



TESIS - BM185407

**PENINGKATAN KUALITAS TRANSFORMATOR
INSTRUMENTASI MENGGUNAKAN METODE
TAGUCHI EXPERIMENT DI PT. XYZ**

ZIYAURROHMAN ALLADANY
09211750014013

Dosen Pembimbing:
Dr. Ir. Mokh Suef, MSc (Eng)

**Departemen Manajemen Teknologi
Fakultas Desain Kreatif Dan Bisnis Digital
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**



TESIS - BM185407

**PENINGKATAN KUALITAS TRANSFORMATOR
INSTRUMENTASI MENGGUNAKAN METODE
TAGUCHI EXPERIMENT DI PT. XYZ**

**ZIYAURROHMAN ALLADANY
09211750014013**

**Dosen Pembimbing:
Dr. Ir. Mokh Suef, MSc (Eng)**

**Departemen Manajemen Teknologi
Fakultas Desain Kreatif Dan Bisnis Digital
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Manajemen Teknologi (M.MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Nama

ZIYAURROHMAN ALLADANY

NRP: 09211750014013

Tanggal Ujian: 3 Juli 2020

Periode Wisuda: September 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. **Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc (Eng)**

NIP: 196506301990031002

Penguji

1. **Prof. Dr. Ir. Suparno, M.S.I.E**

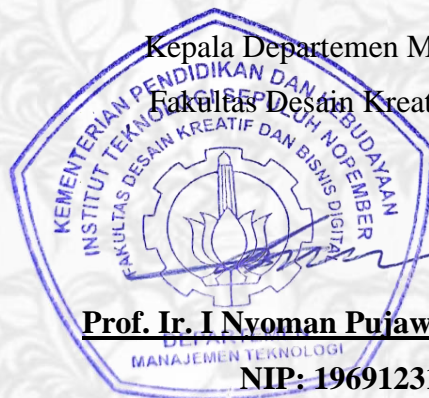
NIP: 194807101976031002

2. **Dr. Ir. Bustanul Arifin Noer, M.Sc**

NIP: 195904301989031001

Kepala Departemen Manajemen Teknologi

Fakultas Desain Kreatif dan Bisnis Digital



Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D, CSCP

NIP: 196912311994121076

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PENINGKATAN KUALITAS TRANSFORMATOR INSTRUMENTASI MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI *EXPERIMENT* DI PT. XYZ

Nama : Ziyaurrohman Alladany
NRP : 09211750014013
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Mokh Suef, MSc (Eng)

ABSTRAK

Pada tahun terakhir ini PT. XYZ terus mengalami peningkatan penjualan produk transformator instrumentasi, seiring dengan bertambahnya permintaan konsumen. Kualitas merupakan hal yang paling penting dalam suatu produk manufaktur. Namun pada rantai produksi PT. XYZ mengalami problem kualitas. Berdasarkan laporan produksi tahun 2018 dari bulan Januari hingga bulan Desember jumlah produk cacat melebihi 2%. Tingginya produk cacat menunjukkan bahwa perlu ada perbaikan pada proses produksi sebagai salah satu bentuk usaha meningkatkan kualitas yang secara berkesinambungan. Namun, untuk mencapai objektif tersebut perusahaan wajib mengetahui faktor kontrol mana yang memberikan pengaruh terhadap peningkatan kualitas pada produk. Penelitian ini dimaksudkan untuk membantu perusahaan dalam memecahkan permasalahan kasus multirespon yang terjadi pada kasus produk cacat transformator instrumentasi, maka akan dilakukan analisis dengan menggunakan Taguchi Experiment yang dikombinasikan dengan metode PCR-TOPSIS untuk meningkatkan kualitas produk. Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan hasil bahwa dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS kondisi optimum dapat dicapai pada pengaturan faktor kontrol suhu oven 110°C, waktu oven 240 menit, suhu mixing 60°C, waktu mixing 130 menit, tekanan clamping 3 bar, dan waktu clamping 20 menit. Dengan menggunakan pengaturan *treatment* optimum dapat dicapai peningkatan kualitas pada setiap respon dengan karakteristik kualitas *larger is better*, dimana peningkatan pada respon *power frequency* naik sebesar 11.11% dan respon *partial discharge* naik sebesar 39.17%.

Kata kunci: *Transformator Instrumentasi, Kualitas, Taguchi Experiment, PCR-TOPSIS, Manufaktur.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

QUALITY IMPROVEMENT OF INSTRUMENT TRANSFORMER USING TAGUCHI EXPERIMENT METHOD IN PT. XYZ

Name : Ziyaurrohman Alladany
NRP : 09211750014013
Supervisor : Dr. Ir. Mokh Suef, MSc (Eng)

ABSTRACT

Up to this year, PT. XYZ has been experienced of increasing sales of instrument transformer products, along with increasing consumer demand. Quality is the most important thing in the manufacturing product. But on the production floor of PT. XYZ faces quality problems. Based on the 2018 production report from January to December the number of defective products is more than 2 %. The high defective products indicate that there needs to be an improvement in the production process as a form of effort to improve quality on an ongoing basis. However, to achieve these objectives the company must know which control factors have an effect on improving the quality of the product. This research is intended to assist companies in solving problems of multiresponse cases that occur in the case of instrumentation transformer defect products, it will be analyzed using Taguchi Experiment combined with the PCR-TOPSIS method to improve product quality. Based on the results of this study, the results obtained that using the PCR-TOPSIS method optimum conditions can be achieved in the oven temperature control factor 110°C, oven time 240 minutes, mixing temperature 60°C, mixing time 130 minutes, clamping pressure 3 bars, and time clamping 20 minutes. By using the optimum treatment settings can be achieved quality improvement in each response with the characteristics of the quality is larger is better, where the increase in power frequency response increases by 11.11% and the response of partial discharge increases by 39.17%.

Keywords: *Transformer Instrument, Quality, Taguchi Experiment, PCR-TOPSIS, Manufacturing Process.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan berkah, rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tesis, Sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun kami dari kebodohan menuju cahaya kebenaran. Penulis mempersembahkan Tesis ini kepada masyarakat Indonesia guna berpartisipasi dalam pengembangan ilmu Manajemen dan Teknologi. Penyusun Tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Alm. H. Iskandar Wahyudin dan Ibu Hj. Aisyah Susyanti yang telah banyak memberikan dukungan dalam segala hal untuk penulis, terutama doa restunya.
2. Bapak Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc (Eng) selaku dosen pembimbing Tesis yang telah membagi ilmu, pengalaman, memberikan bimbingan, wawasan, dan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini.
3. Kepada Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D selaku Kepala Departemen MMT-ITS yang telah memberikan kemudahan sarana dan prasana kepada penulis selama kuliah sampai terselesaikannya Tesis ini.
4. Kepada keluarga MMT-ITS yang telah menemani perjalanan penulis selama menjalani Pendidikan di MMT-ITS.
5. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam penyusunan Laporan ini masih terdapat kesalahan. Mohon kritik dan saran pembaca guna menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga laporan Tesis ini bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juni 2020

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian.....	6
1.4. Batasan Penelitian	7
1.5. Asumsi Penelitian.....	7
1.6. Manfaat Penelitian.....	7
1.7. Sistematika Penulisan.....	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Kualitas.....	9
2.2. Transformator Instrumentasi	10
2.2.1. Jenis-jenis Transformator Instrumentasi	10
2.2.2. Pembuatan Transformator Instrumentasi	14
2.3. Kualitas Transformator Instrumentasi	20
2.4. Peningkatan Kualitas Transformator Instrumentasi	23
2.5. Penentuan Metode Peningkatan Kualitas	24
2.5.1. <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	24
2.5.2. Taguchi.....	25
2.5.3. <i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	29
2.5.4. PCR-TOPSIS	35
2.5.5. <i>Grey Relational Analysis (GRA)</i>	27

2.5.6. Penentuan Metode Optimasi.....	27
2.6. <i>Experimentation</i>	28
2.7. <i>Taguchi Method</i>	28
2.7.1. <i>Orthogonal Array (OA)</i>	29
2.7.2. <i>Taguchi Loss Function</i>	31
2.7.3. <i>Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)</i>	33
2.8. PCR-TOPSIS.....	35
2.9. <i>Analysis of Variance (ANOVA)</i>	33
2.9.1. Persentase Kontribusi.....	40
2.9.2. Interpretasi Hasil <i>Experiment</i>	41
2.9.3. <i>Experiment</i> Konfirmasi.....	42
2.10. Penelitian Terdahulu.....	43
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	44
3.1. Tahap Penelitian.....	44
3.2. Bahan & Peralatan.....	46
3.2.1. Bahan Penelitian.....	46
3.2.2. Peralatan untuk Membantu Proses Assembly Tranformator Instrumentasi.....	47
3.2.3. Peralatan untuk Mengukur Respon.....	47
3.3. Rancangan <i>Experiment</i>	50
3.3.1. Penentuan Faktor Kontrol.....	50
3.3.2. Penentuan Level Faktor.....	51
3.3.3. Pemilihan Matriks Orthogonal.....	51
3.4. Rancangan Pengambilan Data.....	53
3.5. Prosedur <i>Experiment</i>	53
BAB 4 PENGUMPULAN DATA DAN ANALISIS.....	55
4.1. Mengatur Faktor Kontrol <i>Experiment</i>	55
4.2. Data Hasil <i>Experiment</i>	56
4.3. Nilai <i>S/N Ratio</i> Data <i>Experiment</i>	58
4.4. PCR-TOPSIS.....	60
4.5. ANOVA Hasil PCR-TOPSIS.....	66
4.6. Penentuan Kondisi Optimum.....	70
4.7. Interval Keyakinan.....	72

4.8. <i>Experiment</i> Konfirmasi	74
4.9. Perbandingan Respon Antara Hasil Treatment Awal dengan Treatment Optimum	74
BAB 5 KESIMPULAN, IMPLIKASI MANAJERIAL DAN SARAN.....	77
5.1. Kesimpulan.....	77
5.2. Implikasi Manajerial.....	77
5.3. Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	81

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Grafik Persentase <i>Defect</i> Transformator Instrumentasi	3
Gambar 1.2. <i>Pareto Chart</i> of Transformator Instrumentation Defect Factor	4
Gambar 1.3. Gelembung Udara atau <i>Bubble</i> pada Produk	5
Gambar 2.1. Contoh Produk Transformator Instrumentasi.....	10
Gambar 2.2. Transformator Arus	11
Gambar 2.3. Transformator Tegangan	12
Gambar 2.4. Transformator Jenis <i>Ring</i>	12
Gambar 2.5. Transformator Jenis <i>Indoor</i>	13
Gambar 2.6. Transformator Jenis <i>Outdoor</i>	13
Gambar 2.7. Transformator Jenis <i>Oil Immers</i>	13
Gambar 2.8. Flow Diagram Proses Produksi Transformator Instrumentasi	14
Gambar 2.9. Proses <i>Winding Core</i>	15
Gambar 2.10. <i>Sillicon Core</i>	15
Gambar 2.11. Proses <i>Winding Coil Secondary</i>	16
Gambar 2.12. Proses <i>Winding Coil Primary</i>	16
Gambar 2.13. <i>Active Part</i>	17
Gambar 2.14. Proses Oven <i>Active Part</i>	17
Gambar 2.15. Proses <i>Clamping Mould Active Part</i>	18
Gambar 2.16. Proses <i>Mixing Resin</i>	18
Gambar 2.17. Proses <i>Inject Resin</i>	19
Gambar 2.18. Proses <i>Oven</i> Transformator Instrumentasi	19
Gambar 2.19. Proses <i>Testing</i>	20
Gambar 2.20. Karakteristik <i>Nominal is Best</i>	32
Gambar 2.21. Karakteristik <i>Smaller is Better</i>	32
Gambar 2.22. Karakteristik <i>Larger is Better</i>	33
Gambar 2.23. Ilustrasi Konsep <i>S/N Ratio</i>	34
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	45

Gambar 3.2. <i>Active Part</i>	46
Gambar 3.3. <i>Material Mixing Resin</i>	47
Gambar 3.4. <i>Mesin Oven Active Part</i>	47
Gambar 3.5. <i>Mesin Mixing</i>	48
Gambar 3.6. <i>Mesin Clamping</i>	48
Gambar 3.7. <i>Alat Uji Power Frequency</i>	49
Gambar 3.8. <i>Mesin Uji Partial Discharge</i>	49
Gambar 3.9. <i>Perbandingan Pengaruh Faktor Kontrol terhadap Respon</i>	50
Gambar 3.10. <i>Rancangan Experiment Taguchi</i>	52
Gambar 4.1. <i>Main Effect Plot Respon PCR-TOPSIS</i>	71

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Laporan Produksi Transformator Instrumentasi Tahun 2018.....	2
Tabel 2.1. <i>Measurement Accuracy for Current Transformer</i>	20
Tabel 2.2. <i>Measurement Accuracy for Current Transformer</i> untuk Penggunaan Khusus	21
Tabel 2.3. <i>Protection Accuracy for Current Transformer</i>	21
Tabel 2.4. <i>Rated Insulation Level Transformator</i>	23
Tabel 2.5. Rumus untuk <i>Loss Function</i>	33
Tabel 2.6. <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA)	37
Tabel 2.7. Penelitian Terdahulu	43
Tabel 3.1. Pengaturan Level Faktor Kontrol.....	51
Tabel 3.2. Total Derajat Kebebasan dan Level Faktor.....	52
Tabel 4.1. Implementasi Faktor Kontrol <i>Experiment</i> Pada Peralatan	56
Tabel 4.2. Data Hasil <i>Experiment</i>	57
Tabel 4.3. Nilai Rasio S/N Masing-masing Respon	59
Tabel 4.4. <i>PCR-SNR</i> dari respon <i>Power Frequency</i> , dan <i>Partial Discharge</i>	62
Tabel 4.5. Solusi Ideal Positif dan Solusi Ideal Negatif	64
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan PCR-TOPSIS.....	65
Tabel 4.7. <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) dari hasil <i>PCR-TOPSIS</i>	66
Tabel 4.8. Persentase Kontribusi untuk PCR-TOPSIS	66
Tabel 4.9. Nilai <i>Mean</i> Setiap Level	71
Tabel 4.10. Nilai Prediksi Optimal untuk Setiap Respon	72
Tabel 4.11. Kombinasi Faktor Kontrol untuk Treatment Awal dan Treatment Optimum.....	72
Tabel 4.12. Data Hasil Experiment Konfirmasi Kondisi Optimum.....	74
Tabel 4.13. Nilai Solusi Ideal Positif, Solusi Ideal Negatif dan PCR-TOPSIS	74
Tabel 4.14. Perbandingan Respon Treatment Awal dengan Treatment Optimum	75

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Kemajuan era industri saat ini telah berkembang pesat diseluruh dunia dan tidak terkecuali di Indonesia. Kemajuan teknologi juga menghasilkan produk-produk inovatif yang terus berkembang yang membutuhkan konsumsi energi listrik, seiring dengan peningkatan elektrifikasi, dan pertumbuhan ekonomi serta perubahan gaya hidup masyarakat. Selain itu jumlah populasi di Indonesia semakin tahun semakin bertambah, hal ini berdampak meningkatkan jumlah rumah penduduk maupun gedung-gedung perkantoran hingga pusat industri maupun perbelanjaan yang dapat mempengaruhi tingkat kebutuhan energi listrik di Indonesia, jumlah kebutuhan energi listrik juga perlu didukung oleh sistem jaringan listrik yang luas.

Kebutuhan energi listrik selain perlu didukung oleh sistem jaringan listrik juga perlu adanya sistem distribusi listrik untuk mengintegrasikan energi listrik dari pembangkit listrik hingga konsumen akhir atau masyarakat, untuk membantu integrasi sistem kelistrikan di Indonesia dibutuhkan perangkat-perangkat listrik yang handal.

PT. XYZ merupakan salah satu perusahaan manufaktur di Indonesia yang bergerak dalam bidang kelistrikan yang menghasilkan produk kelistrikan berupa transformator dan *utility* kelistrikan yang mampu menyediakan salah satu solusi dalam memenuhi jaringan dan distribusi listrik Indonesia.

Produk yang dihasilkan perusahaan memiliki beberapa macam tipe produk diantaranya yaitu *power transformer*, *distribution transformer* dan *instrument transformer*. Produk dijual untuk pasar dalam dan hingga luar negeri. Permintaan dan penjualan produk yang semakin meningkat setiap tahunnya baik dalam dan luar negeri, berdampak signifikan pada jumlah produksi transformator.

Semua jenis *purchase order* yang dilakukan di PT. XYZ adalah *make to order*, dimana semua produk yang dihasilkan perusahaan disesuaikan dengan spesifikasi permintaan *customer*. Semua produk memiliki spesifikasi, harga, dan

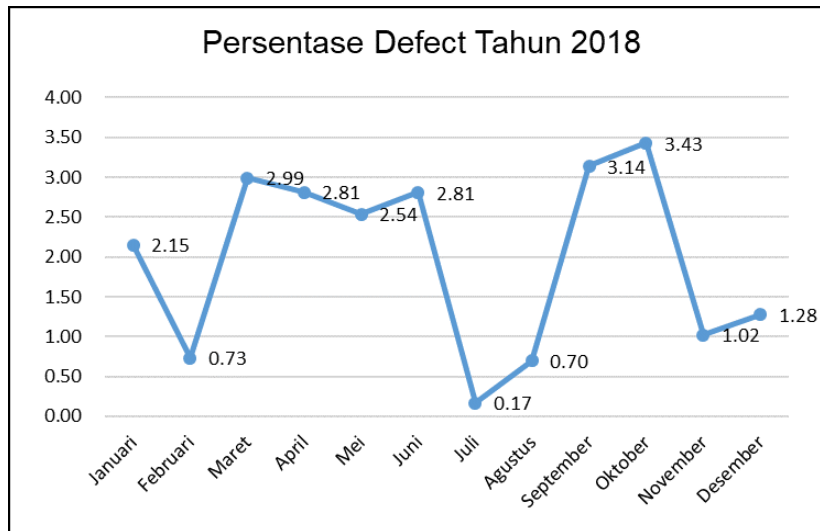
waktu penyerahan yang berbeda-beda berdasarkan kesepakatan antara kedua belah pihak.

Bertambahnya jumlah produk yang dijual dapat meningkatkan jumlah *value* yang diperoleh perusahaan, baik yang bersifat finansial maupun non finansial. Namun disisi lain dalam proses produksi di PT. XYZ masih mengalami permasalahan kualitas pada salah satu produknya yaitu transformator instrumentasi. Permasalahan kualitas yang terjadi dapat menimbulkan kerugian bagi perusahaan, kerugian itu berupa penggantian bahan baku material, waktu produksi, waktu kerja karyawan, serta sumber daya lain yang terbuang sia-sia, kerugian tersebut dapat menurunkan profit yang akan diperoleh perusahaan. Tabel 1.1. berikut merupakan laporan produksi transformator instrumentasi dari PT. XYZ selama periode tahun 2018.

