

PENINGKATAN KUALITAS UNTUK MEMINIMASI CACAT PRODUK CAT POLYURETHANE DENGAN METODE TAGUCHI

Arief Suwandi

Teknik Industri Universitas Esa Unggul, Jakarta
Jalan Arjuna Utara Nomor 9, Kebon Jeruk, Jakarta
arief.suwandi@esaunggul.ac.id

Abstrak

Peningkatan kualitas merupakan sesuatu yang sangat esensial bagi sebuah industri manufaktur agar terus menjaga keberlangsungan produksi dan peningkatan keuntungan perusahaan. Produk Cat *Polyurethane* merupakan salah satu jenis produk cat yang banyak digunakan dan begitu besar pangsa pasarnya, karena jenis produk ini tahan lama dan tidak mudah berjamur, mempunyai karakteristik anti gores dan daya kilap (gloss) yang tinggi. Permasalahan yang banyak terjadi pada produksi cat *polyurethane* adalah hasil viskositas produksi tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Hal ini sangat mengganggu proses produksi, karena *lead time* produk akan panjang. Pengujian viskositas merupakan unsur penting dalam industri cat, karena viskositas sangat berpengaruh terhadap kualitas produk yang dihasilkan apakah cat terlalu kental atau cat terlalu encer. Jika cat terlalu encer ataupun cat terlalu kental ini akan berdampak pada saat cat akan digunakan oleh konsumen. Tahapan perbaikan secara berkelanjutan dan dengan pengendalian kualitas pada tahap desain eksperimen serta tahap proses produksi dengan menggunakan Metode Taguchi diupayakan untuk mengatasi permasalahan yang ada. Metode ini berfokus untuk mengeliminasi penyebab rendahnya kualitas dan menghasilkan performansi produk yang sensitif terhadap keragaman. Rata-rata produk *defect* pada perusahaan diatas 5%, secara detail diuraikan berdasarkan jenis kecacatan terdiri dari viskositas (tingkat kekentalan) 54%, *Glossy* (tingkat kilap cat) 23,8 % dan *specific Gravity* (berat jenis cat) tidak sesuai spesifikasi perusahaan sebesar 22,1 %. Analisis dari pengendalian kualitas yang diterapkan menggunakan *fishbone* diagram dan *pareto chart* serta *control chart* menghasilkan bahwa faktor dan subfaktor penyebab ketidak sesuaian spesifikasi produk cat *polyurethane* adalah tenaga kerja (*Man Power*) dengan subfaktor kurang konsentrasi dan kurang terampil, *Mateial* dengan subfaktor penanganan material dan jenis *thiner*. *Machine* dengan subfaktor mesin kotor. *Method* dengan subfaktor pengecekan dan perlakuan proses. *Environment* dengan subfaktor temperatur. Selanjutnya dengan menggunakan *Taguchi Method* didapatkan *Setting* dan model pengaturan yang tepat untuk cat *polyurethane* agar di hasilkan viskositas yang sesuai spesifikasi perusahaan adalah faktor A (pengadukan) adalah 900 rpm, faktor B (jenis *thinner*) adalah THPU-2713-06, faktor C (perlakuan proses) adalah tangki ditutup, dan faktor D (pengecekan) adalah dengan suhu 30⁰.

Kata kunci: *Polyurethane, spesifikasi, taguchi method, pengadukan, penanganan material*

Latar Belakang

Pembangunan di berbagai sektor yang begitu pesat dewasa ini menunjukkan tingkat perkembangan ilmu dan teknologi yang terus berkembang. Sejalan dengan itu, peningkatan kualitas merupakan hal yang sangat esensial bagi sebuah industri manufaktur agar dapat bertahan dalam dunia bisnis yang begitu kompetitif saat ini. Perusahaan yang menghasilkan produk dan jasa yang lebih berkualitas memiliki peluang yang lebih besar untuk memenangkan persaingan untuk meraih keuntungan maksimal. Hal inilah yang kemudian mendorong produsen dalam bidang manufaktur dan jasa untuk memperhatikan masalah kualitas produknya (Montgomery, 2001).

Peningkatan atau perbaikan kualitas dapat dicapai salah satunya dengan pengendalian kualitas yang tepat. Menjaga kualitas sudah menjadi keharusan di setiap perusahaan demi menjaga kepuasan dan kepercayaan pelanggan. Produk Cat

polyurethane merupakan salah satu jenis produk cat yang banyak digunakan dan begitu besar pangsa pasarnya dibandingkan dengan jenis produk cat lainnya, karena jenis produk ini tahan lama dan tidak mudah berjamur, mempunyai karakteristik anti gores dan daya kilap (gloss) yang tinggi.

Cat *Polyurethane* banyak digunakan utk pengecatan body repair mobil, karoseri truk/bus, industri mebel furniture, mesin industri, dan bahan2 lainnya yang terbuat dari plat besi. Permasalahan yang paling banyak terjadi pada produksi cat *polyurethane* adalah hasil viskositas produksi tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Permasalahan ini tentu saja sangat mengganggu proses produksi, karena *lead time* produk akan panjang. Pengujian viskositas merupakan unsur penting dalam industri cat, karena viskositas sangat berpengaruh terhadap kualitas produk yang dihasilkan apakah cat terlalu kental atau cat terlalu encer. Jika cat terlalu encer

ataupun cat terlalu kental ini akan berdampak pada saat cat akan digunakan oleh konsumen.

Dalam rangka mengantisipasi permasalahan yang sering timbul pada produksi cat polyurethane maka dilakukan tahapan perbaikan secara berkelanjutan dan dengan pengendalian kualitas pada tahap desain eksperimen serta tahap proses produksi dengan menggunakan Metode Taguchi. Metode ini berfokus untuk mengeliminasi penyebab rendahnya kualitas dan menghasilkan performansi produk yang sensitif terhadap keragaman disamping keunggulan lain dari Metode Taguchi dapat mengintegrasikan metode statistik ke dalam proses rekayasa.

Rumusan Masalah

1. Mencari faktor-faktor penyebab produk cacat atau tidak sesuai dengan spesifikasi.
2. Apa yang menyebabkan viskositas cat *Polyurethane* tidak sesuai spesifikasi?
3. Menemukan pengaturan untuk pengendalian kualitas yang terbaik pada produksi cat polyurethane.

Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi faktor-faktor penyebab cacat spesifikasi cat.
2. Mengidentifikasi faktor yang mempengaruhi hasil viskositas cat *Polyurethane* yang tidak sesuai spesifikasi.
3. Menentukan *setting* yang tepat untuk produksi cat *Polyurethane* agar dihasilkan viskositas yang sesuai spesifikasi.
4. Model pengaturan yang tepat Produk Cat *Polyurethane* agar dihasilkan viskositas sesuai spesifikasi.

Definisi Kualitas

Pengertian kualitas dari beberapa pakar antara lain menurut Goesth dan Davis yang dikutip Tjiptono, mengemukakan bahwa kualitas diartikan sebagai "Suatu kondisi dinamis dimana yang berhubungan dengan produk, jasa, manusia, proses dan lingkungan yang memenuhi atau melebihi harapan". (Tjiptono, 2004). Berbeda dengan Lukman yang mengartikan kualitas yaitu "Sebagai janji pelayanan agar yang dilayani itu merasa diuntungkan". (Lukman, 2000). Pengertian yang lebih rinci tentang kualitas diberikan oleh Tjiptono, setelah melakukan evaluasi dari definisi kualitas beberapa pakar, kemudian Tjiptono menarik 7 (Tujuh) definisi yang sering dikemukakan terhadap konsep kualitas, definisi-definisi kualitas menurut Tjiptono, sebagai berikut:

1. Kesesuaian dengan persyaratan atau tuntutan.
2. Kecocokan untuk pemakaian.
3. Perbaikan atau penyempurnaan berkelanjutan.

4. Bebas dari kerusakan atau cacat.
5. Pemenuhan kebutuhan pelanggan semenjak awal dan setiap saat.
6. Melakukan segala sesuatu secara benar semenjak awal.
7. Sesuatu yang bisa membahagiakan pelanggan.

Pengendalian Kualitas

Tujuan dilakukannya pengendalian kualitas adalah untuk memperbaiki kualitas produk dan menurunkan ongkos kualitas secara keseluruhan. Terdapat 2 (Dua) pendekatan dalam pengendalian kualitas, yaitu:

1. *On-line Quality Control*

On-line Quality Control adalah kegiatan pengendalian kualitas yang dilakukan selama proses manufaktur berlangsung dengan menggunakan SPC (*Statistical Process Control*). Sifat *On-line Quality Control* adalah tindakan pengendalian yang reaktif atau tindakan setelah kegiatan produksi berjalan. Artinya, jika produk yang dihasilkan tidak memenuhi spesifikasi yang diharapkan tindakan perbaikan terhadap proses dilakukan.

2. *Off-line Quality Control*

Off-line Quality Control adalah pengendalian kualitas yang memiliki sifat preventif, dimana dilakukan sebelum proses produksi dilakukan. Dengan tindakan secara preventif maka kemungkinan adanya cacat produk dan masalah kualitas dapat diminimalisasikan sebelum produksi berjalan, sehingga pengurangan pada produk cacat akan mengurangi *scrap* dan produk gagal, yang akhirnya akan mengurangi biaya ekstra produksi dan pemulangan produk dari konsumen. Tujuan dari *Off-line Quality Control* untuk mengoptimalkan produk dan proses dalam rangka mendukung kegiatan *On-line Quality Control*.

Secara umum pengendalian kualitas dapat didefinisikan sebagai suatu sistem efektif guna memadukan pengembangan, pemeliharaan dan upaya perbaikan kualitas dari berbagai kelompok dari berbagai organisasi pemasaran kerekeyasaan produksi dan jasa dapat berada pada tingkatan yang paling ekonomis sehingga pelanggan atau konsumen mendapat kepuasan penuh. Maka definisi dari pelaksanaan pengendalian kualitas, sebagai berikut.

