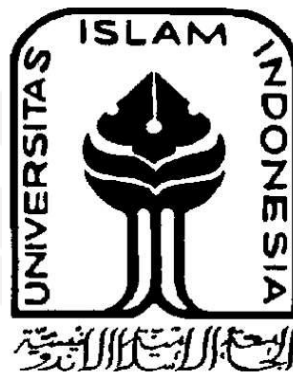


**PENENTUAN KOMBINASI LEVEL OPTIMAL DALAM PENINGKATAN
KUALITAS BATAKO**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1 Pada
Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri**



Nama : Dewi Rahmawati

No. Mahasiswa : 14522208

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2020

PERNYATAAN

Demi Allah, Saya akui ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan setiap satunya telah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak intelektual maka saya bersedia ijazah yang saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 18 September 2020



Dewi Rahmawati
NIM. 14 522 208

SURAT KETERANGAN PENELITIAN



PASIR LUHUR
Jl. Boyolali – Magelang km.20
Samiran, Samiran, Selo, Boyolali

SURAT KETERANGAN PENELITIAN

No. 86/PL/P-VII/2020

Yang bertanda dibawah ini menerangkan bahwa Mahasiswa/i Universitas Islam Indonesia berikut:

Nama : Dewi Rahmawati
NIM : 14522208
Fakultas : Teknologi Industri
Materi Penelitian : Penentuan Kombinasi Level Optimal dalam Peningkatan Kualitas Batako

Telah melaksanakan penelitian dan pengambilan data dalam rangka pengerjaan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana. Penelitian tersebut dilaksanakan pada tanggal

1 Juli – 10 Juli 2020.

Harapan kami, semoga apa yang telah didapatkan dari hasil penelitian dan pengambilan data di Pasir Luhur Boyolali dapat bermanfaat. Demikian surat keterangan ini kami buat agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

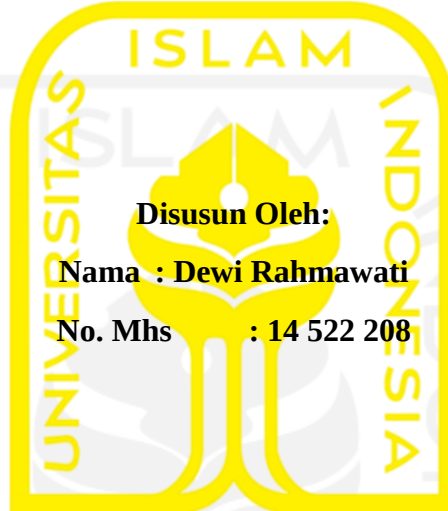
Boyolali, 10 Juli 2020



LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**PENENTUAN KOMBINASI LEVEL FAKTOR OPTIMAL DALAM
PENINGKATAN KUALITAS BATAKO**

TUGAS AKHIR



الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

Yogyakarta, 18 September 2020

Mengetahui,

Dosen Pembimbing

(Ir. Ali Parkhan, M.T.)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Aku persembahkan karya kecilku ini kepada:

Kedua Orang Tuaku yang mencintaiku dengan seluruh jiwa dan raga.

Orang tua Keduaku yang telah berkorban untuk pendidikanku,

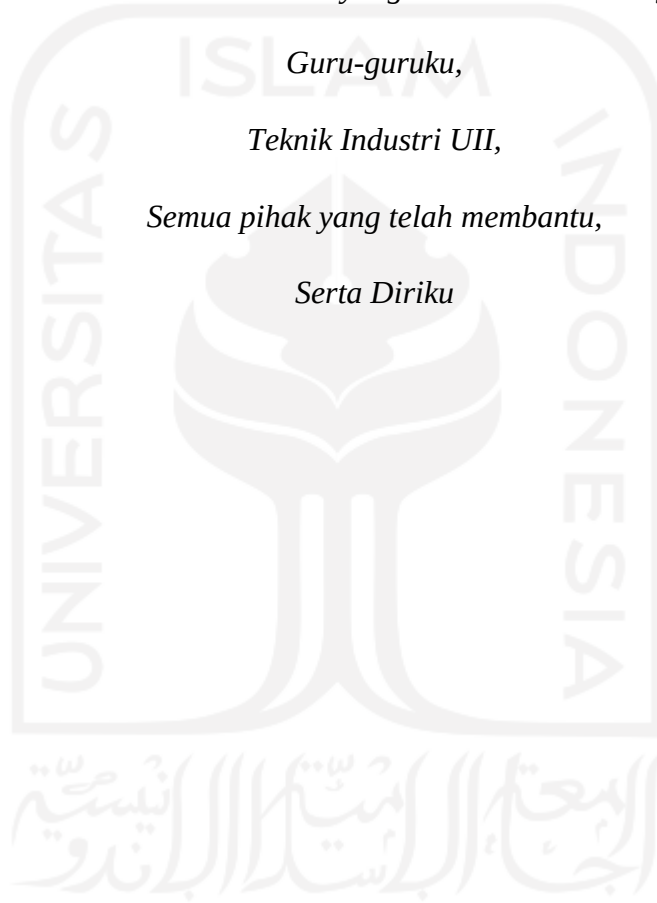
Kakak dan adik-adikku yang memberikan dukungan,

Guru-guruku,

Teknik Industri UII,

Semua pihak yang telah membantu,

Serta Diriku



HALAMAN MOTTO

“Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tiada berputus dari rahmat Allah melainkan orang orang yang kufur”. (QS Yusuf: 87)

“Bekerjalah kamu, maka Allah dan rasul Nya serta orang orang mukmin akan melihat pekerjaan mu itu dan kamu akan dikembalikan kepada Allah lalu diberitakan kepada Nya apa yang telah kamu kerjakan”. (QS A Taubah: 105)

“Waktu bagaikan pedang. Jika kamu tidak memanfaatkannya dengan baik, maka ia akan memanfaatkanmu.” (HR. Muslim)

Jangan pergi mengikuti kemana jalan akan berujung. Buat jalanmu sendiri dan tinggalkanlah jejak.

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, serta tidak lupa shalawat serta salam, kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul penelitian **“Penentuan Kombinasi Level Optimal dalam Peningkatan Kualitas Batako”**

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa jurusan Teknik Industri untuk menyelesaikan studi Strata-1 pada Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia (UII). Dalam penyusunan laporan ini, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis telah melibatkan berbagai pihak. Oleh sebab itu tak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT karena atas segala rahmat dan nikmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
3. Bapak Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T.,M.Sc.,Ph.D selaku kepala jurusan Teknik Industri beserta seluruh jajarannya.
4. Bapak Dr. Taufiq Immawan, S.T.,M.M. selaku kepala program studi sarjana Teknik Industri.
5. Bapak Ir. Ali Parkhan, M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberi bantuan bimbingan, arahan, dukungan serta semangat selama penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Sikam selaku pemilik perusahaan Pasir Luhur dan pembimbing yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian Tugas Akhir di Pasir Luhur serta seluruh karyawan.
7. Kedua orang tuaku Bapak Suyudi dan Ibu Yekti Rahayu. Orang tua keduaku Bapak Sutrisno dan Ibu Lisyanti serta kak Ai, mas Aji, dik Yusuf, de Nur dan de Eko yang selalu memberikan dukungan, doa dan kasih sayang.
8. Keluarga tersayang yang selalu mencurahkan doa, dukungan, dan semangat untuk penulis.
9. Teman-teman program studi teknik industri baik alumni maupun teman seperjuangan, yang selama ini bertukar pikiran, memberikan pemahaman dan kerjasama.
10. Serta semua pihak yang baik secara langsung ataupun tidak langsung yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Demikian yang dapat disampaikan semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan ridho-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis. Penulis berharap semoga penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, September 2020

Penulis



ABSTRAK

Persaingan Industri serta keinginan konsumen untuk memperoleh produk yang berkualitas menuntut para pelaku industri untuk selalu meningkatkan dan menjaga kualitas hasil produksi. Produk batako merupakan salah satu bahan utama properti yang telah dikenal dan digunakan oleh masyarakat. Kualitas batako memiliki dua karakteristik yang sangat penting yaitu kuat tekan dan kadar air batako. Karakteristik kualitas kuat tekan ditentukan dengan nilai yang semakin besar semakin baik (*Large the better*) sedangkan kadar air batako ditentukan dengan nilai yang semakin kecil semakin baik (*Smaller the better*). Perusahaan Pasir Luhur merupakan perusahaan yang memproduksi batako sebagai salah satu produknya. Untuk meningkatkan kualitas batako maka perlu dilakukan penentuan kombinasi level optimal guna meningkatkan kualitas produk batako. Penentuan kombinasi level optimal dapat dilakukan dengan menggunakan desain eksperimen Taguchi yang dapat meminimalkan jumlah percobaan yang bertujuan untuk menghemat biaya percobaan, tetapi dapat memberikan informasi sebanyak mungkin mengenai faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kuat tekan. Dari analisis yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa terdapat 7 faktor yang mempengaruhi kualitas batako antara lain perbandingan semen dan agregat, perbandingan agregat halus dan agregat kasar, lama pengadukan, jumlah abu tempurung kelapa (sebagai bahan tambah untuk meningkatkan kualitas batako), perbandingan berat air dan semen (fas), lama pengadukan, lama penekanan, lama penjemuran. Dari faktor kendali yang dipilih kemudian dilakukan uji ANOVA untuk mencari faktor yang berpengaruh. Dari kombinasi level optimal diperoleh hasil rata-rata kuat tekan kondisi awal terhadap kondisi optimal sebesar 86% dan nilai penurunan kadar air sebesar 69%.

Kata kunci: ANOVA, batako, desain eksperimen, kualitas, Taguchi

DAFTAR ISI

PERNYATAAN	ii
SURAT KETERANGAN PENELITIAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
HALAMAN MOTTO	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Sistematika Penulisa.....	6
BAB II KAJIAN LITERATUR.....	8
2.1. Kajian Deduktif	8
2.1.1. Pengertian Batako.....	8
2.1.2. Material Penyusun Batako.....	10
2.1.3. Abu Batok Kelapa	14
2.1.4. Kualitas Batako SNI.....	15
2.1.5. Pengertian Kualitas atau Mutu	17
2.1.6. Pengendalian Kualitas	19
2.1.7. Metode Taguchi.....	21
2.1.8. Proses Perancangan Parameter	22

2.1.9.	Derajat Bebas (<i>Degree of freedom</i>).....	25
2.1.10.	<i>Orthogonal Array</i>	26
2.1.11.	Penentuan Jumlah Replikasi.....	29
2.1.12.	<i>Ratio Signal to Noise (S/N Rasio)</i>	29
2.1.13.	Efek Tiap Faktor.....	31
2.1.14.	<i>Taguchi Multi Respon</i>	32
2.1.15.	<i>Quality Loss Function (QLF)</i>	36
2.1.16.	Eksperimen Konfirmasi.....	38
2.1.17.	Uji Normalitas	39
2.1.18.	Uji Homogenitas.....	42
2.1.19.	Uji ANOVA (<i>Analysis of Variance</i>)	44
2.1.20.	Uji Prediksi (Regresi Linear)	50
2.1.20.1.	Regresi Linier Sederhana (<i>simple analysis regresi</i>).....	51
2.1.20.2.	Regresi Linier Berganda (<i>Multiple analysis regresi</i>).....	51
2.1.21.	Uji Beda.....	53
2.2.	Posisi Penelitian Saat ini	57
2.3.	Kajian Induktif	58
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		64
3.1.	Diagram Penelitian	64
3.2.	Pengumpulan Data	67
3.2.1.	Teknik Pengumpulan Data	67
3.2.2.	Jenis dan Sumber Data	69
3.3.	Perancangan Eksperimen Metode Taguchi	69
3.3.1.	Identifikasi faktor tujuan yang akan dioptimalkan (<i>Identify the objective function to be optimized</i>)	70
3.3.2.	Identifikasi faktor kendali dan levelnya (<i>Identify the control factors and their levels</i>) 70	
3.3.3.	Pilih matriks eksperimen array orthogonal (<i>Select the orthogonal array matrix experiment</i>)	70
3.3.4.	Lakukan eksperimen matriks (<i>Conduct the matrix experiment</i>)	71
3.3.5.	Menganalisa data, memprediksi level optimal dan kinerja (<i>Analyze the data, predict the Optimum levels and performance</i>).....	71
3.3.6.	Lakukan eksperimen verifikasi dan rencanakan tindakan masa depan (<i>Perform the verification experiment and plan the future action</i>).	72

3.4.	Pengolahan Data Eksperimen.....	72
3.4.1.	Uji Normalitas	73
3.4.2.	Uji Homogenitas.....	73
3.4.3.	ANOVA (<i>Analysis of Variance</i>).....	74
3.4.4.	Perhitungan Nilai SNR dan Efek Tiap Faktor.....	74
3.4.5.	Perhitungan Multi Respon Signal to Ratio (MRSN).....	75
3.4.6.	Uji Beda.....	76
3.5.	Analisa dan Pembahasan	77
3.6.	Kesimpulan dan Saran.....	77
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA		78
4.1.	Pengumpulan Data	78
4.1.1.	Sejarah dan Perkembangan Perusahaan	78
4.1.2.	Visi dan Misi Perusahaan	79
4.1.3.	Hasil Produksi	80
4.1.4.	Proses Produksi	82
4.1.4.1.	Persiapan Material.....	82
4.1.4.2.	Pencampuran dan pengadukan	87
4.1.4.3.	Pencetakan.....	88
4.1.4.4.	Penjemuran.....	88
4.1.4.5.	Perawatan	89
4.2.	Perancangan Eksperimen Metode Taguchi	89
4.2.1.	<i>Identify the Main Function, Side Effect and Failure Mode</i>	89
4.2.2.	<i>Identify Noise Factors, Testing Conditions, and Quality Characteristics</i>	90
4.2.3.	<i>Identify the Objective Function to be Optimize</i>	91
4.2.4.	<i>Identify the Control Factors and Their Levels</i>	92
4.2.4.1.	Identifikasi Faktor kendali.....	92
4.2.4.2.	Penentuan Level Faktor.....	94
4.2.5.	<i>Select the Orthogonal Array Matrix Experiment</i>	100
4.2.6.	<i>Conduct the matriks experiment</i>	103
4.2.6.1.	Pelaksanaan Uji Kuat Tekan Batako	103
4.2.6.2.	Pelaksanaan Uji Kadar Air (Daya Serap) Batako	105
4.2.6.3.	Data Kuat Tekan dan Kadar Air produk Batako Perusahaan	106
4.2.6.4.	Data Uji Kuat Tekan Batako Eksperimen	107

4.2.6.5. Data Uji Kadar Air Batako	108
4.2.7. <i>Analyze the Data, Predict the Optimum Levels and Performance</i>	108
4.2.7.1. Uji Normalitas	109
4.2.7.2. Uji Homogenitas.....	114
4.2.7.3. Uji ANOVA (<i>Analysis of Variance</i>)	117
4.2.7.4. Perhitungan Signal to Noise Ratio (SNR) dan Efek Tiap Faktor.....	124
4.2.7.5. Uji Prediksi.....	127
4.2.7.6. Menghitung <i>Quality Loss</i> (Lij).....	137
4.2.7.7. Menghitung <i>Normalisasi Quality Loss</i> (Cij).....	142
4.2.7.8. Menghitung Total Normalized Quality Loss (TNQL)	145
4.2.7.9. Menghitung Nilai Multi Respon Signal to Ratio (MRSN).....	148
4.2.8. <i>Perform the Verification Experiment and Plan the Future Action</i>	153
4.2.8.1. Uji Beda Kondisi Awal dan Optimal	153
BAB V PEMBAHASAN	157
5.1. <i>Analisis Identify the Main Function, Side Effect and Failure Mode</i>	157
5.2. <i>Analisis Identify Noise Factors, Testing Conditions, and Quality Characteristics</i> ..	158
5.3. <i>Analisis Identify Objective Function to be Optimize</i>	159
5.4. <i>Analisis Identifiy the Control Factors and Their Levels</i>	159
5.5. <i>Analisis the Orthogonal Array Matrix Experiment</i>	160
5.6. <i>Analisis Matriks Eksperiment</i>	161
5.7. <i>Analyze the Data, Predict the Optimum Levels and Performance</i>	162
5.7.1. Analisis Perhitungan Uji Normalitas.....	162
5.7.2. Analisis Perhitungan Uji Homogenitas	163
5.7.3. Analisis Perhitungan ANOVA	163
5.7.4. Analisis Perhitungan SNR dan Efek Tiap Faktor.....	164
5.7.5. Analisis Perhitungan MRSN	165
5.8. <i>Analisis Perform the Verification Experiment and Plan the Future Action</i>	165
5.8. Analisis Kekurangan Penelitian	167
BAB VI PENUTUP	168
6.1. Kesimpulan.....	168
6.2. Saran.....	169

DAFTAR PUSTAKA.....	170
LAMPIRAN	173



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan tempurung kelapa	15
Tabel 2.2 Kandungan arang tempurung kelapa	15
Tabel 2.3. Syarat fisis ukuran batako.....	16
Tabel 2.4. Syarat fisis mutu batako.....	17
Tabel 2.5. Standard orthogonal array.....	28
Tabel 2.6. Matriks orthogonal array $L_8 (2^7)$	28
Tabel 2.7. Matriks orthogonal array $L_4 (2^3)$	29
Tabel 2.8. <i>Analysis of Varian</i>	46
Tabel 2.9. Bentuk Umum Data Observasi	52
Tabel 2.10. Penelitian Terdahulu	62
Tabel 4.1. Faktor kendali kualitas batako	99
Tabel 4.2. Faktor <i>noise</i> kualitas batako	100
Tabel 4.3. <i>Orthogonal Array</i> $L_8 (2^7)$	101
Tabel 4.4. <i>Orthogonal Array</i> $L_4 (2^3)$	102
Tabel 4.5. Tabel <i>Orthogonal Array</i> kuat tekan dan kadar air.....	103
Tabel 4.6. Data uji kadar air batako perusahaan.....	106
Tabel 4.7. Data uji kuat tekan batako perusahaan	107
Tabel 4.8. Data uji Kuat tekan batako eksperimen	107
Tabel 4.9. Data uji kadar air batako	108
Tabel 4.10. Distribusi Frekuensi Data Kuat Tekan Batako	110
Tabel 4.11. Uji Normalitas Data Kuat Tekan Batako.....	111
Tabel 4.12. Distribusi Frekuensi Data Kadar Air Batako.....	113
Tabel 4.13. Uji Normalitas Data Kadar Air batako	113
Tabel 4.14. Uji Homogenitas Data Kuat Tekan batako	115
Tabel 4.15 Uji Homogenitas Data Kadar air batako.....	117
Tabel 4.16. Hasil perhitungan jumlah Replikasi Kuat tekan	120
Tabel 4.17. Hasil perhitungan ANOVA Respon Kuat Tekan.....	120
Tabel 4.18. Hasil perhitungan jumlah Replikasi.....	123
Tabel 4.19. Hasil perhitungan ANOVA Respon Kadar Air	123
Tabel 4.20. Nilai SNR Kuat Tekan Batako	125
Tabel 4.21. Efek tiap faktor untuk respon kuat tekan batako	125

