TESIS - BM185407

PENINGKATAN KUALITAS PRODUK PUPUK NPK KELAPA SAWIT DI PT.XYZ DENGAN MENGGUNAKAN METODE STATISTICAL PROCESS CONTROL DAN TAGUCHI EXPERIMENT

HARIONO
09211850015009

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

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

TESIS – BM185407

PENINGKATAN KUALITAS PRODUK PUPUK NPK KELAPA SAWIT DI PT.XYZ DENGAN MENGGUNAKAN METODE STATISTICAL PROCESS CONTROL DAN TAGUCHI EKSPERIMEN

H A R I O N O
09211850015009

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

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

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Manajemen Teknologi (M.MT)

Di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Hariono

NRP: 09211850015009

Tanggal Ujian: 22 Juli 2020

Disetujui Oleh:

Pembimbing:

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

NIP. 196506301990031002 ……..

Penguji:

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

NIP. 194807101976031002 ……..

R. Mohamad Atok Ph.D

NIP. 197109151997021001 ……..

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 PRODUK PUPUK NPK KELAPA SAWIT DI PT.XYZ DENGAN MENGGUNAKAN METODE *STATISTICAL PROCESS CONTROL* DAN *TAGUCHI EXPERIMENT*

Nama Mahasiswa : Hariono

NRP : 09211850015009

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

ABSTRAK

Produk pupuk NPK kelapa sawit yang berkualitas adalah produk pupuk yang memenuhi spesifikasi mutu yang telah ditetapkan dalam Standar SNI 2801:2010 dan Standar SIRIM. PT. XYZ sebagai salah satu manufaktur pupuk NPK kelapa sawit senantiasa berkomitmen untuk menjaga kualitas produknya. Namun hingga saat ini perusahaan masih sering menerima komplain dari pelanggan terkait tidak tercukupinya kandungan unsur hara, yaitu Nitrogen-Phosphate-Kalium-Magnesium-Boron di dalam produk. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas produk pupuk NPK kelapa sawit di PT.XYZ. Agar kestabilan unsur hara ini tetap terjaga maka proses produksi harus benar-benar diperhatikan dengan tujuan untuk meminimalisir variasi produk. Untuk mencapai tujuan tersebut maka dirancang sistem pengendalian proses produksi dengan menggunakan *Statistical Process Control.* Selanjutnya dirancang suatu proses untuk menghasilkan produk yang *robust* dengan menggunakan eksperimen Taguchi. Dari eksperimen Taguchi diperoleh hasil optimasi *setting* level parameter proses dengan kombinasi sebagai berikut: *raw material intake* 27 mt/jam; *water usage* 1100 m^3/jam; *gas usage* 100 MMBtu; *granulator material temperature* 52°C; *dryer material temperature* 52°C; *cooler material temperature* 44°C; *finish product temperature* 39°C; *process environment temperature* 31°C. Dari hasil perhitungan ANOVA untuk masing-masing unsur hara menunjukkan bahwa kadar unsur hara N tertinggi didapatkan dari variabel *finish product temperature* 38°C; kadar unsur hara P_2O_5 didapatkan dari variabel *water usage* 1000 m^3/jam; kadar unsur hara K_2O didapatkan dari variabel *water usage* 1100 m^3/jam; kadar unsur hara MgO didapatkan dari variabel *gas usage* 90 MMBtu; kadar unsur hara B_2O_3 didapatkan dari variabel *water usage* 1100 m^3/jam dan ukuran fisik granula terbaik didapatkan dari variabel *cooler material temperature* 42°C. Hasil penelitian ini dapat menekan semaksimal mungkin komplain dari pelanggan karena produk telah memenuhi spesifikasi standar kualitas yang disyaratkan.

Kata Kunci: pupuk NPK padat**,** unsur hara**,** standar spesifikasi mutu, Statistical Process Control dan eksperimen Taguchi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

IMPROVING THE QUALITY OF PALM OIL NPK FERTILIZER PRODUCTS AT PT. XYZ USING STATISTICAL PROCESS CONTROL METHODS AND TAGUCHI EXPERIMENT

Name : Hariono

NRP : 09211850015009

Supervisor : Dr. Ir. Mokh Suef, M.Sc. (Eng)

ABSTRACT

The quality of palm oil NPK fertilizer products are fertilizer products that meet the quality requirements specified in SNI 2801: 2010 and SIRIM standards. PT. XYZ as one of the palm oil NPK fertilizer manufacturers is always committed to maintain the quality of its products. But until now the company still often receives complaints from customers related to insufficient nutrients namely Nitrogen-Phosphate-Kalium-Magnesium-Boron in the product. This research was conducted with the aim to improve the quality of palm oil NPK fertilizer products at PT.XYZ. So that stability cannot be improved, the production process must be strictly considered with the aim of minimizing product variations. To achieve these objectives a production process control system is created using Statistical Process Control. Then a process is designed to produce strong product using the Taguchi experiment Taguchi experiment obtained the results of the optimization of the process parameter level settings in combination as follows: raw material intake 27 mt/hour; water usage 1100 m^3/hour; gas usage 100 MMBtu; material temperature granulator 52°C; dryer material temperature 52°C; cooler material temperature of 44°C; finish product temperature 39°C; process environment temperature of 31°C. From the results of ANOVA calculations for each nutrient showed that N nutrient were obtained from the finish product temperature 38°C; P_2O_5 nutrient is obtained from the variable water usage of 1000 m^3/hour; K_2O nutrient is obtained from the variable water usage of 1100 m^3/hour; MgO nutrient is obtained from the variable gas usage of 90 MMBtu; B_2O_3 nutrients are obtained from the variable water usage of 1100 m^3/hour and the best physical size of the granules is obtained from the variable cooler material temperature of 42°C. The results of this study can reduce as much as possible complaints from customers because the product meets the quality standard specifications required.

Keywords: solid NPK fertilizer, nutrients, standard quality specifications, Statistical Process Control and Taguchi experiment.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alkhamdulillahirobbilalamin. Puji syukur atas karunia yang diberikan oleh Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tesis sebagai syarat kelulusan Program Studi Magister Manajemen Teknologi (MMT-ITS) yang berjudul, **"PENINGKATAN KUALITAS PRODUK PUPUK NPK KELAPA SAWIT DI PT.XYZ DENGAN MENGGUNAKAN METODE *STATISTICAL PROCESS CONTROL* DAN *TAGUCHI EXPERIMENT*".**

Penulis menyadari banyak bantuan yang telah diberikan dari oleh berbagai pihak. Oleh sebab itu ucapan terima kasih ditujukan kepada:

1. ALLAH SWT atas segala rahmad, hidayah dan innayah Nya yang tiada terhingga sehingga terbuka jalan bagi penyelesaian penyusunan tesis ini.
2. Sholawat dan salam senantiasa tercurah bagi Nabi, junjungan, dan manusia terbaik sepanjang zaman, Rasullulah Muhammad SAW, beserta kerabat dan sahabatnya.
3. Orang tua penulis, Ibu Eni Hartati, yang senantiasa mendo'akan dan memberikan semangat untuk menyelesaikan tesis ini.
4. Pendamping dan penyemangat, istri tercinta, dr. Polla Leona, M.H dan my little princess, Dayana Batrisya An-Nisa Fitri
5. Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc. (Eng) selaku dosen pembimbing yang sangat membantu untuk memberikan yang terbaik kepada mahasiswa bimbingannya.
6. Seluruh rekan-rekan seperjuangan di MMT-ITS Manajemen Industri 2018.
7. Seluruh dosen dan karyawan di MMT yang telah menyediakan layanan yang sangat membantu dalam penyelesaian tesis ini
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan tesis ini. Kritik dan saran yang membangun sangat berguna untuk pengembangan penulisan ini, agar selanjutnya tulisan ini dapat bermanfaat bagi pihak lain yang membutuhkan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

ABSTRAK iii
ABSTRACT v
KATA PENGANTAR vii
DAFTAR ISI ix
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 6
1.3 Tujuan Penelitian 6
1.4 Manfaat Penelitian 6
1.5 Batasan Penelitian 7
1.6 Asumsi Penelitian 7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1 Definisi Kualitas 9
2.2 Dimensi Kualitas Produk 10
2.3 Evolusi Manajemen Kualitas 11
2.4 Peningkatan Kualitas 13
2.5 Proses Produksi 14
2.5.1 Bahan Baku (Raw Material) 14
2.5.2 Flowsheet Proses Produksi 16
2.5.2.1 Proses *Batching* 17
2.5.2.2 Proses Granulasi 17
2.6 *Statistical Process Control* 32
2.6.1 *Control Chart* 33
2.6.1.1 Jenis-jenis *Control Chart* 35
2.6.1.2 Zona *Control Chart* 37
2.6.2 *Scatterplots* 39
2.6.3 Diagram Sebab-Akibat 41
2.7. *Design of Experiment* (DOE) 41
2.8 Metode Taguchi 43
2.8.1 Konsep Metode Taguchi 44

2.8.2 Tahapan Desain Produk atau Proses Metode Taguchi ……...47
2.9 Desain Eksperimental Taguchi 49
2.9.1 Tahap Perencanaan 50
2.9.2 Tahap Pelaksanaan 55
2.9.3 Tahap Analisis 55
2.9.4 Interpretasi Hasil 60
2.9.5 *Signal to Noise Ratio* 61
2.10 Penelitian Sebelumnya 63
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 65
3.1 Analisa Variansi Produk Metode *Statistical Process Control* (SPC) 65
3.2 Analisa Kemampuan Proses (*Process Capability Analysis*) 66
3.3 Variabel Penelitian 69
3.4 Rancangan Percobaan 71
3.4.1 Pemilihan *Orthogonal Array* (OA) 71
3.4.2 Rancangan Pengolahan Data 73
3.5 Tahap Analisis 74
3.7 Hipotesa 75
3.8 Kesimpulan dan Saran 75
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 79
4.1 Pengumpulan Data 79
4.2 Analisa Variansi Produk Metode *Statistical Process Control*... 80
4.2.1 Analisa Stabilitas dan Kapabilitas Proses 81
4.2.2 Penentuan Faktor Yang Berpengaruh 90
4.2.3 Penentuan Setting Level Faktor 91
4.3 Perancangan *Orthogonal Array* (OA) 99
4.4 Perhitungan Nilai Rata-rata Eksperimen 104
4.5 Analisa Karakteristik Kualitas dan Analisis Variansi 110
4.5.1 Perhitungan Nilai Rata-rata dan *Signal Noise to Ratio* 110
4.5.2 Hasil Perhitungan Analisis Variansi (ANOVA) 111
4.5.3 Interpretasi Hasil Analisis Variansi (ANOVA) 128
4.6 Eksperimen Konfirmasi 144
4.6.1 Persen Kontribusi 144
4.6.2 Selang Kepercayaan 145

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 155
5.1 Kesimpulan 155
5.2 Saran 157
DAFTAR PUSTAKA 159
DAFTAR LAMPIRAN 163

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Spesifikasi Persyaratan Mutu Produk Pupuk NPK Padat Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 2803:2010) 2
Tabel 1.2 Spesifikasi Persyaratan Mutu Produk Pupuk NPK Padat Berdasarkan Standard and Industrial Research Institute of Malaysia (SIRIM) 3
Tabel 1.3 Persyaratan Toleransi Unsur Hara Pupuk NPK Padat Yang Diijinkan... 4
Tabel 1.4 Data Komplain Pelanggan (Customer) Tahun 2019 5
Tabel 2.1 Tokoh Terkemuka Di Bidang Manajemen Kualitas Beserta Kontribusinya 12
Tabel 2.2 Spesifikasi Bahan Baku Pupuk NPK Padat 14
Tabel 2.3 Bentuk Dryer Drum Flight dan Fungsinya 21
Tabel 2.4 Contoh jenis-jenis Orthogonal Array (OA) 53
Tabel 2.5 Analysis of Variance (ANOVA) 56
Tabel 2.6 Penelitian Sebelumnya 63
Tabel 3.1 Variabel Bebas (Variabel Proses) Penelitian 71
Tabel 3.2 Derajat Kebebasan Faktor dan Level 72
Tabel 3.3 Rancangan Percobaan Taguchi 72
Tabel 4.1 Faktor-faktor yang Berpengaruh Terhadap Proses 91
Tabel 4.2 Kombinasi Faktor Proses dan Level 92
Tabel 4.3 Orthogonal Array Faktor dan Respon 100
Tabel 4.4 Respon Nilai Rata-rata Eksperimen Taguchi 102
Tabel 4.5 Signal to Noise Ratio (Nominal is the best) 103
Tabel 4.6 Faktor, Level dan Nilai Rata-rata Unsur Hara N 104
Tabel 4.7 Faktor, Level dan Nilai Rata-rata Unsur Hara P_2O_5 105
Tabel 4.8 Faktor, Level dan Nilai Rata-rata Unsur Hara K_2O 106
Tabel 4.9 Faktor, Level dan Nilai Rata-rata Unsur Hara MgO 107
Tabel 4.10 Faktor, Level dan Nilai Rata-rata Unsur Hara B_2O_3 108
Tabel 4.11 Faktor, Level dan Nilai Rata-rata Ukuran Fisik Granula 109
Tabel 4.12 Deskriptif Variabel Unsur Hara N 129
Tabel 4.13 Hasil Pengujian ANOVA Faktorial Unsur Hara N 130
Tabel 4.14 Deskriptif Variabel Unsur Hara P_2O_5 131
Tabel 4.15 Hasil Pengujian ANOVA Faktorial Unsur Hara P_2O_5 132
Tabel 4.16 Deskriptif Variabel Unsur Hara K_2O 133

Tabel 4.17 Hasil Pengujian ANOVA Faktorial Unsur Hara K_2O 134
Tabel 4.18 Deskriptif Variabel Unsur Hara MgO 136
Tabel 4.19 Hasil Pengujian ANOVA Faktorial Unsur Hara MgO 137
Tabel 4.20 Deskriptif Variabel Unsur Hara B_2O_3 138
Tabel 4.21 Hasil Pengujian ANOVA Faktorial Unsur Hara B2O3 139
Tabel 4.22 Deskriptif Variabel Ukuran Fisik Granula 140
Tabel 4.23 Hasil Pengujian ANOVA Faktorial Ukuran Fisik Granula 141
Tabel 4.24 Data Persen Kontribusi 144
Tabel 4.25 Confidence Interval Faktor dan Level unsur Hara N 145
Tabel 4.26 Confidence Interval Faktor Unsur Hara N 146
Tabel 4.27 Confidence Interval Level Unsur Hara N 146
Tabel 4.28 Confidence Interval Faktor dan Level Unsur Hara P_2O_5 146
Tabel 4.29 Confidence Interval Faktor Unsur Hara P_2O_5 147
Tabel 4.30 Confidence Interval Level Unsur Hara P_2O_5 147
Tabel 4.31 Confidence Interval Faktor dan Level Unsur Hara K_2O 148
Tabel 4.32 Confidence Interval Faktor Unsur Hara K_2O 148
Tabel 4.33 Confidence Interval Level Unsur Hara K_2O 149
Tabel 4.34 Confidence Interval Faktor dan Level Unsur Hara MgO 149
Tabel 4.35 Confidence Interval Faktor Unsur Hara MgO 150
Tabel 4.36 Confidence Interval Level Unsur Hara MgO 150
Tabel 4.37 Confidence Interval Faktor dan Level Unsur Hara B_2O_3 150
Tabel 4.38 Confidence Interval Faktor Unsur Hara B_2O_3 151
Tabel 4.39 Confidence Interval Level Unsur Hara B_2O_3 151
Tabel 4.40 Confidence Interval Faktor dan Level Ukuran Fisik Granula 152
Tabel 4.41 Confidence Interval Faktor Ukuran Fisik Granula 152
Tabel 4.42 Confidence Interval Level Ukuran Fisik Granula 153

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Definisi Kualitas Dari Perspektif Konsumen Dan Produsen 9
Gambar 2.2 Flowsheet Proses Produksi..... 16
Gambar 2.3 Layout Batching Section..... 17
Gambar 2.4 Skema Proses Produksi..... 18
Gambar 2.5 Granulator Drum 18
Gambar 2.6 Lapisan Penampang Granula Metode Akresi..... 19
Gambar 2.7 Lapisan Penampang Granula Metode Aglomerasi 20
Gambar 2.8 Konstruksi Granulator Drum..... 20
Gambar 2.9 Dryer Drum 22
Gambar 2.10 Konstruksi Dryer Drum 22
Gambar 2.11 Dryer Drum Co-Current Airflow..... 23
Gambar 2.12 Konstruksi Burner..... 23
Gambar 2.13 Cooler Drum..... 24
Gambar 2.14 Cooler Drum Co-Current Airflow 26
Gambar 2.15 Skema Proses Kerja Di Cooler Drum..... 26
Gambar 2.16 Distributor 27
Gambar 2.17 Crusher Blade 28
Gambar 2.18 Tampak Samping Crusher Blade..... 28
Gambar 2.19 Coating Drum..... 30
Gambar 2.20 Desain Konstruksi Coating Drum 30
Gambar 2.21 Bulk Storage..... 31
Gambar 2.22 Packing Station..... 32
Gambar 2.23 Control Chart Model..... 35
Gambar 2.24 Pola Grafik Control Chart 38
Gambar 2.25 Zona Control Chart..... 39
Gambar 2.26 Anatomi Scatterplots 40
Gambar 2.27 Grafik Korelasi Scatterplots..... 40
Gambar 2.28 Korelasi Scatterplots dan Nilainya 40
Gambar 2.29 Cause and Effect Diagram 41
Gambar 2.30 Kurva Kuadratik Taguchi Loss Function..... 45
Gambar 2.31 Tiga Kategori Karakteristik Kualitas Metode Taguchi 49

Gambar 3.1 Fishbone Diagram Penyebab Variasi Produk 68
Gambar 3.2 Sistematika Metodologi Penelitian 77
Gambar 4.1 Grafik Uji NormalitasUnsur Hara N 81
Gambar 4.2 Grafik Uji Normalitas Unsur Hara P_2O_5 82
Gambar 4.3 Grafik Uji Normalitas Unsur Hara K_2O 82
Gambar 4.4 Grafik Uji Normalitas Unsur Hara MgO 83
Gambar 4.5 Grafik Uji Normalitas Unsur Hara B_2O_3 83
Gambar 4.6 Hasil Pengujian Kondisi Proses Unsur Hara N 84
Gambar 4.7 Hasil Pengujian Kondisi Proses Unsur Hara P_2O_3 85
Gambar 4.8 Hasil Pengujian Kondisi Proses Unsur Hara K_2O 85
Gambar 4.9 Hasil Pengujian Kondisi Proses Unsur Hara MgO 86
Gambar 4.10 Hasil Pengujian Kondisi Proses Unsur Hara B_2O_3 86
Gambar 4.11 Grafik Analisa Kemampuan Proses (*Cp*) Secara Statistik 87
Gambar 4.12 Analisa Kemampuan Proses Unsur Hara N 88
Gambar 4.13 Analisa Kemampuan Proses Unsur Hara P_2O_5 88
Gambar 4.14 Analisa Kemampuan Proses Unsur Hara K_2O 89
Gambar 4.15 Analisa Kemampuan Proses Unsur Hara MgO 89
Gambar 4.16 Analisa Kemampuan Proses Unsur Hara B_2O_3 90
Gambar 4.17 Grafik Main Effect Plot Nilai Rata-rata 102
Gambar 4.18 Grafik Main Effect Plot Signal to Noise Ratio 103
Gambar 4.19 Grafik Nilai Rata-rata (Mean) Unsur Hara N 104
Gambar 4.20 Grafik Nilai Rata-rata (Mean) Unsur Hara P_2O_5 105
Gambar 4.21 Grafik Nilai Rata-rata (Mean) Unsur Hara K_2O 106
Gambar 4.22 Grafik Nilai Rata-rata (Mean) Unsur Hara MgO 107
Gambar 4.23 Grafik Nilai Rata-rata (Mean) Unsur Hara B_2O_3 108
Gambar 4.24 Grafik Nilai Rata-rata (Mean) Ukuran Fisik Granula 109

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Unsur Hara Uji Normalitas 163
Lampiran 2. Tingkat Kekerasan Material 166
Lampiran 3. Suhu Titik Lebur Material..... 167
Lampiran 4. Kandungan Unsur Hara Phosphate 168
Lampiran 5. Material Safety Data Sheet (MSDS)..... 169

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kualitas produk merupakan faktor yang sangat penting dan berpengaruh dalam menunjang perkembangan dan eksistensi perusahaan di tengah persaingan global yang semakin kompetitif. Guna mendapatkan kualitas produk yang sesuai dengan harapan pelanggan (*customer needs*) dibutuhkan peran aktif dari segenap lapisan dalam organisasi perusahaan dan pengkoordinasian semua sumber daya yang ada termasuk top manajemen, karyawan, sistem produksi, bahan baku bahkan juga anggaran. Tujuannya adalah untuk menjaga agar terjalin sinergi positif yang nantinya akan memberikan keuntungan (*benefit*) dan laba (*profit*) bagi perusahaan.

Dalam skala produksi masal (*mass production*) bukanlah hal mudah untuk mempertahankan konsistensi kualitas produk. Hal ini terkait banyak faktor yang turut mempengaruhinya, diantaranya adalah harga material bahan baku, pertimbangan harga unit utilitas (energi listrik, air dan gas alam) yang digunakan selama proses produksi berjalan, banyaknya produk cacat (*defect*) yang akhirnya harus di proses ulang (*reproduction*) yang secara langsung maupun tidak langsung turut membebani biaya (*cost*) produksi, diversifikasi dan substitusi bahan baku yang berakibat pada bervariasinya setting mesin dalam proses, kondisi lingkungan operasional proses yang cenderung korosif, memiliki kelembaban tinggi dan berdebu turut andil mempercepat penyusutan kehandalan (*reliability*) mesin.

Jika faktor-faktor penyebab variasi produk diatas tidak segera mendapatkan penanganan secara benar dan tepat akan berdampak pada kualitas produk pupuk itu sendiri. Terutama pada kandungan unsur hara pupuk (N-P-K-MgO-B_2O_3) yang cenderung tidak stabil (*out-spec*) atau tidak sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan di dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 2803:2010) seperti yang tertera dalam tabel 1.1 mengenai spesifikasi persyaratan mutu produk pupuk NPK padat. Standar Nasional Indonesia (SNI

2803:2010) merupakan revisi SNI 02-2803-2000 mengenai *Pupuk NPK padat*, yang disusun berdasarkan program pemerintah khususnya dalam rangka perlindungan konsumen dan produsen pupuk serta untuk mendukung perkembangan agro industri.

Tabel 1.1 Spesifikasi persyaratan mutu produk pupuk NPK padat berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 2803:2010)

No	Jenis uji	Satuan	Persyaratan	Batas Spesifikasi Bawah
1	Nitrogen total*	%, b/b	Sesuai formula yang ada di label	8 %
2	Fosfor total sebagai P_2O_5*	%, b/b		8 %
3	Kalium sebagai K_2O*	%, b/b		8 %
4	Jumlah kadar N, P_2O_5, K_2O	%, b/b		8 %
5	Kadar air	%, b/b	Maks. 3	-
6	Cemaran logam			
	• Raksa (Hg)	mg/kg	Maks. 10	-
	• Kadmium (Cd)	mg/kg	Maks. 100	-
	• Timbal (Pb)	mg/kg	Maks. 500	-
7	Arsen (As)	mg/kg	Maks. 100	-

Keterangan: * adalah jenis uji atas dasar berat kering (adbk)

Selain mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 2803:2010), acuan standar baku mutu produk pupuk NPK padat lainnya yaitu berdasarkan *Standard and Industrial Research Institute of Malaysia* (SIRIM). Tabel 1.2 di bawah ini akan menjelaskan mengenai spesifikasi persyaratan mutu produk pupuk NPK padat berdasarkan *Standard and Industrial Research Institute of Malaysia* (SIRIM).

Tabel 1.2 Spesifikasi persyaratan mutu produk pupuk NPK padat berdasarkan *Standard and Industrial Research Institute of Malaysia* (SIRIM) (Catatan 1)*

No	Kandungan unsur hara	Batas Spesifikasi Bawah	Metode pengujian
1	Nitrogen, N, % berat	- 8%	MS 417 Bagian 3*
2a	Total fosfor, P_2O_5, % berat	-8%	MS 417 Bagian 4*
2b	Kelarutan fosfor di dalam air, Ws P_2O_5, % berat	-8%	MS 417 Bagian 4*
2c	Kelarutan fosfor dalam asam sitrat, CAS P_2O_5, % berat	-8%	MS 417 Bagian 4
3	Potassium, K_2O, % berat	-8%	MS 417 Bagian 5*
4	Magnesium, MgO, % berat	-8%	MS 417 Bagian 6*
5	Total unsur hara yang diijinkan	-5%	(catatan 2)

Catatan 1. Tidak ada penetapan batas atas pada tingkat toleransi yang diizinkan

Catatan 2. Tabel 1.3 di bawah ini akan menjelaskan mengenai perhitungan nilai batas toleransi yang diizinkan. Sebagai contoh produk pupuk dengan kandungan unsur hara 12-6-25-2 yang dinyatakan dalam urutan N-P-K-MgO, maka persyaratan toleransi yang diizinkan adalah sebagai berikut:

Tabel 1.3 Persyaratan toleransi unsur hara pupuk NPK padat yang diizinkan

Jenis unsur hara	**Kandungan unsur hara, %**	**Variasi yang diizinkan**	**Maksimum nilai toleransi yang diijinkan untuk batas bawah**	**Minimum standar**
N P_2O_5 K_2O MgO	12 6 25 2	-8% -8% -8% -8%	-0.96 -0.50 -1.75 -0.50	11.04 5.50 23.25 1.50
Total unsur hara yang diijinkan	45	-5%	-2.25	42.75

PT. XYZ sebagai salah satu manufaktur pupuk Nitrogen-Phosphate-Kalium (NPK) kelapa sawit senantiasa berkomitmen untuk menjaga kualitas produknya. Namun hingga saat ini perusahaan masih sering mendapatkan komplain dari pelanggan terkait tidak tercukupinya unsur hara (N-P-K-MgO-B_2O_3) di dalam produk. Karena dalam sektor industri kelapa sawit faktor utama yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produktivitas adalah pemupukan. Pemupukan menjadi satu keharusan karena kelapa sawit tergolong tanaman yang sangat konsumtif. Kekurangan salah satu unsur hara akan segera menunjukkan gejala defisiensi dan mengakibatkan pertumbuhan vegetatif terhambat serta produksi menurun (Poeloengan et al, 2003).

Mengingat pentingnya kecukupan unsur hara di dalam produk pupuk Nitrogen-Phosphate-Kalium (NPK) kelapa sawit ini maka semua pihak yang terlibat harus memberikan perhatian yang serius ketika proses produksi berlangsung. Sebab kurangnya unsur hara dalam produk akan mengakibatkan pelanggan (*customer*) melayangkan komplain karena kualitas produk tidak sesuai dengan perjanjian kontrak kerja yang telah disepakati bersama.

Berikut ini adalah data komplain pelanggan (*customer*) selama periode tahun 2019 seperti tertera dalam tabel 1.4 yang sebagian besar disebabkan kurangnya unsur hara (N-P-K-MgO-B_2O_3) di dalam produk.

Tabel 1.4 Data komplain pelanggan (*customer*) tahun 2019

No	Customer	Komplain					
		Unsur Hara (Nutrients)					
		N	P_2O_5	K_2O	MgO	B_2O_3	Kadar air
1	Minamas Plantation		√				
2	First Resources Group			√			
3	Musim Mas Plantation	√	√	√			√
4	Triputra Agro Persada	√			√		
5	Mestindo Group	√	√				
6	Sungai Budi Plantation	√					
7	Musim Mas Plantation						√
8	Agrindo Group	√	√	√	√	√	√
9	Lifere Group	√	√	√		√	
10	Best Group		√				
11	Duta Palma Plantation	√					
12	Makin Group			√		√	
13	Gawi Plantation	√					
14	Swakarsa (DSN Group)	√					
15	Evan Plantation	√	√	√	√	√	
Total Komplain		**10**	**7**	**6**	**3**	**4**	**3**

Berdasarkan banyaknya komplain pelanggan (*customer*) terutama terkait kurangnya kandungan unsur hara (N-P-K-MgO-B_2O_3) di dalam produk, maka perlu kiranya dilakukan evaluasi dan identifikasi terhadap sistem produksi yang tengah berjalan. Dengan memperhatikan faktor utama yang dapat menyebabkan berkurangnya unsur hara (N-P-K-MgO-B_2O_3) yaitu : bahan baku (*raw material*) yang digunakan, perbedaan spesifikasi teknis bahan baku (*raw material*) antar supplier dan setting mesin saat proses produksi berlangsung, maka dibutuhkan alat yang berfungsi untuk membantu mengendalikan dan meminimalisir variasi tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk pupuk NPK (Nitrogen-Phosphate-Kalium) di PT.XYZ dengan memperbaiki proses produksinya. Penelitian ini akan diarahkan untuk menemukan penyebab penurunan kualitas produk dan selanjutnya akan dirancang sebuah proses guna mencegah terjadinya penurunan kualitas tersebut.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah dijelaskan di atas, bahwa variasi produk merupakan faktor yang harus diperhatikan guna mencapai standar kualitas yang diinginkan oleh pelanggan (*customer*).

Maka permasalahan-permasalahan yang perlu mendapat perhatian adalah sebagai berikut:

1. Karakteristik kualitas yang harus dikendalikan oleh perusahaan.
2. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya variasi karakteristik kualitas produk sehingga harus dikendalikan.
3. Upaya atau tindakan yang harus dilakukan untuk meminimalisir variasi produk agar kualitas produk dapat senantiasa ditingkatkan.

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan pada identifikasi permasalahan diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi karakteristik kualitas produk yang harus dikendalikan.
2. Mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya variasi produk.
3. Melakukan desain eksperimen untuk proses perbaikan berkelanjutan.
4. Melakukan tindakan untuk meminimalisir variasi produk agar kualitas produk dapat senantiasa ditingkatkan

1.4. Manfaat Penelitian

Diharapkan dari penelitian ini dapat diperoleh manfaat :

1. Untuk praktisi (institusi)

   Dapat menambah khasanah ilmu, sumber informasi, pengetahuan dan wawasan terkait penanganan variasi produk dalam suatu proses produksi.

2. Untuk pengembangan keilmuan

   Menjadikan sumbangsih pemikiran maupun referensi bagi penelitian selanjutnya terkait variasi produk dalam proses produksi.

3. Untuk pihak manufaktur

   Penelitian ini dapat memberikan tambahan informasi baru terkait kemajuan proses dan perbaikan secara berkelanjutan (*continuous improvement*).

1.5. Batasan Penelitian

Untuk menghindari terjadinya perluasan analisis masalah dalam penelitian ini, maka perlu adanya pembatasan permasalahan sebagai berikut :

1. Obyek penelitian dilakukan pada salah satu unit produksi NPK (Nitrogen-Phosphate-Kalium) yang dipandang memiliki prestasi kerja terendah dibandingkan lini produksi NPK (Nitrogen-Phosphate-Kalium) lainnya.
2. Produk yang digunakan untuk obyek penelitian memakai produk yang paling diminati di pasaran dan terbukti mampu meningkatkan rendemen hasil panen secara maksimal.

1.6. Asumsi Penelitian

Asumsi-asumsi yang digunakan selama proses penelitian ini adalah :

1. Tidak terjadi perubahan kebijakan perusahaan yang mendasar terkait dengan sistem produksi yang ada saat ini.
2. Alur proses produksi tidak mengalami perubahan.
3. Tidak ada perubahan spesifikasi produk selama proses penelitian berlangsung.

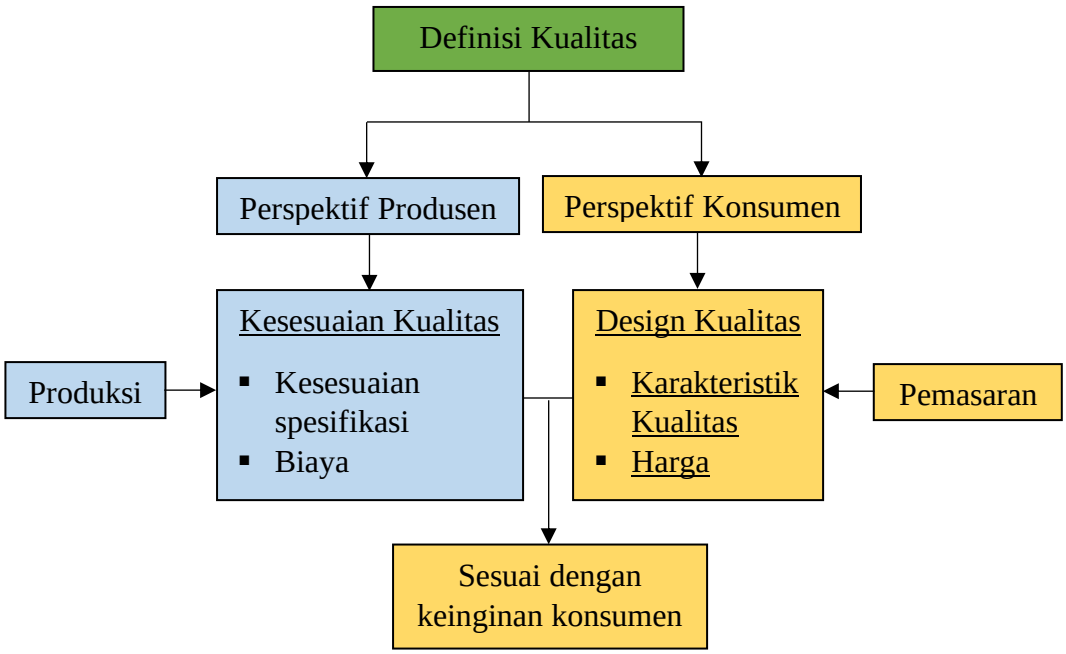
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Kualitas

Menurut The American Society for Quality (ASQ), kualitas didefinisikan sebagai karakteristik dari suatu produk yang menunjang kemampuannya untuk memuaskan kebutuhan yang di spesifikasikan atau ditetapkan (Russell, Taylor, Operations and Supply Chain Management, Eighth Edition). Saat ini kualitas sudah menjadi salah satu indikator penting bagi perusahaan agar dapat tetap eksis di tengah kondisi persaingan yang kian kompetitif.

Kualitas merupakan faktor yang terdapat dalam suatu produk yang menyebabkan produk tersebut memiliki nilai sesuai dengan maksud dan tujuan untuk apa produk tersebut dibuat atau diproduksi. Jika kualitas suatu produk tidak memenuhi spesifikasi yang diinginkan oleh pelanggan (*customer*) maka efek yang yang ditimbulkan adalah pelanggan (*customer*) tidak akan membeli atau memesan produk tersebut (Suef. M. et al., 2017)



Gambar 2.1 Definisi kualitas dari perspektif produsen dan konsumen
(Russell, Taylor, Operations and Supply Chain Management, Eighth Edition)

2.2. Dimensi Kualitas Produk

Dimensi kualitas sebuah produk yang diinginkan oleh konsumen (*customer*) meliputi hal-hal berikut ini (D.A Garvin, 1984):

1. *Kinerja (Performance)*

   Kinerja atau *performance* merupakan dimensi kualitas yang berkaitan dengan karakteristik utama suatu produk.

2. *Fitur (Features)*

   Fitur atau *features* merupakan karakteristik pendukung atau pelengkap dari karakteristik utama suatu produk.

3. *Kehandalan (Reliability)*

   Adalah dimensi kualitas yang berhubungan dengan kemungkinan suatu produk dapat bekerja secara memuaskan pada waktu dan kondisi tertentu.

4. *Kesesuaian (Conformance)*

   Adalah kesamaan kinerja dan kualitas produk dengan standar yang diinginkan karena pada dasarnya setiap produk memiliki standar maupun spesifikasi yang telah ditentukan.

5. *Ketahanan (Durability)*

   Berkaitan dengan ketangguhan suatu produk hingga saatnya harus diganti. Ketahanan atau *durability* ini biasanya diukur berdasarkan umur atau waktu daya tahan suatu produk.

6. *Serviceability*

   Adalah kemudahan layanan atau perbaikan jika dibutuhkan. Hal ini sering dikaitkan dengan layanan purna jual yang disediakan oleh produsen misalnya mengenai ketersediaan suku cadang dan kemudahan perbaikan apabila terjadi kerusakan. Dengan didukung pusat layanan perbaikan (*service center)* yang letaknya mudah dijangkau oleh konsumen.

7. *Keindahan (Aesthetics)*

   Hal ini erat kaitannya dengan daya tarik produk secara visual. Sering kali keputusan memilih suatu produk didasarkan pada faktor-faktor seperti model, warna, bentuk, kemasan maupun segi artistik lainnya.

8. *Persepsi terhadap produk (Perceived quality)*

Reputasi dan rekam jejak perusahaan di masa lalu terkait kualitas dan mutu produk adalah suatu hal yang substantial. Reputasi ini dapat berkaitan dengan kegagalan produk terdahulu, penarikan kembali (*recall*) produk karena ditemukan adanya cacat produksi maupun mengenai bagaimana pelanggan diperlakukan ketika ada pelaporan terkait kualitas produk.

2.3. Evolusi Manajemen Kualitas

Sejumlah tokoh terkemuka dalam Tabel 2.1 di bawah ini telah memberikan kontribusi yang luar biasa pada pentingnya arti kualitas baik di Amerika Serikat, Jepang maupun negara-negara lainnya di dunia. Dari beberapa 'guru kualitas' ini, W. Edwards Deming adalah sosok yang paling fenomenal. Pada sekitar tahun 1940'an, Deming yang bekerja di biro sensus memperkenalkan penggunaan kontrol proses statistik yang bertujuan untuk memantau data kuesioner sensus. Selama perang dunia ke-2, Deming mengembangkan program nasional yaitu kursus 8-10 hari. Dalam kursus tersebut diajarkan mengenai teknik pengendalian kualitas secara statistik kepada lebih dari 10000 insinyur yang bekerja pada perusahaan pemasok alat-alat militer.

Pada tahun 1950, Deming mulai mengajarkan kontrol kualitas statistik kepada perusahaan-perusahaan di Jepang. Sebagai seorang konsultan industri dan seorang guru, ia berhasil meyakinkan mereka tentang manfaat dari pengendalian kualitas secara statistik. Pendekatan yang dilakukan Deming adalah dengan cara perbaikan berkelanjutan pada proses produksi guna mendapatkan produk yang sesuai dengan spesifikasi dan mengurangi variabilitas.

Tabel 2.1 Tokoh terkemuka di bidang manajemen kualitas beserta kontribusinya (Russell, Taylor, Operations and Supply Chain Management, Eighth Edition)

Tokoh Manajemen Kualitas	Kontribusi
Walter Shewhart	Bekerja di Bell Laboratories pada sekitar tahun 1920an, ia mengembangkan alat-alat teknis seperti diagram kendali (C*ontrol Chart*) yang membentuk dasar kendali mutu statistik. Dia dan rekan-rekannya di Bell Laboratories memperkenalkan istilah penjaminan kualitas (*Quality Assurance*) untuk program mereka dengan cara meningkatkan kualitas melalui penggunaan metode kontrol statistik.
W. Edwards Deming	Sebagai murid Shewhart, ia menyelenggarakan kursus selama perang dunia ke-2 dengan mengajarkan teknik pengendalian kualitas statistik kepada para insinyur dan eksekutif perusahaan pemasok alat-alat militer. Setelah era perang dunia ke-2 usai, ia mulai mengembangkan sayapnya dengan mengajarkan kontrol kualitas statistik pada perusahaan-perusahaan di Jepang
Armand V. Feigenbaum	Dalam bukunya yang diterbitkan pada tahun 1951, *Quality Control: Principles, Practices and Administration,* ia memperkenalkan konsep kontrol kualitas total dan peningkatan kualitas secara berkelanjutan sebagai sebuah komitmen strategis di seluruh lini perusahaan. Dimana untuk mewujudkannya dibutuhkan keterlibatan dari semua pihak terkait.
Philip Crosby	Dalam bukunya, *Quality Is Free*, di tahun 1979, ia menekankan pada biaya yang ditimbulkan akibat kualitas yang buruk akan jauh lebih besar dibandingkan biaya yang dibutuhkan untuk mencegah buruknya sebuah kualitas. Dalam bukunya yang diterbitkan di tahun 1984, *Quality Without Tears*, Philip Crosby mendefinisikan manajemen kualitas secara menyeluruh dimana kualitas adalah kesesuaian terhadap spesifikasi yang telah ditetapkan, kualitas dihasilkan dari tindakan preventif dan standar kinerjanya adalah 'tanpa cacat' (*zero defects*).

