

## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1 Pendekatan Kualitas

Istilah kualitas menjadi objek penderita, karena sering digunakan untuk menggambarkan lambang-lambang seperti, kecantikan, kebaikan, kemahalan, kesegaran, dan di atas semua itu, kemewahan sekaligus merupakan suatu kondisi yang berhubungan produk, manusia, proses dan lingkungan yang memenuhi atau mungkin melebihi harapan yang secara tersirat menunjukkan kemampuannya untuk memberi kepuasan bagi yang membutuhkan produk. Karena itu, kualitas menjadi konsep yang sulit dimengerti dan hampir tidak mungkin habis untuk dibahas bahkan bisa menjadi tidak jelas pengertiannya karena begitu banyak tafsir yang dikemukakan. Walau tafsir kualitas begitu banyak namun tetap mempunyai kesamaan baik dari tujuan dan pencapaian demi kelangsungan perusahaan.

Kualitas (*quality*) sering disama artikan dengan mutu dan sebenarnya telah menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari. Akan tetapi, sampai sekarang, baik di dunia industri barang atau industri jasa, belum ada definisi yang sama tentang kualitas. (Goetsch, 1994) mengibaratkan bahwa kualitas itu seperti halnya pornografi, yaitu sulit didefinisikan, tetapi fenomenanya atau tanda-tandanya dapat dilihat dan dirasakan dalam kehidupan nyata.

Proses kerja yang lebih efektif dan efisien, diikuti oleh sumber daya manusia yang berkompeten dengan loyalitas dan daya juang yang tinggi, akan menghasilkan peningkatan kinerja yang berujung pada kepuasan konsumen dan loyalitas pelanggan dan pengembangannya, dan lebih dikenal menurut (Garpers, 2001) dengan *Total Quality Management* dengan titik berat kepada,

- a. Fokus Pelanggan, produk didesain sedemikian rupa sehingga sesuai dengan keinginan pelanggan. Hal ini tentu akan didahului dengan riset pasar, kemudian dilakukan proses produksi dengan metode yang standar, sehingga derajat performansi produknya tinggi, yang pada akhirnya dapat member kepuasan pelanggan
- b. Partisipasi aktif top manajemen. Pendelegasian tugas dan tanggung jawab kualitas tidak dibiarkan begitu saja, tetapi terus ada pemantauan *progress*

dan setiap orang di dalam manajemen dapat memasukkan ide tentang kualitas dan team bersifat *cross-functional*

- c. Meski tanggung jawab setiap orang dalam organisasi berbeda, tetapi wajib semua orang yang ada dalam organisasi mengetahui tentang kualitas produk yang menjadi tanggung jawab keseluruhan manajemen.
- d. Orientasi pada tindakan pencegahan kerusakan bukan perbaikan, meskipun persyaratan inspeksi merupakan suatu keharusan tetapi diupayakan sesingkat mungkin, sehingga ongkos produksi dapat ditekan.
- e. Fokus pada hal-hal yang bersifat jangka panjang
- f. Fokus pada peningkatan proses
- g. Perbaikan yang meningkat dilakukan secara berkesinambungan
- h. Pemecahan masalah berdasarkan analisa yang cermat dan teliti.

Proses tersebut merupakan penetapan kualitas yang sudah dimulai dari proses awal baik dari konsep, proses pembuatan serta penanggulangan barang cacat sampai kepada survey pelanggan untuk menjamin loyalitas pada produk

Setiap orang dan organisasi memiliki pengertian kualitas yang berbeda-beda. Misalnya Fred Smith, CEO General Express mengartikan kualitas adalah kinerja standar yang diharapkan oleh pemakai produk atau jasa (*customer*). Menurut General Service Administration (GSA) kualitas adalah pertemuan kebutuhan *customer* pada awal mula dan setiap saat. Sementara menurut W. Edward Deming, salah seorang pioner kualitas menyatakan bahwa kualitas itu memiliki banyak kriteria yang selalu berubah. Namun demikian, definisi kualitas yang diterima secara umum mencakup elemen-elemen berikut : mempertemukan harapan pelanggan (*customer*), menyangkut aspek produk, servis, orang, proses dan lingkungan, dan kriteria yang selalu berkembang yang berarti bahwa sebuah produk sekarang termasuk berkualitas, tetapi di lain waktu mungkin tidak lagi berkualitas. Jadi, kualitas adalah sesuatu yang dinamis yang selalu diasosiasikan dengan produk, servis, orang, proses, dan lingkungan

Menurut (Suardi, 2001), kualitas itu memang sesuatu yang tarik menarik antara sebagai konsep yang absolut dan relatif. Namun, lebih tegasnya bahwa kualitas sekarang ini lebih digunakan sebagai konsep yang absolut. Karena itu, kualitas mempunyai kesamaan arti dengan kebaikan, keindahan, dan kebenaran;

atau keserasian yang tidak ada kompromi. Standar kualitas itu meliputi dua, yaitu; kualitas yang didasarkan pada standar produk/jasa; dan kualitas yang didasarkan pada pelanggan (*customer*). Kualitas yang didasarkan pada produk/jasa, memiliki beberapa kualifikasi: sesuai dengan spesifikasi, sesuai dengan maksud dan kegunaannya, tidak salah atau cacat, dan benar pada saat awal dan selamanya. Sementara itu, kualitas yang didasarkan pada *customer*, mempunyai kualifikasi : memuaskan pelanggan (*customer satisfaction*), melebihi harapan pelanggan, dan mencerahkan pelanggan.