1. Menggunakan pengawasan kualitas sebagai dasar setiap kegiatan.
2. Pengendalian biaya, harga dan laba / untung secara terintegrasi.

3. Pengendalian jumlah, yang meliputi jumlah produksi, penjualan, dan persediaan dan waktu pengiriman kepada pelanggan atau konsumen.

Pengendalian Proses Statistik

Tujuan utama dari peningkatan kualitas tidak hanya untuk menyediakan kualitas produk yang baik tetapi juga meningkatkan produktivitas dan kepuasan konsumen. Pada dasarnya, peningkatan produktivitas dan kepuasan konsumen harus beriringan agar memberikan perusahaan biaya yang murah dalam peningkatan kualitas tersebut. SPC adalah teknik yang memungkinkan pengendalian kualitas untuk memonitor, menganalisis, memprediksi, mengontrol, dan meningkatkan proses produksi melalui *Control Charts*. *Control Charts* merupakan alat dalam menganalisis variasi dari proses produksi. Biasanya plot *Control Charts* terdiri dari garis-garis yang menunjukkan *Under Control Limit* (UCL), *Center Line* (CL), *Lower Control Limit* (LCL), serta *mean* sampel.

Peta Kendali

Peta kendali atau *Control Chart* merupakan suatu teknik yang dikenal sebagai metode grafik yang digunakan untuk mengevaluasi apakah suatu proses berada dalam pengendalian kualitas secara statistik atau tidak sehingga dapat memecahkan masalah dan menghasilkan perbaikan kualitas. Metode ini dapat membantu perusahaan dalam mengontrol proses produksinya dengan memberikan informasi dalam bentuk grafik. Tujuan dari perancangan program aplikasi *Control Chart* ini adalah untuk melihat sejauh mana tingkat keberhasilan suatu proses produksi sehingga bisa dijadikan pedoman dalam mengarahkan perusahaan ke arah pemenuhan spesifikasi konsumen.

Peta kendali (*Control Chart*) merupakan alat SPC yang paling penting yang digunakan untuk mendeteksi ketika proses dalam keadaan tidak terkendali (*Out Of Control*). Peta kendali pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Walter Andrew Shewart dari Bell Telephone Laboratories, Amerika Serikat, tahun 1924 dengan maksud untuk menghilangkan variasi tidak normal melalui pemisahan variasi yang disebabkan oleh penyebab khusus (*Special-Causes Variation*) dari variasi yang disebabkan oleh sebab umum (*Common-Causes Variation*). Pada dasarnya, semua proses menampilkan variasi, namun proses produksi harus dikendalikan dengan cara menghilangkan variasi penyebab khusus dari proses tersebut, sehingga variasi yang ada pada proses hanya disebabkan oleh variasi penyebab umum. Peta kendali adalah gambar sederhana dengan tiga garis, yaitu garis tengah (*Center Line*), garis batas atas / UCL (*Upper Control Limit*) dan garis batas bawah / LCL (*Lower Control Limit*). Peta kendali

merupakan suatu alat dalam mengendalikan proses, yang bertujuan untuk menentukan suatu proses berada dalam pengendalian statistik, memantau proses terus-menerus sepanjang waktu agar proses tetap stabil secara statistik dan hanya mengandung variasi penyebab umum, serta menentukan kemampuan proses (*Process Capability*).

Diagram Pareto

Secara sederhana, *Pareto Chart* adalah suatu distribusi frekuensi (*Histogram*) dari data atribut maupun variabel yang disusun berdasarkan kategori kecacatan yang timbul dalam proses. *Pareto Chart* dibuat dari data kerusakan yang kemudian di-plot total frekuensi kemunculan atau frekuensi kumulatif dari tiap jenis kerusakan (kolom terakhir) terhadap berbagai jenis kerusakan untuk menghasilkan *chart*-nya. Melalui *Pareto Chart* ini dapat secara cepat dan *visual* mengidentifikasi jenis kerusakan yang paling sering muncul sehingga berbagai penyebab dari jenis kerusakan ini harus dimungkinkan untuk diidentifikasi dan diatasi pada prioritas pertama.

Bilamana daftar kerusakan merupakan gabungan dari beberapa jenis kerusakan yang memiliki akibat yang secara ekstrim serius dan akibat lainnya dengan tingkat kepentingan yang lebih rendah satu dari kedua metode ini dapat digunakan:

1. Gunakan suatu skema pembobotan (*Weighting Scheme*) untuk memodifikasi perhitungan frekuensi.
2. Dampirkan analisa frekuensi *Pareto Chart* dengan suatu *Pareto Chart* biaya. Hal ini diperlukan karena kecacatan yang paling banyak muncul belum tentu yang paling banyak membutuhkan biaya.

Diagram Sebab-Akibat (*Cause-and-Effect Diagram*)

Diagram sebab akibat atau *Ishikawa*, atau sering disebut diagram tulang ikan (*Fishbone Diagram*), digunakan untuk menyajikan penyebab atau masalah secara grafis. Diagram ini dapat digunakan untuk menunjukan faktor-faktor penyebab (sebab) dan karakteristik kualitas (akibat) yang disebabkan oleh faktor-faktor penyebab tersebut. Sekali suatu kerusakan, kesalahan, atau permasalahan telah diidentifikasi dan diisolasi untuk dipelajari lebih lanjut, kita harus mulai menganalisa berbagai penyebab potensial dari dampak yang tidak diinginkan ini. Dalam situasi ini dimana penyebab-penyebab tidak jelas (seringkali seperti ini adanya), *Cause-and-Effect Diagram* (*Fishbone Diagram*) adalah alat formal yang sering digunakan untuk menyingkap berbagai penyebab potensial dari suatu kesalahan yang terjadi tetapi tidak mampu

untuk melakukan analisa terhadap akar dan penyebab dari setiap permasalahan yang sesungguhnya. Pada alat ini akan dilakukan analisa terhadap 5M+E, yaitu *man, machine, modal, method, measurement and environment*. Dimana unsur-unsur ini akan dijadikan sub tulang utama dalam *Cause-and-Effect Diagram*.

Metode Taguchi atau Robust Design

Metode Taguchi pertama kali dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapat tugas untuk memperbaiki sistem komunikasi di Jepang. Dr. Genichi Taguchi memiliki latar belakang *engineering*, juga mendalami statistika dan matematika tingkat lanjut, sehingga ia dapat menggabungkan antara teknik statistik dan pengetahuan *engineering*. Ia mengembangkan metode Taguchi untuk melakukan perbaikan kualitas dengan metode percobaan 'baru', artinya melakukan pendekatan lain yang memberikan tingkat kepercayaan yang sama dengan SPC (*Statistical Process Control*).

Taguchi memiliki pandangan yang berbeda mengenai kualitas, ia tidak hanya menghubungkan biaya dan kerugian dari suatu produk saat proses pembuatan produk tersebut, akan tetapi juga dihubungkan pada konsumen dan masyarakat. "Kualitas adalah kerugian setelah produk digunakan oleh masyarakat disamping kerugian yang disebabkan oleh mutu produk itu sendiri".

Taguchi menghasilkan disiplin dan struktur dari desain eksperimen. Hasilnya adalah standarisasi metodologi disain yang mudah diterapkan oleh investigator. Adapun konsep Taguchi, sebagai berikut.

1. Kualitas seharusnya didesain ke dalam suatu produk dan bukan diinspeksi ke dalamnya.
2. Kualitas dapat diraih dengan baik dengan cara meminimasi deviasi target. Produk tersebut harus dirancang sedemikian rupa hingga dapat mengantisipasi faktor lingkungan yang tak terkontrol.
3. Biaya dari kualitas seharusnya diperhitungkan sebagai fungsi deviasi dari standar yang ada dan kerugiannya harus diperhitungkan juga ke dalam sistem.

Konsep Taguchi dibuat dari penelitian W.E. Deming, bahwa 85% kualitas yang buruk diakibatkan oleh proses *manufacturing* dan hanya 15% dari pekerja. Di dalam metode Taguchi hasil eksperimen harus dianalisa untuk dapat memenuhi satu atau lebih kondisi berikut ini:

1. Menentukan kondisi yang terbaik atau optimum untuk sebuah produk atau sebuah proses.
2. Memperkirakan kontribusi dari masing-masing faktor.
3. Memperkirakan respon atau akibat yang

terjadi akibat dari kondisi optimum.

Kelebihan dan Kekurangan Metode Taguchi

Kelebihan dari penggunaan Metode Taguchi, sebagai berikut.

1. Dapat mengurangi jumlah pelaksanaan percobaan jika dibandingkan dengan menggunakan percobaan *full factorial*, sehingga dapat menghemat waktu dan biaya.
2. Dapat melakukan penghematan terhadap rata-rata dan variasi karakteristik kualitas sekaligus, sehingga ruang lingkup pemecahan masalah lebih luas.
3. Dapat mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas melalui perhitungan *Average* dan Rasio S/N, sehingga faktor-faktor yang berpengaruh tersebut dapat diberikan perhatian khusus.

Sedangkan kekurangan dari Metode Taguchi ini adalah apabila percobaan ini dilakukan dengan banyak faktor dan interaksi, akan terjadi pembauran beberapa interaksi oleh faktor utama. Akibatnya, keakuratan hasil percobaan akan berkurang, jika interaksi yang diabaikan tersebut memang benar-benar berpengaruh terhadap karakteristik yang diamati.

Tahap-tahap dalam Desain Produk / Proses Menurut Taguchi

Dalam metode Taguchi terdapat 3 (Tiga) tahap untuk mengoptimasi desain produk atau produksi, yaitu:

1. *System Design*
Merupakan tahap pertama dalam desain dan merupakan tahap konseptual pada pembuatan produk baru atau inovasi proses. Konsep mungkin berasal dari percobaan sebelumnya, pengetahuan alam / teknik, perubahan baru atau kombinasinya. Tahap ini adalah untuk memperoleh ide-ide baru dan mewujudkannya dalam produk baru atau inovasi proses.
2. *Parameter Design*
Tahap ini merupakan pembuatan secara fisik atau *prototype* matematis berdasarkan tahap sebelumnya melalui percobaan secara statistik. Tujuannya adalah mengidentifikasi *setting* parameter yang akan memberikan performansi rata-rata pada target dan menentukan pengaruh dari faktor gangguan pada variasi dari target.
3. *Tolerance Design*
Penentuan toleransi dari parameter yang berkaitan dengan kerugian pada masyarakat akibat penyimpangan produk.