Tabel 4.22. Nilai SNR kadar air batako.....	126
Tabel 4.23. Efek tiap faktor untuk respon kadar air batako.....	127
Tabel 4.24. Hasil regresi masing-masing replikasi respon Kuat Tekan batako.....	128
Tabel 4.25. Hasil Uji Prediksi Kuat Tekan.....	129
Tabel 4.26. Hasil regresi masing-masing replikasi respon kadar air batako	133
Tabel 4.27. Hasil Uji Prediksi Kadar air.....	134
Tabel 4.28. Perhitungan Lij untuk kuat tekan.....	136
Tabel 4.29. Perhitungan Lij untuk kadar air	141
Tabel 4.30. <i>Normalisasi Quality Loss</i> kadar air dan Kuat tekan	143
Tabel 4.31. TNQL Kuat tekan dan Kadar air	146
Tabel 4.32. Hasil Perhitungan MRSN	149
Tabel 4.33. Data Kondisi awal dan kondisi optimal variabel respon	154
Tabel 4.34. Hasil <i>Paired Sample t-Test</i> untuk kuat tekan	155
Tabel 4.34. Hasil <i>Paired Sample t-Test</i> untuk kadar air.....	156

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kurva <i>Nominal-the-better</i>	36
Gambar 2.2. Kurva <i>Smaller-the-better</i>	37
Gambar 2.3. Kurva <i>Large-the-better</i>	38
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	65
Gambar 3.2. Diagram Pengolahan Data Eksperimen	66
Gambar 4.1. Batako	80
Gambar 4.2. Paving block.....	81
Gambar 4.3. Kansteen.....	81
Gambar 4.4. Buis beton	81
Gambar 4.5. Semen.....	83
Gambar 4.6 Agregat halus	83
Gambar 4.7. Agregat kasar	83
Gambar 4.8. Abu tempurung kelapa.....	84
Gambar 4.9. Timbangan	85
Gambar 4.10. Sekop.....	85
Gambar 4.11. Sendok semen	86
Gambar 4.12. Ember.....	86
Gambar 4.13. Mesin pengaduk.....	87
Gambar 4.14. Mesin pencetak batako.....	87
Gambar 4.15. <i>Compressing Testing Machine</i> (CTM)	104
Gambar 4.16. Timbangan (kadar air).....	106

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Transkrip Wawancara Peneliti dengan Pemilik Pasir Luhur.....	173
Lampiran 2. Data Teknis campuran.....	176
Lampiran 3. Data Ukuran Batako	177
Lampiran 4. Data Kuat Tekan Batako	180
Lampiran 5. Data Kadar Air Batako.....	181
Lampiran 6. Data Kuat Tekan Batako	182



BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang yang mendasari dilakukan penelitian ini, selain itu juga diuraikan mengenai rumusan masalah, batasan masalah dalam penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Sistematika penelitian antara lain pendahuluan, kajian literatur, metode penelitian, pengumpulan dan pengolahan data, pembahasan dan penutup (berisi kesimpulan dan saran) kemudian terdapat daftar pustaka dan lampiran.

1.1. Latar Belakang

Meningkatnya jumlah penduduk setiap tahunnya serta perkembangan pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan seperti pembangunan gedung-gedung dan properti di Indonesia menjadikan kebutuhan akan bahan bangunan seperti pasir, semen, batu bata maupun batako semakin tinggi. Meskipun pada perkembangan era sekarang banyak ditemukan inovasi bahan bangunan dalam membuat dinding bangunan, tetapi sebagian besar masyarakat masih menggunakan batako sebagai bahan utama properti, karena batako merupakan salah satu bahan bangunan yang telah lama dikenal dan digunakan oleh masyarakat.

Tingginya kebutuhan akan bahan bangunan berdampak pada perusahaan untuk saling bersaing memenuhi permintaan pasar khususnya bahan bangunan batako. Persaingan Industri serta keinginan konsumen untuk memperoleh produk yang berkualitas menuntut para pelaku industri untuk selalu meningkatkan dan menjaga kualitas hasil produksi.

Peningkatan kualitas bahan bangunan batako dapat dilakukan dengan memanfaatkan limbah sebagai alternatif untuk mengurangi atau menghemat biaya produksi. Pasir Luhur merupakan salah satu perusahaan yang bergerak pada bidang *manufacture concrete block* dengan produksi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat. Tipe produksi yang digunakan adalah *make to order* dan *make to stock*. Produk yang dihasilkan yaitu berupa batako, paving block, kansteen, dan buis beton.

Berdasarkan observasi awal melalui wawancara secara langsung dengan Bapak Sikam, Pasir Luhur dirasa kurang maksimal didalam memenuhi keinginan pelanggan berdasarkan kualitas produk yang diinginkan oleh pelanggan. Pelanggan menginginkan produk yang tidak mudah pecah, tidak mudah retak, tidak mudah rapuh/hancur ketika diangkat, memiliki permukaan halus, padat, dan pori-pori tertutup rapat, serta bentuk sempurna, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan jari tangan. Untuk batako yang dihasilkan oleh Pasir Luhur masih belum memiliki karakteristik tidak mudah pecah, tidak mudah retak, dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan jari. Produk yang dihasilkan oleh Pasir Luhur apabila dipindahkan/diangkut menggunakan transportasi saat pengiriman kepada konsumen terdapat produk yang retak, rapuh atau rusuk-rusuknya patah terdapat sekitar 40 sampai 55 batako dari 500 batako dan 5 sampai 8 batako yang pecah. Selain kecacatan produk yang dihasilkan pada saat proses pengiriman kepada konsumen saat ini menurut SNI produk batako berlubang yang dihasilkan berada pada tingkat mutu antara mutu ke II dan ke III.

Dalam upaya mengatasi permasalahan tersebut, maka dilakukan analisis kembali terhadap kombinasi material dan teknik pembuatan batako pada produksi batako Pasir Luhur yang dapat mempengaruhi secara signifikan terhadap kualitas batako, yang diharapkan dapat meningkatkan mutu batako berdasarkan Standar Nasional Indonesia pada tingkat ke I. Dari pengamatan terhadap kombinasi material dan teknik pembuatan batako dapat diketahui faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi kualitas produk batako selanjutnya dilakukan pengoptimalan terhadap level faktor yang berpengaruh terhadap kualitas produk menggunakan desain eksperimen.

Berbagai macam upaya yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas produk yaitu rekayasa kualitas dengan cara mengoptimalkan faktor-faktor yang berpengaruh dalam peningkatan kualitas suatu produk, salah satunya menggunakan desain eksperimen menggunakan desain faktorial. Desain faktorial dengan menggunakan lebih dari satu faktor memungkinkan adanya faktor yang berpengaruh banyak. Apabila faktor yang digunakan lebih dari satu faktor, maka kombinasi level faktor suatu produk juga akan banyak. Maka perlu adanya suatu metode yang dapat digunakan untuk merancang serta menganalisis eksperimen atau percobaan yang efisien dengan menggunakan sebagian dari eksperimen total yang perlu dilaksanakan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menggunakan Taguchi *Orthogonal array* agar dapat meminimalkan jumlah percobaan tetapi dapat memberikan informasi sebanyak mungkin mengenai faktor yang berpengaruh.

Desain eksperimen menggunakan metode Taguchi *Orthogonal array* bertujuan agar percobaan lebih efisien dan menghemat waktu, tenaga serta biaya yang digunakan. Selain menentukan kombinasi level optimal untuk meningkatkan kualitas produk batako, penelitian ini menggunakan material yang dianggap sebagai limbah oleh masyarakat tetapi memiliki karakteristik teknis sama dengan bahan-bahan penyusun batako, misalnya abu tempurung kelapa. Mengingat unsur-unsur yang terdapat pada limbah tersebut mirip dengan bahan utama penyusun batako yaitu semen dan pasir. Penambahan abu tempurung kelapa bertujuan untuk meningkatkan *workability* dari semen dengan berkurangnya pemakaian air, karena penambahan abu tempurung kelapa dapat mengurangi emisi gas carbon secara dramatis.

Metode Taguchi adalah suatu metodologi untuk merekayasa atau memperbaiki produktivitas selama penelitian dan pengembangan supaya produk-produk berkualitas tinggi dapat dihasilkan dengan cepat dan dengan biaya rendah. Selain itu merupakan metode perancangan yang berprinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya. Hal ini dapat diperoleh melalui optimasi produk dan perancangan proses untuk membuat unjuk kerja kebal terhadap berbagai penyebab variasi suatu proses yang disebut perancangan parameter.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya, maka dapat diperoleh rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Faktor apa saja yang mempengaruhi secara signifikan terhadap kualitas batako?
2. Bagaimana rancangan kombinasi yang optimal pada produk batako guna meningkatkan kualitas batako?
3. Bagaimana pengaruh kombinasi level faktor optimal terhadap hasil kualitas batako?
4. Bagaimana nilai kualitas batako pada kondisi optimal dan nilai peningkatan kualitas batako?

1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini diberikan batasan masalah berdasarkan rumusan masalah yang telah ditentukan agar penelitian ini lebih terarah dan topik yang dibahas tidak meluas, batasan masalah tersebut adalah:

1. Objek penelitian adalah kualitas batako yaitu ketahanan batako (*batako durability*) yang diukur berdasarkan kuat tekan dan kadar air batako.
2. Penelitian hanya fokus pada proses pembuatan batako menggunakan mesin press batako.
3. Penelitian menggunakan jenis agregat pasir, air yang sama dan semen dengan merk yang sama.
4. Rancangan penelitian ini menggunakan metode taguchi yang mengacu pada desain eksperimen (*matriks orthogonal array*).

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan umum dari penelitian adalah untuk meningkatkan kualitas batako dengan memanfaatkan limbah abu tempurung kelapa. Sedangkan tujuan khusus yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas batako.
2. Menganalisis rancangan kombinasi yang optimal pada produk batako guna meningkatkan kualitas batako.
3. Menganalisis pengaruh kombinasi level faktor optimal terhadap hasil kualitas batako

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diharapkan dalam perancangan kombinasi yang optimal dalam pengujian kualitas batako adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai kombinasi level optimal yang mampu meningkatkan kuat tekan dan kadar air batako.
2. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai penambahan abu tempurung kelapa terhadap kualitas batako dengan pengujian kuat tekan dan kadar air batako.
3. Memberikan informasi tentang pentingnya standar kualitas produk batako dari peningkatan kualitas batako level III menjadi kualitas batako level I.
4. Memberikan gambaran dalam penentuan kombinasi level optimal dalam upaya peningkatan kualitas, serta dapat dijadikan acuan untuk penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan kualitas produk batako dengan biaya yang lebih rendah.

Bagi perusahaan

1. Memberikan informasi kepada perusahaan mengenai pentingnya kualitas dan pengendalian kualitas berdasarkan kombinasi level faktor produksi batako sehingga produk yang dihasilkan sesuai dengan keinginan konsumen.

2. Perusahaan dapat merancang perbaikan pada proses produksi berdasarkan usulan perbaikan agar cacat produk ketika pengiriman dapat diminimalisir sehingga menghemat biaya untuk produk cacat.
3. Dengan kombinasi level faktor optimal yang diusulkan dapat meningkatkan kualitas batako dari produk batako pada kondisi awal agar dapat bersaing dengan perusahaan lain.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang, rumusan permasalahan, batasan permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan laporan.

BAB II : KAJIAN LITERATUR

Bab ini memuat kajian literatur deduktif dan induktif yang dapat membuktikan bahwa topik penelitian yang diangkat memenuhi syarat dan kriteria yang telah dijelaskan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini memuat obyek penelitian, data yang digunakan dan tahapan yang telah dilakukan dalam penelitian secara ringkas dan jelas. Metode ini dapat meliputi metode pengumpulan data, alat bantu analisis, pembangunan model, desain dan prototyping

BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini menguraikan proses pengolahan data dengan prosedur tertentu, termasuk gambar dan grafik yang diperoleh dari hasil penelitian

BAB V : PEMBAHASAN

Bab ini berisi pembahasan kritis mengenai hasil bab sebelumnya dan belum dipaparkan di bab sebelumnya, yang menjelaskan secara lebih rinci dari pengolahan data dan kesesuaian dengan tujuan penelitian.

BAB VI : PENUTUP

Bab ini terdiri dari dua sub bab yaitu:

- Kesimpulan

Berisi pernyataan singkat yang ditulis dengan menggunakan urutan angka (1, 2, 3 dan seterusnya) untuk menjabarkan hasil penelitian yang dilakukan. Kesimpulan harus menjawab rumusan permasalahan dan membuktikan hipotesis yang ada.

- Saran

Berisi beberapa rekomendasi pengembangan penelitian lanjutan dengan menggunakan cara, alat ataupun metode lain dengan tujuan untuk memperluas pengembangan ilmu Teknik Industri. Selain itu, bagian ini juga berisi saran yang diperlukan jika penelitian lanjutan akan dikembangkan berdasarkan keterbatasan/ hambatan yang ditemukan selama penelitian dilakukan. Saran dapat dihasilkan dari pembahasan yang telah dilakukan di bab sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

KAJIAN LITERATUR

Pada bab ini memuat tentang kajian induktif dan kajian deduktif. Kajian literatur induktif merupakan informasi-informasi yang diperoleh dari artikel dalam jurnal, proseding, seminar, majalah dan lain sebagainya. Sedangkan kajian literatur deduktif merupakan landasan teori yang dipakai sebagai acuan untuk memecahkan masalah dalam penelitian.

2.1. Kajian Deduktif

Kajian deduktif merupakan kajian yang berpangkal dari hal yang bersifat umum diterapkan atau diarahkan kepada hal yang bersifat khusus. Kajian deduktif adalah salah satu pendekatan yang dikembangkan berdasarkan kajian yang dimulai dari definisi kemudian diikuti contoh-contohnya. Dari penjelasan diatas, dapat diambil kesimpulan bahwa kajian deduktif adalah kajian dari hal yang bersifat umum yaitu pemberian penjelasan tentang kajian (rumus atau teorema) ke hal-hal yang bersifat khusus yaitu berupa penerapan rumus atau teorema tersebut (berupa contoh-contoh).

2.1.1. Pengertian Batako

Batako adalah salah satu bahan bangunan yang berupa batu-batuan yang pengerasannya tidak dibakar dengan bahan pembentuk yang berupa campuran pasir, semen, air dan dalam pembuatannya dapat ditambahkan dengan bahan lain. Air untuk pembuatan dan perawatan tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam, atau bahan lain yang dapat merusak

batako maupun beton. Jumlah air yang digunakan adukan beton maupun batako dapat ditentukan dengan ukuran berat dan harus dilakukan setepat-tepatnya agar tidak terjadi *bleeding* (Lubis, 2003).

Batako yang dibuat dengan agregat normal adalah batako normal, yaitu yang mempunyai berat isi 2.200 – 2.500 kg/m³, kekuatan tekannya sekitar 15 – 40 MPa (SK SNI T-15-1990-03, 1990). Batako terdiri dari dua jenis yaitu batako pejal dan batako berlubang. Berdasarkan bahan pembuatannya batako dapat dikelompokkan kedalam 3 jenis yaitu batako putih (tras), batako semen/batako pres, bata ringan. Batako pres dibuat dari campuran semen dan pasir atau abu batu. Ada yang dibuat secara manual (menggunakan tangan), ada juga yang menggunakan mesin, perbedaannya dapat dilihat pada kepadatan permukaan batakonya. Umumnya memiliki ukuran panjang 36-40 cm, tebal 8-10 cm, dan tinggi 18-20 cm.

Batako atau juga disebut bata beton ialah suatu jenis unsur bangunan yang berbentuk bata yang dibuat dari campuran bahan perekat hidrolis atau sejenisnya, air dan agregat, dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak merugikan sifat beton itu (SNI 03-0349-1989, 1989). Batako yang baik adalah yang masing-masing permukaannya rata dan saling tegak lurus serta mempunyai kuat tekan yang tinggi. Batu buatan yang tidak dibakar, dikenal dengan nama batako (bata berlubang yang dibuat secara pemadatan dari trass dan kapur tanpa semen) atau *conblock* (bata berlubang yang dibuat secara pemadatan dari pasir dan semen), sudah mulai dikenal oleh masyarakat sebagai bahan bangunan dan sudah dipakai untuk membangun rumah dan gedung (Heinz & Ch. Koesmartadi, 1999).

Persyaratan batako menurut PUBI-(1982) pasal 6 antara lain adalah “permukaan batako harus mulus, berumur minimal satu bulan, pada waktu pemasangan harus sudah kering, berukuran panjang ± 400 mm, $\pm$ lebar 200 mm, dan tebal 100-200 mm, kadar air 25-35% dari berat, dengan kuat tekan antara 2-7 N/mm². Sisi-sisi batako harus mulus dan tegak lurus sama lain dan tidak mudah direpihkan dengan tangan. Sebelum dipakai dalam bangunan, maka batako minimal harus sudah berumur satu bulan dari proses pembuatannya, kadar air pada waktu pemasangan tidak lebih dari 15% (SNI 03-0349-1989, 1989).

2.1.2. Material Penyusun Batako

Dalam pembuatan batako pada umumnya digunakan bahan-bahan antara lain pasir, semen dan air serta bahan tambahan atau tanpa bahan tambahan. Agar didapat mutu batako yang memenuhi syarat SNI banyak faktor yang mempengaruhi. Faktor yang mempengaruhi mutu batako tergantung pada: faktor air semen (f.a.s), umur batako, kepadatan batako, bentuk dan tekstur batuan, ukuran agregat dan lain-lain (Pusoko, 1997).

1. Agregat

Agregat merupakan bahan pengisi yang digunakan dengan semen untuk membuat adukan, dalam campuran batako atau beton yang biasanya terdapat sekitar 60% sampai 80% volume agregat. Terdapat dua jenis agregat yaitu agregat kasar (kerikil, batu pecah, atau pecah-pecahan dari *blast-furnace*) dan gregat halus (pasir alami dan buatan) (Edward G Nawy, 1990).