Prinsipnya, bahwa komitmen yang harus dibangun dalam setiap diri terhadap kualitas adalah pemahaman bahwa :

- a. Kualitas merupakan kunci ke arah program yang berhasil. Kurang perhatian terhadap kualitas akan mengakibatkan kegagalan dalam jangka panjang.
- b. Perbaikan-perbaikan kualitas menuntut komitmen manajemen sepenuhnya untuk dapat berhasil. Komitmen kepada kualitas ini harus terus-menerus.
- c. Perbaikan kualitas adalah kerja keras. Tidak ada jalan pintas atau perbaikan cepat. Menuntut perbaikan budaya bagi organisasi secara keseluruhan.
- d. Perbaikan kualitas menuntut banyak pelatihan.
- e. Perbaikan kualitas menuntut keterlibatan semua karyawan secara aktif, dan komitmen mutlak dari manajemen

Kemutlakan bagi kualitas adalah : kualitas harus disesuaikan sebagai kesesuaian terhadap kebutuhan-kebutuhan, bukan sebagai kebaikan, juga bukan keistimewaan, sistem untuk menghasilkan kualitas adalah pencegahan bukan penilaian, standar kerja harus tanpa cacat, bukan “cukup mendekati tanpa cacat”, pengukuran kualitas merupakan harga ketidaksesuaian, bukan pedoman. Karena itu, menurut tokoh yang sangat terkemuka dengan gagasan kualitas ini, bahwa manajemen adalah penyebab setidaknya-tidaknya 80% masalah-masalah kualitas di dalam organisasi. Karena itu, satu-satunya jalan memperbaikinya adalah melalui kepemimpinan manajemen. (Shewhart, 1930,) memberikan “vaksin kualitas” (*quality vaccine*) yaitu,

- a. Tujuan manajemen merupakan satu-satunya alat yang akan mengubah citra organisasi,
- b. Pendidikan, membantu semua komponen organisasi mengembangkan satu pengertian umum tentang kualitas dan memahami peran mereka masing-masing di dalam proses perbaikan kualitas,
- c. Penerapan, membimbing dan mengarahkan program perbaikan

Menurut (Shewhart, 1930) diperoleh suatu kontribusi yang menonjol dalam usaha untuk memperbaiki mutu barang hasil pengolahan. Lebih jauh ditelusuri bahwa variasi terjadi pada setiap segi pengolahan dan variasi dapat dimengerti melalui penggunaan alat statistik yang sederhana. Sampling dan probabilitas digunakan untuk membuat *control chart* untuk memudahkan para pemeriksa mutu, untuk memilih produk mana yang memenuhi mutu dan tidak. Penemuan Shewhart sangat menarik bagi Deming dan Juran, yaitu kedua sarjana ahli dalam bidang statistik.

## 2.2 Teori Dasar Trafo

Menurut (Sulasma, 1991), trafo adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke satu atau lebih rangkaian listrik lainnya tanpa mengubah frekwensi dari sistem, melalui sistem gandingan magnet berdasarkan induksi magnetik dan digunakan secara luas baik di bidang tenaga listrik maupun elektronik. Penggunaan trafo memungkinkan terpilihnya tegangan sesuai yang diinginkan atau kebutuhan. Menurut (Zuhail, 1991) dalam penggunaannya trafo dibedakan,

- a. Trafo Daya, biasanya digunakan untuk menaikkan tegangan pembangkit menjadi tegangan transmisi.
- b. Trafo Distribusi, biasanya digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.
- c. Trafo Instrumen, biasa digunakan untuk pengukuran seperti pengukuran arus (ct) *current transformer*, pengukuran potensial (pt) *potential transformer*

Secara umum trafo terdiri dari sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan yaitu kumparan atau gulungan primer dan sekunder. Rasio

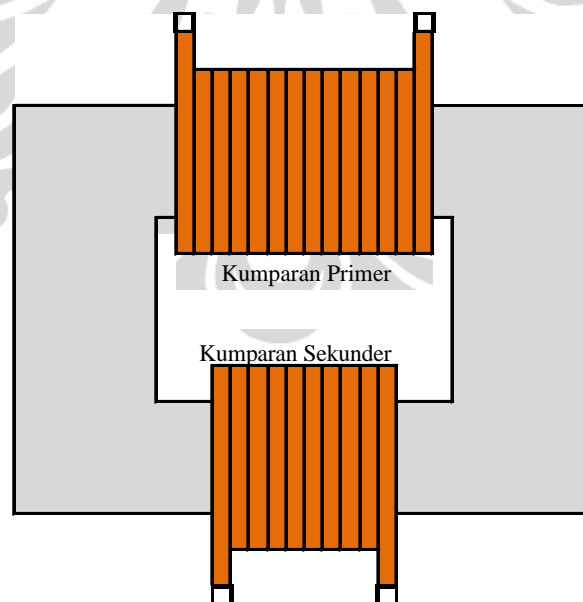
perubahan tegangan tergantung jumlah lilitan dari kedua kumparan dan biasanya lilitan kumparan terbuat dari kawat tembaga.