Karakteristik Kualitas menurut Taguchi

Setiap produk didesain untuk menghasilkan

fungsi tertentu. Beberapa karakteristik pengukuran, biasanya menunjukkan karakteristik kualitas, digunakan untuk mengekspresikan sejauh mana sebuah produk menjalankan fungsinya. Dalam banyak kasus, karakteristik kualitas biasanya merupakan kuantitas pengukuran tunggal seperti berat, panjang, jam. Beberapa pengukuran subjektif produk seperti “baik”, “buruk”, dan “rendah” juga kerap kali digunakan.

Karakteristik kualitas adalah hasil suatu proses yang berkaitan dengan kualitas. Karakteristik kualitas yang terukur menurut Taguchi dapat dibagi menjadi 3 kategori (Peace, 1993):

1. *Nominal is the best*

Karakteristik kualitas yang menuju suatu nilai target yang tepat pada suatu nilai tertentu. Yang termasuk kategori ini, yaitu berat, panjang, lebar, kerapatan, ketebalan, diameter, luas, kecepatan, volume, jarak, tekanan, waktu.

2. *Smaller the better*

Pencapaian karakteristik dimana apabila semakin kecil (mendekati nol, nol adalah nilai ideal dalam hal ini) semakin baik. Contoh yang termasuk kategori ini, yaitu pemborosan, panas, Persen Kontaminasi, Hambatan, Penyimpangan, Kebisingan yang ditimbulkan Produk.

3. *Larger the better*

Pencapaian karakteristik kualitas semakin besar semakin baik (tak terhingga sebagai nilai idealnya). Contoh dari karakteristik ini, yaitu: kekuatan, kekuatan tarik, efisiensi, waktu antar kerusakan, ketahanan terhadap korosi.

Orthogonal Array (OA)

Orthogonal Array (OA) merupakan salah satu bagian kelompok dari percobaan yang hanya menggunakan bagian dari kondisi total, dimana bagian ini barangkali hanya separuh, seperempat atau seperdelapan dari percobaan faktorial penuh.

Orthogonal Array diciptakan oleh Jacques Handmard pada tahun 1897, dan mulai diterapkan pada perang dunia II oleh Plackett dan Burman. Matriks Taguchi secara matematis identik dengan matriks Handmard, hanya kolom dan barisnya dilakukan pengaturan lagi. Keuntungan *Orthogonal Array* adalah kemampuannya untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah percobaan yang minimum. Jika pada percobaan terdapat 7 (Tujuh) faktor dengan level 2, maka jika menggunakan *full factorial* akan diperlukan 2^7 buah percobaan. Dengan *Orthogonal Array*, jumlah percobaan yang perlu dilakukan dapat dikurangi sehingga akan mengurangi waktu dan biaya percobaan.

Orthogonal Array Metode Taguchi telah menyediakan berbagai matriks *Orthogonal Array*

untuk pengujian faktor-faktor dengan 2 dan 3 level dengan kemungkinan untuk pengujian *multiple level* (Ross, 1998).

Metode Penelitian

Kepuasan pelanggan ditentukan oleh bagaimana perusahaan dapat memenuhi tuntutan serta harapan dalam hal pemenuhan kualitas yang diinginkan. Dalam rangka memenuhi kepuasan pelanggan sekaligus peningkatan daya saing, perusahaan yang memproduksi cat polyurethane senantiasa melakukan evaluasi dan perbaikan dengan melakukan pengendalian kualitas yang baik.

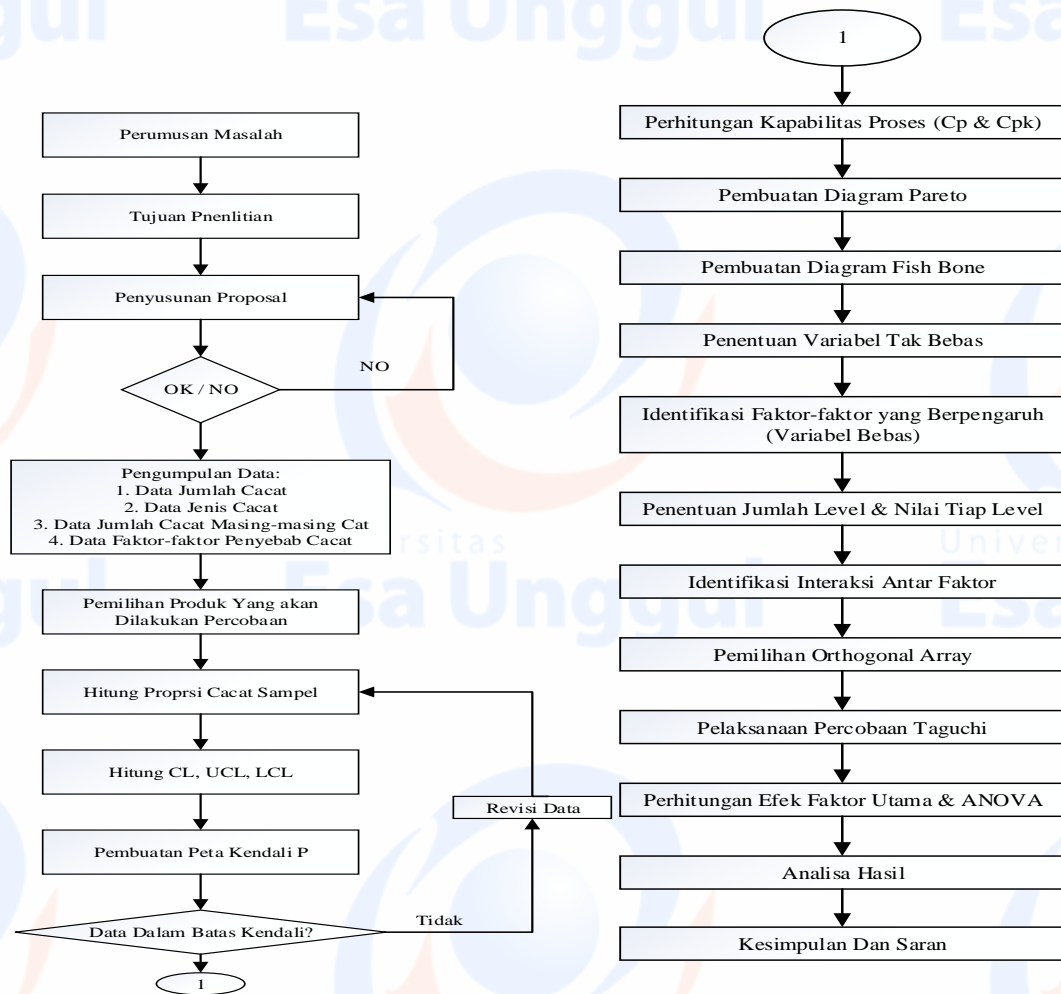
Secara umum pengendalian kualitas dapat didefinisikan sebagai suatu sistem efektif guna memadukan pengembangan, pemeliharaan dan upaya perbaikan kualitas dari berbagai kelompok dari berbagai organisasi pemasaran kerekeyasaan produksi dan jasa dapat berada pada tingkat yang paling ekonomis sehingga pelanggan atau konsumen mendapat kepuasan penuh. Maka definisi dari pelaksanaan pengendalian kualitas adalah:

1. Menggunakan pengawasan kualitas sebagai dasar setiap kegiatan.
2. Pengendalian biaya, harga dan laba / untung secara terintegrasi.
3. Pengendalian jumlah, yang meliputi jumlah produksi, penjualan, dan persediaan dan waktu pengiriman kepada pelanggan atau konsumen.

Tujuan dilakukannya pengendalian kualitas adalah untuk memperbaiki kualitas produk dan menurunkan ongkos kualitas secara keseluruhan. Perusahaan akan menghasilkan produk yang baik dan bermutu tinggi apabila pengendalian kualitas sudah dilakukan dengan baik. Untuk mengendalikan kualitas produk digunakan suatu metode pengukuran kualitas produk yaitu dengan menggunakan metoda taguchi, karena Metode Taguchi memiliki pandangan yang berbeda mengenai kualitas, ia tidak hanya menghubungkan biaya dan kerugian dari suatu produk saat proses pembuatan produk tersebut, akan tetapi juga dihubungkan pada konsumen dan masyarakat. “Kualitas adalah kerugian setelah produk digunakan oleh masyarakat disamping kerugian yang disebabkan oleh mutu produk itu sendiri”.

Tahapan Penelitian

Tahap persiapan yang diawali dengan penentuan tema penelitian dan penyusunan proposal. Pencarian literatur yang relevan dan mendukung, dilakukan untuk memperkaya pengetahuan peneliti akan aspek kajian yang akan dilakukan. Kerangka pemikiran dibuat untuk memandu alur analisis dalam penelitian.



Gambar 1
Alur Tahapan penelitian

Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengamatan langsung di lapangan dan wawancara dengan pihak perusahaan yang berkaitan dengan pengendalian kualitas produk perusahaan. Data sekunder diperoleh dari literatur yang relevan, dokumen dan laporan yang dimiliki oleh perusahaan. Data yang diperlukan, antara lain:

1. Data tentang gambaran umum perusahaan meliputi sejarah dan perkembangannya, struktur organisasi dan manajemen, serta bidang usaha yang merupakan data sekunder dari dokumen milik perusahaan.
2. Data produk *out of spec* perusahaan berupa data primer yang diperoleh secara langsung melalui wawancara dengan pihak perusahaan dan survei ke lapangan.
3. Data yang diperlukan untuk menganalisis kinerja desain eksperimen dari bulan Januari hingga Desember 2015.