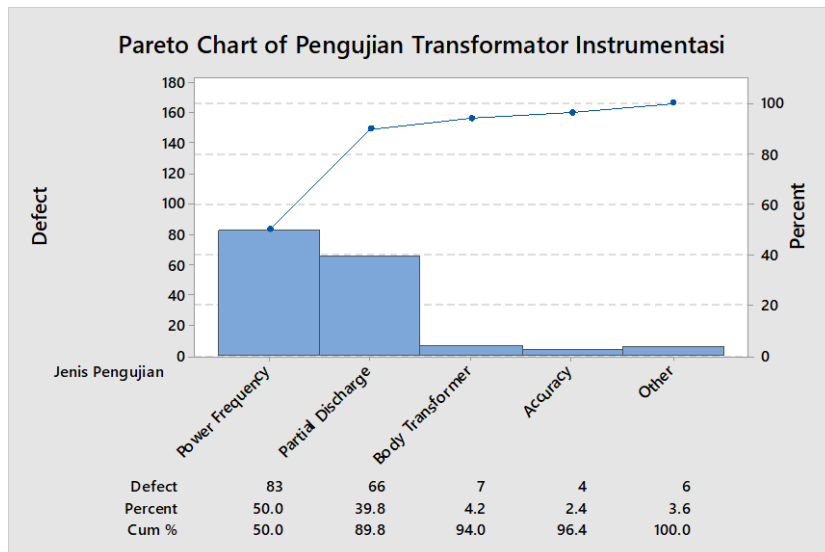
Tabel 1.1. Laporan Produksi Transformator Instrumentasi Tahun 2018

No	Bulan	Produk Lolos Uji	Produk Gagal Uji	Jenis Kegagalan										Prosentase Produk Gagal (%)	
				Electric						Visual					
				TTR	Megger	Power Frequency	Partial Discharge	Inner Turn/Induce	DC Resistance	Accuracy	Body Transformer	Aksesoris	Dimensi		Koneksi
1	Januari	465	10	1	0	4	18	0	0	1	6	0	0	0	2.15
2	Februari	681	5	0	0	10	9	0	0	0	5	1	0	0	0.73
3	Maret	970	29	0	0	13	31	2	0	2	1	0	0	0	2.99
4	April	605	17	6	0	12	18	0	0	0	1	0	0	0	2.81
5	Mei	749	19	0	0	17	13	1	0	1	7	0	0	0	2.54
6	Juni	534	15	0	0	25	7	0	0	0	3	0	0	0	2.81
7	Juli	593	1	2	0	7	5	0	0	0	2	0	0	0	0.17
8	Agustus	714	5	5	1	10	9	0	0	0	0	0	0	0	0.70
9	September	637	20	1	0	17	20	0	0	2	0	0	0	0	3.14
10	Oktober	875	30	0	0	35	12	0	0	3	0	0	0	0	3.43
11	November	685	7	2	0	11	4	0	0	0	2	8	0	0	1.02
12	Desember	626	8	0	0	18	8	0	0	1	1	0	0	0	1.28
Total		8134	166	17	1	179	154	3	0	10	28	9	0	0	2.00
Total Produksi		8300													

Berdasarkan Tabel 1.1. data hasil laporan produksi tahun 2018 dari bulan Januari hingga bulan Desember produk transformator instrumentasi dengan total produksi 8300 unit terdapat 166 unit produk gagal. Pada Gambar 1.1. persentase kegagalan tertinggi yaitu sebesar 3,43% pada bulan Juni dan terendah sebesar 0,17% pada bulan Juli, sedangkan persentase rata-rata kegagalan selama satu tahun yaitu sebesar 2,00%. Terdapat 11 faktor penentu kualitas yang diterapkan pada produksi Transformator Instrumentasi, dimana terbagi menjadi 2 jenis pengujian yaitu pengujian secara elektrik dan pengujian secara visual, berdasarkan hasil rekapitulasi jumlah produk yang tidak lolos uji terbanyak yaitu pada pengujian *Power Frequency* sebanyak 83 unit dan jumlah terendah pada pengujian *Inner Turn/Induce* sebanyak 1 unit.



Gambar 1.1. Grafik Persentase *Defect* Transformator Instrumentasi Tahun 2018



Gambar 1.2. *Pareto Chart of Transformator Instrumentation Defect Factor*

Berdasarkan Gambar 1.2. grafik *pareto chart* menunjukkan bahwa faktor tertinggi penyumbang produk cacat pada produksi Transformator Instrumentasi yaitu pada gagalnya pengujian *Power Frequency* dan *Partial Discharge*.

Berdasarkan hasil parameter tertinggi penyumbang produk cacat tersebut, maka pada penelitian ini difokuskan menyelesaikan penyebab timbulnya masalah produk cacat pada pengujian *Power Frequency*. Akibat produk cacat perusahaan menderita kerugian kerugian material dalam satu tahun setidaknya mencapai Rp. 400.000.000,-.

Penyebab gagalnya pengujian *Power Frequency* disebabkan adanya *bubble* atau gelembung udara serta retakan didalam transformator instrumentasi yang mengakibatkan tingkat isolasi atau proteksi pada transformator instrumentasi menjadi tidak baik. Terjadinya *bubble* atau gelembung udara seperti Gambar 1.3 disebabkan tidak meratanya hasil pada proses *casting* sehingga pada saat pengujian *power frequency* terjadi kegagalan sehingga produk dianggap adalah produk cacat.



Gambar 1.3. Gelembung Udara atau *Bubble* pada Produk

Dari hasil *interview* dan observasi ditemukan beberapa faktor yang berpotensi menimbulkan *bubble* atau gelembung udara pada transformator instrumentasi sehingga berpengaruh terhadap pengujian transformator instrumentasi, diantaranya yaitu suhu *oven*, waktu *oven*, suhu *mixing*, waktu *mixing*, tekanan *clamping*, dan waktu *clamping*.

Daya saing dalam bisnis merupakan kunci keberhasilan. Perusahaan yang kompetitif akan lebih mudah menguasai dan mempertahankan posisi pasarnya, terutama menjaga standar dan kualitas produk. Sebagai salah satu usaha perusahaan mewujudkan upaya perbaikan kualitas dalam proses operasional perusahaan.

Transformator instrumentasi terdiri dari bahan baku utama yaitu *Copper*, *Cold rolled silicon steel*, dan Resin. Secara umum proses produksi terbagi menjadi beberapa tahap yang pertama desain, kedua penggulangan *core*, ketiga proses *assembly*, keempat proses *casting*, dan kelima proses *testing*. Semua desain produk ditentukan oleh *customer*. Proses *casting* memiliki peranan sangat penting selama proses produksi, yang mana menjadi penentu gagal tidaknya produk. Dalam proses *casting* juga memiliki tahap-tahapan yang lebih spesifik yang perlu menjadi catatan.

Dampak yang ditimbulkan oleh produk cacat cukup banyak diantaranya kerugian material, sumber daya, waktu pengiriman, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, penelitian ini akan meningkatkan kualitas produk transformator instrumentasi menggunakan metode Taguchi *Experiment* yang dioptimalkan dengan metode PCR-TOPSIS pada rantai produksi PT. XYZ, dengan target produk cacat maksimal dalam periode satu tahun yaitu sebesar 0,75%, dengan harapan dapat membantu perusahaan menurunkan jumlah *waste* dan menurunkan biaya

produksi, serta meningkatkan efektifitas tenaga kerja dan efisiensi waktu proses produksi menjadi cepat dan tepat sehingga meningkatkan kepuasan *customer*.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan yaitu:

1. Apakah faktor proses suhu *oven*, waktu *oven*, suhu *mixing*, waktu *mixing*, tekanan *clamping*, dan waktu *clamping* mempunyai kontribusi dalam mengurangi variansi kualitas *power frequency*, dan *partial discharge* transformator instrumentasi.
2. Bagaimana pengaturan faktor proses suhu *oven*, waktu *oven*, suhu *mixing*, waktu *mixing*, tekanan *clamping*, dan waktu *clamping* dapat memaksimalkan kualitas *power frequency*, dan *partial discharge* transformator instrumentasi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap kualitas *power frequency*, dan *partial discharge* transformator instrumentasi.
2. Menentukan pengaturan faktor yang tepat pada proses casting agar dapat meningkatkan kualitas *power frequency* dan *partial discharge* transformator instrumentasi.

1.4 Batasan Masalah

Dalam mencapai tujuan untuk mereduksi aktivitas pemborosan terdapat batasan dalam penelitian ini yaitu:

1. Desain produk dan sifat-sifat bahan baku material tidak dibahas.
2. Penelitian ini dibatasi pada produk transformator instrumentasi tipe *indoor*.
3. *Active part* dari transformator instrumentasi tidak dibahas.
4. Operator yang mengoperasikan mesin selama penelitian tidak dibahas.
5. Hasil produksi dari proses penentuan *oven*, *mixing*, dan *clamping*.

1.5 Asumsi Penelitian

Adapun asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Mesin pada proses mixing yang digunakan dianggap memenuhi persyaratan operasional.
2. Campuran material bahan baku yang digunakan bersifat homogen dan tetap.
3. Faktor manusia dan lingkungan sekitar tidak berpengaruh.

1.6 Manfaat Penelitian

Berdasarkan pada tujuan penelitian, maka manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Bagi manajemen PT. XYZ dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan pengambilan keputusan dalam menentukan faktor-faktor mesin agar dapat menghasilkan produk yang *robust*, dan mengurangi jumlah produk cacat sehingga dapat meningkatkan produktivitas dan meningkatkan profit perusahaan.
2. Bagi khalayak umum, dapat digunakan sebagai dasar pengembangan penelitian selanjutnya mengenai strategi yang tepat dalam peningkatan kualitas produk.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan proposal penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan batasan penelitian dan asumsi.

BAB II Dasar Teori

Bab ini berisi informasi dan teori-teori ilmiah yang mendukung penelitian, berasal dari studi dan tinjauan pustaka dari berbagai macam referensi dan literatur.

BAB III Metode Penelitian

Bab ini berisi tentang alur penelitian, metode pengumpulan data, pengolahan data dan langkah-langkah pemecahan masalah dalam menjawab permasalahan yang dirumuskan.

BAB IV Pengumpulan Data dan Analisis

Bab ini berisi metode pengumpulan data, pengolahan data yang telah dikumpulkan serta hasilnya digunakan dalam pembahasan pemecahan permasalahan yang terjadi dan penerapan metode yang digunakan.

BAB V Kesimpulan, Implikasi Manajerial dan Saran

Bab ini berisi uraian mengenai hasil akhir penelitian dari hasil analisa, implikasi manajerial untuk perusahaan dan saran-saran untuk pengembangan penelitian yang lebih lanjut.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kualitas

Kualitas atau mutu menurut (Irawan, 2004) merupakan salah satu indikator kepuasan pelanggan yang banyak digunakan dalam perusahaan. Kepuasan pelanggan menurut (Kandampully, Mok and Sparks, 2008) sangat berpengaruh bagi setiap organisasi, baik sektor *manufacture* maupun *service* terhadap keberhasilan perusahaan. Sebuah perusahaan seharusnya dapat mengetahui arti atau definisi dari kualitas.

Kualitas memiliki banyak definisi seperti yang dikemukakan oleh pakar *Total Quality Management (TQM)*, diantaranya yaitu: menurut (Juran and Godfrey, 1999) kualitas adalah kecocokan penggunaan produk (*fitness for use*) untuk memenuhi kebutuhan dan kepuasan pelanggan. Menurut (Crosby, 1979) kualitas adalah *conformance to requirement*, yaitu sesuai dengan yang disyaratkan atau distandarkan. Suatu produk memiliki kualitas apabila sesuai dengan standar kualitas yang telah ditentukan. Standar kualitas meliputi bahan baku, proses produksi, dan produk jadi. Menurut (Deming, 2000) kualitas adalah kesesuaian dengan kebutuhan pasar atau konsumen, dimana perusahaan harus benar dapat memahami apa yang dibutuhkan konsumen atau suatu produk yang dihasilkan. Menurut (Feigenbaum, 1991) kualitas adalah sesuatu yang perlu dilakukan terhadap kombinasi karakteristik rekayasa dan manufaktur produk yang menentukan tingkat dimana produk dapat memenuhi ekspektasi pelanggan. Menurut (Garvin, 1994) kualitas adalah suatu kondisi dinamis yang berhubungan dengan produk, manusia, tenaga kerja, proses, dan tugas, serta lingkungan yang memenuhi atau melebihi harapan pelanggan atau konsumen. Menurut (Taguchi, 1986) kualitas merupakan kerugian yang ditimbulkan oleh produk terhadap konsumen setelah produk dikirimkan, terpisah dari kerugian-kerugian lain yang disebabkan fungsi internal. Definisi Taguchi terhadap kualitas berbeda dengan definisi pada umumnya.

Kerugian yang dimaksud dapat disebabkan oleh variabilitas fungsi, atau dari efek samping berbahaya.

Berdasarkan dari definisi tersebut memiliki beberapa persamaan, yaitu sebagai berikut:

- a. Kualitas adalah usaha untuk memenuhi atau melebihi harapan pelanggan.
- b. Kualitas merupakan kondisi yang dinamis atau selalu berubah.
- c. Kualitas mencakup produk tenaga kerja, proses, dan lingkungan.

2.2 Transformator Instrumentasi

Transformator instrumentasi merupakan suatu peralatan listrik yang digunakan sebagai perangkat instrumen atau aksesoris yang berfungsi sebagai perangkat pengukuran dan atau perangkat proteksi, yang pada umumnya digunakan pada transformator distribusi, transformator *power*, dan kubikel maupun peralatan listrik lainnya yang membutuhkan peralatan instrumen. Gambar 2.1 merupakan salah satu produk transformator instrumentasi.



Gambar 2.1. Contoh Produk Transformator Instrumentasi

2.2.1 Jenis-jenis Transformator Instrumentasi

Transformator instrumentasi yang diproduksi PT. XYZ terbagi menjadi 2 jenis yaitu pertama Transformator Arus, dan kedua Transformator Tegangan.

1. Transformator arus dikelompokkan menjadi dua kelompok dasar yaitu, transformator arus metering dan transformator arus proteksi. Gambar 2.2 merupakan produk transformator instrumentasi berjenis transformator arus.



Gambar 2.2. Transformator Arus

- a. Transformator arus metering merupakan transformator pengukuran yang digunakan untuk metering yang memiliki ketelitian tinggi pada daerah kerja antara 5% hingga 120%, dari arus nominalnya.
 - b. Transformator arus proteksi merupakan transformator proteksi yang bekerja hingga ketelitian arus yang besar, yaitu ketika terjadi gangguan arus dimana arus yang mengalir beberapa kali hingga melebihi arus nominalnya, dan transformator arus proteksi memiliki tingkat kejenuhan yang tinggi.
2. Transformator tegangan dikelompokkan menjadi 2 jenis, yaitu transformator magnetik (*magnetic voltage transformer/VT*) atau transformator tegangan induktif, dan transformator tegangan kapasitif (*capacitive voltage transformer/CVT*). Gambar 2.3 merupakan produk transformator instrumentasi berjenis transformator tegangan.



Gambar 2.3. Transformator Tegangan

- a. Transformator tegangan induktif merupakan transformator yang terdiri dari belitan dan belitan sekunder dengan prinsip kerja tegangan masukan pada belitan primer akan menginduksikan tegangan ke belitan sekunder.

b. Transformator tegangan kapasitif merupakan transformator yang berfungsi sebagai pembagi tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan menengah pada primer, dan kemudian diinduksikan ke belitan sekunder.

Kedua jenis transformator instrumentasi juga diklasifikasi berdasarkan kondisi penggunaannya yaitu sebagai berikut:

1. Jenis *Ring*

Jenis *ring* digunakan untuk kondisi pemakaian berada diluar atau didalam ruangan dimana pemasangannya dapat diatur pada *bushing* transformator distribusi. Produk transformator instrumentasi jenis ring ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4. Transformator Jenis *Ring*

2. Jenis *Indoor*

Jenis *indoor* digunakan untuk kondisi pemakaian yang didesain hanya dapat dipakai didalam ruangan atau didalam panel listrik yang aman dari paparan kondisi cuaca. Produk transformator instrumentasi jenis *indoor* ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5. Transformator Jenis *Indoor*

3. Jenis *Outdoor*

Jenis *outdoor* digunakan untuk kondisi pemakaian yang didesain untuk dipakai berada diluar ruangan yang dapat terpapar cuaca. Produk transformator instrumentasi jenis *outdoor* ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6. Transformator Jenis Outdoor

4. Jenis *Oil Immers*

Jenis *oil immers* didesain untuk penggunaan pada akar *bushing* transformator, dimana kondisi pemasangannya tercelup oleh oli atau minyak, dan berada didalam tank transformator *power* atau transformator distribusi. Produk transformator instrumentasi jenis *oil immers* ditunjukkan pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7. Transformator Jenis *Oil Immers*

Berdasarkan jenis aplikasi transformator instrumentasi dibedakan menjadi tiga yaitu:

1. Metering
2. Proteksi
3. Metering dan Proteksi

Produk PT. XYZ memiliki tiga standar yang menjadi acuan yang biasanya ditentukan oleh pabrik pembuat dan atau pemesan produk, yang mana standar yang dipakai diantaranya yaitu:

1. SPLN D3.014 1 2009 dan SPLN D3.014 2 2010

Standar ini ditunjukkan untuk produk-produk yang dipakai oleh Perusahaan Listrik Negara atau untuk produk dengan spesifikasi standar nasional.

2. IEC 60044-1 dan IEC 60044-2

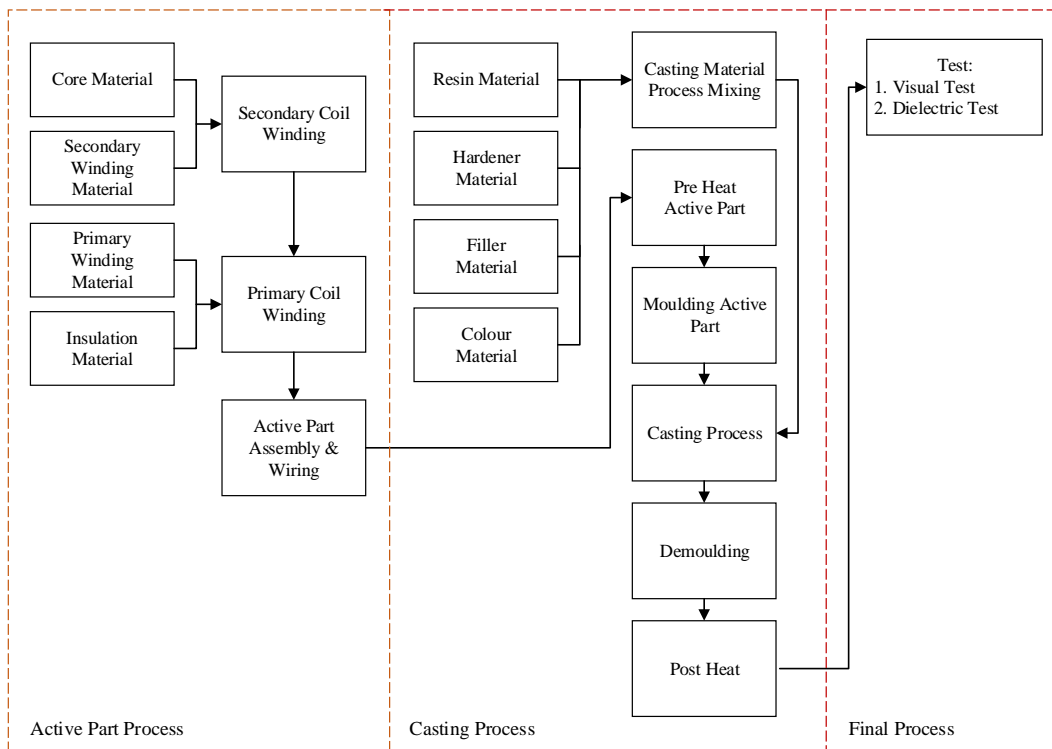
Standar ini ditunjukkan untuk produk-produk dengan spesifikasi standar internasional.

3. ANSI C.57.13

Standar ini ditunjukkan untuk produk-produk dengan spesifikasi standar internasional.

2.2.2 Pembuatan Transformator Instrumentasi

Proses pembuatan transformator instrumentasi pada rantai produksi secara umum baik transformator arus maupun transformator tegangan terdapat beberapa tahap penting yang dapat menentukan kualitas transformator instrumentasi, proses produksi transformator instrumentasi digambarkan pada Gambar 2.8 berikut:



Gambar 2.8. *Flow Diagram* Proses Produksi Transformator Instrumentasi

Secara garis besar langkah-langkah dari proses pembuatan transformator instrumentasi dijelaskan sebagai berikut:

a. *Core Material*

Proses ini merupakan pembuatan *core* transformator instrumentasi dari bahan baku material *mother silicon* yang dipotong menjadi kecil dan digulung seperti Gambar 2.9 berdasarkan dengan desain, *core* dibentuk menyerupai cincin atau persegi panjang.