1) Agregat halus

Agregat halus merupakan agregat yang besarnya tidak lebih dari 5 mm sehingga pasir dapat berupa pasir alam atau berupa pasir dari pecahan batu yang dihasilkan pemecahan batu (Neville, A.M., 1997). Agregat halus adalah butiran mineral alami / buatan sebagai bahan pengisi dalam campuran batako. Agregat halus atau pasir mempunyai ukuran butiran yang berkisar antara 0,075 mm hingga 4,80 mm.

2) Agregat Kasar

Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Ukuran butir kerikil berkisar antara 4,8 mm dan 40 mm. Agregat kasar/ kerikil yang baik adalah apabila butir-butirnya keras dan tidak berpori. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% serta zat-zat yang reaktif alkali. Bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti, terik matahari dan hujan. Butir-butir yang berbentuk pipih tidak lebih dari 20% dari agregat seluruhnya.

Sifat agregat bukan hanya mempengaruhi sifat beton, akan tetapi juga mempengaruhi ketahanan (*durability*, daya tahan terhadap kemunduran mutu akibat siklus dari pembekuan-pencairan). Oleh karena agregat lebih murah dari semen, maka lebih baik untuk menggunakannya agregat dengan persentase yang setinggi mungkin (Chu Kia Wang & Charles G, 1993)

Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu-batuan, kerikil, pasir dan lain-lain) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia serta ketahanan terhadap penyusutan (Murdock & K.M., 1979). Menurut persyaratan Bangunan Indonesia agregat halus sebagai campuran untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a. Pasir harus terdiri dari butir-butir kasar, tajam, dan keras.
- b. Pasir harus mempunyai kekerasan yang sama
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%, apabila lebih dari 5% maka agregat tersebut harus dicuci dulu sebelum digunakan. Adapun yang dimaksud lumpur adalah bagian butir yang melewati ayakan 0,063mm.
- d. Pasir harus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak
- e. Pasir harus tidak mudah terpengaruh oleh perubahan cuaca.
- f. Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat untuk beton.

2. Semen Portland

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*) (Mulyo, 2004). Semen Portland dapat dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker, yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dan gips dalam jumlah yang sesuai. Karena batako terbuat dari agregat yang diikat bersama oleh pasta semen

yang mengeras maka kualitas semen sangat mempengaruhi kualitas batako, yang bila semakin tebal tentu semakin kuat. Namun jika terlalu tebal juga tidak menjamin lekatan yang baik (Nugraha & Antono, 2007).

Semen portland adalah bahan pengikat hidrolis berupa serbuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker (bahan ini terdiri dari silika – silika kalsium yang bersifat hidrolis) dengan gips sebagai bahan tambah. Semen portland merupakan material yang mengandung paling tidak 75% kalsium silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ dan $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), sisanya tidak kurang dari 5% berupa Al silikat, Al feri silikat dan MgO (Hanenara, 2005; Taylor 2009)

3. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, untuk membasahi agregat dan akan memberikan kemudahan pada adukan beton. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung-gelembung air sedangkan air yang sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak sempurna, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton (Mulyono, 2005).

Dalam suatu adukan beton, air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Air digunakan untuk menjadi bahan pelincir antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air diperlukan hanya sekitar 30% berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air-semen yang dipakai jarang sekali kurang dari 30 %, selebihnya digunakan sebagai pelincir. Secara umum, air dapat digunakan sebagai bahan pancampur beton adalah air yang bila dipakai akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90 % kekuatan beton yang memakai air suling. Syarat-syarat air yang dapat digunakan sebagai pencampur beton adalah sebagai berikut:

- a. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/ liter.
- b. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton seperti asam, zat organik, dan sebagainya lebih dari 15 gram/liter.
- c. Tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

4. Bahan Campuran Tambahan

Bahan campuran tambahan (*admixtures*) adalah bahan yang bukan air, agregat, maupun semen, yang ditambahkan dalam campuran sesaat atau selama pencampuran. Fungsi bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, untuk tujuan ekonomis, atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi. Jenis bahan tambahan yang paling utama adalah sebagai berikut:

1) Bahan tambahan pemercepat (*accelerating admixtures*).

Bahan ini digunakan untuk mengurangi waktu pengeringan dan mempercepat pencapaian kekuatan. Yang paling dikenal adalah kalsium klorida. Bahan-bahan lain yang berfungsi sebagai pemercepat adalah senyawa-senyawa garam seperti klorida, bromide, silikat, dan terkadang senyawa organik lainnya seperti trietanolamin.

2) Bahan tambahan untuk *air-entraining*

Bahan tambahan ini membentuk gelembung-gelembung udara berdiameter 1 mm atau lebih kecil di dalam beton atau batako selama pencampuran, dengan maksud mempermudah pengerjaan campuran pada waktu pengecoran dan menambah ketahanan awal beton.

3) Bahan tambahan pengurang air dan pengontrol pengeringan

Bahan tambahan ini menambah kekuatan beton. Bahan ini juga mengurangi kandungan semen yang sebanding dengan pengurangan kandungan air. Hampir semuanya berwujud cairan.

4) Bahan tambahan penghalus gradasi

Bahan ini misalnya adalah kapur hidrolis, semen slag, fly ash, dan pozzolan alam yang sudah menjadi kapur atau masih mentah.

5) Bahan tambahan untuk mengurangi penurunan (resesi)

Pemilihan bahan tambahan ini bergantung pada sifat-sifat beton yang diinginkan terjadi, seperti sifat plastisitasnya, waktu pengeringan dan pencapaian kekuatan, efek beku cair, kekuatan dan harga.

6) Polimer

Ini adalah jenis bahan tambahan baru yang dapat menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang sangat tinggi.

7) Superplastisizer

Ini juga merupakan jenis bahan tambahan baru yang dapat disebut sebagai bahan tambahan kimia pengurang air. Tiga jenis plastisizer adalah:

- a. Kondensasi sulfonat melamin formaldehid dengan kandungan klorida sebesar 0,005%.
- b. Sulfonat nafthalin formaldehid dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan
- c. Modifikasi lignosulfonat tanpa kandungan klorida (Edward G Nawy, 1990).

Beberapa kegunaan yang penting dari campuran adalah sebagai berikut:

- a. Meningkatkan daya tahan terhadap kemunduran mutu akibat siklus dari pembekuan-pencairan dan dari penggunaan garam pelumer es (campuran penangkap udara, menurut ASTM C260).
- b. Meninggikan kelayakan tanpa menambahkan kadar air, atau untuk mengurangi kadar air, atau untuk mengurangi kadar air dengan kelayakan yang sama (bahan yang ditumbuk halus termasuk pozzolan, seperti abu lepas, umumnya dipakai untuk maksud ini, menurut ASTM C618).
- c. Untuk mempercepat perkembangan kekuatan pada usia dini (calcium chlorida adalah campuran pemercepat yang paling terkenal dan yang paling banyak dipakai).
- d. Memperlambat perkembangan dengan demikian mengurangi evolusi suhu (bahan campuran menurut ASTM C494)
- e. Meninggikan kekuatan (campuran pengurang air dan pengendali, ASTM C494, *Chemical Admixtures for Concrete*) (Chu Kia Wang, 1993).

2.1.3. Abu Batok Kelapa

Tempurung kelapa adalah jenis limbah padat yang pada umumnya hanya dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar untuk keperluan memasak, khususnya bagi rumah tangga yang masih menggunakan tungku dapur tradisional. Bahkan tak jarang limbah tempurung kelapa yang melimpah tersebut dibiarkan begitu saja sehingga hancur kembali ke alam tanpa memberi manfaat ekonomis. Berikut ini merupakan kandungan kimia dari tempurung kelapa

Tabel 2.1 Kandungan tempurung kelapa

KOMPONEN	PERSENTASE
Selulosa	26,65%
Hemiselulosa	27,7%
Lignin	29,4%
Abu	0,6%
Komponen ekstraktif	4,2%
Uronat anhidrat	3,5%
Nitrogen	0,1%
Air	8,0%

Tabel 2.2 Kandungan arang tempurung kelapa

KOMPONEN	PERSENTASE
Volatile	10,60%
Karbon	76,32%
Abu	13,08%

Abu tempurung kelapa yang digunakan sebagai campuran bahan peyusun batako dilakukan dengan cara tempurung kelapa dibakar sampai semua bagian berubah menjadi arang, kemudian di tumbuk menjadi butiran halus berwarna hitam pekat. Dan dilakukan pengayakan untuk mendapatkan abu yang lolos saringan no 200 agar abu tempurung kelapa dapat mengisi ruang-ruang kosong antar butiran sebagai bahan pengikat dan diharapkan mampu meningkatkan kuat tekan batako.

2.1.4. Kualitas Batako SNI

Bata beton dibedakan menjadi bata beton pejal dan bata beton berlubang. Dan klasifikasi bata beton maupun berlubang dibedakan menjadi 4 menurut tingkat mutunya (SNI 03-0349-1989, 1989).

1. Bata beton pejal

Adalah bata yang memiliki penampang pejal 75% atau lebih dari luas penampang seluruhnya dan memiliki volume pejal lebih dari 75% volume seluruhnya.

2. Bata beton berlubang

Adalah bata yang memiliki luas penampang lubang lebih dari 25% luas penampang batanya dan volume lubang lebih dari 25% volume batanya seluruhnya

Syarat mutu batako ditentukan dengan 2 syarat mutu yaitu pandangan luar serta ukuran dan toleransi. Berikut ini akan dijelaskan tentang syarat mutu pandangan luar serta ukuran dan toleransi:

1. Pandangan luar (Sifat tampak)

Bidang permukaannya harus tidak cacat. Bentuk permukaan lain yang didesain, diperbolehkan. Rusuk-rusuknya siku satu terhadap yang lain, dan sudut rusuknya tidak mudah dirapihkan dengan kekuatan jari tangan.

2. Ukuran dan toleransi

Ukuran bata beton harus sesuai dengan tabel.

Bata beton harus memenuhi syarat-syarat fisis sesuai dengan tabel dibawah ini.

Tabel 2.3. Syarat fisis ukuran batako

	Jenis	Ukuran (mm)			Tebal dinding sekatan lobang, minimum	
		Panjang	Lebar	Tebal	Luar	Dalam
1	Pejal	390 ± 35	90 ± 2	100 ± 2	-	-
2	Berlobang					
a	Kecil	390 ± 35	190 ± 35	100 ± 2	20	15
b	Besar	390 ± 35	190 ± 35	200 ± 3	25	20

Tabel 2.4. Syarat fisis mutu batako

	Syarat Fisis	Satuan	Tingkat mutu bata beton pejal				Tingkat mutu bata beton berlubang			
			I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	Kuat tekan bruto* rata-rata minimum	Kg/cm ²	100	70	40	25	70	50	35	20
2	Kuat tekan bruto masing-masing benda uji	Kg/cm ²	90	65	35	21	65	45	30	17
3	Penyerapan air rata-rata, maksimum	%	25	35	-	-	25	35	-	-

2.1.5. Pengertian Kualitas atau Mutu

Kualitas merupakan merupakan faktor utama bagi perusahaan untuk dapat bersaing dan memenuhi ekspektasi pelanggan sehingga kepuasan pelanggan akan suatu produk dapat terpenuhi. Kualitas juga dapat dijadikan ukuran kinerja suatu perusahaan, kinerja suatu perusahaan dapat dikatakan baik apabila kualitas produk yang dihasilkan sesuai dengan keinginan pelanggan. Secara singkat kualitas dapat diartikan sebagai segala sesuatu yang mampu memenuhi kebutuhan dan harapan pelanggan hingga tercapai tingkat kepuasan.

Mutu adalah segala sesuatu yang diputuskan oleh pelanggan, bukan oleh insinyur, bukan oleh pemasaran atau manajemen mutu umum. Mutu didasarkan pada pengalaman actual pelanggan terhadap produk atau jasa, diukur berdasarkan persyaratan pelanggan tersebut-dinyatakan atau tidak dinyatakan, disadari atau hanya dirasakan, dikerjakan secara teknis atau bersifat subjektif - dan selalu mewakili sasaran yang bergerak dalam pasar yang penuh persaingan (Feigenbaum, 1991).

Banyak para ahli mendefinisikan tentang kualitas diantaranya yaitu kualitas diartikan sebagai segala sesuatu yang mampu memenuhi kebutuhan pelanggan (*meeting the needs of customers*), totalitas dari karakteristik suatu produk yang menunjang kemampuannya untuk

memuaskan kebutuhan yang dispesifikasikan atau ditetapkan, Sejumlah keistimewaan produk, baik keistemewaan langsung maupun keistimewaan atraktif yang memenuhi keinginan pelanggan sehingga mampu memberikan kepuasan atas penggunaan produk tersebut dan terdiri dari segala sesuatu yang bebas dari kekurangan atau kerusakan (Gaspersz, 2002).

Sedangkan kualitas adalah keseluruhan karakteristik produk jasa yang meliputi *marketing, engineering, manufacture*, dan *maintenance*, dalam mana produk dan jasa tersebut dalam pemakaiannya akan sesuai dengan kebutuhan dan harapan pelanggan (Feigenbaum, 1991). Kualitas sebagai segala sesuatu yang dapat memuaskan pelanggan atau sesuai dengan persyaratan dan kebutuhan pelanggan. Selain itu didefinisikan juga bahwa kualitas sebagai konsistensi peningkatan dan penurunan variasi karakteristik produk, agar Perbendaraan ISO 8402 dan standar nasional Indonesia (SNI 19-8402-1991): 'kualitas adalah keseluruhan ciri dan karakteristik produk atau jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan, baik yang dinyatakan secara tegas maupun tersamar. Istilah kebutuhan diartikan sebagai spesifikasi yang tercantum dalam kontrak maupun kriteria yang didefinisikan terlebih dahulu.

Sedangkan secara definitif yang dimaksud dengan kualitas atau mutu suatu produk atau jasa adalah derajat atau tingkat dimana produk atau jasa tersebut mampu memuaskan keinginan dari konsumen (*fitness for use*). Ada beberapa dimensi kualitas untuk industri manufaktur dan jasa, dimensi digunakan untuk melihat dari sisi manakah kualitas dinilai. Tentu saja perusahaan ada yang menggunakan salah satu dari sekian banyak dimensi kualitas yang ada. Namun ada kalanya yang membatasi hanya pada satu dimensi tertentu, yang dimaksud dimensi kualitas telah diuraikan untuk industri manufaktur meliputi (Garvin, 1994):

- a. *Performance* yaitu kesesuaian produk dengan fungsi utama produk itu sendiri atau karakteristik operasi dari suatu produk.
- b. *Feature* yaitu ciri khas produk yang membedakan dari produk lain yang merupakan karakteristik pelengkap dan mampu menimbulkan kesan yang baik bagi pelanggan.
- c. *Reliability* yaitu kepercayaan pelanggan terhadap produk karena kehandalan atau karena kemungkinan kerusakan yang rendah.

- d. *Conformance* yaitu kesesuaian produk dengan syarat atau ukuran tertentu atau sejauh mana karakteristik desain dan operasi memenuhi standar yang telah ditetapkan.
- e. *Durability* yaitu tingkat ketahanan/ awet atau lama umur produk.
- f. *Serviceability* yaitu kemudahan produk itu bila akan diperbaiki atau kemudahan memperoleh komponen produk tersebut.
- g. *Aesthetics* yaitu keindahan atau daya tarik dari produk tersebut.
- h. *Perception* yaitu fanatisme konsumen akan merek suatu produk tertentu karena citra atau reputasi produk itu sendiri.

2.1.6. Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas digunakan sebagai upaya untuk menemukan kesalahan, kerusakan atau ketidak sesuaian suatu produk atau dalam memenuhi fungsi yang diharapkan sesuai dengan standar yang diinginkan serta memperbaiki kualitas produk yang belum sesuai dengan standar yang telah ditetapkan dan digunakan untuk mempertahankan kualitas produk yang telah sesuai, selain itu digunakan untuk menemukan alternatif-alternatif menyelesaikan masalah yang timbul. Kegiatan pengendalian kualitas pada dasarnya akan merupakan keseluruhan kumpulan aktivitas untuk mencapai kondisi *fitness for use* dimanapun aktivitas tersebut akan dilaksanakan mulai pada saat produk dirancang, diproses, sampai selesai dan didistribusikan ke konsumen.

Pengendalian kualitas banyak didefinisikan oleh para ahli, salah satunya yaitu pengendalian kualitas adalah suatu sistem yang efektif untuk memadukan pengembangan, pemeliharaan, dan perbaikan kualitas berbagai kelompok dalam sebuah organisasi agar pemasaran, rekayasa, produksi, dan jasa dapat berada pada tingkat yang paling ekonomis sehingga pelanggan mendapat kepuasan penuh (Feigenbaum, 1991). Pengendalian kualitas juga didefinisikan sebagai suatu sistem yang digunakan untuk memelihara atau mempertahankan level dari kualitas pada suatu produk atau jasa yang diinginkan, supaya tugas tersebut dapat tercapai maka dapat dilakukan berbagai pengukuran yang berbeda seperti: perencanaan, perancangan, menggunakan alat dan prosedur yang tepat, pemeriksaan

dan melakukan kegiatan perbaikan apabila ditemukan hasil yang tidak sesuai dengan standar. (Mitra, 1998).

Pengendalian kualitas merupakan aktivitas teknik dan manajemen melalui pengukuran kualitas dari output kemudian membandingkan hasil pengukuran itu dengan spesifikasi dari output kemudian membandingkan hasil pengukuran dengan spesifikasi output yang diinginkan pelanggan, serta mengambil tindakan perbaikan yang tepat apabila ditemukan perbedaan antar performansi aktual dan standar (Gaspersz, 2002). Secara terperinci, dapat dikatakan bahwa tujuan dari pengendalian kualitas adalah sebagai berikut (Assauri, 2004):

1. Agar barang hasil produksi dapat mencapai standar kualitas yang telah ditetapkan
2. Mengusahakan agar biaya inspeksi dapat menjadi sekecil mungkin
3. Mengusahakan agar biaya desain dari produk dan proses dengan menggunakan mutu produksi tertentu dapat menjadi sekecil mungkin.
4. Mengusahakan agar biaya produksi dapat menjadi serendah mungkin.

