan operator dalam mengoperasikan mesin atau membuat produk, dan lain sebagainya.

b. *Internal Noise*

Internal noise adalah faktor yang menurunkan nilai produk selama penyimpanan atau penggunaan. *Internal noise* ini dapat menyebabkan fungsi produk yang tidak semestinya, atau dengan kata lain menurunkan fungsional produk. Contoh dari *internal noise* adalah penuaan usia produk, kadaluarsa, dan lain sebagainya.

c. *Unit-to-unit Noise*

Unit-to-unit noise adalah faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan antara produk individual yang diproduksi dengan spesifikasi yang sama. Variasi yang dalam proses produksinya menyebabkan munculnya variasi parameter produk dari satu unit dengan unit yang lainnya. Contohnya pada produk Resistor, tertulis bahwa hambatan pada resistor tersebut sebesar 100 ohm, produk-produk Resistor tersebut bisa memiliki hambatan 101 ohm maupun 98 ohm dan lain sebagainya.

2.2.8. Istilah dalam Level Faktor

Terdapat beberapa istilah dalam level faktor. Penjelasan mengenai istilah-istilah tersebut adalah:

a. Level Faktor (Factor Levels)

Level faktor atau *factor levels* adalah jumlah atribut yang ada pada faktor dalam eksperimen. Faktor-faktor tersebut dapat berupa faktor kendali, faktor kebisingan, faktor sinyal, maupun faktor skala. Dalam eksperimen yang hendak dilakukan, minimal terdapat dua level pada setiap faktor. Contoh dari level faktor dapat dilihat pada tabel 2.4. berikut ini.

Tabel 2.4. Contoh *Factor Levels* (Belavendram, 1995)

Respon	Kode	Level 1	Level 2	Level 3	Satuan
Gaya	A	10	20	-	newton
Temperatur	B	100	120	140	°C
Tekanan	C	Rendah	Sedang	Tinggi	-
Tekstur	D	Pertama	Kedua	Ketiga	grade

b. Jumlah dari Level Faktor (Number of Factor Levels)

Jumlah level faktor dapat mencapai empat, lima, dan seterusnya. Semakin banyak tingkat faktor yang ada, maka eksperimen akan semakin efisien dalam menemukan tren dari efek faktor yang ada pada *output* yang dihasilkan. Namun, level faktor yang ada dibatasi pada *orthogonal array* yang ada. Karena tidak adanya kepastian mengenai jumlah level yang sebaiknya digunakan, maka tiga level dinilai sudah dapat memberikan informasi yang cukup.

c. Jangkauan dari Level Faktor (Range of Factor Levels)

Semakin besar jangkauan dari level faktor maka kemungkinan ditemukannya efek sebenarnya pada karakteristik kualitas. Namun, semakin besar jangkauan dari level faktor, semakin sempit pula asumsi yang masuk akal dalam efek yang ada. Pemilihan besarnya jangkauan tergantung pada tujuan eksperimen dilakukan. Apakah eksperimen dilakukan untuk mengeksplorasi wilayah yang luas atau untuk mencari kondisi yang optimal.

d. Kemungkinan dari Level Faktor (Feasibility of Factor Levels)

Dalam eksperimen yang hendak dilakukan, harus dipertimbangkan kemungkinan level yang hendak dipilih. Jangkauan level faktor tidak boleh melebihi batas yang ada, tetapi juga tidak boleh terlalu sempit. Karena pemilihan jangkauan level yang

kurang tepat akan mengakibatkan sedikitnya informasi yang didapat dari eksperimen yang dilakukan.

2.2.9. Menentukan Derajat Kebebasan untuk Eksperimen

Derajat kebebasan adalah jumlah pengamatan dikurangi dengan banyaknya variabel yang hendak diamati (Gujarati, 1978). Sehingga, derajat kebebasan suatu percobaan dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$dof = \text{jumlah eksperimen} - N \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

dof : Derajat kebebasan (Degree of Freedom)

N : jumlah parameter

2.2.10. Orthogonal Array

Orthogonal array merupakan matriks yang digunakan dalam *design of experiment*. Matriks sendiri memiliki arti sebagai kumpulan angka-angka yang memiliki tipe yang sama dan memiliki arti yang khusus atau spesial. Sebuah matriks dalam eksperimen terdiri dari faktor dan level yang akan berubah sesuai dengan matriksnya. *Orthogonal array* merupakan salah satu desain faktorial dalam DOE.

Proses desain harus menjawab dua pertanyaan, yaitu berapa banyak eksperimen yang dilakukan dan dengan cara apa eksperimen tersebut akan dilakukan. Jika menggunakan *design of experiment* yang sebenarnya, maka digunakan kombinasi faktorial penuh. Jika terdapat 3 faktor dengan 2 level percobaan, maka akan terdapat 8 percobaan yang harus dilakukan. Jika dirumuskan, maka rumus kombinasi faktorial penuh untuk DOE adalah:

$$\text{jumlah kombinasi} = (\text{jumlah level})^{(\text{jumlah faktor})} \dots\dots\dots (2.2)$$

Jika terdapat 2 faktor dengan 3 level percobaan, maka akan terdapat 9 percobaan yang harus dilakukan. Semakin banyak faktor dan semakin banyak levelnya, maka percobaan yang dilakukan akan semakin banyak pula. Contohnya untuk 7 faktor dengan 2 level harus melakukan percobaan sebanyak 128 percobaan. Percobaan yang terlalu banyak ini dapat menyebabkan pengaruh setiap level dan faktor tidak terlalu terlihat. Selain itu, biaya yang dikeluarkan juga akan lebih banyak dengan melakukan seluruh percobaan yang ada.

