

BAB II

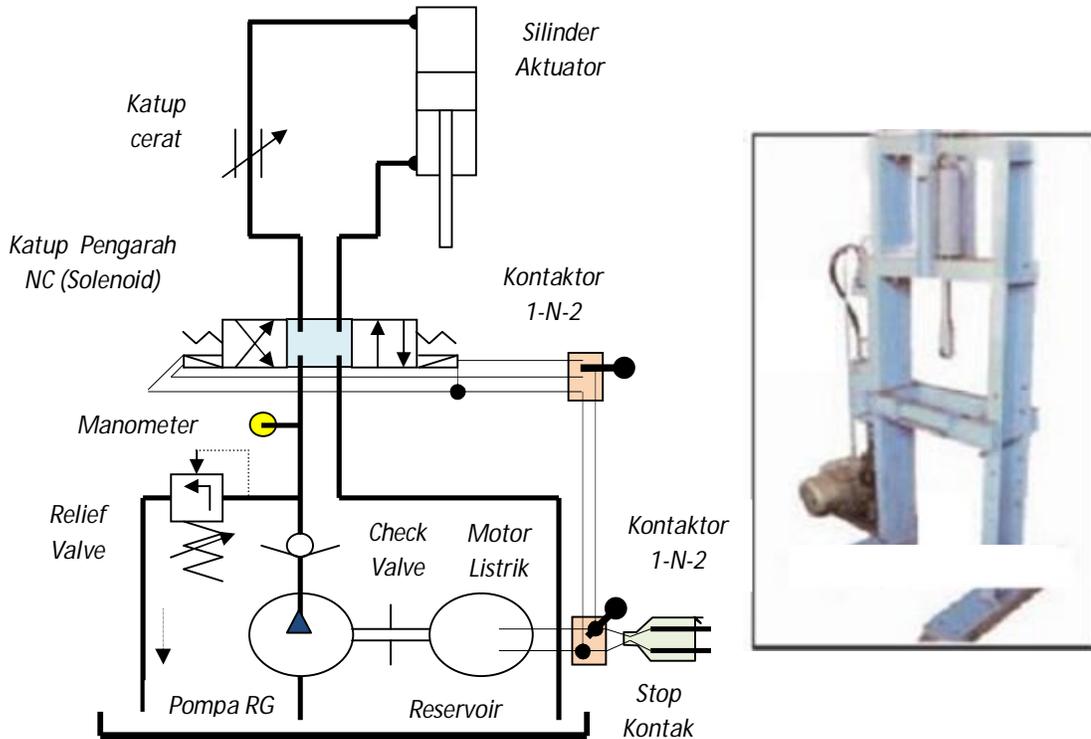
TINJAUAN PUSTAKA

2.1.Sistem Hidrolik

Kata hidrolik (hidraulik, *hydraulic*) berasal dari kata Yunani “hydor” yang berarti “air”. atau “zat cair” atau “fluida cair”, bermakna semua benda atau zat yang berhubungan dengan “air”. Dahulu didefinisikan sebagai segala sesuatu yang berhubungan dengan air. Sekarang kita mendefinisikan “hidrolik” sebagai pemindahan, pengaturan, gaya-gaya dan gerakan-gerakan zat cair. Dalam hal ini cairan digunakan sebagai sarana perpindahan energi. Minyak mineral adalah cairan yang sering digunakan, tetapi dapat digunakan pula cairan sintetis, seperti air atau emulsi minyak air. (Budi Tri Siswanto, 2008, 33)

2.1.1. Komponen Mesin Press Sistem Hidrolik

Mesin Pres Sistem Hidrolik yang diproduksi Perusahaan berfungsi untuk menekan secara kontinu biji-bijian dan kacang-kacangan.

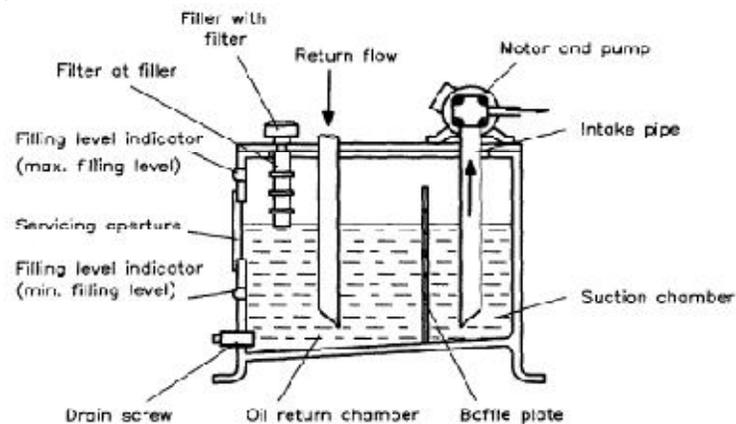


Gambar. 2-1. Diagram Sistem Hidrolik (Sumber : PT.Industri)

Adapun komponen dari mesin tersebut terdiri dari :

1. *Reservoir* atau Tanki Fluida

Komponen yang berfungsi untuk menampung fluida, menyaring dan memisahkan kotoran yang mengganggu sistem hidrolik. (Budi Tri Siswanto, 2008, 152)



Gambar 2-2. Reservoir Tank

2. Sistem Penggerak Motor dan Kopling

Motor berfungsi sebagai pengubah dari tenaga listrik menjadi tenaga mekanis. Kerja dari motor itu dengan cara memutar poros pompa yang dihubungkan dengan poros input motor. Motor yang digunakan adalah motor AC satu fasa $\frac{1}{4}$ PK. (Apri Wahyudi, 2006, 13)

Fungsi utama dari kopling adalah sebagai penghubung putaran yang dihasilkan motor penggerak untuk diteruskan ke pompa. Akibat dari putaran ini menjadikan pompa bekerja (berputar).

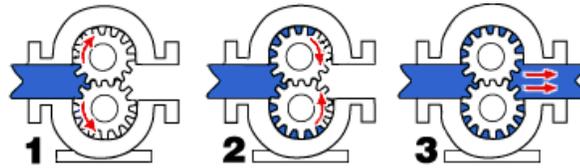


Gambar 2-3. Motor Listrik dan Kopling Tetap

3. Pompa Roda Gigi (*Gear Pump*)

Pompa hidrolis berfungsi untuk mengubah energi mekanis menjadi energi hidrolis dengan cara menekan fluida hidrolis ke dalam sistem. Apabila pompa digerakkan motor (penggerak utama), pompa melakukan dua fungsi utama :

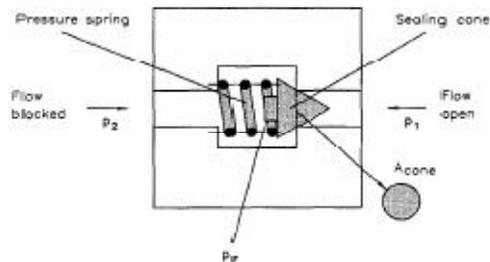
- 1) Pompa menciptakan kevakuman sebagian pada saluran masuk pompa. Vakum ini memungkinkan tekanan *atmospher* untuk mendorong fluida dari tangki (*reservoir*) ke dalam pompa.
- 2) Gerakan mekanis pompa menghisap fluida ke dalam rongga pemompaan, dan membawanya melalui pompa, kemudian mendorong dan menekannya ke dalam sistem hidrolis.