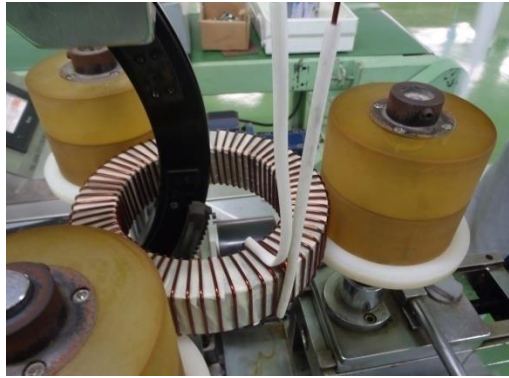
Gambar 2.9. Proses *Winding Core*



Gambar 2.10. Silicon Core

b. *Winding Coil*

Proses *winding* terdiri dari menjadi dua bagian proses, pertama yaitu *winding coil secondary* dan kedua *winding coil primary*. Proses *winding coil primary* pada Gambar 2.11 merupakan penggulangan konduktor kedalam *core* menggunakan material tembaga. Jumlah gulungan atau lilitan konduktor ditentukan berdasarkan desain.



Gambar 2.11. Proses *Winding Coil Secondary*

Sedangkan proses *winding coil primary* pada Gambar 2.12 merupakan penggulungan material konduktor primer ke dalam.

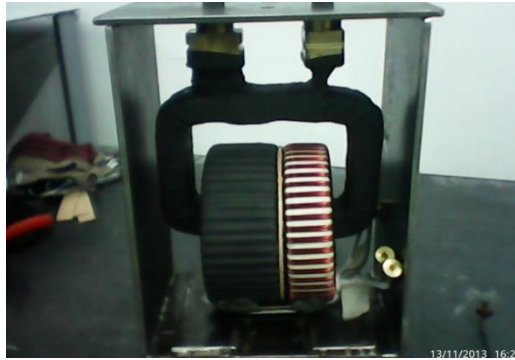


Gambar 2.12. Proses *Winding Coil Primary*

c. *Active Part Assembly*

Perakitan merupakan proses pemasangan material-material tambahan seperti pemasangan terminal, isolator, dan pemasangan *active part* kedalam *frame mould* sebelum proses *casting*.

Active part merupakan komponen inti dalam transformator instrumentasi yang terdiri dari *secondary winding* dan *primary primary* yang siap untuk dilakukan proses *oven* dan dilanjutkan pada proses *casting*. Gambar 2.13 merupakan proses *assembly* dari *active part*.



Gambar 2.13. *Active Part*

d. *Pre Heat (Oven Active Part)*

Oven dilakukan untuk menghilangkan kadar air pada material *active part*, yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan isolasi pada transformator, proses oven dilakukan selama 60 menit dengan suhu $120^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$. Gambar 2.14 merupakan proses *oven active part* sebelum dilakukan proses selanjutnya.



Gambar 2.14. Proses Oven *Active Part*

e. *Clamping*

Proses *clamping* merupakan proses pemasangan mould dan *active part* ke dalam mesin *clamping* selama proses *injection resin*. Gambar 2.15 merupakan proses *clamping* transformator instrument.



Gambar 2.15. Proses *Clamping Mould Active Part*

f. *Mixing Resin*

Proses mixing dilakukan dengan mencampurkan beberapa bahan baku yaitu hardener, fillersilver, ressin, dan colour menggunakan mesin *mixer* selama 100 menit dengan suhu 45 derajat. Proses *mixing* resin ditunjukkan pada Gambar 2.16 berikut.



Gambar 2.16. Proses Mixing Resin

g. *Inject Resin*

Proses *inject* dilakukan dengan memasukkan campuran adonan resin dari *pressure pot* melalui selang ke dalam mesin *clamping*, dengan tekanan udara di *pressure pot* sebesar 2,5 – 3,5 bar selama 15 menit. Gambar 2.17 berikut merupakan proses *inject* resin.



Gambar 2.17. Proses *Inject Resin*

h. *Post Heat*

Proses *oven* dilakukan kembali pada tahap ini untuk memperkuat hasil *casting* agar tidak *crack* setelah proses *casting*. Proses oven transformator instrument ditunjukkan pada Gambar 2.18 berikut.



Gambar 2.18. Proses *Oven* Transformator Instrumentasi

i. *Testing*

Testing dilakukan setelah proses *casting* bertujuan untuk mengetahui produk yang dihasilkan telah sesuai dengan spesifikasi atau tidak. Proses *testing* transformator instrumentasi ditunjukkan pada Gambar 2.19 berikut.



Gambar 2.19. Proses *Testing*

j. *Assembly* Aksesoris

Assembly aksesoris merupakan tahap final dalam proses produksi, dimana pada tahap ini dilakukan pemasangan aksesoris transformator instrumentasi seperti baut, cover terminal, *nameplate*, dan *test report*.

2.3 Kualitas Transformator Instrumentasi

Kualitas pada transformator instrumentasi terdapat beberapa faktor yang menjadi acuan, yaitu:

1. *Accuracy*

Nilai *accuracy* merupakan faktor utama kualitas dari produk transformator instrumentasi, karena pada dasarnya transformator instrumentasi merupakan perangkat pembantu alat ukur pada penggunaan suatu peralatan, dimana memiliki fungsi sebagai peralatan metering dan atau proteksi. Pada spesifikasi transformator instrumentasi terdapat nilai-nilai *accuracy* yang sudah distandarkan oleh lembaga kelistrikan dunia dan sudah menjadi standar internasional, dan nilai tersebut merupakan target kualitas produk ini.

Berdasarkan *international standard* transformator instrumentasi arus yang dikeluarkan oleh (IEC, 2000) dengan kode standar IEC 60044-1 terdapat standar spesifikasi *accuracy* yang harus dipenuhi oleh pabrik pembuat transformator instrumentasi, diantaranya ditunjukkan pada Tabel 2.1. merupakan tabel *accuracy class* untuk transformator instrumentasi jenis metering dengan penggunaan normal. Sedangkan Tabel 2.2. merupakan tabel *accuracy class* untuk transformator instrumentasi jenis metering dengan penggunaan khusus. *Accuracy class* Tabel 2.2.

memiliki *nilai accuracy* lebih baik dari Tabel 2.1., yang biasanya penggunaan *class accuracy* pada Tabel 2.2. ditunjukkan untuk *metering* alat ukur yang membutuhkan ketelitian dari nilai *accuracy* yang baik.

Tabel 2.1. *Measurement Accuracy for Current Transformer*

Accuracy Class	± Percentage current (ratio) error at percentage of rated current shown below			
	5	20	100	120
0.1	0.4	0.2	0.1	0.1
0.2	0.75	0.35	0.2	0.2
0.5	1.5	0.75	0.5	0.5
1.0	3.0	1.5	1.0	1.0

Tabel 2.2. *Measurement Accuracy for Current Transformer untuk Penggunaan Khusus*

Accuracy Class	± Percentage current (ratio) error at percentage of rated current shown below				
	1	5	20	100	120
0.2 S	0.75	0.35	0.2	0.2	0.2
0.5 S	1.5	0.75	0.5	0.5	0.5

Tabel 2.3. *Protection Accuracy for Current Transformer*

Accuracy Class	Current error at rated primary current %
5P	± 1
10P	± 3

Tabel 2.3. merupakan *accuracy class* untuk transformator instrumentasi jenis proteksi, dimana penggunaannya sebagai alat bantu untuk proteksi peralatan-peralatan listrik yang vital dan perlu proteksi ketika terjadi gangguan.

Nilai *accuracy* pada proses produksi transformator instrumentasi dapat diukur pada proses *assembly* dan proses *testing*. Nilai *accuracy* diukur menggunakan alat ukur Omicron, yang bertujuan untuk mengkalibrasi produk dengan desain, apakah desain dengan produk sudah sesuai spesifikasi atau tidak. Nilai *accuracy* jika berada diluar standar pada proses *assembly* maka dilakukan perbaikan pada proses *winding*, sedangkan jika nilai *accuracy* pada proses *testing*

maka dilakukan penggantian desain transformator secara keseluruhan agar nilai *accuracy* tercapai.

2. *Casting* dan Proteksi

Kualitas fisik produk ditentukan dari hasil proses *casting* atau proses pengecoran. Proses *casting* memiliki tujuan sebagai *insulator* luar transformator instrumentasi yang dapat mempengaruhi ketangguhan proteksi.

Menurut (Harty and Ogston, 1995) proses *casting* terbagi menjadi dua metode, yaitu *casting* tradisional dan *casting* kontemporer.

a. Metode tradisional

1. *Sand-Mold Casting*
2. *Dry-Sand Casting*
3. *Shell-Mold Casting*
4. *Full-Mold Casting*
5. *Cement-Mold Casting*

b. Metode kontemporer

1. *High-Pressure Die Casting*
2. *Permanent-Mold Casting*
3. *Centrifugal Casting*
4. *Plaster-Mold Casting*
5. *Investment Casting*
6. *Solid-Ceramic Casting*

Pembuatan transformator instrumentasi menggunakan metode *High-Pressure Die Casting* yaitu metode pengecoran dengan cara menginjeksikan cairan resin ke dalam *mould* dengan tekanan dan waktu tertentu menggunakan alat *pressure pot*. Namun pada proses pengecoran terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengecoran sehingga perlu menjadi perhatian lebih pada proses produksi.

Hasil kualitas *casting* yang tidak sempurna seperti timbulnya *bubble* atau *crack* dalam transformator instrumentasi dapat menurunkan tingkat isolasi, sehingga mengakibatkan gagalnya proteksi dan berujung cacat produk.

Proteksi merupakan salah satu kriteria kualitas transformator instrumentasi terkait isolasi yang dipakai pada proses produksi. Isolator transformator

instrumentasi terdiri dari beberapa material yang digunakan seperti *insulation papper, isolator tube, cotton band, cork rubber*, dan *ressin*. Fungsi isolator pada transformator yaitu sebagai standar keamanan pada pemakaian dengan kondisi normal maupun kondisi pemakaian puncak.

Pengujian proteksi dilakukan pada proses *testing* dengan cara melakukan *injection* tegangan tertentu kepada transformator instrumentasi dengan waktu 60 detik, bertujuan menguji apakah proteksi sudah pada kondisi sempurna sesuai dengan spesifikasi dari desain. Tingkat proteksi suatu transformator instrumentasi berdasarkan nilai rating tegangan peralatannya, semakin tinggi nilai rating terganggan maka tingkat isolator yang dipakai menjadi lebih banyak.

Tabel 2.4. *Rated Insulation Level* Transformator

High volatage for Equipment Um (r.m.s) kV	Rated power-frequency withstand voltage (r.m.s) kV	Rated Lighting impuls withstand voltage (peak) kV
0.72	3	-
1.2	6	-
3.6	10	20
7.2	20	40
12	28	40
17.5	38	60
24	50	75
36	70	95

Tabel 2.4. menjadi penting pada semua jenis transformator karena faktor rating isolator bertujuan untuk melindungi perangkat elektrik didalam transformator pada saat kondisi bekerja dan kondisi puncak, isolator yang dipakai mampu menahan efek-efek elektrik dari jaringan listrik dan melindungi pengguna pada saat transformator bekerja.

2.4 Peningkatan Kualitas Transformator Instrumentasi

Peningkatan kualitas produksi Transformator Instrumentasi perlu dilakukan, berdasarkan laporan produksi Tahun 2018 menunjukkan bahwa tingkat kegagalan uji *Power Frequency* masih tinggi, diakibatkan karena tingkat proteksi transformator yang dihasilkan buruk. Kegagalan proteksi pada uji *power frequency*

karena kualitas hasil *casting* yang rendah, dimana banyak ditemukan *bubble* didalam *body* resin sehingga menurunkan tingkat isolasi transformator.

Salah satu upaya peningkatan kualitas pada produk Transformator Instrumentasi yaitu dengan meningkatkan kualitas pada proses *casting* melalui tiga tahapan yaitu:

a. Tahap Perancangan Sistem

Merupakan tahap perancangan konseptual yang dilakukan saat perancangan dan pengembangan produk.

b. Tahap Perancangan Faktor

Menetapkan faktor produk yang harus digunakan agar rancangan inovasi dari tahap perancangan sistem dapat terwujud secara konsisten.

Perancangan dilakukan dengan pemilihan faktor produk dan proses yang optimum.

c. Tahap Perancangan Toleransi

Mendapatkan rentang (*range*) variabilitas disekitar faktor yang telah ditetapkan pada tahap perancangan faktor, dengan memanfaatkan analisis variansi dari data-data *experiment*.

2.5 Penentuan Metode Peningkatan Kualitas

Penentuan metode dalam peningkatan kualitas transformator instrumentasi terdapat beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan dengan cara membandingkan berdasarkan kelebihan dan kekurangan antar metode-metode yang sesuai dengan penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

2.5.1. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah prediksi terhadap suatu bagian atau suatu proses yang mungkin gagal dalam memenuhi suatu spesifikasi, atau dengan kata lain menciptakan perkiraan cacat atau ketidaksesuaian dan dampaknya pada pelanggan bila mode kegagalan itu tidak dicegah atau dikoreksi.

Kelebihan FMEA yaitu:

1. Memastikan produk akhir sesuai dengan spesifikasi.
2. Membantu desainer untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi atau mengendalikan cara kegagalan yang berbahaya.

3. Meningkatkan realibilitas dari produk.

Kekurangan FMEA yaitu:

1. Implementasi metode membutuhkan input yang cukup besar, karena lebih banyak detail proses mengarah pada peningkatan geometrik diarea yang dianalisis, dan jumlah kejadian yang memengaruhi tumbuh secara bersesuaian.
2. *Fault Tree Analysis* adalah diagram logika Boolean, yang menunjukkan hanya dua kondisi: berfungsi dan gagal.
3. Sulit untuk memperkirakan keadaan kegagalan sebagian dari bagian-bagian proses, karena penggunaan metode umumnya menunjukkan bahwa prosesnya baik dalam kondisi baik atau dalam keadaan rusak.
4. Membutuhkan pakar keandalan dengan pengetahuan mendalam tentang proses.

2.5.2. Taguchi

Metode Taguchi melibatkan reduksi dari proses melalui desain produk yang kokoh (*robust design*) dari experiment. Tujuan utama metode ini adalah memproduksi produk yang memiliki kualitas tinggi dengan biaya yang rendah.

Kelebihan Taguchi adalah:

1. Dapat mengurangi jumlah pelaksanaan percobaan dibandingkan jika menggunakan percobaan *full factorial*, sehingga dapat menghemat waktu dan biaya.
2. Dapat melakukan pengamatan 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 *ANOVA* dan Rasio S/N, sehingga faktor- faktor yang berpengaruh tersebut dapat diberikan perhatian khusus.

Kekurangan Taguchi adalah:

1. Jika percobaan dilakukan dengan banyak faktor dan interaksi akan terjadi pembauran beberapa interaksi oleh faktor utama.
2. Akibatnya, akurasi hasil percobaan berkurang, jika interaksi yang diabaikan tersebut memang benar-benar berpengaruh terhadap karakteristik yang diamati.

3. Tidak dapat melakukan optimasi faktor pada kasus multi-respon.

2.5.3. *Principal Component Analysis (PCA)*

Metode *Principal Component Analysis (PCA)* berfungsi merangkum banyak variabel bebas (X) yang memiliki indikasi saling berkorelasi ataupun saling mempengaruhi menjadi satu atau lebih variabel baru yang memuat kombinasi dari variabel-variabel bebas (X) sebelumnya, yang akan memungkinkan menghilangkan masalah multikolinearitas ketika dibentuk suatu model regresi (regresi komponen utama).

Kelebihan *PCA* adalah:

1. Dapat menghilangkan korelasi secara bersih (korelasi = 0) sehingga masalah multikolinearitas dapat benar-benar teratasi secara bersih
2. Dapat digunakan untuk segala kondisi data/penelitian
3. Dapat dipergunakan tanpa mengurangi jumlah variabel asal
4. Walaupun metode Regresi dengan *PCA* ini memiliki tingkat kesulitan yang tinggi akan tetapi kesimpulan yang diberikan lebih akurat dibandingkan dengan penggunaan metode lain.

2.5.4. *PCR-TOPSIS*

Process Capability Ratio (PCR) untuk memprediksi model multirespon dan *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)* untuk menentukan nilai optimum kasus multirespon.

Kelebihan *PCR-TOPSIS* adalah:

1. Konsepnya sederhana dan mudah dipahami, kesederhanaan ini dilihat dari alur proses metode *TOPSIS* yang tidak begitu rumit. Karena menggunakan indikator kriteria dan variabel alternatif sebagai pembantu untuk menentukan keputusan.
2. Komputasinya efisien, perhitungan komputasinya lebih efisien dan dan cepat.
3. Mampu dijadikan sebagai pengukur kinerja alternatif dan juga alternatif keputusan dalam sebuah bentuk output komputasi yang sederhana.
4. Dapat digunakan sebagai metode pengambilan keputusan yang lebih cepat.

Kekurangan *PCR-TOPSIS* adalah:

1. Belum adanya penentuan bobot prioritas yang menjadi prioritas hitungan terhadap kriteria, yang berguna untuk meningkatkan validitas nilai bobot perhitungan kriteria. Maka dengan alasan ini, metode ini dapat dikombinasikan misalnya dengan metode Taguchi agar menghasilkan output atau keputusan yang lebih maksimal.
2. Belum adanya bentuk linguistik untuk penilaian alternatif terhadap kriteria, biasanya bentuk linguistik ini diinterpretasikan dalam sebuah bilangan fuzzy.
3. Belum adanya mediator seperti hirarki jika diproses secara mandiri maka dalam ketepatan pengambilan keputusan cenderung belum menghasilkan keputusan yang sempurna.
4. Metode *TOPSIS* menentukan solusi berdasarkan jarak terpendek menuju solusi ideal dan jarak terbesar dari solusi negatif yang ideal. Namun, metode ini tidak mempertimbangkan kepentingan relatif (*relative importance*) dari masing-masing jarak tersebut.

2.5.5. *Grey Relational Analysis (GRA)*

Metode *Grey Relational Analysis (GRA)* memiliki fokus studi pada permasalahan yang memiliki data dan informasi yang minimum. Metode *GRA* juga dapat digunakan untuk membangun model hubungan dan melakukan analisis hubungan antar respon dan parameter, serta sebagai dasar melakukan prediksi maupun pengambilan keputusan, dan digunakan untuk proses optimasi yang memiliki beberapa karakteristik kinerja. Secara fundamental metode *GRA* digunakan sebagai metode optimasi untuk mengubah beberapa respon menjadi satu respon. Metode *GRA* ini dapat mengurangi secara signifikan biaya yang diperlukan dan meningkatkan efisiensi secara keseluruhan.

2.5.6. Penentuan Metode Optimnasi

Berdasarkan karakteristik data dari respon produk transformator instrumentasi yaitu berupa *attribute* dan multirespon, maka pertimbangan metode yang dipilih pada penelitian ini yaitu metode Taguchi dengan dikombinasikan *PCR-TOPSIS*.

2.6 Experimentation

Experimentation (percobaan) menurut (Krishnaiah and Shahabudeen, 2012) merupakan salah satu dari banyak aktivitas yang dilakukan oleh semua orang termasuk *scientist* dan *engineer*. Menurut (Steel and Torrie, 1989) *experimentation* adalah penyelidikan terencana untuk mendapatkan fakta baru, untuk memperkuat atau menolak hasil-hasil terdahulu, penyelidikan akan membantu untuk pengambilan keputusan.

Experimentation digunakan untuk mengetahui dan atau memperbaiki sebuah sistem, yang mana sistem tersebut mungkin sebuah produk atau proses yang sederhana atau kompleks. Sebuah produk dapat dikembangkan dalam *engineering*, biologi atau ilmu fisika. *Experimentation* menurut (Wheeler and Ganji, 2010) dapat digunakan untuk mengembangkan metode dan produk baru, dan mengevaluasi kinerja serta perilaku produk.

Pendekatan tradisional dalam penelitian industri dan ilmuan yaitu dengan cara *trial* dan *error* untuk verifikasi dan validasi teori yang mungkin lebih tinggi untuk dijelaskan setelah beberapa proses observasi.

Menurut (Gasperz, 1991) setiap *experimentation* terdapat tiga hal penting yang perlu diperhatikan yaitu pertama respon yang diberikan objek, kedua keadaan tertentu yang sengaja diciptakan untuk menimbulkan respon, dan ketiga keadaan lingkungan serta keragaman alami objek yang dapat mengacau penelaahan mengenai respon yang terjadi.