Pengolahan Data

Pengumpulan data dilakukan pada Departemen QC (*Quality Control*) selaku departemen yang melakukan pengendalian kualitas. Berikut ini adalah persentase sampel tidak sesuai spesifikasi periode Januari –Desember 2015, yang memberikan gambaran ilustrasi tingginya tingkat produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan perusahaan.

Tabel 1
Persentase Sampel Tidak Sesuai Spesifikasi Periode Januari - Desember 2015

| No. | Periode | Jumlah Sampel | Jumlah Sampel Out Spek (cacat) | Persentase Produk Cacat |
|---------------|-----------|---------------|--------------------------------|-------------------------|
| 1 | Januari | 1.800 | 95 | 5,28% |
| 2 | Februari | 1.850 | 97 | 5,24% |
| 3 | Maret | 1.900 | 100 | 5,26% |
| 4 | April | 1.950 | 102 | 5,23% |
| 5 | Mei | 2.080 | 110 | 5,29% |
| 6 | Juni | 2.000 | 105 | 5,25% |
| 7 | Juli | 2.195 | 120 | 5,46% |
| 8 | Agustus | 1.800 | 90 | 5% |
| 9 | Spetember | 1.850 | 93 | 5,02% |
| 10 | Okotober | 1.900 | 97 | 5,10% |
| 11 | November | 1.750 | 90 | 5,14 |
| 12 | Desember | 1.600 | 84 | 5,25% |
| Jumlah | | 22.675 | 1.183 | |

Besarnya produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi perusahaan rata-rata diatas 5%. Hasil ini menunjukkan masih diatas dari spesifikasi perusahaan yaitu maksimal 5%. Sehingga bagi Perusahaan perlu melakukan perbaikan kualitas untuk menurunkan tingkat ketidaksesuaian produk yang nantinya dapat terpenuhinya harapan perusahaan yaitu turunnya tingkat ketidaksesuaian produk.

Pemilihan Produk Bermasalah

Langkah awal dalam melakukan perbaikan kualitas adalah dengan mengidentifikasi faktor-faktor ketidaksesuaian yang banyak terjadi. Berdasarkan wawancara dengan pihak QC (*Quality Control*) jenis-jenis kecacatan didefinisikan sebagai berikut.

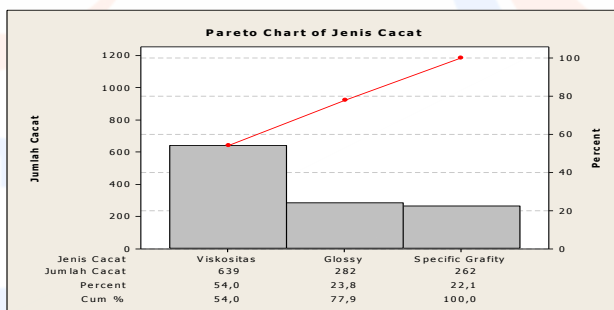
Tabel 2
Jenis-Jenis Kecacatan

| No | Proses | Jenis Kecacatan |
|----|------------------|--|
| 1 | Viskositas | Tingkat kekentalan cat tidak sesuai dengan standar spesifikasi |
| 2 | Glossy | Tingkat kilap cat tidak sesuai dengan standar spesifikasi |
| 3 | Spesific Gravity | Berat jenis cat tidak sesuai standar spesifikasi |

Tipe produk yang akan diambil sebagai data kecacatan dalam proses terdiri dari tiga produk, yaitu *Polyurethane Color* (PUC), *Duco Color* (DC), *Melamine Color* (MC), karena ketiga produk ini merupakan produk yang paling banyak diproduksi.

Tabel 3
Jumlah Persentase Cacat Selama Periode Januari – Desember 2015

| No | Produk | Jumlah Sampel | Proses | | | Jumlah Sampel Out Spek |
|------------|--------|---------------|------------|--------|------------------|------------------------|
| | | | Viskositas | Glossy | Spesific Gravity | |
| 1 | PUC | 11865 | 327 | 99 | 76 | 502 |
| 2 | DC | 6316 | 165 | 82 | 97 | 344 |
| 3 | MC | 4494 | 147 | 101 | 89 | 337 |
| Jumlah | | 22675 | 639 | 282 | 262 | 1183 |
| Persentase | | | 54,01% | 23,84% | 22,15% | 100% |



Gambar 1

Diagram Pareto Jumlah Cacat Pada Proses Selama Periode Januari – Desember 2015

Dari data jumlah sampel selama periode Januari sampai dengan Desember 2015 dari semua tipe produk cat dapat diketahui bahwa yang memiliki persentase cacat tertinggi adalah viskositas, yaitu sebesar 54%, urutan kedua adalah glossy, yaitu sebesar 23.8%, dan urutan ketiga adalah *speciic graity*, yaitu sebesar 22.1%. Berdasarkan data tersebut eksperimen dilakukan pada penelitian untuk memperbaiki proses viskositas.

Perhitungan Peta Kendali P

Tingkat kecacatan viskositas yang paling tinggi terjadi pada periode Juli 2015 untuk produk PUC (*Polyurethane Color*). Maka data jumlah sampel dan jumlah cacat yang diambil adalah data bulan juli.

Tipe produk yang akan diamati adalah jenis PUC (*Polyurethane Color*) karena jenis cat tersebut merupakan produk andalan perusahaan dan pada tipe tersebut didapatkan jumlah cacat tertinggi yaitu sebesar 120 sampel atau sebesar 5,46% pada bulan Juli 2015.

Perhitungan peta kendali P dilakukan untuk mengetahui apakah jumlah cacat yang terjadi masih dalam batas kendali atau tidak, jika ada data yang belum dalam batas kendali maka perlu dilakukan revisi terhadap data-data perhitungan ulang. Perhitungan batas-batas peta kendali dengan menggunakan metode SPC adalah sebagai berikut: Perhitungan Control Limit dihitung yaitu CL, UCL, dan LCL

A. Menghitung garis pusat / *Centre Line* (CL)

Σnp = jumlah total sampel cacat

Σp = jumlah total sampel yang diperiksa

$\Sigma np = 120$

$$\Sigma p = 2195$$

$$CL = \bar{p} = \frac{\Sigma np}{\Sigma p} = \frac{120}{2195} = 0.0547$$

B. Menghitung batas kendali atas (UCL) dan batas kendali bawah (LCL)

$$UCL = p + 3 \frac{\sqrt{p(1-p)}}{n}$$

$$= 0.0547 + 3 \frac{\sqrt{0.0547(1-0.0547)}}{23}$$

$$= 0.0547 + 3 * 0.0474$$

$$= 0.0547 + 0.1423$$

$$= 0.197$$

$$LCL = p - 3 \frac{\sqrt{p(1-p)}}{n}$$

$$= 0.0547 - 3 \frac{\sqrt{0.0547(1-0.0547)}}{23}$$

$$= 0.0547 - 3 * 0.0474$$

$$= 0.0547 - 0.1423$$

$$= -0.0876 = 0$$

Jika hasil LCL minus maka LCL dianggap = 0

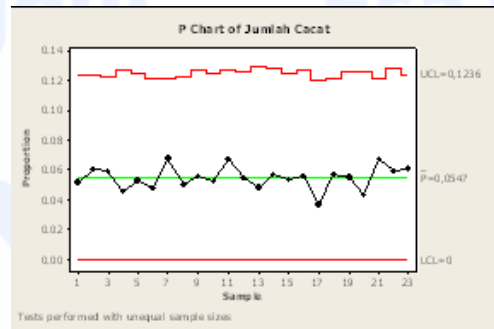
Keterangan:

- p = rata-rata kerusakan produk
- n = total grup / sampel

Tabel 4

Jumlah Produksi, Jumlah Cacat, Proporsi Cacat Bulan Juli 2015

| No | Tanggal Pengamatan | Jumlah Unit yang diperiksa | Jumlah unit yang cacat (np) | Proporsi cacat (P) |
|------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 1 | 01-Jul-13 | 97 | 5 | 0,0515 |
| 2 | 02-Jul-13 | 99 | 6 | 0,0606 |
| 3 | 03-Jul-13 | 101 | 6 | 0,0594 |
| 4 | 04-Jul-13 | 88 | 4 | 0,0455 |
| 5 | 05-Jul-13 | 95 | 5 | 0,0526 |
| 6 | 06-Jul-13 | 105 | 5 | 0,0476 |
| 7 | 07-Jul-13 | 103 | 7 | 0,0680 |
| 8 | 10-Jul-13 | 100 | 5 | 0,0500 |
| 9 | 11-Jul-13 | 90 | 5 | 0,0556 |
| 10 | 12-Jul-13 | 96 | 5 | 0,0521 |
| 11 | 15-Jul-13 | 89 | 6 | 0,0674 |
| 12 | 16-Jul-13 | 92 | 5 | 0,0543 |
| 13 | 17-Jul-13 | 83 | 4 | 0,0482 |
| 14 | 18-Jul-13 | 87 | 5 | 0,0575 |
| 15 | 19-Jul-13 | 94 | 5 | 0,0532 |
| 16 | 20-Jul-13 | 90 | 5 | 0,0556 |
| 17 | 23-Jul-13 | 109 | 4 | 0,0367 |
| 18 | 24-Jul-13 | 106 | 6 | 0,0566 |
| 19 | 25-Jul-13 | 91 | 5 | 0,0549 |
| 20 | 26-Jul-13 | 93 | 4 | 0,0430 |
| 21 | 29-Jul-13 | 104 | 7 | 0,0673 |
| 22 | 30-Jul-13 | 85 | 5 | 0,0588 |
| 23 | 31-Jul-13 | 98 | 6 | 0,0612 |
| JUMLAH | | 2195 | 120 | 1,2577 |
| Rata-rata | | | | 0,05468 |



Gambar 2
P-Chart Produk Cacat Pada Proses Viskositas

Berdasarkan jenis data yang digunakan adalah data atribut, maka peta kendali menggunakan peta kendali atribut yaitu peta kendali P. Berdasarkan perhitungan yang telah dibuat, didapatkan batas-batas kendali yang diperlukan yaitu CL = 0.0547, UCL = 0.1236, LCL = 0. Dari batas kendali tersebut dan gambar peta kendali, dapat dilihat bahwa proses yang terjadi masih berada dalam batas pengendalian, karena semua proporsi produk yang cacat dari semua subgrup pengamatan berada di dalam batas kendali UCL dan LCL.

