



TESIS – PM 147501
OPTIMASI MULTIRESPON DENGAN MENGGUNAKAN METODE
***RESPONSE SURFACE* DAN *DESIRABILITY FUNCTION* PADA**
PROSES PRES KERAMIK UNTUK MENGURANGI BIAYA KERUGIAN

Ricky Nugraha Saputra
NRP. 9114 201 321

DOSEN PEMBIMBING
Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M. Sc., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER MANAJEMEN TEKNOLOGI
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN INDUSTRI
PROGRAM PASCASARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

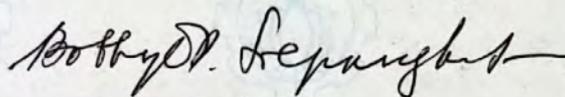
LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Manajemen Teknologi (M.MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
oleh :

Ricky Nugraha Saputra
NRP. 9114 201 321

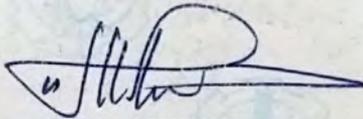
Tanggal Ujian : 27 Juli 2016
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh:



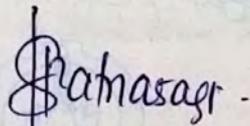
1. Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.
NIP.19530516 197803 1 001

(Pembimbing)



2. Dr. Suhartono, S.Si., M.Sc.
NIP.19710929 199512 1 001

(Penguji)

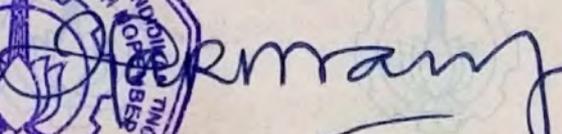


3. Dr. Vita Ratnasari, S.Si., M.Si.
NIP.19700910 199702 2 001

(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19601202 198701 1 001

OPTIMASI MULTIRESPON DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RESPONSE SURFACE* DAN *DESIRABILITY FUNCTION* PADA PROSES PRES KERAMIK UNTUK MENGURANGI BIAYA KERUGIAN

Nama Mahasiswa : Ricky Nugraha Saputra

NRP : 9114201321

Pembimbing : Ir. Bobby O. P. Soepangkat, M.Sc, Ph.D.

ABSTRAK

Pembuatan badan merupakan salah satu hal yang penting dalam ubin keramik karena menjadi kekuatan dari produk ubin keramik sendiri. Dalam pembuatan badan ini, nilai kuat patah (KP) dan nilai penyerapan air (PA) merupakan karakter kualitas yang kritis atau *critical-to-quality characteristics* (CTQs). Penentuan nilai pengaturan variabel proses pada proses pres yang tidak tepat akan menghasilkan nilai KP dan PA yang tidak memenuhi spesifikasi. Diperlukan penelitian untuk mendapatkan nilai pengaturan yang tepat pada proses pres agar nilai KP dan PA dapat memenuhi spesifikasi produk.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variabel proses terhadap respon KP dan PA. Variabel proses pada penelitian ini adalah tekanan pres (Tk) dengan level sebesar 180 bar, 280 bar dan 380 bar, kedalaman cetakan puder (Tb) dengan level sebesar 7 mm, 7,5 mm dan 8 mm dan berat puder (B) sebesar 75 gram, 80 gram dan 85 gram. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium dengan menggunakan metode *Response Surface*. Perancangan percobaan disusun dengan menggunakan metode *Box-Behnken design* (BBD). Respon dioptimasi dengan fungsi *desirability*. Penelitian juga menghitung penurunan biaya kerugian antara proses awal dengan proses yang menggunakan nilai pengaturan hasil optimasi. Penurunan biaya kerugian dihitung dengan menggunakan *Taguchi loss Function*.

Optimasi dengan fungsi *desirability* menghasilkan nilai KP sebesar 285 N/cm² dan PA sebesar 9%. Penurunan biaya kerugian adalah sebesar Rp 4718,22/keeping ubin atau 80,96%. Nilai KP dan PA yang optimal pada proses pengepresan dicapai saat nilai pengaturan Tk sebesar 204 bar, Tb sebesar 7,4 mm dan B sebesar 75 gram.

Kata Kunci : kuat patah, penyerapan air, badan ubin keramik, *Response Surface*, *Desirability Function*

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

**MULTI RESPONSE OPTIMIZATION USING RESPONSE
SURFACE METHODOLOGY AND DESIRABILITY
FUNCTION IN CERAMIC TILE PRESSING PROCESS TO
REDUCE LOSS COST**

Student Name : Ricky Nugraha Saputra
NRP : 9114201321
Supervisor : Ir. Bobby O. P. Soepangkat, M.Sc, Ph.D.

ABSTRACT

The making of body in ceramic tile is important because this process will become strength source. In this process, bending strength (KP) and water absorption (PA) are critical-quality characteristics (CTQs). Determining imprecise process variable setting in pressing process will generate KP and PA values that do not meet specifications.

Research is needed to generate exact pressing process setting so CTQs KP and PA will meet product specification. Process variables in this research are pressing pressure (Tk) with 3 level such as 180 bar, 280 bar and 380 bar, powder mold depth (Tb) with 3 level as 7 mm, 7.5 mm and 8 mm then powder weight with 3 level as 75 gram, 80 gram and 85 gram. This research will be done at lab scale and will use Response Surface Method. The experimental design in this research will use *Box-Behnken design* (BBD). Responses in this research are optimized with desirability function. Loss cost reduction is calculated using Taguchi loss Function.

The optimization using desirability function generates KP and PA values. They are 285 N/cm² and 9% respectively. The decreasing of loss cost is Rp 4718,22/tile piece or about 80,96%. The optimum value of KP and PA at pressing process is achieved when setting value of Tk is 204 bar, Tb is 7.4 mm and B is 75 gram.

Keywords: *bending strength, water absorption, ceramic tile body, Response Surface methodology, Desirability Function.*

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.2.1 Batasan Masalah	5
1.2.2 Asumsi	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Puder Ubin Keramik	7
2.2 Diagram Alir Produksi Ubin Keramik	8
2.3 Pengepresan	9
2.4 Kuat Patah (KP)/ <i>Bending Strength</i> (BS)	9
2.5 Penyerapan Air (PA)/ <i>Water Absorbtion</i> (WA)	11
2.6 Rancangan Percobaan	12

2.6.1 Identifikasi Masalah.....	12
2.6.2 Penentuan Respon.....	13
2.6.3 Penentuan Faktor dan Level.....	13
2.6.4 Penentuan Rancangan Percobaan.....	13
2.7 Pelaksanaan Percobaan	14
2.8 Analisis Statistik dari Hasil Percobaan	15
2.8.1 Analisis Regresi	15
2.8.2 Pengujian Model Statistik	17
2.9 Optimasi Respon	19
2.10 Percobaan Konfirmasi.....	21
2.11 Pengendalian Proses.....	21
2.12 <i>Taguchi Loss Function</i>	23
2.13 Posisi Penelitian	23
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Tahapan Penelitian	25
3.2 Identifikasi Masalah	26
3.3 Penetapan Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian.....	26
3.4 Penentuan Respon, Faktor dan Level.....	26
3.4.1 Respon.....	26
3.4.2 Faktor	26
3.4.3 Level	27
3.5 Perancangan Percobaan.....	28
3.6 Pelaksanaan Percobaan	28
3.6.1 Alat dan Bahan.....	28
3.6.2 Prosedur Percobaan.....	33

3.6.3 Pengukuran dan Pengambilan Data	33
3.7 Pengolahan Data,Pemodelan dan Validasi Model	33
3.8 Optimasi dengan Fungsi <i>Desirability</i>	34
3.9 Pelaksanaan Percobaan Konfirmasi dan Analisis Biaya.....	35
3.10 Pembahasan.....	36
3.11 Kesimpulan dan Saran.....	36
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Percobaan.....	37
4.2 Pemodelan KP dan PA	38
4.2.1 Pengujian Kesesuaian Model.....	40
4.2.2 Pengujian Koefisien Regresi	40
4.2.3 Pengujian Asumsi Residual	43
4.2.4 Penyusunan Model Matematis.....	46
4.2.5 Plot Permukaan.....	47
4.3 Optimasi Respon	49
4.4 Percobaan Konfirmasi Hasil Optimasi.....	51
4.4.1 Uji <i>One-Sample T</i> untuk Percobaan Konfirmasi Hasil Optimasi	52
4.4.2 Analisis Pengendalian Proses	52
4.5 Perhitungan Biaya Kerugian	53
4.6 Pembahasan.....	56
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	59

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 1.1 Diagram Pareto dari Produk Rusak/Cacat.....	2
Gambar 2.1 Diagram Alir Pembuatan Puder	7
Gambar 2.2 Puder Ubin Keramik.....	7
Gambar 2.3 Diagram Alir Produksi Ubin Keramik	8
Gambar 2.4 Ilustrasi Proses Pengepresan	9
Gambar 2.5 Metode Pengujian Kuat Patah	10
Gambar 2.6 Proses Perebusan.....	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2 Puder.....	29
Gambar 3.3 Mesin Press Lab	29
Gambar 3.4 Timbangan Digital	30
Gambar 3.5 Kiln.....	30
Gambar 3.6 <i>Saggars</i>	31
Gambar 3.7 Panci dan Kompor.....	31
Gambar 3.8 Jangka Sorong	32
Gambar 3.9 <i>Flexural Breaking Load Machine</i>	32
Gambar 4.1 Pengaruh Faktor Secara Individu Terhadap KP.....	38
Gambar 4.2 Pengaruh Faktor Secara Individu Terhadap PA.....	38
Gambar 4.3 Pengaruh Interaksi Antar Faktor Terhadap KP	39
Gambar 4.4 Pengaruh Interaksi Antar Faktor Terhadap PA	39
Gambar 4.5 Grafik ACF untuk KP	43
Gambar 4.6 Grafik ACF untuk PA	43

Gambar 4.7 Plot Residual- <i>Observation Order</i> untuk KP	44
Gambar 4.8 Plot Residual- <i>Observation Order</i> untuk PA	44
Gambar 4.9 Uji Kenormalan Residual KP.....	45
Gambar 4.10 Uji Kenormalan Residual PA.....	45
Gambar 4.11 <i>Surface Plot</i> untuk KP.....	47
Gambar 4.12 <i>Contour Plot</i> untuk KP.....	47
Gambar 4.13 <i>Surface Plot</i> untuk PA.....	48
Gambar 4.14 <i>Contour Plot</i> untuk PA.....	48
Gambar 4.15 Plot Hasil Optimasi	51
Gambar 4.16 Grafik Penurunan Biaya	55

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 1.1 Jumlah Produk Rusak/Cacat	2
Tabel 2.1 ANOVA	16
Tabel 2.2 Rumus <i>Taguchi Loss Function</i>	23
Tabel 2.3 Posisi Penelitian	24
Tabel 3.1 Penentuan Level Faktor	27
Tabel 3.2 Rancangan Percobaan <i>Box-Behnken</i>	28
Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan	37
Tabel 4.2 Nilai Koefisien Determinasi dan <i>Lack of Fit</i>	40
Tabel 4.3 Nilai P Hasil <i>Analysis of Variance</i>	41
Tabel 4.4 Nilai Estimasi Koefisien Regresi untuk KP	41
Tabel 4.5 Nilai Estimasi Koefisien Regresi untuk KP setelah Penghilangan seluruh Koefisien yang Tidak Signifikan	42
Tabel 4.6 Nilai Estimasi Koefisien Regresi untuk PA	42
Tabel 4.7 Nilai Estimasi Koefisien Regresi untuk PA setelah Penghilangan seluruh Koefisien yang Tidak Signifikan	42
Tabel 4.8 Analisa Hasil Percobaan Konfirmasi Model	46
Tabel 4.9 Batasan Optimasi Respon pada Fungsi <i>Desirability</i>	49
Tabel 4.10 Hasil Optimasi dengan Fungsi <i>Desirability</i>	50
Tabel 4.11 Ringkasan Pengujian <i>One-Sample T</i> Percobaan Konfirmasi ...	52
Tabel 4.12 Perbandingan Kemampuan Proses	52
Tabel 4.13 Komponen Biaya Produksi Ubin Keramik	54
Tabel 4.14 Ringkasan Penurunan Biaya dengan Pengaturan Hasil Optimasi	55

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran 1 Data Lengkap Hasil Produksi dengan Pengaturan Awal Untuk Respon KP	61
Lampiran 2 Data Lengkap Hasil Produksi dengan Pengaturan Awal Untuk Respon PA	63
Lampiran 3 Uji Individu KP dan PA.....	65
Lampiran 4 Uji <i>One-Sample T</i> Konfirmasi Model.....	71
Lampiran 5 Optimasi dengan Fungsi <i>Desirability</i>	73
Lampiran 6 Perhitungan Transformasi Nilai Faktor	75
Lampiran 7 Percobaan Dengan Nilai Pengaturan Baru dan Uji <i>One-Sample T</i>	77
Lampiran 8 Peta Kendali Dan Analisis Kemampuan Proses Percobaan Dengan Nilai Pengaturan Baru	79
Lampiran 9 Biaya Produksi.....	81

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT. X merupakan salah satu perusahaan penyedia ubin keramik, yang didirikan pada tahun 1991 dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan ubin keramik pada pasar domestik. Seiring dengan menjamurnya perusahaan ubin keramik, persaingan pasar menjadi semakin ketat.

Persaingan yang semakin ketat ini membuat perusahaan harus memiliki produktivitas dan kualitas produk yang lebih tinggi. Produktivitas yang tinggi ditunjukkan oleh kecilnya rasio antara produk yang gagal keluar dari pabrik karena rusak atau cacat dengan jumlah produksinya, sedangkan kualitas yang tinggi ditunjukkan dengan pemenuhan terhadap standar SNI oleh industri. SNI ISO 13006:2010 mengatur spesifikasi untuk karakteristik kualitas yang kritis atau *critical-to-quality characteristics* (CTQs) dari produk ubin keramik. Salah satu kriteria dari SNI berhubungan dengan pemenuhan terhadap spesifikasi CTQs badan ubin keramik.

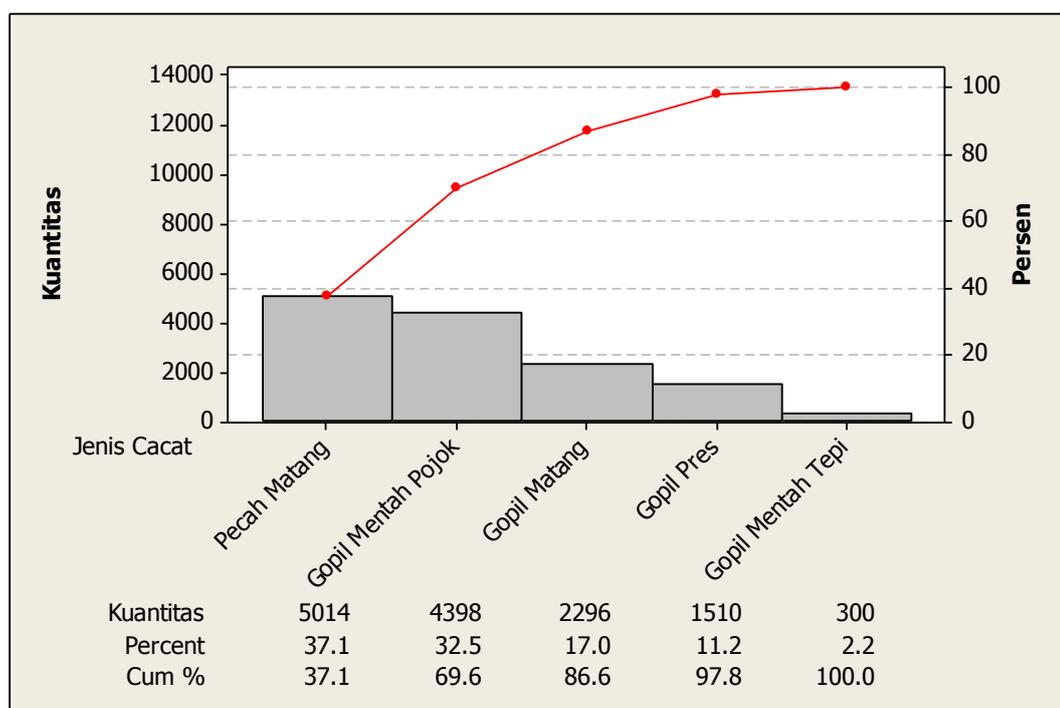
Pembuatan badan ini merupakan salah satu hal yang penting pada ubin keramik karena menjadi dasar kekuatan dan ketahanan dari produk tersebut. Konsumen biasanya kurang memberikan perhatian pada bagian badan ubin ini karena sudah tertutupi oleh motif. Akan tetapi pada proses produksi, peran dari badan ini penting untuk menentukan kekuatan dari ubin, ketahanannya terhadap cairan dan penentuan ukuran dari produk ubin tersebut. Dalam pembuatan badan ini, nilai kuat patah (KP) atau *bending strength* (BS) dan nilai penyerapan air (PA) atau *water absorption* (WA) merupakan CTQs. Pihak produsen biasanya menginspeksi dua CTQs tersebut dengan menggunakan dua macam alat ukur. Nilai KP diukur dengan menggunakan *flexural breaking load machine*, sedangkan nilai PA diukur dengan timbangan digital.

Kegagalan dalam menjaga kualitas produk ini dapat mengakibatkan kerugian besar bagi perusahaan. Tabel 1.1 menunjukkan jumlah produk rusak/cacat dan

Gambar 1.1 menunjukkan diagram Pareto dari produk rusak/cacat pada bulan Januari 2016 sampai dengan April 2016.

Tabel 1.1 Jumlah Produk Rusak/Cacat

Jenis Cacat	Kuantitas	Persen (%)	Akumulasi (%)
Pecah Matang	5.014,1	37,09	37,09
<i>Gopil</i> Mentah Pojok	4.397,7	32,53	69.,62
<i>Gopil</i> Matang	2.296,4	16,99	86,61
<i>Gopil</i> Pres	1.510,2	11,17	97,78
<i>Gopil</i> Mentah Tepi	299,7	2,22	100,00
TOTAL	13.518,1	100	



Gambar 1.1 Diagram Pareto dari Produk Rusak/Cacat (Januari sampai April 2016)

Dari diagram Pareto diatas dapat dilihat bahwa persentase pecah matang adalah yang terbesar. Persentase dari produk cacat seperti *gopil* mentah pojok, *gopil* matang, *gopil* pres dan *gopil* mentah tepi mengikuti di belakangnya. Berbagai produk cacat yang disajikan pada diagram ini berhubungan dengan CTQs KP dan PA. Proses yang berpengaruh terhadap cacat produk yang tergambar pada diagram Pareto adalah pengepresan.

Peta kendali \bar{x} dan R dari CTQ atau respon KP dengan menggunakan seting pengepresan saat ini ditunjukkan pada Lampiran 1. Nilai rata-rata KP adalah sebesar 269,38 N/cm² dengan batas kendali atas atau *upper control limit* (UCL) sebesar 307,83 N/cm² dan batas kendali bawah atau *lower control limit* (LCL) sebesar 230,92 N/cm². Hasil dari analisis kemampuan proses respon KP berdasarkan proses yang sudah terkendali ditunjukkan juga di Lampiran 1. Nilai C_p adalah sebesar 0,53 dan C_{PK} sebesar 0,29. Hal ini menunjukkan bahwa kepresisian dan keakurasian dari proses ini untuk respon KP masih rendah.

Peta kendali \bar{x} dan R dari CTQ atau respon PA dengan menggunakan seting pengepresan saat ini ditunjukkan pada Lampiran 2. Nilai rata-rata PA adalah sebesar 5,449% dengan batas kendali bawah atau *lower control limit* (LCL) sebesar 4,583% dan batas kendali atas atau *upper control limit* (UCL) sebesar 6,315%. Hasil dari analisis kemampuan proses respon PA berdasarkan proses yang sudah terkendali ditunjukkan di Lampiran 2. Nilai C_p adalah sebesar 0,78 dan C_{PK} sebesar 0,43. Hal ini menunjukkan bahwa kepresisian dan keakurasian dari proses ini untuk respon PA masih rendah.

Respon KP dan PA yang belum presisi dan akurat ini disebabkan oleh besarnya variasi. Agar variasi respon KP dan PA dapat turun, maka diperlukan nilai level yang tepat dari faktor-faktor yang diuji. Desain faktorial merupakan salah satu metode DOE (*Design of Experiment*) yang dapat melihat pengaruh faktor terhadap respon yang diuji termasuk interaksinya serta level dari faktor terbatas pada dua level saja. Desain faktorial tidak dapat digunakan bila hubungan dari faktor dan respon adalah kuadrat/tidak linier (Kiantrianda, 2015). Proses pengepresan pada penelitian ini, terdapat tiga nilai level pada tiap faktor yang berpengaruh pada respon KP dan PA. Penelitian yang memiliki tiga level dari tiap faktornya akan menghasilkan hubungan yang tidak linier antara faktor dan responnya (Sukram, 2016). Ketika hubungan faktor dan respon tidak linier, maka metode yang lebih cocok digunakan adalah *Response Surface*. Metode ini dapat menghasilkan persamaan regresi orde dua yang dapat dioptimasi (Sukram, 2016). Optimasi pada persamaan regresi *Response Surface* akan menghasilkan nilai level yang tepat agar respon dapat memenuhi spesifikasi (Sukram (2016), Sumantri (2006) dan

Faridah dkk. (2012)). Berdasarkan alasan tersebut, pemilihan metode *Response Surface* pada penelitian ini sesuai untuk menjawab tujuan dari penelitian.

Penelitian tentang optimasi respon kuat patah dan penyerapan air pada ubin keramik belum pernah dilakukan, tetapi metode *Response Surface* telah digunakan pada beberapa penelitian. Sukram (2016) menggunakan metode *Response Surface* pada penelitian tentang optimasi perbedaan warna dan kilap pada proses pengecatan dengan cat bubuk. Metode *Response Surface* dipakai juga pada penelitian tentang optimasi diameter tebar dan detonasi *cone explosive* (Sumantri, 2006), serta penelitian tentang optimasi produksi tepung porang dari *chip* porang secara mekanis (Faridah dkk., 2012).

Berdasarkan hal-hal yang telah dijelaskan, maka akan dilakukan penelitian tentang optimasi pada pengepresan untuk respon KP dan PA agar dapat memenuhi rentang spesifikasi. Karakteristik kualitas dari KP dan PA adalah nominal terbaik.