Jika suatu *experimentation* melibatkan banyak faktor dan seluruh kombinasi perlakuan dicobakan, maka diperlukan biaya, tenaga dan waktu besar. Salah satu cara untuk mengurangi banyak ulangan percobaan adalah dengan rancangan percobaan faktor sebagian. Rancangan digunakan untuk menurunkan jumlah kombinasi perlakuan yang besar. Menurut (Montgomery, 2001) salah satu penggunaan rancangan percobaan faktorial sebagian dijumpai pada metode Taguchi.

2.7 Taguchi Method

Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 membuat metode Taguchi yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses yang dapat menekan biaya

dengan sumber daya yang minimal. Metode taguchi memiliki sasaran dengan membuat produk dan proses tidak sensitif terhadap faktor-faktor gangguan (*noise*), sehingga menjadikan produk dan proses memiliki sifat kokoh (*robust*) sehingga sering disebut dengan desain yang kokoh (*robust design*). *Robust Design* memiliki definisi tahan terhadap kondisi lingkungan yang diluar kondisi umum atau kewajaran.

Metode Taguchi menitik beratkan pada pencapaian target tertentu dan mengurangi variasi suatu produk atau proses dengan menggunakan desain faktor. Apabila jumlah faktor yang diperkirakan mempengaruhi suatu proses ataupun hasil dari proses tersebut dengan metode taguchi dapat ditarik kesimpulan faktor mana yang hanya merupakan gangguan (*noise*).

2.7.1. *Orthogonal Array (OA)*

Metode Taguchi menggunakan matriks khusus yang disebut matriks ortogonal atau *orthogonal array (OA)* untuk menentukan jumlah *run* percobaan minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin tentang semua faktor yang mempengaruhi hasil percobaan. *Array* menurut (Roy, 2001) disebut ortogonal karena setiap level dari masing-masing faktor adalah seimbang dan dapat dipisah dari pengaruh faktor yang lain dalam percobaan.. Matriks *orthogonal array* memiliki kelebihan mampu mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah *experiment* yang minimum. Adapun bentuk umum dari matriks *orthogonal array* menurut (Chowdhury and Taguchi, 2016) yaitu sebagai berikut:

$$L_a(b^n)$$

Dimana:

L = menyatakan informasi mengenai *orthogonal array*.

a = menyatakan jumlah *treatment experiment* yang dibutuhkan ketika menggunakan *orthogonal array*.

b = menyatakan jumlah level faktor

n = menyatakan jumlah faktor yang diamati dalam *orthogonal array*.

Banyaknya jumlah level yang digunakan faktor digunakan untuk memilih *orthogonal array*, untuk dua level tabel *orthogonal array* terdiri dari L4, L8, L12, L16, L32 sedangkan untuk tiga level tabel *orthogonal array* terdiri dari L9, L18,

dan L27. jika faktor yang ditetapkan berlevel tiga maka jumlah *treatment experiment* yang akan dilakukan adalah dua puluh tujuh.

Menurut Taguchi pada buku yang ditulis (Mori, 2011) ada dua jenis umum kualitas yaitu kualitas rancangan dan kualitas kecocokan. Kecocokan 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 desain.

Orthogonal Array mempunyai beberapa fungsi, yaitu:

1. Agar kesimpulan yang diambil dapat menjangkau ruang lingkup faktor kendali dan masing-masing level-nya secara keseluruhan.
2. Agar menghemat pelaksanaan percobaan karena tidak menggunakan prinsip *full factorial experiment* seperti percobaan biasa, tetapi menggunakan prinsip *factorial experiment*. Artinya, tidak semua kombinasi level harus dilakukan percobaan, melainkan beberapa saja. Untuk menentukan level mana yang harus dilakukan dalam pengambilan data, maka harus mengacu pada model *Orthogonal Array* yang standar.
3. Kemudahan dalam analisis data.

Penentuan dan Pemilihan *Orthogonal Array* perlu diperhitungkan berdasarkan jenis *Orthogonal Array*, yaitu:

1. Derajat Kebebasan (*Degree of Freedom*)

Derajat kebebasan merupakan banyaknya perbandingan yang harus dilakukan antar level-level faktor (efek utama) atau interaksi yang digunakan untuk menentukan jumlah percobaan minimum yang dilakukan. Perhitungan derajat kebebasan dilakukan agar memperoleh 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 dibuthkan perhitungan derajat kebebasan. Perhitungan untuk memperoleh derajat kebebasan (V) adalah sebagai berikut:

- a. Untuk faktor utama, misal faktor utama A dan B

$$V_A = (\text{jumlah level faktor A}) - 1 \\ = k_A - 1$$

$$V_B = (\text{jumlah level faktor B}) - 1$$

- b. Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

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

- c. Nilai derajat kebebasan total

$$V_T = (k_A - 1) + (k_B - 1) + (k_A - 1)(k_B - 1) \\ = (\text{Jumlah Percobaan}) - 1$$

- d. Nilai derajat kebebasan error

$$V_C = V_T - V_A - V_B - V_{A \times B}$$

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

2. Interaksi Antar Faktor

Interaksi antara dua faktor berarti efek satu faktor pada respon tergantung level faktor lain. Antara interaksi menyebabkan sistem tidak robust karena sistem menjadi sangat sensitif terhadap perubahan satu faktor.

2.7.2. Taguchi *Loss Function*

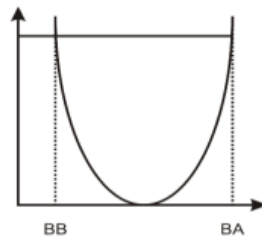
Taguchi *loss function* merupakan fungsi kerugian yang ditanggung oleh masyarakat (produsen dan konsumen) akibat kualitas yang dihasilkan. Bagi produsen yaitu dengan timbulnya biaya kualitas sedangkan bagi konsumen adalah ketidakpuasan atau kecewa atas produk yang dibeli atau dikonsumsi karena kualitas yang jelek. *Loss* merupakan sesuatu yang pasti terjadi saat suatu karakteristik kualitas fungsional produk menyimpang dari nilai nominalnya (target), sekecil apapun penyimpangan yang terjadi. Nilai *loss* akan meningkat saat nilai karakteristik kualitas melebar lebih jauh dari nilai targetnya. *Loss* yang terjadi

akibat variasi dalam output proses ini nilainya sama dengan “kerugian terhadap masyarakat”.

Karakteristik kualitas adalah suatu hasil suatu proses yang berkaitan dengan kualitas produk yang melalui proses tersebut Menurut Taguchi karakteristik kualitas yang terukur dapat dibagi menjadi tiga kategori:

1. *Nominal is the best*

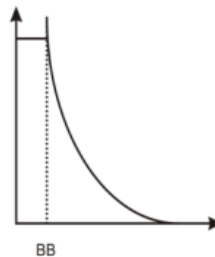
Karakteristik kualitas yang menuju suatu nilai target yang tepat pada suatu nilai tertentu semakin baik. Gambar 2.20 merupakan karakteristik *nominal is the best*.



Gambar 2.20 Karakteristik *Nominal is Best*

2. *Smaller the best*

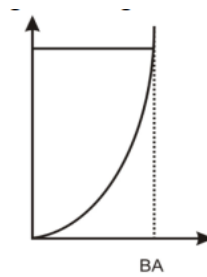
Pencapaian karakteristik apabila semakin kecil (mendekati nol, nol adalah nilai ideal dalam hal ini) semakin baik. Gambar 2.21 merupakan karakteristik *smaller is the better*.



Gambar 2.21 Karakteristik *Smaller is Better*

3. *Larger the better*

Pencapaian karakteristik kualitas semakin besar semakin baik (tak terhingga sebagai nilai ideal). Gambar 2.22 merupakan karakteristik *larger is better*.



Gambar 2.22 Karakteristik *Larger is Better*

Perumusan pada Tabel 2.5 adalah untuk *loss function*, sebagai berikut:

Tabel 2.5 Rumus untuk *Loss Function*

Karakteristik Kualitas	Loss for individual part = $L(y)$	Estimate Expected Loss
High is Better	$k \left(\frac{1}{y^2} \right)$	$k \left(\frac{1}{y^2} \right) \left(1 + \left[\frac{3S^2}{y^2} \right] \right)$
Nominal is Best	$k(y - m)^2$	$k[S^2 + (y - m)^2]$
Lower is Better	$k(y)^2$	$k(S^2 + y)$

Keterangan: L = Kerugian

m = Target

Y = hasil pengukuran

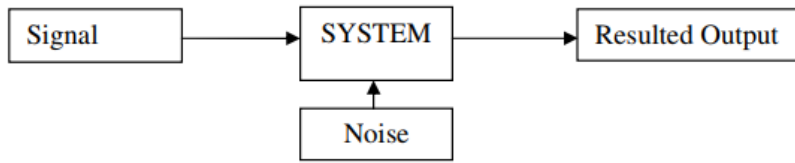
S^2 = Varisaai distribusi

k = Konstanta kerugian

y = Rata-rata distribusi

2.7.3. *Signal to Noise Ratio* (S/N Ratio)

S/N Ratio adakah salah satu komponen dari faktor desain yang digunakan untuk mengukur ketangguhan (*robustness*) sistem. Aplikasi *S/N Ratio* berguna untuk meningkatkan kualitas lewat pengurangan variasi dan peningkatan pengukuran. Menurut (Roy, 2010) rancangan produk atau proses operasi konsisten dengan nilai *S/N Ratio* yang besar berkontribusi menghasilkan produksi dengan kualitas optimal dan variansi minimum. *S/N Ratio* mentransformasi data respons kualitas menjadi sebuah bilangan yang merefleksikan jumlah variasi dan pergeseran rata-rata. Optimasi proses dilakukan oleh metode Taguchi adalah dengan memperhatikan nilai *S/N Ratio*. Prinsip dasarnya adalah pengaturan proses produksi mencapai kondisi yang optimum jika dapat memaksimalkan *S/N Ratio*.



Gambar 2.23. Ilustrasi Konsep S/N Ratio

S/N Ratio adalah suatu bilangan yang menggambarkan perbandingan antara signal dan noise dari suatu faktor kendali seperti ditunjukkan pada Gambar 2.23. Untuk menggunakan konsep ini pada desain eksperimen, maka nilai kekuatan signal dan noise digantikan dengan nilai estimasi rata-rata dan variasi.

Nilai S/N Ratio didapat dari pengolahan data hasil percobaan untuk beberapa kombinasi level pada faktor kendali. Setiap kombinasi akan memiliki nilai tersendiri. Dari nilai tersebut dapat diketahui apakah faktor kendali tersebut cukup memberikan pengaruh yang signifikan pada sebuah proses permesinan sehingga dapat disebut sebuah signal. Atau faktor tersebut hanya memberikan pengaruh yang kecil sehingga dianggap sebagai noise atau gangguan saja. Jika target yang dituju adalah untuk meningkatkan respon output, maka yang dilakukan adalah mencari kombinasi dari faktor kendali yang nilai S/N Ratio dari setiap levelnya memiliki nilai terbesar.

Berdasarkan Taguchi *loss function*, ada tiga jenis S/N Ratio menurut (Belavendram, 1995) yang biasa dipakai dalam optimasi permasalahan statik, yaitu:

a. *Smaller the Better*

Merupakan analisa suatu experiment yang akan memberikan setting faktor terbaik dan secara konsisten akan menghasilkan respon paling rendah.

$$S/N = -10 \log [MSD]$$

$$= -10 \log \left[\sum_{j=1}^n \frac{y_{ijk}^2}{n} \right] \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan, n = jumlah respon data
 y_i = respon data terukur

b. *Nominal the Best*

Merupakan karakteristik kualitas dengan nilai yang dapat positif maupun negatif yang dapat digunakan. Nilai yang diukur berdasarkan nilai target yang ditetapkan. Pencapaian nilai mendekati target yang telah ditetapkan

maka kualitas semakin baik. Optimasi ini sering digunakan apabila nilai yang telah ditetapkan sebelumnya.

$$S/N = 10\log[MSD]$$

$$= 10\log \left[\sum_{j=1}^n \frac{(y_{ijk}-m)^2}{n} \right] \dots\dots\dots(2.2)$$

keterangan, m = nilai target spesifikasi

y_{ijk} = nilai respon ke- i , pengulangan ke- j pada experiment ke- k

n = banyaknya pengulangan

c. *Larger the Better*

Merupakan karakteristik terukur dengan nilai non negatif dengan nilai ideal tak terhingga. Pencapaian nilai semakin mendekati nilai tak terhingga maka kualitas yang dihasilkan akan semakin baik. *Larger the better* memiliki tujuan menghasilkan nilai respon yang lebih besar dan konsisten dengan cara menentukan setting faktor yang akan mereduksi nilai karakteristik yang dikur.

$$S/N = -10\log[MSD]$$

$$= -10\log \left[\sum_{j=1}^n \frac{1/y_{ijk}^2}{n} \right] \dots\dots\dots(2.3)$$

2.8 PCR-TOPSIS

PCR (Process Capability Ratio) merupakan kemampuan sebuah proses untuk memenuhi spesifikasi desain yang ditetapkan oleh permintaan konsumen, walaupun sebuah proses terkendali secara statistik. Bagi sebuah proses untuk dapat dikatakan mampu, nilainya harus berada diantara batas spesifikasi atas dan batas spesifikasi bawah. TOPSIS didasarkan pada konsep dimana alternatif terbaik tidak hanya memiliki jarak pendek dari solusi ideal positif, tetapi juga memiliki jarak terpanjang dari solusi ideal negatif. Langkah yang digunakan dalam melakukan optimasi dengan PCR-TOPSIS diawali dengan menghitung rasio S/N. Dalam langkah ini, η_j^i (rasio S/N untuk respon ke j pada percobaan ke i dimana $i = 1,2,3,\dots,m$ dan $j = 1,2,3,\dots,n$) dihitung dengan tiga rumus sebagai berikut.

Untuk karakteristik respon *smaller the better*, maka:

$$\eta_j^i = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{l} \sum_{k=1}^l (y_{jk}^i)^2 \right], 0 \leq y_{jk}^i \leq \infty \dots\dots\dots (2.4)$$

Untuk karakteristik respon *larger the better*, maka:

$$\eta_j^i = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{l} \sum_{k=1}^l \frac{1}{(y_{jk}^i)^2} \right], 0 \leq y_{jk}^i \leq \infty \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk karakteristik respon *nominal the best*, maka:

$$\eta_j^i = -10 \log_{10} \left[\frac{(\bar{y}_j^i)^2}{(S_{ij}^i)^2} \right], 0 \leq y_{jk}^i \leq \infty \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana,

y_{jk}^i : Data yang diamati untuk respon ke-*i* pada percobaan ke *i* dan *k* pengulangan.

\bar{y}_j^i : Rata-rata data yang diamati untuk respon ke-*j* pada percobaan ke-*i*

$(S_{ij}^i)^2$: Variasi data yang diamati untuk respon ke-*j* pada percobaan ke-*i*,
 $i=1,2,\dots,m$ dan $k=1,2,\dots,l$.

Kontribusi kualitas yang maksimal untuk respon ke-*j* pada percobaan ke-*I* menunjukkan C_j^i (PCR-S/N rasio dalam respon ke-*j* untuk percobaan ke-*i*) dengan perhitungan sebagai berikut.

$$C_j^i = \frac{\eta_j^i - \bar{x}_{\eta_j}}{3s_{\eta_j}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Rata-rata sampel untuk rasio S/N pada respon ke-*j*.

$$\bar{x}_{\eta_j} = \frac{\sum_{i=1}^m \eta_j^i}{m-1}$$

Standar deviasi sampel untuk rasio S/N dalam respon ke-*j*.

$$s_{\eta_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\eta_j^i - \bar{x}_{\eta_j})^2}{m-1}}$$

Tahap selanjutnya adalah menghitung TOPSIS dari hasil PCR-S/N rasio.

$$S^i = \frac{d^{i-}}{d^{i+} + d^{i-}} \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan,

$$d^{i+} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (C_j^i - C_j^+)^2} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$d^{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (C_j^i - C_j^-)^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana,

d^{i+} untuk $i=1, \dots, m$: Jarak percobaan ke-I dari solusi ideal

d^{i-} untuk $i=1, \dots, m$: Jarak percobaan ke-I dari solusi ideal

$C_j^+ = \max \{C_j^i, \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, m\}, \forall C_j^i (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n)$

$C_j^- = \min \{C_j^i, \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, m\}, \forall C_j^i (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n)$

2.9 Analysis Of Variance (ANOVA)

Analysis of Variance (ANOVA) adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi setiap faktor pada semua pengukuran respon. *ANOVA* pada parameter desain berguna mengidentifikasi kontribusi setiap faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. *ANOVA* dilakukan pemecahan total variasi percobaan ke dalam sumber-sumber variasi yang diamati yaitu komponen pembentukannya berupa faktor utama atau interaksi antar faktor utama (Fowlkes and Creveling, 1995).

Percobaan dalam rancangan yang menggunakan n-faktor yaitu faktor yaitu A, faktor B, faktor C, dan hingga faktor ke-n diuji dengan sebaran F, yaitu dengan menghitung rasio rata-rat jumlah kuadrat error (MS_E) yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dari faktor. Tabel 2.6 ANOVA dapat disusun sebagai berikut.

Tabel 2.6 *Analysis of Variance (ANOVA)*

<i>Source of variance</i>	<i>Sum of square</i>	<i>Degrees of freedom</i>	<i>Mean square</i>	F-Hitung
A	SS-A	v_A	MSa	F-A hitung
B	SS-B	v_B	MSb	F-B hitung
C	SS-C	v_C	MSc	F-C hitung
D	SS-D	v_D	MSd	F-D hitung
Error	SS-error	v_e	MSe	
Total	SS-Total	v_T		

Dimana,

$$SS_A = \frac{(total A_1)^2 + (total A_2)^2 + (total A_3)^2 + (total A_n)^2}{n} - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_B = \frac{(total B_1)^2 + (total B_2)^2 + (total B_3)^2 + (total B)^2}{n} - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_C = \frac{(total C_1)^2 + (total C_2)^2 + (total C_3)^2 + (total C_n)^2}{n} - \frac{T^2}{N}$$

.....

$$SS_n = \frac{(total n_1)^2 + (total n)^2 + (total n_3)^2 + (total n_n)^2}{n} - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_{error} = \sum e_i^2$$

$$SS_{total} = SS_A + SS_B + SS_C + \dots + SS_n + SS_{error} + SS_{total}$$

A_1 : Faktor A level 1

A_2 : Faktor A level 2

A_3 : Faktor A level 3

B_1 : Faktor B level 1

B_2 : Faktor B level 2

B_3 : Faktor B level 3

C_1 : Faktor B level 1

C_2 : Faktor C level 2

C_3 : Faktor C level 3

T^2 : Kuadrat jumlah keseluruhan respon pada level 1, 2, 3, dan seterusnya

u_A : derajat bebas faktor A yaitu $(a - 1)$

u_B : derajat bebas faktor B yaitu $(b - 1)$

u_C : derajat bebas faktor C yaitu $(c - 1)$

u_T : derajat bebas total yaitu $(N - 1) - (a - 1) - (b - 1) - (c - 1) - (n - 1)$

a. Uji Distribusi F

Hasil ANOVA tidak membuktikan adanya perbedaan perlakuan dengan pengaruh faktor dalam eksperimen. Pembuktian ini dilakukan dengan uji distribusi F. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan variasi yang oleh masing-masing faktor dan variasi *error*. Variasi error adalah variasi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan. Secara umum, hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini untuk faktor yang tidak diambil secara random (*fixed*) adalah: H_0 gagal ditolak mengindikasikan tidak adanya perbedaan rata-rata dari respon yang dihasilkan pada perlakuan yang berbeda, sedangkan penolakan

H_0 mengindikasikan adanya perbedaan rata-rata dari respon tersebut. Selain itu, karena respon pada setiap experiment dapat dimodelkan dalam bentuk:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \epsilon_{ijkl}$$

Maka hipotesis yang juga digunakan dalam pengujian ini adalah:

1) Untuk taraf faktor A

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_k = 0$$

H_1 : salah satu α , tidak sama dengan 0

2) Untuk taraf faktor B

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_k = 0$$

H_1 : salah satu β , tidak sama dengan 0

3) Untuk taraf faktor C

$$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \dots = \gamma_k = 0$$

H_1 : salah satu γ , tidak sama dengan 0

Gagal tolak H_0 mengindikasikan tidak adanya pengaruh sedangkan penolakan H_0 mengindikasikan adanya pengaruh pengaruh A, B, dan C terhadap respon. Gagal tolak atau penolakan H_0 didasarkan pada nilai F_{hitung} yang dirumuskan:

1) Untuk taraf faktor A

$$F_{hitung} = \frac{MS_A}{MS_E}$$

2) Untuk taraf faktor B

$$F_{hitung} = \frac{MS_B}{MS_E}$$

3) Untuk taraf faktor C

$$F_{hitung} = \frac{MS_C}{MS_E}$$

Penolakan H_0 pada masing-masing dilakukan jika mengalami kondisi berikut:

1) Untuk taraf faktor A $\rightarrow F_{hitung} > F_{\alpha, v_A, v_E}$

2) Untuk taraf faktor B $\rightarrow F_{hitung} > F_{\alpha, v_B, v_E}$

3) Untuk taraf faktor C $\rightarrow F_{hitung} > F_{\alpha, v_C, v_E}$

Penolakan H_0 juga dilakukan apabila nilai F_{hitung} lebih besar dari dua (Park, 1996), tanpa memperhatikan rumusan diatas.

b. Prediksi Nilai *PCR-TOPSIS* Hasil Optimasi

Nilai prediksi *PCR-TOPSIS* berdasarkan kombinasi level faktor control untuk menghasilkan respon yang optimal dapat dihitung menggunakan persamaan 2.16 (Lin and Lin, 2002).

$$\hat{y} = \gamma_m + \sum_{i=1}^q \bar{y}_i - \gamma_m \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

γ_m = Nilai rata-rata keseluruhan *PCR-TOPSIS*

\bar{y}_i = *PCR-TOPSIS* pada level optimal

q = jumlah faktor yang mempengaruhi respon secara serentak

2.9.1 Persentase Kontribusi

Persentase kontribusi digunakan untuk mengindikasikan kekuatan relative sebuah faktor dan atau interaksi untuk mengurangi variasi yang terjadi. Perhitungan persentase kontribusi pada dasarnya adalah fungsi signifikan.