Dari setiap tipe trafo diatas mempunyai spesifikasi khusus dalam perencanaan dan pembuatannya sesuai pemakaiannya, tetapi semua tipe di atas mempunyai prinsip kerja yang sama. Menurut (Abdul Kadir, 1989), prinsip kerja trafo adalah, apabila tegangan sumber dihubungkan dengan kumparan primer maka arus I yang mengalir pada inti akan menimbulkan fluksi magnetik yang berubah-ubah, dan perubahan fluksi magnetik akan menimbulkan gaya gerak listrik induksi magnetik. Fluksi magnetik yang menginduksi pada kumparan primer juga akan terjadi pada kumparan sekunder. Untuk tujuan perubahan tegangan trafo dibagi (2) dua

- a. Trafo *step up*, untuk menaikkan tegangan
- b. Trafo *step down*, untuk menurunkan tegangan

Secara konstruksi trafo terdiri dari 2 (dua)

- a. Tipe Inti, terdiri dari dua kaki dan pada masing masing kaki dibelitkan kumparan (lihat gambar 2.1)

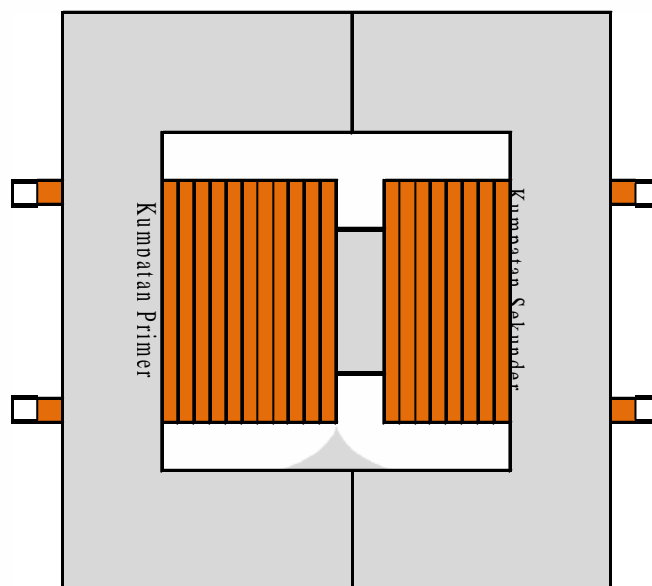


Gambar 2.1 Trafo Tipe Inti

- b. Tipe Cangkang, tipe ini terdiri dari tiga kaki dan hanya kaki yang ditengah yang dibelitkan kumparan primer dan sekunder. (lihat gambar 2.2)

Berdasarkan fasa trafo dibedakan berdasarkan

- a. Trafo 1 fasa, trafo yang memindahkan tenaga listrik satu fasa
- b. Trafo 3 fasa, trafo yang memindahkan tenaga listrik tiga fasa



Gambar 2.2 Trafo Tipe Cangkang

Untuk kumparan primer maupun sekunder trafo 3 fasa bisa dihubungkan secara bintang Y, dimana ujung awal atau akhir disatukan. Hubungan delta atau segitiga merupakan hubungan akhir dari gulungan 1 menjadi hubungan awal dari gulungan 2, gulungan akhir gulungan 2 menjadi gulungan awal dari gulungan 3 serta gulungan akhir dari gulungan 3 menjadi gulungan awal dari gulungan 1, sehingga sambungan tertutup membentuk segitiga.

Supaya dapat bekerja dengan baik maka salah satu syarat beban setiap fasa adalah sama, hal itu tentu sangat sulit dipenuhi maka dibuat suatu sambungan inter koneksi secara bintang dan disebut dengan sambungan zig-zag. Trafo zig-zag merupakan trafo khusus yang menyediakan titik netral bagi untuk sistim listrik yang tidak memiliki titik netral.