Orthogonal array merupakan suatu “jalan pintas” dalam melakukan *design of experiment* (Roy, 2001). Eksperimen yang dilakukan sesedikit mungkin dengan menghasilkan hasil eksperimen yang maksimal. Sehingga banyak peneliti yang menilai bahwa *orthogonal array* ini efektif dan efisien.

Orthogonal array terdiri dari baris dan kolom. Baris mewakili jumlah eksperimen sedangkan kolom mewakili faktor-faktor yang ada dalam eksperimen. Faktor-faktor yang ada tersebut dapat berubah sesuai dengan level pada faktor tersebut. Lambang dari *orthogonal array* dapat dilihat pada contoh berikut ini.

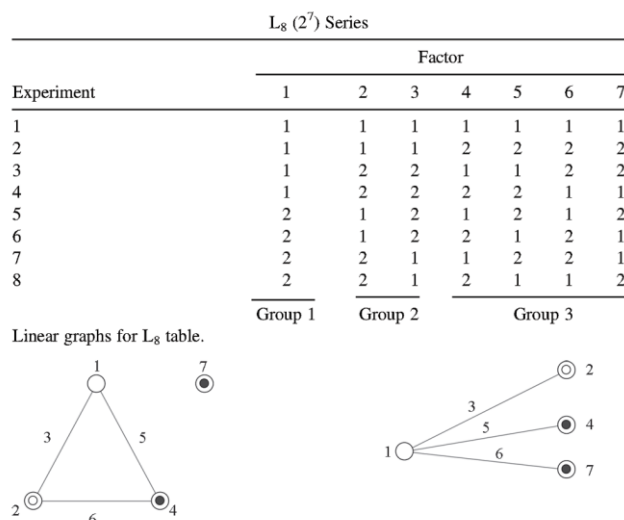
$$L_{12}(2^7)$$

Lambang tersebut memiliki arti:

- L : *Latin Square*. Notasi memberikan gambaran informasi *orthogonal array*.
- 12 : Jumlah baris yang mewakili jumlah eksperimen yang akan dilakukan.
- 2 : Level yang ada pada eksperimen.
- 7 : Jumlah faktor yang mewakili jumlah kolom yang ada.

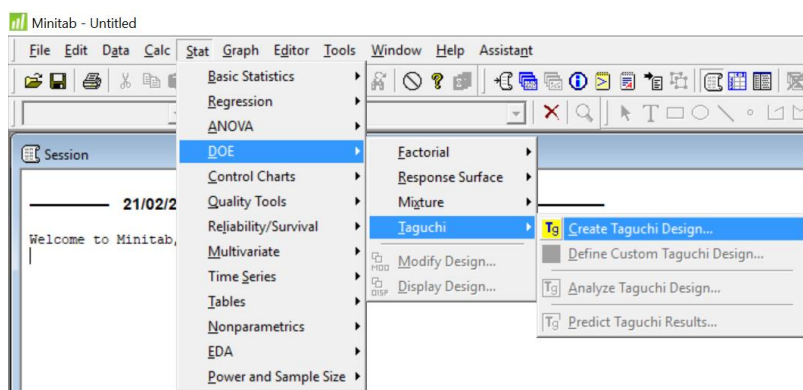
Jadi, $L_{12}(2^7)$ memiliki arti *orthogonal array* yang memiliki 7 faktor dengan 2 level percobaan, dan eksperimen yang akan dilakukan sebanyak 12 kali percobaan.

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam membuat *Orthogonal Array*. Terutama pada penempatan faktor-faktor yang mempengaruhi percobaan. Faktor dengan parameter tersulit diletakkan pada kolom pertama faktor-faktor yang ada. Karena faktor dengan parameter tersulit sebisa mungkin berubah sesedikit mungkin (lihat pada gambar 2.5. untuk faktor 1).



Gambar 2.5. Contoh Orthogonal Array $L_8(2^7)$ (Mitra, 2016)

Membuat orthogonal array dapat dibantu dengan *software* statistika yaitu Minitab 16. Dengan menggunakan *software* ini, urutan eksperimen yang ada dapat dibentuk dengan cepat. Caranya dengan membuka *software* Minitab 16 lalu pilih ke menu Stat dan pilih DOE dengan metode Taguchi. Tampilan *software* Minitab 16 dapat dilihat pada gambar 2.6. berikut ini.



Gambar 2.6. Tampilan Minitab 16 untuk membuat Orthogonal Array

2.2.11. Signal to Noise (S/N Ratio)

Percobaan atau eksperimen *robust design* memiliki fungsi objektif. Fungsi objektif tersebut sering disebut dengan *signal to noise ratio* atau S/N Ratio. S/N Ratio telah didesain sehingga eksperimen yang dilakukan dapat menunjukkan pengaturan faktor level terbaik untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas yang ada. Perhitungan S/N ratio bergantung dengan karakteristik kualitas yang diinginkan, apakah karakteristik kualitas tersebut *smaller-the-better*, *larger-the-better*, atau *nominal-the-best*. Terdapat beberapa rumus yang harus diperhatikan dalam perhitungan S/N Ratio ini.

a. Mean Squared Deviation (MSD)