Metode *Response Surface* akan digunakan pada perancangan percobaan untuk optimasi KP dan PA, sedangkan untuk optimasinya akan digunakan fungsi *desirability*. Variabel pengepresan yang akan divariasikan pada optimasi multirespon ini adalah tekanan pres (Tk), kedalaman cetakan puder (Tb) dan berat puder (B). Pada penelitian ini akan dihitung pula penurunan biaya kerugian yang dihasilkan dari nilai pengaturan hasil optimasi berdasarkan persamaan *Taguchi loss Function*.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah penelitian ini yang dijabarkan dalam latar belakang meliputi:

1. Apakah faktor tekanan pres (Tk), kedalaman cetakan puder (Tb) dan berat puder (B) berpengaruh terhadap kuat patah (KP) dan penyerapan air (PA).
2. Bagaimana nilai level yang tepat untuk tekanan pres (Tk), kedalaman cetakan puder (Tb) dan berat puder (B) agar dapat memenuhi spesifikasi dari CTQs kuat patah (KP) dan penyerapan air (PA).
3. Berapa penurunan biaya yang diperoleh bila proses pembuatan badan ubin keramik menggunakan nilai pengaturan hasil optimasi.

1.2.1 Batasan Masalah

Batasan-batasan yang diberlakukan pada penelitian ini adalah:

1. Proses percobaan pada penelitian dilakukan dengan menggunakan skala laboratorium agar tidak mengganggu jalannya proses produksi.
2. Puder yang digunakan pada penelitian ini menggunakan karakteristik susut 7%.
3. Proses pembakaran badan ubin percobaan mengikuti temperatur kiln untuk produksi.

1.2.2 Asumsi

Untuk mendekati kajian teori dengan kenyataan di lapangan, maka penelitian dilakukan dengan asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. Karakteristik puder yang akan di pres pada penelitian dianggap homogen.
2. Pemakaian *saggar* pada proses pembakaran hasil percobaan memiliki pengaruh yang sama pada seluruh permukaannya.
3. Proses pembakaran badan pada percobaan dilakukan dalam kondisi yang ideal.
4. Selisih PA produksi dan PA Lab adalah 4%.

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang dijelaskan maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan pengaruh tekanan pres (Tk), kedalaman cetakan puder (Tb) dan berat puder (B) terhadap kuat patah (KP) dan penyerapan air (PA).
2. Menentukan nilai level yang tepat untuk tekanan pres (Tk), kedalaman cetakan puder (Tb) dan berat puder (B) agar dapat memenuhi spesifikasi dari CTQs kuat patah (KP) dan penyerapan air (PA).
3. Menentukan penurunan biaya kerugian bila proses pembuatan badan ubin keramik menggunakan nilai pengaturan hasil optimasi.

1.4. Manfaat penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

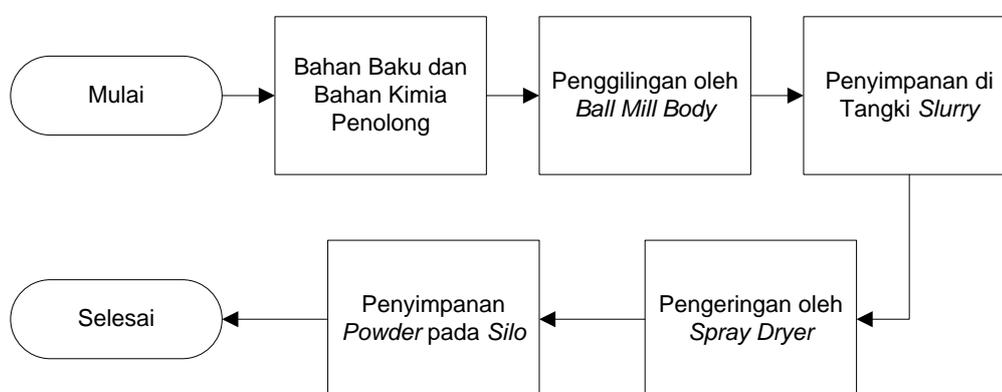
1. Memberikan nilai level yang tepat pada parameter proses pembuatan badan ubin keramik agar CTQ KP dan CTQ PA memenuhi spesifikasi.
2. Membantu dalam meningkatkan produktivitas dengan penurunan jumlah produk cacat pada proses produksi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Puder Ubin Keramik

Pada industri ubin keramik, puder merupakan komponen utama untuk membuat badan ubin keramik. Puder ini merupakan hasil pengolahan dari bahan baku yang berupa tanah liat dan fespar. Proses pembuatan puder ditunjukkan oleh bagan alir proses pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Diagram Alir Pembuatan Puder

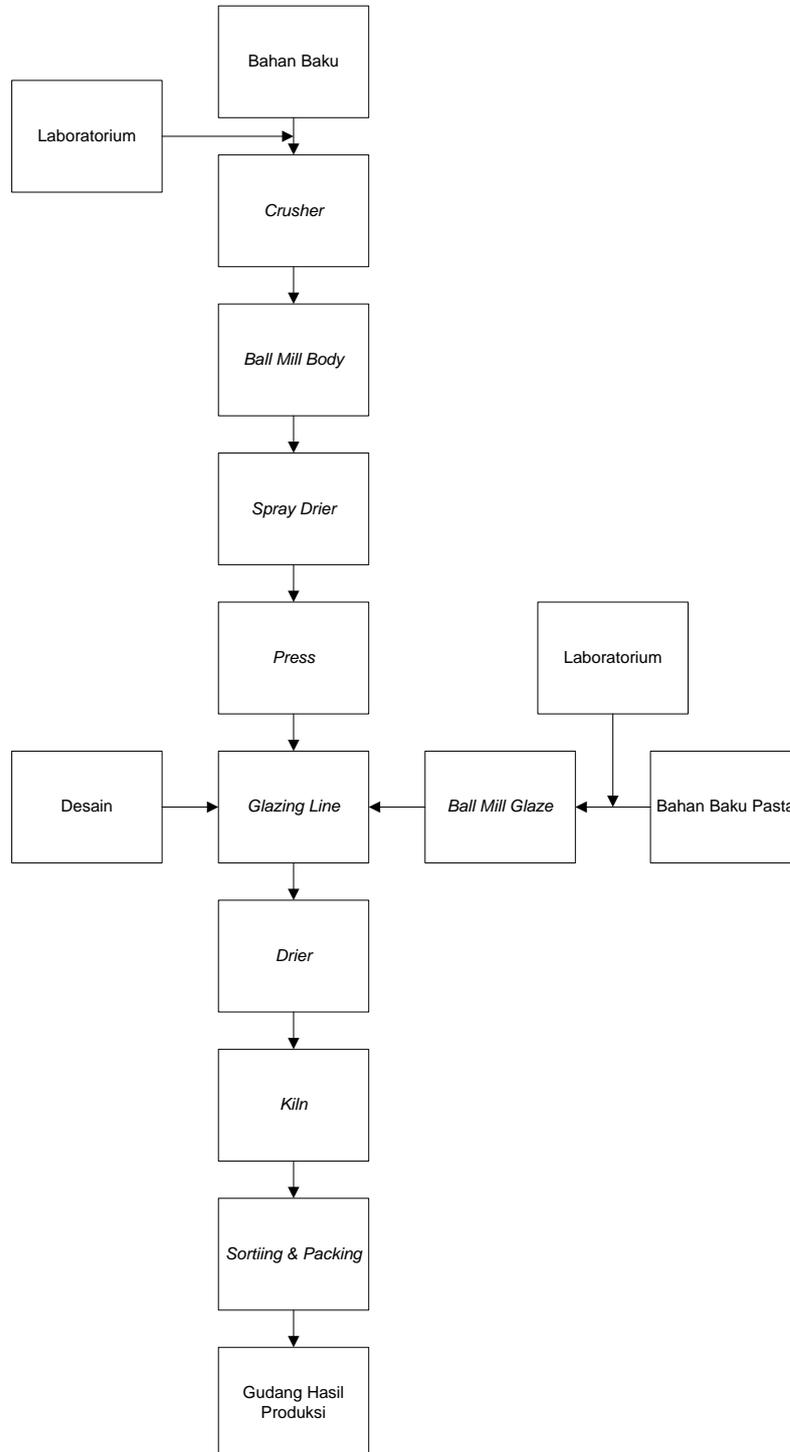
Puder memiliki kadar air yang nilainya antara 5% sampai dengan 7%. Bila puder memiliki kadar air kurang dari 5% akan bersifat kering, sedangkan puder yang kadar airnya lebih dari 7% akan bersifat basah. Sifat kering atau basah dari puder berpengaruh pada proses pres. Gambar 2.2 menunjukkan bentuk dari puder ubin keramik.



Gambar 2.2 Puder Ubin Keramik

2.2 Diagram Alir Produksi Ubin Keramik

Pembuatan ubin keramik memiliki proses yang cukup panjang, mulai dari bahan mentah sampai dengan hasil produksi disimpan di gudang. Diagram alir produksi ubin keramik pada PT X digambarkan pada Gambar 2.3 berikut:



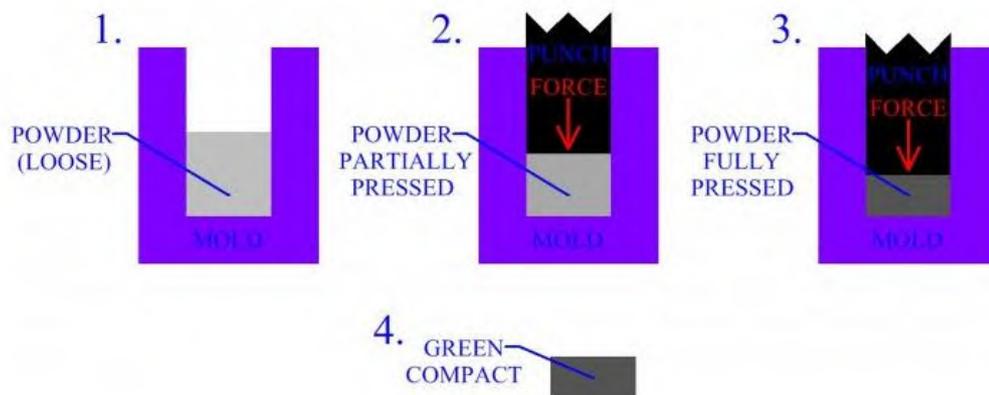
Gambar 2.3 Diagram Alir Produksi Ubin Keramik

2.3 Pengepresan

Pengepresan adalah proses pemadatan puder menjadi bentuk geometris dan biasanya dilakukan pada suhu kamar. Hasil dari pengepresan adalah sebuah bagian padat yang disebut ubin mentah (*green tile*). Biasanya ubin mentah mudah dipecahkan dengan tangan, tetapi cukup kuat untuk ditangani pada proses berikutnya. Bentuk geometris dari badan ubin mentah mirip dengan yang ada pada bagian akhir, tetapi akan mengalami penyusutan pada proses pembakaran.

Untuk memulai proses pengepresan, sejumlah puder diisi ke dalam cetakan. Tingkat kecepatan pengisian cetakan didasarkan pada kemampuan aliranpuder. Puder yang mudah mengalir dapat dituangkan lebih cepat. Proses penuangan puder dapat menjadi suatu proses yang bersifat otomatis.

Setelah cetakan diisi, silinder penekan bergerak menuju puder. Silinder penekan memberikan tekanan pada puder, sehingga memadatkan puder menjadi bentuk geometris yang benar. Ilustrasi sederhana pada proses pengepresan ditunjukkan pada Gambar 2.4



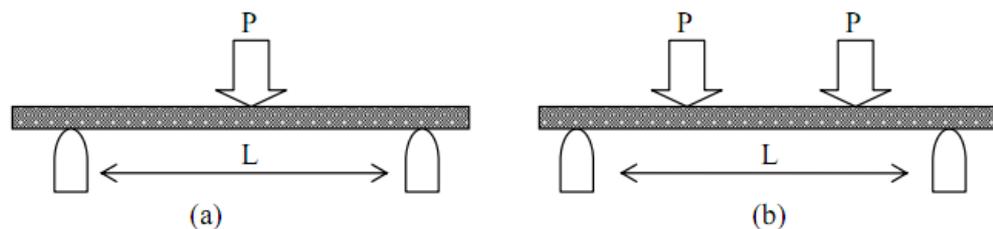
Gambar 2.4 Ilustrasi Proses Pengepresan; (1) Pengisian Puder, (2) Proses Pres Sebagian, (3) Proses Pres Penuh dan (4) Ubin Mentah

2.4 Kuat Patah (KP)/*Bending Strength* (BS)

Kuat patah/*bending strength* merupakan salah satu bentuk hasil dari pengujian kekuatan suatu material (Triyono, 2007). Pada uji kuat patah, spesimen yang berbentuk batang ditempatkan pada dua tumpuan lalu diterapkan beban ditengah tumpuan dengan laju pembebanan konstan. Material pada umumnya mempunyai nilai modulus elastisitas tekuk/*bending* yang berbeda dengan nilai modulus

elastisitas tariknya. Pada pengujian kuat patah, bagian atas spesimen akan mengalami tekanan dan bagian bawah akan mengalami tarikan. Kekuatan tekan suatu material pada umumnya lebih tinggi dibandingkan kekuatan tariknya. Pada pengujian kuat patah, material akan mengalami patah pada bagian bawah karena tidak mampu menahan beban tarik yang diterima.

Ada dua metode untuk pengujian kuat patah yang dikenal, yaitu metode tiga titik dan metode empat titik. Pada metode tiga titik, daerah dengan tegangan yang seragam cukup kecil dan berada ditengah-tengah antara dua tumpuan. Pada titik tengah antara dua tumpuan tersebut, silinder hidraulis memberikan gaya tekan kepada benda uji. Nilai gaya maksimum yang membuat benda uji patah adalah nilai pembebanan (P). Pada metode empat titik, daerah dengan tegangan seragam berada diantara dua titik pembebanan. Pada dua titik pembebanan ini, silinder hidraulis memberikan gaya tekan kepada benda uji. Nilai gaya maksimum yang membuat benda uji patah adalah nilai pembebanan (P). Metode empat titik lebih diutamakan untuk material yang bersifat liat, dimana regangan yang terjadi melebihi batas 5%. Bila menggunakan metode tiga titik, apabila regangan maksimum telah mencapai 5% dan belum mengalami kegagalan tekuk, maka direkomendasikan untuk menggunakan metode empat titik. Ilustrasi metode tiga titik dan metode empat titik ditunjukkan oleh Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Metode Pengujian Kuat Patah;
(a) Metode tiga titik dan (b) Metode empat titik

Kuat patah suatu material dapat ditentukan berdasarkan besarnya tegangan maksimum pada bagian terluar dari spesimen (σ_b), yaitu perbandingan antara momen lentur pada titik tersebut (M_y) dengan momen inersia penampang irisan spesimen (I_r), Cheng (1997) dalam Triyono (2007) menyatakan tegangan maksimum σ_b sebagai:

$$\sigma_b = \frac{M_y}{I_r} \quad (2.1)$$

Cheng (1997) dalam Triyono (2007) juga menyatakan bahwa pada balok biasa pusat sumbu netral berada pada tengah tengah dari balok. Kuat patah pada sisi bagian atas sama dengankuat patah pada sisi bagian bawah, sehingga nilai kuat patah dapat diperoleh melalui persamaan 2.2 berikut.

$$\sigma_b = \frac{PL/4 \times 1/2h}{b \times h^3/12} \quad (2.2)$$

$$\sigma_b = \frac{12 P L h}{8 b h^3} \quad (2.3)$$

$$\sigma_b = \frac{3 P L}{2 b h^2} \quad (2.4)$$

dengan σ_b = Kuat patah, N/cm²

P = Beban, N

L = Jarak tumpuan, cm

b = Lebar spesimen, cm

h = Tebal spesimen, cm

2.5 Penyerapan Air (PA)/*Water Absorbtion* (WA)

Penyerapan air/*water absorbtion* merupakan salah satu bentuk pengujian ketahanan pada badan ubin keramik. Proses pengujian ini melibatkan badan ubin dalam kondisi matang, baik yang masih polos ataupun yang berglasir. Nilai yang diperoleh pada pengujian ini menunjukkan ketahanan dari suatu ubin keramik terhadap pengaruh air atau cairan lain yang menggenangnya. Untuk mendapatkan nilai PA ini dilakukan suatu proses perebusan badan ubin yang sudah diuji pada *flexural breaking load machine*. Lama perebusan adalah 3,5 jam. Gambar 2.6 menunjukkan proses perebusan badan ubin.



Gambar 2.6 Proses Perebusan

Sebelum direbus, potongan badan ubin ditimbang dan diberi tanda. Setelah melalui proses perebusan, potongan badan ubin ditimbang kembali sesuai penandaan awal. Selisih berat masing-masing potongan tersebut dikonversikan kedalam persentase PA.

2.6 Rancangan Percobaan

Percobaan merupakan serangkaian aktivitas dimana setiap tahapan benar-benar terdefiniskan dan dilakukan untuk menemukan jawaban tentang permasalahan yang diteliti melalui pengujian hipotesis. Menurut Hanafiah (2004), rancangan percobaan atau *experimental design* adalah pola penerapan perlakuan dan non-perlakuan dalam suatu percobaan pada kondisi/lingkungan tertentu, yang kemudian menjadi dasar penataan dan metode analisis statistik terhadap data hasilnya. Wu dan Hamada (2000) mengategorikan tujuan rancangan percobaan dalam lima kelompok, yaitu perbandingan antara perlakuan, seleksi variabel, eksplorasi permukaan respon, sistem optimasi dan sistem *robust*.

Iriawan dan Astuti (2006) dan Montgomery (2009) memulai langkah-langkah penelitian dengan pengidentifikasian masalah. Langkah berikutnya adalah penentuan respon, pengidentifikasian faktor dan penentuan level, perancangan percobaan, pelaksanaan percobaan, analisis statistik dari hasil percobaan, penarikan kesimpulan dan pemberian saran.

2.6.1 Identifikasi Masalah

Awal dari suatu percobaan adalah mengenali masalahnya. Menurut Iriawan dan Astuti (2006), suatu pernyataan dibuat untuk mewakili permasalahan yang ada

agar dapat diperoleh penyelesaian yang tepat. Penyelesaian suatu masalah merupakan tujuan percobaan (Wu dan Hamada, 2000). Kolarik (1995) menyatakan bahwa tujuan dan target terhadap kebutuhan atau harapan dari suatu percobaan ditentukan pada tujuan percobaan.

2.6.2 Penentuan Respon

Iriawan dan Astuti (2006) menyatakan bahwa respon merupakan variabel tidak bebas yang dipengaruhi oleh faktor dan tujuan percobaan. Respon yang dihasilkan pada suatu percobaan dapat berbentuk diskrit atau kontinyu. Respon dalam bentuk kontinyu lebih diharapkan karena menghasilkan suatu nilai yang dapat dibandingkan dengan spesifikasi.

2.6.3 Penentuan Faktor dan Level

Faktor merupakan variabel bebas pada percobaan yang bersifat kualitatif atau kuantitatif. Level adalah nilai yang ditentukan dalam sebuah faktor untuk mengetahui pengaruh faktor terhadap respon. Pada penentuan level faktor kuantitatif harus dipertimbangkan kecukupan jarak antar level.

Perlakuan adalah kombinasi dari faktor-faktor pada percobaan. Penentuan faktor, level, dan perlakuan mempertimbangkan biaya dan referensi dari percobaan atau penelitian sebelumnya (Wu dan Hamada, 2000).

2.6.4 Penentuan Rancangan Percobaan

Wu dan Hamada (2000) menyatakan bahwa pada penelitian, rancangan percobaan memegang peranan penting dalam mengumpulkan informasi yang akan dianalisis dengan pertimbangan randomisasi, replikasi dan *blocking*. Beberapa metode rancangan percobaan antara lain desain *Factorial*, desain *Response Surface*, desain Taguchi dan desain *Mixture* (Iriawan dan Astuti, 2006).

1. Metode *Response Surface*

Metode *Response Surface* adalah kumpulan teknik statistika dan matematika yang dimanfaatkan untuk pengembangan, peningkatan, dan optimasi proses. Penerapannya biasanya adalah pada desain, pengembangan dan perancangan produk baru serta peningkatan produk yang sudah ada. (Mayers dkk., 2009).

Metode ini efektif untuk mempelajari hubungan antara beberapa faktor dengan respon yang bersifat kuantitatif. Menurut Wu dan Hamada (2000), terdapat tiga

teknik yang umum digunakan dalam perancangan percobaan untuk menyederhanakan percobaan. Teknik-teknik tersebut adalah *central composite design* (CCD), *Box-Behnken design* (BBD), dan *uniform shell design* (USD).

2. *Box-Behnken Design*

Metode ini dikembangkan oleh Box dan Behnken untuk percobaan orde dua yang termasuk kategori desain blok seimbang tidak lengkap. BBD yang berbentuk bola ini efektif untuk proses optimasi dimana seluruh titik terluar (*edge point*) memiliki jarak yang sama terhadap titik pusat, yaitu sebesar $\sqrt{2}$. Oleh karena itu BBD tidak mengenal titik faktorial dan titik permukaan. Pengulangan sebanyak tiga atau empat kali perlu dilakukan pada titik pusat untuk menghitung *lack off fit* (Myers dkk.,2009).

BBD merupakan salah satu metode alternatif yang mendekati CCD untuk nilai $k=3$ dan $k=4$, dimana notasi k adalah faktor pada percobaan. Keunggulan BBD dibandingkan CCD adalah jumlah percobaan yang dibutuhkan lebih sedikit. Pada CCD, jumlah percobaan 3 faktor adalah $14+N_c$, sedangkan pada BBD hanya $12+N_c$. N_c merupakan notasi dari *number of centre point* yang adalah jumlah kombinasi pada level 0-0-0. Hal ini membuat BBD lebih ekonomis terutama dalam percobaan yang membutuhkan biaya tinggi (Myers, 2009). Jumlah percobaan BBD hanya memerlukan tiga level sedangkan CCD perlu lima level untuk nilai $\alpha=1$, dimana α merupakan jarak antara titik sumbu dan titik pusat (*centre point*). Untuk mengubah variabel bebas kedalam level pengkodean faktor, dilakukan transformasi dengan menggunakan persamaan 2.5 berikut (Wu dan Hamada, 2000).

$$x_i = \frac{x_{real} - (x_{max} + x_{min})/2}{(x_{max} - x_{min})/2} \quad (2.5)$$

2.7 Pelaksanaan Percobaan

Pelaksanaan percobaan mengikuti rancangan yang telah disusun dan aktifitas percobaan didokumentasikan. Kehati-hatian diperlukan untuk mencegah kesalahan dan bias dalam persiapan maupun percobaan (Kolerik,1995). Menurut Wu dan Hamada (2000), pemakaian matriks yang memuat informasi tentang

faktor dan level akan memudahkan pelaksanaan percobaan dan meminimalkan kesalahan.

2.8 Analisis Statistik dari Hasil Percobaan

Pengolahan data hasil percobaan secara statistik diperlukan pada analisis agar hasil percobaan dapat diintegrasikan dan dikomunikasikan sesuai dengan tujuan percobaan (Kolarik, 1995). Myers dkk. (2009) menyatakan bahwa model non linear atau linear dapat digunakan untuk mengolah data hasil percobaan dengan tujuan optimasi.

Penggunaan perangkat lunak komputer dapat membantu dalam menganalisis hasil percobaan. Perangkat lunak *Mintab 16* merupakan salah satu program yang umum digunakan dalam analisis statistik di bidang teknik (Iriawan dan Astuti, 2006).