2.4 Peningkatan Kualitas

Peningkatan kualitas pada dasarnya merupakan upaya atau kiat untuk mengatasi berbagai macam permasalahan yang timbul dan memawaspadai segala kemungkinan yang bisa saja terjadi saat ingin mencapai kualitas yang diharapkan. Dalam proses peningkatan kualitas, hal yang terpenting adalah bagaimana kita mampu menemukan permasalahan dan bagaimana mengatasi permasalahan tersebut guna mencapai ukuran standar yang diinginkan. Agar dapat menganalisa permasalahan dengan lebih mudah, perlu kiranya dipahami prinsip-prinsip dasar dalam peningkatan kualitas, yaitu:

1. Mengenali siapa konsumen kita dan apa yang diinginkannya
2. Berfokus pada proses
3. Menggunakan data dalam setiap proses pengambilan keputusan
4. Meminimalisir variasi dalam proses
5. Berkomitmen meningkatkan kualitas secara berkesinambungan

Karena begitu besarnya dampak kepuasan pelanggan (*customer*) terhadap suatu produk maka harus dipahami konsekuensi apa saja yang menyertai saat pelanggan merasa dikecewakan (The British Quality Foundation, 2006):

1. Dibutuhkan biaya 5 sampai 6 kali lipat untuk menarik pelanggan baru dibanding mempertahankan pelanggan tetap
2. Sekitar 94 atau 96 persen pelanggan yang merasa tidak puas, seringkali tidak mengeluh, tapi perlahan-lahan menjauh dan tidak kembali melakukan pemesanan (*reorder*)
3. 54 sampai 70 persen pelanggan yang mengajukan komplain, tetap akan melakukan bisnis dengan perusahaan apabila keluhan mereka diselesaikan dengan memuaskan; jumlah ini akan meningkat menjadi sekitar 95 persen jika keluhan dapat diselesaikan dengan cepat
4. Sekitar 68 persen pelanggan berhenti berbisnis dengan pemasok karena mereka merasa tidak dihargai; 14 persen memilih berpaling kepada suplier lain karena mereka tidak puas dengan produk yang dihasilkan, dan 9 persen lainnya memilih suplier dan produk lain yang lebih kompetitif

5. Peningkatan retensi pelanggan sedikitnya lima persen terhadap suatu produk, ternyata dapat menghasilkan peningkatan laba 80 hingga 100 persen bagi produsen yang lain

2.5. Proses produksi

2.5.1. Bahan Baku (*Raw Material*)

Spesifikasi bahan baku (*raw material*) yang digunakan dalam proses produksi pupuk Nitrogen-Phosphate-Kalium (NPK) kelapa sawit akan dijelaskan pada tabel 2.2 di bawah ini:

Tabel 2.2 Spesifikasi bahan baku pupuk NPK padat

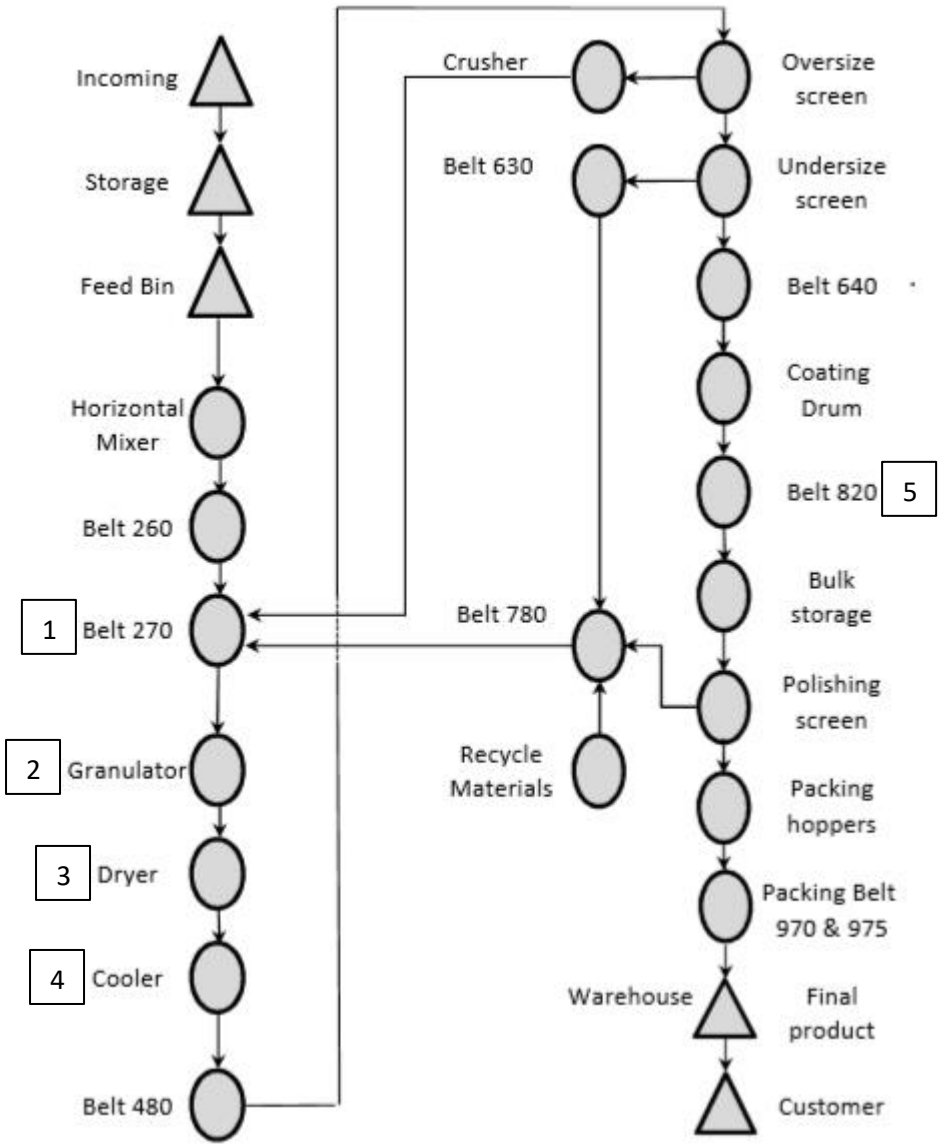
No	Jenis Bahan Baku	Kandungan Unsur Hara	Kadar Air Maximum	pH
1	Urea	46% N	1%	8-9
2	Monoammonium Phosphate (MAP)	11% N 48% P_2O_5	2%	3-5
3	Diammonium Phosphate (DAP)	18% N 46% P_2O_5 39-41% WSP	3%	4-6
4	Rock Phosphate - Dust	29-32% P_2O_5 7,5% CAS	4%	7-8
5	Rock Phosphate - Bulk	30-31% P_2O_5 7,5% CAS	4%	7-8
6	Egypt Rock Phosphate	28-30% P_2O_5 40-44% CaO	4%	6-8
7	MOP (Pupuk KCl) Red/White	60% K_2O	1%	8-9
8	Emag / Magnesite	90-95% MgO 3% CaO	1%	9-12
9	Super Dolomit	20% MgO 30% CaO	2%	8-9

Lanjutan Tabel 2.2 Spesifikasi bahan baku pupuk NPK padat

10	Borax Pentahydrate	48% B_2O_3 8-10% CaO	1%	8-9
11	Copper Sulphate Pentahydrate	32% CuO	2%	3-4
12	Zinc Sulphate Heptahydrate	28% ZnO	2%	4-6
13	Brown Clay, Filler	-	4%	5-7
14	White Clay	-	4%	5-7

(Sumber: PT.XYZ)

2.5.2. Flowsheet Proses Produksi



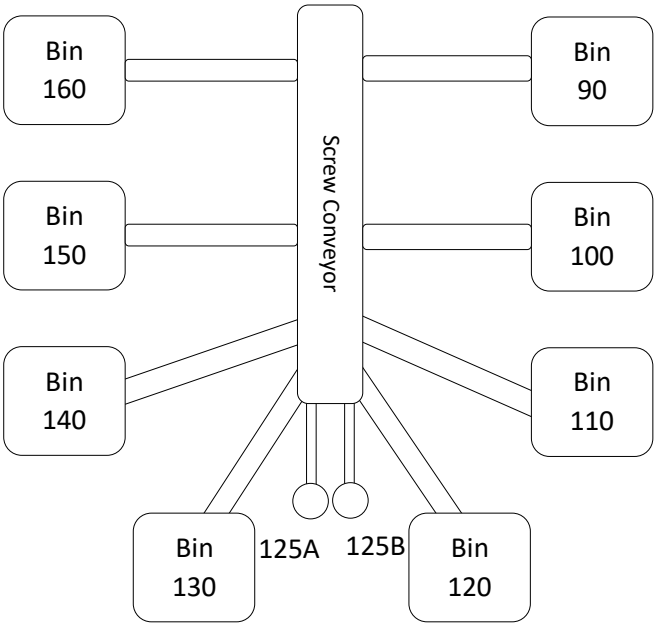
Gambar 2.2 Compound Production Flowchart (Sumber: PT.XYZ)

Keterangan:

1	Lokasi pengambilan data *raw material intake*
2	Lokasi pengambilan data *water usage* dan *granulator material temperature*
3	Lokasi pengambilan data *gas usage* dan *dryer material temperature*
4	Lokasi pengambilan data *cooler material temperature*
5	Lokasi pengambilan data *finish product temperature*

2.5.2.1. Proses Batching

Adalah proses dimasukkannya bahan baku ke dalam sistem untuk selanjutnya diproses menjadi produk. Di area *batching* telah disediakan *hopper* yang berfungsi untuk menampung bahan baku. Untuk membawa bahan baku dari *hopper* menuju ke dalam sistem dipakai alat angkut *screw conveyor*. Alasan mengapa *screw conveyor* dipilih sebagai alat angkut adalah karena *screw conveyor* lebih ekonomis untuk mengangkut bahan baku dalam jumlah yang besar. Namun untuk nutrient mikro seperti *Copper* (Cu), *Zinc* (Zn) dan *Borax* telah disiapkan hopper tersendiri dengan ukuran yang lebih kecil. Screw conveyor untuk nutrient mikro memakai ukuran yang lebih kecil dibandingkan screw conveyor untuk nutrient makro (Nitrogen-Phosphate-Kalium).

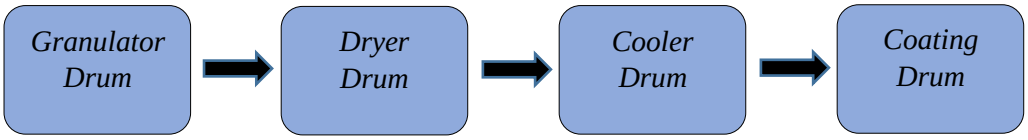


Gambar 2.3 Layout batching section (Sumber PT.XYZ)

2.5.2.2 Proses Granulasi

Adalah proses dimana semua bahan baku dari *batching section* dicampur hingga homogen dan kemudian akan diproses menjadi produk berbentuk granular. Proses granulasi dipengaruhi oleh 3 (tiga) faktor utama, yaitu air, panas dan aliran

udara. Agar dapat menghasilkan produk pupuk berkualitas tinggi, maka kolaborasi ketiga faktor diatas harus benar-benar diperhatikan terutama oleh tim produksi.



Gambar 2.4 Skema proses granulasi (Sumber: PT.XYZ)

- ***Granulator drum***

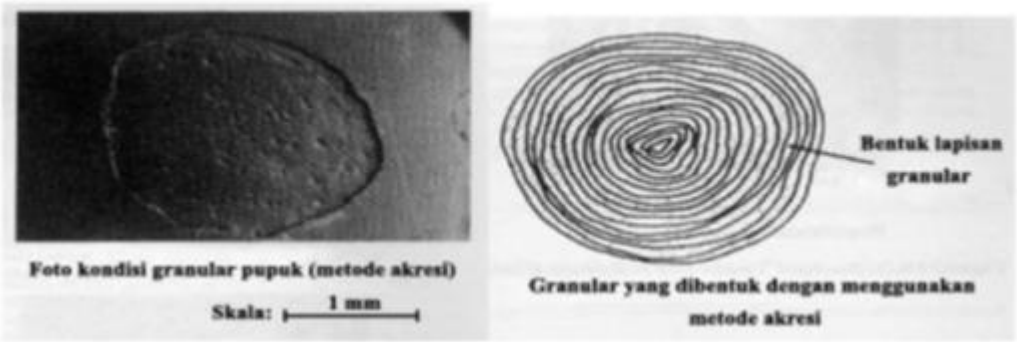
Meskipun nama alat ini adalah granulator drum, namun fungsinya lebih menyerupai *mixer*. Bahan baku dari *batching section* akan masuk ke dalam granulator dan kemudian diputar secara kontinyu untuk memberikan efek *milling*. Di dalam granulator terdapat *nozzle* yang berfungsi untuk menyemprotkan air ke bahan baku. Tujuannya adalah untuk membantu proses pengikatan antar partikel bahan baku. Permukaan *body granulator drum* juga dipasang palu (*hammer*) yang bertujuan untuk mencegah bahan baku menempel di dinding dalam granulator.

Gambar 2.5 Granulator drum (Sumber: PT.XYZ)

Pada dasarnya mekanisme terbentuknya granular pupuk dapat dibedakan menjadi 2 (dua) macam, yaitu:

1. *Layering* (disebut juga kulit bawang) atau *Accretion*

Dalam proses Akresi, cairan (*amonium fosfat*) disemprotkan ke permukaan partikel benih untuk membentuk lapisan tambahan. Lapisan tambahan yang disemprotkan secara kontinyu ini akan membuat partikel semakin membesar. Hasil dari proses ini biasanya akan menghasilkan granular yang keras dan bulat.

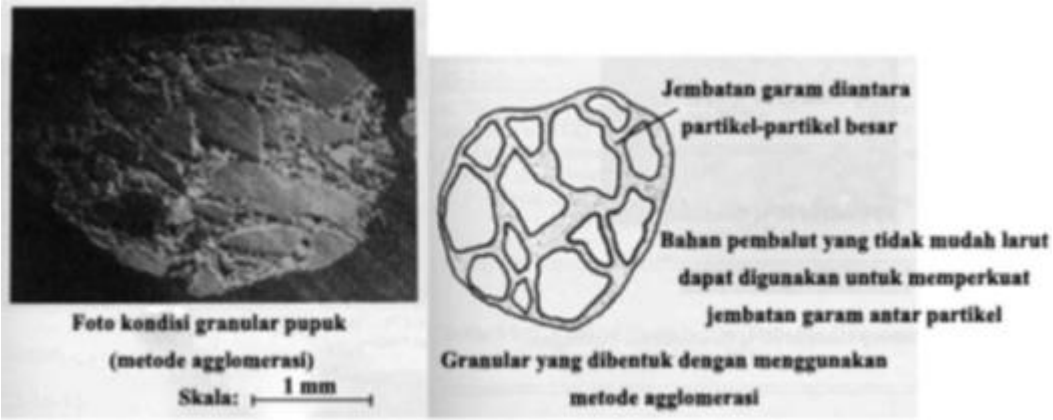


Gambar 2.6 Lapisan penampang granula yang metode akresi
(sumber: UNIDO / IFDC Fertilizer manual)

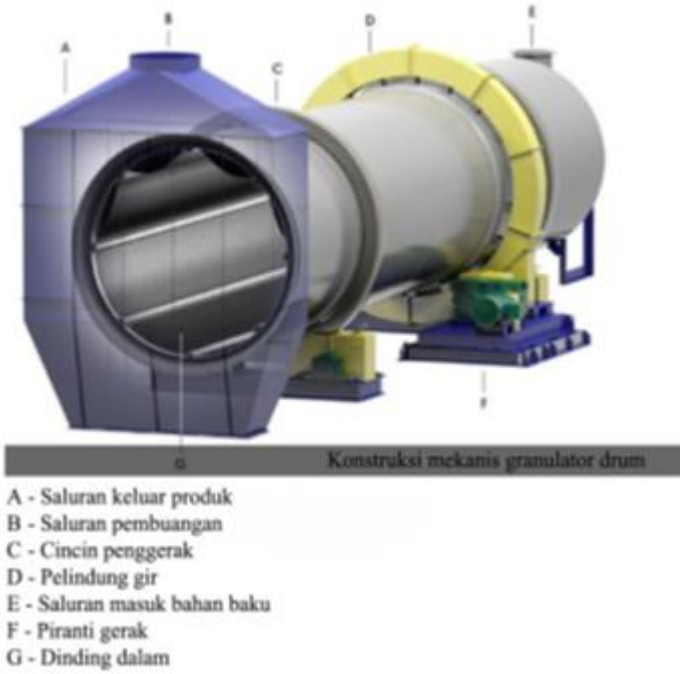
2. Aglomerasi (*Aglomeration*)

Adalah proses dimana partikel-partikel yang halus saling menempel membentuk butiran yang lebih besar, dalam hal ini sebagian atau seluruh material asal masih dapat diidentifikasi dan sebagian lainnya mungkin sudah berubah menjadi senyawa baru melalui reaksi kimia (Zulfatul Hanna, Anggun Dwi Apriliani, Juwari Purwo Sutikno, 2015). Selama proses ini berlangsung perlu ditambahkan air ataupun steam. Hal ini dikarenakan di dalam proses granulasi membutuhkan media perekat untuk membantu bersatunya partikel bahan baku.

Produk yang diproses dengan teknik aglomerasi biasanya mempunyai bentuk granular yang kurang bulat, lebih sulit kering karena kelembaban granula yang tinggi, dan lebih mudah pecah karena ikatan antar partikel bahan baku kurang kuat (UNIDO / IFDC Fertilizer manual).



Gambar 2.7 Lapisan penampang granula metode aglomerasi
(sumber : UNIDO / IFDC Fertilizer manual)



Gambar 2.8 Konstruksi mekanis granulator drum (Sumber: PT.XYZ)

- ***Dryer drum***

Adalah tempat dimana produk mulai terbentuk menjadi partikel granular. Di ujung inlet dyer terdapat burner yang berfungsi untuk menghembuskan udara panas ke dalam dryer drum guna melelehkan urea yang berfungsi sebagai ‘lem’ untuk mengikat semua bahan baku menjadi satu. Hingga akhirnya semua bahan baku akan terikat menjadi bentuk granular karena rotasi dryer drum yang konstan.

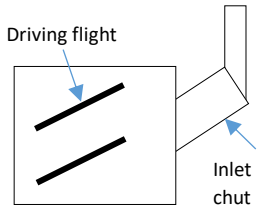
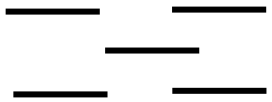
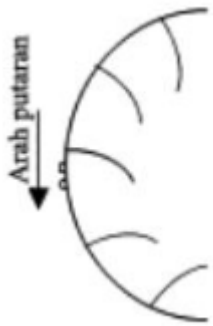
Udara panas bercampur debu di dalam dryer drum akan dipisahkan dengan menggunakan *dryer cyclone* (Zulfatul Hanna, Anggun Dwi Apriliani, Juwari Purwo Sutikno, 2015). Ketika beroperasi, dryer drum akan berputar secara konstan dimana didalamnya terjadi gerakan pengangkatan produk dan menjatuhkannya dari atas ke bawah sehingga kumpulan produk basah yang menempel tersebut terpisah.

Komponen dryer drum

1. Dryer Drum Flight

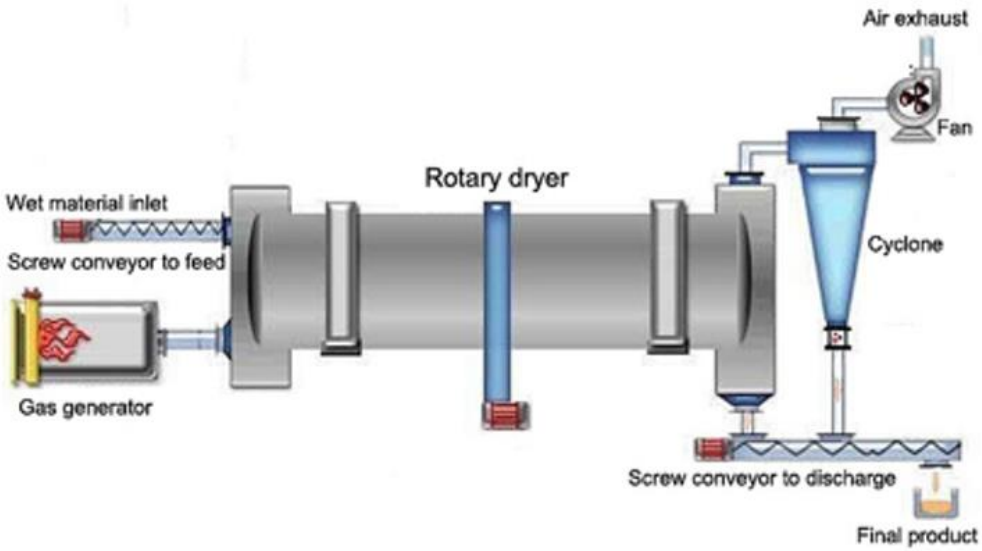
Tabel 2.3 berikut ini akan menjelaskan mengenai bentuk *dryer drum flight* beserta fungsi dari masing-masing flight.

Tabel 2.3 Bentuk *dryer drum flight* dan fungsinya

Tipe flight	Fungsi	Ilustrasi
Driving flight	Dipasang pada inlet dryer. Berfungsi untuk mendorong dan membuat produk berakselerasi lebih cepat di dalam dryer drum sehingga partikel bahan baku tidak berkumpul di area inlet sehingga menyebabkan chute inlet menjadi 'tercekik'.	
Horizontal flight	Horizontal flight mempunyai fungsi yang hampir sama dengan driving flight. Namun di posisi ini gerakan partikel pupuk menjadi agak lamban karena posisi flight yang terpasang secara horizontal.	
Curved flight	Curved flight dipasang di bagian akhir/ujung dryer drum. Bentuknya yang melengkung berguna untuk mengangkat produk saat dryer drum berputar agar aliran udara panas dapat mengalir merata di permukaan granular produk. Jika curved flight rusak atau patah maka akan menyebabkan proses pengeringan menjadi tidak sempurna.	

(Sumber: PT.XYZ)

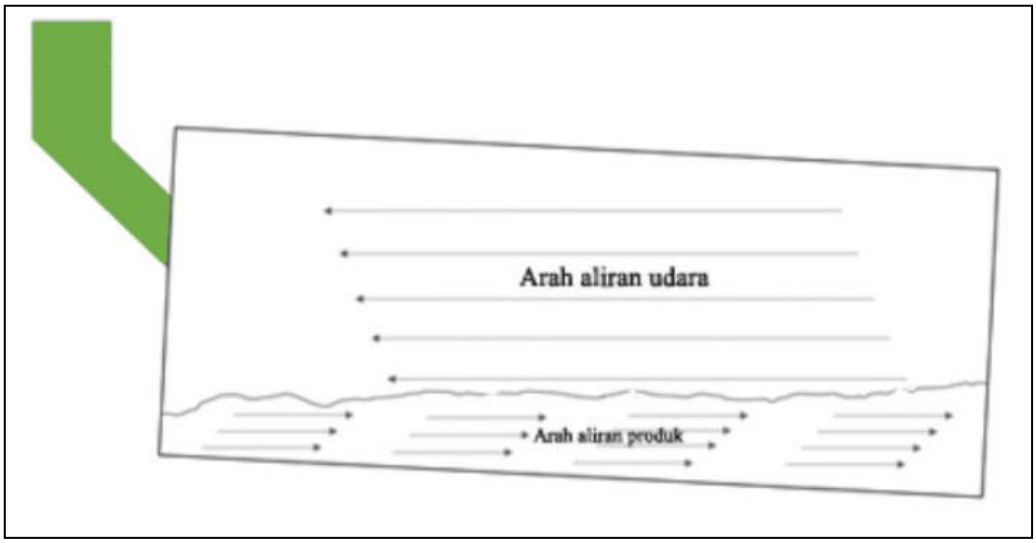
Gambar 2.9 Dyer drum (sumber: PT.XYZ)



Gambar 2.10 Konstruksi Dryer drum (sumber: FDM Machinery)

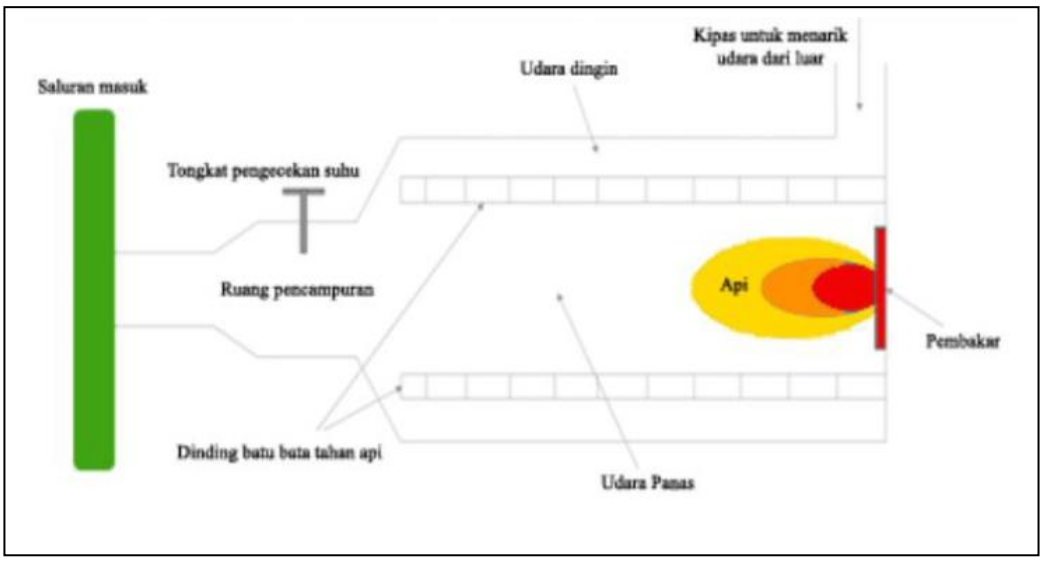
2. Aliran udara (Airflow)

Sistem aliran udara (*airflow)* yang digunakan untuk proses pengeringan di *dryer drum* adalah *co-current flow*. Untuk sistem *co-current flow* ini aliran udara bergerak berlawanan dengan arah produk di dalam dryer drum.



Gambar 2.11 Dryer drum co-current airflow (sumber: PT.XYZ)

3. Burner



Gambar 2.12 Konstruksi Burner (sumber: PT. XYZ)

Burner disini berfungsi untuk menghasilkan udara panas yang nantinya akan dihembuskan ke dalam *dryer drum*. Dinding dalam burner dilapisi dengan batu bata tahan api yang berfungsi untuk memisahkan ruang yang berisi udara panas dari burner dengan lapisan dinding luar. Di saat yang sama udara dingin ditarik masuk oleh *dillution fan* untuk mendinginkan dinding batu bata api agar suhunya tidak terlalu panas. Karena panas tinggi yang dihasilkan oleh burner,

dapat membuat silinder luar burner meleleh jika tidak dilindungi dengan dinding batu bata tahan api. Udara panas dan dingin yang telah bercampur ini kemudian dihembuskan ke dalam dryer drum.

- ***Cooler drum***

Fungsi *Cooler drum* adalah untuk mendinginkan sekaligus mengeringkan produk. Idealnya perbedaan suhu produk di saluran masuk (*inlet)* dan saluran keluar (*outlet)* cooler drum setidaknya 10 ℃. Misalnya, jika suhu produk di saluran masuk (*inlet)* cooler drum adalah 51 ℃, maka suhu produk setelah melalui proses pendinginan berkisar ≤ 41 ℃. Proses pendinginan ini dilakukan dengan cara mengalirkan udara dengan suhu kamar ke dalam cooler drum dengan sistem *counter current* (Zulfatul Hanna, Anggun Dwi Apriliani, Juwari Purwo Sutikno, 2015).

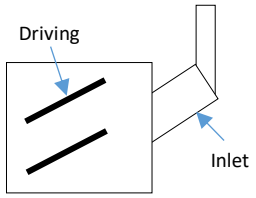
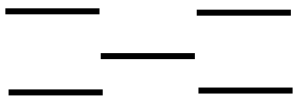
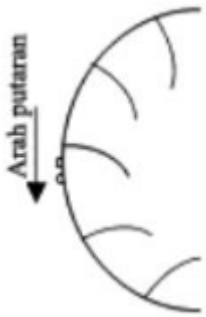
Gambar 2.13 Cooler Drum (sumber: PT.XYZ)

Komponen Cooler Drum

a. Cooler Drum Flight

Flight yang terpasang di cooler drum memiliki fungsi dan tujuan yang sama seperti hal nya flight yang terpasang di dryer drum. Tabel 2.4 di bawah ini akan menjelaskan mengenai macam-macam bentuk cooler drum flight berikut fungsinya.

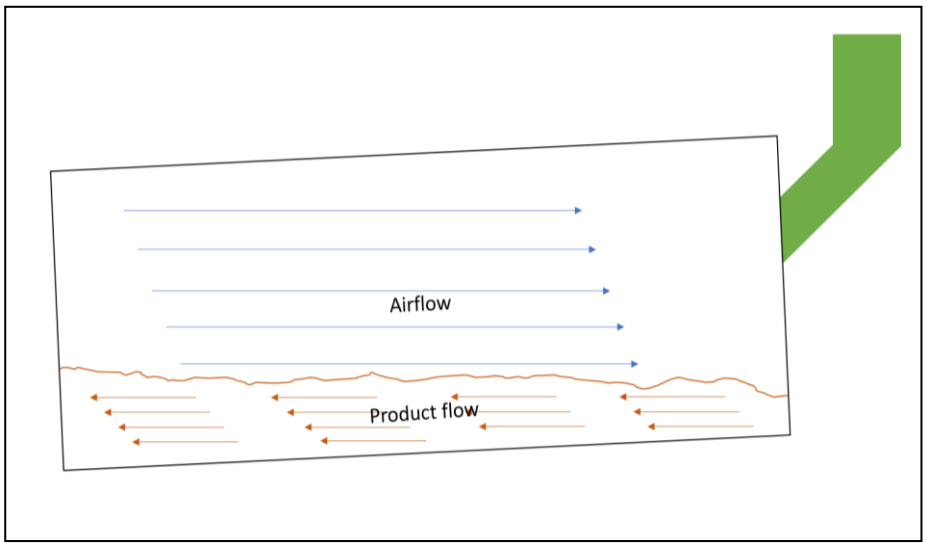
Dirujuk dari Tabel 2.3 Bentuk *cooler drum flight* dan fungsinya

Tipe flight	Fungsi	Ilustrasi
Driving flight	Driving flight biasanya dipasang di inlet cooler. Dirancang untuk mendorong dan membuat produk berakselerasi lebih cepat di inlet cooler sehingga produk tidak macet dan 'tersedak' di inlet cooler drum	
Horizontal flight	Horizontal flight mempunyai fungsi yang hampir sama dengan driving flight. Namun di posisi ini gerakan partikel pupuk menjadi agak lamban karena posisi flight yang terpasang secara horizontal.	
Curved flight	Curved flight dipasang di bagian akhir/ujung cooler drum. Bentuknya yang melengkung berguna untuk mengangkat produk saat cooler drum berputar agar aliran udara dingin dapat mengalir merata di permukaan granular produk. Jika curved flight rusak atau patah maka akan menyebabkan proses pengeringan menjadi tidak sempurna.	

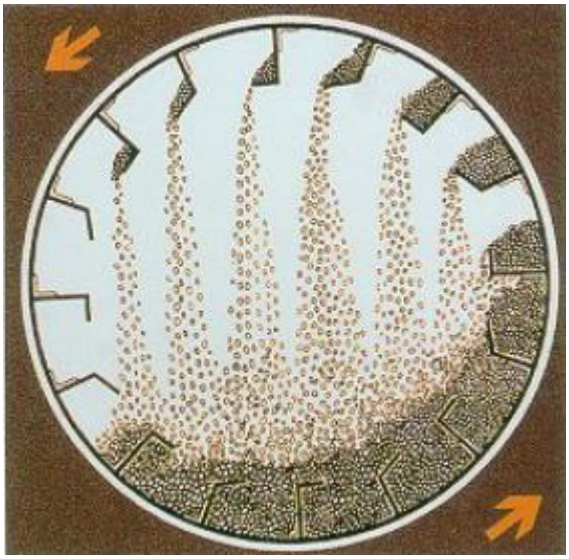
(Sumber: PT. XYZ)

b. Aliran udara (airflow)

Jenis aliran udara yang digunakan untuk proses di cooler drum adalah *co-current flow*, yaitu udara mengalir berlawanan arah dengan aliran produk. Sistem aliran udara ini lebih efisien karena dengan hembusannya yang kuat dapat memaksimalkan proses pendinginan dan pengeringan di cooler drum.



Gambar 2.14 Cooler drum co-current airflow (sumber: PT.XYZ)



Gambar 2.15 Skema proses kerja di cooler drum (sumber: PT.XYZ)

- ***Proses Screening***

Ukuran ideal granular produk pupuk yang diharapkan berkisar antara 2 hingga 5 mm. Namun, tidak semua produk hasil proses produksi berada dalam kisaran ukuran ini. Produk dengan ukuran (*size*) lebih besar dari 5 mm dikenal sebagai *oversize product.* Sedangkan produk yang memiliki ukuran (*size*) lebih kecil dari 2 mm dikenal sebagai *undersize product*.

Mesin-mesin yang terkoneksi dengan proses pengayakan (*screening process*) antara lain:

1. Distributor

Fungsi distributor disini adalah untuk mendistribusikan pupuk secara merata dari *chute inlet* hingga ke seluruh screen. Tanpa ditunjang distributor, screen akan dibanjiri dengan pupuk sehingga menyebabkan berkurangnya efisiensi screen.

Gambar 2.16 Distributor (sumber: PT.XYZ)

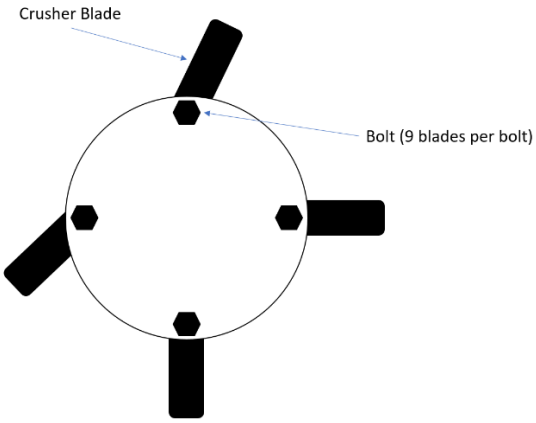
2. Oversize Screen

Fungsi dari *oversize screen* adalah untuk menyaring partikel pupuk berukuran besar (> 5 mm). Partikel pupuk berukuran besar (*oversize product*) tidak akan jatuh dari *screen* namun beralih ke proses selanjutnya yaitu menuju ke mesin penghancur (c*rusher)*. Di dalam mesin penghancur (*crusher)*, partikel pupuk yang berukuran besar tadi (*oversize product)* akan dihancurkan menjadi ukuran yang lebih kecil dan kemudian akan dikembalikan lagi ke dalam sistem untuk diproses ulang (*reproduction*).

c. Mesin penghancur (crusher)

Jenis mesin penghancur (*crusher)* yang digunakan adalah *hammer mill.* Total terdapat 72 buah pisau (*blade*) yang berayun saat menghancurkan partikel pupuk berukuran besar (*oversize product)* menjadi ukuran yang lebih kecil.

Gambar 2.17 Crusher blade (sumber: PT. XYZ)



Gambar 2.18 Tampak samping crusher blade (sumber: PT. XYZ)

d. Undersize Screen

Undersize screen memiliki fungsi dan tujuan yang sama dengan *oversize screen*, yaitu untuk menyaring partikel pupuk dengan ukuran kecil. Metode yang digunakan untuk menyaring partikel pupuk yang berukuran kecil (*undersize)* sama dengan metode yang digunakan pada *oversize screen*. Dimana partikel yang halus akan dikembalikan lagi ke dalam sistem untuk diproses ulang (*reproduction*). Sedangkan produk yang ukurannya telah sesuai dengan standar (*on size product*) yaitu 2-5 mm akan memasuki *coating drum* untuk proses pelapisan menggunakan *anti caking powder.*

2 (dua) hal penting yang mesti diperhatikan dalam proses pengayakan adalah:

1. *Size Guide Number (SGN)*

   Yaitu diameter granula rata-rata dikalikan seratus. Dengan kata lain, 50% ukuran dari produk layak dinyatakan dalam milimeter dikalikan seratus

$$SGN = d50 \times 100$$

2. *Uniformity Index (UI)*

   Rasio granula kecil (partikel dipertahankan pada 95%) terhadap granula besar (partikel dipertahankan pada 10%) dikalikan seratus.

$$UI = \frac{d5}{d90} \times 100$$

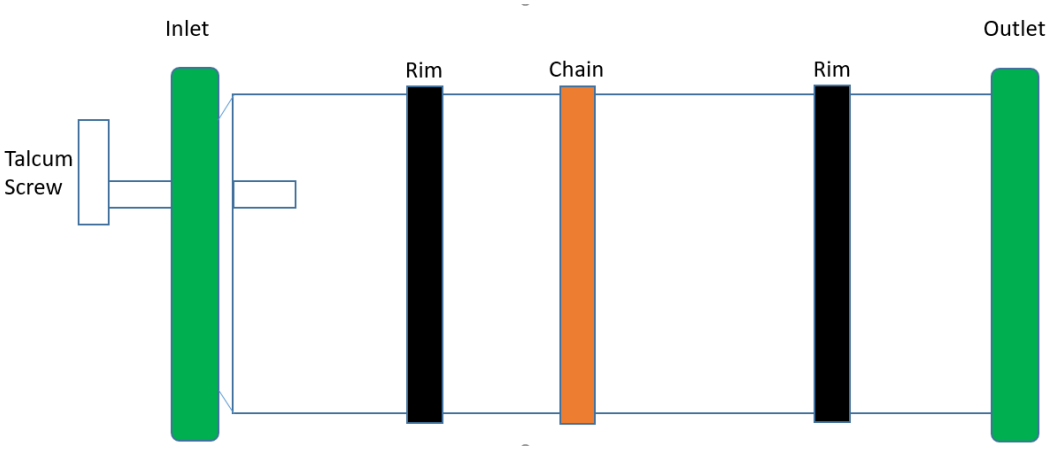
$$UI = \frac{95\%\, retained}{10\%\, retained} \times 100$$

- ***Coating drum***

Partikel pupuk hasil proses screening yang ukurannya telah memenuhi standar yang diinginkan (*on size product*) akan menuju proses berikutnya yaitu proses pelapisan (*coating)*. Proses coating adalah proses pelapisan partikel pupuk dengan menggunakan senyawa tertentu. Hal ini penting mengingat pupuk Nitrogen-Phosphate-Kalium (NPK) padatan memiliki sifat menyerap air (*higroscopic*) yang dapat mempercepat proses penggumpalan partikel pupuk atau yang biasa disebut dengan *caking*.

Ada 2 (dua) macam proses coating di industri pupuk, yang pertama adalah proses penambahan *coating powder* yang memiliki sifat *anti caking agent.* Dimana di dalam *coating powder* ini telah ditambahkan dengan senyawa teraminasi atau senyawa yang didalamnya mengandung sejenis minyak sehingga mampu memberikan daya tahan ekstra terhadap penyerapan air. Selain itu juga bertujuan untuk menghaluskan permukaan partikel pupuk. Proses coating yang kedua adalah dengan menambahkan *coating oil*. Coating oil juga memiliki sifat anti caking agent seperti halnya coating powder. Coating oil memiliki kelebihan lainnya yaitu dapat mempercantik penampilan fisik partikel pupuk menjadikan nya terlihat lebih mengkilap.

Gambar 2.19 Coating drum (sumber: PT. XYZ)



Gambar 2.20 Desain konstruksi coating drum (sumber: PT. XYZ)

- ***Bulk storage***

Produk yang telah melalui proses di *coating drum*, selanjutnya akan disimpan dalam suatu ruang penyimpanan (*storage*). Tipe storage yang digunakan disini adalah *open bulk storage*. Mengapa untuk keperluan penyimpanan produk dipilih tipe open bulk storage? Karena tipe penyimpanan (*storage*) ini lebih tepat digunakan untuk produk-produk berbentuk curah dengan volume yang besar. Contoh produk yang biasa menggunakan fasilitas penyimpanan seperti ini antara lain: bahan kimia, pupuk, batubara, kalium curah dll.

Di bulk storage, pupuk akan disimpan selama minimal 4 (empat) jam. Tujuannya adalah untuk mendapatkan suhu produk yang tepat dan proses pencampuran (*mixing*) yang sempurna sebelum proses pengemasan (*packing*).

Gambar 2.21 Bulk Storage (sumber: PT. XYZ)

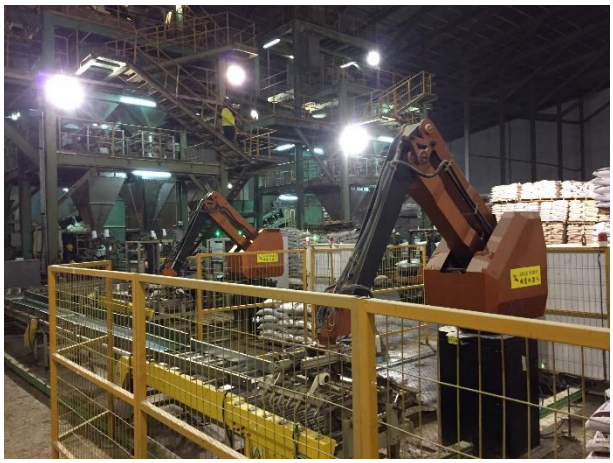
- ***Proses pengemasan (Packing)***

Setelah disimpan di dalam bulk storage, tibalah waktu untuk proses berikutnya yaitu pengemasan (*packing*). Sebelum di kemas, pupuk dari bulk storage akan ditranfer menuju elevator dengan bantuan wheel loader. Output dari elevator akan ditampung dalam hopper packing. Selanjutnya pupuk akan ditimbang terlebih dahulu sebelum dikemas dalam karung. Proses ini berlangsung secara otomatis.

Khusus untuk produk pupuk, jenis karung yang digunakan terdiri dari 2 (dua) lapisan / layer. Lapisan pertama yaitu lapisan bagian dalam (*inner*) berfungsi untuk melindungi pupuk dari kontak dengan udara luar. Sedangkan lapisan kedua (*outer*) berfungsi sebagai lapisan pelindung ganda agar pupuk tetap aman dan terlindung saat proses penyimpanan di gudang (*stacking*) maupun ketika proses bongkar muat baik di truk maupun di kapal.

Setelah dikemas, selanjutnya karung bagian dalam akan diikat menggunakan *cable ties* dan karung bagian luar akan dijahit. Proteksi berlapis ini wajib dilakukan mengingat jarak pelanggan dalam hal ini kebun kelapa sawit yang jauh dari lokasi pabrik dan membutuhkan waktu yang lama saat proses

pengiriman. Sehingga rentan terhadap berbagai ancaman terutama cuaca. Untuk proses pengambilan sample dilakukan setiap jam dengan jumlah sample sebanyak 4 macam, yaitu sample bahan baku, sample *recycle*, sample produk jadi dan sample dari *packing station*.



Gambar 2.22 Packing station (sumber: PT. XYZ)

2.6 Statistical Process Control

Kontrol proses statistik *(statistical process control)* adalah prosedur statistik dengan menggunakan diagram kontrol untuk melihat apakah ada bagian dari proses produksi yang tidak berfungsi dengan baik dan dapat menyebabkan kualitas yang buruk. Kontrol proses statistik *(statistical process control)* digunakan untuk memeriksa dan mengukur proses produksi apakah ada sesuatu hal yang berbeda dari apa yang seharusnya dilakukan. Jika didapati variabilitas yang tidak biasa atau tidak diinginkan, proses akan dikoreksi sehingga dapat meminimalisir terjadinya cacat produk. Dengan cara ini, kontrol proses statistik berfungsi untuk mencegah kualitas yang buruk sebelum terjadi (Russell, Taylor, Operations and Supply Chain Management, Eighth Edition).

Terminologi *Statistical Process Control* (SPC) seringkali digunakan dalam suatu proses industri (baik yang bersifat servis atau manufaktur) menggunakan tools statistik untuk memonitor dan melakukan perubahan secara berkelanjutan guna meningkatkan kualitas suatu proses produksi (*Radu Godina et al. / Procedia Manufacturing 17 (2018) 729–736*):

- *Statistical* : melakukan observasi suatu proses melalui pengumpulan, pengolahan dan analisa data
- *Process* : berpedoman pada data dan fakta, fokus pada alur proses yang spesifik, sehingga memiliki kemampuan menghasilkan output yang berkualitas.
- *Control* : pengendalian dan pemantauan proses dan apabila diperlukan dapat ditambahkan beberapa penyesuaian.

Tujuan dari *Statistical Process Control* (SPC) adalah untuk mencapai dan mempertahankan proses agar tetap berada dalam keadaan yang terkendali secara statistik. Artinya keberagaman dalam proses harus tetap dijaga dalam batas-batas yang telah ditetapkan agar kemampuan nya (*capability*) dapat terus ditingkatkan.

Keuntungan lainnya yang didapat dari penerapan *Statistical Process Control* (SPC) adalah metode ini menekankan pada deteksi dini dan pencegahan masalah dibandingkan penanganan setelah terjadi masalah. *Statistical Process Control* (SPC) juga dapat digunakan untuk menangani pemborosan (*waste*), mengurangi waktu yang diperlukan dalam menghasilkan suatu produk serta meminimalisir produk untuk di proses ulang (*rework*) sehingga proses menjadi lebih efisien.

2.6.1 Control Chart

Control chart merupakan salah satu elemen penting dalam *Statistical Process Control* (SPC). Diagram kontrol (*Control Chart*) adalah alat yang digunakan dalam mengendalikan proses, yang bertujuan untuk mengkaji apakah suatu proses berada dalam pengendalian statistik, memantau proses terus menerus sepanjang waktu agar proses tetap stabil dan hanya mengandung variasi penyebab yang bersifat umum, serta mengukur dan menentukan kemampuan proses (*process capability*).

Haruslah dipahami bahwasannya proses tidak berjalan secara alami atau dalam keadaan terkontrol namun senantiasa berubah dan berfluktuasi. Diagram control (*Control Chart*) pertama kali ditemukan oleh *Walter A. Shewhart* yang saat itu bekerja di *Bell Telephone Laboratories*, Amerika Serikat pada tahun 1924.

Pada saat itu Walter A. Shewhart ingin menghilangkan variasi tidak normal melalui pemisahan variasi yang disebabkan oleh penyebab khusus (*special-causes variation*) dan variasi yang disebabkan oleh penyebab yang bersifat umum (*common-causes variation*).

Pada dasarnya semua proses akan menimbulkan variasi, namun proses produksi tetap harus dikendalikan dengan cara menghilangkan penyebab khusus dari proses tersebut, sehingga variasi yang diperbolehkan di dalam proses hanya disebabkan oleh variasi penyebab yang bersifat umum.

Secara mendasar di dalam diagram kontrol (*Control Chart*) terdapat 3 (tiga) macam garis control (Douglas C. Montgomery, 2013) yaitu:

1. Garis tengah (*Center Line*) yang mewakili nilai rata-rata karakteristik kualitas, sesuai dengan keadaan yang dikontrol.

$$CL = \mu \qquad 2.1$$

2. Batas kontrol atas (*Upper Control Limit*/*UCL*)

$$UCL = \mu + 3\sigma \qquad 2.2$$

3. Batas kontrol bawah (*Lower Control Limit/LCL*).

$$LCL = \mu - 3\sigma \qquad 2.3$$

Sedangkan untuk rata-rata (*mean*/μ) dirumuskan dengan:

$$\mu = \frac{\sum x_i}{n} \qquad 2.4$$

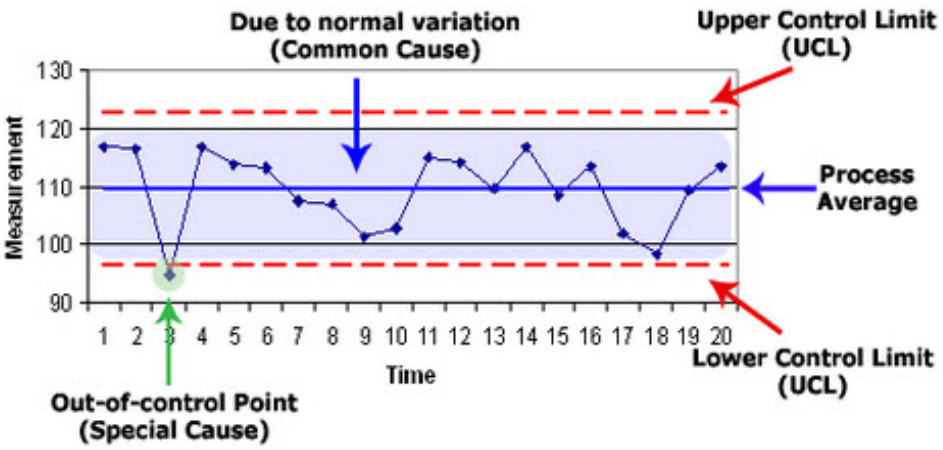
Standar deviasi dirumuskan dengan:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \qquad 2.5$$

Nilai dari karakteristik kualitas yang dimonitor, ditunjukkan sepanjang sumbu *y*. Sumbu *x* menunjukkan sample atau subgroup dari karakteristik kualitas tersebut. Semua karakteristik disebut dengan variabel. Sedangkan atribut adalah karakteristik kualitas yang ditunjukkan dengan jumlah produk yang cacat (*defect*) serta jumlah cacat per unit.