Beberapa tujuan dari eksperimen *robust design* adalah meminimalkan sensitivitas dari faktor *noise* yang ada terhadap karakteristik kualitasnya. Beberapa keputusan yang diambil mungkin berasal dari MSD. Rumus dari MSD adalah:

$$MSD = \sigma^2 + (\bar{y} - m)^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- \bar{y} : nilai rata-rata
- m : nilai target
- σ^2 : *noise*

Pengukuran yang dilakukan tanpa ada penyesuaian nilai rata-rata dan nilai target akan dipengaruhi tidak hanya oleh *noise* (σ^2), tetapi juga oleh deviasi dari nilai targetnya ($\bar{y} - m$).

b. S/N Ratio *smaller-the-better* (SNR S)

Karakteristik kualitas untuk *smaller-the-better* memiliki nilai tujuan nol (0). Contoh dari karakteristik kualitas untuk *smaller-the-better* adalah nilai polusi yang dihasilkan dari sebuah perusahaan. Maka yang harus dilakukan adalah maksimasi S/N Ratio *smaller-the-better*. Rumus dari S/N Ratio *smaller-the-better* adalah:

$$SNR S = -10 \log_{10} [\sigma^2 + \bar{y}^2] \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

\bar{y} : nilai rata-rata

σ^2 : *noise*

c. S/N Ratio *nominal-the-best* (SNR N)

Karakteristik kualitas dari *nominal-the-best* memiliki nilai yang kontinu dan *non-negative*. Nilai tersebut antara nol (0) hingga tidak terhingga (∞). Fungsi tujuan dari *nominal-the-best* adalah maksimasi S/N Ratio *nominal-the-best*. S/N Ratio *nominal-the-best* dapat dirumuskan:

$$SNR N = 10 \log_{10} \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana rata-rata hitung dapat dicari dengan rumus :

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \dots\dots\dots (2.6)$$

Dan *noise* dapat dicari dengan rumus:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

d. S/N Ratio *larger-the-better* (SNR L)

Target dari karakteristik kualitas *larger-the-better* adalah memperoleh nilai sebesar mungkin (∞). Fungsi tujuan dari S/N Ratio *larger-the-better* adalah maksimasi S/N Ratio *larger-the-better*. S/N Ratio *larger-the-better* dapat dirumuskan:

$$SNR L = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots\dots\dots (2.8)$$

2.2.12. Uji Organoleptik

Uji organoleptik adalah pengujian yang dilakukan dengan menggunakan indra pada manusia. Penilaian yang dilakukan dalam uji organoleptik bersifat subjektif. Karena penilaian yang dilakukan murni berasal dari penguji. Pengukuran yang dilakukan dalam uji organoleptik merupakan reaksi psikologis dari penilai, sehingga penilaian ini juga dapat disebut dengan penilaian sensorik. Pengujian ini penting dalam proses perkembangan produk terutama produk seperti makanan.

Uji organoleptik digunakan dalam pengembangan produk guna meminimalkan resiko dalam pengambilan keputusan yang ada. Panelis yang ditunjuk harus dapat mengidentifikasi sifat sensori yang ada. Identifikasi ini berguna dalam pembuatan deskripsi produk. Evaluasi menggunakan sensor manusia ini digunakan untuk menilai ada tidaknya perubahan pada produk, baik perubahan yang dikehendaki maupun perubahan yang tidak dikehendaki.

Terdapat tiga jenis uji organoleptik yaitu uji pembeda, uji deskripsi, dan uji afektif.

- a. Uji pembeda untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan diantara contoh-contoh yang diberikan. Dengan kata lain, panelis akan membandingkan produk atau contoh yang diberikan.
- b. Uji deskripsi untuk mengetahui sifat dan tingkat perbedaan dari masing-masing contoh yang disajikan.
- c. Uji afektif dilakukan berdasarkan kesukaan penguji. Dalam uji afektif dilakukan pengukuran tingkat kesukaan. Hasil dari uji afektif ini relatif, tergantung dari panelis.

Uji pembedaan dan uji deskriptif membutuhkan panelis yang berpengalaman dan terlatih. Sedangkan untuk uji afektif tidak memerlukan panelis yang berpengalaman ataupun terlatih. Pemilihan panelis yang dilakukan harus mewakili kelompok konsumen yang ada. Terdapat tujuh jenis panelis yang dapat digunakan dalam uji organoleptik ini. Ketujuh panelis tersebut adalah:

- a. Panel perseorangan

Panel perseorangan ini terdiri dari orang-orang yang memiliki kepekaan yang spesifik. Kepekaan yang spesifik ini didapatkan karena adanya latihan terus menerus maupun bakat. Penggunaan panel perseorangan akan mempermudah pengujian organoleptik ini, karena panel perseorangan dapat memberikan penilaian secara efisien dengan bias yang rendah.

b. Panel terbatas

Panel terbatas terdiri dari panelis yang memiliki kepekaan tinggi terhadap sensor yang diberikan ke organ-organnya. Penggunaan panelis terbatas dapat menurunkan bias yang mungkin muncul. Panelis ini terdiri dari orang-orang yang tau cara mengolah dan pengaruh dari bahan-bahan yang ada terhadap hasil akhirnya. Panel terbatas ini terdiri dari tiga hingga lima orang.

c. Panel terlatih

Panel terlatih terdiri dari panelis yang memiliki kepekaan yang cukup baik. Biasanya pemilihan panel terlatih berdasarkan latihan dan seleksi yang telah dilakukan panelis tersebut. Panel terlatih ini terdiri dari 15 hingga 20 orang panelis.