Pengendalian kualitas adalah aktivitas keteknikan dan manajemen yang dengan aktivitas tersebut dapat kita ukur ciri-ciri produk, membandingkan dengan spesifikasi/persyaratan dan mengambil tindakan perbaikan yang sesuai apabila ada perbedaan performansi *actual* standar (Montgomery, 1993). Pendekatan pengendalian kualitas dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu (Balavendram, 1995):

1. Pengendalian kualitas secara langsung (*online quality control*) merupakan kegiatan pengendalian kualitas yang dilakukan selama proses produksi berlangsung dengan menggunakan *statistical process control* (SPC) untuk memelihara kekonsistenan produk dan proses sehingga meminimumkan variasi antar unit. Sifat *online quality control* tidak memperhatikan pada desain, tetapi pada perbaikan standar pengendalian mutu produk atau proses dan merupakan tindakan reaktif atau tindakan pengendalian kualitas yang dilakukan setelah kegiatan produksi berjalan, dengan kata lain jika produksi yang dihasilkan tidak memenuhi spesifikasi yang diharapkan, tindakan perbaikan baru dilakukan.

2. Pengendalian kualitas secara tidak langsung (*offline quality control*)

Merupakan pengendalian kualitas yang lebih bersifat preventif, dengan melakukan pengendalian kualitas sebelum proses produksi berjalan sehingga kemungkinan adanya cacat produk dan masalah kualitas diharapkan dapat diatasi sebelum proses produksi berjalan. Aktivitas yang dilakukan dalam pengendalian kualitas secara tidak langsung yaitu mengidentifikasi kebutuhan dan harapan konsumen, mendesain produk yang sesuai harapan konsumen, mendesain produk secara konsisten dan secara ekonomi menguntungkan serta mengembangkan secara jelas dan cukup spesifik standar prosedur.

Terdapat beberapa metode pengendalian kualitas secara *offline*. Salah satunya adalah metode Taguchi yang mengembangkan metode desain dengan memanfaatkan sifat desain kokoh (*robust design*).

2.1.7. Metode Taguchi

Metode Taguchi pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapat tugas untuk memperbaiki sistem komunikasi di Jepang, yang merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan biaya dan *resource* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, oleh sebab itu metode ini sering disebut dengan *robust design* (Ishak, 2002).

Dr Genichi Taguchi mengembangkan metode Taguchi untuk melakukan perbaikan kualitas dengan metode percobaan baru, artinya melakukan pendekatan lain yang memberikan tingkat kepercayaan yang sama dengan SPC (*Statistical Process Control*). Taguchi memiliki pandangan yang berbeda mengenai kualitas, yaitu tidak hanya menghubungkan biaya dan kerugian dari suatu produk saat proses pembuatan produk tersebut, akan tetapi juga dihubungkan pada konsumen. Menurut Taguchi kualitas adalah kerugian setelah produk digunakan oleh masyarakat disamping kerugian yang disebabkan oleh mutu produk itu sendiri.

Metode Taguchi adalah suatu metodologi untuk merekayasa atau memperbaiki produktivitas selama penelitian dan pengembangan supaya produk-produk berkualitas tinggi dapat dihasilkan dengan cepat dan dengan biaya rendah. Metode Taguchi merupakan metode perancangan yang berprinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya. Hal ini dapat diperoleh melalui optimasi produk dan perancangan proses untuk membuat unjuk kerja kebal terhadap berbagai penyebab variasi suatu proses yang disebut perancangan parameter (Pramono, Wahyudi, & San, 2001). Dapat disimpulkan bahwa Taguchi menekankan pentingnya perencanaan produk yang kokoh (*robust*) dengan menggunakan disiplin dan struktur dari desain eksperimen sehingga mudah diterapkan dan berfungsi dengan baik pada tahap produksi maupun operasi, terdapat 3 (tiga) konsep Taguchi:

1. Kualitas seharusnya didesain kedalam suatu produk dan bukan diinspeksi ke dalamnya (memeriksanya).
2. Kualitas terbaik dicapai dengan cara meminimasi deviasi target dari target.
3. Produk harus dirancang sedemikian rupa hingga robust dan dapat mengantisipasi faktor lingkungan yang tak terkontrol
4. Biaya dari kualitas seharusnya diperhitungkan sebagai fungsi deviasi dari standar yang ada dan kerugiannya harus diperhitungkan juga pada seluruh sistem. (Ishak, 2002)

Metode Taguchi dibedakan menjadi dua yaitu Taguchi *single respon* dan Taguchi *multirespon*. Taguchi *single respon* hanya mempunyai satu variabel respon sehingga langsung didapatkan kombinasi optimal dari variabel respon tersebut, sedangkan variabel Taguchi *multirespon* mempunyai lebih dari satu variabel respon.

2.1.8. Proses Perancangan Parameter

Dalam rancangan percobaan klasik menganggap bahwa semua faktor sebagai penyebab variasi. Jika faktor-faktor tersebut diikendalikan atau dihilangkan maka variasi dapat dikurangi sehingga kualitas meningkat. Tetapi tidak semua faktor yang berpengaruh dapat dikendalikan tanpa mengeluarkan biaya, sehingga diperlukan pendekatan lain untuk

meningkatkan kualitas. Terdapat tiga tahap dalam pengendalian kualitas secara *offline* yaitu (Balavendram, 1995):

1. Perancangan Sistem (*System Design*)

Perancangan sistem atau juga disebut sebagai *primary design* merupakan tahap pertama dalam desain yang merupakan tahap konseptual yang mengacu pada kesesuaian intrinsik antara spesifikasi desain produk dengan karakteristik fungsi dan fisik produk untuk memenuhi keinginan konsumen agar tercapai tingkat kepuasan. Perancangan sistem (*system design*) juga merupakan tahap awal yang berkaitan dengan penentuan kualitas produk yang akan dioptimalkan dengan menggunakan pengembangan teknologi, sehingga dibutuhkan pengetahuan teknis yang luas untuk mengembangkan produk atau proses. Karakteristik kualitas merupakan parameter yang variansinya memberikan efek kritis (*critical effect*) terhadap kualitas produk. Sebagai contoh: kekuatan suatu produk, ketahanan produk, kepadatan produk dan lain-lain.

Dalam sebuah proses atau sistem yang sedang berjalan, banyak faktor yang mempengaruhi jalannya proses dalam sebuah sistem. Faktor tersebut ada yang mendukung jalannya proses dalam sebuah sistem dan ada yang menghambat jalannya sistem. Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas (*respon*) dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1) Faktor kendali (*Controllable Factors*)

Faktor ini termasuk parameter yang dapat diatur atau dikendalikan satu atau beberapa level yang dilakukan dengan cara memilih setting level kontrol yang optimal agar karakteristik tidak sensitif terhadap *noise*.

2) Faktor *noise* (*Uncontrollable Factors*)

Faktor ini merupakan suatu parameter yang menyebabkan pengaruh/ penyimpangan pada karakteristik kualitas dari nilai target, sulit diprediksi dan tidak terkendali (*uncontrollable*) dalam lingkungan atau faktor yang nilainya tidak ingin diatur atau dikendalikan karena apabila dikendalikan biayanya mahal.

3) Faktor *Signal (signal factor)*

Merupakan faktor yang mengubah nilai-nilai karakteristik kualitas sebenarnya yang akan diukur. Faktor ini ditentukan oleh konsumen berdasarkan target yang diinginkan dan juga mempengaruhi respon yang diukur.

4) Faktor *scalling (scalling factor)*

Faktor ini digunakan untuk mengubah *mean* level karakteristik kualitas untuk mencapai hubungan fungsional yang diperlukan antara faktor signal dengan karakteristik kualitas, sehingga faktor ini akan berubah apabila level faktornya diubah. Faktor ini juga disebut sebagai faktor penyesuaian.

2. Perancangan Parameter (*Parameter Design*)

Tahap ini merupakan pembuatan secara fisik atau prototipe secara matematis berdasarkan tahap sebelumnya melalui percobaan secara statistik. Tujuannya adalah mengidentifikasi setting parameter yang akan memberikan performansi rata-rata pada target dan menentukan pengaruh dari faktor gangguan pada variasi dari target. Perancangan parameter dapat pula disebut sebagai perancangan tangguh (*robust design*) yang memiliki prinsip dasar sebagai berikut:

- 1) Memperbaiki kualitas produk/proses dan meminimalkan pengaruh penyebab-penyebab variansi tanpa menghilangkan atau menyisihkan berbagai macam penyebab variansi tersebut. Hal ini dapat dicapai melalui optimasi desain produk dalam proses untuk membuat performansi (unjuk kerja) kebal atau intesitif terhadap berbagai penyebab variansi (Kolarik, 1995).
- 2) Desain parameter memilih rancangan terbaik dari faktor-faktor terkendali dan meminimumkan pengaruh lingkungan. Untuk memperoleh rancangan parameter terbaik (*robust*), Taguchi telah merekomendasikan sebuah rancangan eksperimen khas.
- 3) Perancangan Toleransi (*Tolerance Design*)
Penentuan toleransi dari parameter yang berkaitan dengan kerugian pada masyarakat akibat penyimpangan produk dari target. Pada tahap ini, kualitas ditingkatkan dengan mengetatkan toleransi pada parameter produk atau proses untuk mengurangi terjadinya

variabilitas pada performasi produk. Perancangan toleransi merupakan tahap penentuan rentang disekitar “optimal level” untuk mencari keseimbangan kerugian (*loss*) antara produsen dan konsumen. Penentuan toleransi dilakukan setelah mengoptimalkan desain atau rancangan parameter, dengan melibatkan pertimbangan financial agar diperoleh rancangan terbaik yang tidak hanya efektif tetapi juga ekonomis.

Pada tahap perancangan toleransi, Taguchi menyarankan untuk menggunakan fungsi kerugian (*loss function*) kuadratik (QLF) untuk mengukur sebaran dalam satuan finansial. Secara konsep QLF mendorong untuk selalu melakukan perbaikan terus-menerus (*continuous improvement*), karena ekspektasi fungsi tersebut adalah penjumlahan variansi dan kuadrat bias. Perbaikan perancangan toleransi ini berkaitan erat dengan tahap produksi.

2.1.9. Derajat Bebas (*Degree of freedom*)

Derajat bebas merupakan banyaknya perbandingan yang harus dilakukan antar level-level faktor (efek utama) atau interaksi yang digunakan untuk menentukan jumlah percobaan minimum yang dilakukan. Perhitungan derajat bebas dilakukan agar diperoleh suatu pemahaman mengenai hubungan antara suatu faktor dengan level yang berbeda-beda terhadap karakteristik kualitas yang dihasilkan. Perbandingan ini sendiri akan memberikan informasi tentang faktor dan level yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap karakteristik kualitas (Ishak, 2002). Dengan kata lain, perhitungan derajat kebebasan atau *degree of freedom* dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor-faktor yang diamati.

Dalam melakukan percobaan, efisiensi dan biaya yang harus dikeluarkan merupakan salah satu pertimbangan utama. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka sebisa mungkin digunakan *orthogonal array* terkecil yang masih dapat memberikan informasi yang cukup untuk dilakukannya percobaan secara komprehensif dan penarikan kesimpulan yang valid. Untuk menentukan *orthogonal array* yang diperlukan maka dibutuhkan perhitungan derajat kebebasan, perhitungan untuk memperoleh derajat kebebasan yaitu (Balavendram, 1995):

1. Derajat kebebasan untuk faktor dan level faktor (v_{f1}) adalah:

Rumus 2.1. Derajat kebebasan satu nomor level

$$v_{f1} = \text{number of level} - 1$$

Rumus diatas digunakan untuk faktor yang memiliki satu nomor level saja, untuk perancangan level faktor melibatkan multi level, maka untuk derajat kebebasan faktor dan level dapat dihitung dengan rumus berikut:

Rumus 2.2. Derajat Kebebasan multilevel

$$\begin{aligned} v_{f1} &= \text{degree of freedom of factor levels} \\ &= (\text{number of factor} \times (\text{number of level} - 1))_1 \\ &\quad + (\text{number of factor} \times (\text{number of level} - 1))_2 \end{aligned}$$

2. Derajat kebebasan untuk *orthogonal array* (v_{OA})

Rumus yang digunakan untuk mencari nilai adalah sebagai berikut:

Rumus 2.3. Derajat kebebasan *orthogonal array*

$$v_{OA} = \text{number of experiments} - 1$$

2.1.10. *Orthogonal Array*

Orthogonal array adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom, dimana setiap kolom merupakan faktor atau kondisi yang bisa diubah dalam suatu eksperimen. Jadi *orthogonal array* merupakan suatu matriks seimbang dari faktor dan level yang tersusun sedemikian sehingga pengaruh antar faktor atau level tidak saling berbaaur. Pengertian lain tentang *Orthogonal array* merupakan suatu matriks faktor dan level yang tidak membawa pengaruh dari faktorr atau level yang lain (Ishak, 2002).

Orthogonal Array ditemukan oleh Jacques Handmard pada tahun 1897, dan mulai diterapkan pada perang dunia II oleh Plackett dan Burman. Matriks Taguchi secara matematis identik dengan matriks Hardmard, hanya kolom dan barisnya dilakukan pengaturan lagi.

Orthogonal array merupakan salah satu bagian dari *fraction factorial Experiment* (FFE), dimana *orthogonal array* dapat digunakan untuk mengevaluasi beberapa faktor. Keuntungan *Orthogonal array* adalah kemampuannya untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah percobaan yang minimum. Jika pada percobaan terdapat 7 faktor dengan level 2, maka jika menggunakan *full factorial* diperlukan 2^7 buah percobaan, sedangkan apabila menggunakan *Orthogonal Array*, jumlah percobaan yang perlu dilakukan dapat dikurangi sehingga akan mengurangi waktu dan biaya percobaan.

Array Orthogonal adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Setiap kolom mewakili faktor/kondisi menurut baris dan kolom sedangkan baris menunjukkan keadaan dari faktor. *Array* disebut *orthogonal* karena level-level dari faktor berimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor lain dalam eksperimen. Jadi *array orthogonal* adalah matriks seimbang dari faktor dan level, sedemikian sehingga pengaruh-pengaruh suatu faktor atau level tidak berbaur (*confounded*) dengan pengaruh faktor atau level yang lain. Matrik eksperimen adalah matriks yang memuat sekelompok eksperimen dimana faktor dan level dapat ditukar sesama matriks. Faktor-faktor dan level-level merupakan kondisi bermacam-macam proses yang diteliti. Notasi *orthogonal array* dinyatakan sebagai berikut:

$$L_n(l^f)$$

Dimana:

1. Notasi L
Menyatakan informasi mengenai *orthogonal array*
2. Nomor Baris (n)
Menyatakan jumlah percobaan yang dibutuhkan ketika menggunakan *orthogonal array*
3. Nomor kolom (f)
Menyatakan jumlah faktor yang diamati dalam *orthogonal array*
4. Nomor Level (l)
Menyatakan jumlah level faktor

Dalam pemilihan *orthogonal array* haruslah disesuaikan dengan jumlah faktor serta level faktor yang akan diamati. Berikut tabel standard untuk *orthogonal array* yang ditabulasi oleh Taguchi (Balavendram, 1995):

Tabel 2.5. *Standard orthogonal array*

2 Tingkat	3 Tingkat	4 Tingkat	5 Tingkat	Campuran
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{16}(2^1 \times 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$		$L_{32}(2^1 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$			$L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$				$L_{36}(2^3 \times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$				$L_{54}(2^1 \times 3^{25})$
$L_{64}(2^{63})$				$L_{50}(2^1 \times 5^{11})$

Contoh orthogonal array $L_8(2^7)$ yang berarti delapan menyatakan baris yaitu banyaknya observasi, dua menyatakan level, dan tujuh menyatakan kolom yaitu banyaknya faktor dan interaksi faktor (Balavendram, 1995). Orthogonal array $L_8(2^7)$ dan dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.6. Matriks *orthogonal array* $L_8(2^7)$

EKSPERIMEN	KOLOM/FAKTOR						
	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Sumber: Balavendram, N. Quality By Design. Prentice Hall, International, 1995

Tabel 2.7. Matriks *orthogonal array* $L_4(2^3)$

EKSPERIMEN	KOLOM/FAKTOR		
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Sumber: Belavendram, N. Quality By Design. Prentice Hall, International, 1995

2.1.11. Penentuan Jumlah Replikasi

Replikasi merupakan jumlah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Replikasi dilakukan untuk tujuan:

1. Menambah ketelitian data eksperimen
2. Mengurangi tingkat kesalahan dalam eksperimen
3. Memperoleh harga taksiran kesalahan eksperimen sehingga memungkinkan diadakan uji signifikan hasil eksperimen

2.1.12. Ratio Signal to Noise (S/N Rasio)

Signal to noise ratio (SN ratio) digunakan untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor, misalnya dalam eksperimen multifaktor. SN ratio digunakan untuk mengevaluasi kualitas dari suatu proses atau produk. SN ratio mengukur performansi kerja dan efek dari faktor *noise* dari performansi kerja. Kemudian efek faktor *noise* dari performansi tersebut dilakukan evaluasi performansi dari karakteristik output. Semakin tinggi performansi yang diukur yang berarti tingginya SN ratio sama dengan kerugian yang lebih kecil. SN ratio adalah ukuran

objektif dari kualitas yang memuat *mean* dan varian dalam perhitungan (Balavendram, 1995).

Metode perhitungan SN Ratio tergantung pada karakteristik kualitasnya, jenis karakteristik kualitas yang diinginkan adalah:

1. SN ratio *smaller the better* (STB)

Merupakan karakteristik kualitas bersifat kontunuuous dan *non-negative* dimana semakin rendah nilainya, maka kualitas semakin baik. Meskipun demikian, dalam penentuan level faktor optimal tetap dipilih nilai S/N Ratio yang terbesar (Balavendram, 1995).