Batas kontrol (*Control limit*) ini sebelumnya telah ditetapkan terlebih dahulu, sehingga jika proses terkendali, maka hampir semua titik sampel akan berada di antara garis tengah (*Center Line*), batas kontrol atas (*Upper Control Limit/UCL*) dan batas kontrol bawah (*Lower Control Limit/LCL*). Selama plot poin berada dalam batas kontrol, maka proses diasumsikan normal atau berada dalam kontrol sehingga tidak perlu diambil tindakan.

Namun, jika didapati ada titik yang berada di luar batas kontrol, maka itu menunjukkan bahwa proses berada di luar kendali, sehingga investigasi dan tindakan korektif diperlukan untuk menemukan dan menghilangkan penyebabnya.



Gambar 2.23 Control chart model
(Pavol Gejdoš / Procedia Economics and Finance 34, 2015, 565 – 572)

2.6.1.1 Jenis – jenis Control Chart

Berdasarkan jenis data yang diukurnya, diagram kontrol (*control chart*) dibagi menjadi 2 macam, yaitu diagram kontrol variabel (*variable control chart*) dan diagram kontrol atribut (*attribute control chart*).

a. Diagram Kontrol Data Variabel (*Variable Control Chart*)

Digunakan untuk mengendalikan proses dengan menggunakan data variabel. Yang termasuk dalam *variable control chart* adalah:

1. *Xbar – R Chart*

Adalah diagram kontrol yang berfungsi untuk mengendalikan proses berdasarkan rata-rata (*Xbar*) dan Range (*R*). Xbar – R Chart digunakan apabila jumlah sample yang dikumpulkan berjumlah lebih dari 2 dan kurang dari atau sama dengan 5 ($2 < n \leq 5$) pada setiap set sample data. Jumlah set sample yang ideal adalah 20 – 25 set sample.

2. *Xbar – s Chart*

Xbar – s Chart adalah diagram kontrol untuk mengendalikan proses berdasarkan rata-rata (*Xbar*) dan Standar Deviasi (*s*). Xbar – s Chart digunakan apabila jumlah sample yang dikumpulkan lebih dari 5 ($n > 5$) pada setiap set sample data. Jumlah set sample yang ideal adalah 20 – 25 sample.

3. *I – MR Chart*

I – MR Chart digunakan apabila data sample hanya berjumlah 1 unit. Chart jenis ini digunakan jika sample hanya dapat dipakai sekali.

b. Diagram Kontrol Data Atribut (*Attribute Control Chart*)

Digunakan untuk mengendalikan proses dengan menggunakan atribut data. Contohnya jumlah unit yang gagal produksi (*reject*), jumlah komponen yang cacat (*defect*) dan lain sebagainya. Yang termasuk dalam *attribute control chart* adalah *np-chart*, *p-chart*, *c-chart* dan *u-chart*.

1. *np-chart*

np-chart berfungsi untuk mengukur jumlah kegagalan/cacat (*defect*) pada produksi. *np-chart* digunakan apabila jumlah sample (*sample size*) yang dikumpulkan adalah konstan atau tetap. Jumlah sample (*sample size*) sebaiknya berjumlah lebih dari 30 (>30) dan harus konstan dari waktu ke waktu.

2. *p-chart*

p-chart berfungsi untuk mengukur proporsi kegagalan/cacat (*defect*) pada proses produksi. Sebagai contoh, jika ada sepuluh unit yang gagal (*defect*) pada saat proses produksi, maka proporsi produk gagal

(*defect*) adalah 10/100 = 0.10. *p-chart* digunakan apabila jumlah sample (*sample size*) tidak konstan atau tidak tetap.

3. *c-chart*

c-chart berfungsi untuk mengukur banyaknya jumlah cacat (*defect*) atau ketidaksesuaian yang terdapat dalam unit yang diproduksi. Jumlah sample (*sample size*) biasanya bersifat konstan atau tetap.

4. *u-chart*

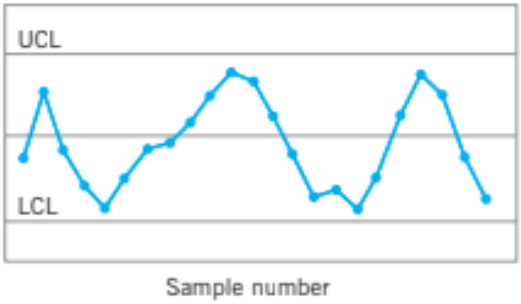
u-chart berfungsi untuk mengukur banyaknya jumlah cacat (*defect*) atau ketidaksesuaian yang terdapat dalam unit yang diproduksi. Perbedaan yang mendasar dengan *c-chart* adalah pada jumlah samplenya (*sample size*) tidak konstan atau tidak tetap.

2.6.1.2. Zona Control Chart

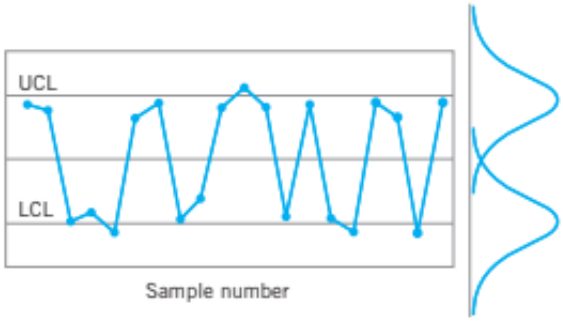
Dalam satu bagan kendali (*control chart*) biasanya terbagi menjadi tiga 'zona', di mana luasan setiap zona adalah selebar satu bagian standar deviasi. Batas ini disebut sebagai batas 1-sigma, 2-sigma, dan 3-sigma. Pola pengamatan sampel di zona ini kemudian digunakan untuk menentukan apakah ada pola nonrandom atau tidak.

Ada lima pedoman yang dikenal secara umum untuk mengidentifikasi zona dalam bagan kontrol (*control chart*):

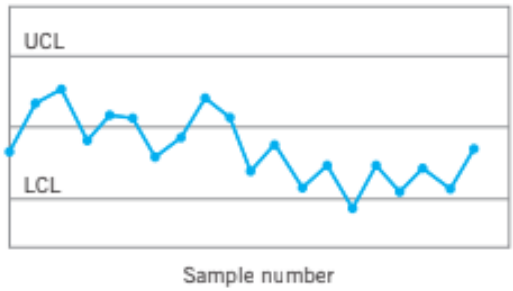
1. Delapan poin berurutan di satu sisi garis tengah
2. Delapan poin berturut-turut naik atau turun
3. Empat belas poin bergantian naik atau turun
4. Dua dari tiga poin berturut-turut di zona A (di satu sisi garis tengah)
5. Empat dari lima poin berturut-turut di zona A atau B di satu sisi garis tengah



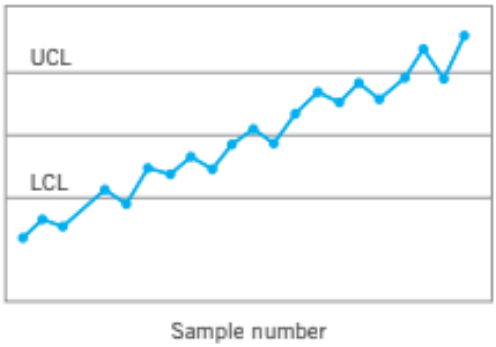
Siklus pada control chart



Pola grafik campuran (up and down)

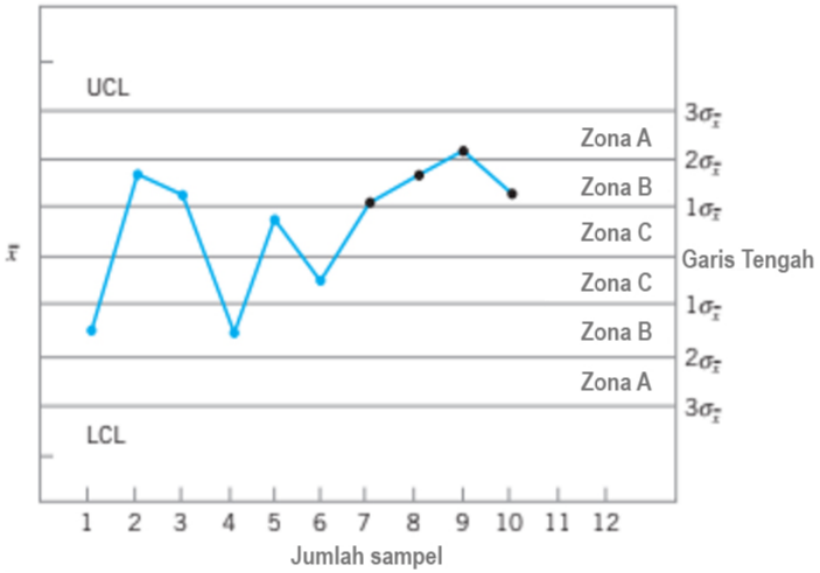


Kondisi proses menunjukkan tren penurunan



Kondisi proses menunjukkan tren kenaikan

Gambar 2.24 Pola grafik *control chart*
(Douglas C. Montgomery, 2013, '*Introduction to Statistical Quality Control*', Seventh Edition)



Gambar 2.25 Zona *control chart*
(Douglas C. Montgomery, 2013, '*Introduction to Statistical Quality Control*', Seventh Edition)

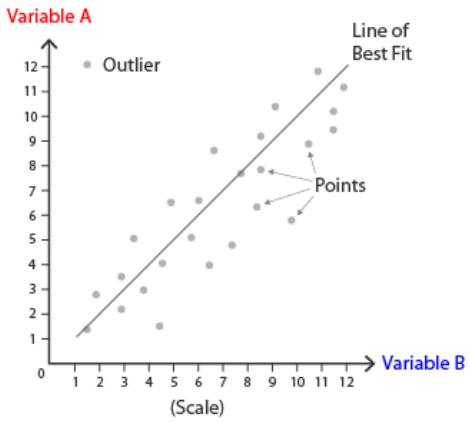
2.6.2 Scatter Plots

Peta sebar (*scatter plots*) adalah sebuah grafik yang digunakan untuk menganalisa suatu pola hubungan antara dua variabel (Douglas C. Montgomery (2013). Peta sebar (*scatter plots*) menggunakan sekumpulan titik yang ditempatkan pada koordinat *Cartesian* untuk menampilkan nilai dari dua variabel.

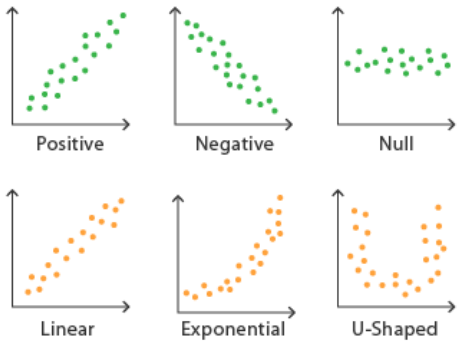
Dengan menampilkan variabel di setiap sumbu, kita dapat mendeteksi apakah terdapat hubungan atau korelasi antara dua variabel. Jenis korelasi dapat kita identifikasi melalui pola yang ditampilkan di peta sebar (*scatter plots*). Korelasi ini antara lain:

- positif (*positive*), dimana nilai meningkat secara bersama-sama,
- negatif (*negative*), salah satu nilai mengalami penurunan sedangkan yang lain mengalami peningkatan,
- nol (*null*), tidak ada korelasi,
- linier,
- eksponensial, dan
- bentuk-U.

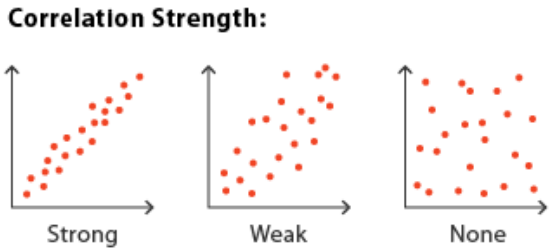
Kekuatan korelasi dapat diamati dari seberapa dekat titik-titik tersebut terhubung satu dengan lainnya pada grafik. Titik yang berada paling jauh di luar cluster disebut sebagai *outlier*. Garis atau kurva yang saling berpasangan dalam grafik berguna untuk membantu dalam proses analisis.



Gambar 2.26 Anatomi *scatter plots*
(sumber: datavizcatalogue.com)



Gambar 2.27 Grafik korelasi *scatter plots*
(sumber: datavizcatalogue.com)

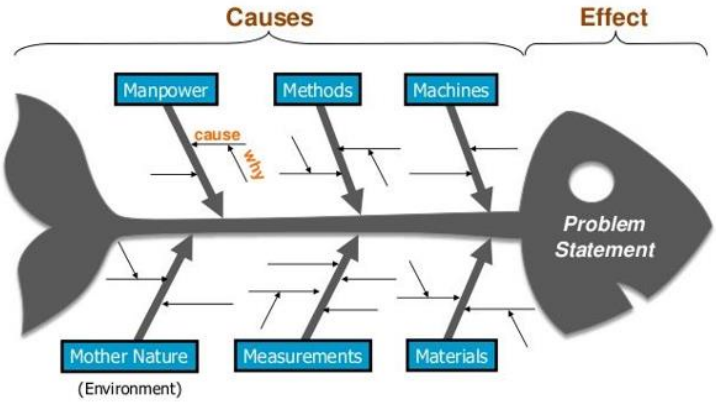


Gambar 2.28 Korelasi *scatter plots* dan nilainya (value)
(sumber: datavizcatalogue.com)

2.6.3. Diagram Sebab Akibat (*Cause and Effect Diagram*)

Diagram sebab akibat (*Cause and Effect Diagram*) adalah salah tools dalam *Statististical Process Control* (*SPC*). Nama lain diagram ini adalah diagram Ishikawa. Pertama kali ditemukan oleh Dr. Kaoru Ishikawa seorang ilmuwan Jepang kelahiran tahun 1915 yang juga alumni Teknik Kimia Universitas Tokyo pada tahun 1960'an.

Disebut sebagai diagram sebab akibat (*Cause and Effect Diagram*) karena diagram ini menunjukkan hubungan sebab dan akibat dari sebuah permasalahan. Diagram sebab akibat (*Cause and Effect Diagram*) ini berbentuk seperti tulang ikan dengan moncong kepalanya menghadap ke arah kanan. Efek atau akibat dari suatu permasalahan dituliskan pada moncong kepala ikan. Sedangkan tulang-tulangnya menunjukkan sebab-sebab berdasarkan pada pendekatan permasalahannya.



Gambar 2.29 Cause and effect diagram
(Russell, Taylor, Operations and Supply Chain Management, Eighth Edition)

2.7. Design of Experiment (DOE)

Design of Experiment (DOE) adalah sebuah pendekatan sistematik yang bertujuan untuk menginvestigasi suatu sistem guna membuat suatu perubahan baru berdasarkan variabel input dari proses sehingga setiap perubahan yang terjadi dapat diamati dan diidentifikasi sesuai dengan respon output. *Design of Experiment* (DOE) lebih dari sekedar metode experimental '*one change at a time*', *Design of Experiment* (DOE) juga memudahkan kita untuk melakukan *judgement* pada variabel input dan output yang signifikan. Pengujian secara '*one*

change at a time' selalu menimbulkan risiko yang mengharuskan pelaku eksperimen untuk menemukan satu variabel efek yang signifikan pada output. Namun di lain sisi mereka kesulitan karena tidak dapat mengganti variabel lain demi menjaga kestabilan sistem. Metodologi *Design of Experiment* (DOE) ini pertama kali diperkenalkan kepada publik oleh *Ronald A. Fisher* dalam sebuah buku berjudul *The Design of Experiment* yang diterbitkan pada tahun 1935.

Yang dimaksud proses dalam *Design of Experiment* (DOE) ini dapat berupa kombinasi dari mesin, metode maupun manusia yang terlibat dalam kapasitasnya merubah input (bahan baku) menjadi output (produk). Khusus untuk produk dapat terdiri dari satu atau lebih krakteristik maupun respon kualitas yang dapat diamati. Beberapa variabel proses seperti X_1, X_2…., X_p disebut variabel terkontrol. Sedangkan Z_1, Z_2…., Z_q adalah variabel tak terkontrol. Faktor-faktor tak terkontrol ini disebut juga *Noise Factor*.

Metode *Design of Experiment* (DOE) ini dapat digunakan baik untuk pengembangan proses, pemecahan masalah di dalam proses, peningkatan kinerja proses guna mendapatkan suatu proses yang Tangguh (*robust*). Metode *Statistical Process Control* (SPC) dan *Design of Experiment* (DOE) adalah dua alat statistik yang saling terikat satu dengan lainnya. Keduanya memiliki keunggulan dalam hal perbaikan dan optimalisasi proses. Sebagai contoh, jika suatu keadaan proses telah dikontrol secara statistik namun dalam perjalanan nya masih banyak ditemukan kekurangan, maka untuk meningkatkan kemampuan proses perlu kiranya dipadukan dengan metode *Design of Experiment* (DOE) yang bertujuan agar dapat meminimalisir variasi. Dengan kata lain *Design of Experiment* (DOE) menawarkan alternatif penyelesaian masalah yang lebih baik jika dibandingkan hanya menggunakan metode *Statistical Process Control* (SPC) saja.

Pada dasarnya, *Statistical Process Control* (SPC) adalah metode statistik yang bersifat **pasif**. Jika prosesnya terkendali, pengamatan pasif mungkin tidak akan menghasilkan banyak informasi yang berguna. Di lain sisi, desain eksperimental adalah metode statistik yang mempunyai karakter **aktif.** Dengan melakukan serangkaian uji pada proses, membuat perubahan dalam input dan mengamati perubahan yang terjadi pada output, akan menghasilkan informasi

yang dapat mengarah pada perbaikan proses. Penerapan teknik-teknik ini di awal pengembangan proses dapat menghasilkan:

1. Peningkatan hasil
2. Meminimalisir variasi
3. Mempersingkat waktu pengembangan produk

2.8. Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan dengan tujuan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran tersebut dengan menjadikan produk dan proses tidak sensitif terhadap berbagai faktor gangguan (*noise*) seperti material, perlengkapan manufaktur, sumber daya manusia dan kondisi-kondisi operasional lainnya (Soejanto, 2009).

Metode ini adalah pengembangan dari metode *Design of Experiment* yang telah dikembangkan sebelumnya di tahun 1935 oleh *Ronald A. Fisher*. Metode Taguchi pertama kali dikembangkan oleh *Dr. Genichi Taguchi* pada tahun 1949, dimana pada saat itu dia mendapatkan tugas untuk melakukan perbaikan terhadap sistem telekomunikasi di Jepang. Tujuan metode Taguchi adalah membuat suatu produk yang kuat (*robust*) terhadap *noise*, mampu menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Oleh karena itu metode Taguchi sering disebut sebagai *Robust Design*.

Taguchi menekankan bahwa variasi merupakan musuh utama dalam rekayasa kualitas dan setiap usaha harus dilakukan untuk mengurangi variasi di dalam karakteristik kualitas. Dengan menggunakan metode Taguchi kita dapat menentukan parameter yang dominan dalam mempengaruhi proses (*control factor*) dan faktor mana saja yang termasuk faktor penganggu (*noise factor*). Dengan mengetahui faktor yang dominan maka optimasi dapat dilakukan sehingga diperoleh proses yang optimal.

Namun di lain sisi, metode Taguchi memiliki struktur rancangan yang sangat kompleks. Metode ini juga memiliki rancangan yang mengorbankan

pengaruh interaksi yang cukup signifikan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pemilihan rancangan percobaan harus dilakukan secara hati-hati dan sejalan dengan tujuan penelitian.

2.8.1. Konsep Metode Taguchi (*Robust Design*)

Konsep metode Taguchi yang dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi memandang kualitas dari sudut yang berbeda. Metode ini tidak hanya menghubungkan biaya dan kerugian dari suatu produk saat proses produksi tengah berjalan, namun di lain sisi juga memandang dampak suatu produk saat dilempar kepada konsumen atau masyarakat. Dalam perkembangannya tidak dapat dipungkiri bahwasannya metode Taguchi telah berhasil menciptakan suatu konsep disiplin dan struktur dari desain eksperimen. Ada tiga konsep mendasar dalam metode Taguchi untuk menghasilkan produk berkualitas juga tangguh (*Robust Performance*) yaitu:

1. *Quality Robustness*

Produk harus dirancang agar mampu bertahan menghadapi faktor-faktor lingkungan yang tidak dapat dikendalikan.

2. *Target Oriented Quality*

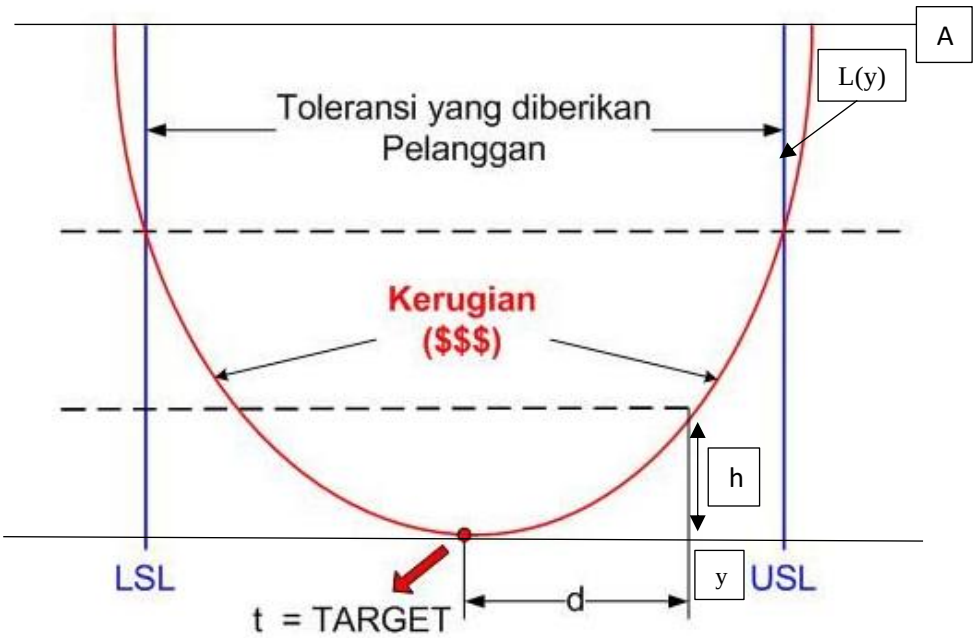
Kualitas produk yang bagus dapat dicapai dengan cara meminimalisir penyimpangan terhadap spesifikasi yang telah ditetapkan.

3. *Quality Loss Function*

Merupakan fungsi kerugian yang harus ditanggung oleh konsumen akibat kualitas produk yang telah dibeli tidak memenuhi spesifikasi. Sehingga menimbulkan kekecewaan atau perasaan tidak puas terhadap produk tersebut. Sebaliknya, bagi pihak produsen, kerugian ini dapat berupa timbulnya biaya tambahan akibat produk yang dihasilkan tidak memenuhi syarat. Sehingga produk harus diproses ulang (*rework*) agar memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.

Loss merupakan kondisi yang pasti terjadi ketika karakteristik kualitas suatu produk bergeser atau menyimpang dari nilai nominalnya (target). *Loss function* merupakan suatu gambaran yang digunakan dalam

mengukur performansi karakteristik kualitas dalam mencapai target tertentu. *Loss function* juga dapat digunakan untuk mengetahui sampai sejauh mana pengaruh yang ditimbulkan oleh suatu upaya perbaikan kualitas.



Gambar 2.30 Kurva kuadratik *Taguchi Loss Function*
(Sumber: Suryaningsih, *'Desain Eksperimen Taguchi Dalam Menentukan Penyetelan Mesin yang Optimal Dalam Proses Pengemasan Creamer Untuk Menghasilkan Kekuatan Seal yang Terbaik'*, 2010)

Keterangan gambar:

- LSL = *Lower Specification Limit*, batas bawah spesifikasi yang masih dapat ditolerir oleh konsumen (*customer tolerance*)
- USL = *Upper Specification Limit*, batas atas spesifikasi yang masih dapat ditolerir oleh konsumen (*customer tolerance*)
- t = nilai spesifikasi yang diharapkan
- y = nilai spesifikasi produk
- L(y) = *Taguchi Loss Function*
- h = loss yang disebabkan dari deviasi nilai y dan t
- d = jarak toleransi maksimal dari t
- A = loss cost maksimum yang disebabkan oleh produk yang gagal (berada di luar batas toleransi)

Grafik diatas menggambarkan fungsi kuadratik dari kerugian (*loss*), dimana kerugian (*loss*) akan turun secara perlahan-lahan ketika kualitas (*y*) mendekati nilai spesifikasi yang diharapkan (*t)* dan sebaliknya kerugian akan meningkat cepat ketika kualitas (*y*) bergerak menjauhi nilai spesifikasi yang diharapkan (*t)*. Pada metode *Taguchi* terdapat istilah '*customer tolerance*' dimana fungsi kerugian dilihat dari perspektif konsumen. Biasanya batas toleransi konsumen (*customer*) lebih besar dibandingkan batas toleransi dari pihak produsen.

Kelebihan metode Taguchi antara lain (Soejanto, 2009):

1. Metode Taguchi dapat mengurangi jumlah percobaan jika dibandingkan dengan menggunakan eksperimen *full factorial* sehingga dapat menghemat waktu dan biaya.
2. Metode Taguchi dapat menciptakan proses yang menghasilkan produk secara konsisten dan kokoh (*robust*) terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol.
3. Metode Taguchi dapat menghasilkan kesimpulan mengenai level dari faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.

Sedangkan kekurangan dari metode eksperimen Taguchi ini adalah apabila percobaan ini dilakukan dengan banyak faktor dan interaksi, maka rawan terjadi pembauran beberapa interaksi oleh faktor utama. Hal ini akan berakibat pada berkurangnya keakuratan hasil percobaan.

Berikut ini adalah lima *tools* utama yang kerap digunakan dalam pendekatan *robust design*:

1. The P-Diagram

P-Diagram digunakan untuk mengklasifikasikan variabel menjadi *noise*, *signal* (input), respon (output) dan faktor kontrol yang berhubungan dengan sebuah produk.

2. The Ideal Function

Fungsi ideal digunakan untuk mengidentifikasi secara statistik atau matematis hubungan signal (input) – respon (output) untuk mendapatkan desain proses maupun produk yang mampu memenuhi target.

3. *Quadratic Loss Function*

Disebut juga *Quality Loss Function*, digunakan untuk mengukur kerugian yang harus ditanggung oleh konsumen akibat penyimpangan kualitas suatu produk.

4. *Signal-to-Noise-Ratio*

Berfungsi untuk memprediksi kualitas suatu jenis produk melalui serangkaian eksperimen maupun percobaan di laboratorium.

5. *Orthogonal Arrays*

Digunakan untuk mengumpulkan informasi seputar faktor kontrol yang dianggap sebagai parameter desain dengan jumlah tes dan eksperimen yang minimal.

2.8.2. Tahapan Desain Produk atau Proses Metode Taguchi (*Robust Design*)

Dalam metode eksperimen Taguchi terdapat tiga tahapan untuk mengoptimasi desain produk maupun proses produksi yaitu:

1. *System Design*

Merupakan tahap pertama dalam desain dan merupakan tahap kontekstual pada pembuatan suatu produk baru maupun inovasi proses. Konsep dapat berasal dari penelitian sebelumnya, perubahan baru atau kombinasi dari keduanya. Dalam fase ini, ide-ide baru coba untuk digali dan diwujudkan menjadi suatu produk baru atau inovasi proses.

2. *Parameter Design*

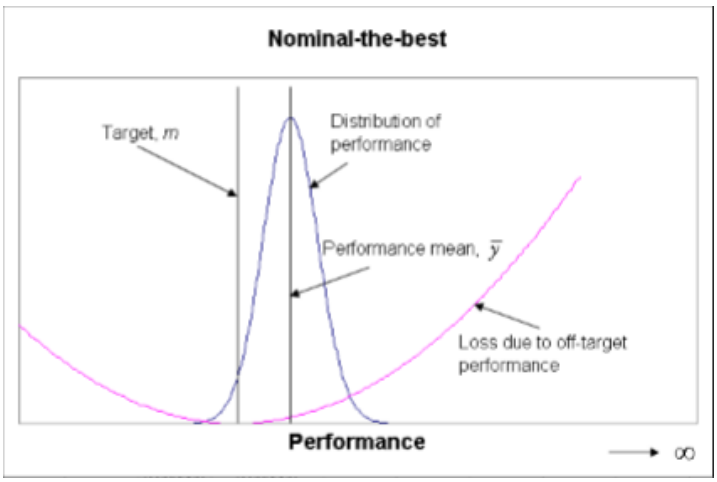
Dalam tahap ini dilakukan pembuatan secara fisik atau prototype matematis berdasarkan tahap sebelumnya melalui percobaan secara statistik. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi setting parameter yang akan memberikan performansi rata-rata pada target dan menentukan pengaruh dari faktor gangguan terhadap variasi dari target.

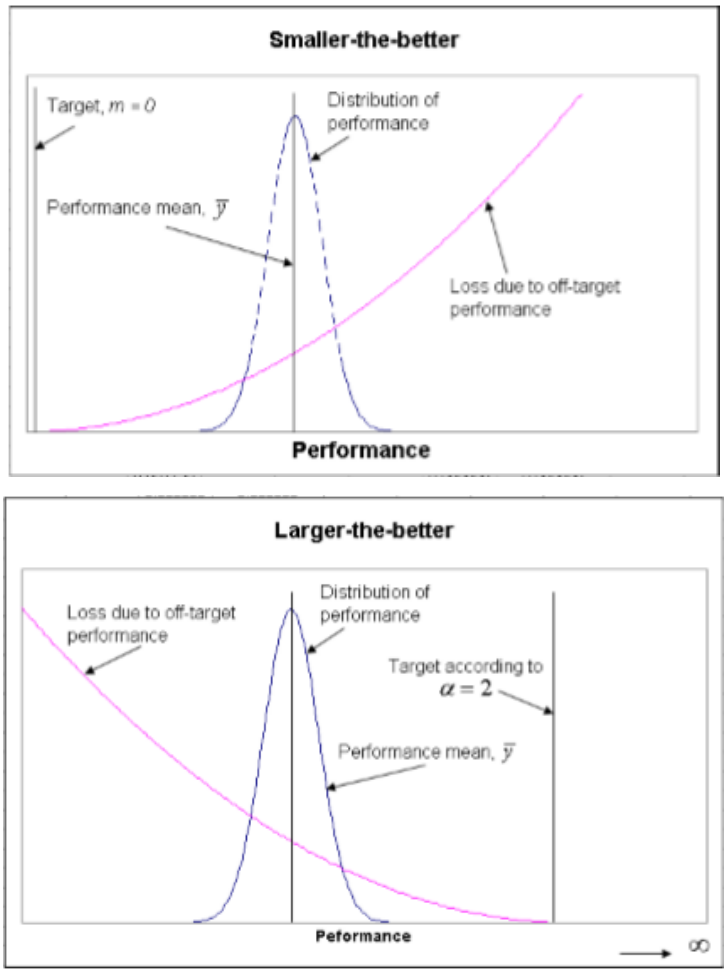
3. *Tolerance Design*

Adalah penentuan toleransi dari parameter yang berkaitan dengan kerugian yang harus ditanggung oleh masyarakat akibat penyimpangan kualitas produk.

Setiap produk didesain untuk menghasilkan fungsi tertentu. Beberapa karakteristik pengukuran biasanya menunjukkan karakteristik kualitas tertentu. Fungsi karakteristik ini adalah untuk mengekspresikan sampai sejauh mana suatu produk dapat menjalankan tugas dan fungsinya. Naresh K. Sharma, Elizabeth A. Curney, Kenneth M. Ragsdell, Kioumars Paryani (2007) menyatakan bahwa karakteristik kualitas menurut Taguchi dibagi menjadi 3 (tiga) kategori, yaitu:

1. *Nominal-the-best* (*Performance on Target*): nilai nominal terbaik adalah yang memenuhi kebutuhan pelanggan. Nilai yang diukur berdasarkan nilai target yang telah ditetapkan. Apabila pencapaian nilai mendekati target yang telah ditetapkan, maka kualitas dinyatakan baik.
2. *Smaller-the-better* (*The Target is Zero*): semakin kecil nilai yang didapatkan maka kualitas akan semakin baik. Dengan kata lain, semakin nilai yang dicapai mendekati nol maka kualitas akan semakin baik.
3. *Larger-the-better*: semakin besar nilai yang didapatkan maka kualitas akan semakin baik. Pencapaian nilai mendekati nilai tak terhingga menunjukkan kondisi kualitas yang semakin baik.





Gambar 2.31 Tiga kategori karakteristik kualitas metode Taguchi
(Sumber: Naresh K. Sharma, Elizabeth A. Cudney, Kenneth M. Ragsdell, Kioumars Paryani, 2007,*'Quality Loss Function – A Common Methodology for Three Cases*, Journal of Industrial and System Engineering)

2.9. Desain Eksperimental Taguchi

Desain eksperimen merupakan suatu rancangan percobaan dengan setiap langkah tindakan yang terdefinisikan, sehingga informasi yang berhubungan dengan masalah yang diteliti dapat dikumpulkan (Sudjana, 1995). Eksperimen dengan menggunakan metode Taguchi harus memperhatikan beberapa kunci pokok keberhasilan eksperimen. Berikut ini adalah langkah-langkah untuk melaksanakan desain eksperimen Taguchi (Belavendram, 1995):

2.9.1. Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan merupakan tahap paling penting. Pada tahapan ini seorang peneliti dituntut untuk mempelajari eksperimen-eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya. Ketelitian pada tahap ini akan menghasilkan eksperimen yang memberikan hasil positif atau negatif. Informasi positif adalah informasi yang didapat saat hasil eksperimen memberikan indikasi tentang faktor dan level yang mengarah pada performance produk. Sedangkan informasi negatif adalah ketika hasil eksperimen gagal memberikan indikasi tentang faktor-faktor yang mempengaruhi respon. Langkah-langkah dalam tahap perencanaan ini meliputi (Soejanto, 2009):

1. Perumusan Masalah

   Perumusan masalah harus spesifik dan jelas batasannya sehingga secara teknis dapat dituangkan dalam kegiatan penelitian.

2. Penentuan Tujuan Eksperimen

   Tujuan yang menjadi dasar eksperimen harus dapat menjawab apa yang telah dinyatakan dalam rumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat masalah yang sedang diselidiki.

3. Penentuan Variabel Tak Bebas (karakteristik kualitas atau respon yang nantinya akan dioptimasi)

   Variabel tak bebas (respon) adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel yang lain. Dalam eksperimen Taguchi terdapat tiga kategori karakteristik, yaitu:

   a. Karakteristik yang dapat diukur

      Semua hasil akhir yang diamati dapat diukur dengan skala kontinyu.

   b. Karakteristik atribut

      Hasil akhir yang diamati tidak dapat diukur dengan skala kontinyu, tetapi dapat diklasifikasikan secara berkelompok.

c. Karakteristik dinamik

Merupakan fungsi representasi dari proses yang diamati. Proses yang diamati digambarkan sebagai *signal*. Sedangkan hasil dari signal adalah *output.*

4. Penentuan Variabel Bebas (faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas)

Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahapan ini akan diseleksi faktor-faktor manakah yang memiliki pengaruh terhadap variabel tak bebas. Beberapa metode dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang diteliti antara lain (Ross, Phillip J., 1996):

a. Brainstorming

Merupakan pemikiran kreatif tentang pemecahan suatu masalah, tanpa melihat apakah yang diungkapkan itu masuk akal atau tidak. Brainstorming akan lebih baik jika dimulai dengan diskusi kelompok untuk memberikan gambaran tentang suatu masalah yang akan dihadapi ditinjau dari semua sudut pandang yang berbeda.

b. Diagram alir (*flowchart*)

Pada metode ini yang dilakukan adalah mengidentifikasi faktor-faktor melalui diagram alir proses pembuatan objek yang diamati dan melihat faktor-faktor apa sajakah yang berpengaruh pada proses tersebut.

c. Diagram Sebab Akibat (*cause and effect diagram).*

Diagram ini disebut juga diagram *Ishikawa* dan merupakan metode yang paling sering digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab yang potensial.

5. Mengidentifikasi Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor-faktor tersebut perlu diidentifikasi dengan jelas mengingat kedua faktor tesebut menimbulkan pengaruh yang berbeda. Faktor terkontrol (*control factors*) adalah faktor yang nilainya dapat

diatur atau dikendalikan. Sedangkan faktor pengganggu (*noise factors*) adalah faktor yang nilainya tidak bisa diatur atau kendalikan.

6. Menentukan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Penentuan jumlah level merupakan hal yang penting guna menunjang ketelitian selama proses penelitian. Semakin banyak level yang harus diteliti maka hasil penelitian akan menjadi semakin detail karena banyak data yang dapat diperoleh. Tetapi implikasi lainnya adalah semakin banyak level yang digunakan akan berdampak pada meningkatnya biaya penelitian.

7. Perhitungan Derajat Kebebasan (*degrees of freedom*)

Derajat kebebasan adalah sebuah konsep untuk mendeskripsikan seberapa besar sebuah eksperimen harus dilakukan dan berapa banyak informasi yang dapat diberikan oleh eksperimen tersebut. Perhitungan derajat kebebasan bertujuan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati.

8. Pemilihan *Orthogonal Array*

Orthogonal Array (OA) merupakan suatu matriks faktor dan level yang tidak membawa pengaruh dari faktor atau level yang lain. Pemilihan jenis *Orthogonal Array* (OA) yang akan digunakan pada suatu eksperimen didasarkan pada jumlah derajat bebas total (Park, 1996). Sedangkan derajat bebas sendiri ditentukan berdasarkan:

a. Jumlah faktor utama yang diamati
b. Jumlah level faktor yang diamati
c. Resolusi percobaan yang diinginkan atau batasan biaya

Bentuk umum *Orthogonal Array* (OA) dilambangkan dalam suatu bentuk persamaan:

$$L_a = (b^c)$$

Dimana,

L = rancangan bujur sangkar latin
a = banyaknya eksperimen
b = banyaknya level faktor
c = banyaknya faktor

Jenis *Orthogonal Array* (OA) standar dapat dilihat pada Tabel 2.4. *Orthogonal Array* (OA) L_4 (2^3) mengindikasikan eksperimen yang dilakukan adalah sebanyak empat, jumlah derajat kebebasan dari *Orthogonal Array* (OA) maksimal adalah tiga, jumlah faktor maksimal adalah tiga dan masing-masing memiliki dua level.

Tabel 2.4. Contoh jenis-jenis *Orthogonal Array* (OA)

Level Orthogonal Array	**Model Orthogonal Array**	**Keterangan**
2	L_4 (2^3)	Jumlah total eksperimen: empat
		Jumlah level faktor: dua
		Jumlah faktor eksperimen: tiga
	L_8 (2^7)	Jumlah total eksperimen: delapan
		Jumlah level faktor: dua
		Jumlah faktor eksperimen: tujuh
	L_{12} (2^{11})	Jumlah total eksperimen: duabelas
		Jumlah level faktor: dua
		Jumlah faktor eksperimen: sebelas
	L_{16} (2^{13})	Jumlah total eksperimen: enam belas
		Jumlah level faktor: dua
		Jumlah faktor eksperimen: tiga belas
	L_{32} (2^{31})	Jumlah total eksperimen: tiga puluh dua
		Jumlah level faktor: dua
		Jumlah faktor eksperimen: tiga puluh satu
	L_{54} (2^{63})	Jumlah total eksperimen: lima puluh empat
		Jumlah level faktor: dua
		Jumlah faktor eksperimen: enam puluh tiga

Lanjutan Tabel 2.4. Contoh Jenis-Jenis *Orthogonal Array* (OA)

Level Orthogonal Array	Model Orthogonal Array	Keterangan
3	L_9 (3^4)	Jumlah total eksperimen: sembilan
		Jumlah level faktor: tiga
		Jumlah faktor eksperimen: empat
	L_{27} (3^{13})	Jumlah total eksperimen: dua puluh tujuh
		Jumlah level faktor: tiga
		Jumlah faktor eksperimen: tiga belas
	L_{81} (3^{40})	Jumlah total eksperimen: delapan puluh satu
		Jumlah level faktor: tiga
		Jumlah faktor eksperimen: empat puluh

Level Orthogonal Array	Model Orthogonal Array	Keterangan
4	L_{16} (4^3)	Jumlah total eksperimen: enam belas
		Jumlah level faktor: empat
		Jumlah faktor eksperimen: tiga
	L_{64} (4^{21})	Jumlah total eksperimen: enam puluh empat
		Jumlah level faktor: empat
		Jumlah faktor eksperimen: dua puluh satu

Level Orthogonal Array	Model Orthogonal Array	Keterangan
5	L_{25} (5^6)	Jumlah total eksperimen: dua puluh lima
		Jumlah level faktor: lima
		Jumlah faktor eksperimen: enam

Jadi *Orthogonal Array* disini berfungsi untuk merancang percobaan yang efisien dan menganalisis data percobaan dengan hanya menggunakan sebagian dari kondisi total sehingga meminimalkan jumlah percobaan yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin mengenai faktor yang berpengaruh

2.9.2. Tahap Pelaksanaan

Tahapan pelaksanaan penelitian meliputi jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan eksperimen (Soejanto, 2009):

a. Penentuan jumlah replikasi

Yang dimaksud dengan replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Replikasi bertujuan untuk mengurangi tingkat kesalahan sekaligus menambah ketelitian data percobaan

b. Randomisasi penelitian

Randomisasi bertujuan memberikan kesempatan pada semua unit percobaan untuk mendapatkan perlakuan yang sama agar didapatkan kehomogenan hasil penelitian selain itu guna mendapatkan hasil penelitian yang independen. Apabila replikasi bertujuan untuk memungkinkan dilakukannya uji signifikansi, maka randomisasi bertujuan untuk memberikan validasi terhadap uji signifikansi tersebut agar tidak terjadi bias.

2.9.3. Tahap Analisis

Dalam tahap analisis, data ditampilkan dalam suatu lay out tertentu disesuaikan dengan desain percobaan yang telah dipilih sebelumnya. Disamping itu ditambahkan pula perhitungan-perhitungan secara statistik termasuk analisis variansi dan hipotesa tes pada data hasil percobaan.

a. Analisis Variansi (*Analysis of Variance/ANOVA*)

Analisis variansi (*Analysis of Variance/ANOVA*) adalah sebuah metode pengambilan keputusan berdasarkan informasi statistik untuk mengetahui perbedaan hasil dari suatu perlakuan. Pada tahapan ini hasil dari eksperimen diklasifikasikan secara statistik berdasarkan sumber variansi sehingga kontribusi dari masing-masing faktor dapat diidentifikasi.

Analisis variansi (*Analysis of Variance/ANOVA*) membagi variansi menjadi sumber-sumber variansi dengan mempertimbangkan derajat kebebasan sumber-sumber variansi tersebut dalam eksperimen. Sehingga tujuan perhitungan analisis variansi (*Analysis of Variance/ANOVA*) pada metode eksperimental Taguchi adalah untuk mencari faktor-faktor yang mempengaruhi performansi nilai respon.

Percobaan dalam rancangan yang menggunakan tiga faktor yaitu faktor A, faktor B dan faktor C diuji dengan menggunakan sebaran distribusi F, yaitu dengan menghitung rasio rata-rata jumlah kuadrat error (MS_E) yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dari faktor.

Tabel 2.5. *Analysis of Variance* (ANOVA)

Source of Variance	**Sum of Square**	**Degrees of Freedom**	**Mean Square**	**F-Hitung**
A	SS-A	υ_A	MS_A	F-A hitung
B	SS-B	υ_B	MS_B	F-B hitung
C	SS-C	υ_C	MS_C	F-C hitung
Error	SS-*Error*	υ_E	MS_E	
Total	SS-Total	υ_T		

Dimana,

$$SS_A = \frac{(total\ A1)^2 + (total\ A2)^2 + (total\ A3)^2}{n} - \frac{T^2}{N} \qquad 2.6$$

$$SS_B = \frac{(total\ B1)^2 + (total\ B2)^2 + (total\ B3)^2}{n} - \frac{T^2}{N} \qquad 2.7$$

$$SS_C = \frac{(total\ C1)^2 + (total\ C2)^2 + (total\ C3)^2}{n} - \frac{T^2}{N} \qquad 2.8$$

$$SS_{error} = \sum e_i^2 \qquad 2.9$$

$$SS_{total} = SS_A + SS_B + SS_C + SS_{error} \qquad 2.10$$

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 C level 1
C_2	:	Faktor C level 2
C_3	:	Faktor C level 3
T^2	:	kuadrat jumlah keseluruhan respon pada level 1, 2 dan 3
N	:	jumlah total percobaan
n	:	jumlah total pengamatan pada faktor tertentu
υ_A	:	derajat bebas faktor A yaitu $a - 1$
υ_B	:	derajat bebas faktor B yaitu $b - 1$
υ_C	:	derajat bebas faktor C yaitu $c - 1$
υ_T	:	derajat bebas total yaitu $(N - 1) - (a - 1) - (b - 1) - (c - 1)$

Hasil analisis variansi tidak membuktikan adanya perbedaan perlakuan dan pengaruh faktor dalam eksperimen. Pembuktian ini dilakukan dengan menggunakan uji distribusi F. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan variansi yang disebabkan oleh masing-masing faktor dan variansi *error*. Variansi *error* adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan. Secara umum, hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

- H_0: tidak ada perbedaan rata-rata yang signifikan antar perlakuan terhadap variabel yang diukur.
- H_1: terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan antar perlakuan terhadap variabel yang diukur.