Kapabilitas Proses

Pada gambar terlihat proses produksi sudah dalam batas kendali, selanjutnya menghitung kapabilitas proses.

Untuk menentukan nilai kemampuan proses (Cp)

$$S = \frac{\sqrt{pbar(1-pbar)}}{n}$$

$$= \frac{\sqrt{0,0547(1-0,0547)}}{23}$$

$$= \frac{\sqrt{0,00225}}{23}$$

$$= \frac{0,047}{23}$$

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6S}$$

$$= \frac{0,1236 - 0}{6(0,047)}$$

$$= 0,44$$

$$CpU = \frac{USL - X}{3s}$$

$$= \frac{0,1236 - 0,0547}{3(0,047)}$$

$$= \frac{0,00676}{0,141}$$

$$= 0,048$$

$$CpL = \frac{X - LSL}{3s}$$

$$= \frac{0,0547 - 0}{3(0,047)}$$

$$= \frac{0,0547}{0,141}$$

$$= 0,388$$

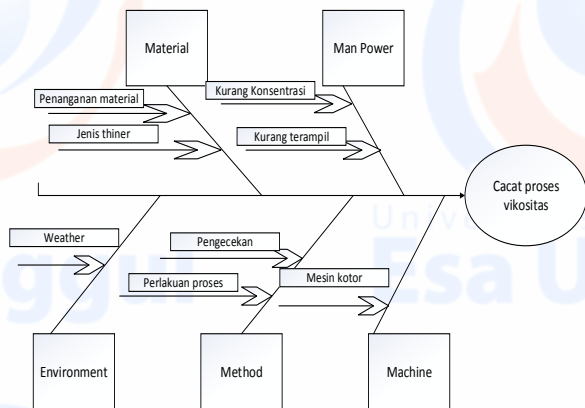
$$Cpk = \min\{0,048 ; 0,388\}$$

Dari perhitungan di atas kapabilitas proses (C_p) $0,44 < 1,00$ maka kapabilitas proses masih rendah, sehingga perlu ditingkatkan performansinya melalui perbaikan proses. Indeks kapabilitas proses C_{pk} yaitu $0,048$ menunjukkan bahwa proses cenderung mendekati batas spesifikasi atas.

Mencari Faktor Dan Sub Faktor Penyebab Ketidakesesuaian Spesifikasi Cat dengan Diagram Sebab Akibat

Berdasarkan diagram pareto dapat dilihat bahwa ada tiga penyebab ketidakesesuaian spesifikasi cat, yaitu penyimpangan pada viskositas, glossy, dan *specific gravity*. Dari ketiga jenis cacat tersebut tingkat kecacatan viskositas yang paling tinggi, maka proses viskositas yang akan dilakukan perbaikan. Kategori cacat yang dianggap cukup berpengaruh pada proses viskositas diantaranya SDM (Sumber Daya Manusia), mesin, material, metode, dan lingkungan.

Pada penentuan variabel dari diagram sebab akibat ditentukan berdasarkan hasil *brainstorming* dengan kepala bagian QC (*Quality Controll*), CM (*Color Matching*), produksi, gudang dan *maintanance* dapat diketahui identifikasi penyebab timbulnya kecacatan produk tersebut diantaranya:



Gambar 3
Diagram Sebab Akibat Produk Cacat Pada Proses Viskositas

Faktor-faktor yang menyebabkan cacat pada cat pada proses viskositas sebagai berikut.

1. Man Power

- a) Penyebab produk batal atau gagal adalah kurangnya konsentrasi pada pekerja yang menyebabkan kesalahan – kesalahan dalam bekerja (*human errors*).
- b) Kurangnya keterampilan kerja pada operator yang masih baru dan perlu banyak belajar untuk membuat produk yang berkualitas dan sesuai dengan spesifikasi.

2. Material

- a) Masalah penanganan material yang tidak sesuai standar dengan SOP akan

mengakibatkan material mudah rusak dan terkontaminasi baik oleh udara ataupun oleh material lainnya

- b) Jenis thinner yang digunakan berpengaruh terhadap hasil viskositas, thinner yang baik untuk proses viskositas adalah jenis thinner yang agresif.

3. Machine

- a) Mesin kotor akan mengakibatkan produk terkontaminasi yang akan merubah kualitas dari produk itu sendiri.

4. Method

- a) Pengecekan harus diukur dengan suhu yang tepat agar dihasilkan viskositas sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan.
- b) Perlakuan proses akan berpengaruh terhadap hasil viskositas, karena perlakuan yang tepat akan menghasilkan kualitas cat yang baik.

5. Environment

Cuaca yang panas akan berpengaruh pada bahan baku yang tersimpan digudang maupun yang sedang dalam proses produksi, karena ada beberapa jenis produk yang kurang tahan terhadap cuaca panas, seperti tipe produk *Melamine*.

Solusi untuk faktor-faktor penyebab cacat diatas sebagai berikut :

1. Man Power

- a) Kurang konsentrasi: memberi waktu istirahat 10 menit setiap 3 jam kerja pada operator produksi
- b) Kurang terampil: memberi satu operator produksi senior kepada operator produksi junior untuk menjadi mentor yang akan membimbing dalam bekerja dan pada saat proses produksi.

2. Material

- a) Masalah penanganan material: melakukan pengecekan material secara berkala, sehingga material akan selalu terkontrol apakah material masih baik untuk digunakan atau sudah rusak.
- b) Jenis thinner: memilih jenis *thinner* yang lebih agresif untuk mendapatkan hasil viskositas sesuai spesifikasi.

3. Machine

- a) Mesin kotor: melakukan pengecekan dan membersihkan mesin apabila mesin dalam kondisi kotor, sebelum memulai proses produksi untuk memastikan mesin dalam kondisi bersih.

4. Method

- a) Pengecekan suhu cat: memastikan suhu cat pada saat dilakukan pengukuran viskositas harus dalam batas suhu yang telah ditentukan.

- b) Perlakuan proses: memberi penutup tangki sebagai upaya untuk mengurangi proses penguapan cat.

5. *Environment*

Memasang *aluminium foil* pada atap gedung sebagai upaya mengurangi panas yang masuk kedalam gedung.

Percobaan Metode Taguchi

Pemilihan Metode Taguchi dilakukan karena Metode Taguchi merupakan metode yang dapat menemukan setingan terbaik dalam proses produksi untuk mengurangi tingkat kecacatan selama proses produksi.

Menentukan Variabel Tak Bebas

Variabel tak bebas (variabel respon) yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah produk cacat (tingkat kecacatan) pada proses viskositas cat PUC (*Polyurethane Color*) yang berupa data atribut dengan karakteristik kualitas *Smaller The Better*, dengan semakin kecil jumlah produk cacat akan semakin baik kualitasnya.

Identifikasi Faktor-Faktor Yang Berpengaruh (Variabel Bebas) Dengan Diagram Matriks

Diagram matriks dibuat berdasarkan kuisisioner dibagian yang bersangkutan, dalam pembuatan diagram matriks terlebih dahulu menyebarkan kuisisioner ke pihak – pihak terkait yaitu bagian *supervisor QC*, *Supervisor CM*, dan *Supervisor produksi*. Hasil kuisisioner dimasukan kedalam matriks untuk menentukan besarnya *point time error trouble* yang dipengaruhi pada setiap faktor.

Pada diagram terlihat 8 faktor dari total keseluruhan penyebab produk cacat, pengolahan data dari *critical to quality* hasil diagram matriks :

Table 5
Diagram Matriks

| Quality Matriks | | Pihak yang terkait dengan kualitas | | | Total Kompetitif Evaluasi | Critical to quality | |
|---|-------------|------------------------------------|---------------|---------------------|---------------------------|---------------------|-----|
| | | Supervisor QC | supervisor CM | Supervisor produksi | | | |
| Faktor – faktor yang mempengaruhi trouble | Man | Kurang Konsentrasi | 2 | 2 | 2 | 6 | |
| | | Kurang terampil | 2 | 2 | 1 | 5 | |
| | Material | Penanganan BB | 5 | 5 | 5 | 15 | CTQ |
| | | Jenis Thinner | 4 | 4 | 3 | 11 | CTQ |
| | Mac hine | Mesin Kotor | 2 | 2 | 3 | 7 | |
| | Method | Perlakuan proses | 5 | 5 | 5 | 15 | CTQ |
| | | Pengecekan | 5 | 5 | 4 | 14 | CTQ |
| | Environment | Cuaca | 2 | 3 | 3 | 8 | |

Keterangan :

- Score nilai :
 1. Sangat tidak pengaruh
 2. Tidak pengaruh
 3. Cukup pengaruh
 4. Berpengaruh
 5. Sangat berpengaruh
- Score nilai yang termasuk dalam CTQ adalah 11 – 15

Penentuan skor CTQ berdasarkan hasil dari musyawarah dengan bagian-bagian yang terkait dalam pengisian kuisisioner diagram matriks.

Berdasarkan hasil dari kuisisioner pada bagian-bagian terkait untuk faktor yang akan dipilih adalah faktor yang dianggap CTQ, ada empat faktor yaitu:

- Penanganan material
- Jenis thinner
- Perlakuan proses
- Pengecekan

Menentukan Jumlah Level dan Nilai Tiap Faktor

Jumlah level yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2 level, dengan level 1 adalah seting parameter percobaan dan level 2 adalah metode yang telah dijalankan oleh perusahaan. Berikut adalah nilai tiap faktor pada level 1 dan 2.