Gambar 2-4. Pompa Roda Gigi Luar (Budi Tri Siswanto, 2008, 125)

4. Katup Balik (*Check Valve*)

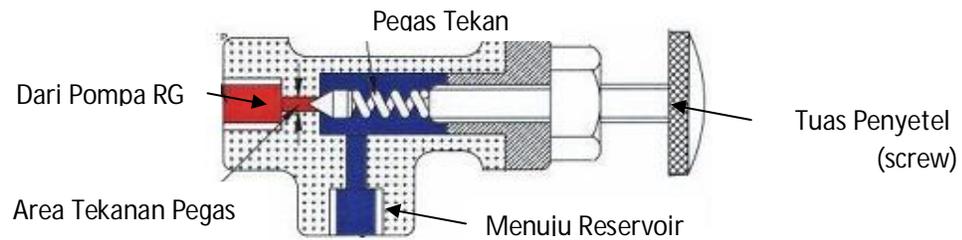
Katup ini berfungsi untuk menghindari aliran balik yaitu dengan jalan mengalirkan aliran fluida bertekanan pada arah yang dikehendaki dan mencegah adanya aliran balik pada saluran tersebut. (Budi Tri Siswanto, 2008, 286)



Gambar 2-5. Komponen *Check Valve*

5. Katup Pelepas (*Relief valve*)

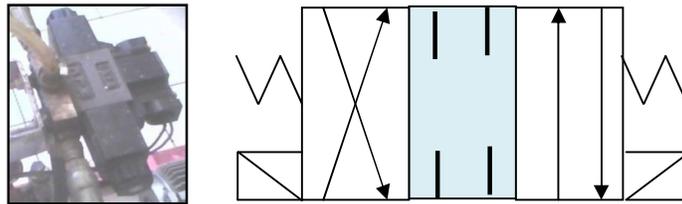
Katup ini berfungsi untuk memberi batasan tekanan pada sistem agar besarnya tekanan yang masuk ke dalam silinder sesuai dengan kebutuhan. selain itu juga sebagai peredam kejut sistem dari tekanan pompa (*over pressure pump*) serta membatasi gaya *out put* pada silinder hidrolis



Gambar 2-6. Komponen *Relief valve*, (Budi Tri Siswanto, 2008, 268)

6. Katup Pengarah Solenoid (NC)

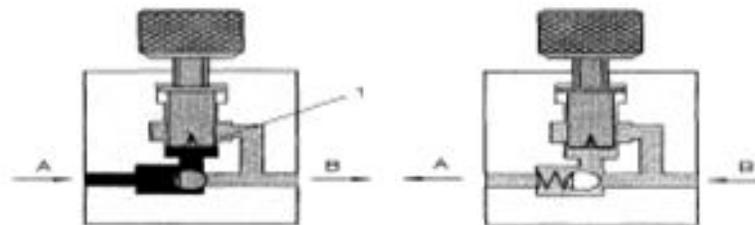
Katup ini berfungsi untuk mengatur dan mengendalikan arah aliran hidrolik yang akan bekerja menggerakkan silinder (*actuator*) menggunakan pengendali sistem kemagnetan *Solenoid Normally Close*.



Gambar 2-7. Katup Pengarah Aliran Solenoid, (Budi Tri Siswanto, 2008, 275)

7. Katup Cerat (Katup pengatur aliran)

Katup ini berfungsi untuk menghindari aliran balik yaitu dengan jalan mengalirkan aliran fluida bertekanan pada arah yang dikehendaki dan mencegah adanya aliran balik pada saluran tersebut. (Budi Tri Siswanto, 2008, 277)



Gambar 2-8. Katup Pengatur Aliran

8. Sistem Hidrolik / Tabung Gerak Ganda (TGG)

Silinder hidrolik atau elemen penggerak hidrolik linear berfungsi untuk mengubah tenaga hidrolik ke dalam gaya mekanik lurus atau gerakan mekanik. Selain itu untuk meneruskan gaya tekan fluida dalam arah dan jarak tertentu.



Gambar 2-9. Silinder / *Actuator* Gerak Ganda (Budi Tri Siswanto, 2008, 328)

Jenis silinder hidrolik pada umumnya ada dua yaitu, silinder tunggal yang hanya memberi gaya satu arah saja, dan silinder aksi ganda dengan gaya dua arah yaitu arah maju dan arah mundur.

9. Pipa Saluran (*Conductor*)

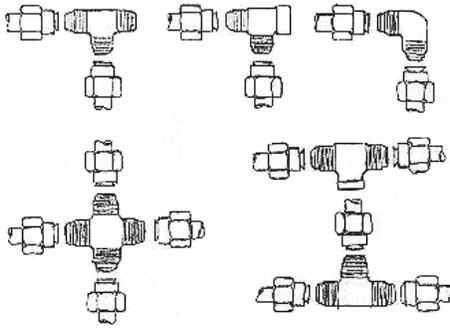
Pipa saluran berfungsi untuk menghubungkan berbagai elemen pada rangkaian sistem hidrolik dan menghantarkan fluida ke seluruh sistem hidrolik.



Gambar 2-10. Pipa Sistem Hidrolik, (Budi Tri Siswanto, 2008, 164)

10. Penyambung (*Connector*)

Komponen ini berfungsi menyambungkan, menjepit konduktor (pipa) agar tersambung erat tanpa bocor, maka bisa meneruskan aliran fluida yang dilaluinya.



Gambar 2-11. Komponen *Connector*, (Budi Tri Siswanto, 2008, 165)

11. Fluida Oli, (Budi Tri Siswanto, 2008, 75)

Fluida hidrolik merupakan media pemindah gaya atau energi pada sistem pesawat hidrolik, dalam aplikasinya mempunyai empat tujuan utama yaitu :

- a. Sebagai pemindah atau penerus gaya.
- b. Sebagai pelumas bagian-bagian mesin yang bergesekan.
- c. Sebagai pengisi celah (*seal*) jarak antara dua bidang yang bergesekan.
- d. Sebagai pendingin atau penyerap panas yang timbul akibat gesekan.

12. Manometer Pengukur Tekanan Kerja

Komponen yang dipasangkan diantara *relief valve* menuju katup pengarah *solenoid*. Berfungsi untuk menunjukkan tekanan kerja aliran fluida hidrolik dalam bentuk susunan angka berbentuk jam atau *dial indicator*.



Gambar 2-12. *Manometer Bourdon*, (Budi Tri Siswanto, 2008, 188)

2.1.2. Mesin Press Hidrolik

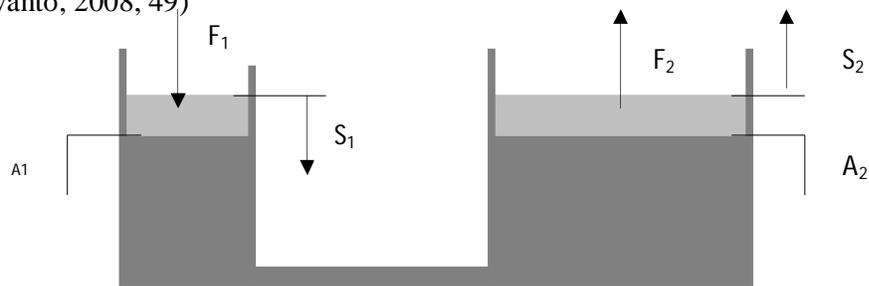
Mesin Press adalah suatu mesin dengan berprinsip kerja penekanan fluida oli pada media piston dalam tabung silinder untuk melakukan penekanan, baik untuk proses *drawing*, *punching*, *blanking*, *fiting*, *shearing*, *bending*, *forging* ataupun yang lainnya. Sistem fluida ini digerakan oleh Pompa Hidrolik (*gear pump*) yang berfungsi memompa oli dari *tanki* yang diteruskan ke *actuator*. Kinerja mesin dikatakan optimum jika mampu memberikan kuat tekan maksimum tanpa mengalami bocor debit sisa aliran.

Pada *hydraulic press machine* tersebut, tenaga yang digunakan untuk langkah menaikkan dan menurunkan serta untuk mengontrol atau pengaturan langkah menggunakan komponen *solenoid direction valve*. Ketika posisi normal maka tekanan oli dari motor langsung masuk ke *tanki* kembali (sirkulasi ini berjalan terus menerus pada saat keadaan normal). Pada saat tombol *Solenoid 1* digerakkan ke bawah maka silinder akan bergerak maju hingga akhir langkah, sehingga aliran oli mengalir dari pompa menuju ke *solenoid valve* dan ke *actuator*. Saat mencapai akhir langkah piston tersebut, maka aliran akan menjadi

mampat dan tekanan akan naik, sehingga aliran oli akan belok menuju *relief valve* dan terjadi aliran kebocoran dari saluran keluar 2 pada *relief valve* tersebut langsung menuju ke *tanki*. Begitu juga sebaliknya terjadi pada saat silinder digerakkan mundur.