Pada kasus kali ini akan diteliti trafo tipe cangkang, 1 fasa, *step down* dengan metoda penelitian awal berdasarkan data sekunder, yang berkaitan antara *gap*, penampang panjang tanjung dengan kualitas induksi yang ditimbulkan

### 2.3 Besaran Induksi sebagai ukuran kualitas

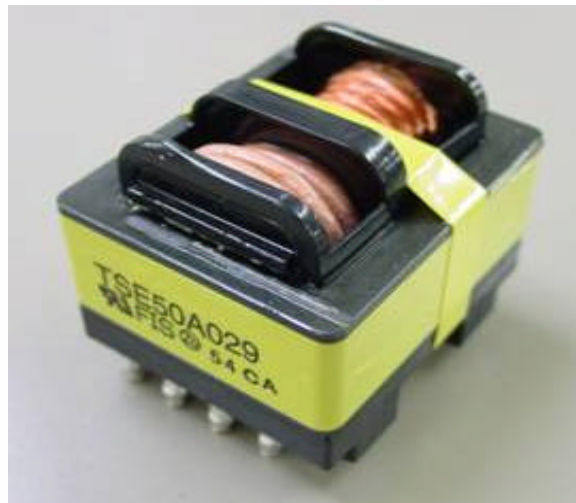
Untuk kasus perakitan transformator satu penekanan utama yang menjadi fokus kualitas adalah bagaimana supaya induksi pada kedua gulungan primer dan sekunder dimaksud tetap berada pada nilai batas yang sudah ditetapkan. Untuk memastikan nilai induksi tersebut dilakukan dengan pengukuran menggunakan alat ukur *impedance analyzer*

Menurut (Muljono dan Sunardi, 2003), Induksi adalah efek dari medan magnet yang terbentuk disekitar konduktor pembawa arus yang bersifat menahan perubahan arus. Dalam hal ini kuat arus listrik yang melewati konduktor membuat medan magnet sebanding dengan besar arus yang ditimbulkan. Perubahan dalam arus menyebabkan perubahan medan magnet yang mengakibatkan gaya elektromotif lawan melalui gaya gerak listrik induksi yang bersifat menentang perubahan arus. Induktansi diukur berdasarkan jumlah gaya elektromotif yang ditimbulkan untuk setiap perubahan arus terhadap waktu. Sebagai contoh, sebuah induktor dengan induktansi 1 Henry menimbulkan gaya elektromotif sebesar 1 volt saat arus dalam induktor berubah dengan kecepatan 1 ampere setiap sekon. Jumlah lilitan, ukuran lilitan, dan material inti menentukan induktansi.

Kemampuan induktor untuk menyimpan energi magnet ditentukan oleh induktansinya, dalam satuan Henry. Biasanya sebuah induktor adalah sebuah kawat penghantar yang dibentuk menjadi kumparan, lilitan membantu membuat medan magnet yang kuat didalam kumparan dikarenakan hukum induksi Faraday. Induktor adalah salah satu komponen elektronik dasar yang digunakan dalam rangkaian yang arus dan tegangannya berubah-ubah dikarenakan kemampuan induktor untuk memproses arus bolak Resistansi deret induktor mengubah arus listrik menjad bahang, yang menyebabkan pengurangan kualitas induktif. Faktor kualitas atau "Q" dari sebuah induktor adalah perbandingan reaktansi induktif dan resistansi deret pada frekuensi tertentu, dan ini merupakan efisiensi induktor. Semakin tinggi faktor Q dari induktor, induktor tersebut semakin mendekati induktor ideal tanpa kerugian.

Faktor Q dari sebuah induktor dapat diketahui dari  $R$  merupakan resistansi internal dan  $\omega L$  adalah resistansi kapasitif atau induktif pada resonansi Dengan menggunakan inti feromagnetik, induktansi dapat ditingkatkan untuk jumlah tembaga yang sama, sehingga meningkatkan faktor Q. Inti juga memberikan kerugian pada frekuensi tinggi. Untuk menghasilkan faktor Q yang terbaik maka bahan inti harus dicari yang terbaik

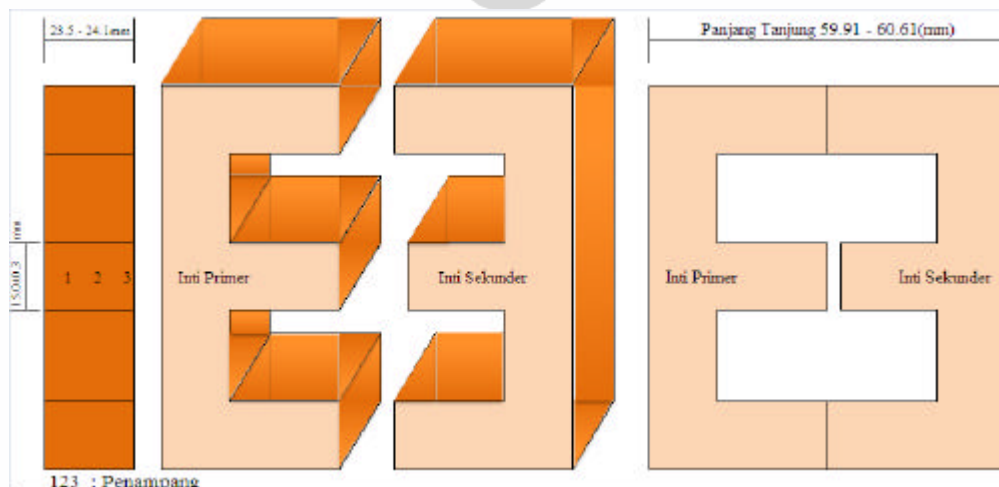
Lilitan induktor pada inti feromagnetik mungkin jenuh pada arus tinggi, menyebabkan pengurangan induktansi dan faktor Q yang sangat signifikan. Hal ini dapat dihindari dengan menggunakan induktor inti udara.