Tabel 6
Nilai Tiap Faktor Pada Level 1 dan Level 2

| No | Faktor (notasi) | Level 1 | Level 2 |
|----|----------------------|-----------------|----------------------|
| 1 | Pengadukan (A) | 900rpm | 1200rpm |
| 2 | Jenis thinner (B) | THPU-2713-02 | THPU-2712-06 |
| 3 | Perlakuan proses (C) | Tangki ditutup | Tangki tidak ditutup |
| 4 | Pengecekan (D) | 25 ⁰ | 30 ⁰ |

Pada level 2 yaitu, metode pengadukan cat yang telah dijalankan oleh perusahaan kecepatan dari mesin *mix* adalah sebesar 1200 rpm selama 10 sampai 20 menit. Pada level 1 kecepatan pengadukan diturunkan menjadi 900 rpm. Penurunan kecepatan pengadukan dari 1200 menjadi 900 rpm adalah berdasarkan *brainstorming* dengan bagian operator produksi dan *supervisor* produksi yang sudah berpengalaman dalam proses produksi cat, bahwa dengan kecepatan 1200 rpm itu terlalu tinggi yang mengakibatkan cat cepat mengalami proses penguapan dan tidak menimbulkan efek donat saat dilakukan pengadukan. Untuk mengurangi proses penguapan maka diturunkan kecepatan pengadukan menjadi

900 rpm, karena menurut operator produksi dan *supervisor* produksi mereka mendapatkan pengadukan yang optimal di 900 rpm. Pengadukan cat tidak terlalu kencang sehingga cat tidak mudah untuk keluar dari batas tangki dan proses penguapan berkurang karena cat teraduk secara stabil, karena penguapan sangat berpengaruh terhadap viskositas cat.

Pada level 2 jenis *thinner* yang digunakan oleh perusahaan dalam proses viskositas adalah THPU-2713-06, karena jenis *thinner* ini merupakan jenis *thinner* medium. Pada level 1 jenis *thinner* yang digunakan dalam proses viskositas adalah THPU-2713-02. Perubahan jenis *thinner* berdasarkan *brainstorming* dengan PD (*Product Development*) yang memberi saran untuk mengganti THPU-2713-06 dengan THPU-2713-02 yang lebih agresif, sehingga lebih cepat menurunkan viskositas apabila hasil viskositas terlalu tinggi (kental).

Pada faktor perlakuan proses pada level 2 pada saat proses produksi tangki tidak ditutup, hal ini akan berpengaruh terhadap tingkat penguapan cat selama proses produksi. Sebagai penanggulangan maka pada level 1 yaitu level yang akan diujicobakan maka pada saat proses produksi tangki harus ditutup sebagai upaya mengurangi tingkat penguapan selama proses produksi.

Pada faktor ke empat yaitu pengecekan adalah pengukuran suhu pada saat cat akan di viskositas. Pada level 2 yang sudah dijalankan oleh perusahaan adalah suhu cat yang akan di viskositas harus bersuhu 30° *celcius*. Pada level 1 suhu cat sebelum di lakukan pengujian viskositas akan dikurangi menjadi 25° *celcius*. Penurunan suhu viskositas berdasarkan pada suhu ideal ruangan yaitu 25° *celcius*.

Identifikasi Adanya Interaksi Antar Faktor

Untuk mengetahui ada atau tidaknya faktor yang berinteraksi maka dilakukan wawancara dengan bagian QC (*Quality Controll*), CM (*Color Matching*), Produksi, Gudang, *Maintenance*. Adapun hasil wawancara tersebut diketahui bahwa tidak ada interaksi antar faktor-faktor yang dapat mempengaruhi *output* yang dihasilkan.

Pemilihan Orthogonal Array (OA)

Karena ada 4 faktor dan 2 level yang terlibat dalam percobaan Taguchi, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk derajat kebebasan yang akan digunakan. Perhitungan derajat kebebasan akan menentukan OA pada perhitungan taguchi. Masing masing faktor terpilih memiliki 2 level, maka derajat kebebasan (Dof) untuk masing-masing faktor sebagai berikut.

- Dof untuk faktor A = $n_A - 1 = 2 - 1 = 1$
- Dof untuk faktor B = $n_B - 1 = 2 - 1 = 1$

- Dof untuk faktor C = $n_C - 1 = 2 - 1 = 1$
- Dof untuk faktor D = $n_D - 1 = 2 - 1 = 1$
- Jumlah Total Dof = $(n_A - 1) + (n_B - 1) + (n_C - 1) + (n_D - 1) = 1 + 1 + 1 + 1 = 4$

Setelah mendapat hasil perhitungan derajat kebebasan untuk masing-masing faktor, maka dapat diketahui bahwa kegagalan viskositas memiliki Dof sebesar 4. Berdasarkan nilai Dof tersebut, maka ditentukan bahwa jenis OA yang digunakan adalah L8(2⁷). Pemilihan OA harus memenuhi persamaan $fLN \geq f$ yang diperlukan untuk faktor dan interaksi. Jumlah Trial - 1 \geq Jumlah Total Dof $8 - 1 \geq 4$ maka $7 \geq 4$

Persamaan tersebut terpenuhi, karena ada 4 faktor yang terlibat dalam percobaan Taguchi, maka digunakan L8 (2⁷). Jumlah percobaan dipilih berdasarkan pada tabel pemilihan OA yang telah ditentukan, tercantum pada tabel 4.2. OA yang digunakan menandakan bahwa untuk kegagalan viskositas dilakukan percobaan sebanyak 8 kali dengan 4 faktor kontrol. Untuk pemilihan jenis OA yang digunakan, harus berdasarkan pada ketentuan yang sudah ditetapkan.

Tabel 7
Pemilihan Orthogonal Array dan Jumlah Dof yang Sesuai

| Jumlah | Orthogonal Array |
|--------------|------------------|
| 2 sampai 3 | L4 |
| 4 sampai 7 | L8 |
| 8 sampai 11 | L12 |
| 12 sampai 15 | L16 |

Penempatan Faktor-faktor dan Interaksinya pada OA

Penempatan faktor kontrol dan Penempatan *Orthogonal Array* didapat dengan menggunakan *software minitab*, dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 8
Penempatan Faktor-Faktor Dalam Kolom OA

| Random | Trial | Faktor | | | |
|--------|-------|--------|---|---|---|
| | | A | B | C | D |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 7 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 4 | 6 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 2 | 7 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Persiapan dan Pelaksanaan Percobaan Taguchi

Tahap persiapan percobaan Taguchi meliputi randomisasi percobaan. Pada percobaan ini akan dilakukan sebanyak 100 kali, artinya dalam satu percobaan dilakukan pengambilan produk sebanyak 100 *pieces*. Randomisasi dilakukan dengan menggunakan tabel bilangan acak yang dapat dilihat pada lampiran D.1, kolom yang digunakan adalah kolom kedua bagian keempat dilakukan secara vertikal.

Setelah ditetapkan urutan percobaan, maka percobaan Taguchi dapat dilakukan, kemudian hasil dari percobaan tersebut dicatat dan akan diolah dan dianalisa untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas produk untuk memperoleh setting yang optimal dengan melakukan perhitungan hasil percobaan.

Adapun hasil randomisasi dengan menggunakan tabel bilangan acak dan *software minitab* dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 9
Urutan Percobaan

| Random | Trial | A | B | C | D |
|--------|-------|---|---|---|---|
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 7 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 4 | 6 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 2 | 7 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Dalam kecacatan ada dua kategori yaitu *accept* dan *reject*. Produk tersebut diterima jika tidak terlihat adanya kecacatan. Berikut ini adalah hasil percobaan terhadap produk.

Tabel 10
Hasil percobaan terhadap produk

| Rand om | Tri al | A | B | C | D | Acce pt | Rej ect | N |
|---------|--------|---|---|---|---|---------|---------|-----|
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 95 | 5 | 100 |
| 5 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 92 | 8 | 100 |
| 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 93 | 7 | 100 |
| 7 | 4 | 4 | 1 | 2 | 2 | 90 | 10 | 100 |
| 1 | 5 | 5 | 2 | 1 | 1 | 88 | 12 | 100 |
| 4 | 6 | 6 | 2 | 1 | 2 | 86 | 14 | 100 |
| 2 | 7 | 7 | 2 | 2 | 1 | 88 | 12 | 100 |
| 8 | 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 94 | 6 | 100 |
| Total | | | | | | 726 | 74 | 800 |

Dalam percobaan ini diambil sampel sebanyak 100 unit untuk setiap trial dan dicatat jumlah cacat yang terjadi. Data hasil percobaan atas setiap faktor dan level dapat ditunjukkan seagai berikut:

Tabel 11
Nilai Kelas dan Faktor Percobaan

| Kelas | Level | Faktor | | | |
|---------------|-------|--------|-----|-----|-----|
| | | A | B | C | D |
| <i>Accept</i> | 1 | 370 | 361 | 364 | 359 |
| | 2 | 356 | 365 | 362 | 367 |
| <i>Reject</i> | 1 | 30 | 39 | 36 | 41 |
| | 2 | 44 | 35 | 38 | 33 |

Tabel 12
Persentase Tiap Kelas Faktor

| Kelas | Level | Faktor | | | |
|---------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | | A | B | C | D |
| <i>Accept</i> | 1 | 93,75% | 90,25% | 91,00% | 89,75% |
| | 2 | 89,00% | 91,25% | 90,50% | 91,75% |
| <i>Reject</i> | 1 | 7,50% | 9,75% | 9,00% | 10,25% |
| | 2 | 11,00% | 8,75% | 9,50% | 8,25% |

Perhitungan Efek Faktor Utama

Perhitungan efek faktor utama berdasarkan hasil percobaan adalah sebagai berikut :

Tabel 13
Respon Kelas *Reject*

| Kelas | Level | Faktor | | | |
|---------------|-------|--------|----|----|----|
| | | A | B | C | D |
| <i>Reject</i> | 1 | 30 | 39 | 36 | 41 |
| | 2 | 44 | 35 | 38 | 33 |

Perhitungan rata-rata tiap level faktor adalah:

$$A_1 = 30:4 = 7.5$$

$$A_2 = 44:4 = 11$$

$$B_1 = 39:4 = 9.75$$

$$B_2 = 35:4 = 8.75$$

$$C_1 = 36:4 = 9$$

$$C_2 = 38:4 = 9.5$$

$$D_1 = 41:4 = 10.25$$

$$D_2 = 33:4 = 8.25$$

Sehingga diperoleh peringkat faktor sebagai berikut:

Tabel 14
Respon Efek Faktor Utama

| Kelas | Level | Faktor | | | |
|---------------|-------|------------|----------|------------|----------|
| | | A | B | C | D |
| <i>Reject</i> | 1 | 7,5 | 9,75 | 9 | 10,25 |
| | 2 | 11 | 8,75 | 9,5 | 8,25 |
| Delta | | 3,5 | 1 | 0,5 | 2 |
| Rank | | 1 | 3 | 4 | 2 |

Respon efek yang digunakan sebagai faktor utama adalah pada kategori reject, berdasarkan kategori reject yang digunakan maka karakteristik kualitas yang digunakan adalah smaller than better dengan asumsi semakin kecil nilai reject-nya maka akan semakin besar kualitasnya.