2.1.3. Prinsip Kerja Sistem Hidrolik

Prinsip kerja sistem hidrolik ditunjukkan dalam hukum *pascal* sebagai berikut “Tekanan yang bekerja pada suatu zat cair pada ruangan tertutup, akan diteruskan ke segala arah dan menekan dengan gaya yang sama pada luas area yang sama”. Artinya, gaya yang bekerja di setiap bagian dari sistem hidrolik akan meneruskan tekanan yang sama ke segala arah di dalam sistem. (Budi Tri Siswanto, 2008, 49)



Gambar 2-13. Prinsip Dasar Sistem Hidrolik

Persamaan kesamaan tekanan dalam Hukum *Pascal*

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} \text{ sehingga } F_2 = F_1 \times \frac{A_2}{A_1} \quad (1)$$

$$\text{Besarnya gaya pengepresan: } F_1 = P_1 \times A = \dots\dots(N) \quad (2)$$

$$\text{Besarnya Tekanan Kerja Silinder } P = \frac{4 \times F}{\pi \times D_s^2} = \dots\dots(Pa) \quad (3)$$

Besarnya Debit Fluida *Incompressible* $\rho_1=\rho_2$, tercantum dalam persamaan kontinuitas berikut ini : (Ranald V.G, 1993, 73)

$$Q = A \times v = \left(\frac{\pi}{4} x D_s^2 \right) \cdot v = \dots\dots\dots(m^3/mnt) \quad (4)$$

$$\text{Besarnya Rerugi Mayor } H_f = \frac{f_x L x v^2}{d x 2 x g} = \dots\dots\dots(m) \quad (5)$$

$$\text{Besarnya Rerugi Minor } H_{v_1} = n x K x \frac{v^2}{2g} = \dots\dots\dots(m) \quad (6)$$

$$\text{Sehingga rugi total fluida pada pipa adalah : } \Delta H = H_f + H_{v_1} = \dots\dots\dots(m) \quad (7)$$

Persamaan energi fluida *Incompressible* tercantum dalam persamaan *bernouilly*

Energi fluida = en.Tekanan + en. Head kec. Kinematik + en Potensial

$$E_p = \frac{P}{\rho \cdot g} + x \frac{v^2}{2 \cdot g} + z = \dots\dots\dots(J/N) \quad (8)$$

2.2. Pengertian Kualitas

Kata kualitas memiliki banyak definisi yang berbeda, dan bervariasi dari yang konvensional sampai yang lebih strategik. Definisi konvensional dari kualitas biasanya menggambarkan karakteristik langsung dari suatu produk seperti performansi (*performance*), keandalan (*reliability*), mudah dalam penggunaan (*easy to use*), estetika (*esthetics*) dan sebagainya. Sedangkan definisi strategik dari kualitas adalah segala sesuatu yang mampu memenuhi keinginan atau kebutuhan pelanggan (*meeting the needs of customers*). (Vincent Gaspersz, 2001).

2.3. Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan teknik penyelesaian masalah yang digunakan sebagai pemonitor, pengendali, penganalisis, pengelola dan memperbaiki suatu proses atau produk, sehingga sesuai dengan tuntutan kebutuhan pasar. Aktivitas pengendalian kualitas mencakup setiap fase dari penelitian dan pengembangan produk, perancangan proses produksi, dan kepuasan konsumen. Target dari pengendalian kualitas adalah untuk mencapai seluruh perbaikan terus menerus, penemuan yang dipercepat, penyelesaian masalah dengan cepat, dan efektivitas biaya dalam meningkatkan kualitas produk. (Dorothea. W.A, 2004, 3 dan 61).

Pengendalian kualitas dapat dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu pengendalian kualitas secara *off-line* dan pengendalian kualitas secara *on-line*. (Soejanto, 2009, 6)

2.3.1. Pengendalian Kualitas Secara *Off-Line*

Bahwa bagian ini suatu perancangan eksperimen merupakan peralatan yang sangat fundamental, dimana teknik ini mengidentifikasi sumber dari variasi dan menentukan perancangan dan proses yang optimal. Pengendalian kualitas secara *off-line* dibagi menjadi 3 (tiga) tahap :

Tahap I Perancangan Konsep

Tahap ini berhubungan dengan pemunculkan ide dalam kegiatan perancangan dan pengembangan produk, dimana ide tersebut dari keinginan konsumen.

Model atau metode yang digunakan pada tahap ini antara lain :

- a. *Quality Function Deployment* : menterjemahkan keinginan konsumen ke dalam istilah teknis.
- b. *Dinamic Signal-to-Noise Optimization* : teknik untuk mengoptimalkan *engineering function, resulting in robust, dan tunable technology*.
- c. *Theory of Inventive Problem Solving* : Suatu koleksi *tool* yang didapat dari analisa literatur yang berguna untuk membangkitkan pemecahan masalah teknis yang inovatif.
- d. *Desaign of Experiments* : Eksperimen faktorial penuh dan faktorial parsial untuk dapat mengetahui efek dari beberapa parameter serentak.
- e. *Competitive Technology Assesment* : melakukan *benchmark* terhadap sifat *robustnees* dari teknologi pengembangan internal dan eksternal.
- f. *Pugh Concept Selection Process* : Mengumpulkan dan menyajikan informasi dari suatu *system expert*, dengan membandingkan beberapa keunggulan dan kualitas dari berbagai konsep untuk dikembangkan sehingga didapat konsep yang paling sesuai.

Tahap II Perancangan Parameter

Tahap ini berfungsi untuk mengoptimalisasi level dari faktor pengendali terhadap efek yang ditimbulkan oleh faktor lain sehingga produk yang ditimbulkan dapat tangguh terhadap *noise*. Karena itu perancangan parameter sering disebut sebagai *Robust Design*.

Model atau metode yang digunakan dalam tahap ini antara lain :

- a. *Engineering Analysis* : Menggunakan pelatihan, pengalaman, dan percobaan untuk menemukan variabilitas dan respon yang efektif.
- b. *The System P-Diagram* : Suatu model yang tangguh untuk menggambarkan dan menggolongkan berbagai parameter yang mempengaruhi *output system*.
- c. *Dynamic and Static Signal-to-Noise Opetimization* : Mengoptimalkan suatu perancangan parameter untuk mengurangi variabilitas dengan menggunakan perhitungan *rasio signal-to-noise*.
- d. *Crossed Array Experiment* : Sebuah perancangan ekperimen khusus dengan cara memanfaatkan interaksi antara faktor kendali dan faktor derau sehingga membuat sistem lebih tangguh.

Tahap III Perancangan Toleransi

Merupakan tahap terakhir dimana dibuat *matrik orthogonal*, *loss function*, dan *ANNOVA* untuk menyeimbangkan biaya dan kualitas dari suatu produk.

Model atau metode yang digunakan pada tahap ini antara lain :

- a. *Quality Loss Function* : Persamaan yang menghubungkan variasi dari performan biaya produk dengan level deviasi dari target.
- b. *Analysis of Variance (ANNOVA)* : Suatu teknis statistik yang secara kuantitatif menentukan kontribusi variasi total, yang dibentuk dari setiap faktor derau dan faktor kendali.

- c. *Design of Experiments* : Eksperimen faktorial penuh dan faktorial parsial untuk dapat mengetahui efek dari beberapa parameter secara serenta.

2.3.2. Pengendalian Secara *On Line*

Merupakan suatu aktivitas untuk mengamati dan mengendalikan kualitas pada setiap proses produksi secara langsung. Aktivitas ini sangat penting dalam menjaga agar biaya produksi menjadi rendah dan secara langsung pula dapat meningkatkan kualitas produk.

Pengendalian kualitas secara *on-line* ini juga dapat mengontrol tiap mesin produksi sehingga dapat mencegah terjadinya kerusakan pada tiap mesin produksi tersebut. Adapun beberapa model yang digunakan dalam melakukan pengendalian kualitas secara *on-line* :

- a. *Statistical Process Control* : Melakukan pengamatan, pengendalian, dan pengujian pada tiap tahap proses produksi agar dapat terjadi penyimpangan yang cukup besar.
- b. *Static Signal-to-Noise Ratio* : Mereduksi variasi dengan menggunakan aplikasi dari *robust design* untuk memecahkan permasalahan dalam proses produksi.
- c. *Compensation* : Berbagai rencana pengendalian untuk menjaga agar proses yang terjadi sesuai dengan target.

- d. *Loss Function-Based Process Control* : Pengurangan terhadap seluruh biaya produksi termasuk biaya per unit, biaya inspeksi, dan biaya *set-up* yang diperlukan dalam pengendalian proses serta *quality loss* yang diakibatkan oleh sisa variasi pada output.