Rumus 2.4. SN ratio *Smaller the better*

$$S/N_{STB} = -10 \log_{10} \left[1/n \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

2. SN ratio *nominal the better* (NTB)

Karakteristik kualitas bersifat kontinuuous dan *non-negative* dimana nilai targetnya adalah *non-zero* dan ditetapkan suatu nilai nominal tertentu, jika nilainya semakin mendekati nilai normal tertentu, maka kualitasnya semakin baik. Nilai S/N untuk jenis karakteristik NTB adalah:

Rumus 2.5 SN ratio *nominal the better*

$$S/N_{NTB} = 10 \log_{10} \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right]$$

$$\mu = 1/n \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\sigma^2 = 1/n \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

Dimana :

S/N = *signal to noise ratio* yang memiliki satuan decibell

n = jumlah tes di dalam percobaan (trial)

y_i = nilai respon dari cuplikan ke- i untuk jenis eksperimen tertentu

3. SN ratio *large the better* (LTB)

Merupakan karakteristik kualitas bersifat kontinuus dan *non-negative* dimana semakin besar nilainya, maka kualitas semakin baik. Nilai S/N untuk jenis karakteristik LTB adalah:

Rumus 2.5 SN ratio *large the better*

$$S/N_{LTB} = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

2.1.13. Efek Tiap Faktor

Perhitungan efek tiap-tiap faktor kendali digunakan untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap desain kualitas produk supaya diperoleh hasil akhir dan menentukan parameter terbaik dalam rangka pencapaian target. Dapat dilakukan dengan cara menghitung nilai rata-rata efek tiap faktor maupun terhadap nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) yang paling berpengaruh sebagai data dalam analisis berikutnya, dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Rumus 2.6. Efek faktor

$$efek\ faktor = \frac{1}{a} \left(\sum \eta_0 \right)$$

Keterangan:

0 = nomor eksperimen yang akan mempunyai I level yang sama

a = jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom matriks orthogonal

η = SNR yang digunakan

2.1.14. Taguchi Multi Respon

Seperti yang dibahas sebelumnya bahwa metode Taguchi dibedakan menjadi dua yaitu Taguchi *single respon* dan Taguchi *multirespon*. Taguchi *multirespon* memiliki lebih dari satu variabel respon (minimal dua variabel respon), dan masing-masing variabel respon mempunyai kombinasi faktor yang berbeda sehingga diperlukan penanganan lebih lanjut untuk mendapatkan kombinasi faktor yang optimal untuk meningkatkan kualitas masing-masing variabel respon. Dua metode yang dapat digunakan untuk menentukan kombinasi faktor yang tepat untuk memecahkan permasalahan yaitu Taguchi *multirespon* adalah Metode MRSN (*Multi Respon signal to Noise*) dan TOPSIS (*Technique for Order preference by Similarity to Ideal Solution*) untuk menentukan kondisi optimal pada tahap desain parameter.

1. Multi Respon Signal to Noise (MRSN)

Terdapat beberapa tahapan didalam melakukan eksperimen taguchi *multi respon* menggunakan metode MRSN, beberapa tahapan tersebut antara lain:

- 1) Menghitung *quality loss* (L_{ij}) setiap trial untuk karakteristik kualitas.
- 2) Menentukan *Multi Respon Signal to Noise* (MRSN) *ratio*.
 - a. Menentukan *quality loss* maksimum untuk tiap respon
 - b. Normalisasi *quality loss* tiap eksperimen

Rumus 2.7. *Quality loss*

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i}$$

Keterangan:

C_{ij} = *normalized quality loss* untuk respon ke-I, pada trial ke-j

L_{ij} = $\max \{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{ij}\}$

- c. Menghitung total *normalized quality loss* (TNQL) setiap eksperimen:

Rumus 2.7. *Normalized Quality loss*

$$TNQL_i = \sum_{j=1}^m w_j \times C_{ij}$$

Keterangan

w_i = bobot dari normalisasi repon ke-i

3) Menghitung Nilai *Multi Respon Signal to Noise* (MRSN)

Perhitungan nilai MRSN dicari dengan rumus berikut:

Rumus 2.8 MRSN

$$MRSN_i = -10 \times \log(TNQL_i)$$

4) Menentukan level optimal dari faktor kontrol berdasarkan nilai MRSN tersebar.

2. *Technique For Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS).

Metode TOPSIS diperkenalkan pertama kali oleh Yoon dan Hwang pada tahun 1981 untuk digunakan sebagai salah satu metode dalam memecahkan masalah multikriteria (Sachdeva, 2009). Metode ini merupakan salah satu metode pendukung keputusan, sistem pendukung keputusan merupakan suatu sistem interaktif yang mendukung keputusan dalam proses pengambilan keputusan melalui alternatif-alternatif yang diperoleh dari hasil pengolahan data, informasi dan rancangan model.

Metode TOPSIS adalah salah satu metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah *Multi Attribute Decision Making* (MADM). Metode TOPSIS didasarkan pada konsep dimana alternatif terpilih yang terbaik tidak hanya memiliki jarak terpendek dari solusi ideal positif, namun memiliki jarak terpanjang dari solusi ideal negatif. Metode TOPSIS memiliki beberapa kelebihan, diantaranya konsepnya yang sederhana dan mudah dipahami, komputasinya efisien, dan memiliki kemampuan untuk mengukur kinerja relatif dari alternatif-alternatif keputusan dalam bentuk matematis yang sederhana.

TOPSIS menggunakan prinsip bahwa alternatif yang terpilih harus mempunyai jarak terdekat dari solusi ideal positif dan terjauh dari solusi ideal negatif dari sudut pandang geometris dengan menggunakan jarak *Euclidean* untuk menentukan kedekatan relatif dari suatu alternatif dengan solusi optimal. Solusi ideal positif didefinisikan sebagai jumlah dari

seluruh nilai terbaik yang dapat dicapai untuk setiap atribut, sedangkan solusi negatif-ideal terdiri dari seluruh nilai terburuk yang dicapai untuk setiap atribut. Metode TOPSIS mempertimbangkan keduanya, jarak terhadap solusi ideal positif dan jarak terhadap solusi ideal negatif dengan mengambil kedekatan relative terhadap solusi ideal positif. Berdasarkan perbandingan terhadap jarak relatifnya, susunan prioritas alternatif bisa dicapai. Adapun tahapan-tahapan dalam metode TOPSIS yaitu:

1. Membuat matriks keputusan ternormalisasi

Metode TOPSIS membutuhkan rating kinerja setiap alternatif A_i pada kriteria C_i yang ternormalisasi.

Rumus 2.9. Matriks ternormalisasi

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}}$$

Dengan $i = 1, 2, \dots, m$; dan $j = 1, 2, \dots, n$

r_{ij} = matriks keputusan ternormalisasi.

x_{ij} = bobot kriteria ke j pada alternatif ke i .

i = alternatif ke i .

j = kriteria ke j .

2. Membuat matriks keputusan ternormalisasi terbobot

Rumus 2.10. Matriks ternormalisasi terbobot

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{1j} \\ y_{21} & y_{22} & y_{2j} \\ y_{i1} & y_{i2} & y_{ij} \end{bmatrix}$$

$$Y_{ij} = W_j \cdot r_{ij}$$

Keterangan :

W_j adalah bobot kriteria ke- j

Y_{ij} adalah elemen dari matriks keputusan yang ternormalisasi

3. Menentukan matriks solusi ideal positif dan matriks solusi ideal negatif

$$A^+ = (y_1^+, y_2^+, \dots, y_i^+)$$

$$A^- = (y_1^-, y_2^-, \dots, y_i^-)$$

Dimana :

$y_j^+ = \max y_{ij}$, jika j adalah atribut keuntungan $\min y_{ij}$, jika j adalah atribut biaya

$y_j^- = \min y_{ij}$, jika j adalah atribut keuntungan $\max y_{ij}$, jika j adalah atribut biaya

4. Menentukan jarak antara nilai setiap alternatif dengan matriks solusi ideal positif (D^+) dan (D^-) matriks solusi ideal negatif.

Rumus 2.10. Jarak matriks

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i^+ - y_{ij})^2}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - y_i^-)^2}$$

$i = 1, 2, \dots, m$

Keterangan :

y_i^+ = adalah elemen dari matriks solusi ideal positif

y_i^- = adalah elemen dari matriks solusi ideal negatif

5. Menentukan nilai preferensi untuk setiap alternatif. Nilai preferensi merupakan kedekatan suatu alternatif terhadap solusi ideal.

Rumus 2.11. Nilai preferensi

$$V_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}$$

Dimana :

Nilai V_i yang lebih besar menunjukkan prioritas alternatif

2.1.15. Quality Loss Function (QLF)

Quality loss function (QLF) atau fungsi kerugian menurut Taguchi adalah biaya (oleh produsen maupun konsumen) yang harus ditanggung akibat dari kualitas produk yang tidak baik. QLF bertujuan untuk mengevaluasi kerugian kualitas secara kuantitatif yang disebabkan adanya variasi yang ditanggung oleh produsen dan konsumen. *Quality loss function* terdiri dari 3 komponen yaitu koefisien biaya (k), variansi dan kuadrat penyimpanan.

Komponen biaya meliputi pengembalian barang, biaya garansi, ketidakpuasan dan keluhan konsumen, kehilangan waktu dan uang bagi konsumen, dan kehilangan pertumbuhan pangsa pasar bagi produsen. Ukuran besarnya nilai karakteristik kualitas dapat dibedakan menjadi tiga yaitu *smaller the better*, *nominal the better* dan *large the better*.

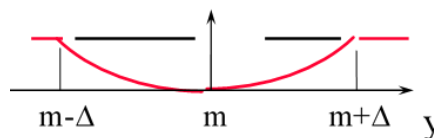
1. Quality Loss Function Untuk Nominal The Better

Nominal the better dapat diartikan sebagai suatu cara yang digunakan untuk mengupayakan agar produk yang dihasilkan sesuai dengan keinginan konsumen. Dalam hal ini ukuran atau spesifikasi produk merupakan hal yang terpenting. Dengan kata lain *Nominal The Better* merupakan kualitas yang menuju suatu nilai target yang tepat pada suatu nilai tertentu contohnya diameter ban, ketebalan produk, kerapatan benda dan lain-lain. Persamaan Taguchi untuk mengetahui kerugian yang ditimbulkan produk (*loss function*) adalah:

Rumus 2.12. *Quality Loss Function NTB*

$$L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} (y_{ijk} - m)^2$$

Grafik *loss function nominal the better* seperti dibawah ini



Gambar 2.1 Kurva *Nominal-the-better*

(sumber: Bagachi,1993)

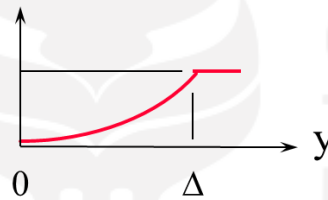
2. Quality Loss Function Untuk *Smaller The Better*

Smaller the better merupakan suatu istilah yang menyatakan bahwa semakin kecil target *value* yang dicapai (mendekati nol; nol adalah nilai ideal), maka akan semakin baik. Karena semakin kecil target *value* maka semakin baik, nilai $m = 0$. Contohnya adalah penggunaan mesin, presentase produk cacat, besar hambatan dan lain-lain. Persamaan untuk *loss function smaller the better* adalah:

Rumus 2.13. *Quality Loss Function* sTB

$$L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} (y_{ijk} - m)^2$$

Untuk memperoleh nilai konstanta (k), dapat menggunakan grafik *loss function smaller the better* dibawah ini:



Gambar 2.2 Kurva *Smaller-the-better*
(Sumber: Bagchi,1993)

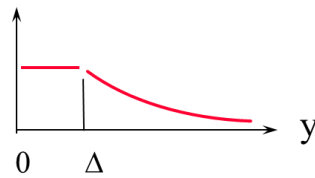
3. Quality Loss Function Untuk *Large The Better*

Large the better, merupakan istilah yang menyatakan bahwa semakin besar target *value* yang dicapai (tak terhingga merupakan nilai idealnya), akan semakin baik. Oleh karena itu target *value* yang harus dicapai adalah $(m) = \infty$. Contoh dari karakteristik ini adalah kekuatan produk, kekuatan tarik produk, ketahanan terhadap korosi dan lain-lain. Persamaan untuk *loss function large the better* adalah sebagai berikut:

Rumus 2.14. *Quality Loss Function* LTB

$$L_{ij} = k_j \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2$$

Grafik *Quality Loss function large the better* adalah sebagai berikut:

Gambar 2.3 Kurva *Large-the-better*

(Sumber: Bagchi,1993)

Keterangan:

L_{ij}	= <i>quality loss</i> untuk repon ke-i, trial ke-j
Y_{ijk}	= data untuk respon ke-i, trial ke-j, replikasi ke-k
n_i	= replikasi untuk respon ke-i
k	= koefisien dari <i>quality loss</i>
m	= nilai target

2.1.16. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dimaksudkan bahwa faktor-faktor level yang dimaksud memberikan hasil seperti yang diharapkan. Untuk menguji apakah hasil yang didapat sesuai dengan yang diharapkan, maka harus diuji dengan interval keyakinan. Hasil yang didapat harus berada pada interval keyakinan yang ditentukan (Ishak, 2002). Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan menggunakan level faktor yang dianggap akan memberikan perbaikan kualitas yang diinginkan, yaitu dengan menggunakan kombinasi level faktor terbaik yang dapat meningkatkan kualitas.

Eksperimen konfirmasi merupakan eksperimen penerapan setting optimum pada proses produksi seutuhnya. Tujuan dari konfirmasi adalah untuk mengetahui keberhasilan dari penelitian dengan melakukan pengontrolan proses produksi. Tujuan percobaan konfirmasi adalah untuk:

- a. Memverifikasi dugaan yang dibuat pada saat model performansi penentuan faktor dan interaksinya.
- b. Memverifikasi setting parameter (faktor) yang optimum analisis hasil percobaan pada performansi yang diharapkan

Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan menggunakan SNR pada kondisi optimum untuk mendapatkan μ prediksi, kemudian hasil prediksi tersebut dibandingkan dengan eksperimen konfirmasi. Adapun langkah-langkah μ adalah sebagai berikut:

1. μ prediksi = Estimasi nilai SNR yang optimum
2. Menghitung selang kepercayaan (*confidence interval*)

Rumus 2.15. *Confidence interval*

$$\text{Confidence interval (CI)} = \mu \text{ Prediksi} \pm \sqrt{F_{a,v1,v2} \times V_e \times \left[\frac{1}{n_{eff}} \right]}$$

3. Menghitung SNR data hasil eksperimen prediksi

Rumus 2.16. SNR eksperimen prediksi

$$SNR = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} y_1^2 \right]$$

4. Kesimpulan

Jika nilai SNR data hasil eksperimen prediksi masih berada dalam batas *confidence interval* (CI) maka dapat disimpulkan bahwa SNR hasil eksperimen usulan sesuai eksperimen prediksi, begitu pula sebaliknya.

2.1.17. Uji Normalitas

Uji normalitas bertujuan apakah dalam model regresi variabel dependen dan variabel independen mempunyai kontribusi atau tidak. Model regresi yang baik adalah data distribusi normal atau mendekati normal (Ghozali, 2012). Distribusi normal merupakan distribusi teoritis dari variabel random yang kontinyu. Distribusi normal disebut gauss (*gaussian*

distribution) sesuai dengan nama yang menemukannya yaitu Carl Gauss yang banyak menyelediki hal ini pada akhir abad 18 disamping penyelidikan pertama Pierre Laplace dan Abraham de Moivre (Sudjana, 2006).

Berdasarkan pengalaman empiris beberapa pakar statistik, data yang banyaknya lebih dari 30 angka ($n > 30$), maka sudah dapat diasumsikan berdistribusi normal. Namun untuk memberikan kepastian data yang dimiliki berdistribusi normal atau tidak, sebaiknya digunakan uji normalitas. Karena belum tentu data yang lebih dari 30 bisa dipastikan normal, demikian sebaliknya data banyaknya kurang dari 30 belum tentu tidak berdistribusi normal.

Untuk keperluan pengujian normalitas ini, data harus disusun dalam daftar distribusi frekuensi yang terdiri atas k buah interval. Uji kebaikan suai (*goodness of fit test*) pada prinsipnya bertujuan untuk mengetahui apakah sebuah distribusi data dari sampel mengikuti sebuah distribusi teoritis tertentu atau tidak, dengan demikian *goodness of fit* akan membandingkan antara frekuensi yang teramati dengan frekuensi harapan. Menghitung nilai *Chi-Square* hitung (χ^2_{hitung}) dari data yang telah didapatkan dengan rumusan sebagai berikut:

Rumus 2.17. Uji normalitas

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$$

Keterangan

k : banyaknya kategori/sel, 1,2... k

o_i : frekuensi observasi untuk kategori ke- i

e_i : frekuensi ekspektasi (harapan) untuk kategori ke- i

χ^2 : ukuran perbedaan antara frekuensi observasi dengan frekuensi

Nilai χ^2 merupakan sebuah nilai peubah acak χ^2 (*chi-square*) yang sebaran penarikan, contohnya sangat menghampiri nilai χ^2 . Lambang o_i dan e_i masing-masing menyatakan frekuensi teramati dan frekuensi harapan bagi sel ke- i (Walpole, 1995). Bila frekuensi

teramati sangat dekat dengan frekuensi harapannya, nilai χ^2 akan kecil, menunjukkan adanya kesesuaian yang baik. Bila frekuensi teramati berbeda cukup besar dari frekuensi harapannya, nilai χ^2 akan besar sehingga kesesuaiannya buruk.

Kesesuaian yang baik akan membawa penerimaan H_0 , sedangkan kesesuaian yang buruk akan membawa pada penolakan H_0 . Dengan demikian wilayah kritisnya akan jatuh di ekor kanan sebaran *chi-square*. Untuk taraf nyata sebesar α , nilai kritisnya $\chi^2(\alpha)(dk)$ dapat diperoleh pada tabel distribusi khi-kuadrat, dengan demikian wilayah kritisnya adalah $\chi^2 \geq \chi^2(\alpha)(dk)$ (Sudjana, 2006). Kriteria keputusan ini tidak dapat digunakan apabila ada frekuensi harapan yang nilainya kurang dari 5. Persyaratan ini mengakibatkan adanya penggabungan sel-sel yang berdekatan, sehingga mengakibatkan berkurangnya derajat bebas.