d. Panel agak terlatih

Panel agak terlatih terdiri dari panelis yang sebelumnya telah melakukan pelatihan untuk mengetahui terhadap sifat-sifat tertentu. Pemilihan panel agak terlatih bisa dilakukan berdasarkan pengujian data-data yang berasal dari panelis ini terlebih dahulu. Jika datanya terlalu menyimpang, maka panelis tersebut tidak dipilih. Panelis pada panel agak terlatih terdiri dari 15 hingga 20 orang.

e. Panel tidak terlatih

Panel tidak terlatih dipilih secara acak. Panelis ini dipilih secara acak dalam masyarakat untuk melakukan uji kesukaan saja. Biasanya, jumlah panelis pria dan wanita sama. Total panelis untuk panel tidak terlatih ini minimal 25 orang awam.

f. Panel konsumen

Panel konsumen mempunyai sifat yang sangat umum. Terdiri dari 30 hingga 100 orang, dipilih berdasarkan target pemasaran yang hendak dituju. Panel konsumen ini dapat ditentukan berdasarkan kelompok tertentu pula.

g. Panel anak-anak

Panel anak-anak merupakan panel khas yang melibatkan anak-anak berusia 3 hingga 10 tahun. Penggunaan panel anak-anak biasanya untuk produk-produk yang digemari anak-anak seperti makanan ringan, susu, permen, dan produk anak-anak lainnya.

Selain pemilihan panelis, terdapat hal-hal yang harus diperhatikan dalam penyajian hasil eksperimen yang hendak dilakukan uji organoleptik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam penyajian contoh atau hasil eksperimen antara lain adalah:

a. Suhu

Produk makanan atau minuman hasil eksperimen yang disajikan untuk dijadikan contoh harus disajikan pada suhu yang sama atau seragam. Suhu penyajian tersebut adalah suhu yang dapat dikonsumsi oleh panelis. Penyajian dengan suhu yang terlalu panas atau terlalu dingin dapat menyebabkan kepekaan dari indra panelis berkurang sehingga akan mempengaruhi penilaian yang diberikan.

b. Ukuran yang disajikan

Ukuran dalam penyajian produk hasil eksperimen harus seragam. Contoh keseragaman tersebut, jika produk makanan padat maka penyajian dapat dengan menggunakan ukuran kubus yang seragam. Jika produk tersebut adalah cairan, maka dapat disajikan dengan volume atau massa yang seragam.

c. Kode produk

Kode produk diperlukan agar panelis yang memberikan penilaian tidak mengetahui contoh yang diberikan tersebut berdasarkan penamaannya. Penamaan biasanya menggunakan huruf dan angka yang mengandung makna tertentu bagi pemberi nama. Pemberian nama tersebut juga harus dilakukan secara acak. Pemberian nama yang berurutan cenderung membuat panelis memberikan penilaian berurutan pula, yaitu menilai terbaik untuk produk kode awal dan memberi nilai terburuk untuk kode akhir.

d. Jumlah contoh

Jumlah contoh yang hendak dilakukan pengujian bergantung pada jenis produk yang hendak diuji. Dalam uji perbedaan, maka jumlah yang disajikan akan lebih sedikit daripada uji penerimaan. Kesulitan faktor yang diujikan juga akan mempengaruhi jumlah contoh yang harus disajikan kepada panelis.

Pengujian yang biasa dilakukan dalam mengujian produk baru adalah uji Hedonik. Uji Hedonik juga disebut dengan uji kesukaan, adalah uji organoleptik yang melibatkan panelis untuk memberikan tanggapan suka atau ketidaksukaannya terhadap contoh yang diberikan. Pengujian ini menggunakan skala hedonik seperti amat sangat suka, sangat suka, suka, agak suka, kurang suka, dan tidak suka. Skala hedonik ini dapat ditampilkan dalam rupa numerik dengan rentang tertentu. Pengujian hedonik ini biasa dilakukan untuk memberikan penilaian produk akhir.

Jumlah contoh setiap penyajian untuk uji Hedonik ini biasanya sebanyak 1 hingga 6 contoh untuk contoh yang sulit dinilai, dan 1 hingga 12 contoh untuk contoh yang mudah dinilai. Contoh tersebut disajikan secara acak dan dirancang agar panelis

tidak melakukan pengulangan penilaian dan membandingkan penilaian-penilaian yang dilakukan.

Nilai dalam skala hedonik dapat dilihat pada tabel 2.5. hingga tabel 2.7. berikut ini.

Tabel 2.6. Tiga Skala Hedonik Berarah (Meilgaard dkk, 2016)

Skala Hedonik	Skala Numerik
Bagus	3
Sedang	2
Buruk	1

Tabel 2.7. Enam Skala Hedonik (Meilgaard dkk, 2016)

Skala Hedonik	Skala Numerik
Amat sangat suka	5
Sangat suka	4
Suka	3
Agak suka	2
Netral	1
Tidak suka	0

Tabel 2.8. Sembilan Skala Hedonik (Meilgaard dkk, 2016)

Skala Hedonik	Skala Numerik
Amat sangat suka	9
Sangat suka	8
Suka	7
Agak suka	6
Netral	5
Agak tidak suka	4
Tidak suka	3
Sangat tidak suka	2
Amat sangat tidak suka	1

Contoh dari formulir uji kesukaan dapat dilihat pada gambar 2.8. berikut ini.