2.4. Desain Eksperimen

Design experiment adalah suatu rancangan percobaan (dengan tiap langkah atau tindakan yang betul-betul terdefinisikan) sedemikian sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan. Disain suatu eksperimen bertujuan untuk memperoleh atau mengumpulkan informasi sebanyak yang diperlukan dan berguna dalam melakukan penelitian persoalan yang akan dibahas. (Soejanto, 2009, 14)

Penelitian hendaknya dilakukan se-efisien mungkin mengingat waktu, biaya, tenaga dan bahan yang harus digunakan dan *design experiment* yang dibuat harus sesederhana mungkin. Jadi jelas hendaknya, bahwa *design experiment* dengan menggunakan biaya yang minimum berusaha untuk memperoleh informasi yang maksimum.

2.4.1. Prinsip Dasar Desain Eksperimen

Didalam menerapkan desain eksperimen diperlukan prinsip utama yang sangat berpengaruh terhadap hasil analisa, diantaranya adalah :

1. Replikasi

Replikasi diartikan sebagai pengulangan eksperimen dasar. Dalam kenyataannya replikasi diperlukan dikarenakan akan memberikan beberapa hal, diantaranya :

- a. Memberikan tafsiran kekeliruan eksperimen yang dapat dipakai untuk menentukan panjang interval konfidens atau dapat digunakan sebagai “*satuan dasar pengukuran* “ untuk penetapan taraf signifikan daripada perbedaan –perbedaan yang diamati.
- b. Menghasilkan taksiran yang lebih akurat untuk kekeliruan eksperimen
- c. Memungkinkan untuk memperoleh taksiran yang lebih baik mengenai efek rata- rata sesuatu faktor.

2. Pengacakan

Pada umumnya untuk setiap prosedur pengujian, beberapa asumsi tertentu perlu diambil dan dipenuhi agar pengujian yang dilakukan menjadi berlaku. Salah satu diantaranya adalah bahwa beberapa dari pengamatan tersebut berdistribusi secara independen. Asumsi ini sukar untuk dapat dipenuhi, akan tetapi dengan jalan berpedoman kepada prinsip sampel acak yang diambil dari sebuah populasi atau berpedoman pada perlakuan acak terhadap unit eksperimen, maka pengujian dapat dijalankan dengan asumsi yang telah diambil tersebut telah terpenuhi.

Pengacakan memungkinkan untuk melanjutkan beberapa langkah berikutnya dengan anggapan bahwa sifat independen menjadi suatu kenyataan.

3. Kontrol Lokal

Merupakan sebagian dari total keseluruhan prinsip desain yang harus dilaksanakan. Dengan kata lain adalah suatu susunan langkah yang terbentuk dari hasil penyimpangan maupun pengelompokkan tiap unit eksperimen yang digunakan dalam desain.

2.4.2. Langkah dalam Melaksanakan Desain Eksperimen

Adapun susunan langkah desain eksperimen adalah sebagai berikut (Sudjana, 1991) :

1. Berkaitan langsung dengan masalah atau persoalan yang akan dibahas
2. Merumuskan hipotesa
3. Menentukan teknik dan desain eksperimen yang diperlukan
4. Memeriksa semua hasil yang mungkin dan latar belakang atau alasan agar supaya eksperimen setepat mungkin memberikan informasi yang diperlukan.
5. Mempertimbangkan semua hasil yang ditinjau dari prosedur statistika yang diharapkan berlaku untuk itu.
6. Melakukan eksperimen
7. Penggunaan teknik statistika terhadap data hasil eksperimen
8. Mengambil kesimpulan dengan jalan menggunakan atau memperhitungkan derajat kepercayaan yang wajar mengenai satuan – satuan yang dinilai.
9. Membandingkan kualitas proses yang baru dengan proses yang lama

Desain eksperimen terdiri dari dua macam yaitu desain eksperimen konvensional dan desain eksperimen Taguchi. Desain eksperimen konvensional sudah semakin tidak dilakukan pada saat sekarang, karena menghabiskan banyak waktu, biaya dan tenaga. Sedangkan untuk metode Taguchi sekarang banyak

dilakukan, karena dalam metode *Taguchi* mempersingkat jumlah eksperimen yang dilakukan sehingga tidak menghabiskan banyak waktu, tenaga dan biaya.

2.4.3. Pelaksanaan Eksperimen

Sesuai dengan definisi penelitian eksperimen adalah merupakan suatu penelitian yang berusaha mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel yang lain dalam kondisi yang terkontrol secara ketat. Dari sekian variabel independen tersebut bisa dimanipulasi oleh peneliti sendiri. (Sugiyono, 2005, 110)

Pelaksanaan eksperimen bisa diterapkan dengan 2 cara, yaitu pelaksanaan eksperimen dengan pengujian, eksperimen dan pengujian. Adapun susunan pelaksanaannya diawali dengan persiapan, pelaksanaan pembuatan eksperimen kontrol kualitas dan diakhiri dengan pengujian yang pada akan didapatkan data hasil pengamatan tersebut.

2.5. Metode Taguchi

Dalam metode Taguchi digunakan matrik yang disebut *orthogonal array* untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level dari variable-variabel input untuk tiap eksperimen. (Soejanto, 2009, 17)

Menurut Taguchi, ada 2 (dua) segi umum kualitas yaitu kualitas rancangan dan kualitas kecocokan. Kualitas rancangan adalah variasi tingkat kualitas yang ada pada suatu produk yang memang disengaja, sedangkan kualitas kecocokan adalah seberapa baik produk itu sesuai dengan spesifikasi dan kelonggaran yang

disyaratkan oleh rancangan. Metode Taguchi menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut *Orthogonal Array*. Matriks standar ini merupakan langkah untuk menentukan jumlah percobaan minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari metode *Orthogonal Array* terletak pada pemilihan kombinasi level variabel-variabel input untuk masing-masing percobaan.

Filosofi Taguchi terhadap kualitas terdiri dari tiga buah konsep, yaitu (Montgomery,1998, 123):

1. Kualitas harus didisain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target.
2. Produk harus didisain sehingga *robust* terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
3. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

2.5.1. Proses Perancangan Parameter

Perancangan parameter merupakan evaluasi secara serentak terhadap dua atau lebih faktor, parameter terhadap kemampuan yang mempengaruhi rerata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu.

Pada penerapan metode analisis data *taguchi* tidak semua faktor yang berpengaruh dapat dikendalikan tanpa mengeluarkan biaya, sehingga diperlukan

pendekatan lain untuk meningkatkan kualitas. Pendekatan yang digunakan oleh *Taguchi* dinamakan perancangan parameter.

Metode analisis data *Taguchi* membagi upaya untuk meningkatkan kualitas atas 3 (tiga) hal, yaitu (Soejanto, 2009, 18):

1. Perancangan Sistem (*System Design*), yang merupakan upaya dimana konsep-konsep, ide-ide, metode baru dan lainnya dimunculkan untuk memberi peningkatan produk.
2. Perancangan Parameter (*Parameter Design*) yang digunakan untuk mencegah terjadi *variabilitas*, dimana parameter-parameter ditentukan untuk menghasilkan performansi yang baik.
3. Perancangan Toleransi (*Tolerance Design*). yang merupakan upaya meningkatkan kualitas dengan memperketat toleransi pada parameter produk atau proses untuk mengurangi terjadinya *variabilitas* pada performansi produk

2.5.2. Faktor Terkendali dan Faktor Noise

Dalam metode *taguchi* terdapat faktor terkendali yang merupakan faktor yang ditetapkan (atau dapat dikendalikan) oleh produsen selama tahap perancangan produk/proses dan tidak dapat diubah oleh konsumen. Sedangkan faktor *noise* adalah faktor yang tidak dapat dikendalikan langsung oleh produsen. Faktor *noise* dapat dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu :

1. Faktor *noise eksternal*, yang bisa diartikan sebagai sumber-sumber *variabilitas* yang berasal dari luar produk.

2. Faktor *noise* dari unit ke unit, yang merupakan hasil dari produksi dimana selalu ada perbedaan dari setiap item yang sejenis yang telah diproduksi. Atau bisa disebut juga sebagai variasi toleransi
3. Faktor *noise* deteriorasi, atau disebut juga noise internal, karena faktor ini berasal dari sesuatu (internal) yang berubah dari proses atau degradasi dari komponen mesin yang memasuki over time.