Respon pada setiap eksperimen dapat dimodelkan dalam bentuk:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijkl} \qquad 2.11$$

Maka hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Untuk faktor A

   $H_0 = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \ldots = \alpha_k = 0$

   H_1 = salah satu α tidak sama dengan 0

2. Untuk faktor B

   $H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \ldots = \beta_k = 0$

   H_1 = salah satu β tidak sama dengan 0

3. Untuk faktor C

   $H_0 = \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \ldots = \gamma_k = 0$

   H_1 = salah satu γ tidak sama dengan 0

Gagal tolak atau penolakan terhadap H_0 didasarkan pada nilai F_{hitung} yang dirumuskan dengan persamaan berikut ini:

$$\text{Untuk faktor A} \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_A}{MS_E} \qquad 2.12$$

$$\text{Untuk faktor B} \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_B}{MS_E} \qquad 2.13$$

$$\text{Untuk faktor C} \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_C}{MS_E} \qquad 2.14$$

Penolakan H_0 pada masing-masing dilakukan apabila didapati kondisi seperti berikut ini:

Untuk faktor A → $F_{hitung} > F\alpha, v_A, v_B$

Untuk faktor B → $F_{hitung} > F\alpha, v_B, v_E$

Untuk faktor C → $F_{hitung} > F\alpha, v_C, v_E$

Penolakan H_0 juga dilakukan apabila nilai F_{hitung} lebih besar dari dua (Park, 1996)

b. F Test

Digunakan untuk menunjukkan bukti adanya perbedaan pengaruh antara masing-masing faktor dalam sebuah percobaan atau eksperimen (Soejanto, 2009). Menurut Imam Ghozali (2009), F test pada

dasarnya menunjukkan apakah semua variabel independen yang dimasukkan ke dalam model mempunyai pengaruh secara bersama-sama atau simultan terhadap variabel dependen. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan oleh masing-masing faktor dan variansi error. Yang dimaksud variansi error adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan.

Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

H_0 : tidak ada perbedaan rata-rata yang signifikan antar perlakuan terhadap variabel yang diukur

H_1 : terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan antar perlakuan terhadap variabel yang diukur

Menurut Duwi Priyatno (2009) ada dua cara untuk menguji hipotesis uji F ini, yaitu:

1. Membandingkan F hitung dengan F tabel
2. Membandingkan nilai signifikansi (sig) dengan α

Dapat juga digunakan tools statistik Minitab untuk membantu perhitungan uji F ini. Apabila diketahui nilai $pv_{alue} < \alpha$, maka H_0 ditolak. Menurut Park (1996), H_0 ditolak apabila nilai F hitung > 2.

c. Pengujian Distribusi Normal

Uji Normalitas adalah sebuah uji yang dilakukan dengan tujuan untuk menilai sebaran data atau variabel terdistribusi normal atau tidak. *Normal Probability Plot* dalam tools statistik dapat digunakan untuk membantu menguji normalitas sebuah data.

Hipotesa yang berlaku adalah sebagai berikut:

H_0: residual terdistribusi normal

H_1: residual tidak terdistribusi normal

Tolak H_0 apabila $p_{value} > \alpha$

2.9.4. Interpretasi Hasil

Interpretasi hasil merupakan langkah yang dilakukan setelah tahap pelaksanan percobaan dan analisis data selesai dilaksanakan. Menurut Fajar alam yudha (2018), interpretasi hasil pada eksperimen Taguchi terdiri dari:

a. Persentase Kontribusi

Persentase kontribusi mengindikasikan kekuatan relatif sebuah faktor dan segala interaksinya yang bertujuan untuk mengurangi variansi. Dasar perhitungan persentase kontribusi adalah fungsi dari jumlah kuadrat dari masing-masing faktor yang signifikan.

Yang dihitung dalam persentase kontribusi meliputi faktor, interaksi faktor dan *error*. Pesentase kontribusi suatu faktor A (ρ_A) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini (Ross, 1996):

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \text{ X } 100\% \qquad 2.15$$

$$SS'_A = SS_A - V_A.MS_E \qquad 2.16$$

Dimana,

SS_A = jumlah kuadrat dari faktor yang dihitung persentase kontribusinya

SS_T = jumlah kuadrat total

V_A = derajat kebebasan dari faktor yang dihitung persentase kontribusinya

MS_E = rata-rata kuadrat dari faktor *error*

Apabila persentase kontribusi error kurang dari 15%, maka dianggap faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon sudah diperhitungkan semuanya. Namun apabila terdapat faktor lain yang belum diperhitungkan maka akan menyebabkan *error* yang terjadi semakin besar.

b. Interval Kepercayaan Taksiran Respon Pada Kondisi Optimum

Pada setiap proses optimasi, menghasilkan kondisi yang lebih baik dari sebelumnya (optimum) merupakan tujuan utama. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu pembuktian terhadap proses optimasi yang dilakukan apakah telah berhasil dengan cara mengetahui respon ketika kombinasi level faktor yang diduga dapat mengoptimumkan respon berhasil diterapkan. Pembuktian tersebut dapat dilakukan dengan mengetahui taksiran nilai rata-rata respon pada kondisi optimum yang dihasilkan dari interval keyakinan. Interval keyakinan dugaan rata-rata respon dengan taraf keyakinan (1 – α) x 100% dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini (Ross, 1996):

$$\hat{\mu} - CI \leq \mu \leq \hat{\mu} + CI \qquad 2.17$$

$$CI = \sqrt{\frac{F_{\alpha,1,df\ error}\ MSE}{n_{eff}}} \qquad 2.18$$

Dimana,

$\hat{\mu}$ adalah dugaan rata-rata respon pada kondisi optimum

$F_{\alpha,1,df_{error}}$ merupakan nilai distribusi F pada taraf nyata dengan derajat bebas 1 dan derajat bebas dari *error*

Sedangkan n_{eff} adalah banyaknya pengamatan efektif (Belavendram, 1995):

$$n_{eff} = \frac{jumlah\ total\ eksperimen}{jumlah\ derajat\ bebas\ dalam\ estimasi\ mean} \qquad 2.19$$

2.9.5. Signal to Noise Ratio

Metode Taguchi mengembangkan konsep *signal to noise ratio* atau S/N untuk percobaan yang melibatkan banyak faktor. Metode perhitungan rasio S/N tergantung pada karakteristik responnya yaitu semakin kecil semakin baik, semakin besar semakin baik atau mengacu pada suatu nilai tertentu.

$$S/N = -10log_{10}(MSD) \quad 2.20$$

dimana,

MSD (*Mean Squared Deviation*) adalah rata-rata kuadrat penyimpangan dari nilai target karakteristik kualitas

Rasio S/N untuk beberapa karakteristik adalah sebagai berikut:

1. Smaller is better

Rumus perhitungan rasio S/N *smaller is better* (Roy, 1990):

$$S/N = -10log_{10}(MSD) \quad 2.21$$

$$S/N = -10log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} yi\right) \quad 2.22$$

2. Nominal is the best

Rumus perhitungan rasio S/N *Nominal is the best* (Belavendram, 1995):

$$S/N = -10log_{10}\left(\frac{\mu^2}{\sigma^2}\right) \quad 2.23$$

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} yi \quad 2.24$$

$$\sigma = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(yi - \mu)^2 \quad 2.25$$

3. Larger is better

Rumus perhitungan rasio S/N *Larger is better* (Roy, 1990):

$$S/N = -10log_{10}(MSD) \quad 2.26$$

$$S/N = -10log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{yi}\right) \quad 2.27$$

2.10. Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian serupa yang telah dilakukan sebelumnya akan dijelaskan dalam table 2.6 di bawah ini.

Tabel 2.6 Penelitian sebelumnya

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
1	Bonar Harahap, Tri Hernawati, Aulia Rachman Hasibuan (2018)	Analisa mutu minyak kelapa sawit dengan metode Taguchi	Taguchi	Pengaruh kualitas minyak kelapa sawit dipengaruhi oleh tiga faktor utama yaitu unit klarifikasi, tekanan pada perebusan dan lama penimbunan pada loading ramp
2	Annisa Intan Mayasari, Triastuti Wuryandari, Abdul Hoyyi (2014)	Optimalisasi proses produksi yang melibatkan beberapa faktor dengan level yang berbeda menggunakan metode Taguchi	Taguchi	Faktor yang berpengaruh terhadap desain rangkaian elektronik yang akan menghasilkan frekuensi pusat 35,75 megahertz adalah faktor A (jenis diode), faktor B (kapasitor 2), faktor C (inductor 2), faktor D (kapasitor 4), faktor F (kapasitor 7) dan faktor H (kapasitor 1)

Lanjutan Tabel 2.6 Penelitian sebelumnya

3	Pavol Gejdos (2015)	Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control	Model DMAIC, Histogram, Shewhart control chart	The DMAIC model can systematically improve quality
4	Radu Godina, Carina Pimentel, F.J.G Silva, Joao C.O Matias (2018)	Improvement of Statistical Process Control Certainty in an Automotive Manufacturing Unit	Using Kolmogorov-Smirnov (K-S) as the normally test used	The test showed that if data followed a normal distribution then the SPC is valid
5	Achirul Aprisal Annas (2015)	Evaluasi Cost Overrun Pada Pelaksanaan Proyek Jalan Nasional Di Provinsi Jawa Timur Dengan Metode Statistical Process Contriol	Statistical Process Control (SPC)	Ada 5 (lima) faktor penyebab terjadinya cost overrun pada pelaksanaan proyek jalan nasional di provinsi Jawa Timur yaitu : faktor perubahan desain (42,11%), faktor koordinasi dan komunikasi yang buruk dalam organisasi (21,05%), faktor kesalahan dalam pengambilan keputusan (17,54%), faktor keterlambatan dalam penyerahan/penggunaan lahan (14,04%) dan faktor keterlambatan dalam pembayaran termin (5,26%).

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian sebagai landasan berpijak agar proses penelitian dapat berjalan secara sistematis, terstruktur dan terarah. Tahapan-tahapan ini disusun secara sistematis sehingga diharapkan solusi dan kesimpulan yang dihasilkan sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Sistematika tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.1. Analisa Variansi Produk Metode *Statistical Process Control* (SPC)

Di dalam penelitian ini digunakan 2 (dua) macam sumber data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dengan wawancara secara langsung terhadap pihak-pihak yang terlibat dalam proses produksi, wakil manajemen dan pihak-pihak terkait lainnya. Selain dengan metode wawancara secara langsung, penyebaran dan pengisian quisioner juga digunakan untuk melengkapi data primer.

Sedangkan untuk data sekunder didapatkan dari data-data yang dimiliki oleh perusahaan, baik itu berupa flowsheet proses produksi, *Standard Operation Procedure* (SOP), instruksi kerja, hasil analisa produk, data mesin dan peralatan serta data proses produksi.

Data yang diperoleh dari hasil observasi di lapangan selanjutnya akan diolah dengan menggunakan metode *Statistical Process Control* (*SPC*). Metode *Statistical Process Control* (*SPC*) dipilih dengan alasan karena metode ini adalah salah satu dari sekian banyak metode pengendalian kualitas yang mengimplementasikan metode statistik untuk memantau dan mengendalikan suatu proses. Fokus metode ini adalah menekankan pada deteksi dini dan pencegahan masalah dibandingkan penanganan setelah terjadi masalah.

Dalam penelitian ini, metode *Statistical Process Control* (*SPC*) berfungsi untuk menganalisis variasi produk yang terjadi. Metode ini juga dapat digunakan untuk menangani pemborosan (*waste*), mengurangi waktu yang diperlukan dalam

menghasilkan suatu produk serta meminimalisir produk di proses ulang (*rework*) sehingga proses menjadi lebih efisien.

Data hasil observasi di lapangan selanjutnya akan diuji dengan menggunakan diagram sebar (*scatter plots*), diagram kontrol (*control chart*) dan diagram sebab-akibat (*cause and effect diagram*). Diagram sebar (*scatter plots*) digunakan untuk menganalisa suatu pola hubungan antara 2 (dua) variabel. Kekuatan korelasi dapat diamati dari seberapa dekat titik-titik tersebut terhubung satu dengan lainnya pada grafik. Korelasi dapat bersifat positif (jika semua variabel yang diuji mengalami kenaikan secara bersama-sama), bersifat negatif (jika salah satu variabel mengalami penurunan sedangkan variabel lainnya justru mengalami kenaikan) atau bahkan tidak berkorelasi sama sekali (*null*).

Pengujian data berikutnya adalah dengan menggunakan diagram kontrol (*control chart*). Diagram kontrol (*control chart*) disini berfungsi untuk menguji apakah proses yang sedang berlangsung (*existing*) berada dalam keadaan yang terkendali atau tidak dengan cara memantau proses secara kontinyu sepanjang waktu supaya proses dapat dipertahankan agar tetap stabil. Selanjutnya akar penyebab permasalahan di uraikan dengan menggunakan diagram sebab-akibat (*cause and effect diagram*).

3.2. Analisa Kemampuan Proses (*Process Capability Analysis*)

Ketika variasi produk dalam proses telah dianalisa secara keseluruhan dengan menggunakan metode *Statistical Process Control (SPC*), tahap selanjutnya adalah melakukan pengukuran terhadap kemampuan proses atau *Process Capability Analysis*. Tujuannya adalah untuk melihat sejauh mana kemampuan proses produksi dalam menghasilkan produk dengan spesifikasi yang seragam. Penilaian suatu kemampuan proses (*Process Capability*) ditentukan dari beragamnya variasi yang disebabkan oleh faktor penyebab yang bersifat umum. Dengan bantuan analisa kemampuan proses (*Process Capability*), kita dapat mengamati sejauh mana tingkat keseragaman (variabilitas) produk dan sampai sebatas mana kemampuan suatu proses dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi. Ukuran kemampuan proses (*Process Capability*) dinyatakan

sebagai *Capability Index*, dengan notasi *Cp* dan *Cpk.* Sedangkan yang dimaksud dengan *Capability Index* adalah rasio perbandingan antara variasi proses dengan spesifikasi yang telah disyaratkan. Nilai *Capability Index* untuk distribusi normal adalah 1.

Acuan pengukuran kemampuan proses (*Process Capability*) pada penelitian ini adalah berdasarkan data hasil pengujian kandungan unsur hara (N-P-K-MgO-B_2O_3) yang terkandung di dalam produk yang telah dilakukan oleh departemen Quality Control. Dari hasil pengukuran kemampuan proses (*Process Capability*) terhadap kondisi kandungan unsur hara (N-P-K-MgO-B_2O_3) di dalam produk, maka kondisi kandungan unsur hara dapat dikelompokkan kedalam 3 kategori yaitu:

1. Kandungan unsur hara yang memenuhi standar spesifikasi (Standar Nasional Indonesia/SNI maupun *Standard and Industrial Research Institute of Malaysia* /SIRIM).

   Ciri-cirinya adalah:

   a. Pada kategori ini rentang nilai variasi produk yang dihasilkan sangat dekat, relatif tidak terpaut jauh dari standar yang telah disyaratkan.
   b. Memiliki nilai indeks yang tinggi (*high index value*) ditandai dengan nilai Cpk > 1,5
   c. Nilai sigma berada di angka 6 atau bahkan lebih

2. Kandungan unsur hara yang sebagian besar atau hampir semuanya memenuhi standar spesifikasi (Standar Nasional Indonesia/SNI maupun *Standard and Industrial Research Institute of Malaysia* /SIRIM).

   Ciri-cirinya adalah:

   a. Pada kategori ini nilai variasi produk yang dihasilkan memiliki rentang defisiensi yang lebih lebar atau terpaut agak jauh dari standar yang telah disyaratkan (*moderate variations*).
   b. Mempunyai nilai indeks menengah (*middle index value*) dengan nilai Cpk berkisar antara 0,5 - 1,2
   c. Nilai sigma berada di angka 3 sampai dengan 5

3. Kandungan unsur hara yang sama sekali tidak memenuhi standar spesifikasi (Standar Nasional Indonesia/SNI maupun *Standard and Industrial Research Institute of Malaysia* /SIRIM).

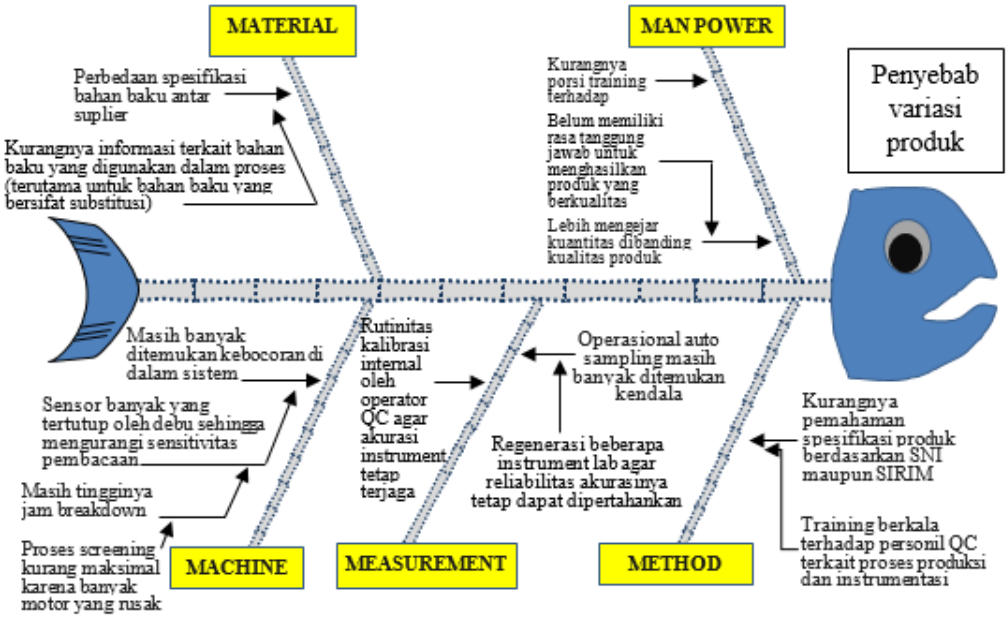
Ciri-cirinya adalah:

a. Variasi produk tinggi

b. Memiliki nilai indeks yang rendah (*low index value*) dengan nilai Cpk < 0,5

c. Nilai sigma berada di angka 0 – 2

Hasil analisa kemampuan proses (*Process Capability Analysis*) inilah yang pada nantinya akan memberikan informasi kepada kita mengenai unsur hara (N-P-K-MgO-B_2O_3) apa saja yang dominan atau memiliki kecenderungan tidak memenuhi standar spesifikasi (Standar Nasional Indonesia/SNI maupun *Standard and Industrial Research Institute of Malaysia*/SIRIM) atau memiliki variabilitas yang tinggi.



Gambar 3.1 Fishbone diagram penyebab variasi produk

3.3. Variabel Penelitian

Ada dua macam variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variabel respon dan variabel proses. Variabel respon terdiri dari:

a. Kondisi fisik (*physical properties*)

Ukuran granula produk (*on size product*) yaitu 2-5 mm dan d50 produk ≥ 90%

b. Unsur hara (*nutrient*)

Tercukupinya kandungan unsur hara (N-P-K-MgO-B_2O_3) sesuai dengan standar spesifikasi yang telah ditetapkan (Standar Nasional Indonesia/SNI maupun *Standard and Industrial Research Institute of Malaysia/*SIRIM)

Sedangkan variabel proses meliputi:

- *Raw material intake*

  Yaitu banyaknya bahan baku yang masuk ke dalam sistem, diukur dalam satuan metric ton/hour (mt/hr)

- *Water usage*

  Adalah banyaknya air yang dibutuhkan selama proses produksi berlangsung, diukur dalam satuan meter cubic/hour (m^3/hr)

- *Gas usage*

  Adalah kebutuhan gas selama proses produksi, diukur menggunakan satuan Million British Thermal Unit (MMBtu)

- *Granulator Material Temperature*

  Sebagaimana diketahui bersama bahwa di dalam granulator terjadi proses granulasi. Dimana bahan baku yang masuk bersama dengan recycle material akan ditambahkan air yang berfungsi sebagai perekat antar partikel. Penambahan air harus dilakukan secara cermat dan tepat agar kadar air produk jadi tidak melebihi batas yang telah ditetapkan. Karena kadar air berlebih pada produk akan sangat berdampak pada kestabilan unsur hara. Suhu material di dalam granulator diukur dalam satuan derajat Celsius (^oC).

- *Dryer Material Temperature*

  Setelah mengalami proses granulasi di dalam granulator, selanjutnya produk akan dikeringkan dengan bantuan dryer drum. Setting suhu dryer drum harus dijaga kestabilannya. Karena apabila produk mendapatkan perlakuan suhu melebihi dari yang disyaratkan akan membuat fisik produk menjadi gepeng yang tentu saja hal tersebut akan berpengaruh pada sisi estetika produk. Suhu material dalam penelitian ini terdiri dari tiga level, yaitu 50°C (level 1) ; 51°C (level 2) dan 51°C (level 3).

- *Cooler Material Temperature*

  Dari dryer drum produk akan menjalani proses berikutnya di dalam cooler drum. Disini produk akan didinginkan dengan aliran udara counterflow. Partikel debu yang terikut akan dihisap menggunakan cyclone. Dalam penelitian ini digunakan tiga level setting suhu yaitu 42°C (level 1) ; 43°C (level 2) dan 44°C (level 3).

- *Finish Product Temperature*

  Adalah kondisi suhu produk setelah proses di dalam cooler drum hingga akhirnya disimpan di dalam bulk storage. Pada penelitian kali ini digunakan tiga level setting suhu yaitu 38°C (level 1); 39°C (level 2) dan 40°C (level 3).

- *Environment Process Temperature*

  Merupakan kondisi lingkungan sekitar yang berpengaruh terhadap proses. Kondisi ini meliputi cuaca, kelembaban dan intensitas sinar matahari. Di manufaktur pupuk NPK kondisi lingkungan akan sangat berpengaruh pada produk yang dihasilkan. Contohnya ketika musim penghujan ataupun pada malam hari ketika suhu lingkungan mengalami penurunan. Hal ini akan membuat produk menjadi lebih sukar jadi dan memiliki kadar air yang tinggi. Beda hal nya ketika kondisi di sekitar proses dalam kondisi kering, proses pembentukan produk akan lebih mudah serta kuantitas produk juga meningkat. Pada penelitian ini akan digunakan tiga level setting kondisi lingkungan proses, yaitu 27°C (level 1) untuk kondisi lingkungan hujan; 29°C (level 2) untuk kondisi cuaca

berawan, mendung dan malam hari serta 31°C (level 3) untuk kondisi lingkungan yang cerah.

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, maka setiap parameter proses diberikan batas atas dan bawah. Parameter proses yang akan digunakan dalam penelitian ditunjukkan dalam tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1. Variabel bebas (variabel proses) penelitian

No	Parameter Proses
1	Raw material intake, mt/hr
2	Water usage, m^3/hr
3	Gas usage, MBTU
4	Granulator material temperature, °C
5	Dryer material temperature, °C
6	Cooler material temperature, °C
7	Finish product temperature, °C
8	Environment process temperature, °C

3.4. Rancangan Percobaan

3.4.1. Pemilihan Orthogonal Array (OA)

Orthogonal Array (OA) yang digunakan memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih besar dari pada total derajat kebebasan faktor dan level yang telah ditetapkan. Derajat kebebasan faktor dan level tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan seperti yang tertera pada tabel 3.2 di bawah ini:

Tabel 3.2. Derajat kebebasan faktor dan level

No	Faktor	Jumlah Level	$\upsilon_T = (k-1)$
1	Raw material intake, mt/hr	3	2
2	Water usage, m^3/hr	3	2
3	Gas usage, MBTU	3	2
4	Granulator material temperature, °C	3	2
5	Dryer material temperature, °C	3	2
6	Cooler material temperature, °C	3	2
7	Finish product temperature, °C	3	2
8	Environment process temperature, °C	3	2
Total derajat kebebasan			16

Pada penelitian ini, data yang dipergunakan terdiri dari delapan variabel proses. Kedelapan variabel tersebut digunakan sebagai faktor utama (A, B, C, D, E, F, G dan H) dimana masing-masing mempunyai tiga level faktor. Dari faktor-faktor tersebut didapatkan total derajat bebas sebanyak 16. Dengan bantuan tools statistik *Minitab*, maka jenis *Orthogonal Array* (OA) yang digunakan adalah $L_{27}(3^8)$. Rancangan percobaan *Orthogonal Array* $L_{27}(3^8)$ ditunjukkan dalam table 3.3 di bawah ini:

Tabel 3.3. Rancangan percobaan Taguchi

No. Eksperimen	Faktor							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2
5	1	2	2	2	2	2	2	3
6	1	2	2	2	3	3	3	1
7	1	3	3	3	1	1	1	3
8	1	3	3	3	2	2	2	1
9	1	3	3	3	3	3	3	2
10	2	1	2	3	1	2	3	1
11	2	1	2	3	2	3	1	2
12	2	1	2	3	3	1	2	3
13	2	2	3	1	1	2	3	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3

Lanjutan Tabel 3.3. Rancangan Percobaan Taguchi

17	2	3	1	2	2	3	1	1
18	2	3	1	2	3	1	2	2
19	3	1	3	2	1	3	2	1
20	3	1	3	2	2	1	3	2
21	3	1	3	2	3	2	1	3
22	3	2	1	3	1	3	2	2
23	3	2	1	3	2	1	3	3
24	3	2	1	3	3	2	1	1
25	3	3	2	1	1	3	2	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2

Dimana,

A = *Raw material intake*, mt/hr

B = *Water usage*, m^3/hr

C = *Gas usage*, MBTU

D = *Granulator material temperature*, ^oC

E = *Dryer material temperature*, ^oC

F = *Cooler material temperature*, ^oC

G = *Finish product temperature*, ^oC

H = *Environment process temperature*, ^oC

3.4.2. Rancangan Pengolahan Data

Proses pengambilan dan pengolahan data dilakukan secara acak (*random*) dengan mengacu pada rancangan percobaan pada tabel 3.3. Pengacakan ini dilakukan dengan bantuan tools statistik *Minitab*. Masing-masing faktor proses akan direplikasi sebanyak tiga kali yang bertujuan untuk mengatasi faktor gangguan (*noise*) yang mungkin saja timbul ketika proses percobaan berlangsung. Data hasil percobaan akan dikumpulkan sesuai dengan kombinasi pengaturan parameter yang sejenis.

3.5. Tahap Analisis

Tahapan analisis data pada penelitian ini terdiri dari:

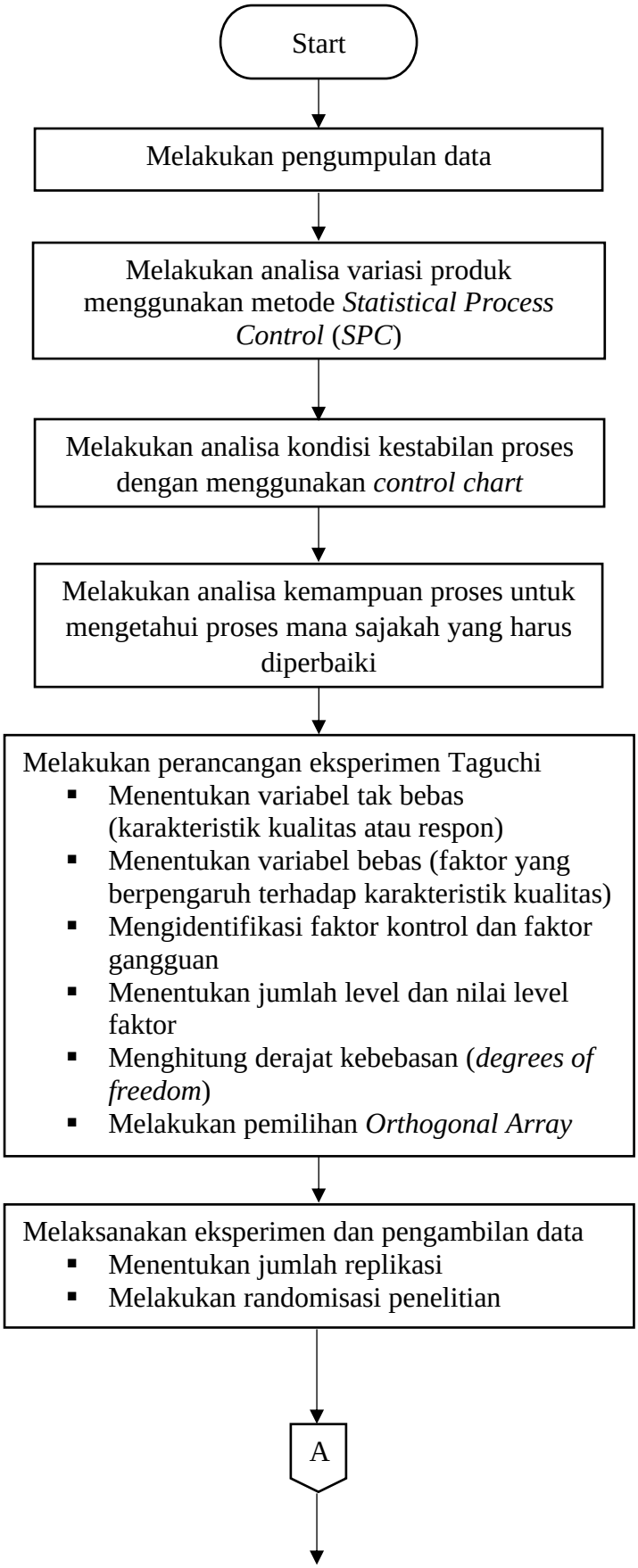
1. Melakukan uji korelasi antar respon. Apabila antar respon terdapat korelasi maka respon-respon tersebut dapat dianalisis secara serentak.
2. Melakukan normalisasi masing-masing data respon sesuai dengan karakteristik data yang digunakan (*smaller the better*, *larger the better* atau *nominal is the best*). Sebelum melakukan normalisasi data respon, langkah yang dilakukan adalah melakukan perhitungan nilai rata-rata pada setiap pengamatan.
3. Menghitung *Signal to Noise Ratio* (SNR) sesuai dengan karakteristik data (*smaller the better*, *larger the better* atau *nominal the best*).
4. Membuat tabel ANOVA untuk mengetahui faktor-faktor proses (*raw material intake*, *water usage*, *gas usage* dan *material temperature*) yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon secara serentak serta menghitung kontribusi masing-masing faktor dan persentase kontribusi *error*. Semakin kecil persentase kontribusi *error* maka semakin baik.
5. Membuat *main effect plot* untuk mengetahui level faktor yang dapat mengoptimumkan respon secara serentak serta menghitung nilai *mean* pada setiap level. Sehingga pada langkah ini dapat diketahui level faktor yang dapat mengoptimumkan respon pada masing-masing variabel proses.
6. Menghitung nilai taksiran pada kondisi optimum setiap respon dengan menggunakan rancangan level optimum yang telah diperoleh pada tahapan sebelumnya. Disamping itu, juga menghitung nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) pada kondisi optimum pada masing-masing respon.
7. Menghitung selang kepercayaan (*confidence interval*) masing-masing respon dalam kondisi optimum.
8. Melakukan eksperimen konfirmasi.

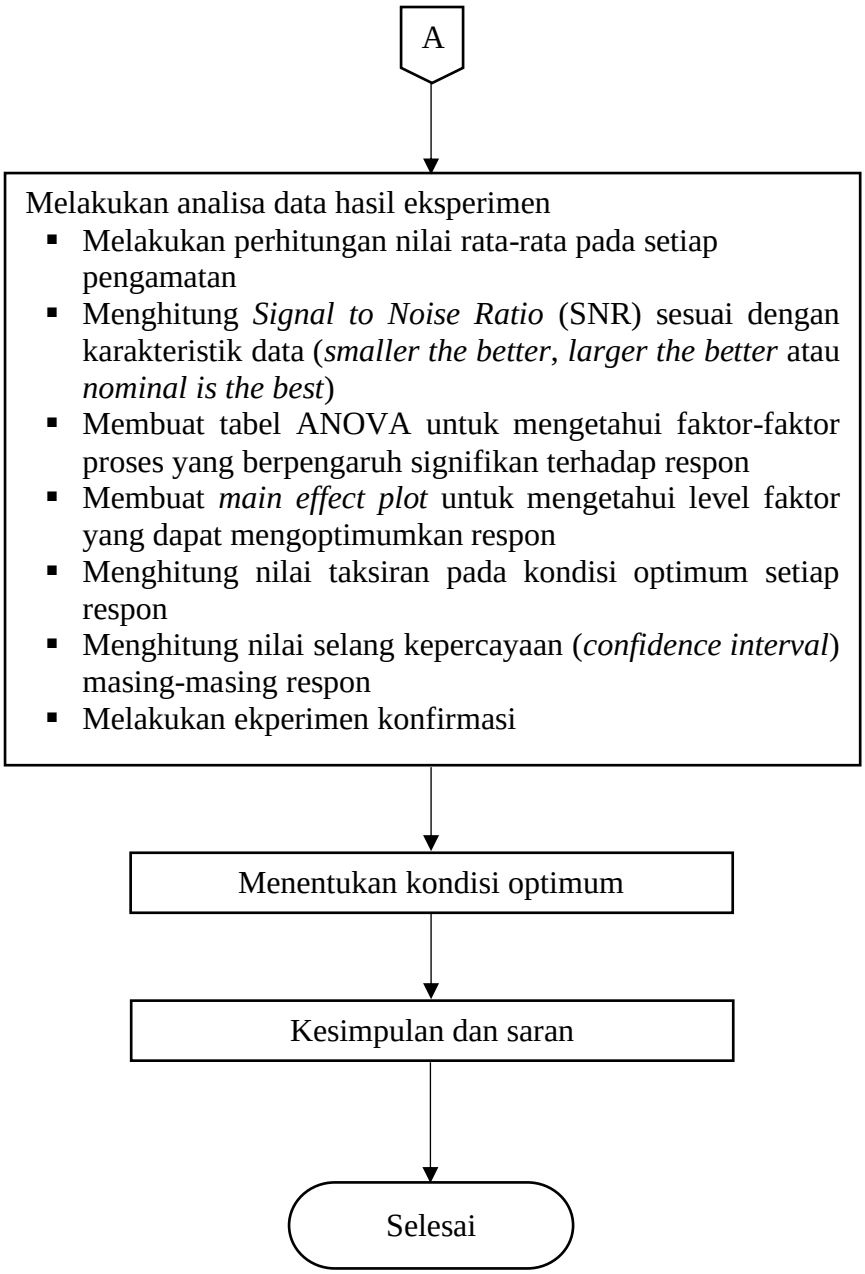
   Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan kombinasi parameter proses yang didapat berdasarkan hasil percobaan dengan menggunakan metode Taguchi.

3.6. Hipotesa

Jenis pupuk Nitrogen-Phosphate-Kalium (NPK) kelapa sawit yang saat ini banyak digunakan adalah pupuk dengan kadar Kalium (K) yang tinggi. Permasalahan yang kerap muncul dalam proses produksi pupuk Nitrogen-Phosphate-Kalium (NPK) jenis ini adalah sulitnya pembentukan granula produk. Karena untuk menghasilkan suatu produk pupuk dengan kualitas yang bagus dan sesuai dengan spesifikasi Standar Nasional Indonesia (SNI 2803:2010) dan *Standard and Industrial Research Institute of Malaysia* (SIRIM), maka perlu adanya keharmonisan antara laju material bahan baku yang masuk ke dalam sistem (*raw material intake*), kestabilan suhu proses dan material, penggunaan air dan kebutuhan gas selama proses produksi berlangsung.

Apabila keempat faktor diatas dapat benar-benar dijaga secara konsisten maka tidak menutup kemungkinan akan didapatkan kualitas produk pupuk Nitrogen-Phosphate-Kalium (NPK) yang bagus dan sesuai spesifikasi. Selain itu juga dapat menekan semaksimal mungkin komplain pelanggan akibat tidak tercukupinya unsur hara (N-P-K-MgO-B_2O_3) di dalam produk.


Start
Melakukan pengumpulan data
Melakukan analisa variasi produk menggunakan metode *Statistical Process Control* (*SPC*)
Melakukan analisa kondisi kestabilan proses dengan menggunakan *control chart*
Melakukan analisa kemampuan proses untuk mengetahui proses mana sajakah yang harus diperbaiki
Melakukan perancangan eksperimen Taguchi
▪ Menentukan variabel tak bebas (karakteristik kualitas atau respon)
▪ Menentukan variabel bebas (faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas)
▪ Mengidentifikasi faktor kontrol dan faktor gangguan
▪ Menentukan jumlah level dan nilai level faktor
▪ Menghitung derajat kebebasan (*degrees of freedom*)
▪ Melakukan pemilihan *Orthogonal Array*
Melaksanakan eksperimen dan pengambilan data
▪ Menentukan jumlah replikasi
▪ Melakukan randomisasi penelitian
A



Gambar 3.2 Sistematika metodologi penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk pupuk NPK khusus kelapa sawit di PT. XYZ terutama terkait kecukupan kandungan unsur hara dan fisik granula produk dengan menggunakan metode *Statistical Process Control* dan eksperimen Taguchi.

Penelitian ini disusun dalam beberapa tahapan. Tahap pertama adalah proses pengumpulan data-data yang berasal dari studi lapangan dan studi pustaka. Tahap kedua adalah analisa variasi produk menggunakan metode *Statistical Process Control*, dengan aktifitas melakukan analisa kemampuan proses, mengidentifikasi karakteristik kualitas, identifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses dan penentuan setting level parameter. Tahap ketiga adalah optimasi dengan menggunakan eksperimen Taguchi sekaligus merancang *Orthogonal Array* yang nantinya akan dipakai selama penelitian berlangsung. Tahap keempat adalah tahap analisis data eksperimen. Dimana aktifitasnya meliputi menghitung *Signal to Noise Ratio* (SNR), membuat tabel ANOVA untuk mengetahui faktor-faktor proses yang berpengaruh signifikan terhadap respon dan menghitung *confidence interval* masing-masing respon. Tahap terakhir yaitu tahap kelima adalah melakukan eksperimen konfirmasi.

4.1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini berasal dari proses pengumpulan informasi di lapangan maupun dari kajian literatur. Data ini berfungsi sebagai pedoman atau dasar dalam melakukan kegiatan penelitian. Sehingga kegiatan penelitian dapat berjalan terarah dan sinergis guna menghasilkan solusi baru yang berguna bagi kemajuan perkembangan proses produksi, meningkatkan kehandalan proses dan menghasilkan sebuah produk yang *robust* sehingga mampu meminimalisir komplain pelanggan.

4.2. Analisa Variasi Produk Metode *Statistical Process Control* (SPC)

Penggunaan metode *Statistical Process Control* dilatar belakangi adanya perbedaan kualitas produk yang diproduksi dengan tipe yang sama, urutan alur proses yang sama, mesin, operator bahkan kondisi lingkungan yang sama. Variasi produk ini biasanya kerap terjadi pada perusahaan dengan kapasitas produksi yang besar (*mass production*).

Maka dalam upaya meminimalisir variasi produk, perlu kiranya dipahami terlebih dahulu karakteristik kualitas yang ingin dicapai. Karakteristik kualitas bertujuan untuk menilai kinerja dari sebuah produk sampai sejauh mana mampu menjalankan fungsinya dengan baik. Dalam penelitian ini parameter kualitas yang diukur ada dua macam. Yang pertama adalah kecukupan kandungan unsur hara (*nutrient*) dalam produk yang terdiri dari total *Nitrogen* (N), total *Phosphorus* (P_2O_5), total *Potassium* (K_2O), total *Magnesium Oxide* (MgO) dan total Boron (B_2O_3). Sedangkan parameter kedua adalah kondisi fisik produk (*physical properties*).

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil pengujian dari beberapa instrument. Sistem pengujian eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Obyek pengujian adalah produk pupuk NPK khusus kelapa sawit yang diambil dari unit produksi NPK.
2. Tempat pengujian eksperimen dilakukan di laboratorium Quality Control PT.XYZ yang berpedoman pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *Standard and Industrial Research Institute of Malaysia* (SIRIM).
3. Instrument yang digunakan untuk pengujian sample eksperimen adalah:
   a. *Kjeldahl Distillation*
   Digunakan untuk menguji kandungan total *Nitrogen* (N)
   b. *UV-VIS Spectrophotometer*
   Digunakan untuk menguji kandungan total *Phosphorus* (P_2O_5) dan total *Boron* (B_2O_3)
   c. *Flame Photometer*
   Digunakan untuk menguji kandungan total *Potassium* (K_2O)

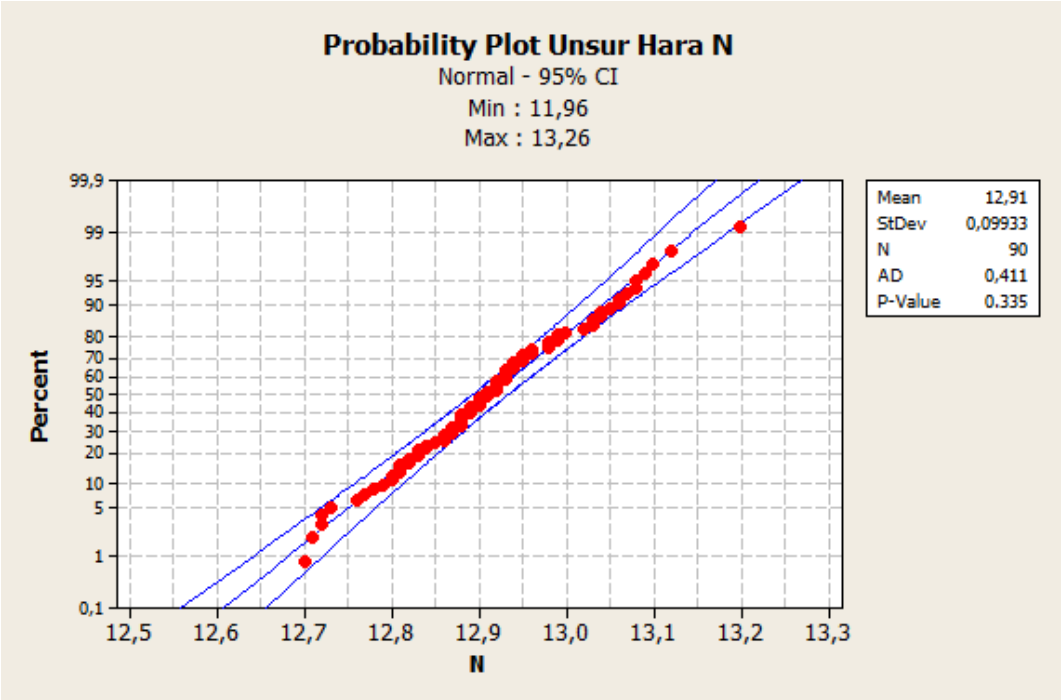
d. *Atomic Absorbtion Spectrophotometer (AAS)*

Digunakan untuk menguji kandungan total *Magnesium Oxide* (MgO)

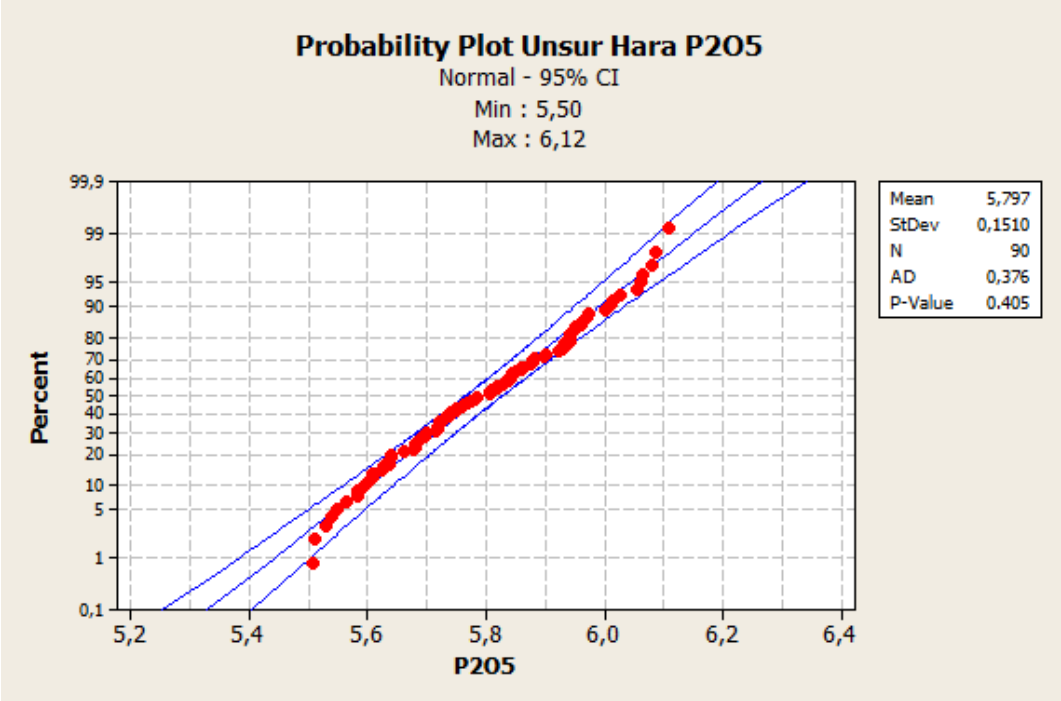
4.2.1. Analisa Stabilitas dan Kapabilitas Proses

Proses yang stabil dapat dilihat dari tingkat respon semua parameter yang digunakan dalam mengukur variasi proses. Dimana nilai variasi yang dihasilkan adalah konstan. Untuk membantu proses pengamatan kestabilan proses ini digunakan alat bantu statistik yaitu diagram kontrol (*control chart)*. Diagram kontrol (*control chart)* berfungsi untuk mengidentifikasi apakah sebuah proses berada dalam keadaan terkontrol atau tidak. Apabila semua proses telah masuk dalam batasan, maka proses dinyatakan stabil.