2.8.1 Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan suatu teknik pendekatan pada model matematis tertentu untuk memprediksi pengaruh variabel bebas (x) terhadap nilai respon (y). Respon merupakan fungsi dari satu atau lebih variabel bebas dan dinyatakan oleh persamaan 2.6 berikut (Wu dan Hamada, 2000).

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) + \varepsilon \quad (2.6)$$

Wu dan Hamada (2000) menyatakan regresi orde satu menunjukkan hubungan linear antara variabel bebas dan respon dan dinyatakan oleh persamaan 2.7 berikut:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon \quad (2.7)$$

dengan y = respon atau variabel tidak bebas

β_0 = titik potong kurva terhadap sumbu y (*intercept*)

β_i = koefisien regresi dari x_i

x_i = variabel bebas ke i (faktor)

ε = *error*

Nilai taksiran dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8 berikut.

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i \quad (2.8)$$

dengan \hat{y} = nilai taksiran respon

b_0 = titik potong kurvaterhadap sumbu y (*intercept*)

b_i = koefisien regresi dari x_i

x_i = variabel bebas ke i (faktor)

Untuk mengestimasi kontribusi pengaruh dari setiap faktor pada respon, dapat digunakan *analysis of variance* (ANOVA) yang merupakan teknik analisis secara kuantitatif. Rumus perhitungan ANOVA ditampilkan pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 ANOVA

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (<i>df</i>)	Jumlah Kuadrat (SS)	Rata-rata Kuadrat (MS)	F_0	F
Regresi	k	$SS_R = \sum_{ij} (\hat{y}_{ij} - \bar{y})^2$	$MS_R = \frac{SS_R}{df_R}$	$\frac{MS_R}{MS_E}$	$F_{\alpha, p-1, N-p}$
<i>Residual Error</i>	n-k-1	$SS_E = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{.i})^2$	$MS_E = \frac{SS_E}{df_E}$	-	-
<i>Lack of Fit</i>	k-p	$SS_L = SS_E - SS_{PE}$	$MS_L = \frac{SS_L}{df_L}$	$\frac{MS_L}{MS_{PE}}$	$F_{\alpha, N-p-a, a}$
<i>Pure Error</i>	$\sum_{i=1}^a (n_i - 1)$	$SS_{PE} = \sum_{ij} (y_{ij} - \bar{y})^2$	$MS_{PE} = \frac{SS_{PE}}{df_{PE}}$	-	-
Total	n-1	$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$	-	-	-

Sumber: Montgomery, 2009

dengan n = jumlah percobaan

p = jumlah variabel bebas

k = jumlah level pada rancangan percobaan

\bar{y} = rata-rata keseluruhan respon

\hat{y}_i = nilai taksiran respon pada level variabel proses ke i

y_{ij} = nilai respon pada level variabel proses ke i dan percobaan j

\bar{y}_i = nilai rata-rata respon dari n_i pengamatan pada x_i

Regresi orde dua bersifat lebih fleksibel, sehingga dapat menyelesaikan kasus yang tidak dapat diselesaikan dengan orde satu. Persamaan 2.9 digunakan untuk menghitung respon pada orde dua, sedangkan persamaan 2.10 digunakan untuk menghitung nilai taksiran pada orde dua (Montgomery,2009).

$$y = \beta_i + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j=2}^k \sum_{i=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2.9)$$

$$\hat{y} = b_i + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j=2}^k \sum_{i=1}^k b_{ij} x_i x_j \quad (2.10)$$

2.8.2 Pengujian Model Statistik

Beberapa pengujian model statistik yang lazim digunakan adalah:

1. Pengujian Kecukupan Model

Kecukupan suatu model dapat dilihat dari nilai koefisien determinasi dan uji *lack of fit* dari persamaan regresi.

Koefisien determinasi (R^2) menjelaskan besarnya variasi dari respon yang dapat dijelaskan oleh suatu persamaan regresi. Koefisien determinasi dapat dihitung menggunakan persamaan 2.11 dengan nilai 0 sampai 1. Menurut Myers dkk. (2009), semakin besar nilainya akan semakin besar pengaruh faktor terhadap respon.

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} = \frac{SS_R}{SS_T} \quad (2.11)$$

Pengujian nilai F dilakukan dengan menggunakan uji simpangan model (*lack of fit*) yang menggunakan hipotesis:

H_0 : Tidak ada *lack of fit*

H_1 : Ada *lack of fit*

Uji statistik yang digunakan adalah:

$$F_{rasio} = \frac{MS_L}{MS_{PE}} \quad (2.12)$$

Hipotesis awal (H_0) ditolak apabila nilai F_{rasio} lebih besar dari $F_{(\alpha, m-p, n-m)}$ atau nilai P (*p-value*) kurang dari α (Iriawan dan Astuti, 2006).

2. Pengujian Koefisien Regresi

Menurut Montgomery (2009), pengujian koefisien regresi dapat dilakukan secara individu maupun serentak

a. Pengujian Secara Individu

Pengaruh masing-masing faktor terhadap perubahan nilai respon dalam suatu model dijelaskan oleh koefisien regresi secara individu. Hipotesisnya adalah:

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_1: \beta_i \neq 0$$

H_0 ditolak apabila $|t_0|$ lebih besar dari $t_{\alpha/2, n-k-1}$ atau P kurang dari α . Apabila H_0 ditolak maka tiap faktor memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai t dan $se(b_i)$ adalah melalui persamaan 2.13 dan 2.14, dimana b_i adalah taksiran β_i .

$$t_0 = \frac{b_i}{se(b_i)} \quad (2.13)$$

$$se(b_i) = \sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{ii}} \quad (2.14)$$

dengan C_{ii} adalah elemen diagonal dari $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ terkait dengan b_i (Montgomery, 2009).

b. Pengujian Secara Serentak

Uji hipotesis secara serentak digunakan untuk melihat seberapa signifikan pengaruh faktor terhadap respon dalam suatu persamaan.

Hipotesis yang digunakan adalah:

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

$$H_1: \text{minimal ada satu } \beta_i \neq 0; i = 1, \dots, k$$

Statistik uji yang digunakan adalah:

$$F_0 = \frac{MS_R}{MS_E} \quad (2.15)$$

H_0 ditolak apabila F_0 lebih besar dari $F_{\alpha, k, n-k-1}$ atau P kurang dari α . Ditolaknya H_0 berarti secara statistik variabel-variabel bebas memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respon (Montgomery, 2009).

3. Uji Asumsi Residual

Residual (ε) merupakan perbedaan nilai antara respon hasil percobaan dengan respon taksiran yang dirumuskan dengan $\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i$. Residual diasumsikan bersifat independen/bebas, memiliki mean 0, bervariasi secara identik dan berdistribusi normal (Iriawan dan Astuti, 2006).

a. Pengujian Independen

Uji independen dipakai untuk memberikan jaminan bahwa tidak ada hubungan antar pengamatan. Uji independen dipakai juga untuk membuktikan bahwa pengujian dilakukan secara acak. Pengujian independen dilakukan dengan menggunakan Plot *auto correlation function* (ACF). Residual dianggap independen bila nilai korelasinya berada di dalam interval $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$.

b. Pengujian Identik

Sebaran residual dilihat dengan membuat plot ε terhadap \hat{y}_i . Pemeriksaan plot plot ε terhadap \hat{y}_i secara visual dilakukan untuk uji identik. Residual dianggap identik bila data tidak membentuk pola tertentu dan tersebar secara acak disekitar garis nol.

c. Pengujian Distribusi Normal

Pengujian dilakukan dengan uji *Kolmogorov-Smirnov* dengan hipotesis berikut:

H_0 : Residual berdistribusi normal

H_1 : Residual tidak berdistribusi normal

H_0 ditolak bila nilai P lebih besar dari α yang bernilai 0,05.

2.9 Optimasi Respon

Fungsi *desirability* adalah salah satu pendekatan matematis yang dikembangkan oleh Derringer dan Such untuk penyelesaian masalah optimasi

multirespon (Myers dkk., 2009). Secara umum, persamaan dari fungsi *desirability* adalah:

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_m)^{1/m}$$

dengan $D = \text{Desirability total}$

$d_i = \text{Fungsi } desirability \text{ individu pada tiap } y_i$

$m = \text{Jumlah respon}$

Perhitungan *desirability* individu pada tiap respon dibagi menjadi 3 fungsi, yaitu *smaller-the-better*, *larger-the-better*, dan *nominal-the-best*. Untuk menghitung *desirability* individu pada tiap respon dengan nilai target T_i , batas atas U_i dan batas bawah L_i (Wu dan Hamada, 2000) digunakan persamaan 2.16 sampai 2.18.

- a. ***Smaller-the better*** mengharapkan nilai respon yang paling kecil sebagai solusi permasalahan dengan definisi d sebagai berikut:

$$\begin{aligned} d_i &= 1 & \hat{y}_i < T_i \\ d_i &= \left(\frac{U_i - \hat{y}_i}{U_i - T_i} \right)^{\alpha_i} & T_i \leq \hat{y}_i \leq U_i \\ d_i &= 0 & \hat{y}_i > U_i \end{aligned} \quad (2.16)$$

- b. ***Larger-the-better*** mengharapkan nilai respon yang paling besar sebagai solusi permasalahan dengan definisi d sebagai berikut:

$$\begin{aligned} d_i &= 1 & \hat{y}_i < L_i \\ d_i &= \left(\frac{\hat{y}_i - L_i}{T_i - L_i} \right)^{\alpha_i} & L_i \leq \hat{y}_i \leq T_i \\ d_i &= 0 & \hat{y}_i > T_i \end{aligned} \quad (2.17)$$

- c. ***Nominal-the-best*** mengharapkan nilai respon berada di target (T_i) antara L_i dan U_i dengan definisi d sebagai berikut:

$$\begin{aligned} d_i &= \left(\frac{\hat{y}_i - L_i}{T_i - L_i} \right)^{\alpha_i} & L_i \leq \hat{y}_i \leq T_i \\ d_i &= \left(\frac{U_i - \hat{y}_i}{U_i - T_i} \right)^{\alpha_i} & T_i \leq \hat{y}_i \leq U_i \\ d_i &= 0 & \hat{y}_i < L_i \text{ atau } \hat{y}_i > U_i \end{aligned} \quad (2.18)$$

2.10 Percobaan Konfirmasi

Percobaan konfirmasi dilakukan dengan menggunakan seting hasil optimasi dengan jumlah yang lebih besar dari percobaan sebelumnya dengan tujuan untuk memvalidasi hasil optimasi (Ross,1996).

Data hasil percobaan konfirmasi dibandingkan dengan nilai hasil optimasi dengan menggunakan uji *one-sample t*. Hipotesis yang digunakan adalah:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

Statistik ujinya adalah:

$$t_0 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s/\sqrt{n}} \quad (2.19)$$

dengan derajat bebas: $n-1$

H_0 ditolak apabila $|t_0|$ lebih besar dari $t_{\alpha/2, n-1}$ yang berarti terdapat perbedaan antara nilai prediksi dengan data hasil percobaan konfirmasi.

2.11 Pengendalian Proses

Pengendalian proses secara statistik dapat mendeteksi terjadinya masalah produksi baik itu dalam proses maupun kualitas dalam suatu waktu tertentu. Dua karakter yang diperhatikan dalam pengendalian proses secara statistik adalah lokasi dan dispersi. Lokasi berkaitan dengan kecenderungan menuju titik tertentu (*central tendency*), sedangkan dispersi menyatakan variasi. Kolarik (1995) menyatakan pengendalian proses secara statistik dilakukan melalui metode peta kendali dan analisis kemampuan proses.

Secara umum, peta kendali yang digunakan untuk kelompok data yang bersifat variabel atau kontinu adalah grafik X-bar dan R. Pengambilan data dilakukan secara berkelompok dan memiliki jumlah data yang sama yaitu n data. Data dalam kelompok akan menghasilkan batas kendali bawah (BSB) atau *lower control limit* (LCL) dan batas kendali atas (BSA) atau *upper control limit* (UCL). Bila terjadi penyimpangan batas LCL dan UCL, maka perlu dicari penyebabnya dan dihilangkan dalam perhitungan batas kendali yang baru.

Menurut Kolarik (1995), perhitungan UCL dan LCL untuk grafik X-bar dan R berdasarkan persamaan berikut:

$$UCL_x = \bar{\bar{X}} + 3\sigma_x = \bar{\bar{X}} + \frac{3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \quad (2.20)$$

$$LCL_x = \bar{\bar{X}} - 3\sigma_x = \bar{\bar{X}} - \frac{3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \quad (2.21)$$

$$UCL_R = \bar{R} + 3\sigma_R = D_4\bar{R} \quad (2.22)$$

$$LCL_R = \bar{R} - 3\sigma_R = D_3\bar{R} \quad (2.23)$$

dengan $\bar{\bar{X}}$ = rata-rata dari rata-rata kelompok

\bar{R} = rata-rata dari selisih nilai maksimal dan minimal dalam kelompok

σ = deviasi standar

Untuk melihat tingkat presisi dan akurasi digunakan analisis kemampuan proses. Metode ini mengasumsikan bahwa proses dilakukan dalam kondisi terkendali. Kemampuan proses memiliki nilai sebesar 6σ . Analisis kemampuan proses dinyatakan dalam indeks kemampuan proses atau *process capability index* (C_p) yang membandingkan rentang spesifikasi produk terhadap kemampuan proses. C_p menunjukkan tingkat kepresisian, sedangkan C_{pk} menyatakan tingkat keakurasian. Persamaan 2.24 dan 2.27 menunjukkan perhitungan untuk C_p dan C_{pk} (Kolarik,1995).

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (2.24)$$

$$C_{pU} = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma} \quad (2.25)$$

$$C_{pL} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \quad (2.26)$$

$$C_{pk} = \min(C_{pU}, C_{pL}) \quad (2.27)$$

2.12 Taguchi Loss Function

Pengendalian dari produk dan proses memanfaatkan distribusi untuk melihat perbandingan lebar distribusi terhadap rentang spesifikasi produk. Distribusi hasil pengukuran CTQs diharapkan dapat mempersempit variasi dan mendekati target spesifikasi. Secara matematis, *Taguchi loss function* merumuskan hubungan antara kualitas dengan biaya kerugian sesuai dengan Tabel 2.2. Menurut Ross (1996), biaya kerugian yang ditimbulkan oleh ketidaksesuaian kualitas produk terhadap spesifikasi meliputi kerugian dalam proses dan kerugian usia pakai. Nilai k diperoleh dari biaya perbaikan (A_0) dibagi toleransi spesifikasi (Δ_0) kuadrat sesuai persamaan 2.28 (Yang dan El-Haik., 2003)

$$k = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \quad (2.28)$$

Tabel 2.2 Rumus *Taguchi Loss Function*

Karakteristik Kualitas	Kerugian pada tiap produk	Kerugian rata-rata per produk dalam distribusi
<i>Higher-is-better</i>	$L = k(1/y^2)$	$L = k\left(\frac{1}{\bar{y}^2}\right) \left[1 + \left(\frac{3s^2}{\bar{y}^2}\right)\right]$
<i>Nominal-is-best</i>	$L = k(y - m)^2$	$L = k[s^2 + (\bar{y} - m)^2]$
<i>Lower-is-better</i>	$L = k(y^2)$	$L = k[s^2 + (\bar{y}^2)]$

Sumber: Ross, 1996

dengan L = kerugian

m = nilai nominal (target)

k = konstanta yang nilainya ditentukan berdasarkan biaya pada batas spesifikasi dan lebar spesifikasi

y = pengukuran karakter kualitas aktual

s^2 = variasi

\bar{y} = nilai rata-rata y dalam kelompok

$(\bar{y} - m)$ = selisih rata-rata kelompok terhadap target

2.13 Posisi Penelitian

Penelitian tentang optimasi respon kuat patah dan penyerapan air pada ubin keramik belum pernah dilakukan. Sukram (2016) menggunakan metode

permukaan respon pada penelitian tentang optimasi perbedaan warna dan kilap pada proses pengecatan dengan cat bubuk. Metode permukaan respon dipakai juga pada penelitian tentang optimasi diameter tebar dan detonasi *cone explosive* (Sumantri, 2006) dan penelitian tentang optimasi produksi tepung porang dari *chip* porang secara mekanis (Faridah dkk., 2012). Posisi penelitian terkait dengan metode permukaan respon ditunjukkan oleh Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Posisi Penelitian

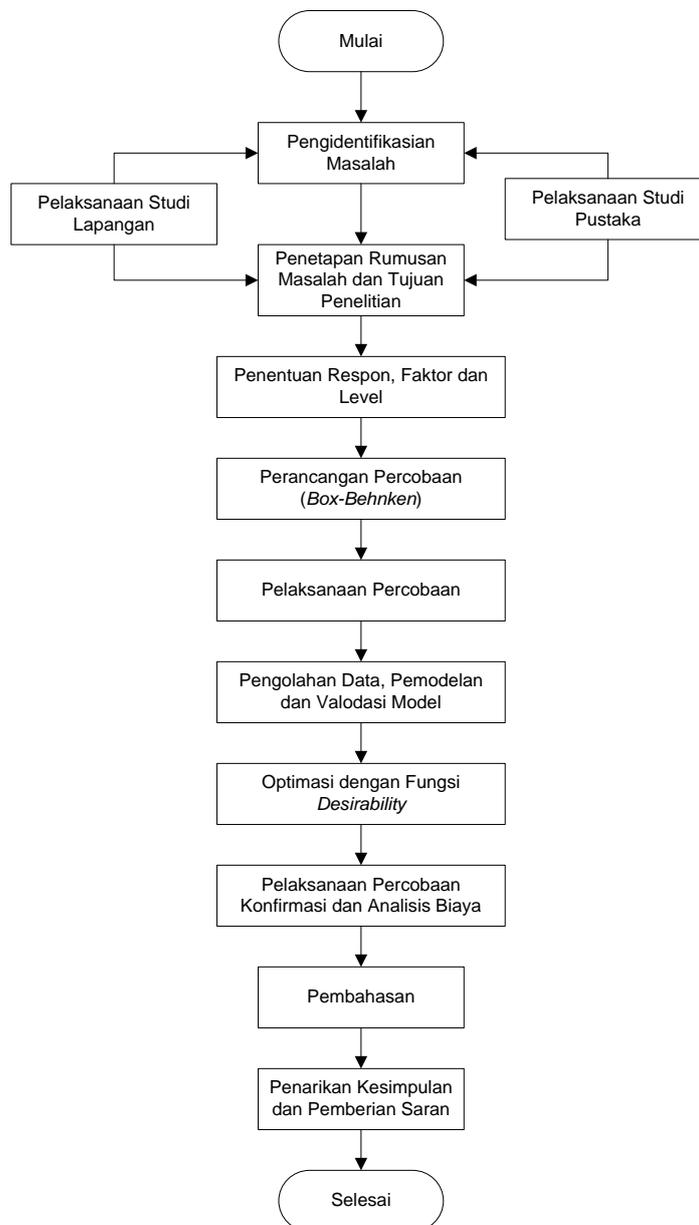
No	Peneliti	Judul Penelitian	Metode	Proses	Tahun
1	Sumantri	Optimasi Diameter Tebar dan Detonasi <i>Cone Explosive</i> Dengan Metoda Dual Respon Surface	Permukaan Respon	Bahan Peledak	2006
2	Faridah dkk.	Optimasi Produksi Tepung Porang dari <i>Chip</i> Porang Secara Mekanis Dengan Metode Permukaan Respon	Permukaan Respon	Tepung Porang	2012
3	Sukram	Opimasi Perbedaan Warna dan Kilap Cat Bubuk Menggunakan Metode Permukaan Respon	Permukaan Respon	Cat Bubuk	2016
4	Saputra	Optimasi Multirespon Dengan Menggunakan Metode <i>Response Surface</i> Dan <i>Desirability Function</i> Pada Proses Pres Keramik Untuk Mengurangi Biaya Kerugian	<i>Response Surface</i>	Badan Ubin Keramik	2016

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Langkah-langkah penelitian pada tesis ini ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Identifikasi Masalah

Permasalahan yang terjadi di perusahaan dianalisis berdasarkan data-data terdahulu untuk mengetahui faktor-faktor yang memberikan pengaruh kepada permasalahan tersebut. Pada tahap ini diperlukan pengetahuan tentang pengepresan untuk mengidentifikasi sumber masalah yang didasari oleh observasi di lapangan dan literatur. Langkah pengidentifikasian masalah ini didukung oleh suatu penelitian pendahuluan.

3.3 Penetapan Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Permasalahan yang telah teridentifikasi harus dinyatakan dalam perumusan tertentu untuk mengarahkan penelitian pada penyelesaian masalah. Setelah dihasilkan rumusan masalah, tujuan penelitian disusun berisikan target yang akan dicapai pada penelitian tersebut.

3.4 Penentuan Respon, Faktor dan Level

Penelitian ini memiliki dua variabel, yakni respon (variabel tidak bebas) dan faktor (variabel bebas).

3.4.1 Respon

CTQs badan ubin keramik sebagai respon-respon pada proses optimasi adalah KP sebagai y_1 dan PA sebagai y_2 . KP adalah nilai kuat patah badan ubin keramik dan PA adalah nilai daya serap air badan ubin keramik. Kedua respon ini dipilih didasarkan pada permasalahan dan bersifat kuantitatif, sehingga pengoptimasian lebih mudah untuk dilakukan dengan metode permukaan respon.

3.4.2 Faktor

Variabel proses yang berpengaruh terhadap respon KP dan PA adalah tekanan pres (T_k), kedalaman cetakan puder (T_b), berat puder (B) dan suhu kiln. Suhu kiln tidak termasuk kedalam variabel bebas karena tidak dapat divariasikan pada saat percobaan. Memvariasikan suhu kiln untuk percobaan dapat mengganggu proses produksi.

Tekanan pres (T_k) diatur oleh perangkat lunak yang mengendalikan tekanan oli pada silinder mesin pres. Seting tekanan pres maksimal yang dapat diterima oleh bagian produksi adalah 400 bar. Bila dikonversi pada mesin pres laboratorium,

tekanan pres maksimal adalah sebesar 380 bar. Level-level pada tekanan pres adalah sebesar 180 bar, 280 bar dan 380 bar.

Penentuan level kedalaman cetakan puder (T_b) mengacu pada seting cetakan yang ada pada mesin pres. Nilai kedalaman pada cetakan puder mempengaruhi ketebalan dari ubin mentah hasil pengepresan. Nilai kedalaman maksimal cetakan puder pada mesin pres laboratorium adalah sebesar 8 mm. Level-level kedalaman cetakan puder adalah sebesar 7 mm, 7,5 mm dan 8 mm.

Penentuan level berat puder (B) mengacu pada pemenuhan cetakan puder saat pengepresan. Nilai berat maksimal yang dapat diisikan pada cetakan puder mesin pres laboratorium adalah sebesar 85 gram. Level-level berat puder adalah sebesar 75 gram, 80 gram dan 85 gram.