Dalam perancangan eksperimen Taguchi, untuk penanganan faktor *noise* melalui 3 (tiga) cara, yaitu :

1. Dengan melakukan pengulangan terhadap masing-masing percobaan
2. Dengan memasukkan faktor *noise* tersebut kedalam percobaan dengan menempatkannya diluar faktor terkendali
3. Dengan menganggap faktor terkendali tersebut bervariasi

2.5.3. Perancangan Eksperimen Taguchi

Merupakan evaluasi secara serentak terhadap dua atau lebih faktor (parameter) terhadap kemampuan mempengaruhi rerata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu (Soejanto, 2009, 14).

Ada beberapa langkah yang diusulkan *Taguchi* untuk melakukan eksperimen secara sistematis, yaitu :

1. Menyatakan permasalahan yang akan dipecahkan
2. Menentukan tujuan penelitian
3. Menentukan metode pengukuran
4. Identifikasi faktor

5. Memisahkan faktor kontrol dan faktor *noise*
6. Menentukan level setiap faktor dan nilai faktor
7. Mengidentifikasi faktor yang mungkin berinteraksi
8. Menggambarkan linier graph yang diperlukan untuk faktor kontrol dan interaksi.
9. Memilih *Orthogonal Array*
10. Pemasukkan faktor atau interaksi ke dalam kolom
11. Melakukan eksperimen
12. Analisa hasil eksperimen
13. Interpretasi hasil
14. Pemilihan level faktor untuk kondisi optimal
15. Perkiraan rata-rata proses pada kondisi optimal
16. Menjalankan eksperimen konfirmasi

2.5.4. Penentuan dan Pemilihan *Orthogonal Array*

Didalam penentuan dan pemilihan nilai *orthogonal array* diperlukan pengamatan terhadap nilai derajat kebebasan yang dipakai. Sehingga informasi yang diberikan dalam hasil analisis lebih tepat dan efisien.

2.5.4.1. Derajat Bebas (*Degree of Freedom*)

Merupakan banyaknya perbandingan yang harus dilakukan antar level faktor (efek utama) atau interaksi yang digunakan untuk menentukan jumlah percobaan minimum yang dilakukan.

Perhitungan derajat bebas dilakukan agar diperoleh suatu pemahaman mengenai hubungan antara suatu faktor dengan level yang berbeda-beda terhadap karakteristik kualitas yang dihasilkan. Perbandingan ini sendiri akan memberikan informasi tentang faktor dan level yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap karakteristik kualitas. Dalam melakukan percobaan, efisiensi dan biaya yang harus dikeluarkan merupakan salah satu pertimbangan utama. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka sebisa mungkin digunakan *Orthogonal Array* terkecil yang masih dapat memberikan informasi yang cukup untuk dilakukannya percobaan secara komprehensif dan penarikan kesimpulan yang valid.

Untuk menentukan *Orthogonal Array* yang diperlukan maka dibutuhkan perhitungan derajat kebebasan. Adapun perhitungan untuk memperoleh derajat bebas adalah sebagai berikut :

1. Untuk faktor utama, misal faktor utama A dan B :

$$V_A = (\text{jumlah level faktor A}) \times 1 \quad (9)$$

$$= k_A \times 1$$

$$V_B = (\text{jumlah level faktor B}) \times 1 \quad (10)$$

$$= k_B \times 1$$

2. Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

$$V_{A \times B} = (k_A \times 1) (k_B \times 1) \quad (11)$$

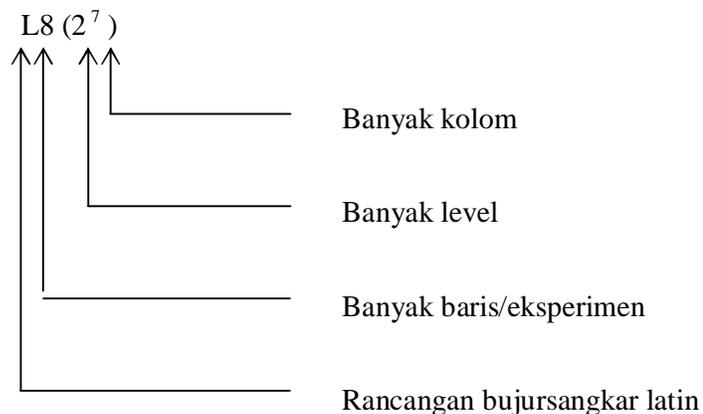
3. Nilai derajat bebas total

$$(k_A \times 1) + (k_B \times 1) + (k_A \times 1) (k_B \times 1) \quad (12)$$

Tabel *orthogonal array* yang dipilih harus mempunyai jumlah baris minimum yang tidak boleh kurang dari jumlah derajat bebas totalnya

2.5.4.2. Orthogonal Array (OA)

Matrik orthogonal atau *orthogonal array* terdiri dari kolom-kolom *orthogonal*. Yaitu untuk setiap pasang kolom, semua kondisi performansi muncul dalam jumlah yang sama. Dalam *matrik orthogonal*, kolom menyatakan faktor-faktor yang dipelajari, baris mewakili eksperimen individual, jumlah baris menyatakan banyaknya eksperimen yang harus dilakukan, dimana jumlah baris minimal sama dengan *degree of freedom* dan isi dari *matrik orthogonal* menyatakan level atau taraf dari faktor-faktor yang dipelajari.



Gambar 2-14 Notasi *Orthogonal Array*

Keterangan :

1. Notasi L menyatakan informasi mengenai *Orthogonal Array*.
2. Nomor Baris menyatakan jumlah percobaan yang dibutuhkan ketika menggunakan *Orthogonal Array*.

3. Nomor Level menyatakan jumlah level faktor.
4. Nomor Kolom adalah jumlah faktor yang diamati dalam *Orthogonal Array*

Pemilihan matrik orthogonal yang dipakai bergantung pada derajat bebas atau *degree of freedom* yang dipelajari, level faktor yang dipelajari, resolusi dan biaya. Dalam memilih *array orthogonal* yang sesuai untuk suatu eksperimen tertentu disyaratkan agar $V_{OA} \geq V_{fl}$, dengan V_{fl} : derajat bebas level faktor (Soejanto ,2009, 53). Derajat bebas *array orthogonal* (V_{OA}) selalu kurang 1 dari banyaknya eksperimen.

$$V_{OA} = n_{OA} - 1 \quad (13)$$

Dengan n_{OA} adalah banyaknya baris/eksperimen. Sedangkan derajat bebas suatu faktor (V_{fl}) adalah satu kurangnya dari jumlah level faktor tersebut.

$$V_{fl} = n_{fl} - 1 \quad \text{dengan } n_{fl} \text{ adalah banyaknya level.} \quad (14)$$

Tabel 2-1. *Standard Orthogonal Array*

2 level	3 level	4 level	5 level	Level gabungan
L ₄ (2 ³)	L ₉ (3 ⁴)	L ₁₆ (4 ⁵)	L ₂₅ (5 ⁶)	L ₁₈ (2 ¹ X3 ⁷)
L ₈ (2 ⁷)	L ₂₇ (3 ¹³)	L ₆₄ (4 ²¹)		L ₃₂ (2 ¹ X4 ⁹)
L ₁₂ (2 ¹¹)	L ₈₁ (2 ⁴⁰)			L ₃₆ (2 ¹¹ X3 ¹²)
L ₁₆ (2 ¹⁵)				L ₃₆ (2 ³ X3 ¹³)
L ₃₂ (2 ³¹)				L ₅₄ (2 ¹ X3 ²⁵)
L ₆₄ (2 ⁶³)				L ₅₀ (2 ¹ X5 ¹¹)

Tabel 2-2. Matrik *Orthogonal Array* $L_8 (2^7)$

Trial No	Column Number						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Tabel 2-3. *Orthogonal Array* L_4 Standar

Trial	Columns		
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

2.5.5. Rasio Signal Terhadap Noise (S/N Ratio)

S/N ratio adalah logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk.