Komponen-komponen yang dihitung dalam persentase kontribusi adalah faktor, interaksi faktor, dan *error*. Persentase kontribusi suatu faktor (ρ_A) dihitung dengan persamaan berikut (Ross, 1996).

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\%$$

Dengan,

$$SS'_A = SS_A - v_A \cdot MS_E$$

Dimana,

SS_A : jumlah kuadrat dari faktor yang dihitung persentase kontribusinya

SS'_A : jumlah kuadrat total

v_A : derajat kebebasan dari faktor yang dihitung persentase kontribusinya

MS_E : rata-rata kuadrat dari faktor *error*

Jika persentase kontribusi error kurang dari 15% maka tidak ada lagi faktor lain yang perlu diperhitungkan atau faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon sudah diperhitungkan semuanya. Hal itu terjadi karena jika ada faktor lain yang belum diperhitungkan maka akan menyebabkan error yang terjadi semakin besar.

2.9.2 Interpretasi Hasil *Experiment*

Interpretasi hasil experiment dilakukan dengan menggunakan desain experiment Taguchi yaitu sebagai berikut:

1. Persentase Kontribusi

Persentase kontribusi digunakan untuk mengindikasikan kekuatan relative sebuah faktor dan atau interaksi untuk mengurangi variasi yang terjadi. Perhitungan persentase kontribusi pada dasarnya adalah fungsi signifikan. Komponen-komponen yang dihitung dalam persentase kontribusi adalah faktor, interaksi faktor, dan *error*. Persentase kontribusi suatu faktor (ρ_A) dihitung dengan persamaan berikut (Ross, 1988).

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan,

$$SS'_A = SS_A - v_A \cdot MS_E$$

Dimana,

SS_A : jumlah kuadrat dari faktor yang dihitung persentase kontribusinya

SS'_A : jumlah kuadrat total

v_A : derajat kebebasan dari faktor yang dihitung persentase kontribusinya

MS_E : rata-rata kuadrat dari faktor *error*

Jika persentase kontribusi error kurang dari 15% maka tidak ada lagi faktor lain yang perlu diperhitungkan atau faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon sudah diperhitungkan semuanya. Hal itu terjadi karena jika ada faktor lain yang belum diperhitungkan maka akan menyebabkan error yang terjadi semakin besar.

2. Interval Keyakinan

Interval keyakinan $(1 - \alpha)$ 100% untuk kondisi optimal pada analisis hasil experiment dengan menggunakan Metode Taguchi dihitung dengan menggunakan persamaan 2.18 dan persamaan 2.19 (Ross, 1988).

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;V_E} MS_E}{\eta_{eff}}} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\hat{\mu}_{prediksi} - CI_1 \leq \hat{\mu}_{prediksi} \leq \hat{\mu}_{prediksi} + CI_1 \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_{prediksi} &= \text{dugaan GRG pada kondisi optimal} \\ \eta_{eff} &= \text{banyaknya pengamatan efektif} \dots\dots\dots (2.15) \\ &= \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{Jumlah derajat kebebasan faktor untuk menduga rata - rata}} \end{aligned}$$

2.9.3 Experiment Konfirmasi

Experiment konfirmasi merupakan langkah terakhir yang harus dilakukan pada proses optimasi. *Experiment* dilakukan dengan melakukan percobaan yang menggunakan kombinasi level faktor kontrol hasil optimasi. Jumlah sampel dalam *experiment* konfirmasi harus lebih besar dari jumlah sampel pada saat *experiment*. Tujuannya adalah untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diambil pada tahap analisis, serta untuk mencocokkan hasil prediksi dengan hasil aktual (Ross, 1988).

Langkah dalam *experiment* konfirmasi yaitu sebagai berikut:

2. Melakukan percobaan berdasarkan kombinasi level dari faktor kontrol untuk respon optimum.
3. Membandingkan rata-rata hasil percobaan konfirmasi dengan rata-rata hasil prediksi.

Experiment konfirmasi dinyatakan berhasil jika:

- a. Rata-rata hasil *experiment* konfirmasi mendekati rata-rata prediksi.
- b. Interval keyakinan dari rata-rata respon *experiment* berhimpit atau beririsan dengan interval keyakinan dari rata-rata respon. Interval keyakinan *experiment* konfirmasi dapat dihitung menggunakan persamaan 2.21 dan 2.22 (Ross, 1988).

$$CI_1 = \sqrt{F_{\alpha;1;V_E} MS_E \left[\frac{1}{n} + \frac{1}{r} \right]} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\hat{\mu}_{prediksi} - CI_1 \leq \hat{\mu}_{prediksi} \leq \hat{\mu}_{prediksi} + CI_1 \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana:

r = jumlah pengulangan dalam *experiment* konfirmasi

2.7 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini merujuk dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang menggunakan metode Taguchi *Experiment* diantaranya sebagai berikut:

Tabel 2.7. Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Tahun	Judul	Tujuan	Metode Analisa
1	Fajar Alam Yudha	2018	Optimasi Kuat Tarik dan Ketahanan Slip pada Proses Vulkanisasi Sol Karet dengan Gabungan Metode Taguchi dan Grey Relational Analysis (Studi Kasus Di CV. XYZ Sidoarjo).	Mengetahui besarnya kontribusi dari parameter proses vulkanisasi seperti dalam mengurangi variansi dari CTQ kuat tarik dan ketahanan slip sol karet. Menentukan pengaturan yang tepat dari parameter-parameter proses vulkanisasi agar dapat memaksimalkan CTQ kuat tarik dan ketahanan slip.	Metode Taguchi, <i>Grey Relational Coefficient</i> (GRC), <i>Grey Relational Grade</i> (GRG).
2	Moh. Hartono	2012	Meningkatkan Mutu Produk Plastik dengan Metode Taguchi.	Mengetahui faktor-faktor pada proses injection molding produk plastik yang mempengaruhi mutu produk plastik dengan salah satu parameternya kekuatan tarik.	Metode Taguchi, ANOVA.
3	Suryaningsih	2010	Desain Eksperimen Taguchi dalam Menentukan Penyetelan Mesin yang Optimal dalam Proses Pengemasan Creamer untuk Menghasilkan Kekuatan Seal yang Terbaik.	Mengetahui faktor apa saja mempengaruhi kekuatan seal pembungkus gula. Mengetahui bagaimana setting mesin yang tepat untuk menghasilkan kekuatan seal yang baik.	Metode Taguchi, ANOVA, <i>Artificial Neural Network</i> .

Tabel 2.7. Penelitian Terdahulu (lanjutan)

No	Peneliti	Tahun	Judul	Tujuan	Metode Analisa
4	Yosua	2009	Peningkatan Kualitas Di Lini Produksi Plastic Painting dengan Metode Taguchi	Memperoleh parameter kontrol yang mempengaruhi tingkat defect di lini produksi painting, parameter kontrol yang mempengaruhi variabilitas dalam lini produksi painting.	Metode Taguchi, ANOM, ANOVA.
5	Fatifatussya m	2008	Perancangan Ulang Produk PavingStone untuk Peningkatan Kualitas dengan Pendekatan Metode Taguchi dan Rekayasa Lain	Mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan paving beton dan menentukan kombinasi faktor-faktor yang dominan. Mendapatkan produk paving stone yang sesuai dengan nilai yang tinggi.	Metode Taguchi, ANOVA.
6	Ziyaurrohman Alladany	2019	Peningkatan Kualitas Transformator Instrumentasi Menggunakan Metode Taguchi Experiment di PT. XYZ	Mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap kualitas power frequency, dan partial discharge transformator instrumentasi. Menentukan pengaturan faktor yang tepat pada proses casting agar dapat meningkatkan kualitas power frequency dan partial discharge transformator instrumentasi.	Metode Taguchi, S/N Ratio, PCR-TOPSIS, ANOVA.

Dari Tabel 2.7 hasil penelitian terdahulu dapat dilihat bahwa keseluruhan penelitian pada umumnya menggunakan metode Taguchi, serta analisis antar faktor *experiment* menggunakan ANOVA, GRC, dan GRG. Sehingga peneliti mencoba fokus menentukan faktor perbaikan menggunakan Metode Taguchi Experiment, dan kemudian menganalisis faktor-faktor yang dapat meningkatkan kualitas produk. Dengan penelitian ini nantinya dapat menjadi acuan ketika terjadi permasalahan kualitas pada produk yang sama.

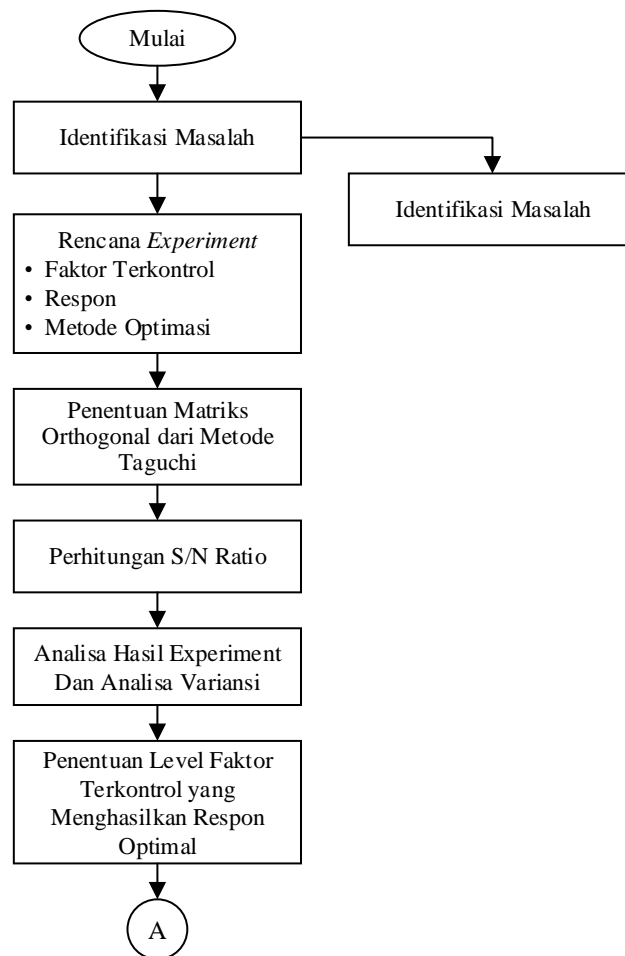
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

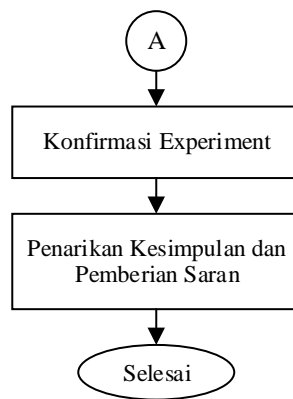
Dalam penelitian ini dijelaskan mengenai langkah dan metodologi penelitian yang dilakukan secara terstruktur dan sistematis untuk mencapai tujuan penelitian serta mempermudah penulis dan pembaca memahami penelitian yang dilakukan. Pada bab ini terdapat tahapan yang dilakukan dalam menyelesaikan penelitian.

3.1 Tahap Penelitian

Langkah-langkah pada penelitian ini dilakukan mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

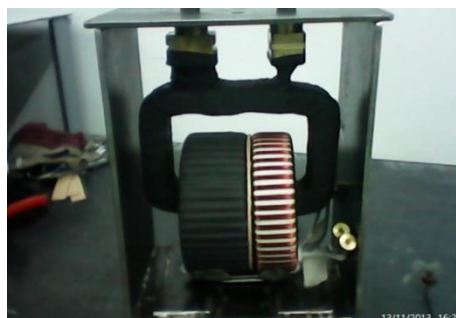
3.2 Bahan dan Peralatan

Bahan dan peralatan yang digunakan pada percobaan penelitian ini terdiri menjadi bagian diantaranya yaitu:

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *active part* dan material *mixing resin*.

- a. *Active part* merupakan bagian elektrik utama dari transformator instrumentasi yang telah melalui proses *assembly*, *active part* terdiri dari bagian *winding primer* dan bagian *winding sekunder*. Gambar 3.2 berikut merupakan bahan *active part*.



Gambar 3.2 *Active Part*

- b. Material *mixing resin* merupakan bahan baku untuk isolator yang melindungi bagian elektrik transformator instrumentasi, material *mixing resin* terdiri dari *resin*, *hardener*, *filler*, dan *colour*. Material *mixing resin* ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Material *Mixing* Resin

3.2.2 Peralatan untuk Membantu Proses *Assembly* Tranformator Instrumentasi

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah beberapa mesin diantaranya yaitu:

a. Mesin *Oven*

Mesin *oven* digunakan untuk mengurangi kadar air pada isolator *active part* yang bertujuan untuk meningkatkan isolator transformator. Proses *oven* diatur dengan suhu sebesar $120^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, dan waktu. Mesin *oven active part* ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Mesin *Oven Active Part*

b. Mesin *Mixing*

Mesin *mixing* merupakan mesin pengaduk bahan baku material resin dan juga pemasak resin, mesin bertujuan agar resin dapat diinject ke dalam proses *casting*. Proses *mixing* diatur selama 100 menit dan proses pemasakan disuhu 40°C . Mesin *mixing* ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Mesin *Mixing*

c. Mesin *Clamping*

Mesin *clamping* merupakan mesin pencetak transformator dengan metode mengagit *mould* transformator pada sisi samping. Pencetakan dilakukan dengan metode *inject* resin ke dalam mesin *clamping* dan dipanaskan pada *setting* suhu dan waktu yang telah ditentukan. Mesin *clamping* ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6. Mesin *Clamping*

3.2.3 Peralatan untuk Mengukur Respon

Peralatan yang digunakan untuk mengukur respon pada penelitian ini adalah beberapa alat diantaranya yaitu:

a. Alat Uji *Power Frequency*

Peralatan yang digunakan adalah Jiangsu Shenghua Electric *Power Frequency HV Test Console* yang menjadi kelengkapan sesuai dengan metode pengujian untuk mengetahui tingkat ketahanan lapisan resin terhadap tegangan.



Gambar 3.7 Alat Uji *Power Frequency*

Gambar 3.7 merupakan mesin uji *power frequency*, alat ini dapat mengukur ketahanan lapisan resin terhadap bagian elektrik transformator. Pengujian dengan cara menyambungkan kabel pada transformator instrumentasi dengan alat uji dan diberikan tegangan sebesar 50kV selama 60 detik.

b. Mesin Uji *Partial Discharge*

Peralatan yang digunakan adalah MPS *Partial Discharge Meter* yang menjadi kelengkapan sesuai dengan metode pengujian untuk mengetahui beda potensial pada sistem isolasi lapisan resin.



Gambar 3.8 Mesin Uji *Partial Discharge*

Gambar 3.8 merupakan alat uji *partial discharge*, alat ini dapat mengukur tingkat *partial discharge* didalam suatu transformator instrumentasi, alat ini beroperasi secara bersamaan dengan *power frequency*, dimana dipengujian menggunakan tegangan sebesar 50kV.

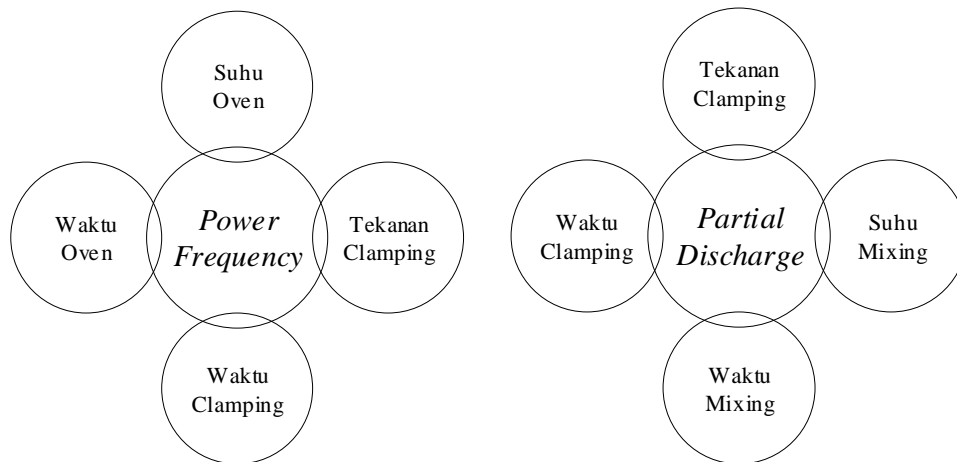
3.3 Rancangan *Experiment*

Sebelum melakukan percobaan pada penelitian ini, terlebih dahulu menetapkan rancangan penelitian terhadap pengaturan dari faktor yang terdapat pada proses *casting*.

3.3.1 Penentuan Faktor Kontrol

Penentuan pengaturan faktor kontrol pada mesin *clamping* dilakukan dengan melakukan interview kepada 5 narasumber yaitu (1) *Supervisor Engineer* dengan masa kerja 7 tahun, (2) Kepada Produksi dengan masa kerja 10 tahun, (4) *Quality Control* dengan masa kerja 4 tahun, dan (5) Operator Produksi dengan masa kerja 5 tahun. transformator instrumentasi, merujuk rekomendasi pengaturan faktor yang digunakan dalam proses produksi transformator instrumentasi.

Dari hasil *interview* dan observasi yang telah dilakukan maka diperoleh 6 faktor kontrol yang mempengaruhi respon pada transformator instrumentasi, yaitu (1) suhu *oven*, (2) waktu *oven*, (3) suhu *mixing*, (4) waktu *mixing*, (5) tekanan *clamping*, dan (6) waktu *clamping*.



Gambar 3.9 Perbandingan Pengaruh Faktor Kontrol terhadap Respon

Gambar 3.9 menunjukkan bahwa dari masing-masing faktor kontrol memiliki karakteristik respon yang berdebeda-beda, respon *power frequency* maupun respon *partial discharge* mempunyai 4 faktor kontrol yang mempengaruhinya.