Pada tabel 5.26 dapat dilihat urutan faktor yang berpengaruh terhadap cacat produk yang terjadi adalah faktor A (pengadukan) memiliki delta terbesar yaitu 3.5, kemudian diurutkan kedua adalah faktor D (pengecekan), kemudian urutan ketiga adalah faktor B (jenis thinner), dan yang memiliki pengaruh terkecil adalah faktor C (perlakuan proses). Dari tabel diatas juga dapat diperoleh setting dengan melihat titik yang lebih rendah karena karakteristik kualitas *smaller the better* atas *effect reject* yang ditimbulkan trial faktor-faktor tersebut. Setting terbaik menurut *effect* ini adalah A₁, D₂, B₂, dan C₁.

Perhitungan ANOVA

Dalam perhitungan tabel dibawah ini, kualitas produk di kategorikan menjadi *accept* dan *reject*.

Tabel 15
Perhitungan Frekuensi Kumulatif

| Trial | A | B | C | D | Frekuensi | | Frekuensi Kum | |
|--------|---|---|---|---|-----------|-----|---------------|------|
| | | | | | I | II | (I) | (II) |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 95 | 5 | 100 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 8 | 92 | 8 | 100 |
| 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 7 | 93 | 7 | 100 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 10 | 90 | 10 | 100 |
| 5 | 2 | 1 | 1 | 2 | 12 | 88 | 12 | 100 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 1 | 14 | 86 | 14 | 100 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 12 | 88 | 12 | 100 |
| 8 | 2 | 2 | 2 | 2 | 6 | 94 | 6 | 100 |
| Jumlah | | | | | 74 | 726 | 74 | 100 |

Adapun langkah-langkah perhitungan ANOVA adalah sebagai berikut:

- Total frekuensi kumulatif untuk setiap kelas (f) adalah:
 $F(I) = 5+8+7+10+12+14+12+6 = 74$
 $F(II) = 100+100+100+100+100+100+100+100 = 800$
- Perhitungan fraksi untuk setiap kelas (p) adalah:
 $pI = fI / f(II) = 74 / 800 = 0.0925$
 $pII = fII / f(II) = 726 / 800 = 0.9075$
- Bobot dari masing-masing kelas (ω) adalah:
 $\omega I = 1 / (pI (1-pI)) = 1 / (0.0925*(1-0.0925))$

$$= 11.9127$$

$$\omega II = 1 / (pII(1-pII)) = 1 / (0.9075*(1-0.9075)) = 11.9127$$

4. Total *Sum of Square Total*(SST) adalah:

$$SST = (total\ number\ of\ measurements) * (number\ of\ classes-1) = 800 (2-1) = 800$$

5. Total derajat kebebasan (v_i) adalah:

$$V_i = (total\ number\ or\ measurements - 1) * (number\ of\ classes - 1) = (800-1) * (2-1) = 799$$

6. *Sum of Square* berdasarkan rata-rata (S_m) adalah:

$$S_m = (fI^2/f(II)) * \omega I = (74^2/800) * 11.9127 = 81.5424$$

7. *Sum of Square* berdasarkan efek tiap faktor (SS) adalah:

$$SSA = (((fI:A1^2 + fI:A2^2) * \omega I) / 4n) - S_m = (((30^2 + 44^2) * 11.9127) / 4*100) - 81.5424 = 2.9186$$

$$SSB = (((fI:B1^2 + fI:B2^2) * \omega I) / 4n) - S_m = (((39^2 + 35^2) * 11.9127) / 4*100) - 81.5424 = 0.2383$$

$$SSC = (((fI:C1^2 + fI:C2^2) * \omega I) / 4n) - S_m = (((36^2 + 38^2) * 11.9127) / 4*100) - 81.5424 = 0.0596$$

$$SSD = (((fI:D1^2 + fI:D2^2) * \omega I) / 4n) - S_m = (((41^2 + 33^2) * 11.9127) / 4*100) - 81.5424 = 0.9530$$

$$SSe = SST - (Total\ SS) = ST - (SSA+SSB+SSC+SSD) = 800 - (2.9186+0.2383+0.0596+0.9530) = 795.8305$$

8. Derajat kebebasan untuk setiap faktor (V) adalah:

$$V_A = (number\ of\ classes-1) * (number\ of\ levels-1) = (2-1) * (2-1) = 1$$

$$V_B = (number\ of\ classes-1) * (number\ of\ levels-1) = (2-1) * (2-1) = 1$$

$$V_C = (number\ of\ classes-1) * (number\ of\ levels-1) = (2-1) * (2-1) = 1$$

$$V_D = (number\ of\ classes-1) * (number\ of\ levels-1)$$

$$= (2-1) \times (2-1) \\ = 1$$

$$V_e = V_T - V_A - V_B - V_C - V_D \\ = 799 - 1 - 1 - 1 - 1 \\ = 795$$

9. Mean Square untuk tiap faktor (MS) adalah:

$$MSA = SSA / VA \\ = 2.9186 / 1 \\ = 2.9186$$

$$MSB = SSB / VB \\ = 0.2383 / 1 \\ = 0.2383$$

$$MSC = SSC / VC \\ = 0.0596 / 1 \\ = 0.0596$$

$$MSD = SSD / VD \\ = 0.9530 / 1 \\ = 0.9530$$

$$MSe = SSe / Ve \\ = 795.8305 / 795 \\ = 1.001$$

10. Perhitungan F-Ratio untuk masing-masing faktor (F) adalah:

$$FA = MSA / MSe \\ = 2.9186 / 1.001 \\ = 2.9157$$

$$FB = MSB / MSe \\ = 0.2383 / 1.001 \\ = 0.2380$$

$$FC = MSC / MSe \\ = 0.0596 / 1.001 \\ = 0.0595$$

$$FD = MSD / MSe \\ = 0.9530 / 1.001 \\ = 0.9520$$

$$Fe = MSe / MSe \\ = 1.001 / 1.001 \\ = 1$$

11. Perhitungan kontribusi untuk masing-masing faktor (ρ) adalah:

$$\rho_A = (SSA / ST) \times 100\% \\ = (2.9186 / 800) \times 100\% \\ = 0.3648\%$$

$$\rho_B = (SSB / ST) \times 100\% \\ = (0.2383 / 800) \times 100\% \\ = 0.03\%$$

$$\rho_C = (SSC / ST) \times 100\% \\ = (0.0596 / 800) \times 100\% \\ = 0.00745\%$$

$$\rho_D = (SSD / ST) \times 100\% \\ = (0.9530 / 800) \times 100\% \\ = 0.12\%$$

$$\rho_e = (SSe / ST) \times 100\% \\ = (795.8305 / 800) \times 100\% \\ = 99.45\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka dapat dibuat tabel ANOVA sebagai berikut:

Tabel 16
Perhitungan Sum Square, Mean Square, F-Ratio, dan Persen Kontribusi

| Faktor | SS | V | MS | F-Ratio | $\rho\%$ |
|--------|----------|-----|--------|---------|----------|
| A | 2,9186 | 1 | 2,9186 | 2,9157 | 0,36% |
| B | 0,2383 | 1 | 0,2383 | 0,238 | 0,03% |
| C | 0,0596 | 1 | 0,0596 | 0,0595 | 0,01% |
| D | 0,953 | 1 | 0,953 | 0,952 | 0,12% |
| Error | 795,8305 | 795 | 1 | 1 | 99,45% |
| ST | 800 | 799 | | | 100% |

Keterangan:

SS = Sum of Square

V = Derajat kebebasan

MS = Means Square

F-Ratio = Random variable distribusi F

$\rho\%$ = Persen kontribusi

12. Pooling parsial I iterasi I

Pada pooling parsial I pooling untuk faktor-faktor dengan MS hitung \leq MS error dari tabel 5.12 faktor yang di pooled adalah faktor B, C, dan D karena memiliki MS hitung \leq 1.001. Langkah selanjutnya adalah menghitung MSerror dan F-Ratio untuk faktor yang tidak di pooled dengan cara yang sama seperti sebelumnya.