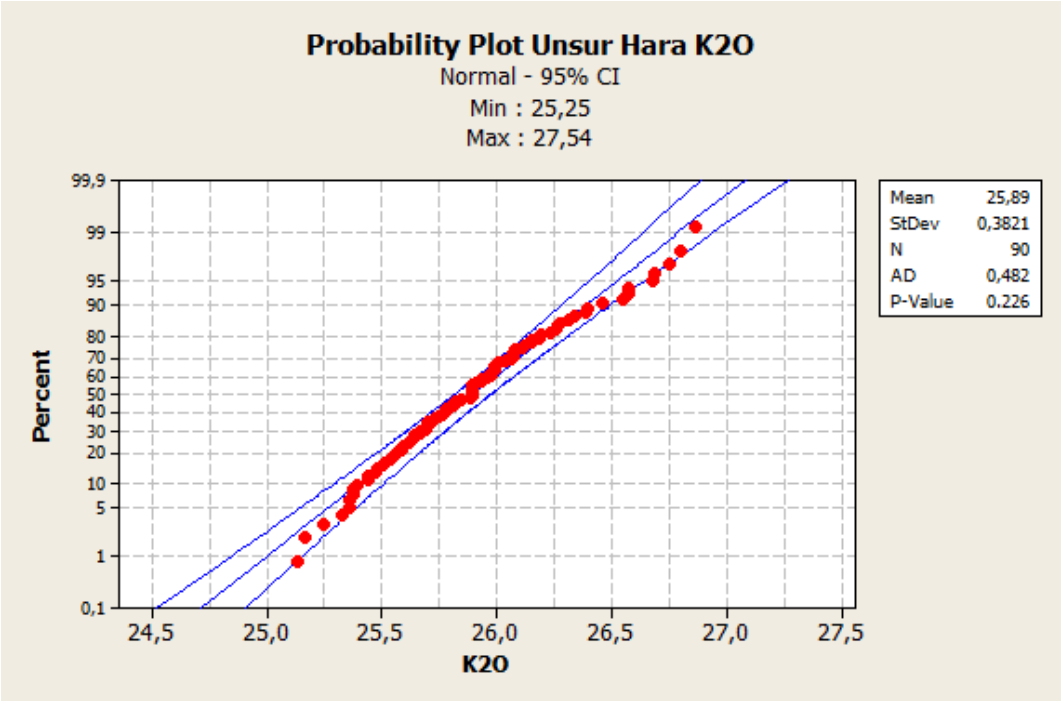
Pada tahapan awal, terlebih dahulu akan dilakukan uji normalitas data. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah data terdistribusi normal atau tidak. Data unsur hara yang digunakan dalam uji normalitas ini dapat dilihat pada lembar lampiran. Gambar 4.1 – 4.5 di bawah ini akan menunjukkan hasil uji normalitas data masing-masing unsur hara.



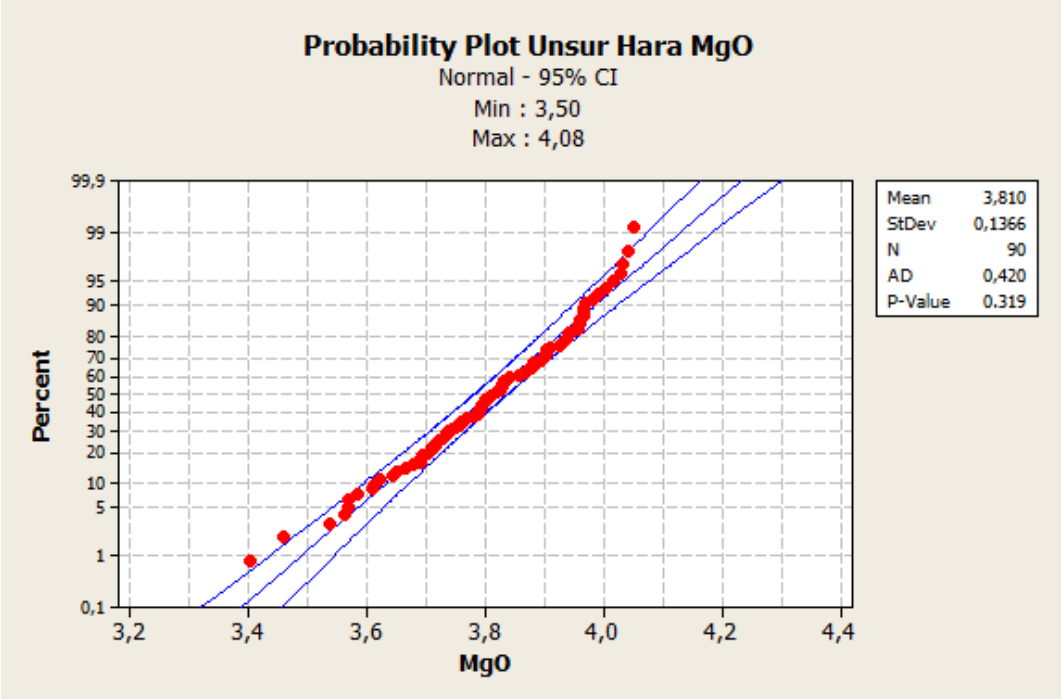
Gambar 4.1 Grafik dan uji normalitas unsur hara N



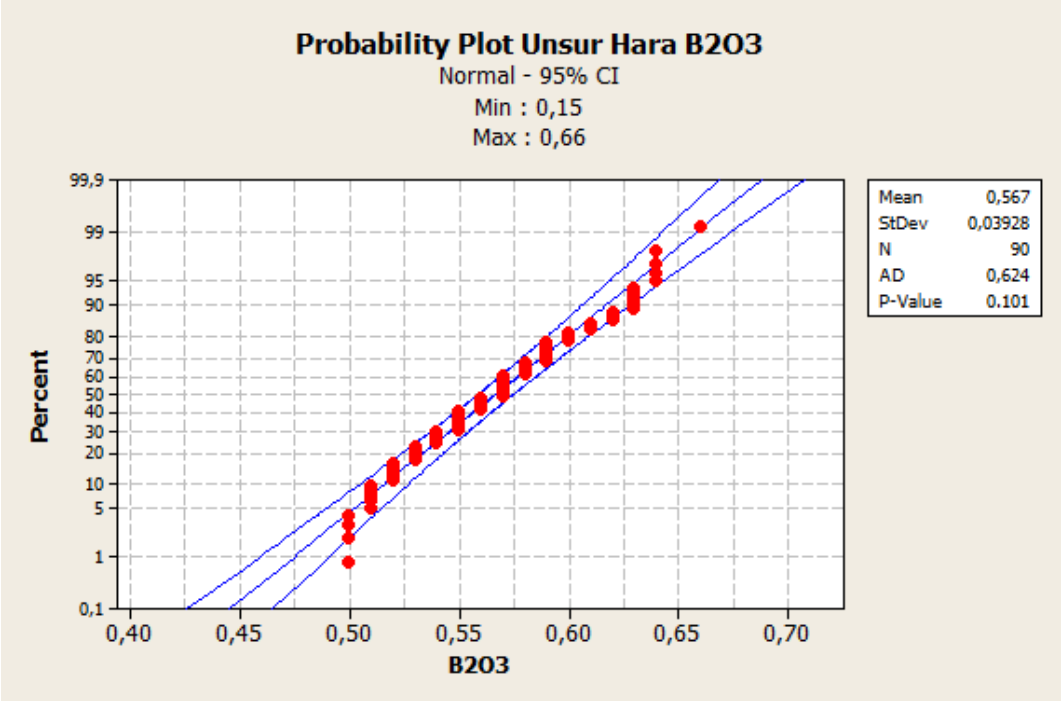
Gambar 4.2 Grafik dan uji normalitas unsur hara P_2O_5



Gambar 4.3 Grafik dan uji normalitas unsur hara K_2O



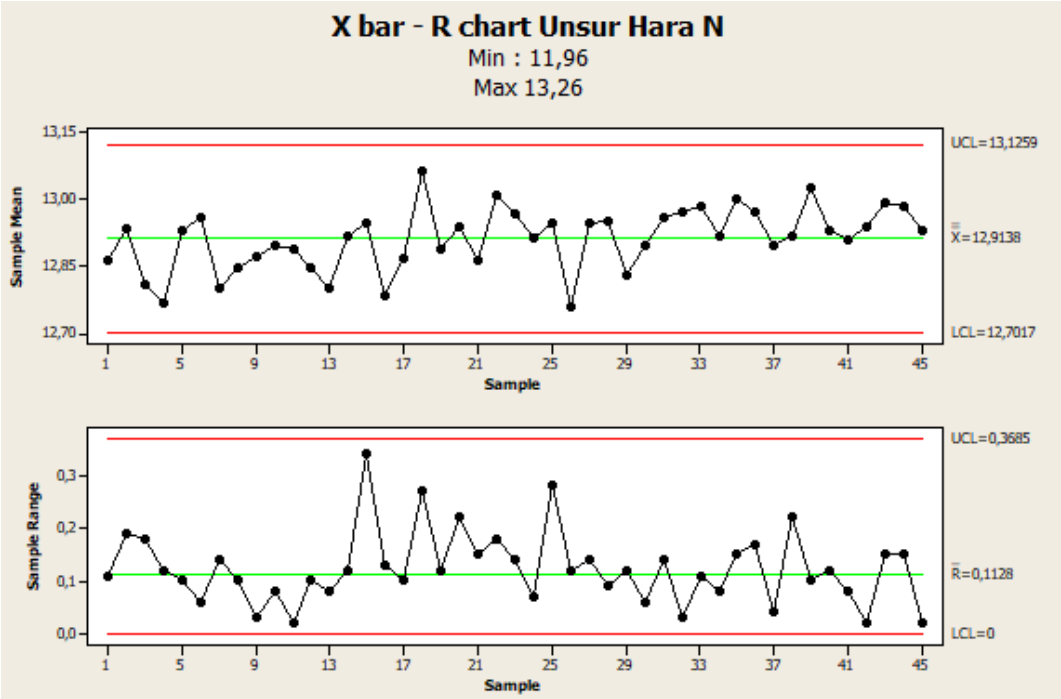
Gambar 4.4 Grafik dan uji normalitas unsur hara MgO



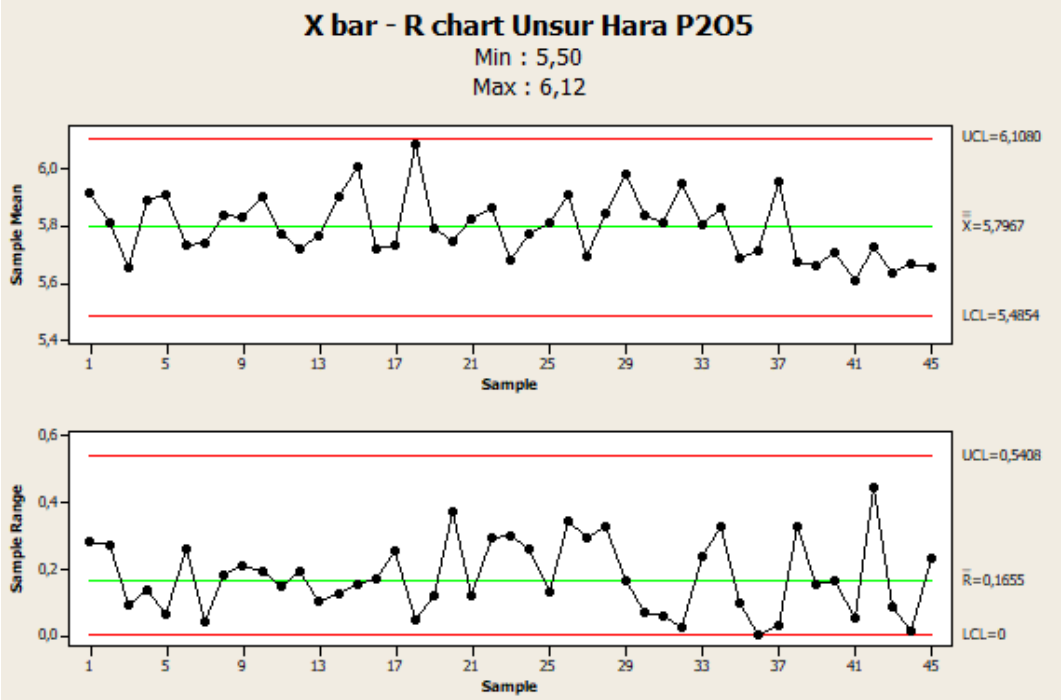
Gambar 4.5 Grafik dan uji normalitas unsur hara B_2O_3

Berdasarkan hasil uji normalitas data diatas, unsur hara N memiliki *P-Value 0,335*; unsur hara P_2O_5 memiliki *P-Value 0,405*; unsur hara K_2O memiliki *P-Value 0,226*; unsur hara MgO memiliki *P-Value 0,319* dan unsur hara B2O3 memiliki *P-Value 0,101*. Dapat kita cermati bahwa semua data diatas mempunyai nilai lebih besar jika dibandingkan dengan *error tolerance (α=0,05*). Jadi dapat diambil kesimpulan bahwa semua data diatas terdistribusi normal. Artinya data tersebut memiliki sebaran yang merata dan dapat mewakili populasi masing-masing unsur hara dalam penelitian ini.

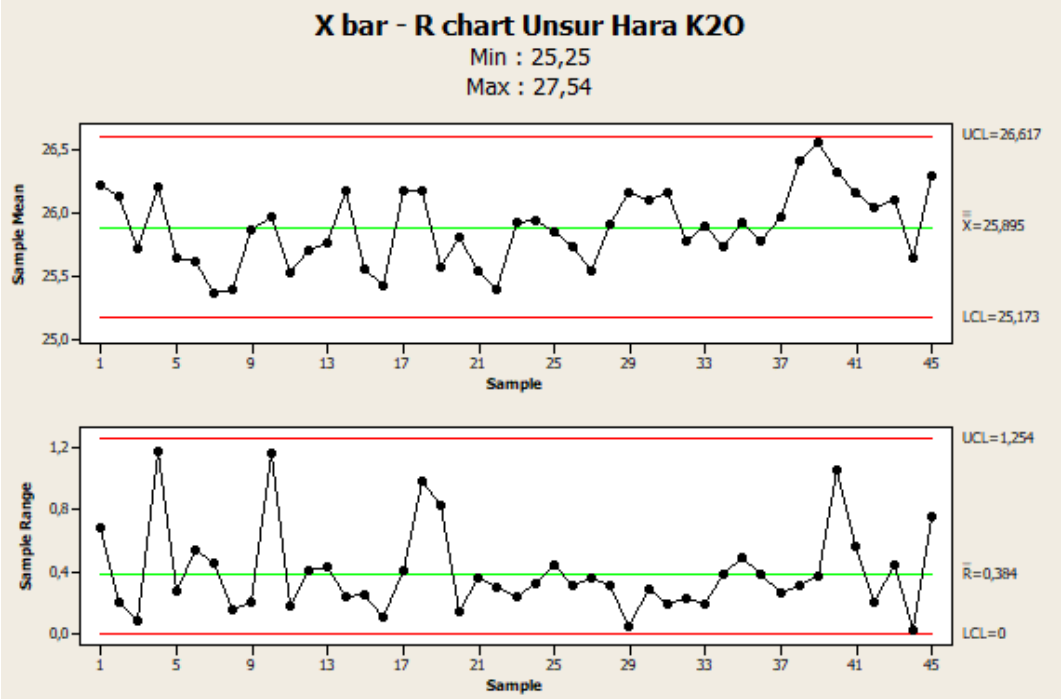
Setelah uji normalitas data selesai dilakukan, maka proses berikutnya adalah membuat diagram control (*control chart*) yang bertujuan untuk menganalisis kondisi proses apakah berada dalam keadaan yang terkontrol. Pengujian ini menggunakan diagram kontrol X bar – R chart dengan bantuan *software* Minitab 16. Gambar 4.6 – 4.10 berikut ini akan menunjukkan hasil pengujian stabilitas masing-masing unsur hara dengan menggunakan diagram kontrol X bar – R chart.



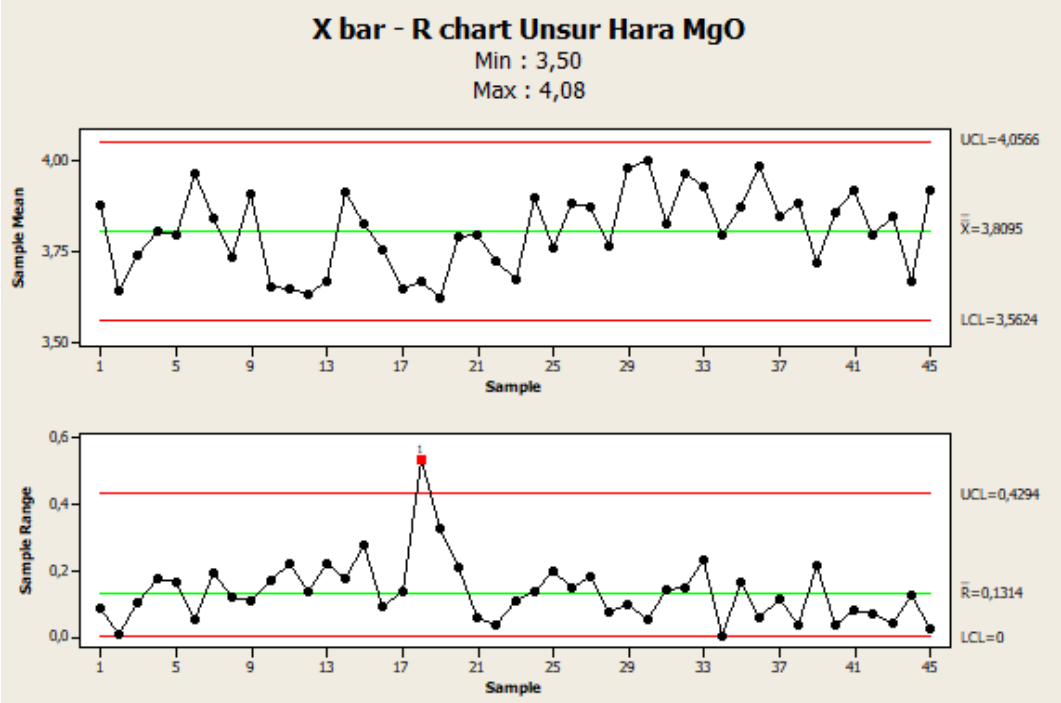
Gambar 4.6 Hasil pengujian kondisi proses unsur hara N



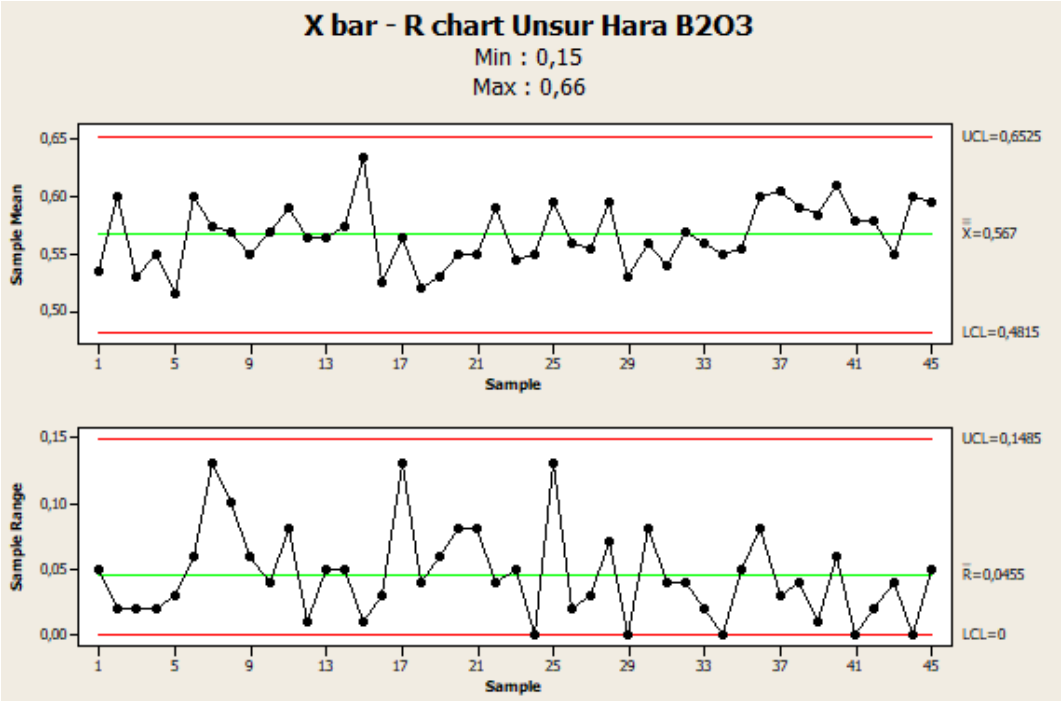
Gambar 4.7 Hasil pengujian kondisi proses unsur hara P_2O_5



Gambar 4.8 Hasil pengujian kondisi proses unsur hara K_2O



Gambar 4.9 Hasil pengujian kondisi proses unsur hara MgO

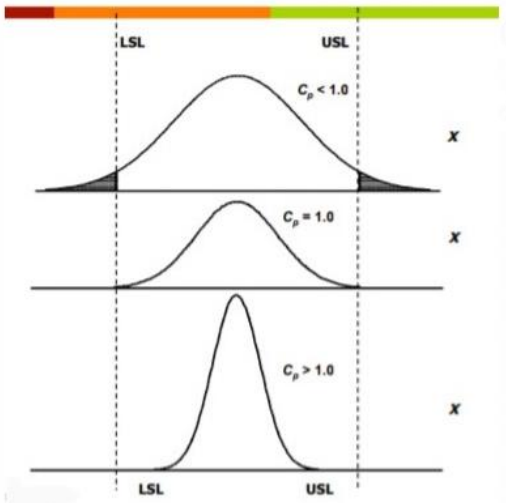


Gambar 4.10 Hasil pengujian kondisi proses unsur hara B_2O_3

Dari hasil pengujian diatas, dapat diambil kesimpulan bahwasannya kondisi proses masih terkendali secara statistik. Perlu diingat bahwa dalam penelitian ini kondisi kritis proses adalah apabila ditemukan titik (*point*) yang menyentuh garis *Lower Control Limit* (*LCL*). Kondisi tersebut menunjukkan belum tercukupinya kandungan unsur hara (*outspec*).

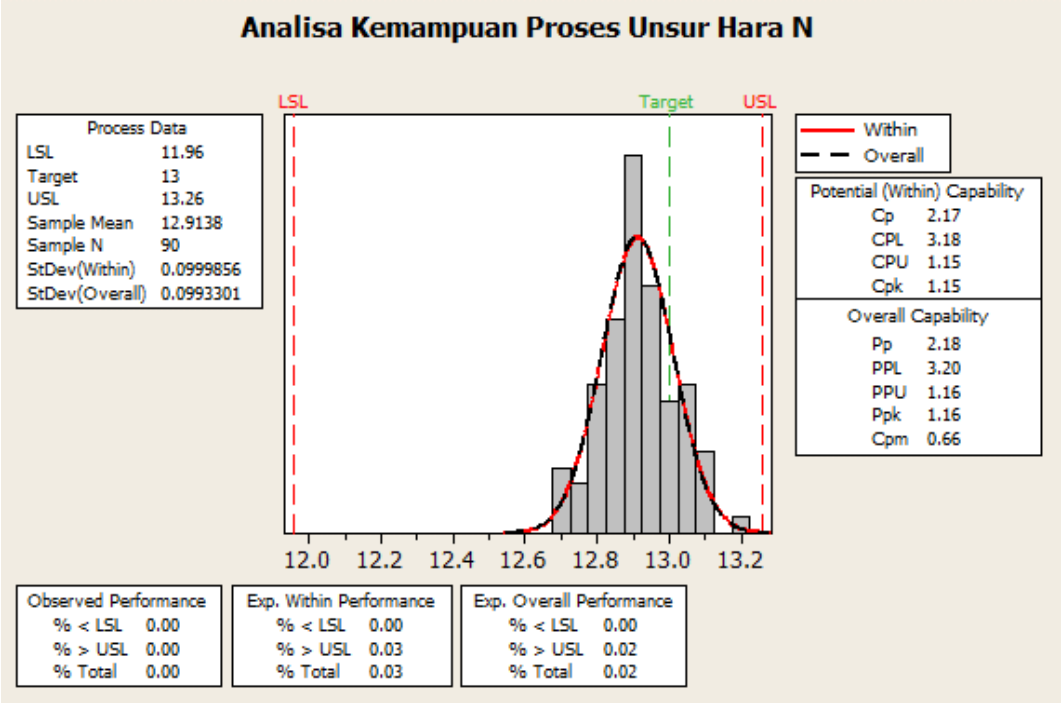
Tahap selanjutnya adalah melakukan uji kemampuan proses (*Process Capability Analysis*). Kapabilitas proses adalah kemampuan suatu proses untuk menghasilkan produk atau jasa yang sesuai dengan kebutuhan konsumen atau spesifikasi yang diharapkan. Apabila suatu proses mempunyai nilai Cp ≥ 1, maka proses dapat diterima atau proses memiliki kapabilitas yang baik. Namun jika nilai Cp < 1, maka proses dianggap belum mampu (*not capable*) memenuhi kebutuhan konsumen.

Grafik analisa kemampuan proses (*Cp*) secara statistik ditunjukkan dalam gambar 4.11 di bawah ini

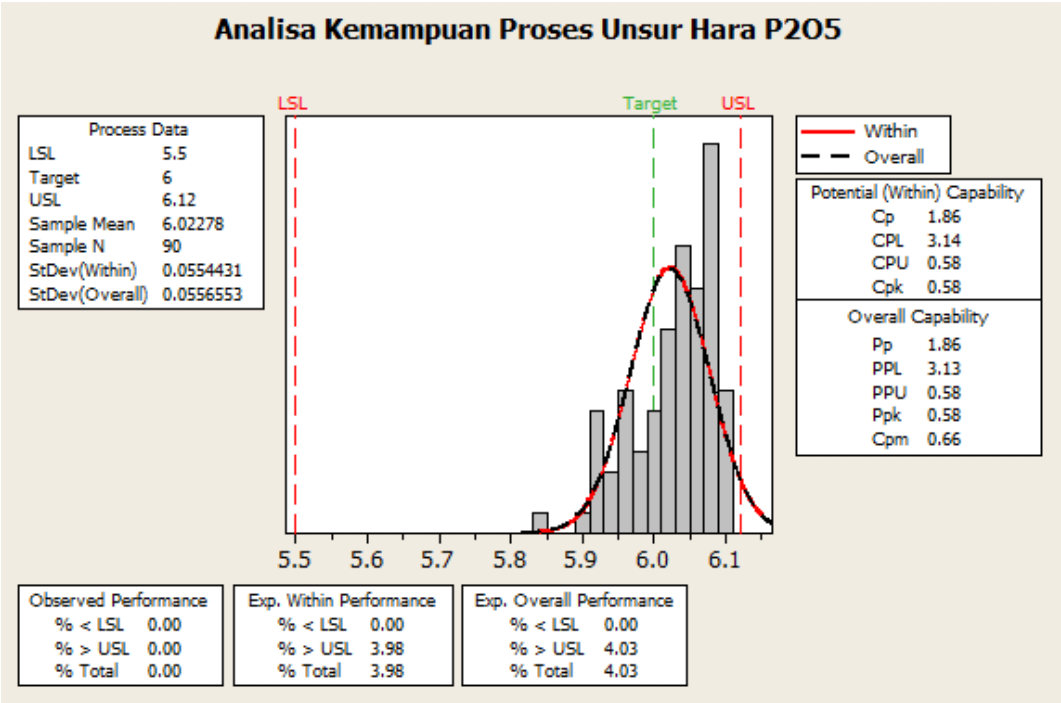


Gambar 4.11 Grafik analisa kemampuan proses (*Cp*) secara statistik

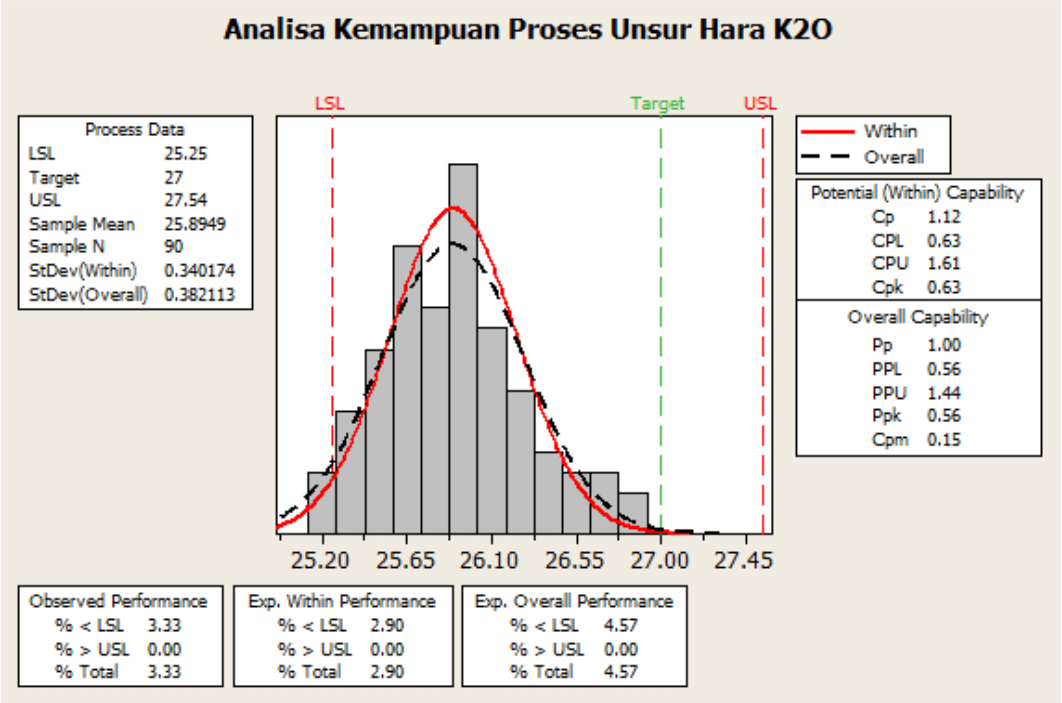
Berikut adalah hasil analisa kemampuan proses (*process capability analysis*) yang diuji dengan bantuan tools statistik *Minitab* untuk masing-masing kandungan unsur hara (*nutrients*) ditunjukkan dalam gambar 4.12 – 4.16.



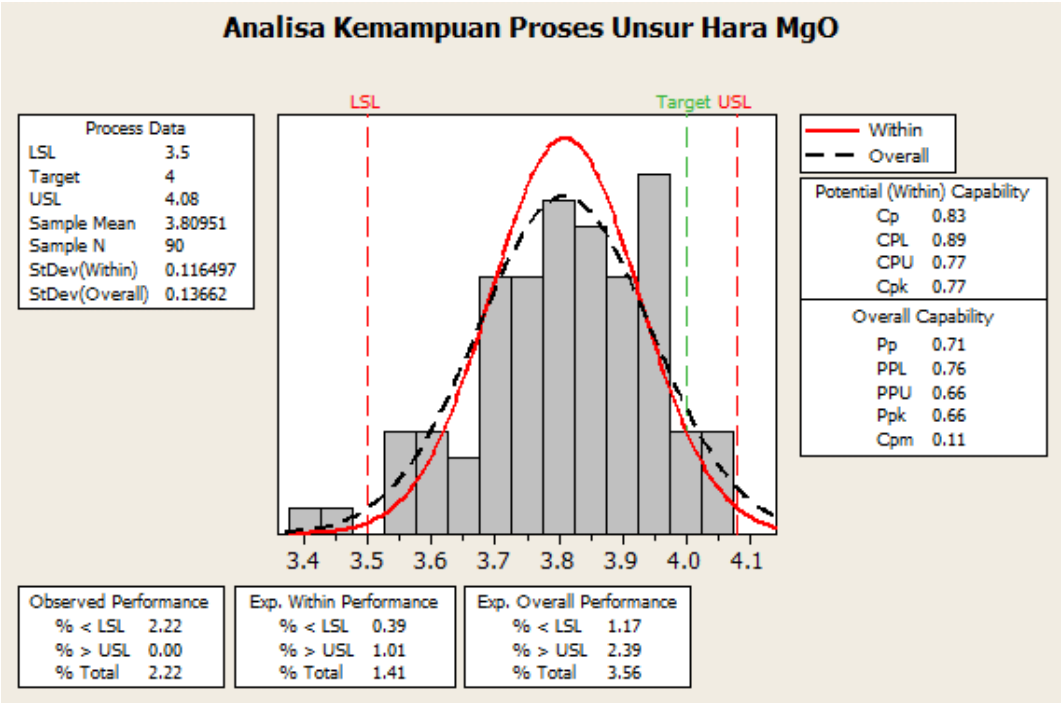
Gambar 4.12 Analisa kemampuan proses unsur hara N



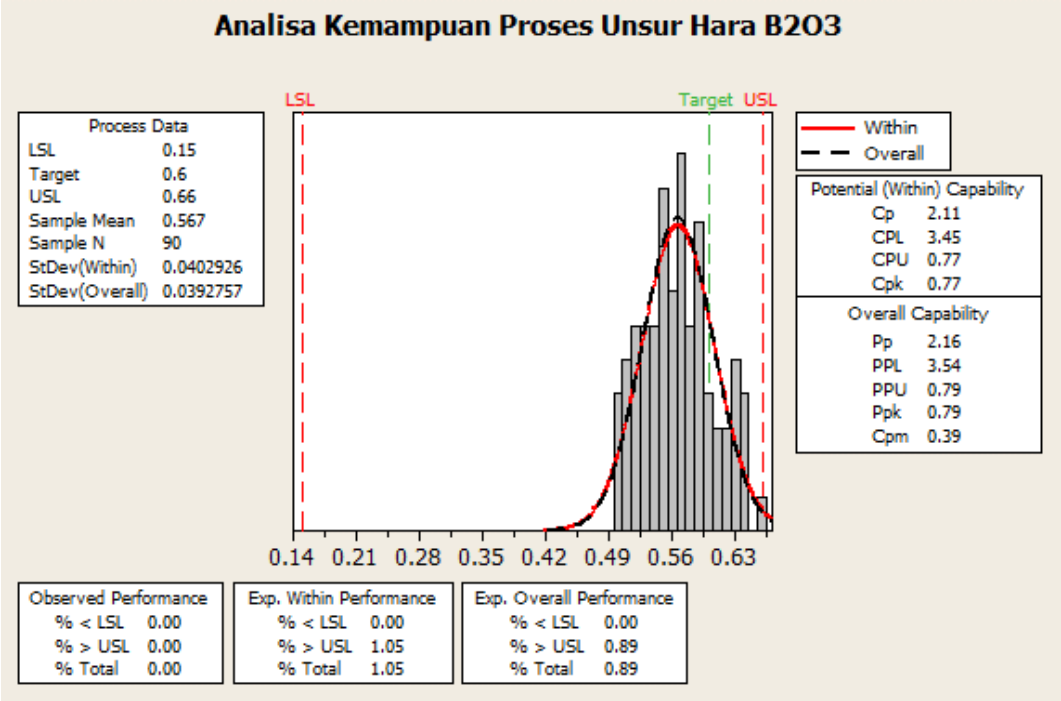
Gambar 4.13 Analisa kemampuan proses unsur hara P_2O_5



Gambar 4.14 Analisa kemampuan proses unsur hara K_2O



Gambar 4.15 Analisa kemampuan proses unsur hara MgO



Gambar 4.16 Analisa kemampuan proses unsur hara B_2O_3

Dari serangkaian analisa kemampuan proses yang telah dilakukan diatas, didapatkan kondisi unsur hara P_20_5, K_2O, MgO dan B_2O_3 belum mampu memenuhi spesifikasi mutu produk. Hal ini ditandai dengan nilai Cpk < 1. Akibat yang ditimbulkan adalah banyaknya komplain pelanggan terhadap kualitas produk pupuk yang dihasilkan. Sedangkan unsur hara N kapabilitas proses nya sudah cukup baik, ditandai dengan nilai *Cpk* 1,15.

Oleh karena itu diperlukan suatu *treatment* terhadap kondisi proses yang sedang berlangsung saat ini agar variansi produk dapat ditekan semaksimal mungkin serta mampu menciptakan kondisi proses yang *robust*.

4.2.2. Penentuan Faktor Yang Berpengaruh

Pada tahapan ini dilakukan proses identifikasi terhadap faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses terutama terkait kecukupan kandungan unsur hara (*nutrient*) dan kondisi fisik produk. Penentuan faktor-faktor yang berpengaruh ini berpedoman pada regulasi *United Nations Industrial*

Development Organization (UNIDO) dan *International Fertilizer Development Center* (IFDC) terutama berkaitan dengan *Compound Fertilizer* seperti yang ditunjukkan dalam tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.1 Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses

No	Nama Variabel
1	Raw material intake
2	Water usage
3	Gas usage
4	Granulator material temperature
5	Dryer material temperature
6	Cooler material temperature
7	Finish product temperature
8	Process environment temperature

Karena metode yang digunakan untuk proses granulasi akan berdampak pada desain, operasi peralatan maupun faktor-faktor pendukungnya. Oleh karena itu, pemahaman serta pengetahuan yang baik terkait mekanisme utama pembentukan granula sangat penting dalam menentukan fitur desain dari proses granulasi.

4.2.3. Penentuan Setting Level Faktor

Penentuan nilai setting level faktor pada penelitian ini didasarkan pada data proses produksi. Namun dilakukan beberapa penyesuaian dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih optimum baik proses maupun produk yang dihasilkan. Nilai setting level parameter untuk faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses ditunjukkan dalam tabel 4.2 di bawah ini:

Tabel 4.2. Kombinasi parameter proses dan level

Faktor	Deskripsi	Unit	Level 1	Level 2	Level 3
A	Raw material intake	mt/hr	25	26	27
B	Water usage	m^3/hr	900	1000	1100
C	Gas usage	MBTU	90	100	110
D	Granulator material temperature	^oC	34	35	36
E	Dryer material temperature	^oC	50	51	52
F	Cooler material temperature	^oC	42	43	44
G	Finish product temperature	^oC	38	39	40
H	Process environment temperature	^oC	27	29	31

Hal-hal yang mendasari pemilihan kombinasi parameter proses dan level diatas adalah:

1. Faktor A (*raw material intake*)

Mengacu pada total kapasitas produksi yaitu 25 MT/hari, maka raw material intake 25 MT dipilih sebagai level 1. Hal ini berdasar asumsi bahwa tidak ada kandungan unsur hara yang hilang (*losses*) di dalam sistem ketika proses produksi berlangsung. Atau dengan kata lain proses berjalan normal dan tidak ada *breakdown* yang diakibatkan kerusakan mesin maupun faktor yang lain.

Level 2 (26 MT/hr) dipilih dengan pertimbangan bahwa tidak selamanya proses produksi akan berjalan normal atau lancar. Jadi harus ada bahan baku yang ditambahkan ke dalam sistem guna menanggulangi adanya susut (*losses*) selama proses produksi berlangsung.

Pertimbangan pemilihan level 3 (27 MT/hr) ini sebenarnya sama dengan level 2. Perbedaan di level 3 ini kita menanggulangi *losses* di sistem akibat banyaknya produk *recycle* yang dihasilkan. Walaupun pada nantinya produk *recycle* akan diproduksi kembali bersama bahan baku yang baru. Dengan adanya tambahan bahan baku ini diharapkan akan membantu proses granulasi produk *recycle* sehingga output produk jadi tetap stabil.

2. Faktor B (*Water Usage*)

Untuk diketahui bersama bahwa air merupakan salah satu komponen *fix cost* dalam industri pupuk NPK. Khususnya pada industri pupuk NPK berbasis aglomerasi, air berfungsi sebagai media perekat antar partikel bahan baku saat proses granulasi berlangsung di dalam granulator. Konsumsi pemakaian air harus benar-benar cermat agar bahan baku yang sedang dalam proses granulasi tidak terlalu lembab akibat konsumsi air berlebih. Oleh karena itu untuk faktor *water usage* level 1 ini digunakan setting pemakaian air 900 m^3/jam.

Pada faktor *water usage* level 2 (1000 m^3/jam) ini konsumsi air ditingkatkan dengan tujuan untuk membantu proses granulasi Ketika banyak produk recycle di dalam proses.

Level 3 (1100 m^3/jam) ini sangat berguna ketika kondisi lingkungan dalam keadaan yang cerah. Hal ini menyebabkan beberapa bahan baku mejadi berkurang kadar airnya. Dengan penambahan air ini diharapkan ketika masuk ke dalam sistem kadar air bahan baku dapat menjadi normal kembali dan proses granulasi dapat berjalan optimal. Karena sifat produk yang dihasilkan dengan metode aglomerasi cenderung memiliki tingkat kekerasan (*crushing strength*) yang lebih rendah dibanding menggunakan proses akresi yaitu berkisar antara 2-3 kgf. Disamping itu produk pupuk NPK dengan menggunakan metode aglomerasi memiliki kadar air yang lebih tinggi jika dibandingkan menggunakan metode akresi (UNIDO / IFDC Fertilizer Manual).

3. Faktor C (*Gas Usage*)

Selain air, gas juga menjadi komponen *fix cost* dalam industri pupuk NPK. Gas berperan sebagai bahan bakar burner dimana udara panas yang dihasilkan oleh burner akan dihembuskan ke dalam dryer guna proses pengeringan produk. Level 1 (90 MMBtu) dipilih dengan tujuan untuk melihat sampai sejauh mana efektivitas pengeringan dengan cara menekan konsumsi gas dalam proses.

Di level 2 (100 MMBtu) penggunaan gas dinaikkan dengan tujuan untuk mengamati kondisi fisik granula akibat panas berlebih dari burner. Apakah kondisi fisik granula masih konsisten dan kadar air produk dapat dikurangi.

Terjadi kenaikan kembali konsumsi gas di level 3 (110 MMBtu) ini yang pastinya akan berdampak pada meningkatnya energi panas yang dihasilkan oleh burner. Di level ini akan diamati seberapa besar efek panas yang dihasilkan oleh burner terhadap produk. Karena panas yang tinggi akan berpotensi menurunkan kadar beberapa komponen unsur hara terutama Nitrogen.

4. Faktor D (*Granulator Material Temperature*)

Faktor suhu material pada granulator umumnya sangat dipengaruhi oleh asupan air saat proses granulasi terjadi. Biasanya suhu material bahan baku yang masuk ke dalam sistem berkisar antara 29-30°C. Pada suhu 34°C ini diharapkan kondisi bahan baku sudah cukup basah sehingga proses granulasi dapat berjalan optimal.

Di level 2 (35°C) ini akan coba diamati apakah bahan baku yang masuk kedalam sistem ditambah dengan produk *recycle* dan konsumsi air yang ditingkatkan tetap dapat mengoptimalkan proses granulasi di dalam granulator.

Pada level 3 (36°C) ini tetap akan diamati apakah memberi pengaruh signifikan terhadap kecepatan perekatan partikel bahan baku di dalam granulator.

5. Faktor E (*Dryer Material Temperature*)

Panas dari burner diharapkan mampu mengurangi kadar air hasil proses dari granulator. Di level 1 (50°C) ini akan diamati hingga sejauh mana kondisi produk yang dihasilkan ketika suhu material dryer berada pada 50°C.

Semakin tinggi suhu udara pengering pada level 2 ini (51°C) maka semakin cepat pula proses pengeringan berlangsung. Dengan kata lain semakain banyak cairan yang diuapkan dari permukaan bahan yang dikeringkan.

Diharapkan di level ini (52°C) efektivitas proses pengeringan dapat semakin ditingkatkan. Namun perlu diingat bahwa proses pengeringan yang terlalu cepat justru dapat merusak material. Di industri pupuk NPK, panas

berlebih ini akan berpengaruh pada sisi estetika produk. Bentuk fisik granula menjadi gepeng atau pipih dan tidak bundar.

6. Faktor F (*Cooler Material Temperature*)

Setelah proses pengeringan di *rotary dryer drum* pupuk masih memiliki suhu yang tinggi sehingga harus didinginkan dengan tujuan untuk mencegah terjadinya penggumpalan (*caking*). Di level 1 (42°C) ini akan diamati pengaruh proses pendinginan terhadap produk di dalam *rotary drum cooler*.