3.4.3 Level

Setiap variabel proses T_k , T_b dan B memiliki tiga level yang dirangkum pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Penentuan Level Faktor

No	Parameter Proses	Penentuan Level		
		Bawah (-1)	Tengah (0)	Atas (+1)
1	$T_k (x_1)$	180 bar	280 bar	380 bar
2	$T_b (x_2)$	7 mm	7,5 mm	8 mm
3	$B (x_3)$	75 gram	80 gram	85 gram

Level-level dari faktor-faktor harus ditransformasi kedalam bentuk kode level dengan menggunakan persamaan berikut:

$$x_1 = \frac{T_k - 280}{100} \quad (3.1)$$

$$x_2 = \frac{T_b - 7,5}{0,5} \quad (3.2)$$

$$x_3 = \frac{B - 80}{5} \quad (3.3)$$

3.5 Perancangan Percobaan

Perancangan percobaan akan mengikuti metode *Box-Behnken design* untuk percobaan orde dua yang disusun oleh tiga faktor. Metode *Box-Behnken* dipilih pada percobaan ini karena hanya memerlukan jumlah percobaan yang lebih sedikit dibandingkan dengan CCD. Level pada percobaan ini yang hanya berjumlah tiga tidak dapat digunakan pada metode CCD yang membutuhkan paling sedikit lima level. Perancangan ini dilakukan dengan menggunakan program *Minitab 16* dan menghasilkan 15 percobaan yang ditunjukkan pada Tabel 3.2 berikut

Tabel 3.2 Rancangan Percobaan *Box-Behnken*

Std. Order	Run Order	Pengkodean			Tanpa Pengkodean		
		x_1	x_2	x_3	x_1	x_2	x_3
5	1	-1	0	-1	180 bar	7,5 mm	75 gram
1	2	-1	-1	0	180 bar	7 mm	80 gram
10	3	0	1	-1	280 bar	8 mm	75 gram
2	4	1	-1	0	380 bar	7 mm	80 gram
14	5	0	0	0	280 bar	7,5 mm	80 gram
6	6	1	0	-1	380 bar	7,5 mm	75 gram
11	7	0	-1	1	280 bar	7 mm	85 gram
13	8	0	0	0	280 bar	7,5 mm	80 gram
3	9	-1	1	0	180 bar	8 mm	80 gram
7	10	-1	0	1	180 bar	7,5 mm	85 gram
9	11	0	-1	-1	280 bar	7 mm	75 gram
8	12	1	0	1	380 bar	7,5 mm	85 gram
15	13	0	0	0	280 bar	7,5 mm	80 gram
12	14	0	1	1	280 bar	8 mm	85 gram
4	15	1	1	0	380 bar	8 mm	80 gram

3.6 Pelaksanaan Percobaan

Pada pelaksanaan percobaan dijelaskan alat-alat dan bahan yang digunakan, prosedur percobaan serta pengukuran respon sebagai hasil dari percobaan.

3.6.1 Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah puder dengan komposisi kimia yang memiliki nilai susut sebesar 7%.



Gambar 3.2 Puder

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini dibagi kedalam dua kategori, yaitu alat untuk percobaan dan alat ukur hasil percobaan.

Alat yang dipakai pada percobaan antara lain:

1. Mesin Press Laboratorium

Pada percobaan ini digunakan mesin press dalam skala laboratorium yang memiliki spesifikasi tekanan 0-470 bar. Mesin ini memiliki kemampuan untuk mengatur kedalaman cetakan pudernya. Gambar 3.3 menampilkan mesin pres dalam skala laboratorium.



Gambar 3.3 Mesin Press Lab

2. Timbangan Digital

Pada percobaan ini digunakan timbangan digital dengan nilai maksimal 3000 gram dan memiliki ketelitian sebesar 0,01 gram. Timbangan digital ini digunakan untuk menimbang berat puder selama percobaan. Gambar 3.4 menampilkan timbangan digital.



Gambar 3.4 Timbangan Digital

3. Kiln

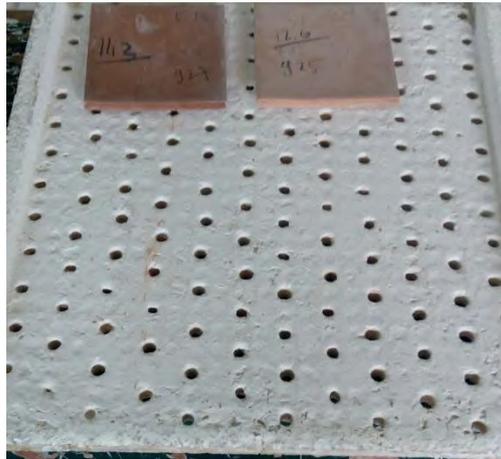
Kiln adalah tempat pembakaran badan hasil percobaan. Panjang dari kiln adalah 93 m dan lama waktu pembakaran adalah 34 menit. Gambar 3.5 menampilkan kiln yang dipakai pada percobaan.



Gambar 3.5 Kiln

4. *Saggar*

Saggar digunakan sebagai tempat penampungan badan mentah yang akan dibakar di dalam kiln. Badan mentah hasil proses pres skala laboratorium ukurannya terlalu kecil untuk dapat digerakkan di atas *roll* kiln, maka digunakan *saggar* sebagai tempat penampung badan mentah agar dapat bergerak di atas *roll* kiln. Gambar 3.6 menampilkan *saggar* yang dipakai pada percobaan.



Gambar 3.6 *Saggar*

5. Panci dan Kompor

Panci dan kompor digunakan sebagai alat-alat bantu untuk uji penyerapan air badan ubin yang sudah melalui uji tekuk. Badan ubin matang direbus didalam panci selama 3,5 jam. Gambar 3.7 menampilkan panci dan kompor sebagai alat bantu uji penyerapan air.

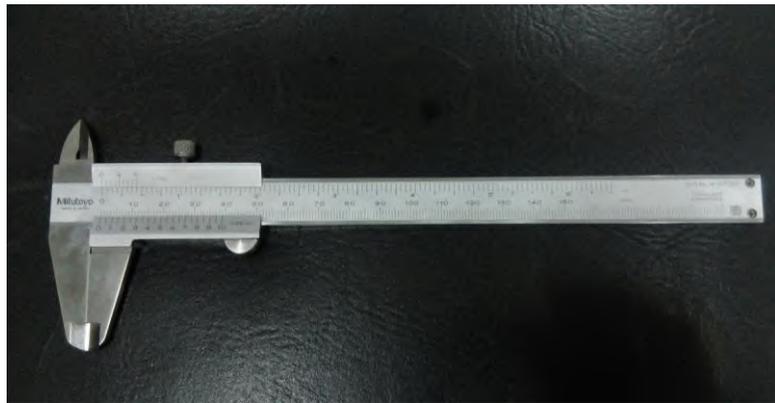


Gambar 3.7 Panci dan Kompor

Alat ukur hasil percobaan antara lain adalah:

1. Jangka Sorong

Pada percobaan ini digunakan jangka sorong dengan rentang pengukuran maksimal sebesar 200 mm dan ketelitian sebesar 0,01 mm. Jangka sorong ini digunakan untuk mengukur ketebalan badan mentah hasil dari mesin pres atau badan matang hasil dari pembakaran kiln. Gambar 3.8 menampilkan jangka sorong yang dipakai pada percobaan.



Gambar 3.8 Jangka Sorong

2. *Flexural Breaking Load Machine*

Mesin ini dipakai untuk mencari nilai kuat patah dari badan yang sudah dibakar di dalam kiln. Gambar 3.9 menampilkan mesin uji yang dipakai pada percobaan.



Gambar 3.9 *Flexural Breaking Load Machine*

3.6.2 Prosedur Percobaan

Percobaan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Penimbangan bahan pudre sesuai dengan rancangan percobaan dan di tempatkan pada cawan yang diberi tanda.
2. Pengepresan dengan mesin pres laboratorium sesuai dengan rancangan percobaan.
3. Pengeringan badan ubin hasil pengepresan selama kurang lebih 1 jam.
4. Pembakaran badan ubin hasil pengeringan di kiln selama 34 menit dengan mengikuti temperatur produksi yang sedang berlangsung.
5. Pengujian dan pencatatan kuat patah badan ubin hasil pembakaran dengan menggunakan *Flexural Breaking Load Machine*.
6. Pengujian penyerapan air dengan pencatatan berat hasil pengujian kuat patah. Selanjutnya dilakukan perebusan selama 3,5 jam dan dicatat beratnya setelah perebusan selesai. Dilakukan pencatatan selisih berat sebelum direbus dan setelah direbus untuk kemudian dikonversikan ke dalam persentase PA.

3.6.3 Pengukuran dan Pengambilan Data

Data-data yang diambil sebagai respon pada percobaan adalah:

1. Kuat Patah (KP)

Nilai KP didapatkan dari uji tekuk dengan *Flexural Breaking Load Machine* pada badan matang yang telah melalui proses pembakaran. Nilai KP yang dicatatkan sesuai dengan keluaran *Flexural Breaking Load Machine*.

2. Penyerapan Air (PA)

Nilai PA didapatkan dari hasil perebusan badan yang telah di uji tekuk dan diukur selisih beratnya sebelum dan sesudah direbus. Selisih berat tersebut dikonversikan ke dalam persentase PA.

3.7 Pengolahan Data, Pemodelan dan Validasi Model

Pada pengolahan data percobaan, digunakan analisis statistik untuk mengintrepetasikan data yang telah diperoleh agar dapat digunakan sesuai dengan tujuan percobaan. Pada percobaan ini, analisis statistik yang berupa analisis regresi dan pengujian model statistik dilakukan dengan menggunakan perangkat

lunak *Minitab* 16. Pengujian yang dipakai meliputi uji kecukupan model dengan menghitung koefisien determinasi dan uji *lack of fit*, uji koefisien secara individu dan serentak, serta uji asumsi residual yang terdiri dari uji independen, uji identik, dan uji distribusi normal. Model matematis pada percobaan ini disusun berdasarkan keseluruhan hasil pengujian. Model yang dihasilkan divalidasi dengan menggunakan data hasil percobaan konfirmasi.

3.8 Optimasi dengan Fungsi Desirability

Persamaan regresi yang dihasilkan oleh percobaan digunakan sebagai dasar untuk melakukan optimasi respon. Tujuan optimasi respon adalah mendekati nilai KP pada target 285 N/cm² dengan konstrain nilai KP bernilai antara 250 N/cm² sampai 350 N/cm² dan mendekati nilai PA pada target 9% dengan konstrain nilai PA antara 8% sampai 10%.

Optimasi dilakukan dengan menggunakan fungsi *desirability* karena karakteristik kualitas dari KP dan PA adalah *nominal-is-best*. Hasil optimasi diperoleh saat memaksimalkan nilai *desirability*.

Secara matematis perumusan fungsi optimasi dinyatakan dengan persamaan berikut:

Fungsi tujuan

$$\text{Memaksimalkan } D = (d_{KP} \times d_{PA})^{1/2}$$

Pembatas:

$$\hat{y}_{KP} = b_{0KP} + \sum_{i=1}^k b_{iKP} x_i + \sum_{i=1}^k b_{iiKP} x_i^2 + \sum_{i<j}^k b_{ijKP} x_i x_j$$

$$\hat{y}_{PA} = b_{0PA} + \sum_{i=1}^k b_{iPA} x_i + \sum_{i=1}^k b_{iiPA} x_i^2 + \sum_{i<j}^k b_{ijPA} x_i x_j$$

$$d_{KP} = \left(\frac{\hat{y}_{KP} - L_{KP}}{T_{KP} - L_{KP}} \right)^{\alpha_{KP}} \quad L_{KP} \leq \hat{y}_{KP} \leq T_{KP}$$

$$d_{KP} = \left(\frac{U_{KP} - \hat{y}_{KP}}{U_{KP} - T_{KP}} \right)^{\alpha_{KP}} \quad T_{KP} \leq \hat{y}_{KP} \leq U_{KP}$$

$$d_{PA} = \left(\frac{\hat{y}_{PA} - L_{PA}}{T_{PA} - L_{PA}} \right)^{\alpha_{PA}} \quad L_{PA} \leq \hat{y}_{PA} \leq T_{PA}$$

$$d_{KP} = \left(\frac{U_{PA} - \hat{y}_{PA}}{U_{PA} - T_{PA}} \right)^{\alpha_{PA}} \quad T_{PA} \leq \hat{y}_{PA} \leq U_{PA}$$

$$\hat{y}_{KP} \leq 350$$

$$\hat{y}_{KP} \geq 250$$

$$\hat{y}_{PA} \leq 10$$

$$\hat{y}_{PA} \geq 8$$

$$U_{KP} = 350$$

$$L_{KP} = 250$$

$$T_{KP} = 285$$

$$U_{PA} = 10$$

$$L_{PA} = 8$$

$$T_{PA} = 9$$

$$\alpha_{KP}, \alpha_{PA} = 1$$

dengan D = *desirability* total

d_{KP} = fungsi *desirability* individu pada respon KP

d_{PA} = fungsi *desirability* individu pada respon PA

\hat{y}_{KP} = persamaan regresi respon KP

\hat{y}_{PA} = persamaan regresi respon PA

L_{KP} = batas bawah nilai KP

U_{KP} = batas atas nilai KP

T_{KP} = target nilai KP

L_{PA} = batas bawah nilai PA

U_{PA} = batas atas nilai PA

T_{PA} = target nilai PA

α_{KP} = bobot atau faktor kepentingan untuk persamaan regresi KP

α_{PA} = bobot atau faktor kepentingan untuk persamaan regresi PA

3.9 Pelaksanaan Percobaan Konfirmasi dan Analisis Biaya

Percobaan konfirmasi dilakukan dengan menggunakan seting hasil optimasi. Percobaan konfirmasi digunakan untuk menghitung kapabilitas proses dan penurunan biaya kerugian. Nilai variasi proses yang diperoleh dari kapabilitas proses pada percobaan konfirmasi digunakan sebagai dasar perhitungan penurunan biaya kerugian. Penurunan dari variansi proses akan diikuti dengan

penurunan biaya kerugian yang dihitung dengan menggunakan *Taguchi loss function*.

Biaya kerugian KP dan PA bersifat *nominal-is-best* yang dihitung dengan persamaan yang ditunjukkan pada Tabel 2.3. Biaya kerugian merupakan total biaya kerugian KP dan PA. Penurunan biaya kerugian didapatkan dari selisih biaya kerugian antara proses awal dengan proses yang menggunakan seting hasil optimasi.

3.10 Pembahasan

Analisis tentang penggunaan seting optimasi pada proses produksi dibahas pada pembahasan. Analisis yang mendalam akan dilakukan dari berbagai sudut pandang untuk mengetahui potensi kendala yang dihadapi atau pengaruh yang timbul sehingga dapat memudahkan pengendalian dari sebuah proses.

3.11 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan akan disusun berdasarkan analisis hasil penelitian, baik secara matematis maupun teknis. Kesimpulan yang diharapkan merupakan solusi dari permasalahan yang diangkat pada penelitian ini. Saran akan disusun berdasarkan hasil penelitian dan digunakan untuk memberikan masukan pada penelitian selanjutnya.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini ditampilkan data hasil percobaan yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara T_k (x_1), T_b (x_2) dan B (x_3) dengan KP dan PA. Optimasi dilakukan untuk menghasilkan nilai pengaturan dari faktor yang membuat respon KP mendekati 285 N/cm^2 dan respon PA mendekati 9%. Fungsi *desirability* digunakan untuk melakukan optimasi.

4.1 Hasil Percobaan

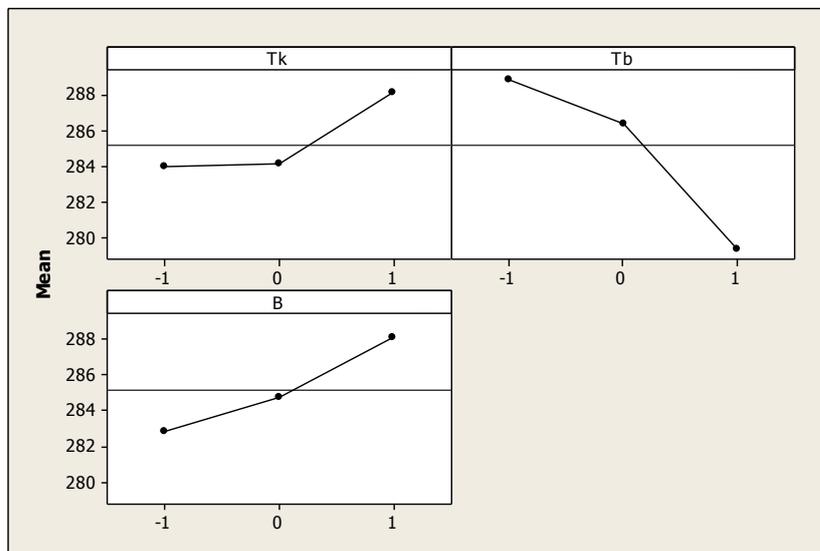
Percobaan untuk mengetahui pengaruh T_k , T_b dan B terhadap KP dan PA telah dilakukan dengan menggunakan kombinasi pengaturan mesin pres sesuai dengan rancangan percobaan yang telah dibuat. Data hasil percobaan ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan

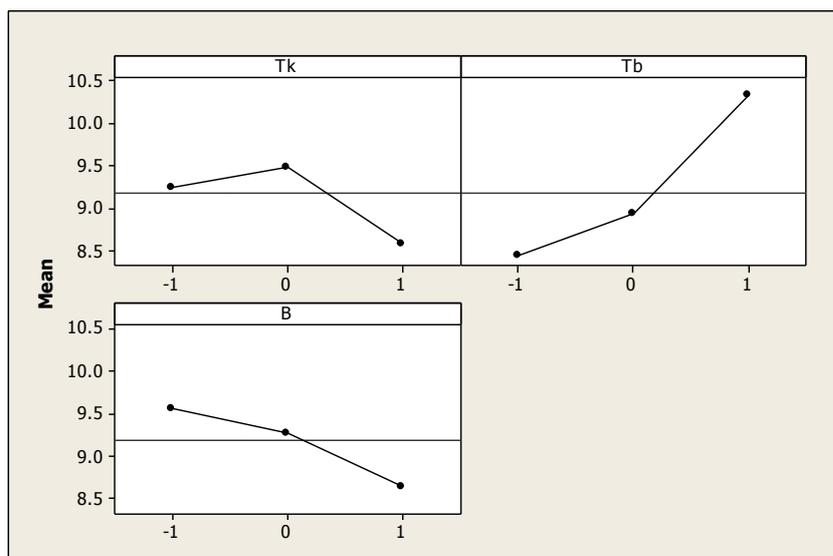
RunOrder	Tk (bar)	Tb (mm)	B (gr)	KP (N/cm2)	PA (%)
1	-1	0	-1	284,12	8,89
2	-1	-1	0	286,14	8,94
3	0	1	-1	274,87	11,23
4	1	-1	0	292,45	7,46
5	0	0	0	285,94	9,12
6	1	0	-1	284,55	9,35
7	0	-1	1	288,94	8,57
8	0	0	0	284,86	9,38
9	-1	1	0	278,09	10,44
10	-1	0	1	287,51	8,72
11	0	-1	-1	287,84	8,78
12	1	0	1	293,65	7,56
13	0	0	0	283,98	9,58
14	0	1	1	282,56	9,73
15	1	1	0	281,98	9,94

4.2 Pemodelan KP dan PA

Pemodelan respon KP dan PA dilakukan dengan metode *response surface*. Hubungan antara faktor Tk (x_1), Tb (x_2) dan B (x_3) dengan respon KP dan PA diuji dengan menggunakan ANOVA. Pengaruh faktor secara individu terhadap respon KP ditunjukkan oleh Gambar 4.1 dan pengaruh faktor secara individu terhadap respon PA ditunjukkan oleh Gambar 4.2. Faktor Tk dan B pada level -1 dan 0 tidak berpengaruh terhadap nilai KP, sedangkan faktor Tb tidak berpengaruh terhadap KP pada level 1. Respon PA tidak dipengaruhi oleh faktor Tk dan B pada level 1, serta faktor Tb pada level -1 dan 0.

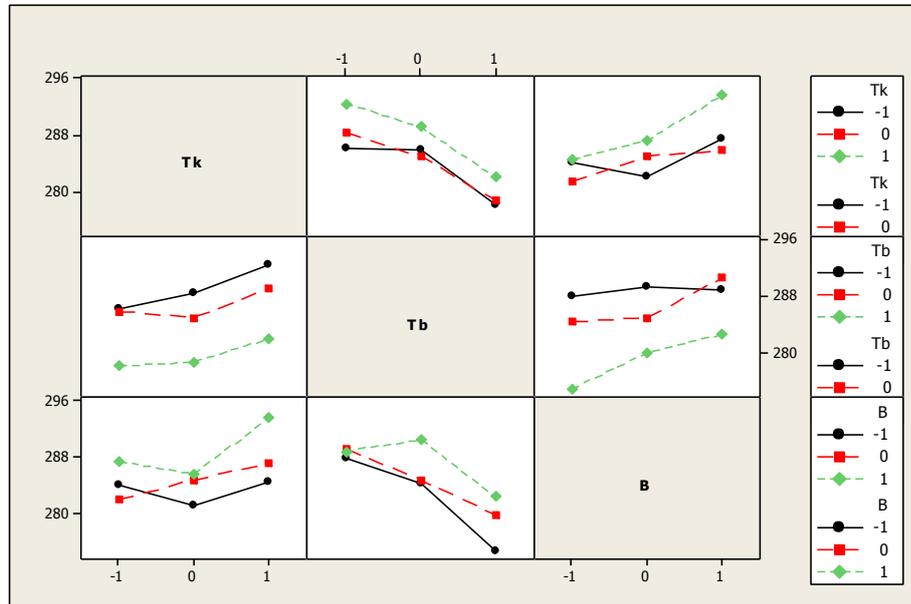


Gambar 4.1 Pengaruh Faktor Secara Individu Terhadap KP

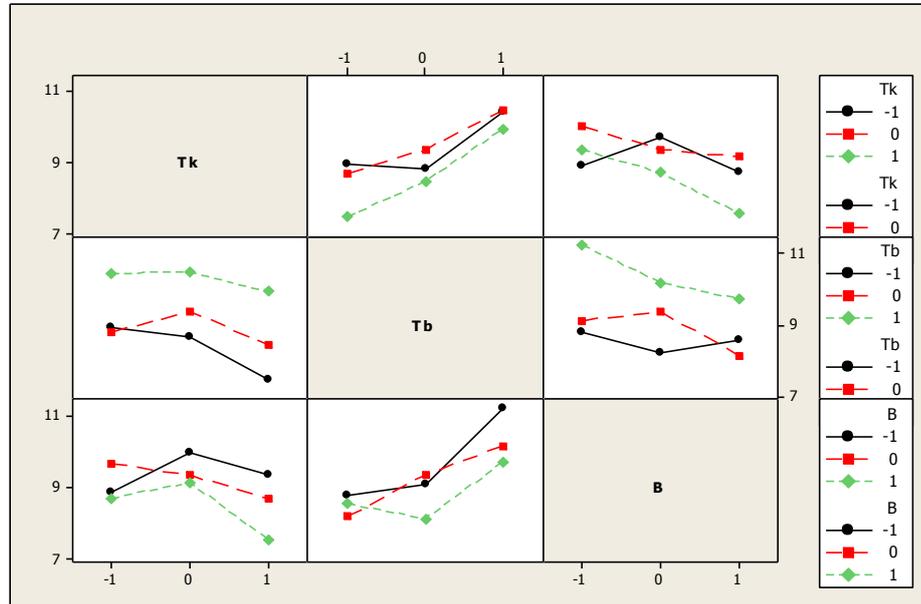


Gambar 4.2 Pengaruh Faktor Secara Individu Terhadap PA

Pengaruh interaksi antar faktor terhadap KP dan PA ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan 4.4 berikut.