3.3.2 Penentuan Level Faktor

Penelitian ini dilakukan penentuan level faktor dari masing-masing faktor. Dari 6 faktor yang sudah ditentukan sebelumnya oleh tim perusahaan yaitu suhu *oven*, waktu *oven*, suhu *mixing*, waktu *mixing*, tekanan *clamping*, dan waktu *clamping*. Setelah penentuan faktor kemudian dicari referensi nilai pada masing-masing faktor yang diperoleh dari data sekunder perusahaan.

Nilai faktor suhu *oven* 110 hingga 130°C dan waktu *oven* 240 hingga 480 menit diperoleh berdasarkan referensi standar hasil uji pengovenan isolasi pada *active part*. Suhu *mixing* 40 hingga 60°C dan waktu *mixing* resin 70 hingga 130 menit diperoleh berdasarkan referensi yang direkomendasikan oleh *supplier* mesin *mixing* dan bahan baku *resin*. Sedangkan nilai faktor tekanan *clamping* sebesar 2.5 hingga 3.5 bar dan tekanan *clamping* 10 hingga 20 menit diperoleh berdasarkan *trial* dan *error* yang dilakukan perusahaan.

Oleh karena itu berdasarkan sumber referensi yang diperoleh, tim perusahaan mempertimbangkan bahwa nilai referensi tersebut memiliki cukup besar jarak nilainya sehingga level faktor ditentukan menjadi 3 level agar menjadi lebih spesifik.

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal maka setiap faktor kontrol diberikan batas atas dan batas bawah. Faktor proses dan level ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Level Faktor Kontrol

No	Faktor Kontrol	Simbol	Level 1	Level 2	Level 3
1	Suhu <i>Oven</i> (°C)	A	110	120	130
2	Waktu <i>Oven</i> (minute)	B	240	360	480
3	Suhu <i>Mixing</i> (°C)	C	40	50	60
4	Waktu <i>Mixing</i> (minute)	D	70	100	130
5	Tekanan <i>Clamping</i> (bar)	E	2.5	3	3.5
6	Waktu <i>Clamping</i> (minute)	F	10	15	20

3.3.3 Pemilihan Matriks *Orthogonal*

Matriks *orthogonal* yang digunakan memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih dari pada total derajat kebebasan faktor utama, dalam penelitian ini pengaruh interaksi antar faktor tidak diperhatikan. Derajat kebebasan faktor dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Total Derajat Kebebasan dan Level Faktor

No	Faktor	Jml Level	df = (k-1)
1	Suhu Oven	3	2
2	Suhu Mixing	3	2
3	Waktu Mixing	3	2
4	Suhu Mesin Clamping	3	2
5	Tekanan Clamping	3	2
6	Waktu Clamping	3	2
Total Derajat Kebebasan			12

Tabel 3.2. menunjukkan bahwa total derajat kebebasan faktor dan level yang digunakan adalah 12. Hal ini mengakibatkan derajat kebebasan minimum yang harus dimiliki matriks *orthogonal* yang digunakan adalah 12. Menurut Taguchi besarnya pengaruh interaksi akan mengecil seiring dengan level interaksi, oleh karena itu pada penelitian ini untuk interaksi antar faktor kontrol tidak dilakukan *experiment*.

Minitab - Taguchi.MPJ - [Worksheet 2 ***]

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	Suhu Oven	Waktu Oven	Suhu Mixing	Waktu Mixing	Tekanan Clamping	Waktu Clamping
1	110	240	40	70	2.5	10
2	110	240	40	70	3.0	15
3	110	240	40	70	3.5	20
4	110	360	50	100	2.5	10
5	110	360	50	100	3.0	15
6	110	360	50	100	3.5	20
7	110	480	60	130	2.5	10
8	110	480	60	130	3.0	15
9	110	480	60	130	3.5	20
10	120	240	50	130	2.5	15
11	120	240	50	130	3.0	20
12	120	240	50	130	3.5	10
13	120	360	60	70	2.5	15
14	120	360	60	70	3.0	20
15	120	360	60	70	3.5	10
16	120	480	40	100	2.5	15
17	120	480	40	100	3.0	20
18	120	480	40	100	3.5	10
19	130	240	60	100	2.5	20
20	130	240	60	100	3.0	10
21	130	240	60	100	3.5	15
22	130	360	40	130	2.5	20
23	130	360	40	130	3.0	10
24	130	360	40	130	3.5	15
25	130	480	50	70	2.5	20
26	130	480	50	70	3.0	10
27	130	480	50	70	3.5	15

Gambar 3.10. Rancangan *Experiment* Taguchi

Sesuai dengan pilihan yang tersedia dan dengan bantuan software Minitab 18 yang ditunjukkan pada Gambar 3.10, maka digunakan matriks $L_{27}3^6$ dimana dalam matriks tersebut terdistribusi menjadi 27 *run* percobaan yang terdiri dari 3 level percobaan dengan kombinasi 6 faktor kontrol.

3.4 Rancangan Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan secara acak menggunakan *software* komputasi statistik dengan mengacu pada rancangan faktor percobaan pada Gambar 3.10. Masing-masing percobaan akan dilakukan dengan replikasi sebanyak dua puluh kali untuk mengatasi faktor gangguan (*noise*) yang terjadi selama proses *casting* berlangsung.

3.5 Prosedur *Experiment*

Percobaan yang dilakukan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut ini:

1. Menyiapkan komponen *active part*.
2. Melakukan setting mesin *oven* yaitu mengatur level faktor suhu dan waktu oven yang telah ditentukan.
3. Menyiapkan material mixing resin.
4. Melakukan setting mesin *mixing* yaitu mengatur level masing-masing faktor seperti suhu, temperatur yang telah ditentukan.
5. Setelah proses *mixing* dilakukan proses *inject* resin ke dalam mesin clamping.
6. Melakukan *setting* mesin clamping yaitu mengatur level tekanan *inject*, mengatur level temperatur dan mengatur level waktu clamping yang telah ditentukan.
7. Setelah hasil *clamping* dari berbagai level yang sudah atur kemudian dibawa ke proses testing untuk dilakukan pengujian menggunakan metode uji *power frequency*.
8. Pengolahan data
Pada tahap ini dilakukan pengolahan data dengan prosedur sebagai berikut:
 - a. Membuat tabel respon dan grafik respon untuk masing-masing level dan faktor proses.
 - b. Menentukan kombinasi faktor yang menghasilkan respon optimal.

c. Melakukan analisis hasil optimasi untuk masing-masing faktor proses.

9. Konfirmasi *Experiment*

Konfirmasi *experiment* merupakan proses validasi atau pencocokan dari kombinasi faktor proses yang diperoleh dari hasil percobaan dengan Taguchi dengan hasil awal sebelum *experiment*. Apabila hasil *experiment* konfirmasi lebih rendah dari kondisi awal, maka perlu dilakukan *experiment* ulang.

BAB 4

PENGUMPULAN DATA DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dilakukan beberapa analisis terhadap hasil experiment yang telah dilakukan, antara lain dengan menggunakan *analysis of variance*, *S/N Ratio analysis*, dan *Taguchi's loss function*.

4.1 Mengatur Faktor Kontrol *Experiment*

Implementasi *experiment* dilakukan dengan memvariasikan faktor-faktor kontrol yang mempengaruhi proses *casting*, yaitu suhu oven, waktu oven, suhu mixing, waktu mixing, tekanan clamping, dan waktu clamping. Variasi pengaturan experiment disesuaikan dengan rancangan experiment pada Tabel 3.3. Untuk mendapatkan hasil pengaturan faktor kontrol yang sesuai dengan yang diharapkan maka setiap peralatan dapat diatur dengan cara sebagai berikut:

1. Suhu Oven

Pengaturan suhu pada proses oven dilakukan dengan cara menginputkan nominal data suhu yang akan dilakukan proses oven.

2. Waktu Oven

Pengaturan waktu pada proses oven *active part* diatur dengan menggunakan *stopwatch* kapan mesin oven berjalan dan kapan mesin oven berhenti.

3. Suhu Mixing

Pengaturan suhu mixing diatur dengan cara menginputkan nominal suhu yang akan diatur pada waktu *mixing*.

4. Waktu Mixing

Pengaturan waktu mixing diatur dengan cara menginputkan nominal waktu yang akan diatur pada mesin *mixing*.

5. Tekanan Clamping







Pengaturan tekanan *clamping* diatur dengan cara mengatur *valve* atau knop pada kompresor angin agar didapatkan tekanan *clamping* yang sesuai dengan dibutuhkan.

6. Waktu *Clamping*

Waktu *clamping* diatur dengan mengukur data waktu yang akan diatur menggunakan alat *stopwatch*.

Pada Tabel 4.1 merupakan salah satu contoh pengaturan faktor kontrol yang diimplementasikan pada mesin atau peralatan *experiment* berdasarkan Tabel 3.3. Rancangan *Experiment* Taguchi.

Tabel 4.1 Implementasi Faktor Kontrol *Experiment* Pada Peralatan

Suhu Oven (°C)	Waktu Oven (minute)	Suhu Mixing (°C)	Waktu Mixing (minute)	Tekanan Clamping (bar)	Waktu Clamping (minute)
120	240	50	130	2.5	40
					

4.2 Data Hasil *Experiment*

Pada pelaksanaan *experiment* dilakukan dengan membuat variasi dari faktor kontrol yang terdapat pada proses yang dapat memengaruhi hasil *casting* transformator instrumentasi diantaranya yaitu faktor. Variasi pengaturan level faktor-faktor kontrol tersebut sesuai dengan rancangan Taguchi *experiment*, dan respon yang diambil pada penelitian ini adalah *power frequency* dan *partial discharge*. Pada Tabel 4.2 merupakan data hasil yang diperoleh dalam *experiment*. Pada Tabel 4.2 *experiment* 1 dilakukan proses pembuatan transformator instrumentasi dimana suhu oven disetting 110 dengan waktu 240 menit, dan pada mesin suhu mixing 40 derajat dengan waktu mixing 70 menit, sedangkan pada proses *clamping* tekanan yang diberikan sebesar 2.5 bar dengan waktu *clamping* selama 10 menit. Proses *experiment* tersebut dilanjutkan hingga *experiment* ke-27.

Ketika produk transformator dari *experiment* yang sudah jadi kemudian dilakukan proses pengujian yaitu dengan memasukkan tranformator ke dalam ruang testing untuk mendapatkan respon *experiment*. Pengujian pertama yaitu uji *power frequency* dan kedua *partial discharge*.

Pegujian *power frequency* dilakukan dengan memberikan tegangan sebesar 50kV selama satu menit. Jika transformator mampu menahan tegangan tersebut selama satu menit maka transformator dianggap layak, namun jika transformator tidak mampu menahan tegangan tersebut kurang dari 50kV maka transformator dianggap adalah produk cacat dan tidak layak dilanjutkan. Oleh sebab itu karakteristik kualitas yang diukur ini tergolong pada *Attribute Characteristics*.

Pengujian *partial discharge* dilakukan bersamaan dengan *power frequency* dengan memberikan dilakukan dengan memberikan tegangan sebesar 50 kV. Jika pada alat *partial discharge* menampilkan nilai kurang dari 50 pC menandakan bahwa transformator dianggap layak, namun jika alat menunjukkan nilai lebih dari 50 pC maka transformator dianggap produk cacat dan tidak layak dilanjutkan ketahap selanjutnya. Oleh sebab itu karakteristik kualitas yang diukur ini tergolong pada *Attribute Characteristics*.

Eksperimen dengan perlakuan (*treatment*) yang sama diulangi atau direplikasi sebanyak 20 kali untuk setiap *run experiment*. Hasil eksperimen kemudian ditulis dalam Tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Data Hasil *Experiment*

Run	Faktor Kontrol						<i>Experiment Result</i>			
	A	B	C	D	E	F	<i>Power Frequency (kV)</i>		<i>Partial Discharge (pC)</i>	
							<i>Passed</i>	<i>Failed</i>	<i>Passed</i>	<i>Failed</i>
1	110	240	40	70	2.5	10	18	2	13	7
2	110	240	40	70	3	15	17	3	14	6
3	110	240	40	70	3.5	20	15	5	18	2
4	110	360	50	100	2.5	10	16	4	16	4
5	110	360	50	100	3	15	17	3	10	10
6	110	360	50	100	3.5	20	9	11	11	9
7	110	480	60	130	2.5	10	16	50	2	8
8	110	480	60	130	3	15	20	50	16	4
9	110	480	60	130	3.5	20	7	23.8	18	2
10	120	240	50	130	2.5	15	12	50	3	17
11	120	240	50	130	3	20	19	50	20	0
12	120	240	50	130	3.5	10	3	17	4	16
13	120	360	60	70	2.5	15	19	1	3	17
14	120	360	60	70	3	20	20	0	17	3

Tabel 4.2 Data Hasil *Experiment* (lanjutan)

Run	Faktor Kontrol						Experiment Result			
	A	B	C	D	E	F	Power Frequency (kV)		Partial Discharge (pC)	
							Passed	Failed	Passed	Failed
15	120	360	60	70	3.5	10	8	12	16	4
16	120	480	40	100	2.5	15	19	1	8	12
17	120	480	40	100	3	20	18	2	17	3
18	120	480	40	100	3.5	10	7	13	8	12
19	130	240	60	100	2.5	20	18	2	10	10
20	130	240	60	100	3	10	17	3	15	5
21	130	240	60	100	3.5	15	6	14	16	4
22	130	360	40	130	2.5	20	14	6	5	15
23	130	360	40	130	3	10	11	9	1	19
24	130	360	40	130	3.5	15	5	15	11	9
25	130	480	50	70	2.5	20	4	16	2	18
26	130	480	50	70	3	10	3	17	1	19
27	130	480	50	70	3.5	15	4	16	8	12

Pada Tabel 4.2 ditunjukkan bahwa pengaturan faktor kombinasi yang menghasilkan optimal belum dapat diperoleh pada tahap ini, untuk mendapatkan pengaturan faktor kontrol yang menghasilkan kombinasi optimal maka perlu dilakukan analisa yang lebih lanjut.

4.3 Nilai *S/N Ratio Data Experiment*

Nilai *S/N ratio* didapat dari pengolahan dari hasil *experiment* pada faktor kontrol. *S/N ratio* mentransformasikan data respon menjadi sebuah bilangan yang merefleksikan jumlah variasi dan pergeseran rata-rata.

Dari nilai *S/N ratio* dapat diketahui bahwa faktor kontrol tersebut mampu memberikan pengaruh yang besar pada proses pengaturan mesin sehingga sehingga dapat disebut sebuah *signal*. Atau faktor tersebut hanya memberikan pengaruh yang kecil maka dapat disebut sebuah *noise*.

Sesuai dengan tujuan awal penelitian ini yaitu faktor-faktor kontrol yang berkontribusi untuk mengurangi variasi dan meningkatkan kualitas dapat diidentifikasi dengan menggunakan jumlah variasi pada keadaan dan meningkatkan kualitas.

Perhitungan nilai *S/N ratio* tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari masing-masing respon. Dalam studi kasus ini terdapat 2 variabel respon. Pertama respon *power frequency*, dan kedua respon *partial discharge*.

Respon *power frequency* pada penelitian ini memiliki karakteristik kualitas yaitu batas spesifikasi > 50kW yang merupakan karakteristik *large is better*. Sedangkan respon *partial discharge* pada penelitian ini memiliki karakteristik kualitas yaitu batas spesifikasi < 50 pC yang merupakan karakteristik *large is better*.

Respon *power frequency* pada penelitian ini memiliki karakteristik kualitas yaitu batas spesifikasi > 50kW, sedangkan respon *partial discharge* pada penelitian ini memiliki karakteristik kualitas yaitu batas spesifikasi < 50 pC. Dikarenakan karakteristik kualitas *power frequency* dan *partial discharge* merupakan *attribute characteristics* maka respon yang dihasilkan merupakan karakteristik *large is better*, dimana semakin banyak respon yang didapatkan maka kualitas semakin lebih baik.

Untuk mendapatkan nilai *S/N ratio* digunakan rumus persamaan *large is better* (2.2) sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{y_{ijk}^2}}{n} \right] \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan menggunakan rumus persamaan (2.2) diperoleh nilai *S/N ratio* untuk setiap *experiment* yang ditampilkan pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Nilai Rasio S/N Masing-masing Respon

Run	Faktor Kontrol						S/N		Average
	A	B	C	D	E	F	Power Frequency	Partial Discharge	
1	110	240	40	70	2.5	10	25.1055	22.2789	23.6922
2	110	240	40	70	3	15	24.6090	22.9226	23.7658
3	110	240	40	70	3.5	20	23.5218	25.1055	24.3136
4	110	360	50	100	2.5	10	24.0824	24.0824	24.0824
5	110	360	50	100	3	15	24.6090	20.0000	22.3045
6	110	360	50	100	3.5	20	19.0849	20.8279	19.9564
7	110	480	60	130	2.5	10	24.0824	6.0206	15.0515
8	110	480	60	130	3	15	26.0206	24.0824	25.0515
9	110	480	60	130	3.5	20	16.9020	25.1055	21.0037
10	120	240	50	130	2.5	15	21.5836	9.5424	15.5630
11	120	240	50	130	3	20	25.5751	26.0206	25.7978

Tabel 4.3 Nilai Rasio S/N Masing-masing Respon

Run	Faktor Kontrol						S/N		Average
	A	B	C	D	E	F	Power Frequency	Partial Discharge	
12	120	240	50	130	3.5	10	9.5424	12.0412	10.7918
13	120	360	60	70	2.5	15	25.5751	9.5424	17.5587
14	120	360	60	70	3	20	26.0206	24.6090	25.3148
15	120	360	60	70	3.5	10	18.0618	24.0824	21.0721
16	120	480	40	100	2.5	15	25.5751	18.0618	21.8184
17	120	480	40	100	3	20	25.1055	24.6090	24.8572
18	120	480	40	100	3.5	10	16.9020	18.0618	17.4819
19	130	240	60	100	2.5	20	25.1055	20.0000	22.5527
20	130	240	60	100	3	10	24.6090	23.5218	24.0654
21	130	240	60	100	3.5	15	15.5630	24.0824	19.8227
22	130	360	40	130	2.5	20	22.9226	13.9794	18.4510
23	130	360	40	130	3	10	20.8279	0.0000	10.4139
24	130	360	40	130	3.5	15	13.9794	20.8279	17.4036
25	130	480	50	70	2.5	20	12.0412	6.0206	9.0309
26	130	480	50	70	3	10	9.5424	0.0000	4.7712
27	130	480	50	70	3.5	15	12.0412	18.0618	15.0515

Berdasarkan Tabel 4.3 semakin besar nilai rasio S/N *Power Frequency* menunjukkan bahwa semakin banyak produk dari hasil pengujian *power frequency* yang lolos, tetapi jika nilainya semakin kecil maka sebaliknya.

Besar nilai rasio diakibatkan pengaruh faktor pada kombinasi faktor kontrol terhadap peningkatan faktor respon. Hasil rasio S/N *power frequency* yang menghasilkan nilai rasio terbesar yaitu pada *run experiment* ke-14 dan ke-28 dan nilai rasio terkecil yaitu pada *experiment* ke-26. Sedangkan hasil rasio S/N *partial discharge* yang menghasilkan rasio terbesar yaitu pada *run experiment* ke-11 nilai rasio terkecil yaitu pada *experiment* ke-23 dan ke-26.

4.4 PCR-TOPSIS

Dalam sebuah proses dapat dikatakan mampu, jika nilainya harus berada diantara spesifikasi atas dan bawah. Hal ini berarti kemampuan proses berada dalam standar deviasi dari rata-rata proses. Indeks Kemampuan Proses (C_{pk}) digunakan

untuk menghitung perbandingan antara dimensi yang diinginkan dan yang baik dari suatu produk yang dihasilkan. Berdasarkan perhitungan Indeks Kemampuan Proses, *PCR-SNR* dapat menghitung dengan menstransformasikan nilai *S/N ratio* dari setiap variabel respon kedalam persamaan C_{pk} .

$$C^i_j = \frac{\eta^i_j - \bar{x}_{\eta_j}}{3s_{\eta_j}} \dots\dots\dots(2.7)$$

- a. Berikut merupakan salah satu *S/N ratio* hasil respon pertama yaitu *power frequency*.