Nama Panelis :		Bahan :				
Jenis Kelamin :		Tujuan :				
Merokok/Minum Kopi?	Ya / Tidak	Tanggal Uji :	__ / __ / __			
PERINTAH	Cicipilah contoh produk kecap dengan kode 152 dan kode 197. Nyatakanlah kesukaan Anda terhadap produk tersebut dengan memberi tanda centang (v)					
Jenis Pengujian	Tingkat Kesukaan					
	Amat sangat suka	Sangat suka	Suka	Agak suka	Netral	Tidak suka
Warna coklat yang dihasilkan						
Rasa manis						
Rasa asin						
Rasa rempah-rempah						
Aroma yang dihasilkan						
Kekentalan kecap						
Catatan:						

Gambar 2.8. Contoh Form Uji Hedonik

Analisis dari hasil pengujian organoleptik dapat dilakukan dengan menggunakan *Analysis of Variance* atau sering disebut ANOVA. *Analysis of Variance* selengkapnya akan dijelaskan pada sub bab 2.2.13.

2.2.13. Analysis of Variance (ANOVA)

Analisis Ragam atau *Analysis of Variance* (ANOVA) digunakan dalam eksperimen menggunakan metode Taguchi untuk melihat tafsiran atau interpretasi data dari hasil eksperimen. ANOVA merupakan metode yang dapat membagi ragam atau variasi menjadi beberapa sumber yang dapat diidentifikasi. Hasil pembagian ragam ini juga memperhatikan derajat kebebasan (*degree of freedom*) dalam sebuah eksperimen. Tujuan dari penggunaan metode ANOVA dalam eksperimen dengan menggunakan metode Taguchi adalah mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi performa dari nilai respon pada eksperimen yang dilakukan.

Terdapat beberapa kondisi yang harus dipenuhi dalam pengujian ANOVA, yaitu:

- a. Populasi yang diuji berdistribusi normal,
- b. Varians dan populasi yang diuji sama, dan
- c. Sampel tidak berhubungan satu sama lain.

ANOVA dapat digunakan dalam menganalisis pengaruh satu faktor, dua faktor, maupun banyak faktor. Dengan melakukan pengujian ANOVA ini, dapat diketahui ada tidaknya pengaruh dari berbagai kriteria dan faktor yang diuji terhadap hasil yang diinginkan. Menurut Roy (2001) perhitungan ANOVA dapat mendukung perhitungan, pengujian, dan observasi yang memiliki jenis sebagai berikut:

- a. Adanya pengaruh relatif faktor dan interaksi terhadap variasi hasil
- b. Uji signifikansi faktor dan interaksi yang ada pada kolom
- c. Interval kepercayaan (*Confidence Interval* atau CI) pada performa yang optimal
- d. Interval kepercayaan (*Confidence Interval* atau CI) pada faktor efek utama
- e. Faktor kesalahan yang mencakup pengaruh semua faktor yang tidak termasuk dalam eksperimen dan efek kesalahan eksperimental

Tujuan dilakukannya *Analysis of Variance* dalam desain eksperimen dengan menggunakan metode Taguchi adalah untuk melihat faktor-faktor yang berpengaruh terhadap hasil dan seberapa sensitif hasil yang didapatkan terhadap faktor tersebut sehingga menimbulkan variasi dalam penelitian. Terdapat beberapa rumus yang dapat digunakan dalam ANOVA yang dapat dihitung secara

manual. Rumus-rumus untuk *sum of squares* dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

a. *Sum of squares* untuk variasi antar kelompok

$$SSA = r \times \sum_{j=1}^c (\bar{X}_j - \bar{X})^2 \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

r : jumlah baris

\bar{X}_j : rata-rata semua nilai untuk tingkat perlakuan j

\bar{X} : rata-rata seluruh data

b. *Sum of squares* untuk variasi antar blok

$$SSBL = c \times \sum_{i=1}^r (\bar{X}_i - \bar{X})^2 \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

c : jumlah kolom

\bar{X}_i : rata-rata semua nilai di blok i

\bar{X} : rata-rata seluruh data

c. *Error sum of squares*

$$SSE = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^r X_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

X_{ij} : nilai di blok i untuk level perlakuan j

d. Total dari *sum of squares*

$$SST = SSA + SSBL + SSE \dots\dots\dots (2.12)$$

Nilai dari F Statistic yang telah dihitung akan dibandingkan dengan nilai pada tabel f. Jika nilai F Statistic lebih kecil dari nilai pada tabel f, maka menerima hipotesis awal (H_0) yang berarti tidak ada perbedaan rata-rata yang signifikan pada semua kelompok. Jika nilai F Statistic lebih besar dari nilai pada tabel f, maka menolak hipotesis awal (H_0) dan menerima hipotesis alternatif (H_1) yang berarti terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan pada semua kelompok. ANOVA dalam penelitian yang dilakukan secara eksperimen dapat digunakan untuk membantu peneliti dalam melihat perbedaan antar perlakuan yang diberikan.

Dengan menggunakan ANOVA, dapat dilihat *sum of squares* antar interaksi faktor-faktor yang ada. Rumus dari *sum of squares* hasil interaksi tersebut adalah sebagai berikut.