Gambar 4.3 Pengaruh Interaksi Antar Faktor Terhadap KP



Gambar 4.4 Pengaruh Interaksi Antar Faktor Terhadap PA

Pengaruh faktor terhadap respon dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak *Minitab 16*. Analisis yang digunakan adalah estimasi koefisien regresi dan ANOVA. Uji kesesuaian model, uji koefisien regresi dan uji asumsi residual mengacu pada hasil analisis tersebut.

4.2.1 Pengujian Kesesuaian Model

Pengujian kesesuaian model dilakukan dengan melakukan uji koefisien determinasi (R^2) dan *lack of fit*.

a. Uji koefisien determinasi (R^2)

Besarnya presentase dari R^2 menunjukkan besarnya variasi yang dapat dijelaskan oleh model. Nilai R^2 dari masing-masing faktor ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai Koefisien Determinasi dan *Lack of Fit*

Keterangan	KP	PA
R^2	98,37%	97,49%
$P_{lack\ of\ fit}$	0,487	0,435

Sumber: Perhitungan *Minitab 16*

Besarnya persentase dari R^2 menunjukkan besarnya variasi yang dapat dijelaskan oleh model. Lebih dari 90% variasi dari model KP dan PA dapat dijelaskan oleh persamaan, dan pengaruh faktor lain di luar model kurang dari 10%. Pemodelan untuk KP dan PA dapat memenuhi uji koefisien determinasi.

b. Uji *lack of fit*

Uji *lack of fit* dilakukan dengan menggunakan hipotesis berikut:

H_0 = Tidak ada *lack of fit*

H_1 = Ada *lack of fit*

Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai $P_{lack\ of\ fit}$ KP adalah 0,487 dan nilai $P_{lack\ of\ fit}$ PA adalah 0,435. Dengan melakukan pengujian pada $\alpha = 0,05$, maka didapatkan bahwa H_0 gagal ditolak atau tidak ada *lack of fit*. Karena tidak ada *lack of fit*, maka model yang digunakan pada percobaan sudah memenuhi.

4.2.2 Pengujian Koefisien Regresi

Koefisien regresi dapat diuji secara serentak atau individu dengan menggunakan ANOVA. Nilai estimasi koefisien regresi dan ANOVA pada metode *Response Surface* ditampilkan pada Lampiran 3.

a. Pengujian koefisien regresi secara serentak

Pengujian koefisien regresi secara serentak dilakukan pada nilai $\alpha = 0,05$ dengan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : semua β_i tidak berpengaruh terhadap respon ($\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$)

H_1 : minimal ada satu $\beta_i \neq 0$; $i = 1, \dots, k$

Tabel 4.3 Nilai P Hasil *Analysis of Variance*

Keterangan	KP	PA
Regresi	0,001	0,002
Linier	0	0
Kuadratik	0,015	0,016
Interaksi	0,037	0,035

Sumber: Perhitungan *Minitab 16*

Tabel 4.3 menunjukkan semua nilai P pada uji koefisien regresi secara serentak untuk KP dan PA bernilai kurang dari 0,05, sehingga H_0 ditolak untuk koefisien regresi, linier, kuadratik dan interaksi

b. Pengujian koefisien regresi secara individu

Pengujian koefisien regresi secara individu menggunakan hipotesis berikut:

$H_0: \beta_i = 0$ untuk setiap i

$H_1: \beta_i \neq 0$ untuk setiap i

Pengujian ini ditujukan untuk memeriksa pengaruh tiap faktor pada model yang ada. Nilai estimasi koefisien regresi untuk KP ditunjukkan pada Tabel 4.4. Pada Tabel 4.4, interaksi B^2 (x_3*x_3) dan interaksi Tk dengan Tb (x_1*x_2) memiliki nilai P lebih besar dari 0,05 sehingga H_0 gagal ditolak untuk interaksi tersebut.

Tabel 4.4 Nilai Estimasi Koefisien Regresi Untuk KP

Term	Coefficient	SE Coefficient	T	P
Constant	284.927	0.5984	476.116	0.000
x1	2.096	0.3665	5.720	0.002
x2	-4.734	0.3665	-12.917	0.000
x3	2.660	0.3665	7.258	0.001
x1*x1	1.822	0.5394	3.377	0.020
x2*x2	-2.083	0.5394	-3.862	0.012
x3*x3	0.709	0.5394	1.315	0.246
x1*x2	-0.605	0.5183	-1.167	0.296
x1*x3	1.427	0.5183	2.754	0.040
x2*x3	1.647	0.5183	3.179	0.025

Sumber: Perhitungan *Minitab 16*

Koefisien yang memiliki nilai P lebih besar dari 0,05 dan paling besar nilainya dihilangkan dari pengujian. Proses perhitungan ulang dengan menghilangkan interaksi faktor-faktor yang memiliki nilai P lebih besar dari 0,05 ditampilkan pada Lampiran 3. Hasil akhir setelah penghilangan seluruh koefisien yang tidak signifikan ditampilkan pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Nilai Estimasi Koefisien Regresi Untuk KP setelah Penghilangan Seluruh Koefisien yang Tidak Signifikan

<i>Term</i>	<i>Coefficient</i>	<i>SE Coefficient</i>	T	P
<i>Constant</i>	285.363	0.5353	533.057	0.000
x1	2.096	0.3940	5.321	0.001
x2	-4.734	0.3940	-12.015	0.000
x3	2.660	0.3940	6.751	0.000
x1*x1	1.767	0.5782	3.056	0.018
x2*x2	-2.138	0.5782	-3.697	0.008
x1*x3	1.427	0.5572	2.562	0.037
x2*x3	1.647	0.5572	2.957	0.021

Sumber: Perhitungan *Minitab 16*

Nilai estimasi koefisien regresi untuk PA ditunjukkan pada Tabel 4.6. Pada Tabel 4.6, interaksi B^2 (x_3*x_3) dan interaksi Tk dengan Tb (x_1*x_2) memiliki nilai P lebih besar dari 0,05 sehingga H_0 gagal ditolak untuk interaksi tersebut.

Tabel 4.6 Nilai Estimasi Koefisien Regresi Untuk PA

<i>Term</i>	<i>Coefficient</i>	<i>SE Coefficient</i>	T	P
<i>Constant</i>	9.3600	0.14969	62.528	0.000
x1	-0.3350	0.09167	-3.654	0.015
x2	0.9488	0.09167	10.350	0.000
x3	-0.4587	0.09167	-5.004	0.004
x1*x1	-0.5563	0.13493	-4.122	0.009
x2*x2	0.3912	0.13493	2.900	0.034
x3*x3	-0.1737	0.13493	-1.288	0.254
x1*x2	0.2450	0.12964	1.890	0.117
x1*x3	-0.4050	0.12964	-3.124	0.026
x2*x3	-0.3225	0.12964	-2.888	0.035

Sumber: Perhitungan *Minitab 16*

Tabel 4.7 Nilai Estimasi Koefisien Regresi Untuk PA setelah Penghilangan Seluruh Koefisien yang Tidak Signifikan.

<i>Term</i>	<i>Coefficient</i>	<i>SE Coefficient</i>	T	P
<i>Constant</i>	9.2531	0.1506	61.454	0.000
x1	-0.3350	0.1108	-3.023	0.019
x2	0.9488	0.1108	8.561	0.000
x3	-0.4587	0.1108	-4.140	0.004
x1*x1	-0.5429	0.1626	-3.338	0.012
x2*x2	0.4046	0.1626	2.488	0.042
x1*x3	-0.4050	0.1567	-2.584	0.036
x2*x3	-0.3225	0.1567	-2.358	0.048

Sumber: Perhitungan *Minitab 16*

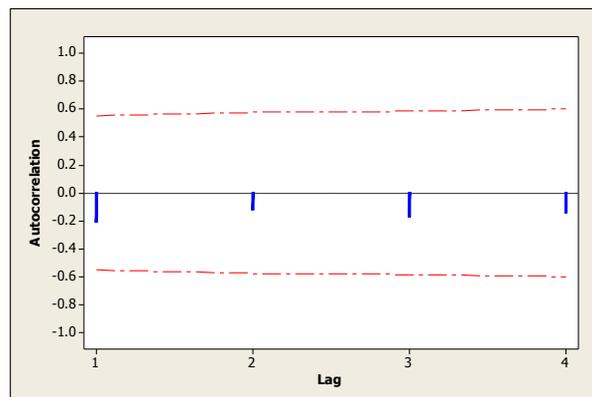
Koefisien yang memiliki nilai P lebih besar dari 0,05 dan paling besar nilainya dihilangkan dari pengujian. Proses perhitungan ulang dengan menghilangkan interaksi bernilai P lebih besar dari 0,05 ditampilkan pada Lampiran 3. Tabel 4.7 menampilkan hasil akhir setelah penghilangan seluruh koefisien yang tidak signifikan.

4.2.3 Pengujian Asumsi Residual

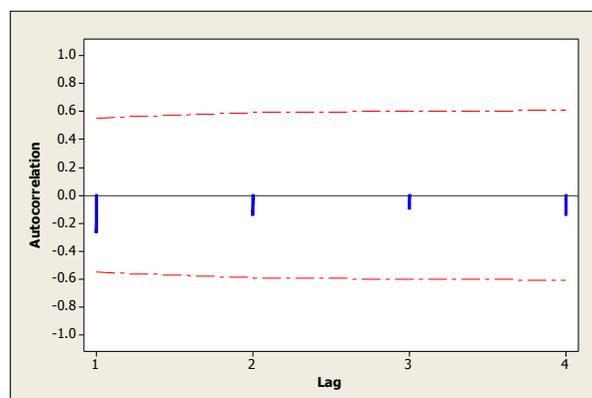
Residual merupakan selisih dari nilai hasil percobaan dengan nilai taksiran. Residual diasumsikan bersifat independen, *mean* yang bernilai nol dan variansi yang konstan atau identik, serta mengikuti distribusi normal. Hasil uji residual dijabarkan sebagai berikut:

a. Uji independensi

Uji independensi residual menggunakan plot *auto correlation function* (ACF). Residual dianggap independen ketika nilai korelasi berada di dalam batas atas dan batas bawah ACF.



Gambar 4.5 Grafik ACF untuk KP

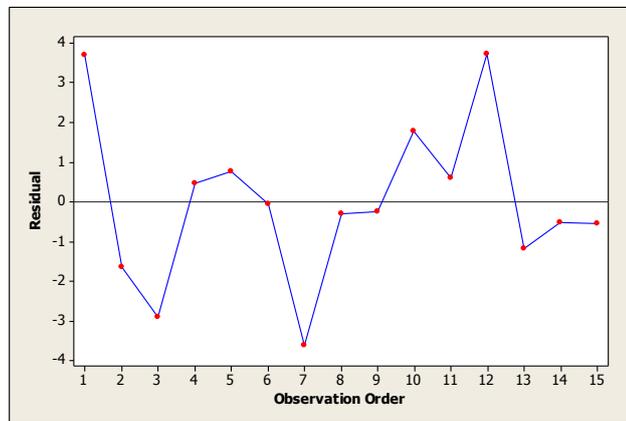


Gambar 4.6 Grafik ACF untuk PA

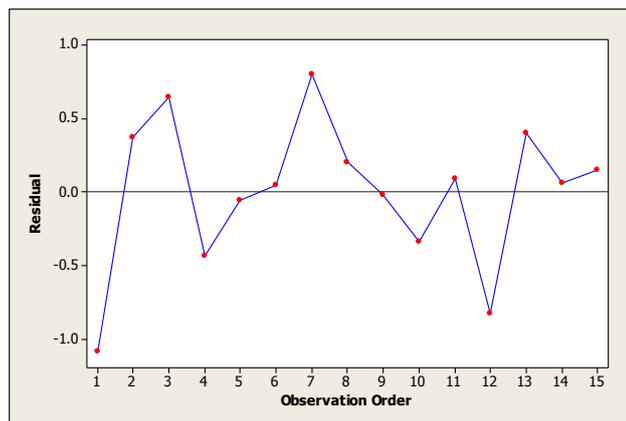
Gambar 4.5 menunjukkan hasil plot nilai ACF residual terhadap lag untuk KP dengan nilai $\alpha = 0,05$. Gambar 4.6 menunjukkan hasil plot nilai ACF residual terhadap lag untuk PA dengan nilai $\alpha = 0,05$. Semua nilai ACF untuk KP dan PA berada di dalam batas atas dan bawah sehingga residual diasumsikan independen.

b. Uji identik

Residual dianggap identik bila residual tidak berpola tertentu dan menyebar secara acak disekitar garis nol. Plot untuk KP ditampilkan pada Gambar 4.7, sedangkan plot untuk PA ditampilkan pada Gambar 4.8. Pada plot KP dan PA dapat dilihat bahwa data tersebar secara acak dan tidak membuat pola tertentu, sehingga dapat dikatakan bahwa asumsi identik terpenuhi.



Gambar 4.7 Plot Residual-*Observation Order* untuk KP



Gambar 4.8 Plot Residual-*Observation Order* untuk PA

c. Uji distribusi normal

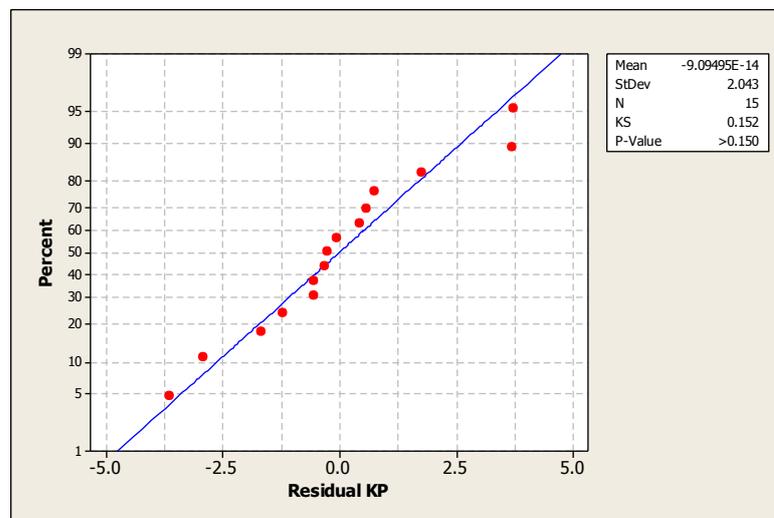
Pengujian distribusi normal dilakukan dengan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* dengan $\alpha = 0,05$. Hipotesis yang digunakan adalah:

H_0 : residual berdistribusi normal

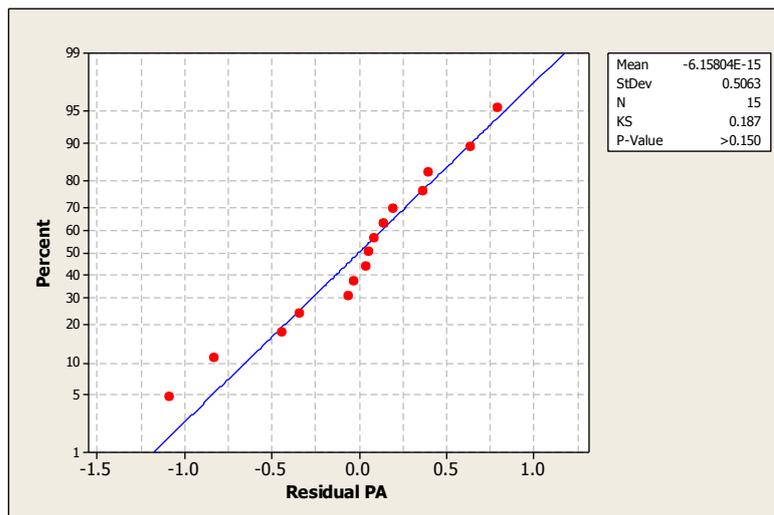
H_1 : residual tidak berdistribusi normal

H_0 ditolak bila nilai P lebih kecil daripada α .

Hasil uji kenormalan untuk KP ditampilkan pada Gambar 4.9 dan uji kenormalan untuk PA ditampilkan pada Gambar 4.10. Nilai P uji kenormalan residual KP dan PA dengan metode *Kolmogrov-Smirnov* lebih besar daripada 0,150 yang berarti H_0 gagal ditolak. Residual untuk KP dan PA berdistribusi normal.



Gambar 4.9 Uji Kenormalan Residual KP



Gambar 4.10 Uji Kenormalan Residual PA

Setelah melakukan uji asumsi residual pada KP dan PA, diketahui bahwa respon KP dan PA memiliki residual yang independen. Kedua respon tersebut

juga memiliki residual dengan nilai *mean* sebesar nol dan memiliki variansi yang identik. Respon KP dan PA berdistribusi normal dengan deviasi standar sebesar 2,043 untuk KP dan 0,5063 untuk PA.

4.2.4 Penyusunan Model Matematis

Setelah melakukan pengujian, maka model matematis yang menunjukkan pengaruh Tk (x_1), Tb (x_2) dan B (x_3) terhadap KP (\hat{y}_{KP}) dan PA (\hat{y}_{PA}) dapat dilihat pada persamaan regresi berikut:

$$\hat{y}_{KP} = 285.363 + 2.09625x_1 - 4.73375x_2 + 2.66x_3 + 1.76712x_1^2 + 1.4275x_1x_3 - 2.13788x_2^2 + 1.6475x_2x_3 \quad (4.1)$$

$$\hat{y}_{PA} = 9.253 - 0.335x_1 + 0.94875x_2 - 0.45875x_3 - 0.542885x_1^2 - 0.405x_1x_3 + 0.404615x_2^2 - 0.3225x_2x_3 \quad (4.2)$$

Untuk memvalidasi model yang dihasilkan ini, perlu dilakukan pengujian model. Percobaan dilakukan dengan pengaturan Tk sebesar 280 bar, Tb sebesar 7,5 mm dan B sebesar 80 gram. Hasil percobaan ditampilkan pada Tabel 4.8. Pengujian *one-sample t* dilakukan pada nilai $\alpha = 0,05$ dengan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

Tabel 4.8 Analisis Hasil Percobaan Konfirmasi Model

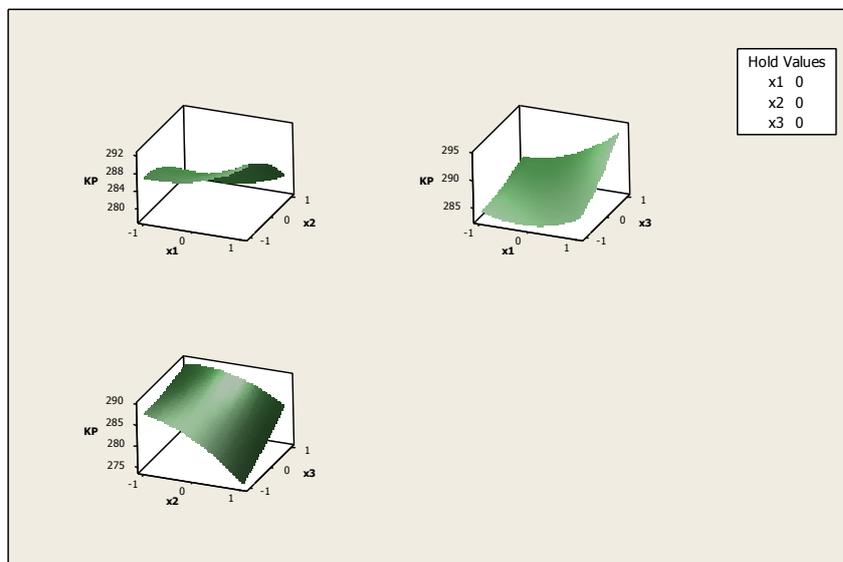
Faktor			Hasil Perhitungan		Hasil Percobaan		Uji t (nilai P)	
x_1	x_2	x_3	KP	PA	KP	PA	KP	PA
0	0	0	285,1783	9,0135	285,14	9,12	0,242	0,430
					284,84	9,21		
					285,23	8,89		
					283,89	8,95		
					283,71	9,19		
					285,90	8,98		
					285,49	8,96		
					284,86	9,04		
					284,96	9,06		
					285,12	9,01		
Rata-rata					284,91	9,041		
Stdev					0,667	0,105		

Sumber: Perhitungan *Minitab 16*

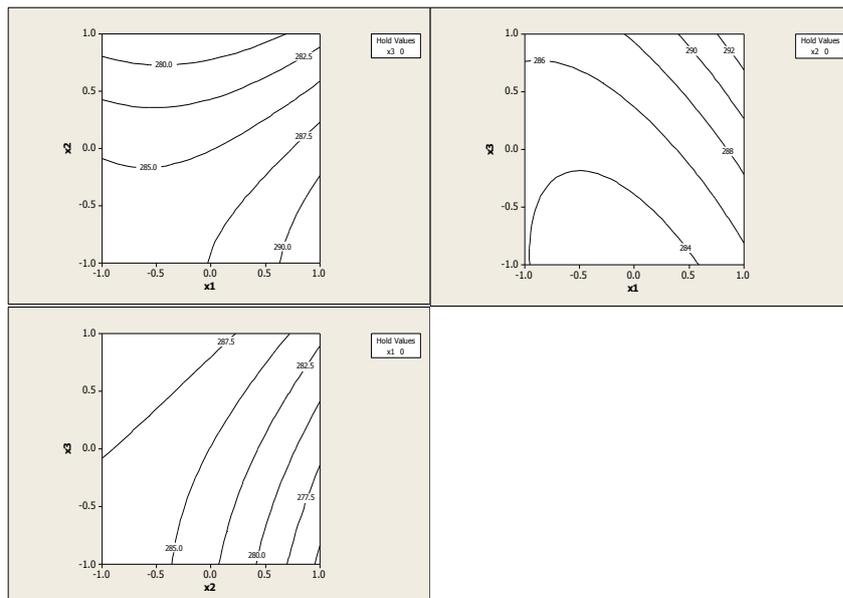
Hasil uji *one-sample t* untuk KP dan PA menunjukkan bahwa nilai P lebih besar dari 0,05, maka H_0 gagal ditolak yang artinya hasil percobaan konfirmasi model sesuai dengan hasil perhitungan model. Data pengujian *one-sample t* terdapat pada Lampiran 4.

4.2.5 Plot Permukaan

Plot permukaan menunjukkan pengaruh 2 faktor terhadap respon. Plot yang digunakan adalah *surface plot* dan *contour plot*. Plot permukaan untuk respon KP ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan 4.12.