Rata-rata sampel untuk *S/N ratio* pada respon ke-*j*.

$$\begin{aligned} \bar{x}_{\eta_j} &= \frac{\sum_{i=1}^m \eta_j^i}{m - 1} \\ &= \frac{558.591}{27 - 1} \\ &= 21.484 \end{aligned}$$

Standar deviasi sampel untuk *S/N ratio* dalam respon ke-*j*.

$$\begin{aligned} s_{\eta_j} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\eta_j^i - \bar{x}_{\eta_j})^2}{m - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{(25.105 - 21.484)^2 + \dots + (12.041 - 21.484)^2}{27 - 1}} \\ &= 5.528 \end{aligned}$$

Sehingga, perhitungan nilai *PCR-S/N Ratio* pada percobaan ke-1

$$\begin{aligned} C^i_j &= \frac{\eta^i_j - \bar{x}_{\eta_j}}{3s_{\eta_j}} \\ &= \frac{25.105 - 5.528}{3 * 5.625} \\ &= 0.2184 \end{aligned}$$

- b. Berikut merupakan salah satu rasio *S/N* hasil respon pertama yaitu *partial discharge*.

Rata-rata sampel untuk rasio *S/N* pada respon ke-*j*.

$$\begin{aligned}\bar{x}_{\eta_j} &= \frac{\sum_{i=1}^m \eta_j^i}{m-1} \\ &= \frac{483.491}{27-1} \\ &= 18.596\end{aligned}$$

Standar deviasi sampel untuk rasio S/N dalam respon ke- j .

$$\begin{aligned}s_{\eta_j} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\eta_j^i - \bar{x}_{\eta_j})^2}{m-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(22.279 - 18.596)^2 + \dots + (18.062 - 18.596)^2}{27-1}} \\ &= 18.595\end{aligned}$$

Sehingga, perhitungan nilai PCR-S/N *Ratio* pada percobaan ke-1

$$\begin{aligned}C_j^i &= \frac{\eta_j^i - \bar{x}_{\eta_j}}{3s_{\eta_j}} \\ &= \frac{22.279 - 18.596}{3 * 18.596} \\ &= 0.1546\end{aligned}$$

- c. Hasil perhitungan nilai PCR-S/N *Ratio* pada respon *power frequency* dan *partial discharge*.

Tabel 4.4 PCR-SNR dari respon *Power Frequency*, dan *Partial Discharge*

No.	PCR-SNR	
	<i>Power Frequency</i>	<i>Partial Discharge</i>
1	0.2184	0.1546
2	0.1884	0.1816
3	0.1229	0.2732
4	0.1567	0.2303
5	0.1884	0.0589
6	-0.1447	0.0937
7	0.1567	-0.5278
8	0.2735	0.2303
9	-0.2763	0.2732
10	0.0060	-0.3800
11	0.2467	0.3116
12	-0.7201	-0.2751

Tabel 4.4 PCR-SNR dari respon *Power Frequency*, dan *Partial Discharge*
(lanjutan)

No.	PCR-SNR	
	<i>Power Frequency</i>	<i>Partial Discharge</i>
13	0.2467	-0.3800
14	0.2735	0.2524
15	-0.2064	0.2303
16	0.2467	-0.0224
17	0.2184	0.2524
18	-0.2763	-0.0224
19	0.2184	0.0589
20	0.1884	0.2067
21	-0.3570	0.2303
22	0.0867	-0.1938
23	-0.0396	-0.7805
24	-0.4525	0.0937
25	-0.5694	-0.5278
26	-0.7201	-0.7805
27	-0.5694	-0.0224

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat diketahui nilai PCR-S/N Ratio untuk masing-masing respon.

4.4.1 TOPSIS hasil PCR-SNR

TOPSIS adalah suatu metode pengambil keputusan multikriteria dengan ide fundamentalnya adalah bahwa alternatif yang dipilih memiliki jarak terdekat dengan solusi ideal dan yang terjauh dari solusi ideal negatif. Dengan menggunakan persamaan 2.9 dan 2.10 didapatkan hasil perhitungan nilai TOPSIS.

- a. Perhitungan jarak terdekat dengan solusi ideal positif (d^{i+}) menggunakan persamaan 2.9 pada percobaan ke-1 yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 d^{1+} &= \sqrt{\sum_{j=1}^2 (C_j^1 - C_j^+)^2} \\
 &= \sqrt{(0.2184 - 0.2735)^2 + (0.1546 - 0.3116)^2} \\
 &= 0.1665
 \end{aligned}$$

- b. Perhitungan jarak terdekat dengan solusi ideal negatif (d^{i-}) menggunakan persamaan 2.10 pada percobaan ke-1 yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 d^{1-} &= \sqrt{\sum_{j=1}^2 (C_j^1 - C_j^-)^2} \\
 &= \sqrt{(0.1849 - (-0.7200))^2 + (1546 - (-0.7805))^2} \\
 &= 1.3247
 \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Solusi Ideal Positif dan Solusi Ideal Negatif

No.	Separation Measure	
	d1+	d1-
1	0.1665	1.3247
2	0.1554	1.3232
3	0.1555	1.3494
4	0.1424	1.3380
5	0.2666	1.2369
6	0.4716	1.0465
7	0.8475	0.9124
8	0.0813	1.4173
9	0.5512	1.1433
10	0.7415	0.8292
11	0.0269	1.4585
12	1.1539	0.5054
13	0.6921	1.0464
14	0.0592	1.4332
15	0.4867	1.1338
16	0.3351	1.2285
17	0.0810	1.3955
18	0.6433	0.8784
19	0.2586	1.2591
20	0.1351	1.3416
21	0.6358	1.0740
22	0.5388	0.9976
23	1.1361	0.6805
24	0.7581	0.9142
25	1.1896	0.2942
26	1.4765	0
27	0.9067	0.7729

Berdasarkan Tabel 4.5 perhitungan solusi ideal positif dan solusi negatif pada percobaan ke-*I* untuk respon ke-*j*, maka dengan menggunakan persamaan 2.8 diperoleh hasil Tabel 4.6 PCR-TOPSIS.

- c. Perhitungan PCR-TOPSIS pada percobaan ke-1 menggunakan persamaan 2.11 yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 S^1 &= \frac{d^{1-}}{d^{1+} + d^{1-}} \\
 &= \frac{1.3247}{0.1665 + 1.3247} \\
 &= 0.8884
 \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan PCR-TOPSIS

No.	PCR TOPSIS
1	0.8884
2	0.8949
3	0.8967
4	0.9038
5	0.8227
6	0.6894
7	0.5184
8	0.9457
9	0.6747
10	0.5279
11	0.9819
12	0.3046
13	0.6019
14	0.9603
15	0.6996
16	0.7857
17	0.9452
18	0.5772
19	0.8296
20	0.9085
21	0.6281
22	0.6493
23	0.3746
24	0.5467
25	0.1983
26	0
27	0.4602

Hasil nilai PCR-TOPSIS pada Tabel 4.6 dianalisis sebagai variabel baru yang mewakili dua respon dari *Power Frequency*, dan *Partial Discharge*.

4.5 ANOVA Hasil PCSR-TOPSIS

Hasil perhitungan PCR-TOPSIS kemudian dilakukan perhitungan menggunakan *analysis of variance (ANOVA)* yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dari faktor dan interaksi terhadap satu respon yang mewakili oleh PCR-TOPSIS untuk tiga respon sebelumnya. Hasil analisis dari ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 *Analysis of Variance (ANOVA)* dari hasil PCR-TOPSIS

Source	DF	SS	MS	F-Value	P-Value
A	2	0.4033	0.20167	6.77	0.009
B	2	0.1764	0.08818	2.96	0.085
C	2	0.2356	0.11778	3.95	0.044
D	2	0.1733	0.08665	2.91	0.088
E	2	0.107	0.05348	1.79	0.202
F	2	0.1546	0.07732	2.59	0.11
Error	14	0.4173	0.0298		
Total	26	1.6674			

Berdasarkan Tabel 4.7, maka uji signifikansi masing-masing faktor adalah sebagai berikut.

- a. Hipotesis Faktor A (suhu oven)

Pengaruh dari faktor A dapat dilakukan dengan melakukan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \alpha_i \neq 0$$

Jika ditentukan tingkat signifikansi 5% $P\text{-value} < \alpha (0,05)$ maka keputusan H_0 ditolak, sedangkan jika $P\text{-value} > \alpha (0,05)$ maka keputusan H_0 gagal ditolak.

$$\text{Daerah penolakan : } F_{hitung} > F_{tabel} ((F_{0.05,2,2}) = 19.00)$$

$$\text{Statistik hitung : } F_{hitung} = 6.77$$

atau P-value sebesar 0,009

Karena $P\text{-value} < 0.05$, $F_{hitung} < F_{tabel}$ namun dalam teori Taguchi apabila F_{hitung} pada ANOVA bernilai > 2 maka H_0 tetap ditolak (Park, 2010) atau dapat disimpulkan bahwa faktor suhu oven berpengaruh terhadap respon.

b. Hipotesis Faktor B (waktu oven)

Pengaruh dari faktor B dapat dilakukan dengan melakukan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_i \neq 0$$

Jika ditentukan tingkat signifikansi 5% $P\text{-value} < \alpha (0,05)$ maka keputusan H_0 ditolak, sedangkan jika $P\text{-value} > \alpha (0,05)$ maka keputusan H_0 gagal ditolak.

$$\text{Daerah penolakan : } F_{hitung} > F_{tabel} ((F_{0.05,2,2}) = 19.00)$$

$$\text{Statistik hitung : } F_{hitung} = 2.96$$

atau P-value sebesar 0.085

Karena $P\text{-value} > 0.05$, $F_{hitung} < F_{tabel}$ namun dalam teori Taguchi apabila F_{hitung} pada ANOVA bernilai > 2 maka H_0 tetap ditolak (Park, 2010) atau dapat disimpulkan bahwa waktu oven berpengaruh terhadap respon.

c. Hipotesis Faktor C (*suhu mixing*)

Pengaruh dari faktor C dapat dilakukan dengan melakukan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \gamma_i \neq 0$$

Jika ditentukan tingkat signifikansi 5% $P\text{-value} < \alpha (0,05)$ maka keputusan H_0 ditolak. sedangkan jika $P\text{-value} > \alpha (0,05)$ maka keputusan H_0 gagal ditolak.

$$\text{Daerah penolakan : } F_{hitung} > F_{tabel} ((F_{0.05,2,2}) = 19.00)$$

$$\text{Statistik hitung : } F_{hitung} = 3.95$$

atau P-value sebesar 0.044

Karena $P\text{-value} < 0.05$, $F_{hitung} < F_{tabel}$ namun dalam teori Taguchi apabila F_{hitung} pada ANOVA bernilai > 2 maka H_0 tetap ditolak (Park, 2010) atau dapat disimpulkan bahwa suhu mixing berpengaruh terhadap respon.

d. Hipotesis Faktor D (waktu *mixing*)

Pengaruh dari faktor D dapat dilakukan dengan melakukan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \delta_i \neq 0$$

Jika ditentukan tingkat signifikansi 5% $P\text{-value} < \alpha (0,05)$ maka keputusan H_0 ditolak, sedangkan jika $P\text{-value} > \alpha (0,05)$ maka keputusan H_0 gagal ditolak.

$$\text{Daerah penolakan : } F_{hitung} > F_{tabel} ((F_{0.05,2,2}) = 19.00)$$

$$\text{Statistik hitung : } F_{hitung} = 2.91$$

atau P-value sebesar 0.088

Karena $P\text{-value} > 0.05$, $F_{hitung} < F_{tabel}$ namun dalam teori Taguchi apabila F_{hitung} pada ANOVA bernilai > 2 maka H_0 tetap ditolak (Park, 2010) atau dapat disimpulkan bahwa waktu mixing berpengaruh terhadap respon.

e. Hipotesis Faktor E (tekanan *clamping*)

Pengaruh dari faktor E dapat dilakukan dengan melakukan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \varepsilon_i \neq 0$$

Jika ditentukan tingkat signifikansi 5% $P\text{-value} < \alpha (0,05)$ maka keputusan H_0 ditolak, sedangkan jika $P\text{-value} > \alpha (0,05)$ maka keputusan H_0 gagal ditolak.

$$\text{Daerah penolakan : } F_{hitung} > F_{tabel} ((F_{0.05,2,2}) = 19.00)$$

$$\text{Statistik hitung : } F_{hitung} = 1.79$$

atau P-value sebesar 0.202

Karena $P\text{-value} > 0.05$, $F_{hitung} < F_{tabel}$ namun dalam teori Taguchi apabila F_{hitung} pada ANOVA bernilai > 2 maka H_0 tetap ditolak (Park, 2010) atau dapat disimpulkan bahwa tekanan *clamping* berpengaruh terhadap respon.

f. Hipotesis Faktor F (waktu *clamping*)

Pengaruh dari faktor F dapat dilakukan dengan melakukan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \tau_i \neq 0$$

Jika ditentukan tingkat signifikansi 5% $P\text{-value} < \alpha (0,05)$ maka keputusan H_0 ditolak. sedangkan jika $P\text{-value} > \alpha (0,05)$ maka keputusan H_0 gagal ditolak.

$$\text{Daerah penolakan : } F_{hitung} > F_{tabel} ((F_{0.05,2,2}) = 19.00)$$

$$\text{Statistik hitung : } F_{hitung} = 2.59$$

atau $P\text{-value}$ sebesar 0.11

Karena $P\text{-value} > 0.05$, $F_{hitung} < F_{tabel}$ namun dalam teori Taguchi apabila F_{hitung} pada ANOVA bernilai > 2 maka H_0 tetap ditolak (Park, 2010) atau dapat disimpulkan bahwa waktu *clamping* berpengaruh terhadap respon.

Dari ANOVA untuk PCR-TOPSIS dapat disimpulkan bahwa faktor kontrol memiliki pengaruh terhadap respon PCR-TOPSIS.

4.5.1 Kontribusi Pada Masing-masing Faktor

Persentase kontribusi untuk mengetahui berapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor utama. Perhitungan persentase kontribusi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$SS' = SS - (MS_e \times DF)$$

Contoh perhitungan perhitungan kontribusi pada faktor kontrol A (suhu *oven*) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS'_A &= SS_A - (MS_e \times DF) \\ &= 0.4033 - (0.0298 \times 2) \\ &= 0.3437 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \\ &= \frac{0.3437}{1.6674} \times 100\% \\ &= 20.613\%\end{aligned}$$

Hasil perhitungan persentase kontribusi untuk semua faktor utama dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Persentase Kontribusi untuk PCR-TOPSIS

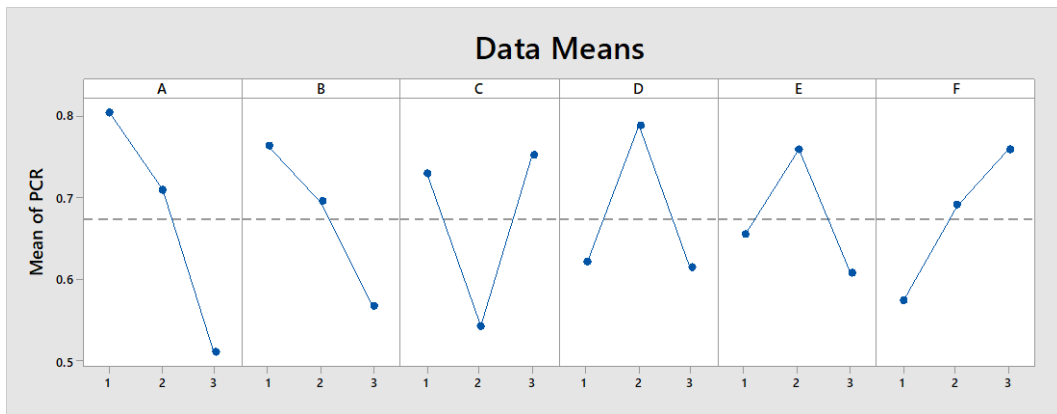
<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>SS</i>	<i>SS'</i>	<i>MS</i>	<i>F-Value</i>	<i>P-Value</i>	ρ
A	2	0.4033	0.3437	0.20167	6.77	0.009	20.613
B	2	0.1764	0.1168	0.08818	2.96	0.085	7.005
C	2	0.2356	0.176	0.11778	3.95	0.044	10.555
D	2	0.1733	0.1137	0.08665	2.91	0.088	6.819
E	2	0.107	0.0474	0.05348	1.79	0.202	2.843
F	2	0.1546	0.095	0.07732	2.59	0.11	5.697
<i>Error</i>	14	0.4173		0.0298			
<i>Total</i>	26	1.6674					

Berdasarkan Tabel 4.8 perhitungan kontribusi dari faktor utama menunjukkan bahwa faktor yang memberikan kontribusi paling besar terhadap respon dibanding dengan faktor yang lain yaitu faktor A (suhu *oven*) sebesar 20.613%.

Persentase kontribusi mengindikasikan kekuatan relative/porsi dari masing-masing parameter proses dalam mengurangi variasi total respon yang diamati. Jika besar kontribusi *error* kurang dari 15%, maka tidak ada faktor kontrol yang berpengaruh terabaikan. Jika besarnya kontribusi *error* lebih dari 15%, maka mengindikasikan adanya faktor kontrol yang berpengaruh terabaikan.

4.6 Penentuan Kondisi Optimum

Untuk memperoleh kondisi optimum, level yang dipilih adalah level yang memberikan nilai rata-rata rasio S/N terbesar pada masing-masing respon. Nilai rasio S/N dari masing-masing level untuk setiap respon dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Main Effect Plot Respon PCR-TOPSIS

Tabel 4.9 Nilai Mean Setiap Level

Level	A	B	C	D	E	F
1	0.804	0.762	0.729	0.622	0.656	0.575
2	0.709	0.694	0.543	0.788	0.759	0.690
3	0.511	0.567	0.752	0.614	0.609	0.758
Delta	0.293	0.195	0.209	0.174	0.151	0.183
Rank	1	3	2	5	6	4

Berdasarkan Gambar 4.1 dan Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa kondisi optimal untuk kualitas transformator dapat dicapai pada kombinasi level A_1 , B_1 , C_3 , D_2 , E_2 , dan F_3 . Tabel 4.9 menjelaskan bahwa faktor A (suhu oven) merupakan faktor yang paling berpengaruh pada respon, hal ini dapat dilihat dari nilai delta yang paling besar dan menempati ranking pertama. Sedangkan faktor yang memberikan pengaruh paling kecil pada respon yaitu faktor E (tekanan clamping), hal ini dapat dilihat dari nilai delta yang paling kecil dan ranking yang paling terakhir.

4.6.1 Prediksi Nilai Kondisi Optimum Setiap Respon

Untuk mendapatkan nilai prediksi setiap respon menggunakan rancangan level optimal A_1 , B_1 , C_3 , D_2 , E_2 , dan F_3 yaitu dengan pengaturan faktor suhu oven sebesar 110°C , waktu oven selama 240 menit, suhu mixing sebesar 60°C , waktu mixing selama 100 menit, tekanan clamping sebesar 3 bar, dan waktu clamping selama 20 menit.

- Perhitungan nilai prediksi rata-rata respon *power frequency* pada kondisi optimal A_1 , B_1 , C_3 , D_2 , E_2 , dan F_3 .

$$\hat{\mu} = \mu + (\bar{A}_1 - \mu) + (\bar{B}_1 - \mu) + (\bar{C}_3 - \mu) + (\bar{D}_2 - \mu) + (\bar{E}_2 - \mu)$$

$$\begin{aligned}
& +(\bar{F}_3 - \mu) \\
& = \bar{A}_1 + \bar{B}_1 + \bar{C}_3 + \bar{D}_2 + \bar{E}_2 + \bar{F}_3 - 5\mu \\
& = 15 + 13,8889 + 14,5556 + 14,1111 + 15,7778 + 13,7778 \\
& \quad - (5 \times 12,6667) \\
& = 23.7778
\end{aligned}$$

- Perhitungan nilai prediksi *S/N Ratio* respon *power frequency* pada kondisi optimal $A_1, B_1, C_3, D_2, E_2,$ dan F_3 .

$$\begin{aligned}
\hat{\eta}_{opt} & = \bar{\eta} + (\bar{A}_1 - \bar{\eta}) + (\bar{B}_1 - \bar{\eta}) + (\bar{C}_3 - \bar{\eta}) + (\bar{D}_2 - \bar{\eta}) + (\bar{E}_2 - \bar{\eta}) \\
& \quad + (\bar{F}_3 - \bar{\eta}) \\
& = \bar{A}_1 + \bar{B}_1 + \bar{C}_3 + \bar{D}_2 + \bar{E}_2 + \bar{F}_3 - 2\bar{\eta} \\
& = 23.1130 + 21.6905 + 22.4378 + 22.2929 + 22.9910 \\
& \quad + 21.8088 - (5 \times 20,6885) \\
& = 30.8913
\end{aligned}$$

Tabel 4.10 Nilai Prediksi Optimal untuk Setiap Respon

	Power Frequency	Partial Discharge
Mean	23,7778	23,5926
SNR	30,8913	38,8694

Berdasarkan Tabel 4.10 dapat diketahui bahwa nilai prediksi *Mean* respon *power frequency* yaitu sebesar 23,7778 dengan prediksi SNR sebesar 30,8913. Sedangkan nilai prediksi *Mean* respon *partial discharge* yaitu sebesar 23,5926 dengan prediksi SNR sebesar 38,8694.