Ada beberapa jenis S/N rasio, yaitu (Soejanto, 2009, 145) :

1. *Smaller-the-Better* (STB)

Karakteristik kualitas dimana semakin rendah nilainya, maka kualitas semakin baik. Meskipun demikian, dalam penentuan level faktor optimal tetap dipilih nilai S/N Ratio yang terbesar. Nilai S/N untuk karakteristik STB adalah :

$$S/N_{STB} = -10 \text{Log} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (15)$$

Dimana : n = jumlah tes di dalam percobaan (trial)

y_i = nilai respon dari cuplikan ke i untuk jenis eksperimen tertentu

2. *Larger-the-Better* (LTB)

Karakteristik kualitas dimana semakin besar nilainya, maka kualitas semakin baik. Nilai S/N untuk jenis karakteristik LTB adalah :

$$S/N_{LTB} = -10 \text{Log} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (16)$$

3. *Nominal-the-Better* (NTB)

Karakteristik kualitas dimana ditetapkan suatu nilai nominal tertentu, jika nilainya semakin mendekati nilai nominal tertentu tersebut maka kualitasnya semakin baik. Nilai S/N untuk jenis karakteristik NTB adalah :

$$S/N_{NTB} = 10 \log_{10} \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \quad (17)$$

Dimana $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$, dan $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$

2.5.6. Perhitungan Efek Tiap Faktor

Perhitungan efek tiap faktor dalam hal ini, faktor kendali dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$efek \ faktor = \frac{1}{a} (\sum \eta o) \quad (18)$$

Dimana :

o = nomor eksperimen yang mempunyai level yang sama

a = jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom matriks orthogonal

η = nilai SNR yang digunakan

2.5.7. Taguchi Single dan Multi Respon

Analisis data Taguchi dibedakan menjadi dua yaitu *Taguchi single respon* dan *Taguchi multirespon*. Hal tersebut diklasifikasikan berdasarkan target jumlah respon yang diuji dalam eksperimen tersebut.

2.5.7.1. Taguchi Single-Respon

Taguchi single respon hanya mempunyai satu variabel respon sehingga langsung didapatkan kombinasi optimal dari variabel respon tersebut. Dengan hasil analisa dari hasil S/N ratio yang berupa logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik yang digunakan telah mampu mengevaluasi kualitas suatu produk

tersebut. Dengan kata lain untuk menentukan kondisi optimal pada tahapan desain parameter cukup dilakukan dengan pengujian 1 respon.

2.5.7.2.MRSN (*Multi Respon Signal to Noise*)

Taguchi multirespon mempunyai lebih dari satu variabel respon (minimal dua variabel respon), dan masing – masing variabel respon mempunyai kombinasi faktor yang berbeda sehingga diperlukan penanganan lebih lanjut untuk mendapatkan kombinasi faktor yang optimal untuk meningkatkan kualitas masing–masing variabel respon tersebut.

Langkah-langkah yang sistematis dalam melakukan eksperimen multi respon dengan menggunakan *Multi Respon Signal to Noise* (MRSN) terdiri dari beberapa tahapan, yaitu :

1. Menghitung *quality loss* untuk setiap trial. Untuk karakteristik kualitas:

$$\text{Bigger the better} \quad L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y_{ijk}^2} \quad (19)$$

$$\text{Nominal the best} \quad L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} (y_{ijk} - m)^2 \quad (20)$$

$$\text{Smaller the best} \quad L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk}^2 \quad (21)$$

Dimana :

L_{ij} = *quality loss* untuk respon ke-i, trial ke-j

Y_{ijk} = data untuk respon ke-i, trial ke-j, replikasi ke-k

n_i = replikasi untuk respon ke-i

k = koefisien dari *quality loss*

m = nilai target

2. Menentukan *Multi Respon Signal to Noise* (MRSN) Ratio.

Penentuan MRSN berdasar pada beberapa langkah sebagai berikut :

- a. Menentukan *quality loss* maksimum untuk tiap respon.
- b. Normalisasi *quality loss* tiap eksperimen.

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i} \quad (22)$$

dimana :

C_{ij} = *normalized quality loss* untuk respon ke-i, pada trial ke-j

$$L_{ij} = \max \{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{ij}\}$$

3. Menghitung *total normalized quality loss* (TNQL) setiap eksperimen :

$$TNQL_i = \sum_{i=1}^m w_i \cdot x C_{ij} \quad (23)$$

dimana : w_i = bobot dari normalisasi respon ke-i

4. Menghitung MRSN ratio setiap eksperimen.

$$MRSN_j = -10 \log(TNQL_j) \quad (24)$$

5. Menentukan kombinasi level faktor yang optimal berdasarkan nilai MRSN terbesar. Tahapannya :
 - a. Membuat tabel respon dan grafik respon dari MRSN.
 - b. Menentukan faktor kontrol yang memiliki efek yang signifikan terhadap MRSN.
 - c. Menentukan level optimal dari faktor kontrol berdasarkan nilai MRSN terbesar.
 - d. Melakukan eksperimen konfirmasi.

Hasil eksperimen konfirmasi menentukan apakah level kontrol faktor optimal yang diperoleh bisa diperluas pada skala industri.

Pada penerapan MRSN diperlukan beberapa faktor pendukung yang harus diperhitungkan, diantaranya sebagai berikut :

1. Uji Prediksi

Dalam kehidupan sehari – hari , sering dilihat suatu peristiwa atau keadaan yang terjadi akibat peristiwa yang lain. Untuk mengetahui hubungan antara kejadian tersebut, terutama untuk menelusuri pola hubungan yang modelnya belum diketahui maka analisis regresi dapat dijadikan alat untuk membantu menganalisis hubungan tersebut.

Uji prediksi menggunakan analisa regresi berdasarkan data yang diperoleh dari hasil eksperimen yang sudah pernah dilakukan. Tujuan adanya uji prediksi untuk melihat secara keseluruhan eksperimen yang seharusnya dilakukan. Uji prediksi dilakukan karena pada eksperimen Taguchi hanya ada 8 (delapan) trial

atau 8 (delapan) eksperimen, yang sudah dianggap mewakili keseluruhan eksperimen yang seharusnya dilakukan.

Analisis regresi ada 3 kegunaan yaitu, deskripsi, kendali, dan prediksi (peramalan). Tetapi manfaat utama dari kebanyakan penyelidikan statistik dalam dunia bisnis dan ekonomi adalah mengadakan prediksi atau peramalan. Dalam analisis regresi dikenal dua macam variabel atau peubah yaitu variabel bebas (*independent variabel*) dan variabel tidak bebas (*dependent variabel*).

Variabel bebas adalah variabel yang telah diketahui nilainya, sedangkan variabel tidak bebas adalah variabel yang nilainya belum diketahui dan yang nantinya akan diramalkan.

2. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk mengevaluasi apakah rancangan usulan yang didapat mampu untuk memperbaiki kualitas tiap respon tersebut. Jika hasil rancangan usulan berhasil meningkatkan tiap respon tersebut, maka usulan tersebut dapat digunakan.

Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan menggunakan SNR pada kondisi optimum untuk mendapatkan μ prediksi. Kemudian hasil prediksi tersebut dibandingkan dengan eksperimen konfirmasi. Adapun langkah – langkah μ prediksi adalah sebagai berikut :

1. μ prediksi = Estimasi nilai SNR yang optimum.

2. Menghitung selang kepercayaan (*confidence interval*) = (CI)

$$(CI) = \mu \text{ prediksi} \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \cdot x V_e x \left[\frac{1}{n_{eff}} \right]} \quad (25)$$

3. Menghitung SNR data hasil eksperimen prediksi

$$SNR = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} y_i^2 \right] \quad (26)$$

4. Kesimpulan

Jika nilai SNR data hasil eksperimen prediksi masih berada dalam batas *confidence interval* (CI) maka dapat disimpulkan bahwa SNR hasil eksperimen sesuai dengan eksperimen prediksi. Begitu pula sebaliknya.

2.6. Uji Validitas Analisis Data

Hasil perolehan data dikatakan layak dan bisa mewakili keputusan harus memenuhi persyaratan berdistribusi normal, homogen, dan memiliki peranan pengaruh satu dengan lain.