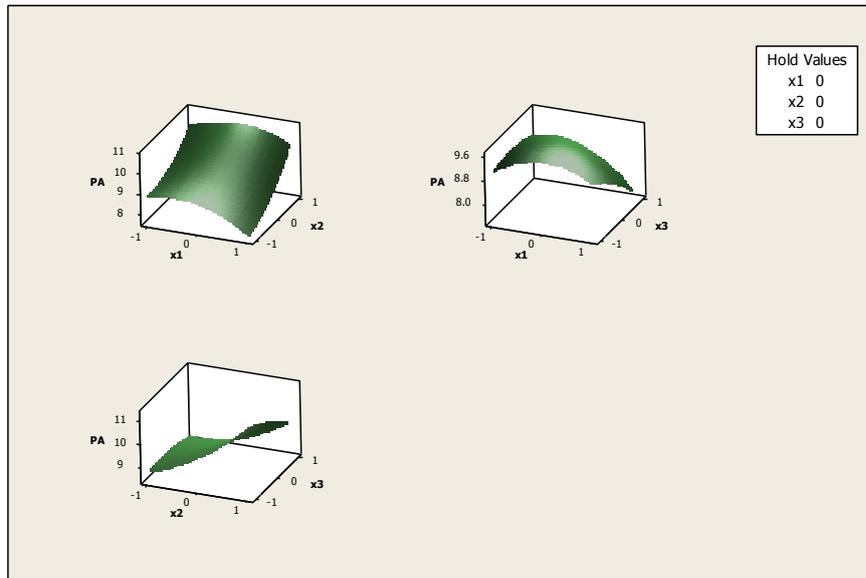


Gambar 4.11 *Surface Plot* untuk KP

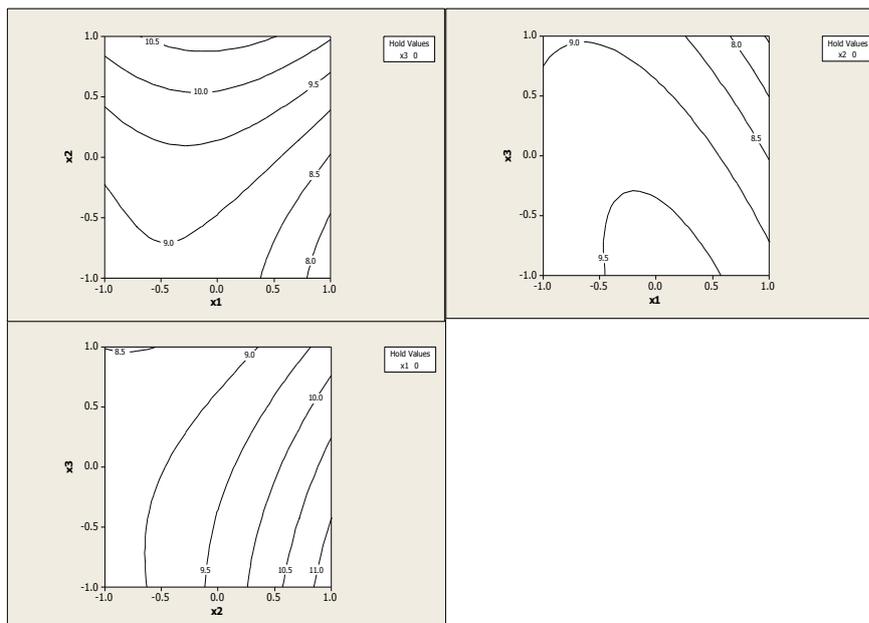


Gambar 4.12 *Contour Plot* untuk KP

Pada plot respon KP dapat dilihat bahwa kenaikan level x_1 (Tk) dan x_3 (B) serta penurunan level x_2 (Tb) akan memperbesar nilai KP dan kebalikannya. Faktor Tb memberikan efek yang berkebalikan dari Tk dan B terhadap respon KP. Pada plot respon PA terlihat bahwa kenaikan level x_1 (Tk) dan x_3 (B) serta penurunan level x_2 (Tb) akan memperkecil nilai PA dan kebalikannya. Faktor Tb memberikan efek yang berkebalikan dari Tk dan B terhadap respon PA. Plot permukaan untuk respon PA ditunjukkan pada Gambar 4.13 dan 4.14.



Gambar 4.13 *Surface Plot* untuk PA



Gambar 4.14 *Contour Plot* untuk PA

4.3 Optimasi Respon

Pada penelitian ini, optimasi bertujuan untuk mendekati nilai KP dan PA pada nilai target. Fungsi *desirability* dipakai untuk mengoptimasi dengan memaksimalkan nilai *desirability* (D). Nilai D merupakan fungsi dari nilai *desirability* individu (d) yang dipengaruhi nilai taksiran respon. Karena nilai d berbanding lurus dengan nilai D, maka harus memaksimalkan nilai d untuk mendapatkan nilai maksimal dari D. Nilai d akan semakin besar apabila nilai KP dan PA mendekati nilai target masing-masing 285 dan 9.

Batas atas dan bawah spesifikasi produk menjadi pembatas pada optimasi. KP memiliki batas atas sebesar 350 dan batas bawahnya sebesar 250. PA memiliki batas atas sebesar 10 dan batas bawah sebesar 8. Seluruh respon dianggap memiliki bobot (α) normal dan tingkat kepentingan (i) yang sama sehingga bernilai 1. α adalah tingkat akurasi hasil kepada target, sedangkan i adalah perbandingan kepentingan antar respon pada optimasi multi respon. Batasan optimasi pada fungsi *desirability* di perangkat lunak *Minitab 16* ditampilkan pada Tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Batasan Optimasi Respon pada Fungsi *Desirability*

Respon	Tujuan	Batas Bawah	Batas Atas	α	i
KP	Nominal Terbaik	250	350	1	1
PA	Nominal Terbaik	8	10	1	1

Berdasarkan data pada Tabel 4.9 dan pemodelan respon maka dapat disusun persamaan matematis optimasi sebagai berikut:

Fungsi tujuan:

Memaksimalkan $D = (d_{KP} \times d_{PA})^{1/2}$

Pembatas:

$$\hat{y}_{KP} = 285.363 + 2.09625x_1 - 4.73375x_2 + 2.66x_3 + 1.76712x_1^2 + 1.4275x_1x_3 - 2.13788x_2^2 + 1.6475x_2x_3$$

$$\hat{y}_{PA} = 9.25308 - 0.335x_1 + 0.94875x_2 - 0.45875x_3 - 0.542885x_1^2 - 0.405x_1x_3 + 0.404615x_2^2 - 0.3225x_2x_3$$

$$d_{KP} = \left(\frac{\hat{y}_{KP} - 250}{285 - 250} \right) \quad 250 \leq \hat{y}_{KP} \leq 285$$

$$d_{KP} = \left(\frac{350 - \hat{y}_{KP}}{350 - 285} \right) \quad 285 \leq \hat{y}_{KP} \leq 350$$

$$d_{PA} = \left(\frac{\hat{y}_{PA} - 8}{9 - 8} \right) \quad 8 \leq \hat{y}_{PA} \leq 9$$

$$d_{KP} = \left(\frac{10 - \hat{y}_{PA}}{10 - 9} \right) \quad 9 \leq \hat{y}_{PA} \leq 10$$

$$\hat{y}_{KP} \leq 350 \quad d \geq 0$$

$$\hat{y}_{KP} \geq 250 \quad d \leq 1$$

$$\hat{y}_{PA} \leq 10$$

$$\hat{y}_{PA} \geq 8$$

Hasil optimasi dengan fungsi *desirability* ditampilkan pada Tabel 4.10 dan hasil lengkap perhitungan ditampilkan pada Lampiran 5.

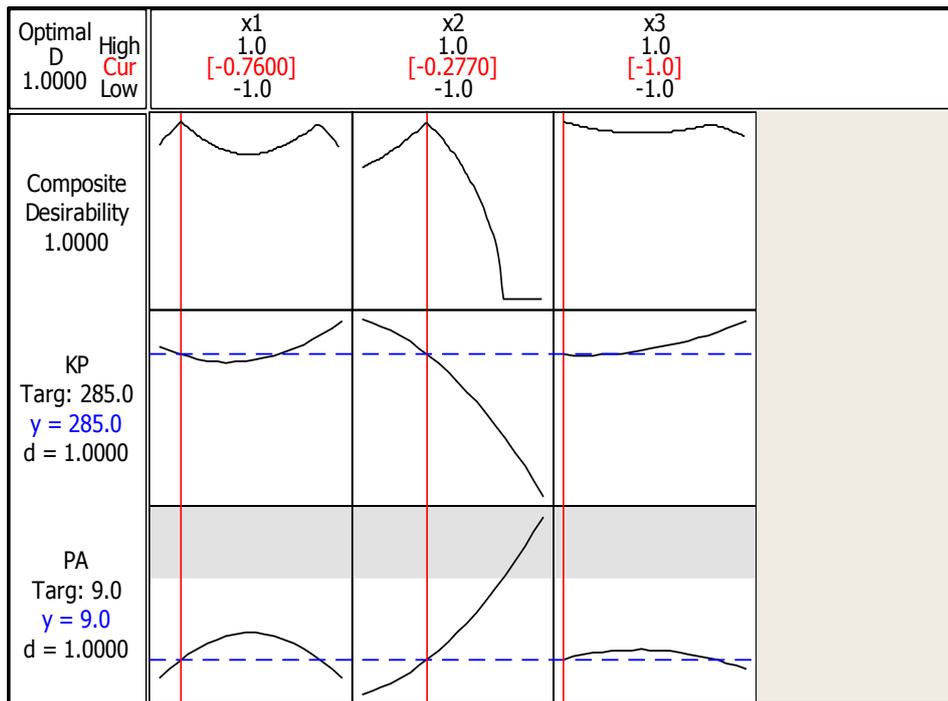
Tabel 4.10 Hasil Optimasi dengan Fungsi *Desirability*

Faktor		Respon		<i>Desirability</i>
Tk	-0.760004	KP	285	1.0
Tb	-0.276963	PA	9	1.0
B	-1			

Sumber: Perhitungan *Minitab 16*

Nilai optimal KP adalah 285 dan PA adalah 9 yang diperoleh saat nilai D adalah 1. Pengaturan faktor pada kondisi optimal adalah Tk sebesar -0,760004, Tb sebesar -0,276963 dan B sebesar -1.

Grafik nilai *desirability* untuk masing-masing respon ditunjukkan oleh Gambar 4.15. Garis kurva berwarna hitam menunjukkan nilai d untuk masing-masing respon, sedangkan garis putus-putus berwarna biru menunjukkan nilai respon pada saat nilai d tertentu. Nilai D mencapai nilai maksimal saat nilai faktor berada pada garis berwarna merah. Bila nilai d pada salah satu respon meningkat, maka akan menurunkan nilai d pada respon lainnya dan kebalikannya.



Gambar 4.15 Plot Hasil Optimasi

Nilai faktor hasil optimasi perlu ditransormasikan agar diketahui nilai pengaturan faktor yang sebenarnya. Perhitungan untuk transformasi terdapat pada Lampiran 6. Dari hasil perhitungan diperoleh pengaturan faktor yang baru sebagai berikut:

$$T_k = x_1 = 203,999 \text{ bar}$$

$$T_b = x_2 = 7,362 \text{ mm}$$

$$B = x_3 = 75 \text{ gram}$$

4.4 Percobaan Konfirmasi Hasil Optimasi

Percobaan konfirmasi berfungsi untuk memvalidasi hasil optimasi dan menghitung kapabilitas proses yang baru. Nilai pengaturan faktor yang digunakan adalah nilai hasil optimasi yang telah ditransormasi dan dilakukan pembulatan untuk menyesuaikan dengan mesin. Percobaan konfirmasi dilakukan dengan pengaturan sebagai berikut:

$$T_k = x_1 = 203,999 \approx 204 \text{ bar}$$

$$T_b = x_2 = 7,362 \approx 7,4 \text{ mm}$$

$$B = x_3 = 75 \text{ gram}$$

4.4.1 Uji *One-Sample T* untuk Percobaan Konfirmasi Hasil Optimasi

Data hasil percobaan konfirmasi secara lengkap ditampilkan pada Lampiran 7. Dilakukan pengujian *one-sample t* dengan nilai $\alpha = 0,05$ dan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

Dari uji *one-sample t* pada Lampiran 7, didapatkan bahwa semua nilai P untuk respon KP dan PA lebih besar dari 0,05. Ringkasan hasil uji *one-sample t* ditampilkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Ringkasan Pengujian *One-Sample T* Percobaan Konfirmasi

Keterangan	KP	PA
Nilai taksiran	285	5
Mean sampel	285,14	5,0252
<i>P-value</i>	0,950	0,655

Sumber: Perhitungan *Minitab 16*

Berdasarkan hasil uji tersebut, H_0 gagal ditolak untuk semua respon sehingga dapat disimpulkan bahwa semua hasil percobaan konfirmasi sesuai dengan nilai perkiraan hasil optimasi.

4.4.2 Analisis Pengendalian Proses

Peta kendali dan analisis kemampuan proses dipakai untuk mengevaluasi proses. Peta kendali dan analisis kemampuan proses hasil proses pengepresan dengan menggunakan pengaturan faktor hasil optimasi ditampilkan pada Lampiran 8. Pada Tabel 4.12 ditampilkan rangkuman perbandingan kemampuan proses pada CTQs KP dan PA sebelum dan sesudah dioptimasi.

Tabel 4.12 Perbandingan Kemampuan Proses

Pembanding	KP		PA	
	Awal	Optimasi	Awal	Optimasi
<i>Mean</i>	269,377	284,041	5,44943	5,01537
Deviasi standar	21,4507	12,5996	0,576054	0,28368
C_p (kepresisian)	0,53	2,76	0,76	3,23
C_{pl}	0,29	1,88	1,13	3,28
C_{pu}	0,76	3,64	0,43	3,18
C_{pk} (keaurasian)	0,29	1,88	0,43	3,18

Sumber: Perhitungan *Minitab 16*

Proses pengepresan dengan pengaturan mesin hasil optimasi menghasilkan nilai rata-rata KP sebesar 284,041 dengan deviasi standar sebesar 12,5996. Proses ini lebih baik dibandingkan dengan proses sebelum dilakukan optimasi yang memiliki nilai rata-rata sebesar 269,377 dengan deviasi standar sebesar 21,4507. Proses setelah optimasi memiliki tingkat kepresisian yang lebih baik dari pada sebelum optimasi, yaitu dengan C_p sebesar 2,76 dari sebelumnya 0,53. Proses setelah optimasi memiliki tingkat keakurasian yang lebih baik dari pada sebelum optimasi, yaitu dengan C_{pk} sebesar 1,88 dari sebelumnya 0,29.

Dengan pengaturan mesin hasil optimasi, proses pres menghasilkan nilai rata-rata PA sebesar 5,01537 dengan deviasi standar sebesar 0,28368. Proses ini lebih baik dibandingkan dengan proses sebelum dilakukan optimasi dengan nilai rata-rata sebesar 5,44943 dengan deviasi standar sebesar 0,576054. Proses setelah optimasi memiliki tingkat kepresisian yang lebih baik dari pada sebelum optimasi, yaitu dengan C_p sebesar 3,23 dari sebelumnya 0,76. Proses setelah optimasi memiliki tingkat keakurasian yang lebih baik dari pada sebelum optimasi, yaitu dengan C_{pk} sebesar 3,18 dari sebelumnya 0,43.

4.5 Perhitungan Biaya Kerugian

Proses yang dilakukan dengan menggunakan level-level faktor hasil optimasi seperti ditunjukkan pada Tabel 4.12 menghasilkan nilai variansi yang lebih kecil dan nilai rata-rata yang mendekati target. Hal ini dapat membuat terjadinya penurunan biaya kerugian. Penurunan biaya kerugian dihitung dengan persamaan *Taguchi lost function* yang membutuhkan komponen biaya, spesifikasi produk, nilai target, variansi dan rata-rata.

Biaya produksi yang dihitung berdasarkan data selama bulan Januari 2016 sampai April 2016 ditampilkan pada Lampiran 9. Komponen biaya produksi (A_0) ditampilkan pada Tabel 4.13. Nilai A_0 dipakai untuk menghitung nilai konstanta (k), selanjutnya nilai k dipakai untuk menghitung biaya kerugian awal dan biaya kerugian setelah memakai pengaturan mesin hasil optimasi. Selanjutnya dapat dihitung penurunan biaya kerugian dan besarnya persentase penurunan biaya kerugian.

Tabel 4.13 Komponen Biaya Produksi Ubin Keramik

Komponen Biaya	Biaya (Rp./keping ubin)
Tenaga kerja	258,05
Puder	313,45
Mesin	1354,78
Glasir	1159,49
Gas	1004,16
Listrik	1167,34
Total (A_0)	5257,27

Sumber: Laporan Keuangan PT X

a. Perhitungan konstanta (k)

$$k = \frac{A_0}{\Delta_0^2}$$

$$A_0 = \text{Rp } 5257,27$$

$$\Delta_{0KP} = 35$$

$$\Delta_{0PA} = 1$$

$$k_{0KP} = \frac{\text{Rp } 5257,27}{35^2} = \text{Rp } 4,29/\text{keping ubin}$$

$$k_{0PA} = \frac{\text{Rp } 5257,27}{1^2} = \text{Rp } 5257,27/\text{keping ubin}$$

b. Perhitungan biaya kerugian awal

$$\begin{aligned} L_{KP} &= k[S_{KP}^2 + (\bar{y}_{KP} - m_{KP})^2] \\ &= \text{Rp } 4,29 [21,4507^2 + (269,377 - 285)^2] \\ &= \text{Rp } 3021,06/\text{keping ubin} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{PA} &= [S_{PA}^2 + (\bar{y}_{PA} - m_{PA})^2] \\ &= \text{Rp } 5257,27 [0,576054^2 + (5,44943 - 5)^2] \\ &= \text{Rp } 2806,46/\text{keping ubin} \end{aligned}$$

c. Perhitungan biaya kerugian menggunakan pengaturan hasil optimasi

$$\begin{aligned} L_{KP} &= k[S_{KP}^2 + (\bar{y}_{KP} - m_{KP})^2] \\ &= \text{Rp } 4,29 [12,5996^2 + (284,041 - 285)^2] \\ &= \text{Rp } 684,98/\text{keping ubin} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{PA} &= [S_{PA}^2 + (\bar{y}_{PA} - m_{PA})^2] \\ &= \text{Rp } 5257,27 [0,28368^2 + (5,01537 - 5)^2] \\ &= \text{Rp } 424,32/\text{keping ubin} \end{aligned}$$

d. Perhitungan penurunan biaya kerugian

$$\Delta L = L_{\text{awal}} - L_{\text{optimasi}}$$

$$\Delta L_{KP} = \text{Rp } 3021,06 - \text{Rp } 684,98$$

$$= \text{Rp } 2336,08/\text{keping ubin}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta L_{KP} &= \frac{\text{Rp } 2336,08}{\text{Rp } 3021,06} \times 100\% \\ &= 77,33\% \end{aligned}$$

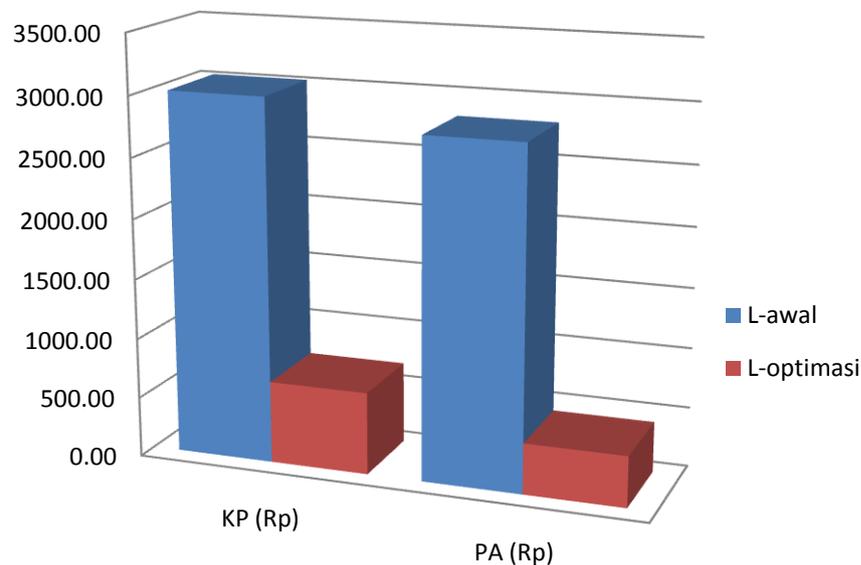
$$\begin{aligned} \Delta L_{PA} &= \text{Rp } 2806,46 - \text{Rp } 424,32 \\ &= \text{Rp } 2382,14/\text{keping ubin} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta L_{KP} &= \frac{\text{Rp } 2382,14}{\text{Rp } 2806,46} \times 100\% \\ &= 84,88\% \end{aligned}$$

Tabel 4.14 Rangkuman Penurunan Biaya dengan Pengaturan Hasil Optimasi

Keterangan	KP	PA	Total
L_{awal}	Rp 3021,06	Rp 2806,46	Rp 5827,52
$L_{optimasi}$	Rp 684,98	Rp 424,32	Rp 1109,3
ΔL	Rp 2336,08	Rp 2382,14	Rp 4718,22
$\% \Delta L$	77,33%	84,88%	80,96%

Proses pres menggunakan pengaturan hasil level-level faktor optimasi menurunkan biaya kerugian untuk KP dan PA digambarkan dengan grafik penurunan biaya pada Gambar 4.16. Penurunan biaya masing-masing sebesar Rp 2336,08/keping ubin dan Rp 2382,14/keping ubin. Terjadi penurunan biaya kerugian sebesar 77,33% untuk KP dan 84,88% untuk PA.



Gambar 4.16 Grafik Penurunan Biaya

Penurunan terjadi karena nilai rata-rata KP dan PA yang mendekati target. Tabel 4.14 berisi rangkuman penurunan biaya dengan pengaturan hasil

optimasi. Total penurunan biaya kerugian untuk KP dan PA adalah sebesar Rp 4718,22 atau sebesar 80,96%.

4.6 Pembahasan

Nilai pengaturan mesin dari hasil optimasi menghasilkan penurunan biaya kerugian yang sangat signifikan, yaitu sebesar Rp 4718,22 (80,96%). Penurunan biaya kerugian yang besar ini disebabkan oleh pengurangan produk cacat yang tidak dapat dijual.

Nilai pengaturan hasil optimasi untuk Tk sebesar 204 bar, lebih rendah dari pengaturan awal yakni 280 bar. Terjadi penurunan Tk sebesar 76 bar, yang artinya dapat memperpanjang umur komponen mesin. Nilai pengaturan Tb hasil optimasi sebesar 7,4 mm, lebih rendah dari nilai pengaturan awal sebesar 8 mm. Terjadi penurunan Tb sebesar 0,6 mm, yang artinya dapat memperpanjang umur dari *mold* sehingga berdampak pada menurunnya biaya produksi. Nilai pengaturan B setelah dioptimasi sebesar 7,5 gram, lebih rendah dari nilai pengaturan awal sebesar 8,5 gram. Penurunan sebesar 1 gram ini mengurangi pemakaian pudur sehingga dapat menurunkan biaya produksi.