4.7 Interval Keyakinan

Berdasarkan kombinasi faktor untuk respon yang optimum seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 maka dapat ditentukan prediksi dari nilai *PCR-TOPSIS* optimal. Penentuan *PCR-TOPSIS* yang optimal dilakukan berdasarkan nilai *PCR-TOPSIS* masing-masing level faktor dari kombinasi faktor yang menghasilkan respon optimal. Nilai *PCR-TOPSIS* prediksi tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan 2.11 yang dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\hat{Y} &= \gamma_m + \sum_{i=1}^q \bar{Y}_i - \gamma_m \\
&= 0.6746 + (0.8039 - 0.6746) + (0.7623 - 0.6746) + (0.7519 - 0.6746) \\
&\quad + (0.7878 - 0.6746) + (0.7593 - 0.6746) + (0.7584 - 0.6746) \\
&= 1.2505
\end{aligned}$$

Dengan demikian nilai *PCR-TOPSIS* prediksi untuk kombinasi faktor yang menghasilkan respon optimum adalah 1.2505.

Perhitungan banyaknya pengamatan efektif (η_{eff}) dilakukan terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan (2.15) kemudian keyakinan untuk kondisi optimum dilakukan dengan persamaan (2.16) dan (2.17). Perhitungan pengamatan efektif adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\eta_{eff} &= \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{Jumlah derajat kebebasan faktor untuk menduga rata - rata}} \\
&= \frac{27 \times 6}{1 + (2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2)} \\
&= 12.46154
\end{aligned}$$

Perhitungan interval keyakinan untuk kondisi optimum menentukan nilai F dan nilai MS_E . Nilai F adalah $F_{(0.05,2,2)} = 18.51$ dan nilai MS_E berdasarkan pada Tabel 4.7 adalah 0.0298. Perhitungan interval keyakinan untuk kondisi optimum adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
CI_1 &= \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;V_E} MS_E}{\eta_{eff}}} \\
&= \sqrt{\frac{18.51 \times 0.0298}{12.46154}} \\
&= 0.2104
\end{aligned}$$

Dengan demikian, interval keyakinan untuk nilai *PCR-TOPSIS* prediksi pada tingkat keyakinan 95% adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
1.2505 - 0.2104 &\leq \mu_{prediksi} \leq 1.2505 + 0.2104 \\
1.0401 &\leq \mu_{prediksi} \leq 1.4609
\end{aligned}$$

4.8 Experiment Konfirmasi

Experiment konfirmasi dilakukan untuk memeriksa respon yang dilakukan berdasarkan kombinasi faktor kontrol dari hasil optimasi. Faktor respon yang dihasilkan dari *experiment* konfirmasi dibandingkan antara kondisi *treatment experiment* awal dengan kondisi *treatment experiment* optimal. Pada Tabel 4.7 merupakan tabel perbandingan kondisi *treatment experiment*.

Tabel 4.11 Kombinasi Faktor Kontrol untuk *Treatment* Awal dan *Treatment* Optimum

Faktor Kontrol	<i>Treatment</i> Awal	<i>Treatment</i> Optimum	Unit
Suhu <i>Oven</i>	120	110	°C
Waktu <i>Oven</i>	360	240	minute
Suhu <i>Mixing</i>	50	60	°C
Waktu <i>Mixing</i>	100	100	minute
Tekanan <i>Clamping</i>	3	3	bar
Waktu <i>Clamping</i>	15	20	minute

Hasil respon *treatment* optimum ditunjukkan pada Tabel 4.11 berikut dan didapatkan pula nilai *SN Ratio* pada masing-masing respon.

Tabel 4.12 Data Hasil *Experiment* Konfirmasi Kondisi Optimum

<i>Run</i>	Respon		<i>SN Ratio</i>		Average
	<i>Power Frequency</i>	<i>Partial Discharge</i>	<i>Power Frequency</i>	<i>Partial Discharge</i>	
1	20	20	26.0206	26.0206	26.0206

Berdasarkan hasil respon *treatment* optimum maka didapatkan nilai PCR-TOPSIS yang ditunjukkan pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.13 Nilai Solusi Ideal Positif, Solusi Ideal Negatif dan PCR-TOPSIS

<i>Run</i>	Separation Measure		PCR-TOPSIS
	<i>dI+</i>	<i>dI-</i>	
1	0.1665	1.3247	1

4.9 Perbandingan Respon Antara Hasil *Treatment* Awal dengan *Treatment Optimum*

Pada penelitian ini membandingkan nilai optimum. Kondisi awal merupakan kombinasi faktor kontrol yang diatur pada level ke-2. Tujuan dari membandingkan *treatment* ini adalah untuk mengetahui peningkatan dari respon secara bersamaan ataupun secara individu.

Tabel 4.14 Perbandingan Respon *Treatment* Awal dengan *Treatment Optimum*

No	Respon	Karakteristik Kualitas	<i>Treatment</i> Awal	<i>Treatment Optimum</i>		Keterangan
				Prediksi	<i>Experiment</i>	
1	<i>Power Frequency</i>	<i>Larger is better</i>	18	23.7778	20	Naik 11.11%
2	<i>Partial Discharge</i>	<i>Larger is better</i>	14.3703	23.5926	20	Naik 39.17%

Berdasarkan Tabel 4.12 dari hasil masing-masing respon secara individu antara *treatment* awal dengan kondisi optimum karakteristik kualitas *larger is better* terpenuhi dimana ditunjukkan dengan adanya peningkatan nilai dari semua respon pada kondisi optimum. Besarnya peningkatan respon *power frequency* yaitu sebesar 11.11% sedangkan respon *partial discharge* yaitu sebesar 39.17%.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN, IMPLIKASI MANAJERIAL, DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan data dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa yaitu sebagai berikut:

1. Faktor yang berpengaruh terhadap kualitas respon *power frequency* dan *partial discharge* yaitu suhu *oven*, waktu *oven*, suhu *mixing*, waktu *mixing*, tekanan *clamping*, dan waktu *clamping*.
2. Metode Taguchi yang dikombinasikan dengan metode PCR-TOPSIS dapat meningkatkan kualitas respon dengan pengaturan level faktor kontrol optimum yaitu A1, B1, C3, D2, E2, F3 dimana faktor A (suhu *oven*) level 1 sebesar 110°C, faktor B (waktu *oven*) level 1 sebesar 240 menit, faktor C (suhu *mixing*) level 3 sebesar 60°C, faktor D (waktu *mixing*) level 2 sebesar 130 menit, faktor E (tekanan *clamping*) level 2 sebesar 3 bar, dan faktor F (waktu *clamping*) level 3 sebesar 20 menit.
3. Hasil *experiment* konfirmasi pada masing-masing respon memiliki nilai kondisi *treatment* optimasi lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi *treatment* awal dimana respon *power frequency* naik sebesar 11.11% dan respon *partial discharge* naik sebesar 39.17%, sehingga dapat dikatakan bahwa hasil *experiment* memenuhi karakteristik *larger is better*.

5.2. Implikasi Manajerial

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka beberapa implikasi manajerial yang bisa diajukan adalah sebagai berikut:

1. Perusahaan diharapkan dapat terus meningkatkan kualitas produk transformator instrumentasi dengan menerapkan faktor kontrol optimum pada proses produksi dari hasil optimasi faktor kontrol penelitian ini melalui prosedur intruksi kerja terbaru yang dibuat oleh kepala produksi dan *supervisor engineer*.
2. Perusahaan diharapkan dapat terus memberikan *training* pengetahuan kepada operator produksi terkait adanya perubahan intruksi kerja, sehingga tidak ada permasalahan prosedural dalam pelaksanaan kerja.
3. Dari faktor kontrol optimum penelitian ini diketahui bahwa dapat memberikan pengaruh terhadap peningkatan kualitas produk transformator instrumentasi. Sehingga dengan adanya perubahan instruksi kerja terbaru, kesadaran perusahaan untuk terus memperbaiki kualitas produknya melalui penelitian-penelitian terkait perbaikan kualitas.

5.3. Saran

Berdasarkan analisis dan pembahasan serta kesimpulan yang diperoleh, ada beberapa hal yang menjadi saran untuk penelitian selanjutnya.

1. Pada penelitian selanjutnya dapat melakukan pengurangan faktor kontrol pada tekanan *clamping* karena memberikan kontribusi yang rendah pada hasil *experiment* dengan syarat harus menggunakan nilai tekanan *clamping* yang optimum dari hasil penelitian ini.
2. Faktor interaksi antar faktor kontrol seharusnya perlu dipertimbangkan karena pada penelitian ini faktor kontrol tidak diperhatikan sehingga pengaruh korelasi faktor kontrol dengan respon tidak terlihat dengan jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Belavendram, N. (1995) *Quality By Design: Taguchi Technique for Industrial Experimentation*. Prentice Hall.
- Chowdhury, S. and Taguchi, S. (2016) *Robust Optimization*. Wiley.
- Crosby, P. B. (1979) *Quality is Free: The Art of Making Quality Certain*. McGraw-Hill.
- Deming, W. E. (2000) *Out of The Crisis*. The MIT Press.
- Feigenbaum, A. V. (1991) *Total Quality Control*. McGraw-Hill.
- Fowlkes, W. Y. and Creveling, C. M. (1995) *Engineering methods for Robust Product Design (Using taguchi Methods in Technology and Product Development)*. Massachusetts : Addison Wesley Publishing Company.
- Garvin, D. A. (1994) *Kualitas Produk: Alat Strategi Yang Penting*. Free Press.
- Gasperz, V. (1991) *Metode Perancangan Percobaan*. CV. Armico.
- Harty, F. J. and Ogston, R. (1995) *Kamus Kedokteran Gigi*. EGC.
- IEC (2000) *International Standard Instrument Transformers - Part 1: Current Transformers*. International Electrotechnical Commission.
- Irawan, H. (2004) *10 Prinsip Kepuasan Pelanggan*. Jakarta Elex Media Komputindo.
- Juran, J. M. and Godfrey, A. B. (1999) *Juran's Quality Handbook*. McGraw-Hill.
- Kandampully, J., Mok, C. and Sparks, B. (2008) *Service Quality Management in Hospitality, Tourism, and Leisure*. The Haworth Hospitality Press.
- Krishnaiah, K. and Shahabudeen, P. (2012) *Applied Design Of Experiments And Taguchi Methods*. PHI.
- Montgomery, D. C. (2001) *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons, Inc.
- Mori, T. (2011) *Taguchi Methods*. ASME Press.
- Park, S. H. (2010) *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*. Chapman & Hall.
- Roy, R. K. (2001) *Design of Experiments Using the Taguchi Approach*. Jhon Wiley and Sons, Inc.

- Roy, R. K. (2010) *A Primer On The Taguchi Method*. Second. SME.
- Soejanto, I. (2009) *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi*. Graha Ilmu.
- Steel, R. D. G. and Torrie, J. H. (1989) *Prinsip dan Prosedur Statistika*. PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Taguchi, G. (1986) *Introduction to Quality Engineering*. Asian Productivity Organization.
- Wheeler, A. J. and Ganji, A. R. (2010) *Introduction to Engineering Experimentation*. Pearson.

LAMPIRAN

Tabel 1 Hasil Pengujian Power Frequency

Run	Power Frequency (kV)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed
2	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed
3	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed
4	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed
5	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed
6	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Failed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed
7	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed
8	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed
9	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed
10	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed
11	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed
12	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed
13	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed
14	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed
15	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed
16	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed
17	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed
18	Failed	Failed	Passed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed
19	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed
20	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed
21	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed
22	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed
23	Passed	Passed	Failed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed
24	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed
25	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed
26	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed
27	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed

HASIL EXPERIMENT

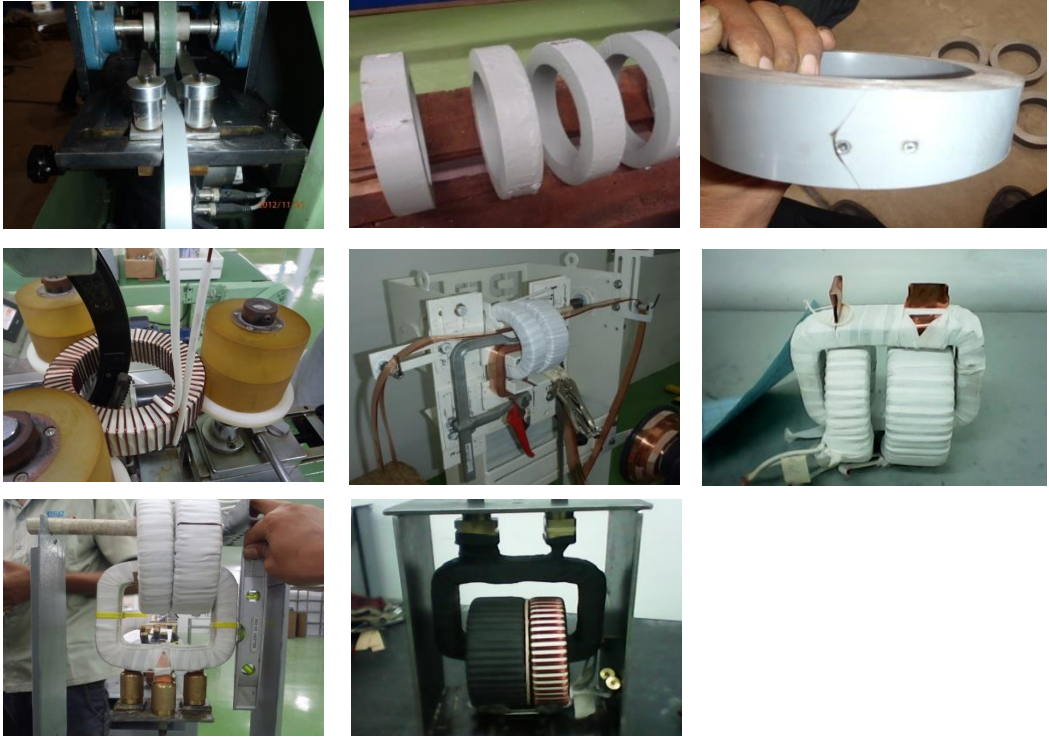
Tabel 2 Hasil Pengujian Partial Discharge

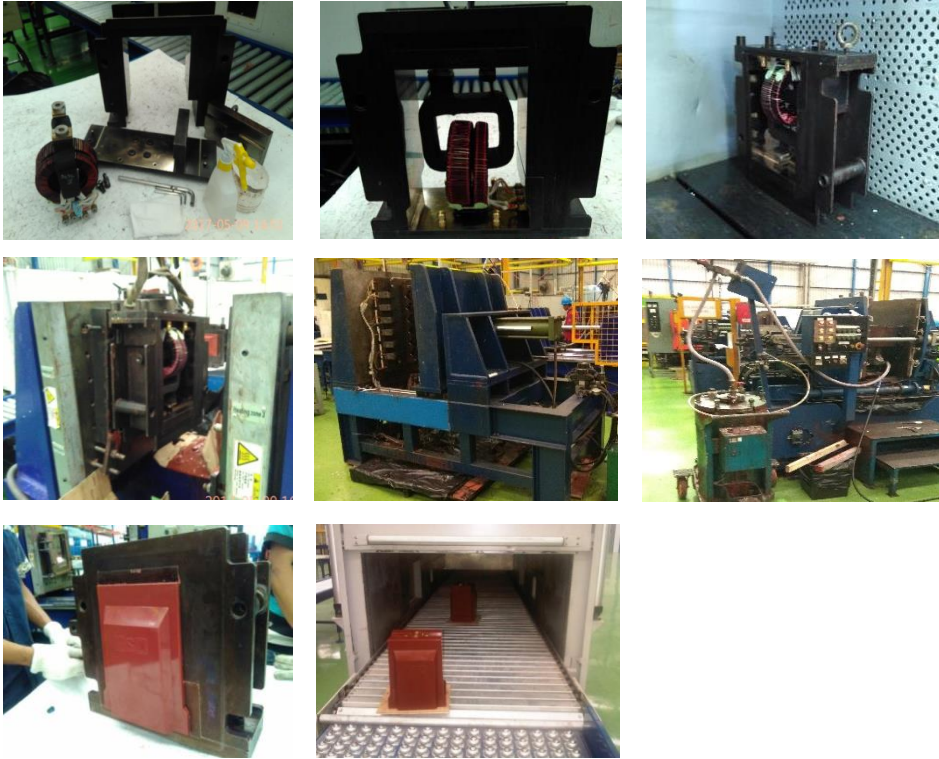
Run	Partial Discharge (pC)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed
2	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed
3	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed
4	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed
5	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed	Failed	Passed	Passed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed
6	Passed	Failed	Failed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Failed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed
7	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed
8	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed
9	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed
10	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed
11	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed
12	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed
13	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed
14	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed
15	Failed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed
16	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Passed	Failed	Failed
17	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed
18	Passed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed
19	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed
20	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed
21	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed
22	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed
23	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed
24	Passed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed
25	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed
26	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed
27	Passed	Failed	Failed	Failed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Failed	Failed	Passed	Passed	Failed	Passed	Failed	Passed	Failed

Bahan Baku dan Peralatan

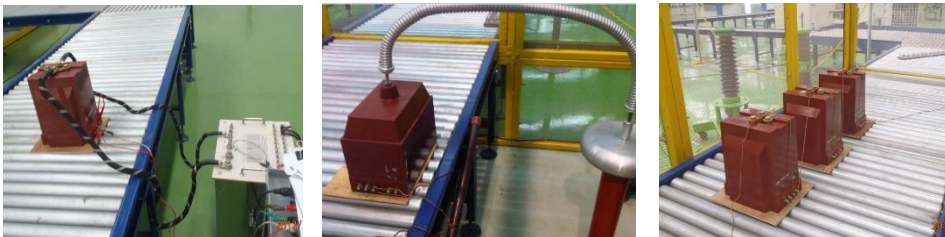


Proses Produksi





Proses Pengujian



Permasalahan Produk / Produk Cacat



BIODATA PENULIS



Ziyaurrohman Alladany, lahir di Tegal, Jawa Tengah, pada tanggal 6 Juli 1993, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai di MI Dliyaul Ulum Gembongdadi, SMPN 1 Kedungbanteng, dan SMAN 3 Slawi. Penulis kemudian melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi D3 di Jurusan Teknik Elektro UGM, lalu melanjutkan ke jenjang D4 di Jurusan Teknik Elektro Industri PENS, dan melanjutkan studi S2 di Jurusan Manajemen Industri ITS.

Selama perkuliahan, penulis aktif pada kegiatan yang bersifat akademis melakukan beberapa penelitian terkait teknologi, pada kegiatan non akademis penulis juga aktif organisasi di HIPOTESA, BEM SVT UGM dan Grup Musik di Yogyakarta.

Ketertarikan penulis pada dunia teknologi meliputi teknologi kelistrikan dan manajemen teknologi, terlebih lagi dalam fokus bidang kualitas produk teknologi. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email ziyaurrohman@yahoo.com.