A. Pooled factor B

$$SS_{pooled\ I} = SS_{error} + SS_B \\ = 795.8305 + 0.2383 \\ = 796.0688$$

$$V_{pooled\ I} = V_{error} + V_B \\ = 795 + 1 \\ = 796$$

$$MS_{pooled\ I} = SS_{pooled\ I} / V_{pooled\ I} \\ = 796.0688 / 796 \\ = 1$$

Pooled factor C

$$SS_{pooled\ II} = SS_{error} + SS_C \\ = 795.8305 + 0.0596 \\ = 795.8901$$

$$V_{pooled\ II} = V_{error} + V_C \\ = 795 + 1 \\ = 796$$

$$MS_{pooled\ II} = SS_{pooled\ II} / V_{pooled\ II} \\ = 795.8901 / 796 \\ = 0.9998 = 1$$

Pooled factor D

$$SS_{pooled\ III} = SS_{error} + SS_D \\ = 795.8305 + 0.9530 \\ = 796.7835$$

$$V_{pooled\ III} = V_{error} + V_D \\ = 795 + 1 \\ = 796$$

$$MS_{pooled\ III} = SS_{pooled\ III} / V_{pooled\ III}$$

$$= 796.7835 / 796$$

$$= 1.001$$

$$SS^1_A = SS_A - (V_A \times V_eD)$$

$$= 2.9186 - (1 \times 1)$$

$$= 1.9186$$

B. F_Ratio faktor-faktor yang tidak di pooled (F) adalah:

$$FA = MSA / MS_{pooled\ I}$$

$$= 2.9186 / 1$$

$$= 2.9186$$

FA untuk $MS_{pooled\ II}$ dan $MS_{pooled\ III}$ mempunyai hasil yang sama dengan FA diatas yaitu 2.9186.

$$F_{error} = MS_{pooled\ I} / MS_{pooled\ I}$$

$$= 1 / 1$$

$$= 1$$

F_{error} untuk $MS_{pooled\ II}$ dan $MS_{pooled\ III}$ mendapatkan hasil yang sama dengan F_{error} diatas yaitu 1

C. SS^1 faktor-faktor yang tidak di *pool* adalah:

$$SS^1_{pooled} = ST - SS^1_A$$

$$= 800 - 1.9186$$

$$= 798.0814$$

D. Persentase kontribusi yang tidak di pooled (ρ) adalah:

$$\rho_A = (SS^1_A / ST) \times 100\%$$

$$= (1.9186 / 800) \times 100\%$$

$$= 0.24\%$$

$$\rho_{pooled} = (SS^1_{pooled} / ST) \times 100\%$$

$$= (798.0814 / 800) \times 100\%$$

$$= 99.76\%$$

Hasil perhitungan pooling parsial I diatas dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 17

Perhitungan SS, MS, F-Ratio, Dan Persentase Kontribusi Setelah Pooling 1

| Faktor | Pool | SS | v | MS | F-Ratio | SS ¹ | $\rho\%$ |
|--------|------|----------|-----|--------|---------|-----------------|----------|
| A | | 2,9186 | 1 | 2,9186 | 2,9186 | 1,9186 | 0.24% |
| B | P | 0,2383 | 1 | 0,2383 | | | |
| C | P | 0,596 | 1 | 0,0596 | | | |
| D | P | 0,953 | 1 | 0,953 | | | |
| Error | | 795,8305 | 795 | 1.001 | | | |
| Pooled | | 796,0688 | 796 | 1 | 1 | 798,0814 | 99,76% |
| ST | | 800 | 799 | | | 800 | 100% |

Keterangan:

SS = Sum of Square

V = Derajat kebebasan

MS = Means Square

F-Ratio = Random variable distribusi F

$\rho\%$ = Persen kontribusi

P = Faktor yang di pool

Setelah melakukan perhitungan ANOVA, dapat dilakukan pooling parsial I. Pooling dilakukan untuk menggabungkan faktor-faktor yang tidak berpengaruh kedalam error. Adapun syarat pooling I ini adalah $MS_{faktor} \leq MS_{error}$.

Berdasarkan tabel ANOVA, faktor yang di pooling adalah B, C, dan D, dengan di poolednya faktor B, C, dan D dapat diartikan bahwa jenis thinner, perlakuan proses, dan pengecekan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pencapaian karakteristik yang diinginkan. Setelah selesai melakukan perhitungan pada iterasi I, selanjutnya adalah melakukan perhitungan kembali pada iterasi II, dan ternyata sudah tidak ada lagi $MS_{faktor} \leq MS_{error}$, maka pooling parsial I selesai.

13. Pooling Parsial I iterasi II

Pada pooling parsial I iterasi II, pooling dilakukan untuk faktor-faktor dengan $MS_{hitung} \leq MS_{pooled\ I}$, dari tabel diatas tidak ada MS_{hitung} lebih kecil dari $MS_{pooled\ I}$, sehingga tidak ada faktor yang dipooled pada tahap ini.

14. Pooling parsial II iterasi I

Pada tahap ini pooling dilakukan untuk faktor-faktor dengan nilai F hitung $\leq F_{tabel}$ dengan tingkat kepercayaan 95%. Tabel sebaran F untuk $v_1 = 1$ dan $v_2 = 795$, dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0.05$) adalah $F_{0.05;1;795} = 3,84$, berdasarkan nilai statistik F tabel tersebut dapat dilihat bahwa faktor A harus di pooled karena memiliki F hitung $\leq F_{Tabel}$. Namun berdasarkan Tabel 5.13 hanya ada satu faktor, yaitu faktor A yang memiliki F hitung sehingga pooled dihentikan. Hal ini menunjukkan bahwa faktor A berpengaruh signifikan terhadap karakteristik kualitas.

Dari keseluruhan perhitungan ANOVA, didapatkan bahwa faktor A (pengadukan) merupakan faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap karakteristik kualitas yang ingin dicapai. Dengan didapatkan faktor A sebagai faktor yang berpengaruh secara signifikan, maka setting

untuk faktor A (pengadukan) sebagai faktor yang berpengaruh secara signifikan, maka seting untuk faktor A (pengadukan) adalah 900 rpm.

Pemilihan Level Terbaik

Pemilihan level terbaik mengkombinasikan antara perhitungan efek faktor utama dan berdasarkan perhitungan ANOVA, sehingga didapat level terbaik adalah untuk faktor A (pengadukan) adalah 900 rpm, faktor B (jenis thinner) adalah THPU-2713-06, faktor C (perlakuan proses) adalah tangki ditutup, dan faktor D (pengecekan) adalah dengan suhu 30⁰

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, beberapa hal dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Faktor dan subfaktor penyebab ketidak sesuaian spesifikasi produk cat *polyurethane* adalah tenaga kerja (*Man Power*) dengan subfaktor kurang konsentrasi dan kurang terampil. *Mateial* dengan subfaktor penanganan material dan jenis thinner. *Machine* dengan subfaktor mesin kotor. *Method* dengan subfaktor pengecekan dan perlakuan proses. *Environment* dengan subfaktor Cuaca.
2. Faktor yang mempengaruhi hasil viskositas cat *polyurethane* yang tidak sesuai spesifikasi, berdasarkan diagram matriks, ada empat faktor yaitu:
 - Penanganan material
 - Jenis thinner
 - Perlakuan proses
 - Pengecekan
3. Seting dan model pengaturan yang tepat untuk cat *polyurethane* agar di hasilkan viskositas yang sesuai spesifikasi adalah faktor A (pengadukan) adalah 900 rpm, faktor B (jenis thinner) adalah THPU-2713-06, faktor C (perlakuan proses) adalah tangki ditutup, dan faktor D (pengecekan) adalah dengan suhu 30⁰.

| Faktor | Level Terbaik |
|------------------|--------------------------|
| Pengadukan | Diaduk dengan 900rpm |
| Jenis Thinner | Menggunakan THPU-2713-06 |
| Perlakuan Proses | Tangki ditutup |
| Pengecekan | Suhu 30 ⁰ |

Saran

Penelitian menggunakan Metode Taguchi ini masih perlu dikembangkan lebih mendalam, karena penelitian hanya digunakan untuk mendapatkan level terbaik pada *setting* optimal. Selain untuk perbaikan kualitas juga dapat digunakan untuk menganalisis besarnya biaya sebelum dan setelah dilakukannya perbaikan kualitas. Sehingga bisa didapatkan hasil yang

optimal, namun karena keterbatasan waktu dan data yang diperoleh selama penelitian, peneliti hanya mampu menerapkan Metode Taguchi untuk mencari level terbaik dalam perbaikan kualitas.

Daftar Pustaka

Montgomery, Douglas C. "Introduction to Statistical Quality Control 4th Edition". New York: John Willey & Sons, 2001.

Bagchi, Tapan P. "Taguchi Methods Explain: Practical Step to Robust Design". New Delhi: Prentice Hall of India Private Limited, 1993.

Roy, Ranjit. "A Primer on the Taguchi Method". Michigan: American Supplier Institute, 1999.

Ilham, Muhammad N. "Analisa pengendalian Kualitas Dengan Metode SPC". Jurnal Teknik Industri. Vol. 3, No. 1, Mei 2012: 44-65.

Anggoro, Paulus W. "Strategi Pooling Up". Media Statistika, Vol. 5, No. 2, Dec 2012.

Wuryandari, Triastuti. "Metode Taguchi Untuk Optimalisasi Produk Pada Rancangan Faktorial". Media Statistika, Vol. 2, No.2, Dec 2009.

Hartono, Mohamad. "Meningkatkan Mutu Produk Plastik Dengan Metode Taguchi". Jurnal teknik Industri, Vol. 13, No. 1, Feb 2012: 93-100.

Amri, "Analisis Pengendalian Kualitas Produk dengan Metode Taguchi pada CV Setia Kawan". Jurnal Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi IST Akprind, Yogyakarta, 2008.

Erizon, Nelvi. "Implementasi Pendekatan Metode Taguchi terhadap Kualitas Geometrik Hasil Pembubutan Poros Idler". Prosiding Jurnal Konvensi Nasional APTEKINDO VII dan temu karya XVIII FPTK, Bagian IV hal 180-804). 2011.

Waluyo. Budi, Saifudin. "Optimasi Setingan Mesin Pada Penggunaan Gasohol E-15 Dengan Metode Taguchi Untuk Mendapatkan Emisi Co Dan Hc Yang Rendah". Jurnal Seminar Nasional Teknik Mesin 7, Surabaya, Juni 2012.

Afy Damaris, Ricky, Soepangkat, Bobby. “*Optimasi Kuat Tekan Dan Daya Serap Air Dari Batako Yang Menggunakan Bottom Ash Dengan Pendekatan Respon Serentak*”. ITS-Paper under graduate.

Rakasita, Karuniawan. “*Optimasi Parameter Mesin Laser Cutting Terhadap Kekasaran Dan Laju Pemotongan Pada Sus 316l Menggunakan Taguchi Grey Relational Analysis Method*”. Jurnal Teknik Industri Volume XI No. 2, Surabaya, Mei 2016.