Pada proses pengepresan, faktor Tk memberikan pengaruh yang berlawanan antara CTQs KP dan PA. Semakin besar nilai Tk akan memperbesar nilai KP, sebaliknya akan memperkecil nilai PA. Nilai Tk hasil optimasi membuat nilai KP dan PA mendekati target yang ditentukan. Faktor Tb memberikan pengaruh yang berkebalikan juga antara CTQs KP dan PA. Semakin besar nilai Tb akan memperkecil nilai KP, sebaliknya akan memperbesar nilai PA. Nilai Tb hasil optimasi menyebabkan nilai KP dan PA mendekati target yang ditentukan. Faktor B memiliki karakteristik yang sama dengan Tk, yaitu semakin besar nilai B akan memperbesar nilai KP dan memperkecil nilai PA. Penggunaan nilai B hasil optimasi menghasilkan nilai KP dan PA yang mendekati target.

LAMPIRAN 1

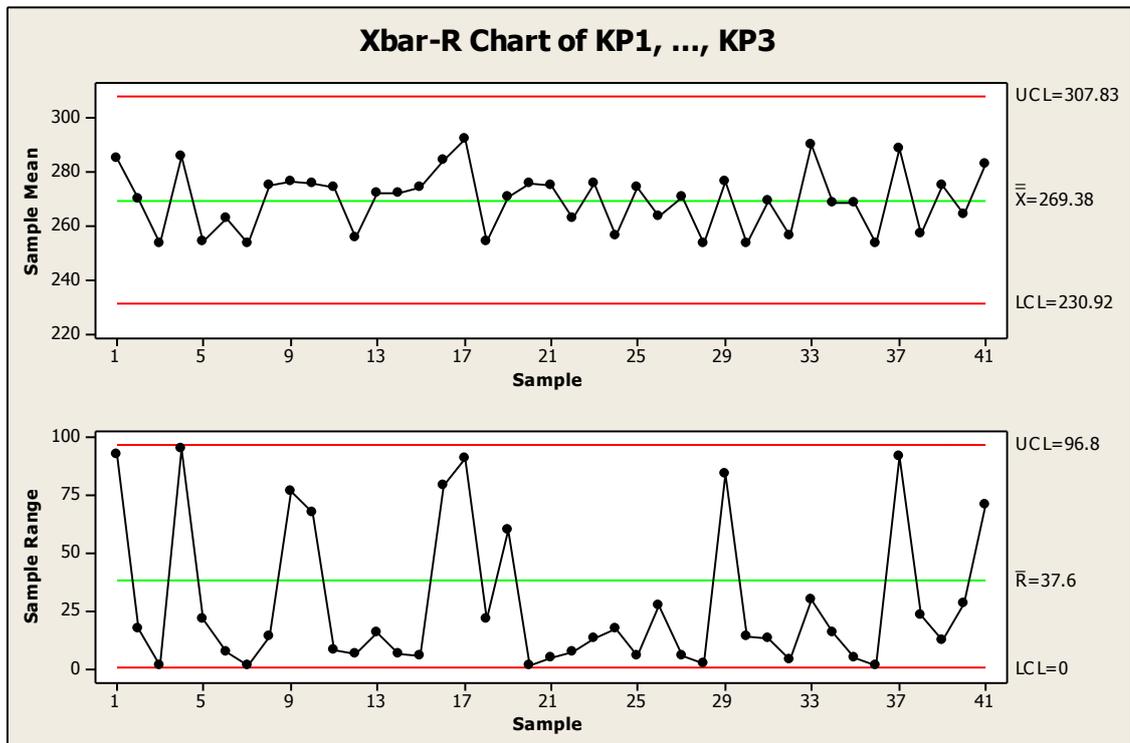
Data Lengkap Hasil Produksi dengan Pengaturan Awal Untuk Respon KP

HASIL PENGUKURAN

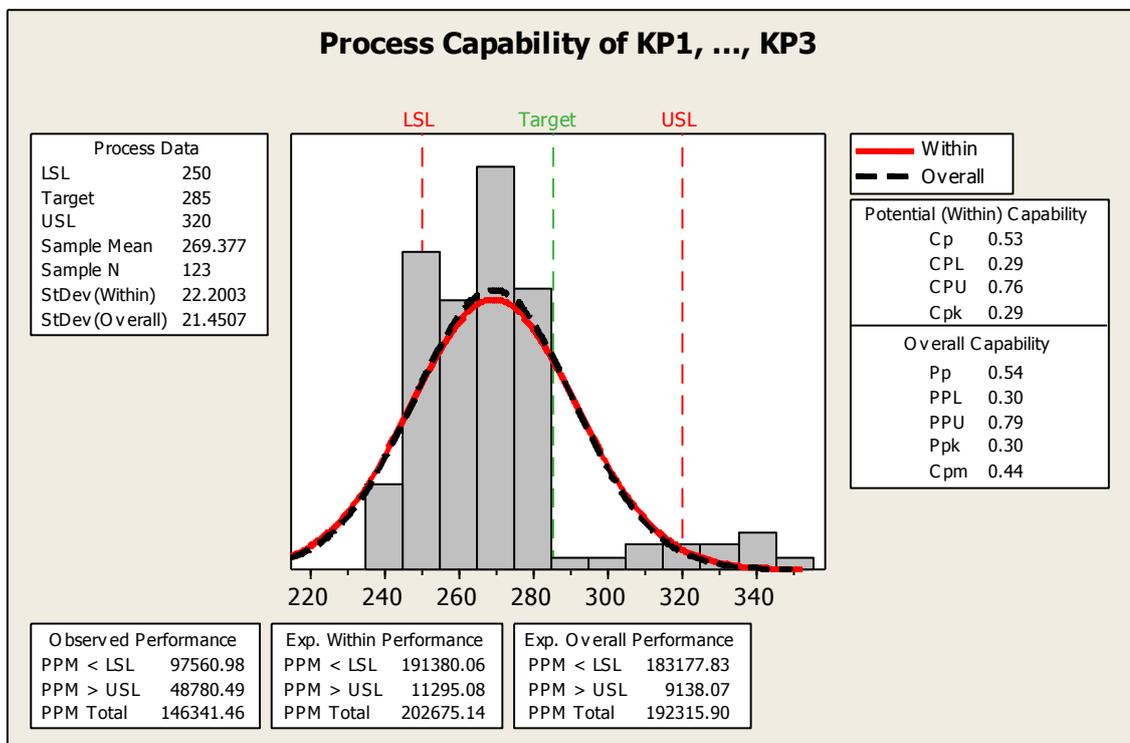
SAMPEL	KP1	KP2	KP3
1	335.63	276.09	243.42
2	279.41	266.74	262.75
3	252.82	253.59	252.49
4	340.72	270.53	245.53
5	264.15	255.16	243.28
6	265.28	263.18	258.63
7	252.53	253.70	252.49
8	268.52	275.43	281.66
9	314.76	274.98	238.29
10	320.00	254.60	252.80
11	277.65	270.30	273.87
12	253.37	259.17	252.93
13	280.32	269.19	265.41
14	269.19	271.64	275.20
15	276.76	274.54	271.64
16	328.54	275.43	249.41
17	351.62	265.41	260.51
18	263.40	256.28	242.25
19	302.71	265.85	242.99
20	275.83	274.98	275.20

SAMPEL	KP1	KP2	KP3
21	272.75	274.21	276.76
22	259.39	260.95	266.52
23	280.32	277.88	267.86
24	263.63	257.84	247.15
25	271.86	273.87	277.21
26	278.54	259.84	251.38
27	268.97	268.08	273.42
28	252.92	252.00	253.61
29	329.54	254.50	245.59
30	258.73	244.92	255.16
31	276.32	267.41	263.40
32	254.05	256.05	257.39
33	308.27	283.69	278.56
34	260.95	268.75	275.87
35	266.07	268.30	270.30
36	252.93	252.71	253.83
37	344.58	253.16	267.63
38	244.48	259.39	266.96
39	280.32	276.76	268.52
40	250.36	264.29	278.10
41	316.72	245.81	285.24

PETA KENDALI KP



ANALISIS KEMAMPUAN PROSES KP



LAMPIRAN 2

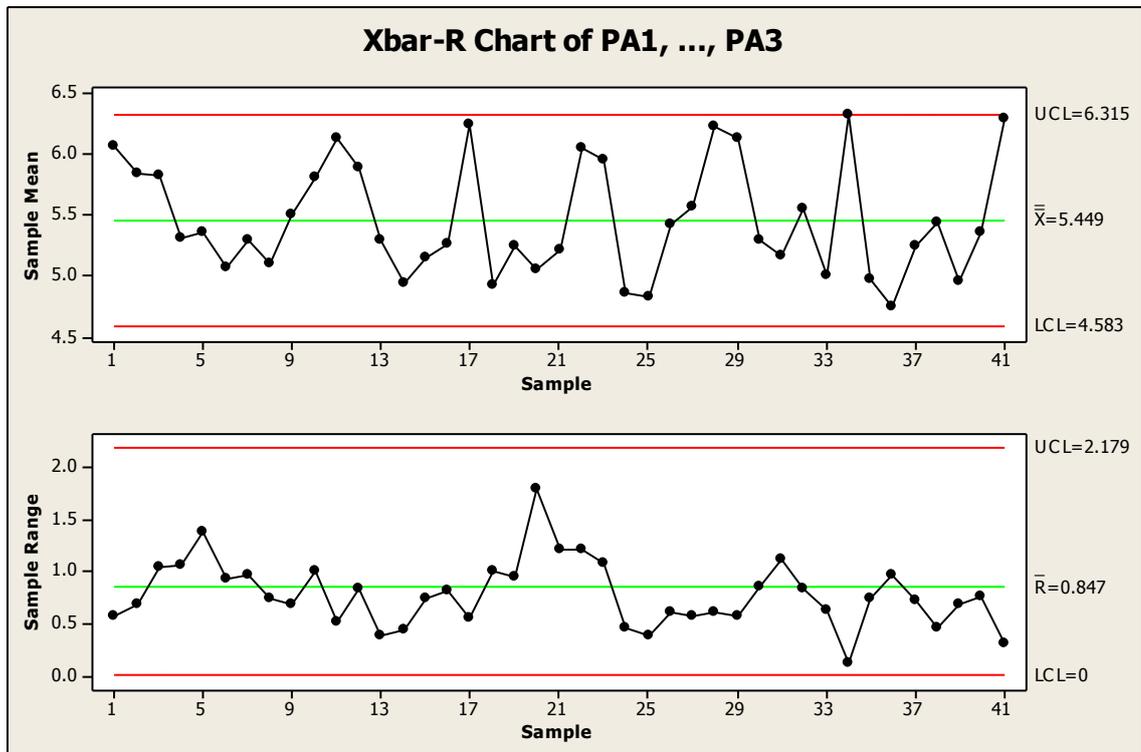
Data Lengkap Hasil Produksi dengan Pengaturan Awal Untuk Respon PA

HASIL PENGUKURAN

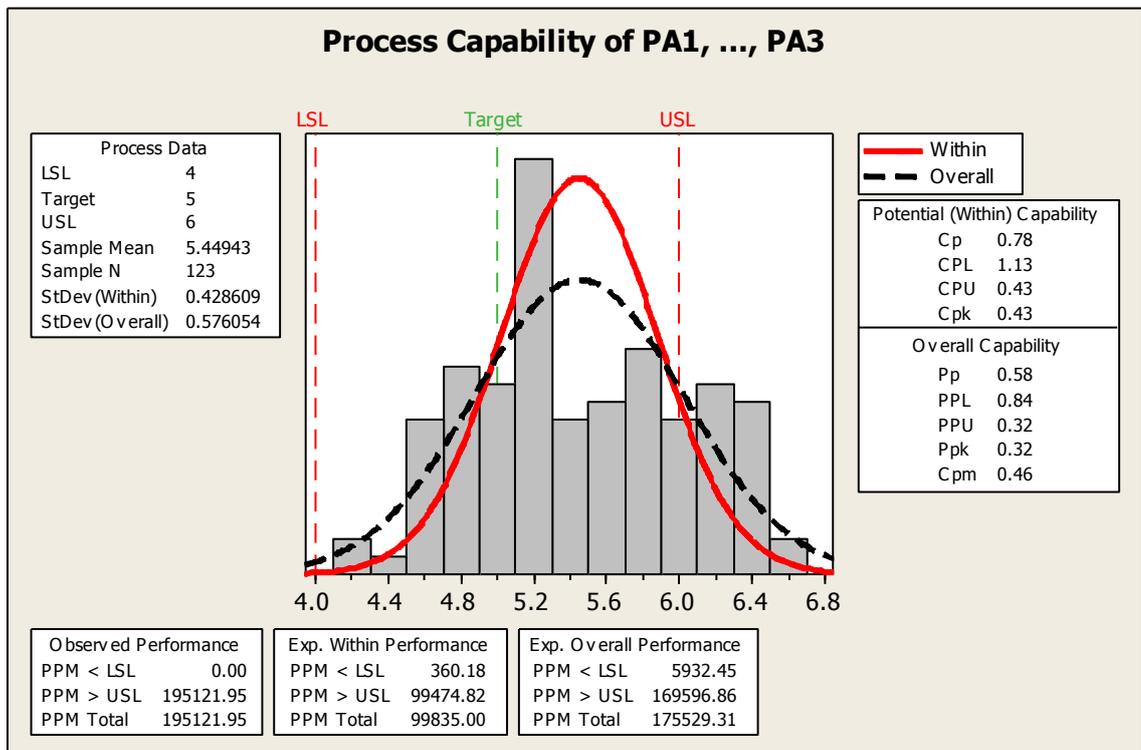
SAMPEL	PA1	PA2	PA3
1	6.35	5.79	6.01
2	5.45	5.92	6.12
3	5.25	6.29	5.89
4	4.91	5	5.97
5	6.13	5.17	4.75
6	4.64	4.97	5.56
7	5.81	5.16	4.86
8	5.57	4.83	4.87
9	5.55	5.13	5.81
10	5.29	5.83	6.28
11	5.84	6.17	6.34
12	5.44	6.26	5.93
13	5.14	5.19	5.52
14	4.78	5.21	4.78
15	4.73	5.23	5.46
16	5.63	5.32	4.82
17	6.45	6.32	5.91
18	5.45	4.85	4.45
19	5.76	5.12	4.83
20	5.95	5.01	4.17

SAMPEL	PA1	PA2	PA3
21	5.84	5.13	4.63
22	6.44	6.41	5.24
23	6.51	5.9	5.43
24	5.13	4.76	4.68
25	4.96	4.9	4.59
26	5.74	5.36	5.14
27	5.81	5.6	5.25
28	6.54	6.16	5.93
29	6.4	6.1	5.83
30	5.74	5.24	4.89
31	5.65	5.26	4.55
32	5.94	5.59	5.11
33	5.29	5.01	4.67
34	6.32	6.25	6.37
35	5.28	5.04	4.55
36	5.24	4.69	4.28
37	5.62	5.2	4.91
38	5.64	5.44	5.18
39	5.29	4.95	4.61
40	5.71	5.38	4.95
41	6.28	6.11	6.42

PETA KENDALI PA



ANALISIS KEMAMPUAN PROSES PA



LAMPIRAN 3

Uji Individu KP dan PA

a. Nilai Estimasi Koefisien Regresi Untuk KP

Response Surface Regression: KP versus x1, x2, x3

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for KP

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	284.927	0.5984	476.116	0.000
x1	2.096	0.3665	5.720	0.002
x2	-4.734	0.3665	-12.917	0.000
x3	2.660	0.3665	7.258	0.001
x1*x1	1.822	0.5394	3.377	0.020
x2*x2	-2.083	0.5394	-3.862	0.012
x3*x3	0.709	0.5394	1.315	0.246
x1*x2	-0.605	0.5183	-1.167	0.296
x1*x3	1.427	0.5183	2.754	0.040
x2*x3	1.647	0.5183	3.179	0.025

S = 1.03653 PRESS = 59.4484
 R-Sq = 98.37% R-Sq(pred) = 81.96% R-Sq(adj) = 95.43%

Analysis of Variance for KP

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	324.091	324.091	36.010	33.52	0.001
Linear	3	271.026	271.026	90.342	84.09	0.000
x1	1	35.154	35.154	35.154	32.72	0.002
x2	1	179.267	179.267	179.267	166.86	0.000
x3	1	56.605	56.605	56.605	52.69	0.001
Square	3	32.593	32.593	10.864	10.11	0.015
x1*x1	1	13.760	12.253	12.253	11.40	0.020
x2*x2	1	16.976	16.026	16.026	14.92	0.012
x3*x3	1	1.857	1.857	1.857	1.73	0.246
Interaction	3	20.472	20.472	6.824	6.35	0.037
x1*x2	1	1.464	1.464	1.464	1.36	0.296
x1*x3	1	8.151	8.151	8.151	7.59	0.040
x2*x3	1	10.857	10.857	10.857	10.11	0.025
Residual Error	5	5.372	5.372	1.074		
Lack-of-Fit	3	3.444	3.444	1.148	1.19	0.487
Pure Error	2	1.927	1.927	0.964		
Total	14	329.463				

b. Nilai Estimasi Koefisien Regresi Untuk KP Setelah Penghilangan

Koefisien x1*x2 yang Tidak Signifikan

Response Surface Regression: KP versus x1, x2, x3

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for KP

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	284.927	0.6163	462.346	0.000
x1	2.096	0.3774	5.555	0.001
x2	-4.734	0.3774	-12.544	0.000
x3	2.660	0.3774	7.049	0.000
x1*x1	1.822	0.5555	3.279	0.017
x2*x2	-2.083	0.5555	-3.750	0.010
x3*x3	0.709	0.5555	1.277	0.249
x1*x3	1.427	0.5337	2.675	0.037
x2*x3	1.647	0.5337	3.087	0.021

S = 1.06740 PRESS = 54.9054
R-Sq = 97.93% R-Sq(pred) = 83.33% R-Sq(adj) = 95.16%

Analysis of Variance for KP

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	8	322.627	322.627	40.328	35.40	0.000
Linear	3	271.026	271.026	90.342	79.29	0.000
x1	1	35.154	35.154	35.154	30.85	0.001
x2	1	179.267	179.267	179.267	157.34	0.000
x3	1	56.605	56.605	56.605	49.68	0.000
Square	3	32.593	32.593	10.864	9.54	0.011
x1*x1	1	13.760	12.253	12.253	10.75	0.017
x2*x2	1	16.976	16.026	16.026	14.07	0.010
x3*x3	1	1.857	1.857	1.857	1.63	0.249
Interaction	2	19.008	19.008	9.504	8.34	0.019
x1*x3	1	8.151	8.151	8.151	7.15	0.037
x2*x3	1	10.857	10.857	10.857	9.53	0.021
Residual Error	6	6.836	6.836	1.139		
Lack-of-Fit	4	4.909	4.909	1.227	1.27	0.484
Pure Error	2	1.927	1.927	0.964		
Total	14	329.463				

c. Nilai Estimasi Koefisien Regresi Untuk KP Setelah Penghilangan

Koefisien x3*x3 yang Tidak Signifikan

Response Surface Regression: KP versus x1, x2, x3

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for KP

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	285.363	0.5353	533.057	0.000
x1	2.096	0.3940	5.321	0.001
x2	-4.734	0.3940	-12.015	0.000
x3	2.660	0.3940	6.751	0.000
x1*x1	1.767	0.5782	3.056	0.018
x2*x2	-2.138	0.5782	-3.697	0.008
x1*x3	1.427	0.5572	2.562	0.037
x2*x3	1.647	0.5572	2.957	0.021

S = 1.11438 PRESS = 49.3757
R-Sq = 97.36% R-Sq(pred) = 85.01% R-Sq(adj) = 94.72%

Analysis of Variance for KP

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	7	320.770	320.770	45.824	36.90	0.000
Linear	3	271.026	271.026	90.342	72.75	0.000
x1	1	35.154	35.154	35.154	28.31	0.001
x2	1	179.267	179.267	179.267	144.35	0.000
x3	1	56.605	56.605	56.605	45.58	0.000
Square	2	30.736	30.736	15.368	12.38	0.005
x1*x1	1	13.760	11.599	11.599	9.34	0.018
x2*x2	1	16.976	16.976	16.976	13.67	0.008
Interaction	2	19.008	19.008	9.504	7.65	0.017
x1*x3	1	8.151	8.151	8.151	6.56	0.037
x2*x3	1	10.857	10.857	10.857	8.74	0.021
Residual Error	7	8.693	8.693	1.242		
Lack-of-Fit	5	6.766	6.766	1.353	1.40	0.466
Pure Error	2	1.927	1.927	0.964		
Total	14	329.463				

Unusual Observations for KP

Obs	StdOrder	KP	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
10	10	287.510	286.266	0.927	1.244	2.01 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

a. Nilai Estimasi Koefisien Regresi Untuk PA

Response Surface Regression: PA versus x1, x2, x3

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for PA

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	9.3600	0.14969	62.528	0.000
x1	-0.3350	0.09167	-3.654	0.015
x2	0.9488	0.09167	10.350	0.000
x3	-0.4587	0.09167	-5.004	0.004
x1*x1	-0.5563	0.13493	-4.122	0.009
x2*x2	0.3912	0.13493	2.900	0.034
x3*x3	-0.1737	0.13493	-1.288	0.254
x1*x2	0.2450	0.12964	1.890	0.117
x1*x3	-0.4050	0.12964	-3.124	0.026
x2*x3	-0.3225	0.12964	-2.888	0.035

S = 0.259278 PRESS = 3.915

R-Sq = 97.49% R-Sq(pred) = 70.72% R-Sq(adj) = 92.96%

Analysis of Variance for PA

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	13.0348	13.0348	1.44831	21.54	0.002
Linear	3	9.7824	9.7824	3.26081	48.51	0.000
x1	1	0.8978	0.8978	0.89780	13.36	0.015
x2	1	7.2010	7.2010	7.20101	107.12	0.000
x3	1	1.6836	1.6836	1.68361	25.04	0.004
Square	3	1.9401	1.9401	0.64671	9.62	0.016
x1*x1	1	1.2206	1.1425	1.14245	16.99	0.009
x2*x2	1	0.6081	0.5652	0.56521	8.41	0.034
x3*x3	1	0.1115	0.1115	0.11147	1.66	0.254
Interaction	3	1.3122	1.3122	0.43741	6.51	0.035
x1*x2	1	0.2401	0.2401	0.24010	3.57	0.117
x1*x3	1	0.6561	0.6561	0.65610	9.76	0.026
x2*x3	1	0.4160	0.4160	0.41603	6.19	0.035
Residual Error	5	0.3361	0.3361	0.06722		
Lack-of-Fit	3	0.2297	0.2297	0.07657	1.44	0.435
Pure Error	2	0.1064	0.1064	0.05320		
Total	14	13.3709				

b. Nilai Estimasi Koefisien Regresi Untuk KP Setelah Penghilangan

Koefisien x3*x3 yang Tidak Signifikan

Response Surface Regression: PA versus x1, x2, x3

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for PA

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	9.2531	0.13121	70.523	0.000
x1	-0.3350	0.09657	-3.469	0.013
x2	0.9488	0.09657	9.825	0.000
x3	-0.4587	0.09657	-4.751	0.003

x1*x1	-0.5429	0.14172	-3.831	0.009
x2*x2	0.4046	0.14172	2.855	0.029
x1*x2	0.2450	0.13656	1.794	0.123
x1*x3	-0.4050	0.13656	-2.966	0.025
x2*x3	-0.3225	0.13656	-2.562	0.040