Di level ini (43°C) diharapkan tingkat kekerasan granula dapat ditingkatkan. Dan di level terakhir (44°C) ini diharapkan tingkat kekerasan produk dapat lebih ditingkatkan kembali dari 2-3 kgf menjadi 3-4 kgf. Namun di lain sisi, proses penyimpanan di *bulk storage* akan menjadi lebih lama karena proses *packing* mensyaratkan suhu produk harus berada pada suhu kamar. Dengan tujuan agar produk tidak menggumpal (*caking*) ketika sampai di tangan *customer* yang nantinya justru akan menimbulkan komplain.

7. Faktor G (*Finish Product Temperature*)

Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa suhu produk jadi akan mempengaruhi lama proses penyimpanan di dalam *bulk storage*. Dengan suhu produk jadi di kisaran 38°C, produk tidak terlalu lama tersimpan dalam *bulk storage*. Hal ini untuk menyiasati ketika produk *urgent* untuk dikemas (*packing*) atau produk sudah ditunggu kapal untuk proses *loading*.

Sedangkan pada kondisi level 2 (39°C), produk butuh waktu yang lebih lama saat disimpan dalam *bulk storage*. Sisi positifnya, produk menjadi lebih stabil baik dari sisi suhu pada saat proses *packing* maupun keseragaman partikelnya.

Pilihan terakhir ini (level 3, 40°C) dapat digunakan sebagai alternatif saat kargo tidak *urgent* untuk di*packing*. Karena waktu simpan di bulk storage dapat dimaksimalkan. Sehingga produk sudah benar-benar dingin. Namun pada sisi lain kondisi lingkungan juga mesti diperhatikan antara lain dengan menutup pintu ruangan *bulk storage* agar tidak terjadi kontak dengan udara luar yang dapat mengakibatkan produk menjadi lembab.

8. Faktor H (*Process Environment Temperature*)

Penelitian pada level 1 (27°C) ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh kondisi lingkungan terhadap proses. Kondisi lingkungan pada saat penelitian dilakukan adalah ketika musim penghujan. Dimana lingkungan sekitar proses cenderung dingin, basah dan lembab karena curah hujan yang tinggi. Secara langsung maupun tidak langsung kondisi ini membawa pengaruh yang signifikan terhadap proses produksi terutama granulasi.

Suhu lingkungan proses pada level 2 ini (29°C) ini adalah berawan dengan sedikit sinar matahari. Sama seperti pada level 1 (27°C), pada level 2 ini juga akan diamati pengaruh lingkungan sekitar proses terhadap kondisi proses dan produk yang dihasilkan. Secara teoritis, kondisi lingkungan pada level 2 ini lebih baik dibanding level 1 karena kelembaban juga jauh berkurang. Dengan kata lain lingkungan sekitar proses lebih kering dibandingkan pada level 1.

Terakhir akan dilakukan pengamatan pada kondisi lingkungan level 3 (31°C). Kondisi lingkungan proses pada level 3 ini cenderung cerah, tidak berawan apalagi hujan. Sehingga kondisi lingkungan sekitar proses sangat kondusif dan menunjang proses produksi.

4.3. Perancangan Orthonal Array

Pada penelitian ini, data yang dipergunakan terdiri dari delapan variabel proses. Kedelapan variabel tersebut digunakan sebagai faktor utama (A, B, C, D, E, F, G dan H) dimana masing-masing variabel terdiri dari tiga level faktor. Dari faktor-faktor tersebut didapatkan total derajat bebas sebanyak 16. Dengan bantuan tools statistik *Minitab*, maka jenis *Orthogonal Array* (OA) yang digunakan adalah $L_{27}(3^8)$. Komposisi Orthogonal Array faktor dan respon dalam penelitian ini akan dijelaskan dalam tabel 4.3

Tabel 4.3. *Orthogonal Array* faktor dan respon

No. Eksperimen	FACTORS								RESPONSES					
	A	B	C	D	E	F	G	H	N	P_2O_5	K_2O	MgO	B_2O_3	Physical
1	25	900	90	34	50	42	38	27	12,50	5,85	25,78	3,63	0,55	3,56
2	25	900	90	34	51	43	39	29	12,20	6,03	25,85	3,68	0,55	3,45
3	25	900	90	34	52	44	40	31	12,20	5,81	25,85	3,76	0,53	3,35
4	25	1000	100	35	50	42	38	29	12,40	6,04	25,65	3,81	0,55	3,36
5	25	1000	100	35	51	43	39	31	12,34	6,12	26,05	3,73	0,53	3,47
6	25	1000	100	35	52	44	40	27	12,41	5,95	25,71	3,76	0,60	3,44
7	25	1100	110	36	50	42	38	31	12,40	5,76	25,94	3,71	0,57	3,61
8	25	1100	110	36	51	43	39	27	12,38	5,96	26,05	3,76	0,67	3,46
9	25	1100	110	36	52	44	40	29	12,30	6,01	26,37	3,72	0,60	3,32
10	26	900	100	36	50	43	40	27	12,34	5,83	26,05	3,76	0,52	3,40
11	26	900	100	36	51	44	38	29	12,41	6,06	26,08	3,79	0,55	3,52
12	26	900	100	36	52	42	39	31	12,52	5,91	26,26	3,77	0,54	3,50
13	26	1000	110	34	50	43	40	29	12,28	5,93	25,87	3,74	0,56	3,44
14	26	1000	110	34	51	44	38	31	12,55	5,83	25,90	3,73	0,53	3,51
15	26	1000	110	34	52	42	39	27	12,36	5,94	26,26	3,82	0,53	3,38
16	26	1100	90	35	50	43	40	31	12,02	5,98	26,20	3,88	0,58	3,49
17	26	1100	90	35	51	44	38	27	12,33	6,23	26,23	3,77	0,60	3,58
18	26	1100	90	35	52	42	39	29	12,42	5,92	26,37	3,79	0,58	3,43
19	27	900	110	35	50	44	39	27	12,27	5,96	26,20	3,83	0,57	3,36
20	27	900	110	35	51	42	40	29	12,37	5,83	26,15	3,71	0,57	3,40
21	27	900	110	35	52	43	38	31	12,49	6,22	26,28	3,84	0,56	3,49
22	27	1000	90	36	50	44	39	29	12,61	6,10	25,88	3,79	0,53	3,42
23	27	1000	90	36	51	42	40	31	12,49	6,14	25,80	3,75	0,54	3,38

Lanjutan Tabel 4.3. Orthogonal Array $L_{27}(3^8)$

24	27	1000	90	36	52	43	38	27	12,24	6,36	25,91	3,70	0,53	3,42
25	27	1100	100	34	50	44	39	31	12,29	6,19	26,35	3,81	0,59	3,45
26	27	1100	100	34	51	42	40	27	12,25	6,20	26,68	3,84	0,57	3,45
27	27	1100	100	34	52	43	38	29	12,47	6,44	26,04	3,73	0,53	3,47

Dimana,

A = Raw material intake, MT/hr

B = Water usage, m^3/hr

C = Gas usage, MBTU

D = Granulator material temperature

E = Dryer material temperature

F = Cooler material temperature

G = Finish product temperature

H = Process environment temperature

Berikut ini adalah hasil perhitungan respon Taguchi eksperimen dengan menggunakan software Minitab:

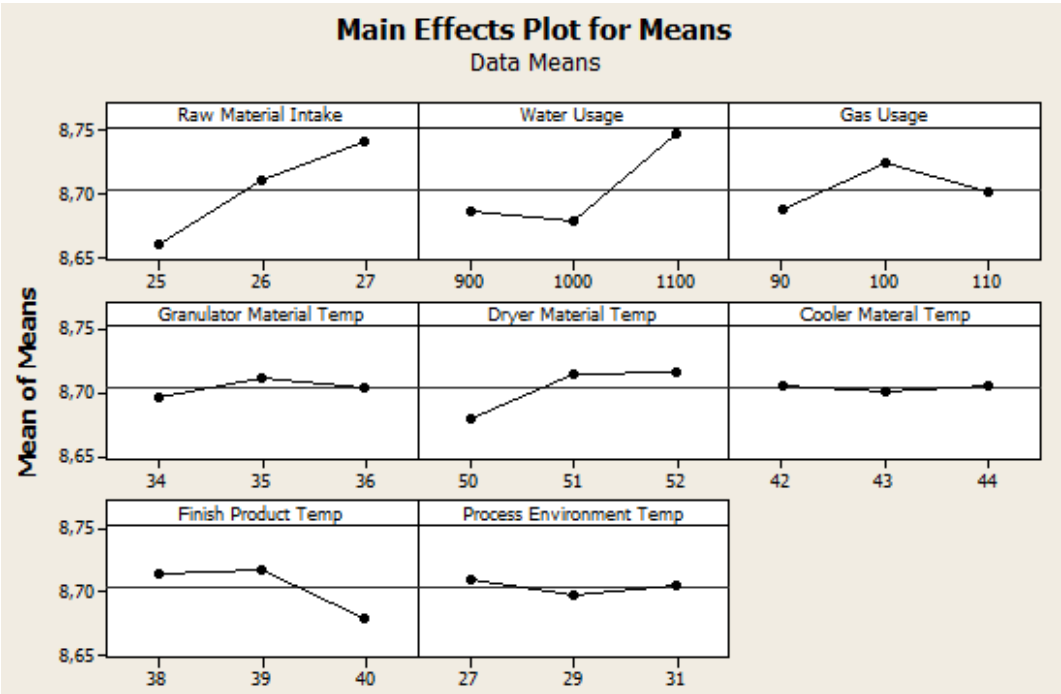
Taguchi Analysis: N; P2O5; ... versus Raw Material; Water Usage; ...

Tabel 4.4 Respon nilai rata-rata eksperimen Taguchi

Level	Raw Material Intake	Water Usage	Gas Usage	Granulator Material Temp	Dryer Material Temp	Cooler Materal Temp	Finish Product Temp
1	8,661	8,687	8,687	8,697	8,680	8,706	8,715
2	8,710	8,679	8,724	8,712	8,715	8,701	8,718
3	8,741	8,747	8,701	8,704	8,717	8,706	8,679
Delta	0,080	0,068	0,037	0,015	0,037	0,005	0,039
Rank	1	2	4	6	5	8	3

Level	Process Environment Temp
1	8,709
2	8,698
3	8,705
Delta	0,011
Rank	7

Dari tabel 4.4 diatas, dibuatlah grafik untuk mempermudah pengamatan pada faktor dan level mana yang menghasilkan nilai optimum seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.17. Plot nilai means ini merupakan hasil analisis metode DOE metode Taguchi dengan menggunakan software Minitab 16.



Gambar 4.17 Grafik main effect plot nilai rata-rata

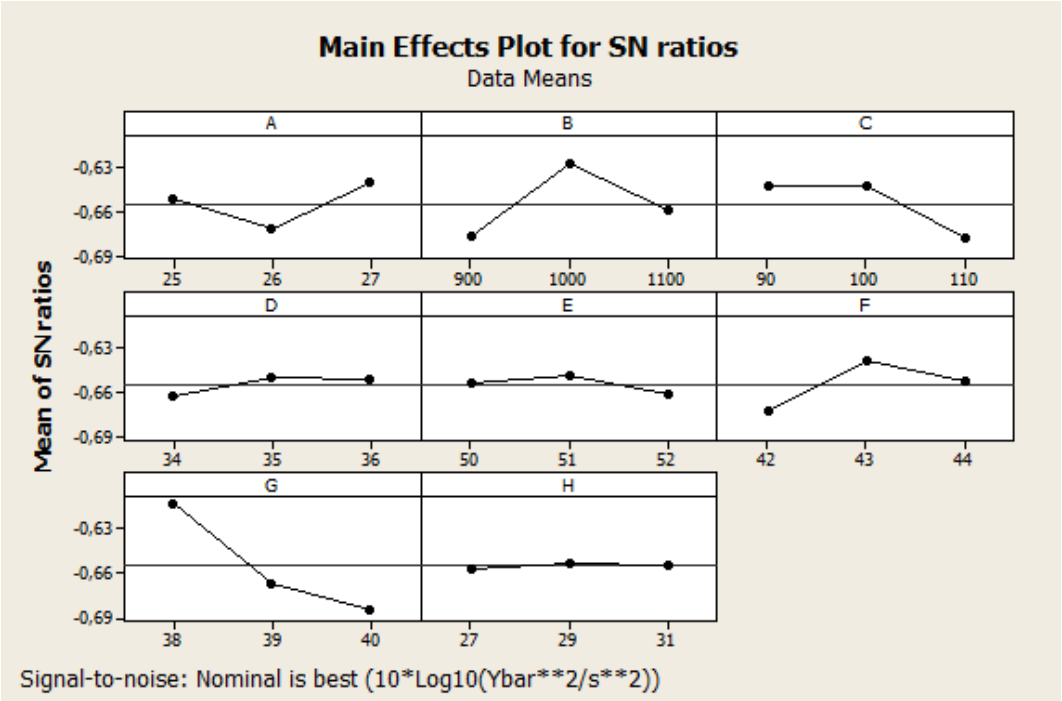
Dapat dilihat pada gambar hasil plot means yang menghasilkan nilai optimum ditunjukkan pada kombinasi faktor dan level A_3-B_3-C_2-D_2-E_3-F_1-G_2-H_1.

Taguchi Analysis: N; P2O5; K2O; MgO; B2O3; ... versus A; B; C; D; E; ...

Tabel 4.5 Signal to noise ratio (*Nominal is the best*)

Response Table for Signal to Noise Ratios
Nominal is best (10*Log10(Ybar**2/s**2))

Level	A	B	C	D	E	F	G	H
1	-0,6516	-0,6763	-0,6422	-0,6626	-0,6534	-0,6722	-0,6126	-0,6560
2	-0,6713	-0,6273	-0,6428	-0,6500	-0,6482	-0,6384	-0,6666	-0,6528
3	-0,6400	-0,6593	-0,6780	-0,6504	-0,6613	-0,6524	-0,6838	-0,6541
Delta	0,0313	0,0490	0,0358	0,0126	0,0131	0,0338	0,0712	0,0032
Rank	5	2	3	7	6	4	1	8



Gambar 4.18 Grafik main effect plot *Signal to noise ratio* (*Nominal is the best*)

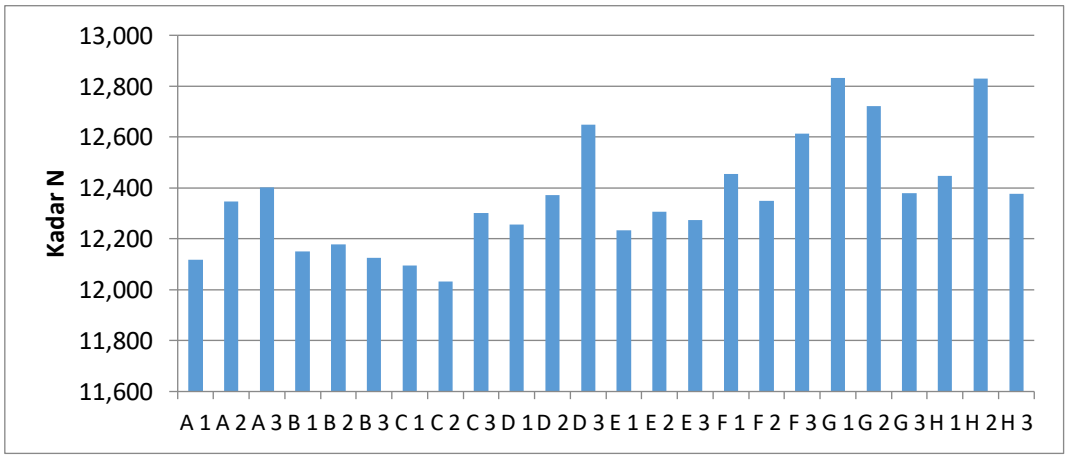
Dari hasil perhitungan *Signal to Noise Ratio* diatas dengan karakteristik *Nominal is the best* didapatkan faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap kondisi proses dan produk yaitu: A_3-B_2-C_1-D_2-E_2-F_2-G_1-H_2.

4.4. Perhitungan Nilai Rata-Rata Eksperimen

A. Unsur Hara N

Tabel 4.6 Faktor, level dan nilai rata-rata unsur hara N

Faktor*Level	Mean
A1	12,118
A2	12,346
A3	12,402
B1	12,151
B2	12,178
B3	12,125
C1	12,094
C2	12,032
C3	12,301
D1	12,257
D2	12,373
D3	12,650
E1	12,233
E2	12,306
E3	12,275
F1	12,455
F2	12,348
F3	12,613
G1	12,831
G2	12,721
G3	12,381
H1	12,447
H2	12,829
H3	12,376

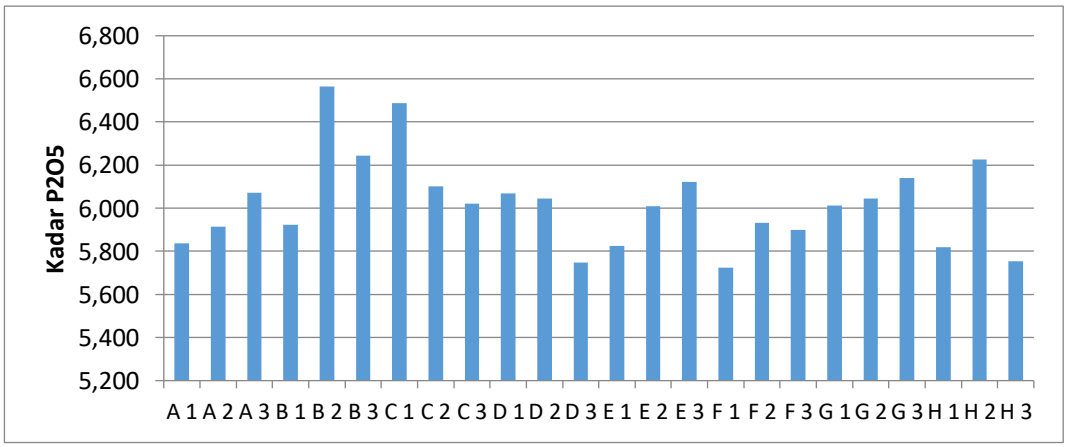


Gambar 4.19 Grafik nilai rata-rata (*mean*) unsur hara N

B. Unsur Hara P_2O_5

Tabel 4.7 Faktor, level dan nilai rata-rata unsur hara P_2O_5

Faktor*Level	Mean
A1	5,837
A2	5,914
A3	6,071
B1	5,924
B2	6,565
B3	6,245
C1	6,488
C2	6,103
C3	6,022
D1	6,070
D2	6,044
D3	5,748
E1	5,825
E2	6,009
E3	6,122
F1	5,723
F2	5,933
F3	5,900
G1	6,012
G2	6,045
G3	6,141
H1	5,821
H2	6,226
H3	5,755

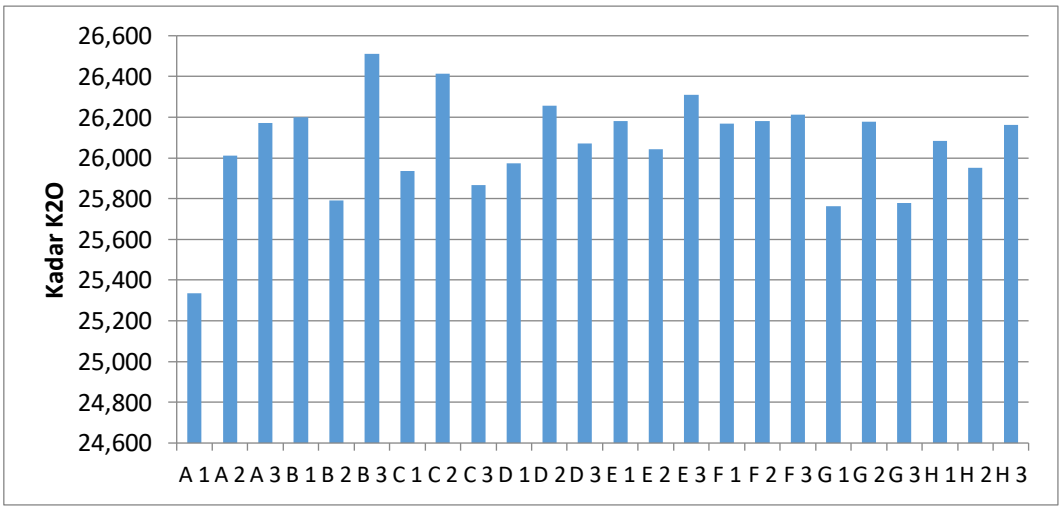


Gambar 4.20 Grafik nilai rata-rata (*mean*) unsur hara P_2O_5

C. Unsur Hara K_2O

Tabel 4.8 Faktor, level dan nilai rata-rata unsur hara K_2O

Faktor*Level	Mean
A1	25,336
A2	26,013
A3	26,173
B1	26,201
B2	25,791
B3	26,510
C1	25,935
C2	26,415
C3	25,868
D1	25,974
D2	26,257
D3	26,070
E1	26,182
E2	26,042
E3	26,311
F1	26,167
F2	26,182
F3	26,214
G1	25,762
G2	26,178
G3	25,777
H1	26,084
H2	25,950
H3	26,161

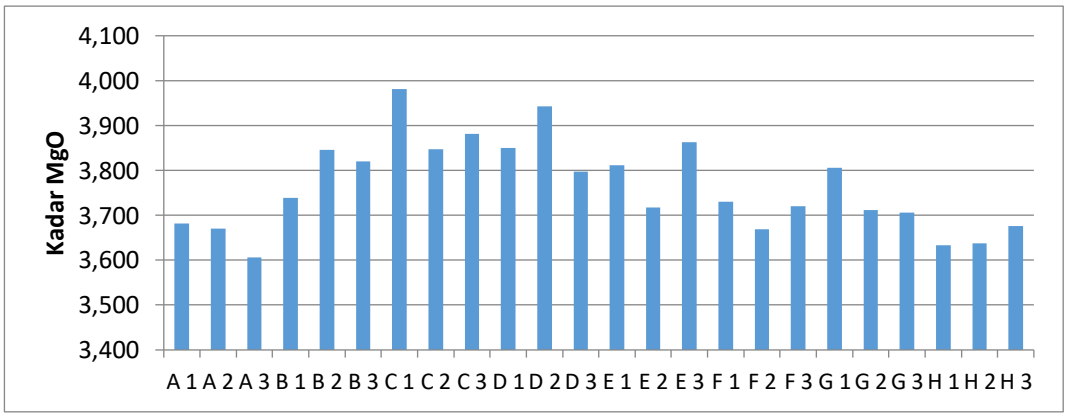


Gambar 4.21 Grafik nilai rata-rata (*mean*) unsur hara K_2O

D. Unsur Hara MgO

Tabel 4.9 Faktor, level dan nilai rata-rata unsur hara MgO

Faktor*Level	Mean
A1	3,682
A2	3,671
A3	3,606
B1	3,739
B2	3,846
B3	3,821
C1	3,982
C2	3,848
C3	3,882
D1	3,850
D2	3,943
D3	3,797
E1	3,812
E2	3,717
E3	3,863
F1	3,731
F2	3,669
F3	3,720
G1	3,806
G2	3,711
G3	3,707
H1	3,634
H2	3,637
H3	3,677

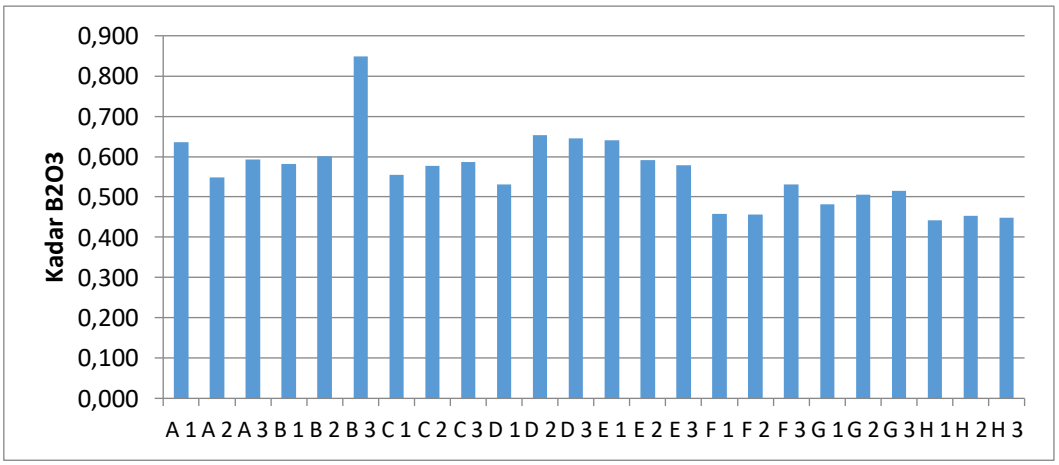


Gambar 4.22 Grafik nilai rata-rata (*mean*) unsur hara MgO

E. Unsur Hara B_2O_3

Tabel 4.10 Faktor, level dan nilai rata-rata unsur hara B_2O_3

Faktor*Level	Mean
A1	0,636
A2	0,549
A3	0,592
B1	0,581
B2	0,601
B3	0,848
C1	0,555
C2	0,577
C3	0,586
D1	0,531
D2	0,653
D3	0,646
E1	0,641
E2	0,592
E3	0,579
F1	0,458
F2	0,456
F3	0,531
G1	0,482
G2	0,505
G3	0,516
H1	0,441
H2	0,453
H3	0,449

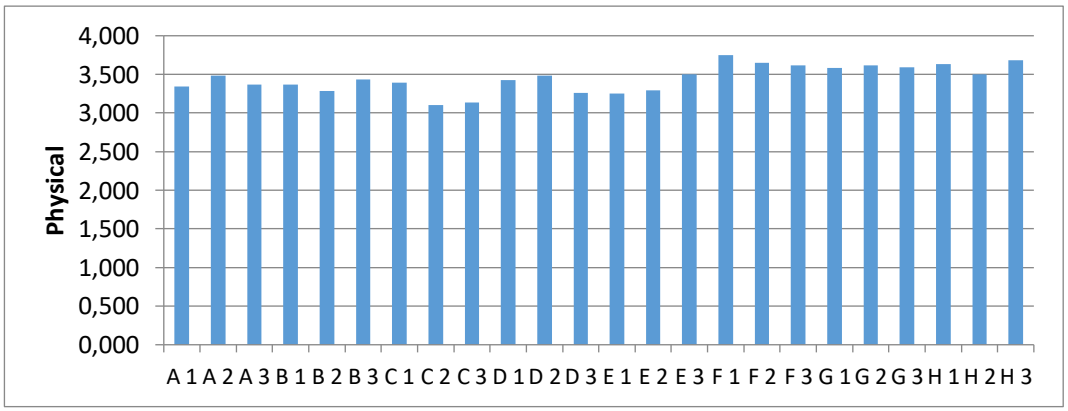


Gambar 4.23 Grafik nilai rata-rata (*mean*) unsur hara B_2O_3

F. Ukuran Fisik Granula

Tabel 4.11 Faktor, level dan nilai rata-rata ukuran fisik granula

Faktor*Level	Mean
A1	3,339
A2	3,487
A3	3,364
B1	3,370
B2	3,286
B3	3,437
C1	3,390
C2	3,103
C3	3,137
D1	3,424
D2	3,488
D3	3,259
E1	3,251
E2	3,296
E3	3,501
F1	3,752
F2	3,648
F3	3,616
G1	3,581
G2	3,618
G3	3,590
H1	3,633
H2	3,504
H3	3,684



Gambar 4.24 Grafik nilai rata-rata (*mean*) ukuran fisik granula

4.5. Analisis Karakteristik Kualitas dan Analisis Variansi

Dalam menentukan karakteristik kualitas, Taguchi menggunakan analisa *Signal to Noise Ratio* (SNR). Sebagaimana diketahui bersama bahwa karakteristik kualitas berfungsi untuk mengetahui sampai sejauh mana suatu proses mampu menjalankan fungsinya. Dalam penelitian ini karateristik kualitas yang digunakan adalah *Nominal is best.*

Setelah pengumpulan data selesai dilakukan, maka langkah berikutnya adalah melakukan proses perhitungan dan pengolahan data. Data diolah dengan menggunakan *analysis of variance* (ANOVA). ANOVA digunakan untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi hasil eksperimen (*setting level parameter*). (Mia Kristina Damayanti, 2017).

4.5.1. Perhitungan Nilai Rata-Rata dan *Signal to Noise Ratio*

Signal to Noise Ratio adalah fungsi log pada output yang diinginkan dan digunakan seperti fungsi objektif untuk optimasi dan analisis data. *Signal* mempresentasikan karakteristik output, sedangkan *Noise* merepresentasikan nilai (standard deviasi) yang tidak diinginkan pada karakteristik output (Mia Kristina Damayanti, 2017). Karena dalam penelitian ini menggunakan karakteristik kualitas *Nominal is the best*, maka persamaan yang digunakan adalah:

$$S/N = -10log_{10}\left(\frac{\mu^2}{\sigma^2}\right) \quad 4.1$$

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} yi \quad 4.2$$

$$\sigma = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(yi - \mu)^2 \quad 4.3$$

4.5.2. Hasil Perhitungan Analisis Variansi (*Analysis of Variance*/ANOVA)

a. Unsur Hara N

General Linear Model: N versus Faktor, Level

Method

Factor coding (-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Faktor	Fixed	8	A, B, C, D, E, F, G, H
Level	Fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Faktor	7	19.229	2.7470	13.28	0.000
Level	2	0.661	0.3305	1.60	0.203
Faktor*Level	14	11.089	0.7921	3.83	0.000
Error	624	129.065	0.2068		
Total	647	160.044			

Comparisons for N

Tukey Pairwise Comparisons: Faktor

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Faktor	N	Mean	Grouping			
G	81	12.6444	A			
H	81	12.5506	A	B		
F	81	12.4721	A	B	C	
D	81	12.4264		B	C	
A	81	12.2883			C	D
E	81	12.2713			C	D
B	81	12.1514				D
C	81	12.1427				D

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

Tukey Pairwise Comparisons: Level

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Level	N	Mean	Grouping
2	216	12.3917	A
3	216	12.3903	A
1	216	12.3232	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

Tukey Pairwise Comparisons: Faktor*Level

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Faktor*Level	N	Mean	Grouping					
G 1	27	12.8314	A					
H 2	27	12.8292	A	B				
G 2	27	12.7211	A	B	C			
D 3	27	12.6496	A	B	C	D		
F 3	27	12.6131	A	B	C	D	E	
F 1	27	12.4548	A	B	C	D	E	F
H 1	27	12.4466	A	B	C	D	E	F
A 3	27	12.4015	A	B	C	D	E	F
G 3	27	12.3807		B	C	D	E	F
H 3	27	12.3761			C	D	E	F
D 2	27	12.3725			C	D	E	F
F 2	27	12.3482			C	D	E	F
A 2	27	12.3456			C	D	E	F
E 2	27	12.3062			C	D	E	F
C 3	27	12.3013			C	D	E	F
E 3	27	12.2751			C	D	E	F
D 1	27	12.2572				D	E	F
E 1	27	12.2327				D	E	F
B 2	27	12.1783					E	F
B 1	27	12.1511						F
B 3	27	12.1249						F
A 1	27	12.1178						F
C 1	27	12.0943						F
C 2	27	12.0323						F

Means that do not share a letter are significantly different.

b. Unsur Hara P_2O_5

General Linear Model: P_2O_5 versus Faktor, Level

Method

Factor coding	(-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Faktor	Fixed	8	A, B, C, D, E, F, G, H
Level	Fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Faktor	7	10.832	1.5474	8.26	0.000
Level	2	2.349	1.1747	6.27	0.002
Faktor*Level	14	14.706	1.0504	5.61	0.000
Error	624	116.867	0.1873		
Total	647	144.754			

Comparisons for P_2O_5

Tukey Pairwise Comparisons: Faktor

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Faktor	N	Mean	Grouping	
B	81	6.24440	A	
C	81	6.20429	A	
G	81	6.06601	A	B

E	81	5.98548	B	C
D	81	5.95418	B	C
A	81	5.94074	B	C
H	81	5.93399	B	C
F	81	5.85224		C

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

Tukey Pairwise Comparisons: Level

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Level	N	Mean	Grouping	
2	216	6.10491	A	
3	216	6.00067		B
1	216	5.96242		B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

Tukey Pairwise Comparisons: Faktor*Level

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Faktor*Level	N	Mean	Grouping			
B 2	27	6.56488	A			
C 1	27	6.48791	A	B		
B 3	27	6.24480	A	B	C	
H 2	27	6.22640	A	B	C	
G 3	27	6.14131	A	B	C	D
E 3	27	6.12200		B	C	D
C 2	27	6.10262		B	C	D

A 3	27	6.07111	B	C	D
D 1	27	6.06980	B	C	D
G 2	27	6.04492		C	D
D 2	27	6.04430		C	D
C 3	27	6.02234		C	D
G 1	27	6.01180		C	D
E 2	27	6.00909		C	D
F 2	27	5.93336		C	D
B 1	27	5.92353		C	D
A 2	27	5.91370		C	D
F 3	27	5.90039		C	D
A 1	27	5.83741		C	D
E 1	27	5.82535		C	D
H 1	27	5.82058		C	D
H 3	27	5.75498			D
D 3	27	5.74845			D
F 1	27	5.72298			D

Means that do not share a letter are significantly different.

c. **Unsur Hara K_2O**

General Linear Model: K_2O versus Faktor, Level

Method

Factor coding	(-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Faktor	Fixed	8	A, B, C, D, E, F, G, H
Level	Fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Faktor	7	9.340	1.3343	2.47	0.017
Level	2	3.999	1.9995	3.70	0.025
Faktor*Level	14	24.197	1.7284	3.20	0.000
Error	624	337.251	0.5405		
Total	647	374.788			

Comparisons for K2O

Tukey Pairwise Comparisons: Faktor

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Faktor	N	Mean	Grouping
F	81	26.1876	A
E	81	26.1784	A

B	81	26.1672	A
D	81	26.1002	A
C	81	26.0725	A
H	81	26.0652	A
G	81	25.9058	A
A	81	25.8406	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

Tukey Pairwise Comparisons: Level

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Level	N	Mean	Grouping	
3	216	26.1355	A	
2	216	26.1035	A	B
1	216	25.9551		B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

Tukey Pairwise Comparisons: Faktor*Level

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Faktor*Level	N	Mean	Grouping	
B 3	27	26.5096	A	
C 2	27	26.4145	A	B
E 3	27	26.3110	A	B
D 2	27	26.2566	A	B
F 3	27	26.2137	A	B
B 1	27	26.2006	A	B

F 2	27	26.1817	A	B	
E 1	27	26.1817	A	B	
G 2	27	26.1781	A	B	
A 3	27	26.1730	A	B	
F 1	27	26.1674	A	B	
H 3	27	26.1611	A	B	
H 1	27	26.0841	A	B	
D 3	27	26.0697	A	B	
E 2	27	26.0423	A	B	C
A 2	27	26.0126	A	B	C
D 1	27	25.9742	A	B	C
H 2	27	25.9504	A	B	C
C 1	27	25.9349	A	B	C
C 3	27	25.8682	A	B	C
B 2	27	25.7913	A	B	C
G 3	27	25.7774		B	C
G 1	27	25.7619		B	C
A 1	27	25.3363			C

Means that do not share a letter are significantly different.

d. **Unsur Hara MgO**

General Linear Model: MgO versus Faktor, Level

Method

Factor coding	(-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Faktor	Fixed	8	A, B, C, D, E, F, G, H
Level	Fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Faktor	7	4.9697	0.70996	15.03	0.000
Level	2	0.0735	0.03674	0.78	0.460
Faktor*Level	14	1.3010	0.09293	1.97	0.018
Error	624	29.4684	0.04723		
Total	647	35.8126			

Comparisons for MgO

Tukey Pairwise Comparisons: Faktor

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Faktor	N	Mean	Grouping	
C	81	3.90377	A	
D	81	3.86359	A	B

B	81	3.80193	A	B	C	
E	81	3.79740		B	C	
G	81	3.74140			C	D
F	81	3.70653			C	D
A	81	3.65296				D
H	81	3.64908				D

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

Tukey Pairwise Comparisons: Level

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Level	N	Mean	Grouping
1	216	3.77948	A
3	216	3.75902	A
2	216	3.75524	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

Tukey Pairwise Comparisons: Faktor*Level

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Faktor*Level	N	Mean	Grouping				
C 1	27	3.98172	A				
D 2	27	3.94311	A	B			
C 3	27	3.88189	A	B	C		
E 3	27	3.86328	A	B	C		
D 1	27	3.85041	A	B	C	D	
C 2	27	3.84770	A	B	C	D	E

B 2	27	3.84625	A	B	C	D	E	
B 3	27	3.82060	A	B	C	D	E	F
E 1	27	3.81218	A	B	C	D	E	F
G 1	27	3.80624	A	B	C	D	E	F
D 3	27	3.79725	A	B	C	D	E	F
B 1	27	3.73894		B	C	D	E	F
F 1	27	3.73089		B	C	D	E	F
F 3	27	3.71968			C	D	E	F
E 2	27	3.71675			C	D	E	F
G 2	27	3.71143			C	D	E	F
G 3	27	3.70653			C	D	E	F
A 1	27	3.68185			C	D	E	F
H 3	27	3.67667			C	D	E	F
A 2	27	3.67074			C	D	E	F
F 2	27	3.66903			C	D	E	F
H 2	27	3.63692				D	E	F
H 1	27	3.63364					E	F
A 3	27	3.60630						F

Means that do not share a letter are significantly different.

e. **Unsur Hara B_2O_3**

General Linear Model: B2O3 versus Faktor, Level

Method

Factor coding	(-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Faktor	Fixed	8	A, B, C, D, E, F, G, H
Level	Fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Faktor	7	3.3681	0.481159	65.71	0.000
Level	2	0.3519	0.175945	24.03	0.000
Faktor*Level	14	1.3883	0.099161	13.54	0.000
Error	624	4.5690	0.007322		
Total	647	9.6772			

Comparisons for B2O3

Tukey Pairwise Comparisons: Faktor

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Faktor	N	Mean	Grouping	
B	81	0.676801	A	
D	81	0.610193		B
E	81	0.603905		B

A	81	0.592222	B		
C	81	0.572831	B		
G	81	0.500793		C	
F	81	0.481628		C	D
H	81	0.447546			D

Tukey Simultaneous 95% CIs

Tukey Pairwise Comparisons: Level

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Level	N	Mean	Grouping	
3	216	0.593409	A	
2	216	0.548164		B
1	216	0.540647		B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

Tukey Pairwise Comparisons: Faktor*Level

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Faktor*Level	N	Mean	Grouping				
B 3	27	0.848420	A				
D 2	27	0.653290		B			
D 3	27	0.645904		B			
E 1	27	0.640774		B			
A 1	27	0.635556		B	C		
B 2	27	0.600541		B	C	D	
A 3	27	0.592222		B	C	D	E
E 2	27	0.591767		B	C	D	E
C 3	27	0.586004		B	C	D	E F

B 1	27	0.581443	B	C	D	E	F			
E 3	27	0.579172	B	C	D	E	F			
C 2	27	0.577441	B	C	D	E	F			
C 1	27	0.555048		C	D	E	F	G		
A 2	27	0.548889			D	E	F	G		
D 1	27	0.531385			D	E	F	G	H	
F 3	27	0.531194			D	E	F	G	H	
G 3	27	0.515562				E	F	G	H	I
G 2	27	0.505195					F	G	H	I
G 1	27	0.481622						G	H	I
F 1	27	0.458091							H	I
F 2	27	0.455600							H	I
H 2	27	0.452589							H	I
H 3	27	0.448790							H	I
H 1	27	0.441258								I

f. **Ukuran Fisik Granula**

General Linear Model: Ukuran fisik granula versus Faktor, Level

Method

Factor coding	(-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Faktor	Fixed	8	A, B, C, D, E, F, G, H
Level	Fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Faktor	7	14.3044	2.04349	23.93	0.000
Level	2	0.1635	0.08176	0.96	0.385
Faktor*Level	14	4.2888	0.30634	3.59	0.000
Error	624	53.2962	0.08541		
Total	647	72.0529			

Comparisons for Ukuran Fisik Granula

Tukey Pairwise Comparisons: Faktor

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Faktor	N	Mean	Grouping		
F	81	3.67182	A		
H	81	3.60703	A		
G	81	3.59623	A		
A	81	3.39691		B	
D	81	3.39006		B	
B	81	3.36453		B	
E	81	3.34928		B	C
C	81	3.21018			C

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

Tukey Pairwise Comparisons: Level

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Level	N	Mean	Grouping
1	216	3.46760	A
3	216	3.44848	A
2	216	3.42869	A

Means that do not share a letter are significantly different

Tukey Simultaneous 95% CIs

Tukey Pairwise Comparisons: Faktor*Level

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Faktor*Level	N	Mean	Grouping						
F 1	27	3.75233	A						
H 3	27	3.68388	A	B					
F 2	27	3.64757	A	B	C				
H 1	27	3.63285	A	B	C				
G 2	27	3.61799	A	B	C	D			
F 3	27	3.61556	A	B	C	D			
G 3	27	3.58999	A	B	C	D			
G 1	27	3.58071	A	B	C	D	E		
H 2	27	3.50436	A	B	C	D	E	F	
E 3	27	3.50060	A	B	C	D	E	F	
D 2	27	3.48782	A	B	C	D	E	F	
A 2	27	3.48704	A	B	C	D	E	F	
B 3	27	3.43748		B	C	D	E	F	
D 1	27	3.42380		B	C	D	E	F	G

C 1	27	3.39049	C	D	E	F	G	H
B 1	27	3.37038	C	D	E	F	G	H
A 3	27	3.36444	C	D	E	F	G	H
A 1	27	3.33926		D	E	F	G	H
E 2	27	3.29626			E	F	G	H
B 2	27	3.28575				F	G	H
D 3	27	3.25855				F	G	H
E 1	27	3.25097				F	G	H
C 3	27	3.13732					G	H
C 2	27	3.10272						H

Means that do not share a letter are significantly different.

4.5.3. Interpretasi Hasil Analisis ANOVA

Uji faktorial anova dilakukan untuk menguji apakah terdapat perbedaan rata-rata faktor utama, yaitu : A (*Raw material intake*), B (*Water usage*), C (*Gas usage*), D (*Granulator material temperature*), E (*Dryer material temperature*), F (*Cooler material temperature*), G (*Finish product temperature*), H (*Environment process temperature*)), faktor level (1, 2, 3), dan interaksi antara faktor utama dan level terhadap variabel yang diukur yaitu kadar N, P_2O_5, K_2O, MgO, B_2O_3, dan ukuran fisik granula.

Hipotesis

H_0: tidak ada perbedaan rata-rata yang signifikan antar perlakuan terhadap angka variabel yang diukur;

H_1: terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan antar perlakuan terhadap angka variabel yang diukur.

Kriteria Pengujian

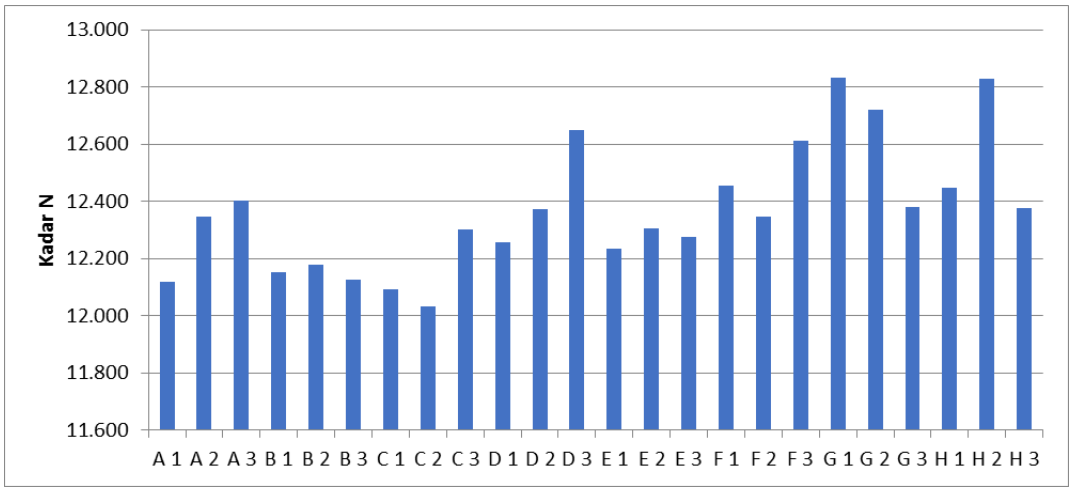
Jika nilai F hitung > F tabel, nilai p-value < α, maka **H_0 ditolak**;

Jika nilai F hitung < F tabel, nilai p-value > α, maka **H_0 diterima**.

a. Unsur Hara N

Tabel 4.12 Deskriptif variabel unsur hara N

Perlakuan	Rata-rata	Notasi	Rata-rata Utama	Rata-rata level
A 1	12.118	F	A = 12.29 cd	Level 1 = 12.32 a
A 2	12.346	CDEF		
A 3	12.402	ABCDEF		
B 1	12.151	F	B = 12.15 d	
B 2	12.178	EF		
B 3	12.125	F		
C 1	12.094	F	C = 12.14 d	
C 2	12.032	F		
C 3	12.301	CDEF		Level 2 = 12.39 a
D 1	12.257	DEF	D = 12.43 bc	
D 2	12.373	CDEF		
D 3	12.650	ABCD		
E 1	12.233	DEF	E = 12.27 cd	
E 2	12.306	CDEF		
E 3	12.275	CDEF		
F 1	12.455	ABCDEF	F = 12.47 abc	
F 2	12.348	CDEF		Level 3 = 12.39 a
F 3	12.613	ABCDE		
G 1	12.831	A	F = 12.47 abc	
G 2	12.721	ABC		
G 3	12.381	BCDEF		
H 1	12.447	ABCDEF	H = 12.55 ab	
H 2	12.829	AB		
H 3	12.376	CDEF		



Gambar 4.25 Grafik nilai rata-rata unsur hara N

Berdasarkan pada tabel 4.11 diatas bahwa rata-rata angka kadar N tertinggi yaitu pada interaksi perlakuan G1 sebesar 12.83, dan rata-rata angka kadar N terendah didapatkan pada interaksi perlakuan C2 sebesar 12.03. Untuk melihat apakah perbedaan rata-rata antar perlakuan tersebut signifikan atau tidak, maka dilakukan analisis faktorial anova.