2.6.1. Uji Distribusi Normal

Populasi dikatakan berdistribusi normal, jika telah sesuai dengan teori dan metode statistik sedemikian rupa, sehingga beberapa persoalan akan dapat diselesaikan dengan lebih mudah dan cepat. Agar asumsi normalitas pada langkah selanjutnya tersebut bisa dipertanggungjawabkan, diperlukan pengecekan keberlakuannya. (Gaspersz, 1991, 31)

Uji kenormalan dapat dilakukan dengan menggunakan uji kebaikan-suai atau uji kecocokan (*test of goodness fit*). Uji ini didasarkan pada seberapa baik kesesuaian dengan frekuensi harapan yang didasarkan pada sebaran yang dihipotesiskan, dalam hal ini adalah sebaran atau distribusi normal yang memiliki

$$\text{model : } f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (27)$$

Dimana :

$$\pi = 3,1415 \text{ dan } e = 2,7183$$

μ = parameter, merupakan rata-rata untuk distribusi

σ = parameter, merupakan simpangan baku untuk distribusi

Untuk keperluan pengujian normalitas ini, data harus dsusun dalam daftar distribusi frekuensi yang terdiri atas k buah interval.

Uji kebaikan-suai antara frekuensi yang teramati dengan frekuensi harapan didasarkan pada besaran :

$$x^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (28)$$

Nilai x^2 merupakan sebuah nilai peubah acak x^2 yang sebaran penarikan, contohnya sangat menghampiri nilai chi-kuadrat. Lambang O_i dan E_i masing-masing menyatakan frekuensi teramati dan frekuensi harapan bagi sel ke- i .

2.6.2. Uji Homogenitas Variansi (Uji Bartlett)

Untuk menguji kesamaan beberapa buah rata-rata, sebagaimana dalam metode analisis variansi (ANOVA), diasumsikan populasinya mempunyai variansi yang homogen, yaitu $\alpha_1^2 = \alpha_2^2 = \dots = \alpha_k^2$ sehingga perlu dilakukan pengujian homogenitas (kesamaan) variansi populasi normal. (Gaspersz, 1991, 99)

Dari k ($k > 2$) buah populasi berdistribusi independen dan normal masing-masing dengan variansi $\alpha_1^2, \alpha_2^2, \dots, \alpha_k^2$. Akan diuji hipotesis :

$$H_0 : \alpha_1^2 = \alpha_2^2 = \dots = \alpha_k^2$$

H_1 : paling sedikit satu tanda sama dengan tidak berlaku

Salah satu cara untuk menguji homogenitas k buah ($k \geq 2$) variansi populasi yang berdistribusi normal adalah dengan uji Bartlett. Misal populasi memiliki masing-masing sampel berukuran n_1, n_2, \dots, n_k dengan data Y_{ij} ($i=1, 2, \dots, n_k$) kemudian dari sampel-sampel itu dihitung masing-masing variansinya yaitu $s_1^2, s_2^2, \dots, s_k^2$.

Nilai statistik hitung uji Bartlett digunakan dengan rumusan Chi-Square

$$x^2 = (\ln 10) \{B - \sum (n_i - 1) \log s_i^2\} \quad (29)$$

Dimana:

$$\ln 10 = 2,306$$

$$B = (\log s^2) \sum (n_i - 1) \quad (30)$$

$$s^2 = \frac{\sum (n_i - 1) s_i^2}{\sum (n_i - 1)} \quad (31)$$

Dengan taraf nyata α , hipotesis H_0 ditolak jika $x^2_{hitung} \geq x^2_{(1-\alpha)(dk)}$, dimana $x^2_{(1-\alpha)(dk)}$ diperoleh berdasar dari tabel Chi-Kuadrat dengan peluang $(1-\alpha)$ dan $dk = (k-1)$.

2.6.3. Analisis Variansi (ANOVA)

Analisis ragam atau variansi adalah suatu metode untuk menguraikan keragaman total (variansi total) dari data-data yang kita peroleh menjadi komponen-komponen pembentuk keragaman total tersebut sehingga dapat diukur sebagai sumber keragaman (variansi), pengaruh-pengaruh variabel dependen dan kontribusi setiap faktor terhadap total variansi (Sudjana, 1991, 224).

Pada analisis variansi model I atau model tetap, peneliti dihadapkan pada taraf tiap faktor yang tetap, artinya taraf untuk masing-masing faktor tetap banyaknya dan seluruhnya digunakan dalam eksperimen. Sebagai contoh pada analisis desain eksperimen faktorial a x b (dwifaktor), apabila diteliti hanya mempunyai a buah taraf faktor A dan hanya b buah faktor B dan semuanya digunakan dalam eksperimen yang dilakukan, baik model yang diambil adalah model tetap (Sudjana, 1991, 232). Model yang digunakan untuk desain faktorial a x b adalah :

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} \quad (32)$$

Dimana :

$$i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

$$k = 1, 2, \dots, c$$

Y_{ijk} = variabel respon hasil observasi ke-k yang terjadi karena pengaruh bersama taraf ke-I faktor A dan taraf ke-j faktor B

μ = rata-rata yang sebenarnya (berharga konstan)

A_i = efek taraf ke-i faktor A

B_j = efek taraf ke-j faktor B

AB_{ij} = efek interaksi antar taraf ke-i faktor A dan taraf ke-j faktor B

Hipotesa nol yang harus diuji dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Ho_1 = A_i = 0 ; (i = 1, 2, \dots, a)$$

$$Ho_2 = B_j = 0 ; (j = 1, 2, \dots, b)$$

$$Ho_3 = AB_{ij} = 0 ; (i = 1, 2, \dots, a \text{ dan } j = 1, 2, \dots, b)$$

Hipotesa nol Ho_1 menyatakan bahwa tidak terdapat efek faktor A di dalam eksperimen itu, sedangkan Ho_2 menyatakan tidak terdapat efek faktor B. Untuk menyatakan di dalam eksperimen itu tidak terdapat interaksi antara faktor A dan

faktor B maka digunakan H_{03} . Hipotesis alternatifnya berturut-turut adalah terdapat efek faktor A, efek faktor B dan interaksi AB.

Langkah-langkah perhitungan dalam analisis variansi multifaktor adalah sebagai berikut (Ross, 1988, 68) :

2. Menghitung harga *Sum of Square* (SS) atau jumlah kuadrat (JK).

Adapun mekanisme dalam menghitung (SS) terdiri dari beberapa hal sebagai berikut :

- a. Total *Sum of Square* (SST) atau jumlah kuadrat total, dengan rumus

$$\bar{T} = \frac{T}{N} = \bar{y} \quad \text{dan} \quad T = \sum_{i=1}^N y_i \quad (33)$$

Persamaan diatas dapat dirumuskan kembali menjadi :

$$SST = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (34)$$

Dimana

y_i = nilai respon (data pengamatan) ke

$\bar{T} = \bar{y}$ = rata-rata respon

N = jumlah pengamatan

- b. *Sum of Square* atau jumlah kuadrat untuk suatu faktor, misal faktor A

$$SSA = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) - \frac{T^2}{N} \right] \quad (35)$$

$SSA = \text{Sum of Square faktor A}$

$A_i = \text{jumlah nilai pengamatan dibawah level ke-i faktor A}$

$n_{A_i} = \text{banyaknya data pengamatan dibawah level ke-i faktor A}$

$A_i^2 = \text{rata-rata nilai pengamatan dibawah level ke-i faktor A}$

$K_A = \text{banyaknya level faktor A}$

Secara umum *Sum of Square* (SS) suatu faktor dapat dihitung dengan rumus :

$$SS = \sum (a(m_i - m)^2) \quad (36)$$

Dimana

$SS = \text{Sum of Square}$ untuk setiap faktor

$A = \text{Jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom matrik}$

orthogonal

$m_i = \text{rata-rata efek tiap level faktor}$

$i = 1, 2, \dots, k$

3. Menghitung *degree of freedom* (df) atau derajat bebas

Dalam penentuan perhitungan derajat bebas, terdiri dari beberapa hal sebagai berikut :

- a. *Degree of freedom* total (df_T) dirumuskan dengan :

$$df_T = N - 1 \quad \text{atau} \quad df_T = df_{faktor} + df_{interaksi} + df_{error} \quad (37)$$