Gambar 2.3 Produk Trafo TSE50A029  
Sumber : Izin terbit dari PT. Giken Precision Batam

Secara umum induksi transformator tergantung pada :

- $\mu_0$  : permeabilitas vakum :  $4\pi \times 10^{-7}$  konstan
- $\mu_r$  : permeabilitas relatif bahan inti : 5000 konstan
- $N_p$  : jumlah lilitan primer : 14 konstan
- $N_s$  : jumlah lilitan Sekunder : 3 konstan
- $q_p$  : diameter kabel primer : 0.14 (140) konstan
- $q_s$  : diameter kabel sekunder : 0.14 (280) konstan
- $G$  : *gap* : bervariasi
- $D$  : penampang inti : bervariasi
- $P$  : panjang tanjung penampang : bervariasi



Gambar 2.4 Detail Teknik Variabel Inti Trafo



Dari teori di atas memberi gambaran bahwa induksi akan tergantung pada permeabilitas vakum, permeabilitas relatif bahan inti, jumlah belitan, jari-jari gulungan, diameter inti trafo dan panjang tanjung inti. Namun pada akhirnya dalam praktek operasional dengan ukuran yang sama dari satuan-satuan di atas, tetap saja terjadi perbedaan induksi yang timbul dengan variasi yang belum dapat diketahui secara pasti. Permasalahan seperti ini mendasari untuk mencari rumusan induksi, sehingga kualitas induksi dapat dipertahankan atau ditingkatkan. Karena secara teknis trafo ini mempunyai *gap*, penampang dan panjang tanjung dimana variabelnya tidak secara khusus diberi batasan, namun pada realitasnya hasil pengukuran sampel *gap* G tersebut berada antara 0.54mm – 0.61mm, penampang D antara 349.86 – 360.89 (mm)<sup>2</sup> panjang tanjung P antara 59.91 – 60.61mm. Variasi nilai G, D dan P belum ada batasan yang dianggap sebagai nilai yang ideal karena tujuan utama bagaimana supaya induksi dapat dipertahankan antara 153.60 - 166.42  $\mu$ H untuk gulungan primer dan antara 7.35 – 7.75  $\mu$ H untuk gulungan sekunder

Hal ini memberi informasi bahwa dalam perakitannya sangat dimungkinkan terjadi variasi jarak G, D dan P. Variasi ini apakah mempengaruhi terhadap Induksi yang dihasilkan, inilah yang menjadi objek penelitiannya. Hal lain yang perlu diketahui bahwa antara G, D, P terhadap induksi yang ditimbulkan mempunyai data random, sehingga analisa secara statistik diharapkan akan mendapatkan hasil penelitian yang lebih mudah untuk diterapkan.

Secara ilmu teknik elektro perumusan baku untuk menghitung besaran dari induksi sudah ditetapkan para ahli teknik elektro terutama spesifikasi trafo dan didapat melalui riset laboratorium, tetapi dalam kasus ini, permasalahan akan ditelaah dengan menggunakan Ilmu Statistik Industri sebagai alat analisa. Hal ini tentu untuk lebih menyederhanakan proses penelitian ke Ilmu Teknik Industri dan tidak fokus kepada hasil penelitian laboratorium murni. Analisis akan dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif.

Analisa secara deskriptif yakni menganalisa data yang diperoleh di lapangan berdasarkan kenyataan dan menghubungkannya dengan teori yang terdapat dalam literatur – literatur( buku referensi ).

Analisa kuantitatif digunakan untuk meneliti hubungan antara *gap*, luas penampang serta panjang tanjung inti dengan besaran induksi yang ditimbulkan. Proses analisa akan dimulai dari meneliti variasi yang timbul akibat faktor perlakuan dengan menggunakan Analisa Varian  $3^3$  Faktorial. Menurut (Bagchi, 1993), Metode Taguchi merupakan metode perancangan yang berprinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya. Hal ini dapat diperoleh melalui optimasi produk dan perancangan proses untuk membuat unjuk kerja/*performance* kebal terhadap berbagai penyebab variasi suatu proses yang disebut perancangan parameter. Ada dua alat ukur utama dalam metode perancangan Taguchi yaitu,

- a. Ukuran mutu selama perancangan/pengembangan. Agar didapatkan suatu indikator mutu yang baik dan dapat dipakai untuk mengevaluasi akibat perubahan suatu perancangan parameter khususnya pada unjuk kerja produk.
- b. Eksperimen yang efisien untuk mencari informasi tentang perancangan parameter serentak. Dari eksperimen yang dilakukan harus dapat diperoleh informasi yang saling terkait supaya perubahan-perubahan perancangan selama pembuatan dan penggunaan pelanggan dapat dihindari, serta informasi tersebut harus diperoleh dalam waktu dan bahan yang minimum.