Banyaknya derajat bebas dalam uji kebaikan-suai yang didasarkan pada sebaran khi-kuadrat, sama dengan banyaknya sel (kelas) dalam percobaan yang bersangkutan dikurangi dengan banyaknya besaran yang diperoleh dari data pengamatan yang digunakan dalam perhitungan frekuensi harapannya (Walpole, 1995), uji normalitas dilakukan dengan langkah-langkah dan rumus sebagai berikut:

1. Menentukan kelas interval (k) dengan rumus:

Rumus.2.18. Kelas interval

$$k = (1 + 3,3 \log n)$$

n = jumlah data

2. Menentukan rentang (R) data, dengan rumus:

Rumus.2.19. Retang Data

$$R = \text{data tertinggi} - \text{data terendah}$$

3. Menentukan panjang kelas interval (p)

Rumus.2.20. Pajang kelas interval

$$p = \frac{R}{k}$$

4. Menentukan standar deviasi

Rumus.2.21. Standar deviasi

$$\mu = \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Dimana :

$\mu = \bar{x}$ = rata-rata (mean)

σ^2 = variansi (varians)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}}$$

5. Distribusi normal standard adalah distribusi normal dengan mean $\mu = 0$ dan standard deviasi $\sigma = 1$. Dengan rumus sebagai berikut:

Rumus.2.22. Distribusi normal Standard

$$z_1 = \frac{(x_1 - \mu)}{\sigma} \text{ dan } z_2 = \frac{(x_1 - \mu)}{\sigma}$$

6. Menghitung nilai e_1

Rumus.2.23. Nilai e_1

$$e_1 = Luas \times N$$

2.1.18. Uji Homogenitas

Menguji homogenitas varians populasi adalah untuk menguji kesamaan beberapa buah rata-rata populasi yang mempunyai varians yang homogen, yaitu $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$. Ada beberapa metode yang ditemukan untuk melakukan pengujian ini, salah satunya dikenal dengan nama uji Bartlett (Sudjana, 2006). Uji hipotesis yang ditunjukkan untuk mengetahui apakah dua sampel atau lebih bersifat homogen disebut uji homogenitas. Uji homogenitas Chi Kuadrat (*chi-square*) ini kita akan membandingkan apakah dua populasi yang diwakili oleh dua sampel yang diambil secara acak adalah homogen setelah diberi suatu perlakuan tertentu (Umar, 2007).

Pengujian homogenitas juga dimaksud untuk memberikan keyakinan bahwa sekumpulan data dalam serangkaian analisis memang berasal dari populasi yang tidak jauh berbeda keragamannya. Perhitungan uji homogenitas dapat dilakukan dengan berbagai cara dan metode, beberapa yang cukup populer dan sering digunakan antara lain: uji Harley, Cochran, levene dan Barlett. Uji Bartlett digunakan untuk menguji homogenitas varians

lebih dari dua kelompok data. Langkah-langkah uji homogenitas menggunakan uji Barlett adalah sebagai berikut:

1. Menghitung derajat kebebasan (dk) masing-masing kelompok.

Rumus.2.24. Derajat Kebebasan

$$dk = n - 1$$

2. Menghitung varians (s) masing-masing kelompok

Rumus 2.25. Varians

$$Si^2 = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}}$$

3. Menghitung besarnya $\log S^2$ untuk masing-masing kelompok
4. Menghitung besarnya $dk \cdot \log S^2$ untuk masing-masing kelompok

Rumus.2.26. $dk \cdot \log S^2$

$$dk \times \log Si^2 = 7 \times \log 13,5258 = 7,9181$$

5. Menghitung nilai varians gabungan semua kelompok dengan rumus sebagai berikut:

Rumus.2.27. Varians gabungan

$$S_{gab}^2 = \frac{(\sum dk S_i^2)}{\sum dk}$$

6. Menghitung nilai B (nilai Bartlett) dengan rumus sebagai berikut:

Rumus.2.28. Nilai Bartlett

$$B = \sum dk (\log S_{gab}^2)$$

7. Menghitung nilai χ^2 dengan rumusan sebagai berikut:

Rumus.2.29. *Chi Square*

$$\chi^2 = (\ln 10) \left[B - \left(\sum dk \log S_i^2 \right) \right]$$

8. Setelah nilai *Chi Square* hitung diperoleh, maka nilai *Chi Square* tersebut dibandingkan dengan Chi-Kuadrat tabel. Kriteria Homogen ditentukan jika *Chi Square* hitung < *Chi Square* tabel.

a. Hipotesis pengujian: $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \dots = \sigma_n^2$

H_1 : paling sedikit salah satu tanda tidak sama

b. Kriteria pengujian: jika $\chi_{hitung}^2 > \chi_{tabel}^2(1 - \alpha; db = n - 1)$, maka H_0 ditolak

jika $\chi_{hitung}^2 < \chi_{tabel}^2(1 - \alpha; db = n - 1)$, maka H_0 diterima

2.1.19. Uji ANOVA (*Analysis of Variance*)

Analysis of Variance (ANOVA) pertama kali dikenalkan oleh Sir Ronald A. Fisher (1930) yang merupakan teknik statistika untuk merepresentasikan variasi hasil eksperimen. ANOVA adalah teknik yang digunakan untuk memecahkan total variasi eksperimen kedalam sumber-sumber yang diamati. Total variasi didekomposisi kedalam komponen-komponen pembentuknya berupa faktor utama dan atau interaksi antar vaktor.

ANOVA merupakan metode untuk menguji hubungan antara satu variabel (skala metrik) dengan satu atau lebih variabel (skala nonmetrik atau kategorikal dengan kategori lebih dari dua). Hubungan antara satu variabel dependent dengan satu variabel *independent one way* ANOVA (Ghozali, 2006). ANOVA digunakan untuk mengetahui pengaruh utama (*main effect*) dan pengaruh interaksi (*interaction effect*) dari variabel independen kategorikal terhadap variabel dependen metrik. Pengaruh interaksi adalah pengaruh bersama atau *joint effect* dua atau lebih variabel independen terhadap variabel dependent (Ghozali, 2012).

ANOVA (*Analysis of Variance*) merupakan uji komparasi multivariabel dengan menguji apakah terdapat perbedaan rata-rata tiga kelompok atau lebih dengan membandingkan variansinya. Anova dapat digunakan untuk menganalisa sejumlah sampel dengan jumlah data yang berbeda. ANOVA mensyaratkan data-data penelitian untuk dikelompokkan berdasarkan kriteria tertentu. Sampel yang berbeda dilihat dari variabelitas-nya. Ukuran-ukuran pada variabelitas ditunjukkan dengan nilai variansi dan *standard deviation* (simpangan baku), pengujian Anova terbagi menjadi dua, yaitu:

a. Anova satu arah (*One Way Anova*)

Anova satu arah (*One Way Anova*) merupakan pengujian Anova yang didasarkan pada satu faktor yang terdiri dari tiga atau lebih kategori (populasi).

b. Anova dua arah (*Two Way Anova*)

Anova dua arah (*Two Way Anova*) merupakan pengujian Anova yang didasarkan pada dua faktor yang terdiri dari tiga atau lebih kategori (populasi)

c. Klasifikasi banyak arah (MANOVA)

ANOVA banyak arah merupakan ANOVA yang didasarkan pada pengamatan banyak kriteria.

ANOVA pada metode Taguchi digunakan sebagai metode statistik untuk menginterpretasikan data-data hasil percobaan. *Analysis of Variance* adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Analisis varians yang digunakan pada desain parameter berguna untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi model dapat ditentukan. Uji Hipotesis dan tabel *Analysis of Variance* dalam Analisis Variansi adalah sebagai berikut:

1. Hipotesis

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \dots = \sigma_a^2$$

$$H_1: \exists \sigma_i^2 \neq \sigma_{i'}^2, i', i = 1, 2, 3, 4, \dots, a$$

2. Tarif nyata (signifikasi): α dan tingkat kepercayaan = $1 - \alpha$

3. Menentukan Uji statistik F (dalam artian F_{hitung})

4. Uji signifikasi (kriteria pengujian ANOVA)

$F_{hitung} > F_{tabel}$: H_0 ditolak artinya terdapat perbedaan dari beberapa variansi.

$F_{hitung} \leq F_{tabel}$: H_0 diterima artinya tidak ada perbedaan dari beberapa variansi (semua variansinya sama).

Tabel 2.8. *Analysis of Varian*

Sumber variasi	Derajat bebas (db)	SS	MS	F Hitung	% Kontribusi
Faktor A	V_A	SSA	MSA	MSA/MSe	$SS'A/SST$
Faktor B	V_B	SSB	MSB	MSB/MSe	$SS'B/SST$
Interaksi	$V_A \times B$	$SSA \times B$	$MSA \times B$	$MSA \times B/MSe$	$SS'A \times B/SST$
Residual	V_e	Sse	MSe		$SS'e/SST$
Total	V_T	SST			100%

Dimana:

$$V_A = n_A - 1$$

$$V_B = n_B - 1$$

$$V_A \times V_B = (n_A - 1)(n_B - 1)$$

$$V_T = n - 1$$

$$V_e = (n_A - 1) + (n_B - 1) + (n_A - 1) + (n_B - 1)$$

Dengan :

n_A = jumlah perlakuan untuk faktor A

n_B = jumlah perlakuan untuk faktor B

V_A = derajat kebebasan untuk faktor A

V_B = derajat kebebasan untuk faktor B

$V_A \times V_B$ = derajat kebebasan untuk interaksi faktor A x B

V_T = derajat kebebasan total

V_e = derajat kebebasan kesalahan (*error*)

CF = *Correction Factor*

Pada analisis ANOVA, dihadapkan pada sifat taraf tiap faktor yang tetap, artinya taraf untuk masing-masing faktor banyaknya tetap dan seluruhnya digunakan dalam eksperimen, apabila hanya didalam penelitian hanya mempunya a buah taraf faktor A dan hanya b buah

taraf B dan semuanya digunakan dalam eksperimen yang dilakukan, maka model yang dipakai adalah model tetap, sebagai berikut:

$$Y_{ijklmn} = \mu + A_i + B_j + C_k + D_l + E_m + F_n + \sum_{k(in)}$$

Dengan:

I = 1, 2, ..., a

J = 1, 2, ..., b

K = 1, 2, ..., n

Y_{ijklmn} = variabel respon hasil observasi ke-k yang terjadi karena pengaruh bersama taraf faktor A, taraf ke-j faktor B, taraf ke-k faktor C, taraf ke-1 faktor D, taraf ke-m faktor E, taraf ke-n faktor F.

μ = rata-rata yang sebenarnya (berharga konstan)

A = efek taraf ke-i faktor A

B = efek taraf ke-j faktor B

C = efek taraf ke-k faktor C

D = efek taraf ke-l faktor D

E = efek taraf ke-m faktor E

F = efek taraf ke-n faktor F

$\sum_{k(in)}$ = efek setiap eksperimen ke-k dalam kombinasi perlakuan (in)

Langkah-langkah dalam analisis variansi multifaktor adalah:

- 1) Menghitung harga *Sum of Square* (SS) atau jumlah kuadrat total
 - a. *Total Sum of Square* (SST) atau jumlah kuadrat total

Rumus.2.30. *Total Sum of Square* (SST)

$$SST = \left[\sum_{i=1}^N Y_i^2 \right] - CF$$

Dengan

Rumus 2.31. Nilai T

$$T = \sum_{i=1}^N Y_i$$

Rumus 2.32. Nilai CF

$$CF = \frac{T^2}{N}$$

- b. *Sum of Square* atau jumlah kuadrat untuk faktor, misalnya faktor A

Rumus 2.33. *Sum of Square*

$$SSA = \left[\sum_{i=1}^{K_A} \left(\frac{A^2}{n_{At}} \right) - \frac{T^2}{N} \right]$$

- c. *Sum of Square* (SSAxB) atau jumlah kuadrat interaksi antar faktor

Rumus 2.34. *Sum of Square* interaksi

$$SS_{AxB} = \left[\sum_{i=1}^c \left(\frac{A \times B}{n_{A \times B}} \right)^2 - CF - SS_A - SS_B \right]$$

- d. *Sum of Square* atau jumlah kuadrat *error* (SSE)

Rumus 2.33. Jumlah Kuadrat error

$$SSE = SST - SS_{factor}$$

- 2) Menghitung *degree of freedom* (df) atau derajat bebas

- a) *Degree of Freedom* total (df_T), dirumuskan dengan:

Rumus 2.34. *Degree of Freedom* total

$$Df_T = N - 1$$

- b) *Degree of Freedom* suatu faktor, dirumuskan dengan:

Rumus 2.35. *Degree of Freedom*

$$df_A = K_A - 1$$

c) *Degree of Freedom error* (dfe), dirumuskan dengan :

Rumus 2.36. *Degree of Freedom error*

$$dfe = df_T - df_{factor}$$

3) Menghitung *mean of square* (Mq) atau rata-rata jumlah kuadrat suatu faktor

Rumus 2.37. *Degree of Freedom error*

$$Mq_A = \frac{SSA}{df_A}$$

4) Menghitung F ratio suatu faktor

Rumus 2.38. F ratio

$$F_{ratio} = \frac{Mq}{Mqe}$$

5) Menghitung *pure of square* (SS') suatu faktor

Rumus 2.39. *Pure of Square*

$$SS' = SS - (df \times Mqe)$$

6) Menghitung persen kontribusi (P) suatu faktor

Persen kontribusi merupakan fungsi jumlah kuadrat dari setiap faktor dan setiap interaksi penyebab variasi. Persen kontribusi menunjukkan kekuatan relatif faktor maupun interaksinya dalam mengurangi variasi. Variasi total yang dimaksud didalam eksperimen adalah setiap faktor dan atau interaksinya yang signifikan dalam persen kontribusinya. Apabila level faktor dan atau interaksinya dikendalikan dengan teliti, maka variasi total dapat direduksi oleh banyaknya persen kontribusi. Jika jangkauan data dalam eksperimen relatif kecil dibanding data dalam produksi, maka meskipun suatu faktor signifikan didalam pengujian, variasi yang diterangkan efek faktor dan ataupun interaksinya tetap memuat variasi error.

Rumus 2.40. Persen kontribusi

$$P = \left[\frac{SS'}{SS_T} \right] \times 100\%$$

2.1.20. Uji Prediksi (Regresi Linear)

Uji prediksi menggunakan regresi linear merupakan analisis statistik yang mempelajari hubungan antara dua atau lebih variabel kuantitatif sehingga satu variabel dapat diramalkan (*predicted*) dari variabel lainnya. Didalam penelitian ini digunakan regresi linier untuk memprediksi hasil eksperimen yang dilakukan didalam metode Taguchi, agar diperoleh hasil eksperimen keseluruhan yang seharusnya dilakukan. Didalam penelitian ini menggunakan desain eksperimen taguchi dengan 7 faktor kendali dan 2 level dengan 4 replikasi yang seharusnya eksperimen dilakukan sebanyak 128 percobaan dengan 4 replikasi yang tetapi dengan menggunakan eksperimen Taguchi percobaan yang dilakukan hanya 8 kali dengan 4 replikasi. Hasil percobaan yang lain diperoleh dengan cara memprediksi menggunakan regresi linear.

Istilah “regresi” pertama kali diperkenalkan oleh Sir Francis Galton pada tahun 1886. Galton menemukan adanya tendensi bahwa orang tua yang memiliki tubuh tinggi, memiliki anak-anak yang tinggi pula dan orang tua yang pendek memiliki anak-anak yang pendek pula. Kendati demikian, ia mengamati ada kecenderungan bahwa tinggi anak bergerak menuju rata-rata tinggi populasi keseluruhan. Dengan kata lain ketinggian anak yang amat tinggi atau orang tua yang amat pendek cenderung bergerak kearah rata-rata tinggi populasi. Dalam bahasa Galton ia menyebutkan sebagai regresi menuju medikritas (Maddala, 1992).

Secara umum, analisis regresi pada dasarnya adalah studi mengenai ketergantungan variabel dependen (terikat) dengan satu atau lebih variabel independen (variabel penjelas/bebas), dengan tujuan untuk mengestimasi dan/atau memprediksi rata-rata populasi atau nilai rata-rata variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen yang diketahui (Gujarati, 2003). Hasil analisis regresi adalah berupa koefisien untuk masing-masing variabel independent, koefisien ini diperoleh dengan cara memprediksi nilai variabel dependen dengan suatu persamaan; koefisien regresi dihitung dengan dua tujuan sekaligus; pertama, meminimumkan penyimpangan antara nilai aktual dan nilai estimasi variabel dependen berdasarkan data yang ada (Tabachnick & Fidell, 1996).

2.1.20.1. Regresi Linier Sederhana (*simple analysis regresi*)

Regresi linear sederhana digunakan untuk mendapatkan hubungan matematis dalam bentuk suatu persamaan antara variabel tak bebas tunggal dengan variabel bebas tunggal. Regresi linier sederhana memiliki suatu peubah X yang dihubungkan dengan satu peubah tidak bebas Y . Bentuk umum dari persamaan regresi linear untuk populasi adalah:

$$Y = a + bx$$

Dimana :

Y = Variabel tak bebas

x = Variabel bebas

b = Parameter Intercep

Menentukan koefisien persamaan a dan b dapat menggunakan metode kuadrat terkecil, yaitu cara yang dipakai untuk menentukan koefisien persamaan a dan b dari jumlah pangkat dua (kuadrat) antara titik-titik dengan garis regresi yang terkecil (*least square method*), dapat ditentukan dengan cara:

Rumus 2.41. Menentukan koefisien a

$$a = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

Rumus 2.42. Menentukan koefisien b

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

2.1.20.2. Regresi Linier Berganda (*Multiple analysis regresi*)

Regresi linear berganda adalah analisis regresi yang menjelaskan hubungan antara peubah respon (*variabel dependent*) dengan faktor-faktor yang mempengaruhi lebih dari satu

prediktor (*variabel independent*). Regresi linear berganda hampir sama dengan regresi linear sederhana, hanya saja pada regresi linier berganda variabel bebasnya lebih dari satu variabel penduga. Tujuan analisis regresi linier berganda adalah untuk mengukur intensitas hubungan antara dua variabel atau lebih membuat prediksi perkiraan nilai Y atas X. Secara umum model regresi linier berganda untuk populasi adalah sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \cdots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

Dimana $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ adalah koefisien atau parameter model.