- a. *Sum of Squares* untuk interaksi dua faktor (*Two-factors interaction sum of squares*)

Rumus *Sum of Squares* untuk interaksi faktor A dan faktor B adalah:

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b X_{ij}^2 - \frac{T^2}{abcn} - SS_A - SS_B \dots\dots\dots (2.13)$$

Rumus *Sum of Squares* untuk interaksi faktor A dan faktor C adalah:

$$SS_{AC} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c X_{ik}^2 - \frac{T^2}{abcn} - SS_A - SS_C \dots\dots\dots (2.14)$$

Rumus *Sum of Squares* untuk interaksi faktor B dan faktor C adalah:

$$SS_{BC} = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c X_{jk}^2 - \frac{T^2}{abcn} - SS_B - SS_C \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

- a : jumlah faktor A
- b : jumlah faktor B
- c : jumlah faktor C
- n : jumlah replikasi yang dilakukan
- X_{ij} : nilai di blok i untuk level perlakuan j
- X_{ik} : nilai di blok i untuk level perlakuan k
- X_{jk} : nilai di blok j untuk level perlakuan k
- T : total jumlah seluruh data
- SS_A : Sum of Squares untuk faktor A
- SS_B : Sum of Squares untuk faktor B
- SS_C : Sum of Squares untuk faktor C

- b. *Sum of Squares* untuk interaksi tiga faktor (*Three-factors interaction sum of squares*)

Rumus *Sum of Squares* untuk interaksi ketiga faktor adalah:

$$SS_{ABC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c X_{ijk}^2 - \frac{T^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana:

- a : jumlah faktor A
- b : jumlah faktor B
- c : jumlah faktor C
- n : jumlah replikasi yang dilakukan
- T : total jumlah seluruh data
- SS_A : Sum of Squares untuk faktor A
- SS_B : Sum of Squares untuk faktor B
- SS_C : Sum of Squares untuk faktor C
- SS_{AB} : Sum of Squares untuk interaksi faktor A dan faktor B
- SS_{AC} : Sum of Squares untuk interaksi faktor A dan faktor C
- SS_{BC} : Sum of Squares untuk interaksi faktor B dan faktor C

Selain itu, perlu juga dilakukan analisis efek faktor (*main effects*). Analisis ini bertujuan untuk melihat efek dari satu variabel independen terhadap variabel dependen dengan mengabaikan variabel independen lainnya. Perhitungan efek faktor ini dapat menunjukkan variabel independen yang paling berpengaruh terhadap respon yang diberikan. Dengan kata lain, setiap variabel dependen memiliki satu efek utama. Perhitungan efek faktor SNR ini dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$Efek\ faktor\ SNR = \frac{1}{a} \times \sum SNR \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

- a : jumlah level faktor yang muncul dalam matriks Orthogonal Array
- $\sum SNR$: total jumlah SNR yang muncul sebagai respon dari level faktor yang muncul.

2.2.14. Pengambilan Keputusan dengan *Analytic Hierarchy Process*

Salah satu metode pengambilan keputusan yang cukup terkenal adalah metode *analytic hierarchy process* atau sering disingkat dengan AHP. AHP ini merupakan pendekatan pengambilan keputusan jika keputusan yang hendak diambil memiliki beberapa tujuan dan ketidakpastian.

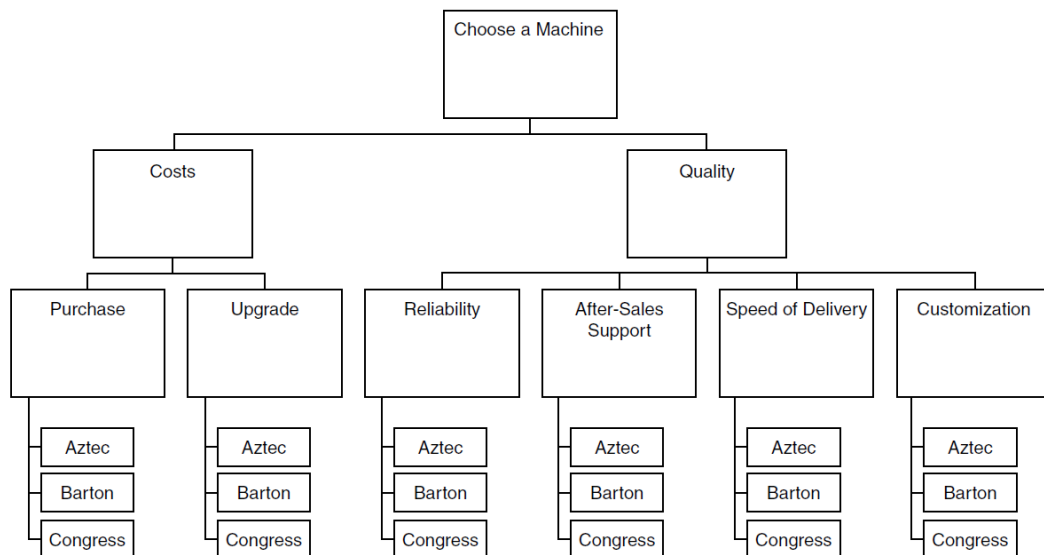
Analysis of Variance atau ANOVA yang digunakan dalam analisis hasil uji organoleptik hanya akan menunjukkan faktor yang paling berpengaruh terhadap respon yang diberikan. Hasil analisis menggunakan ANOVA tersebut tidak dapat

memberikan keputusan komposisi optimal yang harus dipilih agar dapat memenuhi kepuasan konsumen (Erungan, 2005). Sehingga perlu dilakukan pengambilan keputusan dengan metode pengambilan keputusan yang sudah ada seperti pengambilan keputusan dengan menggunakan metode AHP.