Langkah-langkah dalam melaksanakan strategi perancangan adalah penting sebab dapat menentukan dapat dihasilkannya rancangan yang optimal. Perancangan dengan metode Taguchi yang digunakan ialah perancangan parameter. Dalam perancangan ini ditentukan nilai faktor kendali terbaik, yang mampu meminimalkan kepekaan fungsi proses terhadap semua faktor *reject*. Langkah-langkah dalam perancangan parameter ini adalah :

- a. Mengenal fungsi utama, efek samping, dan jenis kerusakan.
- b. Mengenal faktor-faktor *reject*
- c. Mengenal karakteristik kualitas yang akan diamati dan fungsi-fungsi obyektif yang akan dioptimumkan.
- d. Mengenal faktor-faktor kendali dan perubahan-perubahan nilainya.
- e. Mengenal desain eksperimen, selanjutnya dipilih  $3^3$  *factorial design*
- f. Eksperimen berdasarkan perancangan di langkah ke-e untuk memperoleh data hasil eksperimen

- g. Analisa data, penentuan level optimum dari faktor kendali.
- h. Pemrosesan nilai-nilai parameter terbaik guna mendapatkan rancangan usulan.
- i. Verifikasi rancangan usulan.

## 2.4 Analisa Varian $3^3$ Factorial Design

Analisa ini dimaksud untuk mengetahui kemampuan faktor antara *gap* G, penampang D, panjang tanjung P dari inti trafo dapat mempengaruhi kualitas dari induksi.. Analisa varian dilakukan dengan 3 faktor dan 3 level. Faktor dalam hal ini adalah dari *gap*, penampang dan panjang tanjung. Setiap faktor analisa dirancang masing-masing tiga level dan kemudian analisa disingkat Eksperimen  $3^3$  Factorial Design. Untuk setiap faktor pada analisa, dilakukan pembatasan pada pengacakan dimana pengelompokan dilakukan berdasarkan adanya keseragaman atau kelompok yang terbentuk. Dengan demikian kemungkinan adanya variasi antar level dan kelompok dapat diketahui selain dari kemungkinan variasi perlakuan terhadap data atau objek.

Tabel 2.1 Desain Analisa Varian  $3^3$  Faktorial

A(i)	B (j)								
	1			2			3		
	C (k)								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Y1111	Y1121	Y1131	Y1211	Y1221	Y1231	Y1311	Y1321	Y1331
	Y1112	Y1122	Y1132	Y1212	Y1222	Y1232	Y1312	Y1322	Y1332
	Y1113	Y1123	Y1133	Y1213	Y1223	Y1233	Y1313	Y1323	Y1333
	Y1114	Y1124	Y1134	Y1214	Y1224	Y1234	Y1314	Y1324	Y1334
	Y1115	Y1125	Y1135	Y1215	Y1225	Y1235	Y1315	Y1325	Y1335
2	Y2111	Y2121	Y2131	Y2211	Y2221	Y2231	Y2311	Y2321	Y2331
	Y2112	Y2122	Y2132	Y2212	Y2222	Y2232	Y2312	Y2322	Y2332
	Y2113	Y2123	Y2133	Y2213	Y2223	Y2233	Y2313	Y2323	Y2333
	Y2114	Y2124	Y2134	Y2214	Y2224	Y2234	Y2314	Y2324	Y2334
	Y2115	Y2125	Y2135	Y2215	Y2225	Y2235	Y2315	Y2325	Y2335
3	Y3111	Y3121	Y3131	Y3211	Y3221	Y3231	Y3311	Y3321	Y3331
	Y3112	Y3122	Y3132	Y3212	Y3222	Y3232	Y3312	Y3322	Y3332
	Y3113	Y3123	Y3133	Y3213	Y3223	Y3233	Y3313	Y3323	Y3333
	Y3114	Y3124	Y3134	Y3214	Y3224	Y3234	Y3314	Y3324	Y3334
	Y3115	Y3125	Y3135	Y3215	Y3225	Y3235	Y3315	Y3325	Y3335

Pada proses awal dari tiga faktor dan masing-masing tiga level, dihitung tingkat variasi kualitas induksi yang dihasilkan, kemudian setiap faktor analisa digabung menjadi satu analisa sehingga dari hasilnya diketahui faktor mana yang dominan mempengaruhi hasil kualitas induksi

Beberapa rumus analisa yang akan digunakan dalam perhitungan seperti terlihat dalam tabel dan uraian rumus di bawah ini,