S = 0.273128 PRESS = 3.47935
R-Sq = 96.65% R-Sq(pred) = 73.98% R-Sq(adj) = 92.19%

Analysis of Variance for PA

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	8	12.9233	12.9233	1.61541	21.65	0.001
Linear	3	9.7824	9.7824	3.26081	43.71	0.000
x1	1	0.8978	0.8978	0.89780	12.04	0.013
x2	1	7.2010	7.2010	7.20101	96.53	0.000
x3	1	1.6836	1.6836	1.68361	22.57	0.003
Square	2	1.8287	1.8287	0.91433	12.26	0.008
x1*x1	1	1.2206	1.0947	1.09469	14.67	0.009
x2*x2	1	0.6081	0.6081	0.60808	8.15	0.029
Interaction	3	1.3122	1.3122	0.43741	5.86	0.032
x1*x2	1	0.2401	0.2401	0.24010	3.22	0.123
x1*x3	1	0.6561	0.6561	0.65610	8.80	0.025
x2*x3	1	0.4160	0.4160	0.41603	5.18	0.040
Residual Error	6	0.4476	0.4476	0.07460		
Lack-of-Fit	4	0.3412	0.3412	0.08530	1.60	0.419
Pure Error	2	0.1064	0.1064	0.05320		
Total	14	13.3709				

c. Nilai Estimasi Koefisien Regresi Untuk KP Setelah Penghilangan

Koefisien x1*x2 yang Tidak Signifikan

Response Surface Regression: PA versus x1, x2, x3

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for PA

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	9.2531	0.1506	61.454	0.000
x1	-0.3350	0.1108	-3.023	0.019
x2	0.9488	0.1108	8.561	0.000
x3	-0.4587	0.1108	-4.140	0.004
x1*x1	-0.5429	0.1626	-3.338	0.012
x2*x2	0.4046	0.1626	2.488	0.042
x1*x3	-0.4050	0.1567	-2.584	0.036
x2*x3	-0.3225	0.1567	-2.358	0.048

S = 0.313435 PRESS = 3.24711
R-Sq = 94.86% R-Sq(pred) = 75.72% R-Sq(adj) = 89.71%

Analysis of Variance for PA

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	7	12.6832	12.6832	1.81189	18.44	0.001
Linear	3	9.7824	9.7824	3.26081	33.19	0.000

x1	1	0.8978	0.8978	0.89780	9.14	0.019
x2	1	7.2010	7.2010	7.20101	73.30	0.000
x3	1	1.6836	1.6836	1.68361	17.14	0.004
Square	2	1.8287	1.8287	0.91433	9.31	0.011
x1*x1	1	1.2206	1.0947	1.09469	11.14	0.012
x2*x2	1	0.6081	0.6081	0.60808	6.19	0.042
Interaction	2	1.0721	1.0721	0.53606	5.46	0.037
x1*x3	1	0.6561	0.6561	0.65610	6.68	0.036
x2*x3	1	0.4160	0.4160	0.41603	6.23	0.048
Residual Error	7	0.6877	0.6877	0.09824		
Lack-of-Fit	5	0.5813	0.5813	0.11626	2.19	0.343
Pure Error	2	0.1064	0.1064	0.05320		
Total	14	13.3709				

LAMPIRAN 4

Uji One-Sample T Konfirmasi Model

One-Sample T: KP

Test of mu = 285.178 vs not = 285.178

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
KP	10	284.914	0.667	0.211	(284.437, 285.391)	-1.25	0.242

One-Sample T: PA

Test of mu = 9.0135 vs not = 9.0135

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
PA	10	9.0410	0.1052	0.0333	(8.9657, 9.1163)	0.83	0.430

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

LAMPIRAN 5

Optimasi dengan Fungsi *Desirability*

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
KP	Target	250	285	350	1	1
PA	Target	8	9	10	1	1

Global Solution

x1 = -0.760004
x2 = -0.276963
x3 = -1

Predicted Responses

KP = 285.000 , desirability = 1.000000
PA = 9.000 , desirability = 1.000000

Composite Desirability = 1.000000

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

LAMPIRAN 6

Perhitungan Transformasi Nilai Faktor

a. Tk

$$x_i = -0.760004$$

$$x_{\max} = 380$$

$$x_{\min} = 180$$

$$x_i = \frac{x_{\text{real}} - (x_{\max} + x_{\min})/2}{(x_{\max} - x_{\min})/2}$$

$$-0.760004 = \frac{x_{\text{real}} - (380 + 180)/2}{(380 - 180)/2}$$

$$x_{\text{real}} = 203,999$$

b. Tb

$$x_i = -0.276963$$

$$x_{\max} = 8$$

$$x_{\min} = 7$$

$$-0.276963 = \frac{x_{\text{real}} - (8 + 7)/2}{(8 - 7)/2}$$

$$x_{\text{real}} = 7,362$$

c. B

$$x_i = -1$$

$$x_{\max} = 85$$

$$x_{\min} = 75$$

$$-1 = \frac{x_{\text{real}} - (85 + 75)/2}{(85 - 75)/2}$$

$$x_{\text{real}} = 75$$

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

LAMPIRAN 7

Percobaan dengan Nilai Pengaturan Baru Dan Uji One-Sample T

KP1	KP2	KP3	PA1	PA2	PA3
264.33	268.78	277.12	4.43	4.75	4.33
285.44	277.64	270.20	4.89	5.50	4.97
270.12	268.33	282.49	5.04	4.96	5.01
290.75	285.62	285.63	5.04	5.02	5.08
297.15	305.23	304.22	4.96	4.76	4.89
278.28	283.18	295.63	5.14	5.23	5.16
295.44	284.48	291.46	5.01	4.94	5.03
281.52	291.43	290.44	5.27	5.13	5.23
291.22	289.44	295.44	4.89	4.88	4.79
306.44	298.85	302.34	4.99	4.89	4.98
279.65	273.44	268.33	4.76	4.78	4.79
302.44	312.33	292.46	4.63	4.53	4.37
300.21	290.55	295.90	4.77	4.44	4.58
274.33	278.64	272.33	4.77	4.65	4.73
283.22	286.44	279.57	4.66	4.75	4.65
268.33	274.34	261.44	5.42	5.47	5.49
275.33	285.12	278.14	5.11	5.22	4.94
279.44	286.28	282.25	5.47	5.55	5.62
280.71	285.85	281.23	5.26	5.42	5.67
293.46	286.11	265.23	4.95	5.02	4.99
290.33	300.23	290.45	5.35	5.17	5.49
279.39	280.32	281.32	4.99	5.05	5.14
280.32	277.87	277.23	4.81	4.98	4.90
269.34	266.55	279.33	5.02	4.91	5.06
285.33	287.33	289.43	5.13	5.06	5.07
282.22	299.45	276.32	5.12	5.02	5.08
268.97	265.33	264.33	5.06	5.16	5.14
294.33	297.23	280.11	5.31	5.47	5.25
289.66	295.33	290.89	5.45	5.33	5.55
299.65	307.32	300.65	5.02	5.01	5.08
286.42	292.41	287.44	5.22	5.28	5.23
288.34	283.77	300.11	5.10	5.26	5.12
307.33	298.32	306.33	5.06	5.00	5.03
293.46	295.43	297.44	5.13	5.04	5.16
254.33	274.33	270.33	4.66	4.77	4.55
293.93	294.45	283.83	4.87	4.99	4.88
269.22	261.23	258.33	4.76	4.72	4.76
297.33	294.39	294.33	4.86	4.60	4.79
274.32	286.64	273.22	5.12	5.05	5.21
262.55	268.33	262.33	4.52	4.39	4.71
265.66	263.44	269.44	5.64	5.27	5.31

One-Sample T: KP

Test of mu = 285 vs not = 285

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
KP	41	285.14	14.08	2.20	(280.70, 289.58)	0.06	0.950

One-Sample T: PA

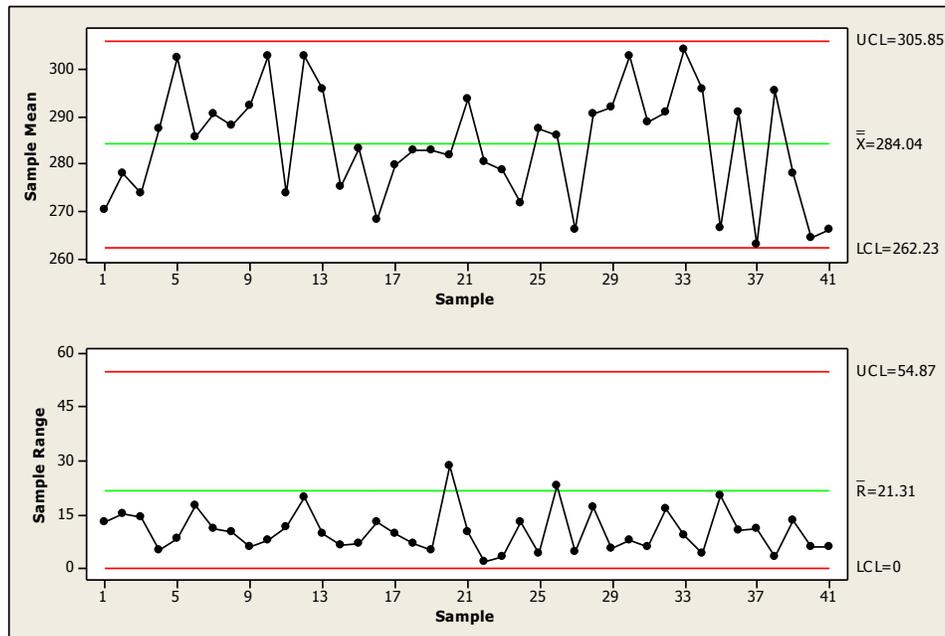
Test of mu = 5 vs not = 5

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
PA	41	5.0252	0.3585	0.0560	(4.9120, 5.1384)	0.45	0.655

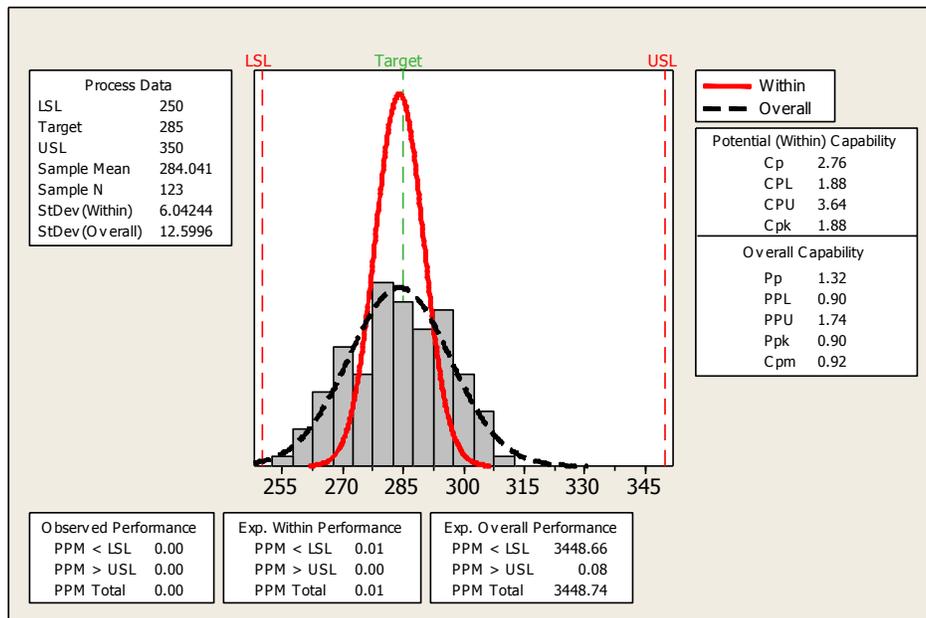
LAMPIRAN 8

Peta Kendali Dan Analisis Kemampuan Proses Percobaan Dengan Nilai Pengaturan Baru

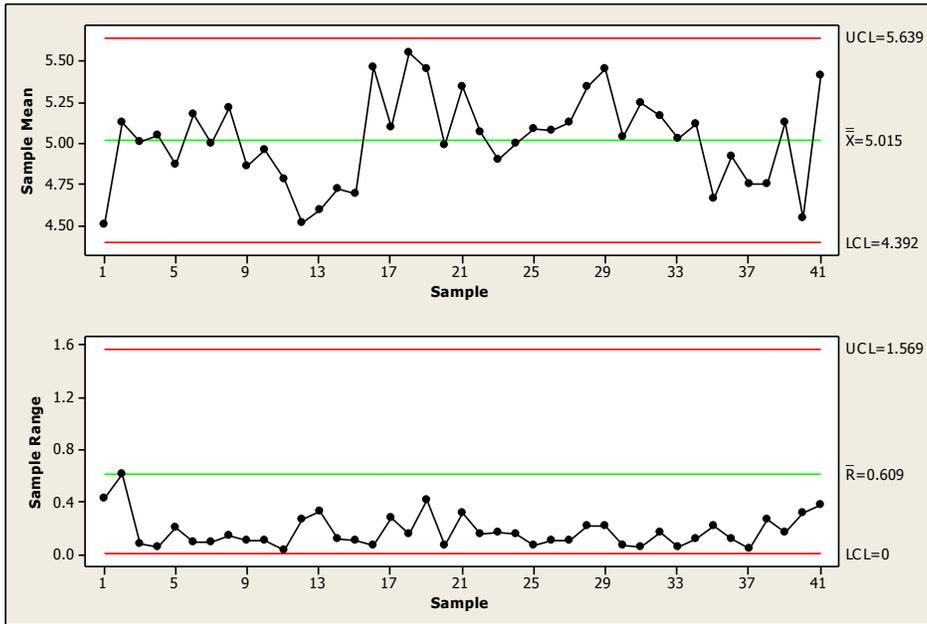
PETA KENDALI PERCOBAAN DENGAN NILAI PENGATURAN BARU UNTUK KP



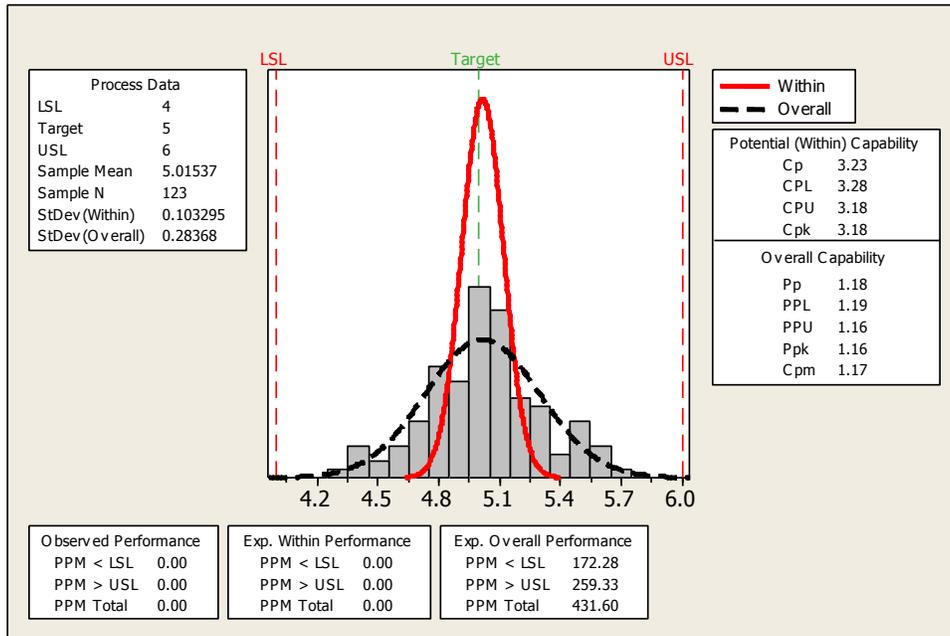
ANALISIS KEMAMPUAN PROSES PERCOBAAN DENGAN NILAI PENGATURAN BARU UNTUK KP



PETA KENDALI PERCOBAAN DENGAN NILAI PENGATURAN BARU UNTUK PA



ANALISIS KEMAMPUAN PROSES PERCOBAAN DENGAN NILAI PENGATURAN BARU UNTUK PA



LAMPIRAN 9

Biaya Produksi

Jumlah mesin pres	: 4 unit
Cetakan per mesin pres	: 2 unit
Hasil pres/jam	= 10 <i>cycle</i> /menit x 2 unit x 60 = 1200 keping ubin/jam
Hasil produksi total	= 1200 keping ubin/jam x 0,7 x 4 = 3360 keping ubin/jam
Jumlah Operator	= 50 orang
Gaji operator	= Rp 3.000.000/orang-bulan
Jam kerja	= 173 jam/bulan
Biaya tenaga kerja	= $\frac{50 \times \text{Rp } 3.000.000}{173 \times 3360}$ = Rp 258,05/keping ubin
Rerata biaya pudar	= Rp 313,45/keping ubin
Rerata biaya mesin	= Rp 1354,78/keping ubin
Rerata biaya glazir	=Rp 1159,49/keping ubin
Rerata biaya gas	= Rp 1004,16/keping ubin
Rerata biaya listrik	= Rp 1167,34/keping ubin

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pemodelan, optimasi, perhitungan biaya dan pembahasan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Persamaan regresi pengaruh dari Tk (x_1), Tb (x_2) dan B (x_3) terhadap respon KP dan PA adalah sebagai berikut:

$$\hat{y}_{KP} = 285.363 + 2.09625x_1 - 4.73375x_2 + 2.66x_3 + 1.76712x_1^2 + 1.4275x_1x_3 - 2.13788x_2^2 + 1.6475x_2x_3$$

$$\hat{y}_{PA} = 9.253 - 0.335x_1 + 0.94875x_2 - 0.45875x_3 - 0.542885x_1^2 - 0.405x_1x_3 + 0.404615x_2^2 - 0.3225x_2x_3$$

2. Optimasi dengan fungsi *desirability* menghasilkan nilai KP sebesar 285 dan PA sebesar 9 dari proses pres dengan pengaturan mesin pada Tk sebesar 204 bar, pada Tb sebesar 7,4 mm dan pada B sebesar 75 gram.
3. Penurunan biaya kerugian sebesar Rp4718,22 atau 80,96% didapatkan dari penurunan nilai rata-rata dan variansi pada proses pres yang menggunakan nilai pengaturan mesin hasil optimasi.
4. Nilai pengaturan ini hanya berlaku pada proses pres dengan puder susut 7%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan, maka dapat disusun rekomendasi untuk penelitian selanjutnya, yaitu antara lain:

1. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium dengan asumsi mewakili kondisi nyata di lapangan. Penelitian selanjutnya diharapkan dilakukan

langsung pada proses produksi agar didapatkan hasil yang sesuai dilapangan.

2. Respon yang diteliti hanya pada kekuatan keramik, karenanya perlu ada penelitian lain untuk melakukan optimasi ukuran keramik atau kerataan permukaan keramik.

DAFTAR PUSTAKA

- Faridah, A., Widjanarko, S.B., Sutrisno, A., Susilo, B. (2012), “*Optimasi Produksi Tepung Porang Dari Chip Porang Secara Mekanis Dengan Metode Permukaan Respon*”, *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 13, hal. 158–166.
- Hanafiah, K.A. (2004), *Rancangan Percobaan Teori dan Aplikasi*, Raja Grafindo Persada, Jakarta
- Iriawan N., Astuti, S.P. (2006), *Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*, Andi, Yogyakarta.
- Kiantrianda (2015), *Aplikasi Metode Permukaan Respon terhadap Kehilangan Minyak Berdasarkan Suhu, Waktu dan Tekanan Pada Proses Perebusan Kelapa Sawit Di PT. Socfin Indonesia Bangun Bandar*, Skripsi yang tidak dipublikasikan, USU, Medan.
- Kolarik, W.J. (1995), *Creating Quality Concepts, System, Strategies, and Tools*, McGraw-Hill, Singapura.
- Montgomery, D.C. (2009), *Design and Analysis Experiments*, 7th edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Myers, R.H., Montgomery, D.C., Anderson-Cook, C.M. (2009), *Response Surface Methodology Process and Product Optimization Using Experiment*, 3rd edition. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Ross, Phillip J. (1996). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, 2nd edition, McGraw-Hill, Singapura.
- Sukram (2016), *Optimasi Perbedaan Warna dan Kilap Cat Bubuk Menggunakan Metode Permukaan Respon*, Tesis yang tidak dipublikasikan, MMT-ITS, Surabaya.
- Sumantri, S.H. (2006), *Optimasi Diameter Tebar dan Detonasi Cone Explosive dengan Metoda Dual Respon Surface*, Tesis yang tidak dipublikasikan, MMT-ITS, Surabaya.
- Triyono (2007), *Penentuan Setting Level Optimal Bending Strength Gypsum Interior Berpenguat Serat Cantula Menggunakan Desain Eksperimen Taguchi*, Skripsi yang tidak dipublikasikan, UNS, Surakarta.

Wu, C.F.J., Hamada, M. (2000), *Experiment Planning, Analysis, and Parameter Design Optimization*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Yang, K., El-Halick, B. (2003), *Design for Six Sigma*, McGraw-Hill, New York.

BIOGRAFI PENULIS



Ricky Nugraha Saputra S.T., dilahirkan di Jakarta pada tanggal 16 Mei 1990. Penulis merupakan putra pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak E. Priyono dan Ibu Reniwati Salim. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDK. St. Yusuf Tropodo dan menyelesaikannya pada tahun 2002. Pendidikan menengah pertama dilanjutkan di SMPK. St. Carolus Surabaya dan selesai pada tahun 2005. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMA PL Van Lith Muntilan sampai dengan tahun 2008. Pada tahun 2014 penulis menyelesaikan pendidikan Strata 1 di Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga pada jurusan teknik elektronika. Dengan ilmu yang diperoleh dari perkuliahan, penulis bekerja sebagai *engineer* di PT Kualimas Aditama. Pada tahun 2016 sampai sekarang, penulis ditempatkan pada bagian *quality control* di perusahaan yang sama. Penulis melanjutkan pendidikan di Magister Manajemen Teknologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya pada tahun 2014. Bidang keahlian yang dialami adalah manajemen industri untuk mengembangkan kemampuan sesuai dengan bidang pekerjaan yang digeluti.