Tabel 4.13 Hasil pengujian faktorial ANOVA Unsur Hara N

SK	F hitung	F tabel	p-value	Keterangan
S	13.28*	2.024	0.000	Berbeda signifikan
R	1.60^{ns}	3.010	0.203	Berbeda tidak signifikan
S*R	3.83*	1.708	0.000	Berbeda signifikan

Ket. Notasi : ns = berbeda tidak signifikan ; * = berbeda signifikan (α 5%)

Dari hasil pengujian faktorial anova tabel diatas menunjukkan bahwa:

a. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan faktor utama terhadap angka kadar N yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (13.28 > 2.024) dan nilai p-value yang lebih kecil dari α (0.000 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa rata-rata angka kadar N tertinggi pada perlakuan G (*Finish product temperature*) berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya, tetapi perlakuan G tidak berbeda signifikan dengan perlakuan F dan H.

b. Terdapat perbedaan rata-rata yang tidak signifikan berdasarkan faktor level terhadap angka kadar N yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih kecil dari F tabel (1.60 < 3.010) dan nilai p-value yang lebih besar dari α (0.203 > 0.050). Diambil keputusan **H_0 diterima.** Dapat terlihat dari rata-rata angka kadar N yang tidak terlalu jauh antar perlakuan level.

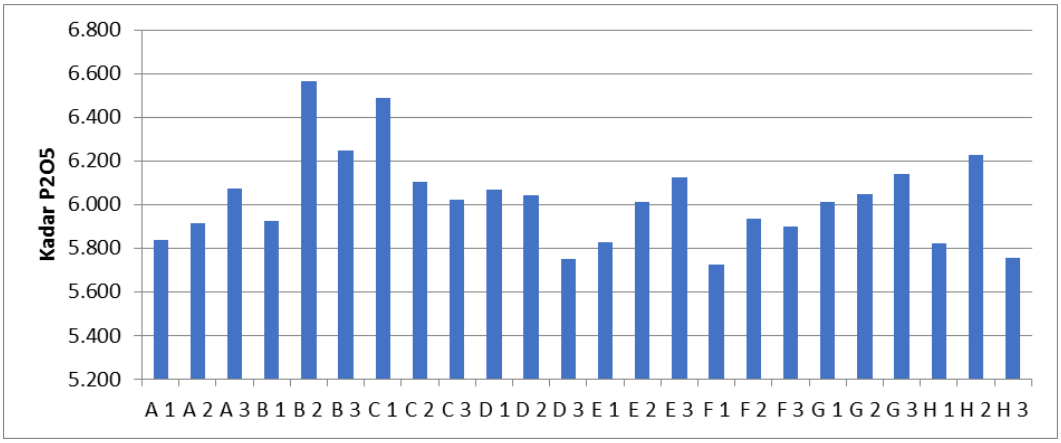
c. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan interaksi faktor utama dan level terhadap angka kadar N yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (3.83 > 1.708) dan nilai p-

value yang lebih kecil dari α (0.000 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa rata-rata tertinggi pada interaksi perlakuan G1 dan perlakuan tersebut berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya. Tetapi perlakuan G1 tidak berbeda signifikan dengan perlakuan H2, G2, D3, F3, F1, H1, dan A3.

b. Variabel Kadar Unsur Hara P_2O_5

Tabel 4.14 Deskriptif variabel unsur hara P_2O_5

Perlakuan	Rata-rata	Notasi	Rata-rata Utama	Rata-rata level
A 1	5.837	CD	A = 5.94 bc	Level 1 = 5.96 b
A 2	5.914	CD		
A 3	6.071	BCD		
B 1	5.924	CD	B = 6.24 a	
B 2	6.565	A		
B 3	6.245	ABC		
C 1	6.488	AB	C = 6.20 a	
C 2	6.103	BCD		
C 3	6.022	CD		Level 2 = 6.10 a
D 1	6.070	BCD	D = 5.95 bc	
D 2	6.044	CD		
D 3	5.748	D		
E 1	5.825	CD	E = 5.99 bc	
E 2	6.009	CD		
E 3	6.122	BCD		
F 1	5.723	D	F = 5.85 c	
F 2	5.933	CD		Level 3 = 6.00 b
F 3	5.900	CD		
G 1	6.012	CD	G = 6.07 ab	
G 2	6.045	CD		
G 3	6.141	ABCD		
H 1	5.821	CD	H = 5.93 bc	
H 2	6.226	ABC		
H 3	5.755	D		



Gambar 4.26 Grafik nilai rata-rata unsur hara P_2O_5

Berdasarkan pada tabel 3 diatas bahwa rata-rata angka kadar P_2O_5 tertinggi yaitu pada interaksi perlakuan B2 sebesar 6.57, dan rata-rata angka kadar P_2O_5 terendah didapatkan pada interaksi perlakuan F1 sebesar 5.72. Untuk melihat apakah perbedaan rata-rata antar perlakuan tersebut signifikan atau tidak, maka dilakukan analisis faktorial anova.

Tabel 4.15 Hasil pengujian faktorial ANOVA unsur hara P_2O_5

SK	F hitung	F tabel	p-value	Keterangan
S	8.26*	2.024	0.000	Berbeda signifikan
R	6.27*	3.010	0.002	Berbeda signifikan
S*R	5.61*	1.708	0.000	Berbeda signifikan

Ket. Notasi : ns = berbeda tidak signifikan ; * = berbeda signifikan (α 5%)

Dari hasil pengujian faktorial anova tabel diatas menunjukkan bahwa:

a. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan faktor utama terhadap angka kadar P_2O_5 yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (8.26 > 2.024) dan nilai p-value yang lebih kecil dari α (0.000 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa rata-rata angka kadar P2O5 tertinggi pada perlakuan B (water usage) berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya, tetapi perlakuan B tidak berbeda signifikan dengan perlakuan C dan G.

b. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan faktor level terhadap angka kadar P_2O_5 yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (6.27 > 3.010) dan nilai p-value yang lebih kecil dari α (0.002 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa rata-rata angka kadar P_2O_5 tertinggi pada perlakuan level 2 berbeda signifikan dengan perlakuan level 1 dan 3.

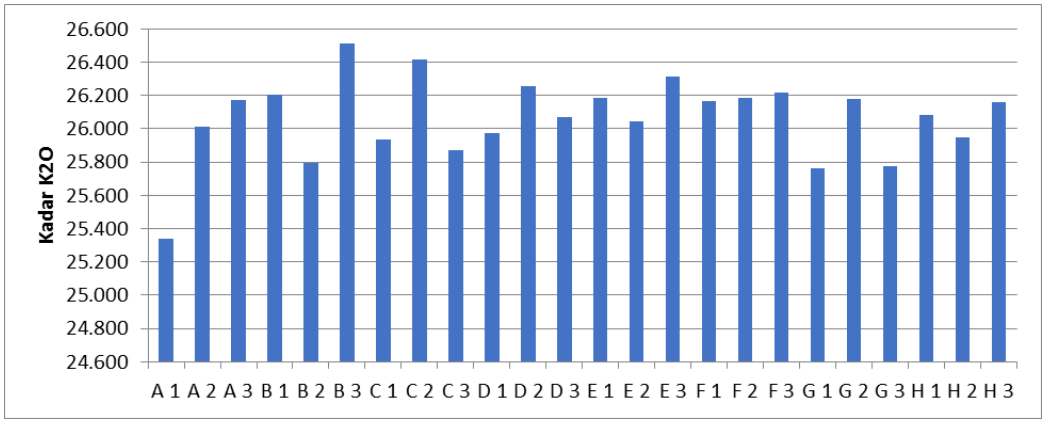
c. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan interaksi faktor utama dan level terhadap angka kadar N yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (5.61 > 1.708) dan nilai p-value yang lebih kecil dari α (0.000 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa rata-rata tertinggi pada interaksi perlakuan B2 dan perlakuan tersebut berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya. Tetapi perlakuan B2 tidak berbeda signifikan dengan perlakuan C1, B3, H2, dan G3.

c. Unsur Hara K_2O

Tabel 4.16 Deskriptif variabel unsur hara K_2O

Perlakuan	Rata-rata	Notasi	Rata-rata Utama	Rata-rata level
A 1	25.336	C	A = 25.84 a	Level 1 = 25.96 b
A 2	26.013	ABC		
A 3	26.173	AB		
B 1	26.201	AB	B = 26.17 a	
B 2	25.791	ABC		
B 3	26.510	A		
C 1	25.935	ABC	C = 26.07 a	
C 2	26.415	AB		
C 3	25.868	ABC		Level 2 = 26.10 ab
D 1	25.974	ABC	D = 26.10 a	
D 2	26.257	AB		
D 3	26.070	AB		
E 1	26.182	AB	E = 26.18 a	
E 2	26.042	ABC		
E 3	26.311	AB		
F 1	26.167	AB	F = 26.19 a	

F 2	26.182	AB		Level 3 = 26.14 a
F 3	26.214	AB		
G 1	25.762	BC	G = 25.91 a	
G 2	26.178	AB		
G 3	25.777	BC		
H 1	26.084	AB	H = 26.07 a	
H 2	25.950	ABC		
H 3	26.161	AB		



Gambar 4.27 Grafik nilai rata-rata unsur hara K_2O

Berdasarkan pada tabel diatas bahwa rata-rata angka kadar K_2O tertinggi yaitu pada interaksi perlakuan B3 sebesar 26.51, dan rata-rata angka kadar K_2O terendah didapatkan pada interaksi perlakuan A1 sebesar 25.34. Untuk melihat apakah perbedaan rata-rata antar perlakuan tersebut signifikan atau tidak, maka dilakukan analisis faktorial anova.

Tabel 4.17. Hasil pengujian faktorial ANOVA unsur hara K_2O

SK	F hitung	F tabel	p-value	Keterangan
S	2.47*	2.024	0.017	Berbeda signifikan
R	3.70*	3.010	0.025	Berbeda signifikan
S*R	3.20*	1.708	0.000	Berbeda signifikan

Ket. Notasi : ns = berbeda tidak signifikan ; * = berbeda signifikan (α 5%)

Dari hasil pengujian faktorial anova tabel diatas menunjukkan bahwa:

a. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan faktor utama terhadap angka kadar K_2O yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (2.47 > 2.024) dan nilai p-value yang lebih kecil dari α (0.017 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa rata-rata angka kadar K_2O tertinggi pada perlakuan F (*cooler material temperature*) berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya, tetapi perlakuan F tidak berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya.

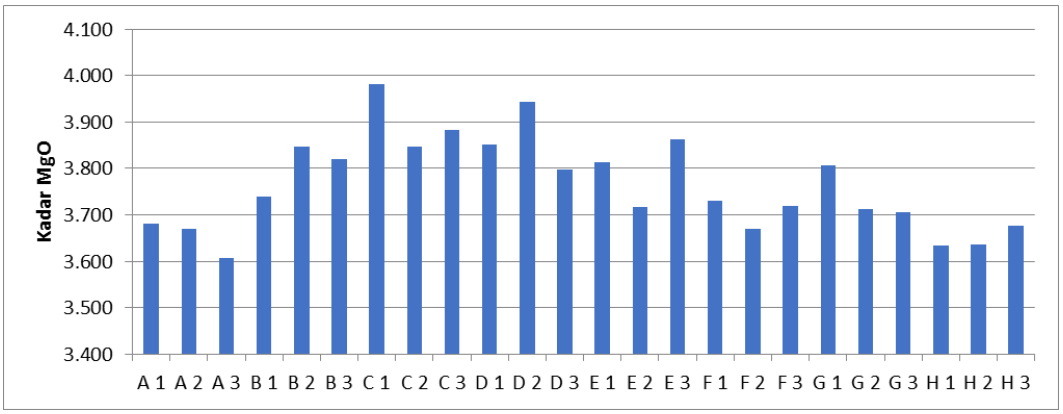
b. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan faktor level terhadap angka kadar K_2O yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (3.70 > 3.010) dan nilai p-value yang lebih kecil dari α (0.025 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa rata-rata angka kadar K_2O tertinggi pada perlakuan level 3 berbeda signifikan dengan perlakuan level 1, tetapi perlakuan level 3 dan 2 tidak berbeda signifikan.

c. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan interaksi faktor utama dan level terhadap angka kadar K_2O yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (3.20 > 1.708) dan nilai p-value yang lebih kecil dari α (0.000 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa rata-rata tertinggi pada interaksi perlakuan B3 dan perlakuan tersebut berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya. Tetapi perlakuan B3 tidak berbeda signifikan dengan perlakuan C2, E3, D2, F3, B1, F2, E1, G2, A3, F1, H3, H1, D3, E2, A2, D1, H2, C1, C3, dan B2.

d. Unsur Hara MgO.

Tabel 4.18 Deskriptif variabel unsur hara MgO

Perlakuan	Rata-rata	**Notasi**	**Rata-rata Utama**	**Rata-rata level**
A 1	3.682	CDEF	A = 3.65 d	Level 1 = 3.78 a
A 2	3.671	CDEF		
A 3	3.606	F		
B 1	3.739	BCDEF	B = 3.80 abc	
B 2	3.846	ABCDE		
B 3	3.821	ABCDEF		
C 1	3.982	A	C = 3.90 a	
C 2	3.848	ABCDE		
C 3	3.882	ABC		Level 2 = 3.76 a
D 1	3.850	ABCD	D = 3.86 ab	
D 2	3.943	AB		
D 3	3.797	ABCDEF		
E 1	3.812	ABCDEF	E = 3.80 bc	
E 2	3.717	CDEF		
E 3	3.863	ABC		
F 1	3.731	BCDEF	F = 3.71 cd	
F 2	3.669	CDEF		Level 3 = 3.76 a
F 3	3.720	CDEF		
G 1	3.806	ABCDEF	G = 3.74 cd	
G 2	3.711	CDEF		
G 3	3.707	CDEF		
H 1	3.634	EF	H = 3.65 d	
H 2	3.637	DEF		
H 3	3.677	CDEF		



Gambar 4.28 Grafik nilai rata-rata unsur hara MgO

Berdasarkan pada tabel diatas bahwa rata-rata angka kadar MgO tertinggi yaitu pada interaksi perlakuan C1 sebesar 3.98, dan rata-rata angka kadar MgO

terendah didapatkan pada interaksi perlakuan A3 sebesar 3.61. Untuk melihat apakah perbedaan rata-rata antar perlakuan tersebut signifikan atau tidak, maka dilakukan analisis faktorial anova.

Tabel 4.19. Hasil pengujian faktorial ANOVA unsur hara MgO

SK	F hitung	F tabel	p-value	Keterangan
S	15.03*	2.024	0.000	Berbeda signifikan
R	0.78^{ns}	3.010	0.406	Berbeda tidak signifikan
S*R	1.97*	1.708	0.018	Berbeda signifikan

Ket. Notasi : ns = berbeda tidak signifikan ; * = berbeda signifikan (α 5%)

Dari hasil pengujian faktorial anova tabel diatas menunjukkan bahwa:

a. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan faktor utama terhadap angka kadar MgO yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (15.03 > 2.024) dan nilai p-value yang lebih kecil dari α (0.000 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa rata-rata angka kadar MgO tertinggi pada perlakuan C (*gas usage*) berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya, tetapi perlakuan C tidak berbeda signifikan dengan perlakuan D dan B.

b. Terdapat perbedaan rata-rata yang tidak signifikan berdasarkan faktor level terhadap angka kadar MgO yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih kecil dari F tabel (0.78 < 3.010) dan nilai p-value yang lebih besar dari α (0.406 > 0.050). Diambil keputusan **H_0 diterima.** Dapat terlihat dari rata-rata angka kadar MgO yang tidak terlalu jauh antar perlakuan level.

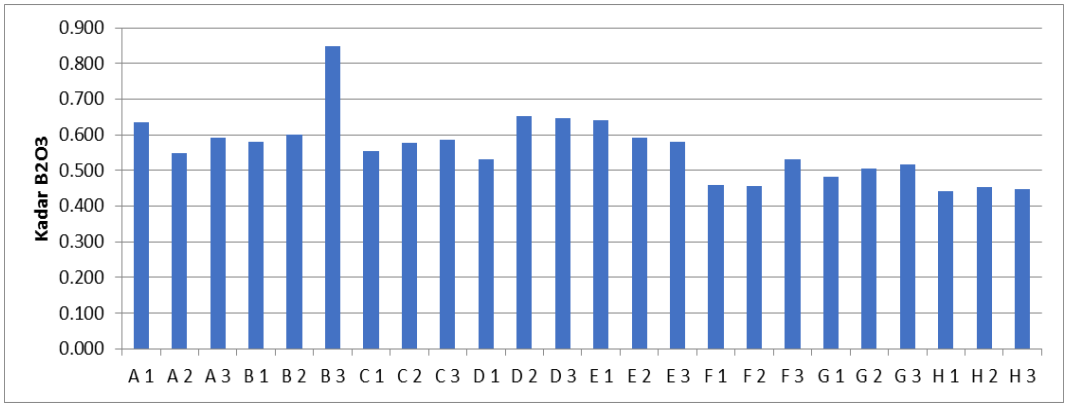
c. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan interaksi faktor utama dan level terhadap angka kadar MgO yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (1.97 > 1.708) dan nilai p-value yang lebih kecil dari α (0.018 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa

rata-rata tertinggi pada interaksi perlakuan C1 dan perlakuan tersebut berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya. Tetapi perlakuan C1 tidak berbeda signifikan dengan perlakuan D2, C3, E3, D1, C2, B2, B3, E1, G1, dan D3.

e. Unsur Hara B_2O_3

Tabel 4.20. Deskriptif variabel unsur hara B_2O_3

Perlakuan	Rata-rata	Notasi	Rata-rata Utama	Rata-rata level
A 1	0.636	BC	A = 0.592 b	Level 1 = 0.541 b
A 2	0.549	DEFG		
A 3	0.592	BCDE		
B 1	0.581	BCDEF	B = 0.677 a	
B 2	0.601	BCD		
B 3	0.848	A		
C 1	0.555	CDEFG	C = 0.573 b	
C 2	0.577	BCDEF		
C 3	0.586	BCDEF		Level 2 = 0.548 b
D 1	0.531	DEFGH	D = 0.610 b	
D 2	0.653	B		
D 3	0.646	B		
E 1	0.641	B	E = 0.604 b	
E 2	0.592	BCDE		
E 3	0.579	BCDEF		
F 1	0.458	HI	F = 0.482 cd	
F 2	0.456	HI		Level 3 = 0.593 a
F 3	0.531	DEFGH		
G 1	0.482	GHI	G = 0.501 c	
G 2	0.505	FGHI		
G 3	0.516	EFGHI		
H 1	0.441	I	H = 0.448 d	
H 2	0.453	HI		
H 3	0.449	HI		



Gambar 4.29 Grafik nilai rata-rata unsur hara B_2O_3

Berdasarkan pada tabel diatas bahwa rata-rata angka kadar B_2O_3 tertinggi yaitu pada interaksi perlakuan B3 sebesar 0.848, dan rata-rata angka kadar B_2O_3 terendah didapatkan pada interaksi perlakuan H1 sebesar 0.441. Untuk melihat apakah perbedaan rata-rata antar perlakuan tersebut signifikan atau tidak, maka dilakukan analisis faktorial anova.

Tabel 4.21 Hasil pengujian faktorial ANOVA unsur hara B_2O_3

SK	F hitung	F tabel	p-value	Keterangan
S	65.71*	2.024	0.000	Berbeda signifikan
R	24.03*	3.010	0.000	Berbeda signifikan
S*R	13.54*	1.708	0.000	Berbeda signifikan

Ket. Notasi : ns = berbeda tidak signifikan ; * = berbeda signifikan (α 5%)

Dari hasil pengujian faktorial anova tabel diatas menunjukkan bahwa:

a. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan faktor utama terhadap angka kadar B_2O_3 yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (65.71 > 2.024) dan nilai p-value yang lebih kecil dari α (0.000 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa rata-rata angka kadar B_2O_3 tertinggi pada perlakuan B (*water usage*) berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya.

b. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan faktor level terhadap angka kadar B_2O_3 yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (24.03 > 3.010) dan nilai p-value yang lebih kecil dari α (0.000 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa rata-rata angka kadar B_2O_3 tertinggi pada perlakuan level 3 berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya.

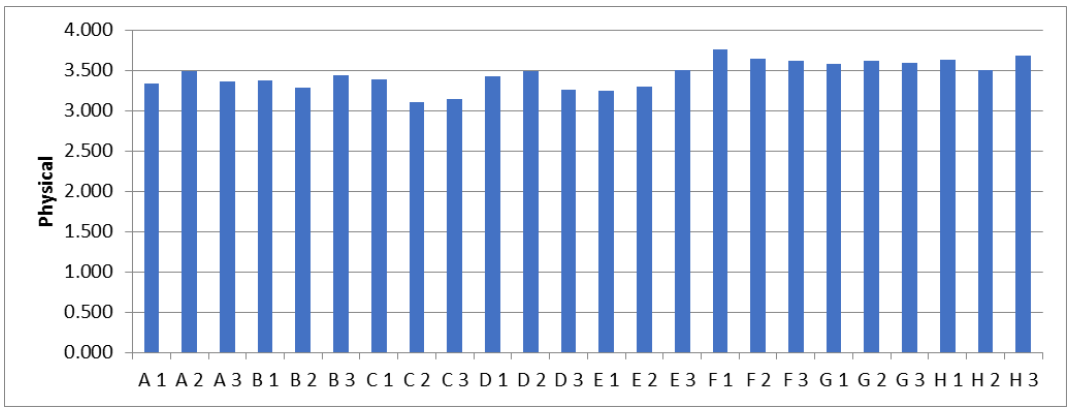
c. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan interaksi faktor utama dan level terhadap angka kadar B_2O_3 yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (13.54 > 1.708) dan nilai p-value yang lebih kecil dari α (0.000 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa rata-rata tertinggi pada interaksi perlakuan B3 dan perlakuan tersebut berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya.

f. Ukuran Fisik Granula

Tabel 4.22 Deskriptif variabel ukuran fisik granula

Perlakuan	Rata-rata	Notasi	Rata-rata Utama	Rata-rata level
A 1	3.339	DEFGH	A = 3.40 b	Level 1 = 3.47 a
A 2	3.487	ABCDEF		
A 3	3.364	CDEFGH		
B 1	3.370	CDEFGH	B = 3.36 b	
B 2	3.286	FGH		
B 3	3.437	BCDEF		
C 1	3.390	CDEFGH	C = 3.21 c	
C 2	3.103	H		
C 3	3.137	GH		Level 2 = 3.43 a
D 1	3.424	BCDEFG	D = 3.39 b	
D 2	3.488	ABCDEF		
D 3	3.259	FGH		
E 1	3.251	FGH	E = 3.35 bc	
E 2	3.296	EFGH		
E 3	3.501	ABCDEF		
F 1	3.752	A	F = 3.67 a	
F 2	3.648	ABC		Level 3 =

F 3	3.616	ABCD		3.45 a
G 1	3.581	ABCDE	G = 3.60 a	
G 2	3.618	ABCD		
G 3	3.590	ABCD		
H 1	3.633	ABC	H = 3.61 a	
H 2	3.504	ABCDEF		
H 3	3.684	AB		



Gambar 4.30 Grafik nilai rata-rata ukuran fisik granula

Berdasarkan pada tabel diatas bahwa rata-rata angka physical tertinggi yaitu pada interaksi perlakuan F1 sebesar 3.75, dan rata-rata angka physical terendah didapatkan pada interaksi perlakuan C2 sebesar 3.10. Untuk melihat apakah perbedaan rata-rata antar perlakuan tersebut signifikan atau tidak, maka dilakukan analisis faktorial anova.

Tabel 4.23 Hasil Pengujian faktorial ANOVA ukuran fisik granula

SK	F hitung	F tabel	p-value	Keterangan
S	23.93*	2.024	0.000	Berbeda signifikan
R	0.96^{ns}	3.010	0.385	Berbeda tidak signifikan
S*R	3.59*	1.708	0.000	Berbeda signifikan

Ket. Notasi : ns = berbeda tidak signifikan ; * = berbeda signifikan (α 5%)

Dari hasil pengujian faktorial anova tabel diatas menunjukkan bahwa:

a. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan faktor utama terhadap angka physical yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (23.93 > 2.024) dan nilai p-value yang lebih

kecil dari α (0.000 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa rata-rata angka physical tertinggi pada perlakuan F (cooler material temperature) berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya, tetapi perlakuan F tidak berbeda signifikan dengan perlakuan G dan H.

b. Terdapat perbedaan rata-rata yang tidak signifikan berdasarkan faktor level terhadap angka physical yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih kecil dari F tabel (0.96 < 3.010) dan nilai p-value yang lebih besar dari α (0.385 > 0.050). Diambil keputusan **H_0 diterima.** Dapat terlihat dari rata-rata angka physical yang tidak terlalu jauh antar perlakuan level.

c. Terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan berdasarkan interaksi faktor utama dan level terhadap angka physical yang diukur, dapat terlihat dari nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel (3.59 > 1.708) dan nilai p-value yang lebih kecil dari α (0.000 < 0.050). Diambil keputusan **H_0 ditolak.** Dari hasil tersebut dapat diketahui dari uji lanjut tukey bahwa rata-rata tertinggi pada interaksi perlakuan F1 dan perlakuan tersebut berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya. Tetapi perlakuan F1 tidak berbeda signifikan dengan perlakuan H3, F2, H1, G2, F3, G3, G1, H2, E3, D2, dan A2.

Kesimpulan:

1. Unsur hara **N** menunjukkan hasil berbeda signifikan antar perlakuan faktor utama, interaksi utama dan level dengan nilai p-value uji faktorial anova masing-masing lebih kecil dari 0.05. Dengan *rata-rata tertinggi pada interaksi perlakuan G1*, dan *rata-rata terendah pada interaksi perlakuan C2.*

2. Unsur hara $\mathbf{P_2O_5}$ menunjukkan hasil berbeda signifikan antar perlakuan faktor utama, level, interaksi utama dan level dengan nilai p-value uji faktorial anova masing-masing lebih kecil dari 0.05. Dengan *rata-rata tertinggi pada interaksi perlakuan B2*, dan *rata-rata terendah pada interaksi perlakuan F1*.

3. Unsur hara $\mathbf{K_2O}$ menunjukkan hasil berbeda signifikan antar perlakuan faktor utama, level, dan interaksi utama dan level dengan nilai p-value uji faktorial anova masing-masing lebih kecil dari 0.05. Dengan *rata-rata tertinggi pada interaksi perlakuan B3*, dan *rata-rata terendah pada interaksi perlakuan A1*.

4. Unsur hara **MgO** menunjukkan hasil berbeda signifikan antar perlakuan faktor utama, dan interaksi utama dan level dengan nilai p-value uji faktorial anova masing-masing lebih kecil dari 0.05. Dengan *rata-rata tertinggi pada interaksi perlakuan C1*, dan *rata-rata terendah pada interaksi perlakuan A3*.

5. Unsur hara $\mathbf{B_2O_3}$ menunjukkan hasil berbeda signifikan antar perlakuan faktor utama, level, dan interaksi utama dan level dengan nilai p-value uji faktorial anova masing-masing lebih kecil dari 0.05. Dengan *rata-rata tertinggi pada interaksi perlakuan B3*, dan *rata-rata terendah pada interaksi perlakuan H1*.

6. **Ukuran fisik granula** menunjukkan hasil berbeda signifikan antar perlakuan faktor utama, dan interaksi utama dan level dengan nilai p-value uji faktorial anova masing-masing lebih kecil dari 0.05. Dengan *rata-rata tertinggi pada interaksi perlakuan F1*, dan *rata-rata terendah pada interaksi perlakuan C2*.

4.6. Eksperimen Konfirmasi

4.6.1. Persen Kontribusi

Persen kontribusi merupakan porsi tiap-tiap faktor atau interaksi faktor yang signifikan terhadap banyaknya variansi yang diamati. Disamping itu persen kontribusi juga merupakan representasi indikasi kekuatan sebuah faktor atau interaksi antar beberapa faktor.

Rumus perhitungan persen kontribusi ditunjukkan dengan persamaan di bawah ini:

$$SS'_A = SS_A - (V_e \times V_A)$$

$$P = \frac{SS'A}{SST} \times 100\%$$

Dimana,

SS'_A = jumlah kuadrat murni untuk faktor A

SS_A = sum of squares factor A

V_e = sum squares error

v_A = derajat kebebasan factor A

SS_T = sum of squares total

P = persen kontribusi

Dari hasil perhitungan, didapatkan data persen kontribusi seperti ditunjukkan dalam tabel 4.28 di bawah ini:

Tabel 4.24 Data persen kontribusi

Faktor	% Kontribusi					
	N	P_2O_5	K_2O	MgO	B_2O_3	Fisik granula
A	12,35	12,15	12,29	11,78	13,70	12,17
B	12,07	13,43	12,60	12,74	18,35	11,87
C	12,06	13,26	12,50	13,45	12,71	10,80
D	12,64	12,21	12,54	13,18	14,60	12,07
E	12,31	12,30	12,61	12,71	14,14	11,78
F	12,72	11,78	12,62	12,09	9,00	14,13
G	13,08	12,70	12,35	12,32	9,69	13,55
H	12,89	12,15	12,50	11,72	7,71	13,63

Pada tabel diatas, diketahui bahwa rata-rata nilai persen kontribusi kurang dari 15 %. Hanya satu saja persen kontribusi yang nilainya diatas 15% yaitu pada factor B, unsur hara B_2O_3 yaitu 18,35%. Sehingga dari data tersebut dapat diasumsikan bahwa tidak ada faktor-faktor penting yang harus dihilangkan dari eksperimen. Namun apabila didapati nilai persen kontribusi melebihi 50%, maka ada beberapa faktor penting yang harus dihilangkan. Sebab yang lain karena kondisi tidak terkontrol secara tepat maupun ada error pengukuran yang terlampau besar.

4.6.2. Selang Kepercayaan (*Confidence Interval*)

Berikut ini akan ditampilkan hasil perhitungan selang kepercayaan (*confidence interval*) untuk semua kondisi faktor dan level dengan menggunakan bantuan software Minitab 16:

a. Unsur Hara N

Tabel 4.25 Confidence Interval Faktor dan Level Unsur Hara N

Interaksi	N	Mean	StDev	95% CI
A1	27	12.1178	0.3362	(11.9459, 12.2897)
A2	27	12.3456	0.4590	(12.1737, 12.5174)
A3	27	12.4015	0.5029	(12.2296, 12.5734)
B1	27	12.1511	0.3422	(11.9792, 12.3230)
B2	27	12.1783	0.3529	(12.0064, 12.3502)
B3	27	12.1249	0.3971	(11.9530, 12.2967)
C1	27	12.0943	0.3722	(11.9225, 12.2662)
C2	27	12.0323	0.3621	(11.8604, 12.2042)
C3	27	12.3010	0.5610	(12.1290, 12.4730)
D1	27	12.2572	0.4871	(12.0853, 12.4291)
D2	27	12.3725	0.5098	(12.2006, 12.5444)
D3	27	12.6500	0.7090	(12.4780, 12.8210)
E1	27	12.2327	0.4527	(12.0608, 12.4046)
E2	27	12.3062	0.3891	(12.1343, 12.4781)
E3	27	12.2751	0.3276	(12.1032, 12.4469)
F1	27	12.4548	0.3749	(12.2830, 12.6267)
F2	27	12.3482	0.4270	(12.1763, 12.5201)
F3	27	12.6131	0.3926	(12.4413, 12.7850)
G1	27	12.8310	0.6590	(12.6601, 13.0030)
G2	27	12.7211	0.4499	(12.5493, 12.8930)

G3	27	12.3807	0.2931	(12.2089, 12.5526)
H1	27	12.4466	0.2921	(12.2747, 12.6185)
H2	27	12.8290	0.6460	(12.6570, 13.0010)
H3	27	12.3761	0.4865	(12.2042, 12.5480)

Tabel 4.26 Confidence Interval Faktor Unsur Hara N

Faktor	N	Mean	StDev	95% CI
A	81	12.2883	0.4502	(12.1859, 12.3906)
B	81	12.1514	0.3609	(12.0491, 12.2538)
C	81	12.1427	0.4510	(12.0403, 12.2450)
D	81	12.4264	0.5938	(12.3241, 12.5288)
E	81	12.2713	0.3894	(12.1690, 12.3737)
F	81	12.4721	0.4087	(12.3697, 12.5744)
G	81	12.6444	0.5216	(12.5421, 12.7468)
H	81	12.5506	0.5296	(12.4483, 12.6530)

Pooled StDev = 0.469067

Tabel 4.27 Confidence Interval Level Unsur Hara N

Level	N	Mean	StDev	95% CI
1	216	12.3232	0.4812	(12.2568, 12.3897)
2	216	12.3917	0.5140	(12.3253, 12.4581)
3	216	12.3903	0.4955	(12.3239, 12.4567)

Pooled StDev = 0.497097

b. Unsur Hara P_2O_5

Tabel 4.28 Confidence Interval Faktor dan Level Unsur Hara P_2O_5

Interaksi	N	Mean	StDev	95% CI
A1	27	5.8374	0.3357	(5.6739, 6.0010)
A2	27	5.9137	0.4596	(5.7501, 6.0773)
A3	27	6.0711	0.4619	(5.9076, 6.2347)
B1	27	5.9235	0.3453	(5.7600, 6.0871)
B2	27	6.5649	0.4636	(6.4013, 6.7284)
B3	27	6.2448	0.4083	(6.0812, 6.4084)
C1	27	6.4879	0.4907	(6.3244, 6.6515)
C2	27	6.1026	0.3977	(5.9391, 6.2662)
C3	27	6.0223	0.4388	(5.8588, 6.1859)
D1	27	6.0698	0.4345	(5.9062, 6.2334)
D2	27	6.0443	0.4719	(5.8807, 6.2079)

D3	27	5.7485	0.3828	(5.5849, 5.9120)
E1	27	5.8253	0.2367	(5.6618, 5.9889)
E2	27	6.0091	0.2964	(5.8455, 6.1726)
E3	27	6.1220	0.3436	(5.9584, 6.2856)
F1	27	5.7230	0.2667	(5.5594, 5.8865)
F2	27	5.9334	0.4192	(5.7698, 6.0969)
F3	27	5.9004	0.4758	(5.7368, 6.0639)
G1	27	6.0120	0.5890	(5.8480, 6.1750)
G2	27	6.0450	0.5410	(5.8810, 6.2080)
G3	27	6.1413	0.4529	(5.9778, 6.3049)
H1	27	5.8206	0.3226	(5.6570, 5.9841)
H2	27	6.2260	0.5870	(6.0630, 6.3900)
H3	27	5.7550	0.5280	(5.5910, 5.9190)

Pooled StDev = 0.432767

Tabel 4.29 Confidence Interval Faktor Unsur Hara P_2O_5

Faktor	N	Mean	StDev	95% CI
A	81	5.9407	0.4292	(5.8409, 6.0405)
B	81	6.2444	0.4818	(6.1446, 6.3442)
C	81	6.2043	0.4838	(6.1045, 6.3041)
D	81	5.9542	0.4504	(5.8544, 6.0540)
E	81	5.9855	0.3166	(5.8857, 6.0853)
F	81	5.8522	0.4031	(5.7524, 5.9521)
G	81	6.0660	0.5269	(5.9662, 6.1658)
H	81	5.9340	0.5295	(5.8342, 6.0338)

Pooled StDev = 0.457443

Tabel 4.30 Confidence Interval Level Unsur Hara P_2O_5

Level	N	Mean	StDev	95% CI
1	216	5.9624	0.4479	(5.8996, 6.0252)
2	216	6.1049	0.4953	(6.0421, 6.1677)
3	216	6.0007	0.4653	(5.9379, 6.0635)

Pooled StDev = 0.469875

c. Unsur Hara K_2O

Tabel 4.31 Confidence Interval Faktor dan Level Unsur Hara K_2O

Interaksi	N	Mean	StDev	95% CI
A1	27	25.336	0.737	(25.058, 25.614)
A2	27	26.013	0.689	(25.735, 26.290)
A3	27	26.173	0.959	(25.895, 26.451)
B1	27	26.201	0.825	(25.923, 26.478)
B2	27	25.791	0.854	(25.513, 26.069)
B3	27	26.510	0.686	(26.232, 26.787)
C1	27	25.935	0.646	(25.657, 26.213)
C2	27	26.415	0.653	(26.137, 26.692)
C3	27	25.868	0.555	(25.590, 26.146)
D1	27	25.974	0.775	(25.696, 26.252)
D2	27	26.257	0.911	(25.979, 26.534)
D3	27	26.070	0.752	(25.792, 26.348)
E1	27	26.182	0.688	(25.904, 26.460)
E2	27	26.042	0.949	(25.765, 26.320)
E3	27	26.311	0.681	(26.033, 26.589)
F1	27	26.167	0.638	(25.890, 26.445)
F2	27	26.182	0.488	(25.904, 26.460)
F3	27	26.214	0.808	(25.936, 26.492)
G1	27	25.762	0.622	(25.484, 26.040)
G2	27	26.178	0.657	(25.900, 26.456)
G3	27	25.777	0.725	(25.500, 26.055)
H1	27	26.084	0.765	(25.806, 26.362)
H2	27	25.950	0.664	(25.673, 26.228)
H3	27	26.161	0.707	(25.883, 26.439)

Pooled StDev = 0.735164

Tabel 4.32 Confidence Interval Faktor Unsur Hara K_2O

Faktor	N	Mean	StDev	95% CI
A	81	25.8406	0.8733	(25.6757, 26.0055)
B	81	26.1672	0.8361	(26.0023, 26.3321)
C	81	26.0725	0.6588	(25.9077, 26.2374)
D	81	26.1002	0.8141	(25.9353, 26.2650)
E	81	26.1784	0.7808	(26.0135, 26.3432)
F	81	26.1876	0.6499	(26.0227, 26.3525)
G	81	25.9058	0.6887	(25.7409, 26.0707)
H	81	26.0652	0.7094	(25.9003, 26.2301)

Pooled StDev = 0.755653

Tabel 4.33 Confidence Interval Level Unsur Hara K_2O

Level	N	Mean	StDev	95% CI
1	216	25.9551	0.7548	(25.8538, 26.0564)
2	216	26.1035	0.7577	(26.0022, 26.2048)
3	216	26.1355	0.7621	(26.0342, 26.2368)

d. Unsur Hara MgO

Tabel 4.34 Confidence Interval Faktor dan Level Unsur Hara MgO

Interaksi	N	Mean	StDev	95% CI
A1	27	3.6819	0.2868	(3.5997, 3.7640)
A2	27	3.6707	0.1875	(3.5886, 3.7529)
A3	27	3.6063	0.2610	(3.5242, 3.6884)
B1	27	3.7389	0.2638	(3.6568, 3.8211)
B2	27	3.8463	0.1939	(3.7641, 3.9284)
B3	27	3.8206	0.1685	(3.7385, 3.9027)
C1	27	3.9817	0.2032	(3.8996, 4.0638)
C2	27	3.8477	0.1855	(3.7656, 3.9298)
C3	27	3.8819	0.3386	(3.7998, 3.9640)
D1	27	3.8504	0.3361	(3.7683, 3.9325)
D2	27	3.9431	0.2828	(3.8610, 4.0252)
D3	27	3.7972	0.1995	(3.7151, 3.8794)
E1	27	3.8122	0.2357	(3.7300, 3.8943)
E2	27	3.7167	0.1987	(3.6346, 3.7989)
E3	27	3.8633	0.2104	(3.7811, 3.9454)
F1	27	3.7309	0.1535	(3.6488, 3.8130)
F2	27	3.6690	0.1361	(3.5869, 3.7512)
F3	27	3.7197	0.1923	(3.6376, 3.8018)
G1	27	3.8062	0.1575	(3.7241, 3.8884)
G2	27	3.7114	0.1727	(3.6293, 3.7936)
G3	27	3.7065	0.1582	(3.6244, 3.7887)
H1	27	3.6336	0.1315	(3.5515, 3.7158)
H2	27	3.6369	0.2103	(3.5548, 3.7191)
H3	27	3.6767	0.1720	(3.5945, 3.7588)

Pooled StDev = 0.217313

Tabel 4.35 Confidence Interval Faktor Unsur Hara MgO

Faktor	N	Mean	StDev	95% CI
A	81	3.6530	0.2478	(3.6051, 3.7009)
B	81	3.8019	0.2149	(3.7540, 3.8498)
C	81	3.9038	0.2552	(3.8559, 3.9517)
D	81	3.8636	0.2817	(3.8157, 3.9115)
E	81	3.7974	0.2214	(3.7495, 3.8453)
F	81	3.7065	0.1626	(3.6586, 3.7544)
G	81	3.7414	0.1674	(3.6935, 3.7893)
H	81	3.6491	0.1732	(3.6012, 3.6970)

Pooled StDev = 0.219527

Tabel 4.36 Confidence Interval Level Unsur Hara MgO

Level	N	Mean	StDev	95% CI
1	216	3.7795	0.2491	(3.7480, 3.8109)
2	216	3.7552	0.2217	(3.7238, 3.7867)
3	216	3.7590	0.2346	(3.7276, 3.7905)

Pooled StDev = 0.235392

g. Unsur Hara B_2O_3

Tabel 4.37 Confidence Interval Faktor dan Level Unsur Hara B_2O_3

Interaksi	N	Mean	StDev	95% CI
A1	27	0.6356	0.1552	(0.6032, 0.6679)
A2	27	0.5489	0.0600	(0.5165, 0.5812)
A3	27	0.5922	0.0407	(0.5599, 0.6256)
B1	27	0.5814	0.0669	(0.5491, 0.6138)
B2	27	0.6005	0.0731	(0.5682, 0.6329)
B3	27	0.8484	0.1582	(0.8161, 0.8808)
C1	27	0.5550	0.0892	(0.5227, 0.5874)
C2	27	0.5774	0.1021	(0.5451, 0.6098)
C3	27	0.5860	0.0556	(0.5537, 0.6183)
D1	27	0.5314	0.0415	(0.4991, 0.5637)
D2	27	0.6533	0.0792	(0.6210, 0.6856)
D3	27	0.6459	0.1484	(0.6136, 0.6782)
E1	27	0.6408	0.1028	(0.6084, 0.6731)
E2	27	0.5918	0.0982	(0.5594, 0.6241)
E3	27	0.5792	0.0522	(0.5468, 0.6115)
F1	27	0.4581	0.0479	(0.4258, 0.4904)
F2	27	0.4556	0.0730	(0.4233, 0.4879)

Lanjutan Tabel 4.37 Confidence Interval Faktor dan Level Unsur Hara B_2O_3

F3	27	0.5312	0.0744	(0.4989, 0.5635)
G1	27	0.4816	0.0508	(0.4493, 0.5140)
G2	27	0.5052	0.0815	(0.4729, 0.5375)
G3	27	0.5156	0.0718	(0.4832, 0.5479)
H1	27	0.4413	0.0606	(0.4089, 0.4736)
H2	27	0.4526	0.0632	(0.4203, 0.4849)
H3	27	0.4488	0.0438	(0.4165, 0.4811)

Pooled StDev = 0.0855693

Tabel 4.38 Confidence Interval Faktor Unsur Hara B_2O_3

Faktor	N	Mean	StDev	95% CI
A	81	0.5922	0.1039	(0.5706, 0.6139)
B	81	0.6768	0.1622	(0.6551, 0.6985)
C	81	0.5728	0.0846	(0.5512, 0.5945)
D	81	0.6102	0.1136	(0.5885, 0.6319)
E	81	0.6039	0.0904	(0.5822, 0.6256)
F	81	0.4816	0.0743	(0.4599, 0.5034)
G	81	0.5008	0.0699	(0.4791, 0.5225)
H	81	0.4475	0.0560	(0.4259, 0.4692)

Pooled StDev = 0.0992876

Tabel 4.39 Confidence Interval Level Unsur Hara B_2O_3

Level	N	Mean	StDev	95% CI
1	216	0.54065	0.11002	(0.52458, 0.55671)
2	216	0.54816	0.10360	(0.53210, 0.56423)
3	216	0.59341	0.14331	(0.57734, 0.60947)

Pooled StDev = 0.120241

h. Ukuran Fisik Granula

Tabel 4.40 Confidence Interval Faktor dan Level Ukuran Fisik Granula

Interaksi	N	Mean	StDev	95% CI
A1	27	3.3393	0.4267	(3.2288, 3.4497)
A2	27	3.4870	0.4018	(3.3766, 3.5975)
A3	27	3.3644	0.3309	(3.2540, 3.4749)
B1	27	3.3704	0.3327	(3.2599, 3.4808)
B2	27	3.2857	0.2224	(3.1753, 3.3962)
B3	27	3.4375	0.2449	(3.3270, 3.5479)
C1	27	3.3905	0.2705	(3.2800, 3.5009)
C2	27	3.1027	0.1206	(2.9923, 3.2132)
C3	27	3.1373	0.2604	(3.0269, 3.2478)
D1	27	3.4238	0.3617	(3.3133, 3.5342)
D2	27	3.4878	0.2796	(3.3774, 3.5983)
D3	27	3.2585	0.2816	(3.1481, 3.3690)
E1	27	3.2510	0.3560	(3.1405, 3.3614)
E2	27	3.2963	0.1915	(3.1858, 3.4067)
E3	27	3.5006	0.2780	(3.3902, 3.6111)
F1	27	3.7523	0.2996	(3.6419, 3.8628)
F2	27	3.6476	0.2302	(3.5371, 3.7580)
F3	27	3.6156	0.3224	(3.5051, 3.7260)
G1	27	3.5807	0.2517	(3.4703, 3.6912)
G2	27	3.6180	0.2651	(3.5075, 3.7284)
G3	27	3.5900	0.3091	(3.4795, 3.7004)
H1	27	3.6328	0.2956	(3.5224, 3.7433)
H2	27	3.5044	0.2874	(3.3939, 3.6148)
H3	27	3.6839	0.2151	(3.5734, 3.7943)

Pooled StDev = 0.292251

Tabel 4.41 Confidence Interval Faktor Unsur Hara Ukuran Fisik Granula

Faktor	N	Mean	StDev	95% CI
A	81	3.3969	0.3892	(3.3314, 3.4625)
B	81	3.3645	0.2747	(3.2990, 3.4301)
C	81	3.2102	0.2592	(3.1446, 3.2757)
D	81	3.3901	0.3212	(3.3245, 3.4556)
E	81	3.3493	0.3003	(3.2837, 3.4148)
F	81	3.6718	0.2892	(3.6063, 3.7374)
G	81	3.5962	0.2734	(3.5307, 3.6618)
H	81	3.6070	0.2758	(3.5415, 3.6726)

Pooled StDev = 0.300386

Tabel 4.42 Confidence Interval Level Ukuran Fisik Granula

Level	N	Mean	StDev	95% CI
1	216	3.4676	0.3603	(3.4230, 3.5122)
2	216	3.4287	0.3103	(3.3841, 3.4733)
3	216	3.4485	0.3290	(3.4039, 3.4931)

Pooled StDev = 0.333851

Dari hasil uji *confidence interval* menunjukkan bahwa nilai rata-rata (*mean*) pengukuran berada di antara nilai 95% CI. Dengan interval yang saling berimpit menandakan bahwa metode Taguchi dapat digunakan untuk optimasi pada penelitianini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan dari penelitian peningkatan kualitas produk pupuk NPK kelapa sawit di PT.XYZ dengan menggunakan metode *statistical process control* dan Taguchi eksperimen

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan metode *statistical process control* dan Taguchi eksperimen diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisa kemampuan proses dengan menggunakan metode *statistical process control* diketahui bahwa nilai *Cpk* masing-masing unsur hara adalah sebagai berikut: *Cpk* N = 1,15; *Cpk* P_2O_5 = 0,58; *Cpk* K_2O = 0,63; *Cpk* MgO = 0,77 dan *Cpk* B_2O_3= 0,77.