Tabel 2.1 di atas menggambarkan interaksi antar setiap faktor dan setiap level sehingga setiap interaksinya dapat dilihat hasilnya. Sementara untuk menghitung nilai pengaruh faktor pada setiap level pada faktor apakah berpengaruh atau tidak terhadap nilai kualitas, dapat dilakukan dengan menggunakan rumus-rumus di bawah ini,

$$\begin{aligned}
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk} - \frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk})^2}{n \cdot m \cdot p}}{n \cdot m \cdot p} \quad \text{??G?} \\
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk} - \frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk})^2}{n \cdot m \cdot p}}{n \cdot m \cdot p} \quad \text{??G?} \\
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk} - \frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk})^2}{n \cdot m \cdot p}}{n \cdot m \cdot p} \quad \text{??G?} \\
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk} - \frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk})^2}{n \cdot m \cdot p}}{n \cdot m \cdot p} \quad \text{??G?} \\
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk} - \frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk})^2}{n \cdot m \cdot p}}{n \cdot m \cdot p} \quad \text{??G?} \\
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk} - \frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk})^2}{n \cdot m \cdot p}}{n \cdot m \cdot p} \quad \text{??G?} \\
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk} - \frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk})^2}{n \cdot m \cdot p}}{n \cdot m \cdot p} \quad \text{??G?} \\
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk} - \frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk})^2}{n \cdot m \cdot p}}{n \cdot m \cdot p} \quad \text{??G?} \\
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk} - \frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk})^2}{n \cdot m \cdot p}}{n \cdot m \cdot p} \quad \text{??G?} \\
 & \dots \dots \dots (2.8) \\
 & \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk} - \frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk})^2}{n \cdot m \cdot p}}{n \cdot m \cdot p} \quad \text{??G?}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan dengan rumus-rumus di atas ditabelkan ke dalam suatu tabulasi untuk lebih menyederhanakan sehingga mudah untuk membaca analisa dan hasil analisisnya. Pentabelan dimaksud seperti pada tabel 2;2 di bawah ini

Tabel 2.2 Analisa Varian  $3^3$  Faktorial

Sumber	SS	DF	MS	F <sub>0</sub>
A	SS <sub>A</sub>	a-1	$\frac{??_?}{?? ?}$	$\frac{? ?_?}{? ?_?}$
B	SS <sub>B</sub>	b-1	$\frac{??_?}{?? ?}$	$\frac{? ?_?}{? ?_?}$
C	SS <sub>C</sub>	c-1	$\frac{??_?}{?? ?}$	$\frac{? ?_?}{? ?_?}$
AB	SS <sub>AB</sub>	(a-1)(b-1)	$\frac{??_? ?}{?? ? ? ? ? ? ? ?}$	$\frac{? ?_? ?}{? ?_?}$
AC	SS <sub>AC</sub>	(a-1)(c-1)	$\frac{??_? ?}{?? ? ? ? ? ? ? ?}$	$\frac{? ?_? ?}{? ?_?}$
BC	SS <sub>BC</sub>	(b-1)(c-1)	$\frac{??_? ?}{?? ? ? ? ? ? ? ?}$	$\frac{? ?_? ?}{? ?_?}$
ABS	SS <sub>ABC</sub>	(a-1)(b-1)(c-1)	$\frac{??_? ? ?}{?? ? ? ? ? ? ? ? ? ?}$	$\frac{? ?_? ? ?}{? ?_?}$
Error	SS <sub>E</sub>	$3^3(n-1)$	$\frac{??_?}{?? ? ? ? ? ?}$	
Total	SS <sub>T</sub>	$(3^3n) - 1$	$\frac{??_?}{?? ? ? ? ? ?}$	

Sumber : Douglas C. Montgomery, *Design and Analysis Experiments*, Arizona State University, *Sixth Edition*

a. Uji kecukupan data

Untuk memastikan bahwa data yang telah dikumpulkan telah cukup secara obyektif. Pengujian kecukupan data dilakukan dengan berpedoman pada konsep statistik, yaitu derajat ketelitian dan tingkat keyakinan/ kepercayaan. Derajat ketelitian dan tingkat keyakinan adalah mencerminkan tingkat kepastian yang diinginkan oleh pengukur setelah memutuskan tidak akan melakukan pengukuran dalam jumlah yang banyak (populasi).

b. Derajat ketelitian (s)

Menunjukkan penyimpangan maksimum hasil pengukuran dari induksi dan *gap* sebenarnya.

c. Tingkat keyakinan (k)

Menunjukkan besarnya keyakinan pengukur akan ketelitian data induksi dan gap yang telah diamati dan dikumpulkan.

Kecukupan data dihitung berdasarkan rumus :

$$k = \frac{1.96 \cdot s \cdot \sqrt{\frac{N'}{N}}}{s} \dots\dots\dots (2.10)$$

k = Tingkat keyakinan

k = 99% = 3

k = 95% = 2

s = Derajat ketelitian

N = Jumlah data pengamatan

N' = Jumlah data teoritis

Jika N' = N, maka data dianggap cukup, jika N' > N data dianggap tidak cukup (kurang) dan perlu dilakukan penambahan data.