Model regresi linier berganda untuk populasi diatas dapat ditaksir berdasarkan sebuah sampel acak berukuran n dengan model regresi linier berganda untuk sampel, yaitu:

$$\hat{Y} = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + \cdots + a_n X_n$$

Dengan :

$\hat{Y}$ = Nilai taksiran bagi variabel Y

a_0 = Taksiran bagi parameter konstanta a_0

a_1, a_2, a_3 = Taksiran bagi parameter koefisien regresi a_1, a_2, a_3

Tabel 2.9. Bentuk Umum Data Observasi

Nomor observasi	Responden (Y_i)	Variabel Bebas			
		X_{1i}	X_{2i}	...	X_{ki}
1	Y_1	X_{11}	X_{21}	...	X_{k1}
2	Y_2	X_{12}	X_{22}	...	X_{k2}
.				...	.
.				...	.
.				...	.
N	Y_n	X_{1n}	X_{2n}	...	X_{kn}
Σ	ΣY_i	ΣX_{1i}	ΣX_{2i}	...	ΣX_{ki}

Dalam regresi linier berganda variabel tak bebas (Y) tergantung kepada dua atau lebih variabel bebas (X). Bentuk persamaan regresi linier berganda yang mencangkup dua atau lebih variabel dapat ditulis sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \cdots + \beta_n X_n + \varepsilon_i$$

Dengan :

I = 1, 2, ..., n

N = ukuran sampel

ε_i = variabel kesalahan (galat)

Untuk rumus diatas, dapat diselesaikan dengan empat persamaan oleh empat variabel yang terbentuk:

$$\sum Y_i = n\beta_0 + \sum \beta_1 X_{1i} + \sum \beta_2 X_{2i} + \sum \beta_3 X_{3i}$$

$$\sum X_{1i} Y_i = \beta_0 \sum X_{1i} + \beta_1 \sum (X_{1i})^2 + \beta_2 \sum X_{1i} X_{2i} + \beta_3 \sum X_{1i} X_{3i}$$

$$\sum X_{2i} Y_i = \beta_0 \sum X_{2i} + \beta_1 \sum X_{1i} X_{2i} + \beta_2 \sum (X_{2i})^2 + \beta_3 \sum X_{2i} X_{3i}$$

$$\sum X_{3i} Y_i = \beta_0 \sum X_{3i} + \beta_1 \sum X_{1i} X_{3i} + \beta_2 \sum X_{2i} X_{3i} + \beta_3 \sum (X_{3i})^2$$

Dengan $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ adalah koefisien yang ditentukan berdasarkan hasil pengamatan.

2.1.21. Uji Beda

Didalam penelitian ini uji beda digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan antara kondisi awal kualitas produk dan kondisi optimum kualitas produk dalam perancangan dengan metode Taguchi. Salah satu metode pengujian hipotesis adalah *t-Test*, dimana metode ini dapat digunakan untuk menguji kebenaran dari suatu hipotesis.

Uji hipotesis *t-Test* dibagi menjadi tiga, yaitu uji hipotesis rata-rata satu populasi (*one sample t-Test*), uji hipotesis rata-rata dua populasi (*independent sample t-Test*) dan uji hipotesis data berpasangan (*paired sample t-Test*).

1. *One Sampel t-Test*

Pengujian rata-rata satu sampel dimaksudkan untuk menguji nilai tengah atau rata-rata populasi μ sama dengan nilai tertentu μ_0 , lawan hipotesis alternatifnya bahwa nilai tengah atau rata-rata populasi μ tidak sama dengan μ_0 . Pengujian satu sampel pada prinsipnya ingin menguji apakah suatu nilai tertentu (yang diberikan sebagai pembanding) berbeda secara nyata ataukah tidak dengan rata-rata sebuah sampel. Nilai tertentu di sini pada umumnya adalah sebuah nilai parameter untuk mengukur suatu populasi.

Hipotesis dari kasus ini ditulis:

$H_0 : \mu = \mu_0$ H_0 merupakan hipotesa awal

$H_1 : \mu \neq \mu_0$ H_1 merupakan hipotesis alternatif atau hipotesis kerja

a. Rumus untuk *One Sample t-Test*

Rumus 2.43. *One Sample t-Test*

$$t_{hit} = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}}$$

Dimana:

t = nilai t hitung

$\bar{x}$ = rata-rata sampel

μ_0 = nilai parameter

s = standar deviasi sampel

n = jumlah sampel

b. Interpretasi untuk *One Sample t-Test*

Untuk menginterpretasikan *t-test* terlebih dahulu harus ditentukan:

Nilai signifikansi α , D_f (degree of freedom) = $N - k$, khusus untuk *one sample t-Test* $d_f = N - 1$ kemudian bandingkan nilai t_{hitung} dengan t_{tabel} , dimana $t_{tabel} = t_{\frac{\alpha}{2}, N-1}$, apabila:

$t_{hitung} > t_{tabel} \rightarrow$ Berbeda secara signifikansi (H_0 ditolak)

$t_{hitung} < t_{tabel} \rightarrow$ Tidak berbeda secara signifikansi (H_0 diterima)

2. Paired Sample t-Test

Uji – t berpasangan (*paired t-test*) adalah salah satu metode pengujian hipotesis dimana data yang digunakan tidak bebas (berpasangan). Ciri-ciri yang paling sering ditemui pada kasus yang berpasangan adalah satu individu (objek penelitian) dikenai 2 buah perlakuan yang berbeda. Meskipun menggunakan individu yang sama peneliti tetap memperoleh 2 macam data sampel, yaitu data dari perlakuan pertama dan data dari perlakuan kedua. Hipotesis dari kasus ini ditulis:

$$H_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0 \text{ atau } \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a = \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \text{ atau } \mu_1 \neq \mu_2$$

H_a berarti bahwa selisih sebenarnya dari kedua rata-rata tidak sama dengan nol.

a. Rumus untuk Paired Sample t-Test

Rumus 2.43. Paired Sample t-Test

$$t_{hit} = \frac{\bar{D}}{\frac{SD}{\sqrt{n}}}$$

$$SD = \sqrt{var}$$

$$var(S^2) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2$$

Dimana:

t = nilai t hitung

$\bar{D}$ = rata-rata selisih pengukuran 1 dan 2

SD = standar deviasi pengukuran 1 dan 2

n = jumlah sampel.

b. Interpretasi untuk *Paired Sample t-Test*

Untuk menginterpretasikan uji *t-Test* terlebih dahulu harus ditentukan nilai signifikansi α , df (*degree of freedom*) = $N - k$, khusus untuk *paired sample t-Test* $df = n - 1$ kemudian bandingkan nilai t_{hitung} dengan $t_{tabel} = \alpha; n - 1$, apabila:

$t_{hitung} > t_{tabel} \rightarrow$ berbeda secara signifikansi (H_0 ditolak)

$t_{hitung} < t_{tabel} \rightarrow$ Tidak berbeda secara signifikansi (H_0 diterima)

3. *Independent Sample t-Test*

Uji ini untuk mengetahui perbedaan rata-rata dua populasi/kelompok data yang independen. Uji T independen ini memiliki asumsi/syarat yang mesti dipenuhi yaitu, datanya berdistribusi normal, kedua kelompok data independen (bebas), variabel yang dihubungkan berbentuk numerik dan kategorik (dengan hanya 2 kelompok)

a. Rumus untuk *Independent Sample t-Test*

Rumus 2.44. *Independent Sample t-Test*

$$t_{hit} = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\frac{SS_1 + SS_2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$M_1 = \frac{\sum X_1}{n_1}, M_2 = \frac{\sum X_2}{n_2}$$

$$SS_1 = \sum X_1^2 - \frac{(\sum X_1)^2}{n_1}$$

$$SS_2 = \sum X_2^2 - \frac{(\sum X_2)^2}{n_2}$$

Dimana:

M_1 = rata-rata skor kelompok 1

M_2 = rata-rata skor kelompok 2

SS_1 = *sum of square* kelompok 1

b. Interpretasi untuk *Independent Sample t-Test*

Untuk menginterpretasikan *t-test* terlebih dahulu harus ditentukan, nilai signifikansi α , *Interval Confidence* = $1 - \alpha$, Df (*degree of freedom*) = $N - k$, khusus untuk *independent sample t-test* $df = N - 2$ atau Df (*Degree of freedom*) = $(n_1 + n_2) - 2$

Bandungkan nilai t_{hit} dengan t_{tab} , Apabila:

$t_{hitung} > t_{tabel} \rightarrow$ berbeda secara signifikansi (H_0 ditolak)

$t_{hitung} < t_{tabel} \rightarrow$ Tidak berbeda secara signifikansi (H_0 diterima)

2.2. Posisi Penelitian Saat ini

Penelitian yang dilakukan saat ini yaitu menentukan kombinasi level faktor optimal untuk kualitas produk batako dengan obyek penelitian Pasir Luhur dengan 7 faktor kendali dan 2 level dengan menambahkan limbah abu tempurung kelapa untuk meningkatkan kualitas batako sesuai dengan produk batako yang memiliki karakteristik kualitas yang diinginkan berdasarkan observasi sebelumnya. Dalam penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya yang sudah ada sebab objek penelitian yang berbeda serta lokasi yang berbeda sehingga jenis agregat yang digunakan dan semen yang digunakan berbeda, hal tersebut mengakibatkan kualitas produk yang dihasilkan setiap perusahaan berbeda-beda.

Selain objek yang berbeda faktor kendali yang digunakan dalam penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan 3 sampai 5 faktor kendali. Dalam penelitian ini digunakan 7 faktor kendali, yang menggabungkan penelitian sebelumnya yaitu penambahan abu tempurung kelapa dalam kadar tertentu dapat meningkatkan kualitas batako dan 6 faktor lainnya yaitu menggunakan level faktor yang paling berpengaruh terhadap kualitas batako. Penelitian ini dengan menggunakan 7 faktor kendali diharapkan mampu menghasilkan produk dengan pengendalian kualitas yang lebih akurat dari penelitian sebelumnya yang sudah ada.

Hal lain yang menjadi perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu penentuan level faktor yang digunakan merupakan nilai yang paling mendekati optimal yang diperoleh dari penelitian-penelitian yang sudah ada. Sehingga dapat diasumsikan bahwa penelitian ini dilakukan untuk meneruskan dan menggabungkan antara penelitian batako dengan Metode Taguchi pada penelitian sebelumnya. Pada sub bab sebelumnya akan diuraikan terkait dengan kajian induktif dari penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya.

2.3. Kajian Induktif

Kajian induktif merupakan suatu kajian yang menggunakan data untuk menemukan konsep dan prinsip (Samosir 1997:80). Kajian induktif merupakan kajian yang bermula dengan menyajikan sejumlah keadaan khusus kemudian dapat disimpulkan menjadi suatu fakta, prinsip, atau aturan. Kajian induktif diawali dengan memberikan contoh-contoh khusus kemudian sampai generalisasinya (Purwanto, 2002).

Ketika melakukan suatu penelitian maka tidak lepas dari tinjauan kajian pustaka dari penelitian-penelitian terdahulu yang sudah pernah dilakukan. Penelitian terdahulu dapat dijadikan acuan apakah metode dan permasalahan yang diteliti cukup kuat dan metode yang digunakan tepat atau tidak. Didalam penelitian ini telah dilakukan kajian terhadap penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Berikut merupakan uraian penelitian yang telah dikaji yang terdiri dari penelitian tahun 2012 sampai dengan tahun 2018.

Penelitian yang dilakukan oleh Akhmad Sutoni (2018) tentang Kuat Tekan dan Kadar Air dengan Menggunakan Metode Taguchi bertujuan untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi kuat tekan dan kadar air pada batako, mencari level faktor yang terbaik dalam pembuatan batako dan mengetahui optimasi peningkatan, dan penurunan *loss function*. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diambil beberapa hasil yaitu faktor-faktor setting level yang memberikan pengaruh paling dominan pada kuat tekan dan kadar air adalah faktor E (Komposisi pasir dan Kapur). Setting level optimal kualitas kuat tekan batako dengan lama pengadukan 10 menit, tekanan 120 kg dengan komposisi pasir dan kapur sebesar 1:0,5. *Quality loss function* kuat tekan dan kadar air setelah setting level optimal mengalami peningkatan kualitas sebesar 51,91% dan mengalami penurunan *loss function* sebesar 78,5%.

Penelitian yang dilakukan oleh Muharom dan Siswadi (2015) tentang Desain Eksperimen Taguchi Untuk Meningkatkan Kualitas Batu Bata Berbahan Baku Tanah Liat bertujuan untuk menentukan setting level terbaik dari faktor-faktor yang terkait antara lain komposisi pasir, jenis campuran, proses pencampuran, lama pemeraman, waktu penjemuran jumlah air dan operator pekerja dengan 2 level faktor agar nantinya kualitas batu bata dapat

ditingkatkan. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh komposisi (jumlah bahan campuran) yang optimal dengan menambahkan 5% pasir dan jumlah air ditambah agar campuran lebih lunak yang mempengaruhi uji tekan masing-masing sebesar 65% dan 39%.

Penelitian yang dilakukan oleh Suwarno, Naomi Nessyana Debataraja dan Setyo Wira Rizki (2017) tentang Optimasi Kualitas *Hallow Block* dengan Metode Taguchi yang bertujuan untuk mendapatkan komposisi bahan baku yang optimum agar memperoleh peningkatan kualitas berdasarkan standar SNI 03-0349-1989 mutu terendah yaitu D dengan kuat tekan 17 kg/cm^2 dengan menggunakan faktor terkendali berat pasir, berat semen, lama pengguncangan, lama pengadukan, volume air dengan menggunakan 2 level faktor. Dari penelitian tersebut diperoleh komposisi bahan yang optimal yaitu berat pasir sebesar 960 kg, berat semen sebesar 60 kg, lama pengguncangan selama 7 detik, volume air sebesar 40 liter. Diperoleh besar rata-rata kuat tekan sebesar $20,21 \text{ kg/cm}^2$

Penelitian yang dilakukan oleh Annisa Ayu Wulandari, Triastuti Wuryandari, dan Dwi Ispriyanti (2016) tentang Penerapan Metode Taguchi untuk Kasus Multirespon Menggunakan Pendekatan *Grey Relation Analysis* dan *Principal Component Analysis* yang bertujuan Untuk mengubah multi respon dan pembobotan dengan menggunakan pendekatan *Principal Component Analysis*. Menggunakan 4 faktor kendali dengan 3 level diperoleh hasil dengan penerapan metode Taguchi untuk kasus multirespon menggunakan pendekatan *Grey Relational Analysis* dan *Principal Component Analysis* diperoleh kombinasi optimal yaitu faktor sudut orientasi serat pada 15° , faktor sudut helix pada 25° , dan faktor *feed rate* pada 0,04 mm/rev. Persentase kontribusi untuk masing-masing faktor terhadap respon yaitu faktor sudut orientasi serat sebesar 69,596%, faktor sudut helix sebesar 9,768%, dan faktor *feed rate* sebesar 11,9841%.

Penelitian yang dilakukan oleh Mukhlis Iwan Mustaqim, Juli Marliansyah, Alfi Rahmi (2016) tentang Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Paving Block untuk kuat tekan paving block dengan penambahan abu tempurung kelapa dan mengetahui variasi campuran abu tempurung kelapa untuk meningkatkan kuat tekan paving block. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil pada penambahan persentase abu tempurung kelapa 5% nilai kuat tekannya meningkat dengan nilai kuat tekan rata-rata 113 kg/cm , penambahan 10%

abu tempurung kelapa nilai kuat tekan rata-ratanya 108kg/cm, penambahan 15% abu tempurung kelapa kuat tekannya menurun dengan nilai rata-rata 86kg/cm, Penambahan 20% abu tempurung kelapa nilai kuat tekan rata-rata 81kg/cm.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Chandra Prasetya, Arif Rahman dan remba Yanuar Efranto (2013) tentang Analisa Desain Eksperimen Pembuatan Batako Berbahan Alternatif Lumpur Lapindo dan Fly Ash Dengan Metode Taguchi bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh bahan alternatif limbah fly ash dan lumpur lapindo terhadap kuat tekan batako. Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimen yang mengikuti langkah-langkah lengkap mulai dari sebelum eksperimen dilakukan hingga menganalisa hasil eksperimen, sehingga data yang diperoleh dapat menunjang analisis yang obyektif. Dari penelitian ini digunakan faktor kendali sebanyak 4 dengan 3 level faktor dan diperoleh hasil faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas kuat tekan (Mpa) pada batako yaitu rasio semen dan agregat, rasio faktor air semen, rasio komposisi fly ash, serta rasio pasir dan lumpur Lapindo. Faktor-faktor yang bersignifikansi lebih dari eksperimen ini yaitu rasio faktor air semen untuk nilai rata-rata dan nilai SNR dengan level faktor terpilih B2 (40%:60%), serta rasio semen dan agregat untuk nilai rata-rata lebih signifikan daripada nilai SNR dengan level faktor terpilih A1 (1:4). Sedangkan untuk faktor yang kurang signifikan yaitu rasio faktor komposisi fly ash dengan level faktor terpilih C3 (50%) serta rasio pasir dan lumpur Lapindo dengan level faktor terpilih D1 (40%:60%).

Penelitian yang dilakukan oleh Rudy Wawolumaja dan Ridani Faurika (2012) tentang Penerapan Taguchi Parameter Design dalam Penentuan Level Faktor Produksi Batako untuk Memaksimumkan Kekuatan Tekan (Studi Kasus di Balai Besar Keramik) bertujuan untuk mengetahui kombinasi level untuk masing-masing faktor sehingga menghasilkan bata tras kapur (batako) yang memiliki kuat tekan maksimum dan mengetahui persentase perbaikan kualitas bata tras kapur (batako) sesudah menggunakan metode Taguchi. Dalam penelitian ini menggunakan 6 faktor kontrol dengan 3 setting level dan diperoleh hasil faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekuatan tekan bata tras kapur (batako) adalah faktor A (tekanan pembentukan) level 2 (4 ton), faktor B (komposisi kapur : tras) level 1 (1:3), faktor C (kehalusan tras) level 1 (0,3 mm), faktor D (lama proses pengadukan)

level 2 (10 menit), faktor E (kadar air) level 2 (15%), dan faktor F (lama proses curing) level 3 (28 hari).

Penelitian yang dilakukan oleh Shinta Yuliana (2016) dalam skripsinya yang berjudul Penerapan Metode Taguchi Untuk Analisis Kekuatan Tekan Batako bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kuat tekan batako dan untuk mengetahui kombinasi level untuk masing-masing faktor sehingga menghasilkan batako yang memiliki kuat tekan maksimum. Dalam penelitian ini digunakan 4 faktor kendali dengan 3 level faktor diperoleh hasil bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas kuat tekan (Mpa) pada batako yaitu dengan level optimal yang terpilih yaitu A1 (agregat = 10 kg), B3 (semen = 0,8 kg), C3 (air = 1 liter) dan D1 (lama penegringan = 3 hari). Untuk kuat tekan batako optimal yang didapatkan dari penelitian ini yaitu sebesar 0,7259 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode Taguchi, diperoleh kualitas batako yang lebih baik daripada kualitas batako buatan pabrik.