Langkah-langkah dalam melakukan *analytic hierarchy process* menurut Goodwin dan Wright (2004) dapat dilihat pada tahapan berikut ini.

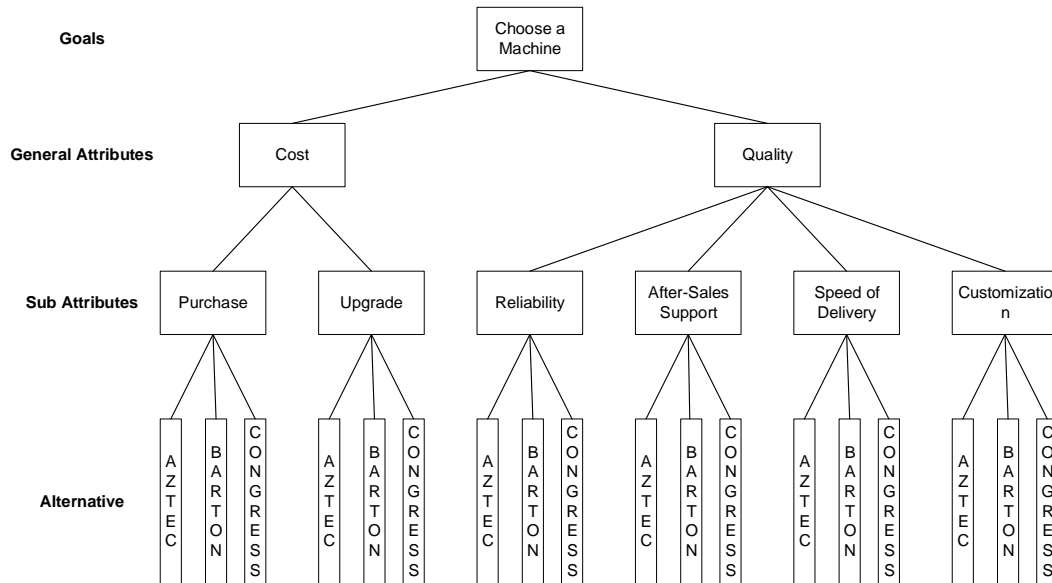
a. Membuat hirarki keputusan

Hirarki keputusan terdiri dari tujuan dilakukannya pengambilan keputusan, atribut atau parameter pengambilan keputusan, serta alternatif yang tersedia. Tujuan berada pada puncak hirarki, dibawahnya terdapat atribut atau parameter pengambilan keputusan. Sedangkan alternatif terletak pada level paling bawah. Contoh dari hirarki keputusan dapat dilihat pada gambar 2.10 berikut ini.



Gambar 2.10. Contoh Hirarki Keputusan dalam Pemilihan Mesin (sumber: Buku *Decision Analysis for Management Judgement*)

Bentuk lain dari hirarki keputusan dalam pemilihan mesin dapat dilihat pada gambar 2.11. dibawah ini.



Gambar 2.11. Contoh Bentuk Lain dari Hirarki Keputusan dalam Pemilihan Mesin

b. Membuat matriks *pairwise comparisons*.

Matriks *pairwise comparisons* digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan dari atribut atau parameter pemilihan yang ada. Dalam matriks perbandingan, gunakan skala tingkat kepentingan. Skala tingkat kepentingan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- 1 = Atribut pada baris sama pentingnya dengan atribut pada kolom
- 3 = Atribut pada baris sedikit lebih penting dibandingkan atribut pada kolom
- 5 = Atribut pada baris lebih penting dibandingkan atribut pada kolom
- 7 = Atribut pada baris kuat pentingnya dibandingkan atribut pada kolom
- 9 = Atribut pada baris sangat kuat pentingnya dibandingkan atribut pada kolom
- 2, 4, 6, 8 = nilai tengah pada penilaian atribut dengan tingkat kepentingan yang berdekatan

c. Mengubah matriks *pairwise comparisons* yang telah dibuat menjadi matriks normalisasi (matriks bobot)

Matriks *pairwise comparison* yang telah dibuat tersebut diubah menjadi matriks normalisasi atau matriks bobot. Cara mengubah matriks *pairwise comparison* yang telah dibuat dapat dilakukan dengan tahapan berikut ini.

1. Menjumlahkan hasil perbandingan antar atribut secara vertikal.

2. Membuat matriks normalisasi atau matriks bobot dengan cara membagi setiap kolom dengan hasil.
3. Menghitung rata-rata setiap kolom dari matriks normalisasi yang telah dibuat. Rata-rata tersebut merupakan prioritas dalam pengambilan keputusan yang hendak dibuat.

d. Menghitung konsistensi dari nilai matriks *pairwise comparisons* yang sudah dibuat

Perhitungan konsistensi dari nilai matriks *pairwise comparisons* berfungsi untuk menentukan apakah keputusan yang diambil berdasarkan matriks tersebut valid atau tidak. Jika nilai rasio konsistensi (*Consistency Ratio/CR*) lebih kecil dari 10% maka dapat disebut bahwa matriks *pairwise comparisons* konsisten dan keputusan yang diambil valid. Langkah-langkah dalam melakukan perhitungan nilai rasio konsistensi adalah:

1. Melakukan perkalian nilai hasil perbandingan dengan nilai prioritasnya.
2. Menghitung rata-rata dari hasil perkalian nilai perbandingan dengan nilai prioritas yang telah dibagi dengan nilai prioritasnya (t).