Uji kecukupan juga dilakukan berdasarkan kecukupan ekuasi dalam setiap perlakuan dan level didapat berdasarkan rumus,

$$\phi^2 = \frac{D^2}{n \cdot a} \dots\dots\dots (2-11)$$

φ : faktor pengali

n : jumlah ekuasi

D : range ( nilai tertinggi – nilai terendah )

a : [(g-1)(d-1)(p-1)+1] level faktor

σ : standar deviasi data dalam distribusi normal

Perhitungan jumlah ekuasi dimulai dengan menetapkan α dan β dilihat berdasarkan tabel, sebagai patokan tingkat ketelitian. Kemudian dilakukan sistem coba-coba dengan beberapa nilai ekuasi n, sampai ditemukan jumlah data yang mendekati dengan melihat kepada tabel kurva efek model analisa varian pada referensi *Design and Analysis of Experiments*.(Tabel Referensi V) Dengan melihat nilai β dari tabel maka akan di dapat Power dari analisa

Untuk mengukur kekuatan tingkat proposi variasi dapat dijelaskan oleh model dihitung dengan rumus,

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i^2}} \tag{2.12}$$

Sementara untuk mengetahui tingkat signifikan faktor terhadap model dapat dihitung dengan rumus,

$$F = \frac{\frac{R^2}{k}}{\frac{1-R^2}{n-k-1}} \tag{2.13}$$

### 2.5 Regresi Linear

Untuk mendapatkan formula yang standar sebagai acuan dalam melakukan perkaitan terhadap inti trafo maka dilakukan analisa regresi linier dengan rumus-rumus seperti di bawah ini

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \tag{2.14}$$

$$X_{1,2,3} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}} \tag{2.15}$$

Koefisien dan konstanta pada rumusan regresi dihitung berdasarka rumus di bawah,

$$\sum y = nb_0 + \sum x_1 + \sum x_2 + \sum x_3 \tag{2.16}$$

$$\sum x_1 y = \beta_0 \sum x_1 + \beta_1 \sum x_1 x_1 + \beta_2 \sum x_1 x_2 + \beta_3 \sum x_1 x_3 \tag{2.17}$$

$$\sum x_2 y = \beta_0 \sum x_2 + \beta_1 \sum x_2 x_1 + \beta_2 \sum x_2 x_2 + \beta_3 \sum x_2 x_3 \tag{2.18}$$

$$\sum x_3 y = \beta_0 \sum x_3 + \beta_1 \sum x_3 x_1 + \beta_2 \sum x_3 x_2 + \beta_3 \sum x_3 x_3 \tag{2.19}$$

- Y = Variabel dependen
- β<sub>0</sub> = Konstanta awal
- β<sub>1</sub> = Koefisien variabel X<sub>1</sub>
- β<sub>2</sub> = Koefisien variabel X<sub>2</sub>
- β<sub>3</sub> = Koefisien variabel X<sub>3</sub>

Persamaan (2.14 dan 2.15 ) jika dielaborasi secara sederhana akan terbentuk rumus seperti di bawah ini

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \frac{\sum_{i=1}^n x_{1i} y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_{1i} \sum_{i=1}^n y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n x_{1i}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_{1i})^2}{n}} + \beta_2 \frac{\sum_{i=1}^n x_{2i} y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_{2i} \sum_{i=1}^n y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n x_{2i}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_{2i})^2}{n}} + \beta_3 \frac{\sum_{i=1}^n x_{3i} y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_{3i} \sum_{i=1}^n y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n x_{3i}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_{3i})^2}{n}} \tag{2.20}$$

- x<sub>1i</sub> = Nilai level x<sub>1</sub> ke i
- x<sub>2i</sub> = Nilai level x<sub>2</sub> ke i
- x<sub>3i</sub> = Nilai level x<sub>3</sub> ke i

$x_{1\max}$  = Nilai level  $x_1$  maksimum

$x_{1\min}$  = Nilai level  $x_1$  minimum

$x_{2\max}$  = Nilai level  $x_2$  maksimum

$x_{2\min}$  = Nilai level  $x_2$  minimum

$x_{3\max}$  = Nilai level  $x_3$  maksimum

$x_{3\min}$  = Nilai level  $x_3$  minimum

$\beta_0$  = Nilai Rataan Eksperimen

$\beta_1$  = Koefisien perlakuan faktor  $x_1$

$\beta_2$  = Koefisien perlakuan faktor  $x_2$

$\beta_3$  = Koefisien perlakuan faktor  $x_3$

Dari hasil perhitungan dicari nilai variabel dependen yang lebih mendekati atau sama dengan nilai real yang mendekati, dengan memperhatikan nilai residu terkecil. Apabila faktor tidak mempengaruhi maka koefisiennya akan bernilai nol, sehingga tidak perlu dimasukkan ke dalam rumus akhir.

Korelasi  $r$  untuk mengukur tingkat hubungan antara variabel *gap* dengan variabel induksi, dengan hasil  $r$  sebagai berikut dihitung dengan rumus,

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.21)$$

$r = +1$  : Korelasinya dinyatakan sempurna searah

$r = 0$  : Korelasinya tidak ada atau sangat lemah

$r = -1$  : Korelasinya sempurna berlawanan arah

Determinasi  $r^2$  fungsinya untuk mengetahui tingkat kemampuan variable *gap* dapat mempengaruhi variable induksi

$r^2 = 0$  : *gap* tidak berpengaruh terhadap induksi

$r^2 = 1$  : *gap* mempengaruhi besaran induksi