   Mengacu pada data diatas, didapatkan kondisi unsur hara P_20_5, K_2O, MgO dan B_2O_3 belum mampu memenuhi spesifikasi mutu produk yang ditandai dengan nilai *Cpk* <1. Oleh karena itu diperlukan suatu *treatment* terhadap kondisi proses yang sedang berlangsung saat ini agar variansi produk dapat ditekan semaksimal mungkin serta mampu menciptakan kondisi proses yang *robust* yaitu dengan menggunakan Taguchi eksperimen.

2. Menggunakan eksperimen Taguchi, kondisi terbaik dicapai pada kombinasi faktor dan level A_3-B_3-C_2-D_2-E_3-F_1-G_2-H_1 dengan faktor A (*raw material intake*) memberikan pengaruh terbesar pada level 3 (27 mt/jam), faktor B (*water usage*) pada level 3 (1100 m^3/jam), faktor C (*gas usage*) pada level 2 (100 MMBtu), faktor D (*granulator material temperature*) pada level 2 (35°C), faktor E (*dryer material temperature*) pada level 3 (52°C), faktor F (*cooler material temperature*) pada level 3 (44°C), faktor G (*finish product temperature*) pada level 2 (39°C) dan faktor H (*process environment temperature*) pada level 3 (31°C).

3. Dari hasil perhitungan *Signal to Noise Ratio* dengan karakteristik *Nominal is the best* kondisi terbaik dicapai pada kombinasi faktor dan level A_3-B_2-C_1-D_2-E_2-F_2-G_1-H_2 dengan faktor A (*raw material intake*) level 3 (27 mt/jam), faktor B (*water usage*) pada level 2 (1000 m^3/jam), faktor C (*gas usage*) pada level 1 (90 MMBtu), faktor D (*granulator material temperature*) pada level 2 (35°C), faktor E (*dryer material temperature*) pada level 2 (51°C), faktor F (*cooler material temperature*) pada level 2 (43°C), faktor G (*finish product temperature*) pada level 1 (38°C) dan faktor H (*process environment temperature*) pada level 2 (29°C).
4. Dari hasil perhitungan analisis variansi (ANOVA) untuk masing-masing unsur hara pada eksperimen menunjukkan interaksi faktor dan level berikut ini: kadar unsur hara N tertinggi didapat dari faktor *finish product temperature* pada suhu 38°C, kadar unsur hara P_2O_5 tertinggi didapatkan dari faktor *water usage* 1000 m^3/jam, kadar unsur hara K_2O tertinggi didapatkan dari faktor *water usage* 1100 m^3/jam, kadar unsur hara MgO tertinggi didapatkan dari faktor *gas usage* 90 MMBtu, kadar unsur hara B_2O_3 tertinggi didapatkan dari faktor *water usage* 1100 m^3/jam dan ukuran fisik granula terbaik didapatkan dari faktor *cooler material temperature* pada suhu 42°C
5. Dari hasil perhitungan persentase kontribusi diketahui bahwa rata-rata nilai persen kontribusi kurang dari 15 %. Sehingga dari data tersebut dapat diasumsikan bahwa tidak ada faktor-faktor penting yang harus dihilangkan dari eksperimen. Namun apabila didapati nilai persen kontribusi melebihi 50%, maka ada beberapa faktor penting yang harus dihilangkan. Sebab yang lain karena kondisi tidak terkontrol secara tepat maupun ada error pengukuran yang terlampau besar.
6. Berdasarkan perhitungan selang kepercayaan (*confidence interval*) diketahui bahwa nilai rata-rata (*mean*) pengukuran berada di antara nilai 95% confidence interval.

5.2 Saran

Berdasarkan analisis, pembahasan dan kesimpulan yang didapatkan, ada beberapa hal yang dapat dijadikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Mengingat optimasi belum dapat dilakukan karena jumlah respon yang terlalu banyak maka perlu kiranya mengkombinasikan metode eksperimen Taguchi ini dengan metode optimasi lainnya misalnya dengan menggunakan metode statistika multivariate *Principal Component Analysis* (Hybrid PCA-Taguchi), metode PCR-TOPSIS (*Process Capability Ratio-Technique for Order Preference by Similiarity to Ideal Solution*), metode *Grey Relational Analysis* (GRA) maupun dengan menggunakan metode *Artificial Neural Networks* untuk mempertajam ketepatan prediksinya.

2. Menggunakan karakteristik faktor dan respon yang berbeda. Misalnya dengan menambahkan beberapa jenis material binder (ERP, MRP atau JRP), jenis coating (*Wonderclay* dan *White Clay*) dengan tujuan agar lebih terlihat perbedaannya ketika diaplikasikan dalam proses.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

Belavendram, N (1995), '*Quality by Design: Taguchi Techniques for Industrial Experimentation'*, Prentice Hall, London

David A. Garvin (1984), '*What Does Quality Really Mean*?', Sloan Management Review 26, issue 1, page 25-43

Damayanti, Mia Kristina (2017), *'Desain Parameter Eksperimen Untuk Optimasi Nilai Frangibility Factor Material Komposit Dengan Menggunakan Metode Taguchi Dan Neural Network'*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Ghozali, Imam (2009), '*Ekonometrika – Teori, Konsep dan Aplikasi dengan SPSS 17'*, Badan Penerbit Diponegoro, Semarang

http://datavizcatalogue.com/scatterplots-anatomy, The Data Visualisation Catalogue, diakses 24 Mei 2019

IFDC/UNIDO (1998), '*Fertilizer Manual*', Third Edition, Copyright © by United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and International Fertilizer Development Center (IFDC)

Montgomery, Douglas, C. (2013), '*Introduction to Statistical Quality Control'*, Seventh Edition, Copyright © by John Wiley & Sons, Inc.

Naresh K. Sharma, Elizabeth A. Cudney, Kenneth M. Ragsdell, Kioumars Paryani (2007), '*Quality Loss Function – A Common Methodology for Three Cases*' Journal of Industrial and System Engineering, Vol.1, No.3, pp.218-234

Priyatno, Duwi (2009), '*SPSS Untuk Analisis Korelasi, Regresi dan Multivariate*', Gava Media: Yogyakarta

Pavol Gejdos (2015), *'Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control'*, Elsevier B.V., Procedia Economics and Finance 34, pp.565-572 https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01669-X

Roy, R. (1990), '*A primer on Taguchi Method*', American Suplier Institute, Michigan

Roberta S. Russell, Bernard W. Taylor III (2014), '*Operations and Supply Chain Management, Eighth Edition',* Copyright © by John Wiley & Sons, Singapore Pte. Ltd

Ross, Phillip J., (1996), *'Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design – 2nd ed*,' Mc Graw-Hill International Editions

Radu Godina, Carina Primentel, F. J. G. Silva, Joao C. O. Matias (2018), *'Improvement of the Statistical Process Control Certainty in an Automotive Manufacturing Unit'*, Elsevier B. V., Procedia Manufacturing 17, pp.729-736. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.123

Soejanto, I., (2009), *'Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi'*, Graha Ilmu, Yogyakarta

Suef, M., Suparno, S. and Singgih, M.L. (2017), *'Categorizing Product Attributes Efficiently in QFD-Kano: a case analysis in telecommunication'*, The TQM Journal, Vol.29 No.3, pp.512-527

Suryaningsih (2010), '*Desain Eksperimen Taguchi Dalam Menentukan Penyetelan Mesin yang Optimal Dalam Proses Pengemasan Creamer Untuk Menghasilkan Kekuatan Seal yang Terbaik*', Skripsi, Universitas Indonesia

The British Quality Foundation (2006), "*Back to Basics*", Quality World 32, issue 5: p.37

Yudha, Fajar Alam (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)*'. Master Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Zulfatul Hanna, Anggun Dwi Apriliani, Juwari Purwo Sutikno (2015), *'Studi Awal Desain Pabrik Pupuk Organik Granul Dari Organic Waste'*, Jurnal Teknik ITS, Vol.4, No.2, ISSN: 2337-3539, hal.153-156. https://doi.org/10.12962/j23373539.v4i2.9736

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Unsur Hara Uji Normalitas

No. Sample	Unsur Hara				
	N	P_2O_5	K_2O	MgO	B_2O_3
1	12,81	6,06	26,57	3,93	0,56
2	12,92	5,77	25,89	3,84	0,51
3	13,03	5,68	26,23	3,65	0,59
4	12,84	5,95	26,04	3,64	0,61
5	12,72	5,61	25,69	3,69	0,54
6	12,90	5,70	25,77	3,79	0,52
7	12,83	5,83	26,80	3,72	0,56
8	12,71	5,96	25,63	3,90	0,54
9	12,98	5,94	25,51	3,72	0,50
10	12,88	5,88	25,78	3,88	0,53
11	12,93	5,86	25,89	3,94	0,57
12	12,99	5,60	25,36	3,99	0,63
13	12,73	5,76	25,59	3,75	0,51
14	12,87	5,72	25,14	3,94	0,64
15	12,80	5,93	25,47	3,68	0,52
16	12,90	5,75	25,33	3,79	0,62
17	12,89	5,94	25,78	3,86	0,58
18	12,86	5,73	25,98	3,97	0,52
19	12,94	6,00	26,55	3,74	0,59
20	12,86	5,81	25,39	3,57	0,55
21	12,90	5,70	25,62	3,54	0,55
22	12,88	5,84	25,44	3,76	0,63
23	12,90	5,82	25,91	3,70	0,57
24	12,80	5,63	25,51	3,57	0,56
25	12,76	5,82	25,99	3,56	0,54
26	12,84	5,72	25,56	3,78	0,59
27	12,98	5,97	26,31	3,83	0,60
28	12,86	5,84	26,07	4,00	0,55
29	13,12	6,09	25,44	3,97	0,63
30	12,78	5,93	25,69	3,69	0,64
31	12,72	5,64	25,48	3,71	0,51
32	12,85	5,80	25,38	3,80	0,54
33	12,92	5,61	26,39	3,72	0,63
34	12,82	5,86	25,99	3,58	0,50
35	12,93	6,11	26,68	3,94	0,54
36	13,20	6,06	25,70	3,40	0,50
37	12,95	5,85	25,17	3,46	0,50
38	12,83	5,73	25,99	3,79	0,56
39	13,05	5,56	25,89	3,90	0,59
40	12,83	5,93	25,75	3,69	0,51
41	12,79	5,88	25,73	3,77	0,59
42	12,94	5,76	25,38	3,83	0,51

43	12,92	6,01	25,25	3,74	0,61
44	13,10	5,72	25,54	3,71	0,57
45	13,04	5,53	25,82	3,73	0,52
46	12,90	5,83	26,06	3,62	0,57
47	12,88	5,90	26,11	3,83	0,55
48	12,95	5,64	25,80	3,97	0,55
49	12,81	5,75	26,07	3,86	0,66
50	13,09	5,88	25,63	3,66	0,53
51	12,82	5,74	25,59	3,81	0,55
52	12,70	6,08	25,89	3,96	0,57
53	13,02	5,84	25,72	3,97	0,54
54	12,88	5,55	25,36	3,79	0,57
55	12,91	6,01	26,07	3,81	0,56
56	13,00	5,68	25,76	3,73	0,63
57	12,77	6,06	26,19	4,03	0,53
58	12,89	5,90	26,15	3,93	0,53
59	12,93	5,87	25,97	3,98	0,60
60	12,87	5,81	26,26	4,03	0,52
61	13,03	5,84	26,08	3,90	0,56
62	12,89	5,78	26,27	3,76	0,52
63	12,96	5,94	25,89	3,89	0,55
64	12,99	5,96	25,67	4,04	0,59
65	13,04	5,69	26,00	3,82	0,57
66	12,93	5,92	25,81	4,05	0,55
67	12,96	6,02	25,93	3,80	0,55
68	12,88	5,70	25,55	3,80	0,55
69	13,08	5,64	25,70	3,96	0,58
70	12,93	5,74	26,19	3,79	0,53
71	12,89	5,72	25,97	4,02	0,64
71	13,06	5,72	25,59	3,96	0,56
73	12,92	5,97	25,85	3,79	0,59
74	12,88	5,94	26,11	3,90	0,62
75	13,03	5,51	26,57	3,90	0,57
76	12,81	5,84	26,26	3,87	0,61
77	12,98	5,74	26,38	3,61	0,59
78	13,08	5,58	26,75	3,83	0,58
79	12,87	5,79	25,81	3,84	0,58
80	12,99	5,62	26,86	3,88	0,64
81	12,95	5,58	25,89	3,96	0,58
82	12,87	5,64	26,46	3,88	0,58
83	12,93	5,51	25,96	3,76	0,59
84	12,95	5,95	26,15	3,83	0,57
85	13,07	5,59	25,89	3,87	0,57
86	12,92	5,68	26,33	3,83	0,53
87	12,91	5,68	25,64	3,61	0,60
88	13,06	5,66	25,67	3,73	0,60

89	12,92	5,54	26,68	3,93	0,57
90	12,94	5,77	25,93	3,91	0,62

Lampiran 2. Tingkat Kekerasan Material

Jenis Material	Kandungan Unsur Hara	Kekerasan (kgf/granul)
Prilled urea	46% N	0,8 – 1,2
Granular urea	46% N	1,5 – 3,5
Granular ammonium sulphate	21% N	1,5 – 2,5
Prilled ammonium nitrate	34% N	1,2 – 1,7
Granular diammonium phosphate	18% N – 46% P	3,0 – 5,0
Granular monoammonium phosphate	11% N – 55% P	2,0 – 3,0
Granular triple superphosphate	46% P	1,5 – 3,0
Prilled potassium nitrate	13% N – 44% K	1,5 – 2,0
Granular potassium chloride	60% K	3,0 – 5,0
Granular potassium sulphate	50% K	3,0 – 4,0

Lampiran 3. Suhu Titik Lebur Material

Jenis Material	Kandungan Unsur hara	Suhu Titik Lebur (^oC)
Ammonium nitrate	33,5% N	167
Urea	46% N	136
Sodium nitrate	16% N	308
Potassium nitrate	13% N – 44% P	333
Calcium nitrate	12% N	43
Urea-ammonium phosphate	21% N – 42% P	153
Urea-ammonium phosphate	36% N – 18% P	130
Urea-ammonium phosphate	17% N – 27% P – 17% K	143
Nitrophosphate	26% N – 13% P	148
Nitrophosphate	20% N – 20% P	152

Lampiran 4. Kandungan Unsur Hara Phosphate

Material	Total P_2O_5 (%)	Soluble P_2O_5 (%)*	Total CaO (%)	Soluble CaO (%)*
TSP	46	45	20	16
CIRP	31	7,5	40	6
CRP	32	6,7		5
ERP	28	10	40	8

* Larut dalam 2% asam sitrat (*citric acid*). TSP – Triple Super Phosphate. CIRP – Christmas Island Rock Phosphate. CRP – China Rock Phosphate. ERP – Egyptian Rock Phosphate.

Lampiran 5. Material Safety Data Sheet (MSDS) Bahan Baku

MATERIAL SAFETY DATA SHEET
(Safety Data Sheet)

Registered

Russian SDS N. 0 0 2 0 3 9 4 4 . 2 0 . 5 5 8 1 9 — from March 15, 2019

Valid till March 15, 2024

Association Non-Profit Partnership
Coordinating Informational Center
of CIS Member States on approximation of regulatory practices

Director Deputy N.M. Muratova — Signature, seal

Description:

commercial (as per regulations)	**Agrichemical Muriate of Potash (Export Grade)**
chemical (acc.to IUPAC)	**Potassium chloride**
trade	**Muriate of Potash (Export Grade) brands: Eurogran, G, N, O**
synonyms	**Potassium salt of hydrochloric acid**

OKPD-2 Code: 2 0 . 1 5 . 5 1 . 0 0 0

FEACN Code: 3 1 0 4 2 0 5 0 0 0

Designation and title of the basic reference document: standard, regulation, specification, etc. (GOST, TU, OST, STO, (M)SDS, etc.)

TU 2184-041-00203944-2016 Muriate of Potash (Export Grade)

HAZARD DESCRIPTION:

Signal word: **Warning**

Brief Description (Narrative): Moderately hazardous substance by impact on human as per criteria set in GOST 12.1.007-76. Ingestion may be harmful. Skin contact causes a slight irritation. Eyes contact causes irritation. May be hazardous for environment.

Detailed: in attached 16 Sections of the MSDS.

MAIN HAZARDOUS COMPONENTS	OEL, mg/m³	Hazard class	No. CAS	No. EC
Potassium chloride	5	3	7447-40-7	231-211-8

APPLICANT: Public Joint-Stock Company "Uralkali", (company's name) Berezniki (city)

Type of Applicant: producer, supplier, vendor, exporter, importer (delete as appropriate)

OKPO Code: 0 0 2 0 3 9 4 4

Hotline: (3424) 29-60-88

PJSC Uralkali Technical Director Deputy for Processing: _____ (signature) S.N. Aliferova (name)

Seal by PJSC Uralkali

Для документов КОПИЯ ВЕРНА Начальник отдела ВЭС Светанова Л.А.

Material Safety Data Sheet (MSDS) complies with UN Recommendations ST/SG/AC.10/30 «GHS»

IUPAC	- International Union of Pure and Applied Chemistry
GHS	- GHS means UN recommendations ST/SG/AC. 10/30 Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals.
OKPD 2	- All-Russian Classifier of Types of Economic Activity
OKPO	- All-Russian Enterprises and Organizations Classifier.
Commodity Classification of	- Harmonized Commodity Description and Coding System.
CAS No.	- Number of the substance in the Register of the Chemical Abstracts Service.
EU No.	- Number of the substance in the Register of the European Chemicals Agency.
OEL	- maximum allowable concentration of a chemical in the workplace air, mg/m3
Signal word	- word used to emphasize the degree of danger of chemical products and selected in accordance with GOST 31340-2013

КОПИЯ ВЕРНА
НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА ВЭС
КАЛЕГАНОВА Л.А.

1. Identification of the Chemical and Producer/Supplier

1.1. Chemical Identification

1.1.1 Product name:	Muriate Of Potash (Export Grade) [2] [12]
1.1.2 Recommended use of the chemical (including restrictions on use)	For direct soil application according to the agrochemical recommendation for the area (field) and the agricultural crop as a potassium fertilizer, as well as for use in manufacturing of compound fertilizers and other industries [2]

1.2. Identification of the Producer/Supplier

1.2.1 Full official name of the Company organizations	Public Joint Stock Company "Uralkali"
1.2.2 Address (Postal and legal)	618426 Berezniki Perm Region Pyatiletki street 63
1.2.3 Phone number, including emergency calls and time limits efficiency	(3424) 29-60-88 (from 6-30 till 15:15 Moscow time)
1.2.4 Fax	(3424)29-61-00
1.2.5 E-mail	Svetlana.Aliferova@uralkali.com

2 Hazards Identification (-s)

2.1. General hazards of the chemical products (information on the hazard classification in accordance with Russian legislation (GOST 12.1.007-76) and GHS (GOST 32419-2013, GOST 32423-2013, GOST 32424-2013, GOST 32425- 2013)	3rd class of hazard by aerosol impact on human - moderately hazardous substance [1.2.7.9] Classification GHS [3-6]: Chemicals that are acutely toxic on the body if swallowed: 5th class; Chemicals causing damage (necrosis) / skin irritation: 3rd class; Chemicals causing serious eye damage / irritation: 2B class

2.2 Information on warning labels in accordance with GOST 31340-2013

2.2.1 Signal word	Warning
2.2.2 Hazard (symbols) pictograms	Unavailable
2.2.3 Brief Hazard Characteristic (H Phrases)	H303: May be harmful if swallowed H316: Skin contact causes irritation; H320: Eye contact causes irritation; [12]

3 Composition (Information on Ingredients)

3.1 Overall Information on Product

3.1.1 Chemical name (under IUPAC)	Potassium chloride	[7]

3.1.2 Chemical formula — KCl [7]

3.1.3 General characteristics of composition (subject to brand assortment; production process) — Potassium chloride was obtained as a result of processing sylvinite ores by halurgical method with processing reagents.

Distinctive features:

1 Min. potassium chloride mass fraction 95%, as per K_2O - 60%
2 Grain size distribution (size fraction by mass)
3 Dust generation - 0.05 - 0.35 g/kg

[1,2]

3.2 Ingredients

(name, CAS and EU numbers, mass fraction (to be 100% in total), work area TLV or ASLL hazard classes, links to data sources)

Table 1 [1, 7,7, 8,13]

Ingredients (Name)	Mass fraction, %	Hygiene Standards in the air of the working area		CAS No.	EC No.
		OEL, mg/m³	Safety class; Group;		
Potassium chloride, min.	95	5(a)	3	7447-40-7	231-211-8
Sodium chloride	2.88	5(a)	3	7647-14-5	231-598-3
Calcium sulfate	0.73	2(a)	3	7778-18-9	231-900-3
insoluble in water	0.45	not established	none	-	-
anticaking/ Dust suppressing agents	0.18	not established	none	-	-
Note: a - spray					

4 First aid measures

4.1 Symptoms observed

4.1.1 Toxic effect of Inhalation (if inhaled): — Irritates the upper respiratory tract and throat, causes cough, atony, decreased activity, irregular breathing [7]

4.1.2 Skin contact — Slightly irritating: prevents repair of skin injuries. Prolonged exposure causes skin dryness [7]

4.1.3 In case of eye contact — Causes slight irritation of eye mucosa: redness [7]

4.1.4 Ingestion (swallowing): — Clinical features of acute exposure: wasting, decreased motor activity, throat irritation, cough and rhythm disturbance. [7]

In severe cases, i.e. ingestion of high doses - a burning sensation in the mouth, nausea, vomiting, abdominal pain, diarrhea, impaired heart rate, incoordination, convulsions [7]

4.2 First Aid Measures

4.2.1 Inhalation — Fresh air, warmth, rest

4.2.2 Skin contact — Flush with plenty of water Seek medical attention, when necessary.

[7]

4.2.3 Eye Contact	Flush with plenty of running water Seek medical advice if necessary. [7]
4.2.4 Ingestion	Rinse , drink plenty of water, activated charcoal (on a 1g sorbent :1 glass of water ratio), saline purge Seek medical advice if necessary. [7]
4.2.5 Precautions	Data is not available [7]

5 Fire-Fighting Measures

5.1 General information of explosion and fire safety (GOST 12.1.044-89)	Fire-flame-proof products [7]
5.2 Flammable indicators (Nomenclature of Indicators according to GOST 12.1.044-89 and GOST 30852.0-2002)	below limits[7]
5.3 Products of combustion and/or thermal degradation and associated danger	The product is non-combustible and does not produce any combustion [7]
5.4 Suitable Extinguishing Media	Non flammable. The main source of ignition shall be applied in the seat of fire extinguishing [1]
5.5 Forbidden Extinguishing Media	not available [7]
5.6 Personal Protective Equipment for precautions for firefighters: (PPE for Firefighters)	Fire fighting clothing (jacket and trousers with removable heat insulating clips) together with fire service belt, gloves, helmet and special protective footwear [17]
5.7 Special fire fighting procedures	Package may be involved in the combustion process [1]

6. Measures for Prevention and Elimination of Accidents, Emergencies and their Consequences

6.1 Measures for Prevention of Harmful Impact on People, Environment, Facilities, Structures, etc. in Accidents and Emergency Situations

6.1.1 Necessary general response to accidents and emergencies Isolate the hazardous area.	Do not let unauthorized people in the danger area. Unauthorized people and vehicles are forbidden. Use personal protective equipment. Provide first aid to the injured or seek medical advice. Send people from the affected area to the medical examination [1,28]
6.1.2 Personal Protection Equipment in Emergencies (PPE for Emergency Crews)	Special clothes for protection against dust, protective glasses, gloves and footwear. In the seat of fire use fire-resistant suite with self-rescuer SPI-20 or depending on the main source of ignition [1,28]

ВЕРНА
ЗЭС
Л.А.

6.2 Procedure for Elimination of Accidents and Emergencies

6.2.1. Actions for leaks, spills, deposits: (including measures to eliminate them and precautions to ensure environmental protection)

In case of indoor spillage, collect sodium chloride in a container, use wet clean-up techniques. In case of spillages in open areas and transportation, address to the regional centre of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-Being Prevent ingress in water bodies, sewage. Prevent entry into reservoirs, collectors or drains. Cover up with sand and soil in case of dusting. Store Pure potassium chloride (in container or reservoir) or subject to agreement with Manufacturer send to final destination or return for processing Product rejects (damaged containers, packaging) to be collected and disposed off at landfills or at places preliminarily agreed upon by local sanitary and/or environmental authorities. Vehicles and solid surfaces to be rinsed with large amounts of water

[28,29]

6.2.2 Actions in Fire Conditions

Potassium chloride is not flammable. The main source of ignition shall be applied in the seat of fire extinguishing

[28]

7. Handling and storage of chemicals

7.1.1 System of Engineering Solutions

Safety Precautions When Handling Chemical Products

Forced-air-exhaust ventilation of working premises. Periodic monitoring of the value of OEL of industrial premises. Use personal protective equipment Timely cleaning at workplaces, spill removal, dust control measures during packing into containers [1.18]

7.1.2 Environmental Protection Measures

Released dry containers may be used as packages for nonfood products or collected for recycling. Spillages are collected and used as a potassium fertilizer. Prevent dusting to the environment, ingress into sewage, ground and surface water, soil in amounts exceeding established health standards: periodic monitoring of hazardous substances in the workplace air, air conditions and water body conditions in the vicinity of producing company, runoff analysis to ensure hazardous substances being within allowed concentrations

[1,7,18]

7.1.3 Recommendations for Secure Moving and Transportation

Transport in bulk or in containers by all means of transport according to rules of goods

carriage in effect for such means of transport

To ensure safe carriage the goods might be packed in special flexible containers

with polyethylene lining. [1.2]

On the road, rail, sea and river transport use securely closed large-sized packages, including marine GP containers [25, 26]

7.2 Terms and Rules of Storage of Chemical Products

7.2.1 Terms and Conditions for Safe Storage: (Including the warranty period of storage, life time, storage incompatible substances and materials)	Storage in closed warehouses with no ingress of precipitation and ground water Outdoor storage is allowed only if the product is packed on paved surfaces under roof [1.2] Incompatible Substances and Materials: Organic substances, acids, alkalis, [7] The warranty period of potassium chloride (for export) without packing is one year from date of shipment from the company and 5 years for the containers made of polymers Agrichemical Muriate of Potash (Export Grade) has no expiry date [2]
7.2.2 Tare and packaging (including the materials from which they were made)	Containers are made of polypropylene fabric
7.3 Security Measures and Rules for household application	Inserts are made of polypropylene [1] The product is not used in everyday life [1,2]

8. Personal Protection Equipment for personnel

8.3. Exposure controls and personal protection equipment

8.1 Parameters of working area subject to mandatory control (OEL or ASLI)	OEL (spray) - 5 mg/m^3 [7, 13]
8.2 Measures to Control Content of Harmful Substances In Exposure Limits	Aspiration in overload areas Ventilation of production facilities. Air monitoring [1,13]
8.3.1 General guidelines	Avoid direct contact with the product, use protective clothing, footwear, glasses and gloves. Systematically clean facilities and industrial areas from dust and spillage of the product. Observe good personal hygiene. Employees handling sodium chloride shall be subject to initial and periodic medical examinations [1, 2, 15]
8.3.2 Respiratory protection (types RPE)	dust respirators brands 3M, IVA -P or similar to below mentioned[1]

8.3.3 Protection Equipment (material, type) (clothing, footwear, hand protection, eye protection)	
8.3.4 Personal Protective Equipment for Household Application:	Cotton clothing, leather boots, rubber boots, protective glasses and gloves [1,7]

9 Physical and chemical properties

9.1 Physical state (aggregate state, color, odour)	Muriate of Potash (Export Grade), Eurogran, G - irregularly shaped compressed granules ranging from pink to rust-coloured. Muriate of Potash (Export Grade), H.O - grayish white fine crystals or various shaped granules ranging from pink to rust-coloured.
9.2 Main characteristics of products (temperature, pH, solubility, n-octanol/.water partition ratio and other specific characteristics of the product)	Odour is missing[1] Nuclear safe [2] Melting point - 768-772 ° C Boiling point - 1406-772 ° C Heat capacity - 0.16 cal / g.grad The density of separate crystals - 1.98 g / cm ^{3} pH - 5,5-8,8 (50,000 mg/l of water) Soluble in water, mg / l – 330000 – 347000 (20°C) 560000-567000(100 °C) Slightly soluble in liquid ammonia and in ethanol [1,7]
The products are not sold in retail	

10 Stability and reactivity

10.1 Chemical stability (for instable materials decomposition products to be specified)	Chemical resistant compound [7]
10.2 Reactivity	Reacts with acids and alkalies [7]
10.3 Conditions to avoid (incl. hazardous conditions on contact with incompatible substances and materials)	Materials to avoid: Organic substances, acids, alkalis, [7] Toxic asphyxiating gas - hydrogen cloride is released upon contact with concentrated acids (HNO3, H2SO4) [22, 23] Upon contact with moisture the product becomes corrosive [1]

11. Toxicological information

11.1 General characteristics of exposure: (hazard evaluation degree (toxicity) effect on the body exposure and the most characteristic hazards)	Moderaty hazardous substance may cause irritation or general toxical action on lungs, skin and eye contact [7, 9]
11.2 Route of Exposure (inhalation, oral, in contact with skin and eyes)	Inhalation, ingestion, skin and eye contact [7]
11.3 Affected Organs, Tissues and Body Systems	nervous, cardiovascular systems, gastrointestinal tract, liver, renal system, electrolyte metabolism. Also, eyes and skin may be damaged [7]

Для документов
КОПИЯ ВЕРНА
ЗЭС
ТАНОВА Л.А.

11.4 Information about harmful effects by direct contact with the product, as well as the consequences of such effects (irritation of upper respiratory tract, eyes, and skin; skin resorptive effect and sensitization)

Irritant effect on the skin and mucous membranes
Skin resorptive effect and sensitization are established [7]

11.5 Information on long-term effects on body:
(effect on reproduction function, carcinogenicity, cumulative effect, etc.)

Mutagenic effect has not been confirmed by IARC
Embryotropic, gonadotropic, teratogenic, carcinogenic effects have not been studied
Cumulative effect is low [7]

11.6 Acute toxicity (LD50 route of exposure (oral, skin), animal species; CL_{50}, exposure time (h), animal species)

Acute toxicity (LD50 for rats and mice) DL50

mg/'kg	Route of entry	Animal specises	
2430-2600	intragastric	Rats	
1500	intragastric	Mice	
2500	intragastric	Guinea pigs	
660-770	intraperitonial	Rats	
620-1181	intraperitonial	Mice	
39-142	intravenous	Rats	
117	intravenous	Mice	[7]

12. Ecological information

12.1 General information regarding environmental impacts:
(Air, water, soil incl. observable features or symptoms)

Can contaminate the soil and waterways and lead to air dust [7]

12.2 Routes of environmental exposure:

Extremely stable in abiotic conditions (tl/2) > 30 days. [7]

Inadequate storage, handling, transportation, discharge onto local terrain, to water bodies, unauthorised disposal of wastes, incidents and accidents. Violating the integrity of the package [1]

12.3 Key Characteristics of Environmental Impact

12.3.1 Hygiene Standards
(permissible concentrations in ambient air, water, including fisheries waters, and soils)

Table 2 [7, 14-16]

Ingredients	OEL or SRLI, mg/m³ (LHI[1], class of hazard)	OEL water[2] or APL water, mg/l, (LNV, hazard class)	OEL fishery[3] or APL fishery mg/l (LNV, hazard class)	Soil OEL or ASLI, mg/kg (LNV)
Potassium chloride (Export Grade)	0,3/0,1 mg/l, res., 4th hazard class	(chlorides) - 350, org. taste, 4th hazard class (Sulphate) - 500, org. taste, 4th hazard class	(In terms of K+ - 50,0 mg/l, s.-t., 4th hazard class (environmental); 10,0 mg/l for water bodies with salinity up to 100 mg/l, tox.; for sea- 390 mg/l at 13-18 ‰; tox. (In terms of Na+) -120,0 mg/l, s.-t., 4th hazard class (environmental); for seas - 7100 at 13-18 ‰, tox., 4 hazard class (environmental) (In terms of Cl) - 300,0 mg/l , s.t., 4 (environmental) hazard class; for sea - 11900 mg/l at 12-18‰, tox., 1 hazard class	(In terms of K_2O)- 360mg/l, (water-migration)

12.3.2Ecotoxicity
(CL, EC, NOEC for fish (96 h.), , Daphnia Magna (48 h.), , algae (72 or 96 h.) and etc.)

Acute toxicity for fish:

	spice	exposure period (h)
CL_{50} 2300 mg/l	Leuciscus idus (golden orfe fish)	48
CL_{50} 373 mg/l	Phoxinus phoxinus (Phoxinus)	12-29
CL_{50} 10000 mg/l	Gambusia affinis (Gambusia)	24
CL_{50} 4200 mg/l	Gambusia affinis (Gambusia)	48
CL_{50} 74,6 mg/l	Diplodus cervinus (Carassius auratus)	4.5-15,0
CL_{50} L50 2010 mg/l	Lepomis macrochirus (Lepomis macrochirus)	96
CL_{50} 5500 mg/l	Lepomis macrochirus (Lepomis macrochirus)	24
CL_{50} 12500 mg/l	Cyprinus carpio (Cyprinus carpio)	5

Acute toxicity for Daphnia Magna:
EC_{50} * 825 mg/l 48

Toxicity to algae (in vitro culture):
EC_{50} 2500 mg/l Scenedesmus subspicatus, 72

КОПИЯ ВЕРНА
ЛЕГАНОВА

[1] LNV- limiting nuisance value (tox. - toxicological; s.-t. (san.-tox.) sanitary-toxic monitoring; org - organoleptic with clarification of the nature of the changes to organoleptic properties of water (odur - - changes odour of water, turb. - increases water turbidity, col. - water colouring, foam - causes the formation of foam, film - creates a film on water surface, taste - causes epidemics); ref. - reflectory; res. - resorptive; ref.-res. - reflective and resorptive; fish. - fisheries (change of marketability of commercial aquatic life); gen. - general sanitary).
[2] Water in water bodies for drinking and household and public supply
[3] Water in water bodies for fishery (incl. marine)

	CL_{50} 1337 mg/l Nitschera linearis	120
	Toxic effects on invertebrates:	
	CL_{50} 740 mg/l Austropoamobius pallipes Pallipes (Crustacea)	96
	CL_{50} 1214 mg/l Orconectes limosus (Crustacea)	96
	EC_{50} 940 mg/l Physella heterostropka (Mollusks)	96
	CL_{50} 398-531 mg/l Austropoamobius pallipes Pallipes (Crustacea)	30 days
	CL_{50} 626-854 mg/l Orconectes limoris (Crustacea)	30 days [7]
12.3.3 Environmental migration and transformation due to biodegradation and other processes (Oxidation, hydrolysis etc.)	No transformation [7]	

13 Recommendations Waste (Residue) Disposal

13.1 Safety Measures for Handling of Waste Generated in the Use, Storage and Transportation	For wastes, safety measures are the same as for the product (see Sections 6 and 7)
13.2 Information on places and methods of decontamination or disposal of wastes, including containers (packing)	Clean product wastes shall be collected into a container and returned into process Wastes and empty containers shall be disposed to the places by local sanitary/ environmental authorities [1.7]
13.3 Disposal recommendations for the wastes generated in household:	The product is not used in household [1,2]

14 Transportation

14.1 UN Number: (In compliance with UN Recommendations on hazardous cargo transportation)	UN numbers: no The product is not classified as dangerous [1,7]
14.2 Proper shipping name	Muriate of Potash (Export Grade) subject to brand assortment [2]
14.3 Suitable Modes of Transport	Railway cars for mineral fertilizers, box-cars and railway open-top wagons (for product packed in water-proof soft specialized containers); river and sea type vessels –in vessel holds with covered hatches; trucks – in covered or sheltered trucks. [2] Motor vehicles, railroad, river and sea transport; in securely sealed large-sized packages, incl. universal sea containers. [26, 27]

14.4 Hazardous cargo classification	Not classified as hazardous cargo. [11,24,25]
GOST 19433-88	
14.5 Hazardous cargo classification (under UN recommendations for hazardous goods transportation)	Not classified as hazardous cargo [11]
14.6 Shipping marking (manipulation signs under GOST 14192-96)	Shipping marking - as per GOST 14192-96 [2]
14.7 Emergency cards: (for rail, marine and other shipping)	Not applicable as product is not classified as hazardous cargo. [24, 27]

15 Regulatory information

15.1 **National legislation**	
15.1.1 The laws of the Russian Federation	"On Environment Protection", "On Sanitary and Epidemiological Well-being of Population", "On Environment Protection", "On Technical Regulation"
15.1.2 Regulations on personal and environmental protection	State Registration Certificate by Russian Register AT № 000437 For the shipment of product to the customers for further agricultural use the issued documents to comply with RF Regulation "On Safe Handling of Pesticides and Agrochemicals".
15.2 International treaties and agreements (if products are regulated by Montreal Protocol, Stockholm Convention or others)	Muriate of Potash handling is not regulated by any international treaties and agreements. [19-21]

16 Additional Information

16.1 MSDS revising (reissuing) information: the present MSDS substitutes No 00203944.21.33726
(indicate: "First MSDS issuance" or
"The MSDS is re-registered upon its expiry.
Previous MSDS No ... or
Sections amended ... Amending dates ...)

16.2 Sources of information used to compile this document

1. Muriate of potash process regulations
2. TU 2184-048-00203944-2014 "Muriate of Potash (Export Grade)"
3. GOST 32419-2013 "Hazard Classification of Chemical Products. General Requirements"
4. GOST 32423-2013 "Hazard Classification of Mixtures of Chemical Products by Health Effects"
5. GOST 32424-2013 "Hazard Classification of Chemical Products by Environmental Effects" General provisions".
6. GOST 32423-2013 "Hazard Classification of Mixtures of Chemical Products by Environmental Effects."
7. Information card of potentially hazardous chemical or biological substance. Agrichemical Muriate of Potash (Export Grade)

Sequence numbers of data sources are shown at each section of this MSDS as a reference

substances Potassium chloride Certificate No AT № 437 dated 13.04.1995 as amended on 11.12.2007

8. Information Letter on "Muriate of Potash" products composition, signed by S. N. Aliferova, PJSC Uralkali Technical Director Deputy for Processing S.N. Aliferova
9. GOST 12.1.007-76 "Harmful substances. Classification and general safety requirements"
10. GOST 14192-96 "Marking of cargoes"
11. GOST 19433-88 "Hazardous cargoes. Classification and labeling"
12. GOST 31340-2013 "Warning labeling of chemical products"
13. GN 2.2.5.3532-18 "Occupational exposure level of harmful substances in the air of working zone"
14. GN 2.1.5.1315-03 "Threshold exposure level of chemicals in water bodies for drinking and household and public supply"
15. GN 2.1.6.3492-17 "Threshold exposure level of pollutants in the atmospheric air of urban and rural settlements"
16. GN 2.1.7.2041-06 "Threshold exposure level of Chemicals in Soil."
17. GOST R 53264-2009 Fire fighting equipment. Special fire-fighting protective clothing. General specifications. Methods of Testing."
18. GOST 12.1.005-88 "Common sanitary requirements for the air of working zone"
19. Stockholm Convention "On Persistent Chemical Pollutants" (Stockholm, May 22.2001)
20. Vienna Convention "On Protection of the Ozone Layer" (signed in Vienna 22.03.1985)
21. "Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer" (Montreal, September 16, 1987); Decree of the Government of the Russian Federation dated 27.08.2005, No 539 "On Approval of Amendments to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, by the Russian Federation"
22. "Guide for Nitrogen Industry",-M., Khimiya, 1987, p.211
23. "Process engineering of mineral salts", Pozin M.E.,-L., Technical publishers, 1961, p.257.
24. Regulations concerning carriage of hazardous goods by rail. Approved at the fifteenth meeting of Rail Transport Council of the states - members of Commonwealth of Independent States 05.04.1996.
25. Regulations concerning carriage of hazardous goods. Addendum 2 to the Agreement on International Goods Transport by Rail (SMGS). Effective from 01.07.2006
26. RD 31.11.21.18-96 "Regulations concerning container shipment of goods by sea transport"
27. MK MPOG "International Maritime Dangerous Goods Code".
28. Emergency Cards for Dangerous Goods Carried by Railways of the CIS, the Republic of Latvia, the Republic of Lithuania, the Republic of Estonia (as amended on 19.05.2016)
29. SanPiN 2.1.7.1322-03 Sanitary Requirements to disposal of Production and Consumption Wastes

Translated into English by E. Kiseleva, M.Tokareva

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS

Penulis dilahirkan di kota Surabaya pada tanggal 29 Nopember 1979. Anak tunggal pasangan Slamet Hariyanto dan Eni Hartati. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri Margorejo 1 Surabaya pada tahun 1992, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 13 Surabaya dan lulus pada tahun 1995. Selanjutnya pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di SMK Negeri 5 Surabaya (STM Pembangunan Negeri Surabaya) dan lulus pada tahun 1998. Pada tahun 2005 penulis melanjutkan kuliah di Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS) dan mendapatkan gelar sarjana pada tahun 2010. Penulis memulai karir pada tahun 2000 di departemen QMS (*Quality Management System*) PT. Platinum Ceramics Industry hingga tahun 2010. Saat ini penulis melanjutkan karir di PT. Agri Timur Mas, salah satu produsen pupuk NPK khusus kelapa sawit pada departemen Quality Control sebagai Laboratory Assistant Manager dan Senior Executive Research and Development.