Nilai tersebut dilambangkan dengan t. Rumus untuk mencari nilai t adalah:

$$t = \frac{1}{\text{jumlah atribut}} \times \left(\frac{NP a}{\text{Prioritas a}} + \frac{NP b}{\text{Prioritas b}} + \dots + \frac{NP ke-N}{\text{Prioritas ke-N}} \right) \dots\dots\dots(2.18)$$

3. Menghitung nilai indeks konsistensi (*Consistency Index/CI*)

Nilai CI dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$CI = \frac{t - \text{jumlah atribut}}{\text{jumlah atribut} - 1} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana:

CI : Indeks Konsistensi atau *Consistency Index*

t : Nilai rata-rata dari hasil perkalian nilai perbandingan dengan nilai prioritas yang telah dibagi dengan nilai prioritasnya

4. Menghitung nilai rasio konsistensi (*Consistency Ratio/CR*)

Nilai CR dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$CR = \frac{CI}{k} \dots\dots\dots(2.19)$$

Nilai k adalah konstanta. Nilai konstanta tersebut dapat dilihat pada tabel 2.8. berikut ini.

Tabel 2.8. Nilai Konstanta

Jumlah Atribut k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	0	5,8	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Jika nilai CR kurang dari 10% atau 0,1 maka matriks *pairwise comparisons* yang dibuat dapat digunakan dalam pengambilan keputusan. Jika ternyata nilai CR lebih dari 10% maka perlu dilakukan perbandingan ulang nilai-nilai yang ada karena penggunaan matriks *pairwise comparisons* yang memiliki nilai CR lebih dari 10% akan menghasilkan pengambilan keputusan yang kurang valid.

e. Menghitung nilai setiap alternatif yang ada dengan bobot yang ada

Cara menghitung nilai untuk setiap alternatif yang ada dapat dilakukan dengan mengalikan hasil penilaian pada alternatif untuk atribut atau parameter dengan nilai prioritas atribut tersebut. Setelah dilakukan perhitungan bobot, maka bobot dirangking sesuai dari yang tertinggi ke terendah atau terendah ke tertinggi. Contohnya jika pada skala kesukaan dimana nilai 0 menunjukkan sangat tidak suka dan nilai 5 menunjukkan amat sangat suka, maka rangking diurutkan dari bobot tertinggi ke terendah. Jika pada harga, dimana harga yang diutamakan adalah harga yang paling murah, maka rangking diurutkan dari bobot terendah ke tertinggi. Perhitungan bobot setiap alternatif dilakukan untuk semua atribut.

f. Memilih alternatif terbaik yang dihasilkan

Pemilihan alternatif terbaik dapat dilakukan dengan menghitung rata-rata atau dengan menghitung rata-rata geometrik untuk setiap hasil rangking atribut pada setiap alternatif. Rata-rata aritmatik (*mean*) dari rangking atribut yang didapatkan setiap alternatif dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Rata – rata rangking setiap alternatif} = \frac{RAA1+RAB1+\dots+RAn1}{n} \dots\dots (2.18)$$

Dimana :

RAA1 : Rangking Atribut (RA) untuk atribut A pada Alternatif 1

RAB1 : Rangking Atribut (RA) untuk atribut B pada Alternatif 1

RAn1 : Rangking Atribut (RA) untuk atribut n pada alternatif 1

n : Total atribut atau parameter yang digunakan dalam pemilihan

Rata-rata aritmatik (*mean*) digunakan jika menginginkan hasil perhitungan yang terpusat. Perhitungan *mean* ini kemungkinan hasilnya hampir sama seperti median dan modus. Rata-rata ini tidak sensitif terhadap *gap* yang dimiliki oleh data. Data

yang sangat kecil dapat memperkecil nilai *mean*, begitu pula dengan data yang cukup besar dapat memperbesar nilai *mean* yang dihitung.

Rumus untuk rata-rata geometrik data tunggal adalah sebagai berikut:

$$\text{Rata - rata geometrik setiap alternatif} = \sqrt[n]{RAA1 \times RAB1 \times \dots \times RAn1} \dots (2.19)$$

Dimana :

RAA1 : Rangking Atribut (RA) untuk atribut A pada Alternatif 1

RAB1 : Rangking Atribut (RA) untuk atribut B pada Alternatif 1

RAn1 : Rangking Atribut (RA) untuk atribut n pada alternatif 1

n : Total atribut atau parameter yang digunakan dalam pemilihan

Rata-rata geometrik digunakan jika diinginkan hasil perhitungan rata-rata dari data sensitif terhadap perubahan data. Rata-rata geometrik ini biasa digunakan dalam penelitian apabila penelitian yang dilakukan ingin menekan setiap *gap* data yang dimiliki. Nilai tinggi maupun nilai rendah pada data yang dihasilkan tidak terlalu berpengaruh pada hasil rata-rata geometrik. Jika data memiliki nilai mayoritas rendah, maka rata-rata geometrik yang dihasilkan cenderung rendah pula. Begitu pula jika data memiliki nilai mayoritas tinggi, maka rata-rata geometrik yang dihasilkan cenderung tinggi pula. Sehingga *gap* antara nilai pada data memiliki pengaruh yang tidak sebesar pengaruhnya pada rata-rata biasa (aritmatik).