- b. *Degree of freedom* suatu faktor, dirumuskan dengan :

$$df = k - 1 \quad (38)$$

- c. *Degree of freedom error* (df_e) dirumuskan dengan :

$$df_e = df_T - df_{faktor} - df_{interaksifaktor} \quad (39)$$

- d. Menghitung *mean of square* (Mq) suatu faktor atau interaksi faktor, dengan rumus :

$$Mq = \frac{SS}{df} \quad (40)$$

4. Menghitung F ratio suatu faktor dengan rumus :

$$F = \frac{Mq}{Mq_e} \quad (41)$$

5. Menghitung *pure of square* (SS') suatu faktor dengan rumus :

$$SS' = SS - (df \times Mqe) \quad (42)$$

6. Menghitung persen kontribusi (P) suatu faktor, dengan rumus :

$$P = (SS' / SS_T) \times 100 \% \quad (43)$$

2.6.4. Uji F pada Analisis Variansi

Untuk mengetahui ada tidaknya efek yang signifikan dari masing-masing faktor dan interaksinya secara serentak pada respon yang diamati, maka perlu dilakukan Uji F pada variansi dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membuat hipotesis.
2. Menentukan besar tingkat signifikan (level of significance), α
3. Kriteria pengujian:

H_0 diterima apabila, $F_{hitung} \leq F_{(\alpha, v_1; v_2)}$

H_0 ditolak apabila, $F_{tabel} \geq F_{(\alpha, v_1; v_2)}$

Dimana $F(\alpha, v_1; v_2)$ dapat diperoleh dari tabel distribusi F dengan peluang α dan derajat bebas $v_1 = k-1$ sebagai pembilang dan $v_2 = k(n-1)$ sebagai penyebut.

4. Perhitungan F_{hitung}

$$F = \frac{\text{Variance between mean}}{\text{Variance within group}} \quad (44)$$

Untuk membantu perhitungan F disusunlah tabel Anova. Format umum untuk analisis variansi satu arah ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.4 Tabel Anova

Sumber Variansi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F_{hitung}
Antar Perlakuan	SST	$k-1$	$\frac{SST}{k-1} = S1^2$	$\frac{S1^2}{S2^2}$
Galat (dalam perlakuan)	SSE	$k(n-1)$	$\frac{SSE}{k(n-1)} = S2^2$	
Total	$SS Total$	$nk-1$		

Kemudian menarik kesimpulan, apakah H_0 diterima atau ditolak dengan membandingkan F_{hitung} dengan F_{tabel} .

2.6.5. Uji Beda (Uji t Berpasangan)

Pada uji t, dimana sampel saling berhubungan antara satu sampel dengan sampel yang lainnya, sehingga perlu dilakukan pengujian berpasangan. Pengujian ini biasanya dilakukan pada penelitian dengan teknik eksperimen dimana satu sampel diberi perlakuan tertentu kemudian dibandingkan dengan kondisi sampel sebelum adanya perlakuan. Maka satu kelompok sampel akan berfungsi sebagai variabel pengendali terhadap variable yang lain yang mendapat perlakuan tertentu. Bahwa perbedaan tersebut memiliki arti bisa mempengaruhi mutu karakteristik target tiap responnya (LTB, NTB atau STB). (Purbayu.B.S, Dr, MS dan Ashari, SE, Akt, 2005, 60)

Perumusan hipotesanya adalah sebagai berikut :

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0 \text{ atau } H_0 = \mu_1 = \mu_2 \text{ (Tak ada perbedaan, atau sama)}$$

$$H_a : \mu_1 - \mu_2 > 0 \text{ (ada perbedaan : } \mu_1 > \mu_2 \text{)}$$

$$H_a : \mu_1 - \mu_2 < 0 \text{ (ada perbedaan , : } \mu_1 < \mu_2 \text{)}$$

$$H_a : \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \text{ (} \mu_1 \text{ tidak sama dengan } \mu_2 \text{ atau } \mu_1 \text{ berbeda dari } \mu_2 \text{)}$$

Ketentuan pengujian t_{hitung} , yaitu :

$$H_0 \text{ diterima apabila } -t_{tabel} \leq t_{hitung} \leq t_{tabel}$$

$$H_0 \text{ ditolak apabila } -t_{tabel} > t_{hitung} \text{ , } t_{hitung} > t_{tabel}$$

Adapun penjelasan perhitungan lebih rinci (Sudjana, Prof, DR, M.A, M.Sc, 1992, 209 dan 242) sebagai berikut:

$$\bar{B} = \frac{\sum Bi}{n}$$

Nilai rerata (45)

$$S_B^2 = \frac{nx \sum Bi^2 - (\sum Bi)^2}{n.(n-1)}$$

Simpangan Baku (46)

Dengan α 100% interval kepercayaan untuk μ_B ditentukan oleh :

$$\bar{B} - tpx \sqrt{\frac{S_B^2}{n}} < \mu_B < \bar{B} + tpx \sqrt{\frac{S_B^2}{n}}$$

(47)

Dimana tp didapat dari daftar distribusi t , untuk $p = \frac{1}{2}(1 + \alpha)$ dan $v = dk = (n-1)$

$$t = \frac{\bar{B}}{\sqrt{\frac{S_B^2}{n}}}$$

Dan pengujian hipotesisnya (48)

2.7. Rancangan Penelitian Kualitas terhadap Penelitian yang Terkait

Beberapa penelitian tentang kualitas dengan menggunakan metode *Taguchi* telah dilakukan oleh :

1. **Didik Wahjudi**, (2000), *Rekayasa Mutu Besi Beton dengan Metode Taguchi*, Jurnal Teknik Mesin Vol 2, No 2, Oktober, 102-108. Penelitian ini menerapkan *Single Respon* dengan 3 faktor dan 3 level.

2. **Fatifatussyam**, (2008), Perancangan Ulang Produk Paving Stone untuk Peningkatan Kualitas dengan Pendekatan Metode Taguchi dan Rekayasa Kualitas, Jurnal Teknik Industri, Vol 9, No 2, 155-163. Dalam penelitian ini menggunakan 4 faktor 3 level *single respon*.
3. **Halida Febriyani Riyadi** (2008), “Perancangan Parameter Setting Pada Mesin Cetak Hamada E47 Untuk Perbaikan Kualitas Produk Cetak Menggunakan Metode *Taguchi*”. Penelitian tersebut menggunakan metode *Taguchi Single Respon* dengan 6 faktor kendali dan 2 (dua) level.
4. **Ismar Alagic**, (2008), *Design of Experiment and Taguchi Method Application in Analysis of Gear oil Pump Flow Capacity, The Romanian Review Precision Mechanic, Optics & Mechatronic*, (18) No 33. Penelitian tersebut menerapkan 5 faktor 2 level dengan *single respon*.
5. **Moh. Hartono**, (2000), Perancangan Kualitas dengan Metode *Taguchi*, Majalah Bistek, Vol 8, No 12, Desember, ISSN 0854-4395. Dalam penelitian ini membahas tentang peranan penting penerapan metode *taguchi* dalam dunia industri.
6. **Mussabikhah**, (2007), Variasi Komposisi Bahan Genteng Soka untuk Mendapatkan Daya Serap Air yang Optimal, Media Mesin, Vol 8, No 2, Juli, 59-64, ISSN 1411-4348. 4 Pada penelitian ini menggunakan faktor 2 level dan *single respon*.

7. **Musabbikhah**, (2008), Variasi Kuat Arus, Tegangan, dan *On Time Pulse* untuk Mengoptimalkan Kekerasan Permukaan, Prosiding Seminar Nasional Teknoin Bidang Teknik Mesin, ISBN 978979-3980-15-7. Pada penelitian ini menerapkan 3 faktor 2 level 1 respon.
8. **Sanjit Moshat**, (2010), *Optimization of CNC End Milling Process Parameters using PCA-Based taguchi Methods*, *International Journals Engineering, Science and Technology*, Vol 2, No 1, pp.92-102. Penelitian itu menggunakan *Array Orthogonal L9*, 5 faktor 2 level dengan 3 respon
9. **S. Thamismanii**, (2006), *Analysis of Surface Roughness by Turning Process using Taguchi Methods*, *Journal of Achievement in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol 20 1-2. Disini menggunakan 3 faktor dan 3 level dengan *single respon*.

Kesembilan penelitian tersebut hanya menentukan level faktor optimal tanpa mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan. Perbedaan penelitian ini adalah terletak pada pertimbangan faktor biaya yang harus dikeluarkan agar formulasi level faktor mencapai optimal dan dapat diterapkan dalam dunia industri. Selain itu pada penelitian ini menerapkan 5 Faktor dan 2 Level dengan pengujian 2 variabel respon.