Tabel 2.10. Penelitian Terdahulu

Peneliti	Tujuan Penelitian	Metode	Variabel/ faktor terkontrol produk	Parameter Performasi
Akhmad Sutoni (2018)	Mengetahui faktor yang mempengaruhi kuat tekan dan daya serap pada batako, menacari level faktor yang terbaik dalam pembuatan batako dan mengetahui optimasi peningkatan.	Menggunakan tahapan Taguchi berdasarkan data primer dan data sekunder yang telah diperoleh	Lama pengadukan, tekanan, air, lama pengeringan komposisi (pasir: kapur)	Kuat tekan dan daya serap
Muharom dan Siswandi (2015)	Untuk mengevaluasi secara statistik dan dilakukan perbaikan pada proses pembuatannya, menggunakan setting level terbaik dari faktor-faktor terkait agar kualitas batu bata dapat ditingkatkan	Metode Taguchi dengan menggunakan matrik yang disebut <i>orthogonal array</i> untuk menentukan jumlah eksperimen minimal.	Komposisi pasir, jenis campuran, proses pencampuran, lama pemeraman, waktu penjemuran, jumlah air, operator pekerja	Uji tekan
Suwarno, Naomi Nessyana Debataraja, dan Setyo (2017)	Untuk memperbaiki kualitas <i>hallow block</i> (bata beton) yang diproduksi oleh industri XY agar diperoleh komposisi baku yang optimum.	Studi lapangan, studi literatur, metode Taguchi dengan 4 replikasi	Berat pasir, berat semen, lama pengguncangan, lama pengadukan dan volume air	Kuat tekan
Annisa Ayu Wulandari, Triastuti Wuryandari, dan Dwi Isprianti (2016)	Untuk mengubah multi respon dan pembobotan dengan menggunakan pendekatan <i>Principal Component Analysis</i>	Menggunakan data sekunder dari penelitian Jenarthan dan Jeyapaul (2013) diolah dengan metode Taguchi dengan pendekatan <i>Grey Relation Analysis</i> dan <i>Principal Component Analysis</i>	Kekasaran permukaan, tekanan mesin, faktor Delaminasi	

Peneliti	Tujuan Penelitian	Metode	Variabel/ faktor terkontrol produk	Parameter Performasi
Mukhlis Iwan Mustaqim, Juli Marliansyah, Alfi Rahmi (2016)	Untuk campuran dan kuat tekan paving block dengan penambahan abu tempurung kelapa	Penelitian eksperimen untuk mengetahui sebab akibat terhadap pemeberian abu tempurung kelapa sebagai bahan tambah dalam pembuatan paving block dilihat dari kuat tekannya.	Penambahan abu tempurung kelapa 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%	Kuat tekan
Chandra Prasetya, Arif Rahman dan remba Yanuar Efranto (2013)	Untuk mengevaluasi pengaruh bahan alternatif limbah fly ash dan lumpur lapindo terhadap kuat tekan batako	Penelitian eksperimen yang mengikuti langkah-langkah lengkap dari sebelum eksperimen dilakukan hingga menganalisis hasil eksperimen	Rasio semen dan agregat, rasio faktor air semen, rasio komposisi fly ash dan rasio pasir dan lumpur lapindo	Kuat tekan
Shinta Yuliana (2016)	Untuk mengetahui kombinasi level untuk masing-masing faktor sehingga menghasilkan batako yang memiliki kuat tekan maksimum.			
Rudy Wawolumaja dan Ridani Faurika (2012)	Untuk mengetahui kombinasi level untuk masing-masing faktor sehingga menghasilkan kuat tekan maksimum dan persentase perbaikan kualitas	<i>Fishbone</i> diagram dan Metode Taguchi	Tekanan pembentukan, komposisi bahan (kapur:trans), kehalusan trans, lama pengadukan, kadar air, proses curing	Kuat Tekan

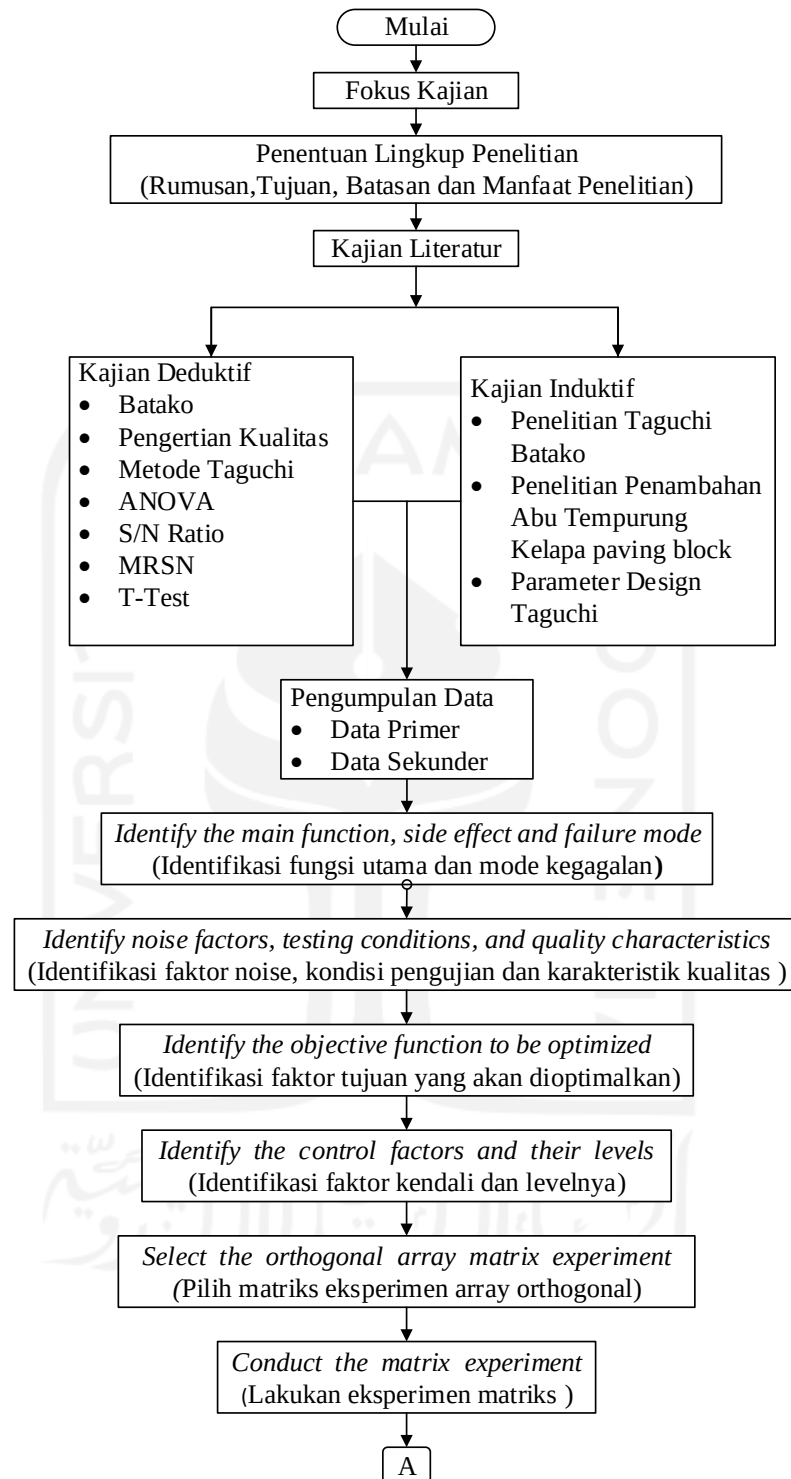
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

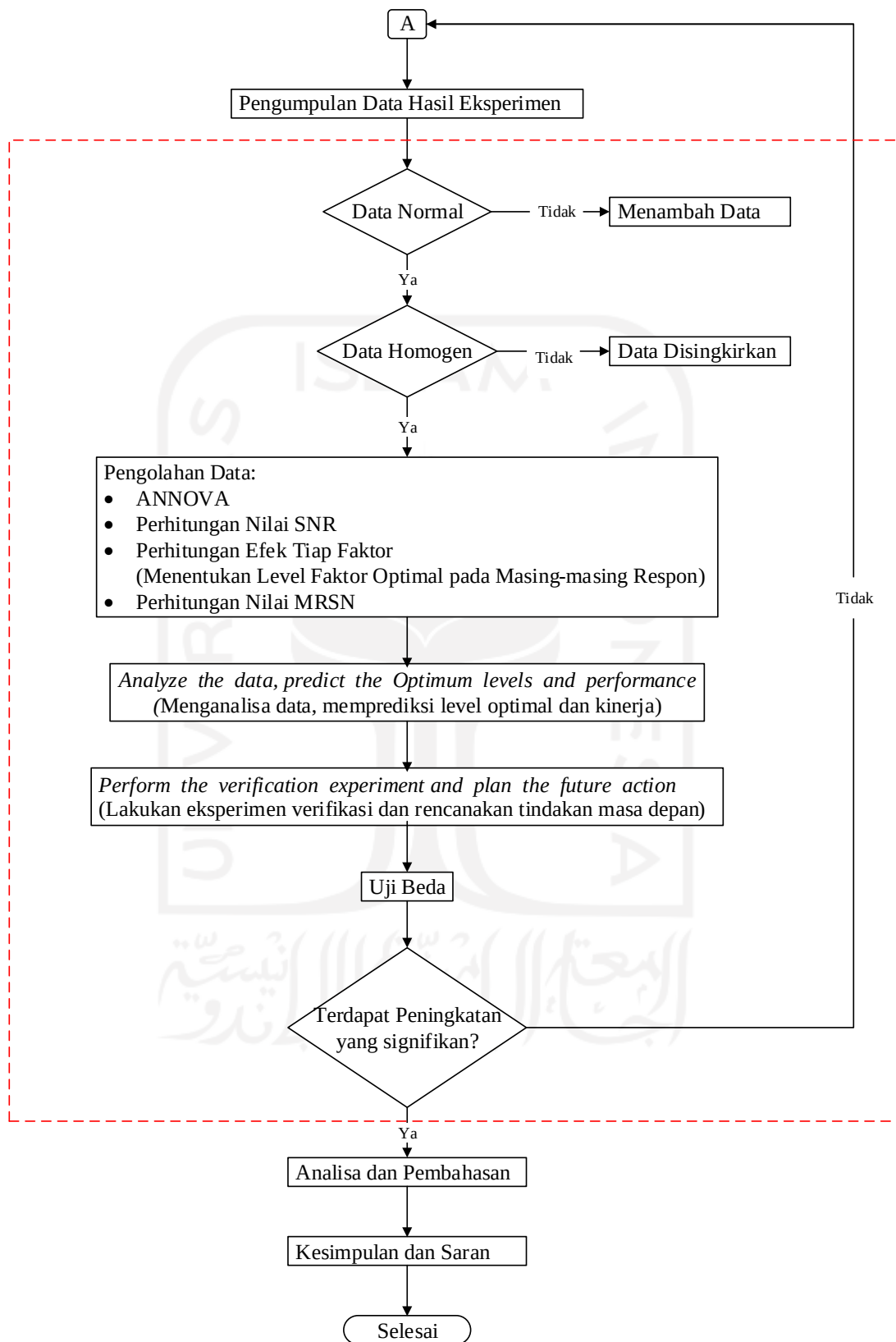
Metodologi penelitian adalah cara ilmiah untuk memperoleh data dengan tujuan dan kegunaan tertentu. Metodologi juga merupakan analisis teoritis mengenai suatu cara atau metode (Sugiyono, 2015). Penelitian merupakan suatu penyelidikan yang sistematis untuk meningkatkan sejumlah pengetahuan, juga merupakan suatu usaha yang sistematis dan terorganisasi untuk menyelidiki masalah tertentu yang memerlukan jawaban. Dalam metodologi penelitian ini akan dijelaskan mengenai diagram alir penelitian, fokus kajian, objek penelitian, jenis dan sumber data, teknik pengumpulan data serta pengolahan data.

3.1. Diagram Penelitian

Diagram Alir penelitian merupakan penggambaran secara grafik dari langkah-langkah dan urutan prosedur penelitian yang akan dilakukan, langkah-langkah penelitian yang terstruktur berfungsi untuk mempermudah penelitian serta penyusunan laporan. Diagram alir penelitian menggunakan pendekatan *Discrete Event Simulation* terdiri dari *Problem Formulation*, *Setting of objectives and overall project plan*, *data collection*, *Model conceptualization*, *Model translation*, *Verification*, *Validation*, *Experimental design*, *Production runs and analysis*, *documentation and reporting*, dan diakhiri dengan *Implementation*. Secara garis besar langkah-langkah penelitian yang akan dilaksanakan seperti diagram alir dibawah ini:



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Pengolahan Data eksperimen

3.2. Pengumpulan Data

Setelah melakukan kajian literatur, selanjutnya melakukan diskusi untuk memilih topik dan fokus kajian yang diamati serta mampu dilakukan sehingga topik terfokus dan tertuju pada suatu persolalan yang baru (Saleh & Purnomo, 2013). Fokus kajian penelitian ini adalah untuk mendapatkan kombinasi faktor optimal produk batako dalam upaya peningkatan kualitas batako dapat tercapai, yang diukur dari respon kuat tekan dan kadar air batako yang merupakan respon penting atau merupakan karakteristik yang sangat kritis /*Critical to Quality* (CTQ) dalam kualitas batako.

Objek penelitian adalah sasaran ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu tentang hal obyektif dan reliabel tentang suatu hal/variabel tertentu (Sugiyono, 2015). Objek penelitian ditentukan berdasarkan fokus kajian yang akan diangkat dalam melakukan penelitian. Didalam penelitian ini mengambil objek pada proses produksi batako di yang merupakan salah satu industri yang memproduksi batako di kabupaten Boyolali.

3.2.1. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan suatu proses pengadaan data untuk keperluan penelitian. Pengumpulan data merupakan langkah yang amat penting dalam metode ilmiah. Pada umumnya, data yang dikumpulkan akan digunakan untuk menguji hipotesis yang telah dirumuskan (Daniel, 2002). Pengumpulan data merupakan kegiatan yang penting bagi kegiatan penelitian, karena pengumpulan data tersebut akan menentukan hasil penelitian. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Wawancara (Interview)

Wawancara adalah teknik pengumpulan data dengan mengajukan pertanyaan langsung oleh pewawancara kepada responden, dan jawaban-jawaban responden dicatat atau direkam (Hasan, 2002). Pengumpulan data dengan metode wawancara dalam penelitian ini dilakukan dengan cara tanya jawab secara langsung kepada pembimbing lapangan

maupun pekerja di lapangan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan terkait dengan permasalahan yang diteliti. Informasi yang diperoleh dari hasil wawancara antara lain teknik dan kombinasi bahan yang dilakukan perusahaan dalam memproduksi batako, keinginan konsumen akan suatu produk batako yang dihasilkan, cacat produk yang dihasilkan saat proses produksi dan proses pengiriman.

2. Pengamatan dan percobaan (observasi dan eksperimen)

Observasi adalah teknik pengumpulan data dengan melakukan pengamatan langsung pada objek kajian. Definisi observasi adalah pemilihan, pengubahan, pencatatan, dan pengodean serangkaian perilaku dan suasana yang berkenaan dengan organisasi, sesuai tujuan-tujuan empiris. Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam observasi penelitian ini yaitu melakukan pengamatan secara langsung untuk dapat mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas produk batako. Serta melakukan percobaan berdasarkan kombinasi level faktor dalam *array orthogonal* yang telah dipilih.

3. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk memperkaya pengetahuan mengenai berbagai konsep yang akan digunakan sebagai dasar atau pedoman dalam proses penelitian. Peneliti juga menggunakan studi pustaka dalam teknik pengumpulan data. Studi pustaka dalam teknik pengumpulan data ini merupakan jenis data sekunder yang digunakan untuk membantu proses penelitian, yaitu dengan mengumpulkan informasi yang terdapat dalam artikel surat kabar, buku-buku, maupun karya ilmiah pada penelitian sebelumnya mengenai kualitas batako, teknik pembuatan batako dan metode Taguchi. Tujuan dari studi pustaka ini adalah untuk mencari fakta dan mengetahui konsep metode yang digunakan.

4. Dokumentasi

Dokumentasi yaitu teknik non-interaksi yang dilakukan oleh peneliti agar data yang diperoleh semakin kuat. Dalam penelitian ini dilakukan dokumentasi pada saat melakukan observasi dan eksperimen, serta dokumentasi saat pengujian tekan dan pengujian tarik batako.

3.2.2. Jenis dan Sumber Data

Sumber data merupakan faktor yang sangat penting untuk penelitian, karena sumber data akan digunakan dalam mengolah data penelitian dan menentukan hasil serta analisis bagi penelitian yang dilakukan. Sumber data terdiri dari data primer dan data sekunder (Purhantara, 2010).

1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung oleh peneliti, dalam hal ini peneliti memperoleh data atau informasi langsung dengan menggunakan instrumen-instrumen yang telah ditetapkan. Data primer dikumpulkan oleh peneliti untuk menjawab rumusan masalah dalam penelitian. Pengumpulan data primer merupakan bagian internal dari proses penelitian yang seringkali diperlukan untuk tujuan pengambilan keputusan (Purhantara, 2010).

Data primer dalam penelitian antara lain: catatan hasil wawancara, hasil observasi lapangan, data-data eksperimen yang diperlukan dalam penelitian. Dalam penelitian ini data primer yang digunakan yaitu wawancara profil perusahaan, proses produksi batako dan data hasil observasi eksperimen hasil semua percobaan yang telah dilakukan, meliputi data hasil pengujian kuat tekan dan kadar air batako.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan oleh orang yang melakukan penelitian dari sumber-sumber yang telah ada (Hasan, 2002). Data ini digunakan untuk mendukung informasi primer yang telah diperoleh dari bahan pustaka, literatur, penelitian terdahulu, buku dan lain sebagainya.

3.3. Perancangan Eksperimen Metode Taguchi

Didalam sub bab ini akan diuraikan mengenai perancangan dan pelaksanaan eksperimen dengan metode Taguchi. Perancangan eksperimen akan diuraikan kedalam 8 langkah yang akan dijelaskan dibawah, untuk pelaksanaan eksperimen akan dilakukan pengujian sesuai dengan karakteristik kualitas yang akan dipilih.

3.4.1. Identifikasi faktor tujuan yang akan dioptimalkan (*Identify the objective function to be optimized*)

Setelah karakteristik kualitas, faktor noise ditentukan dan metode pengukurannya jelas maka dilakukan identifikasi terhadap faktor tujuan atau yang disebut dengan variabel respon. Secara umum setiap karakteristik kualitas memiliki suatu target. Respon atau karakteristik kualitas biasanya dapat diukur dan dapat ditetapkan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Respon diartikan sebagai parameter performansi keberhasilan eksperimen yang dilakukan. Dalam penelitian ini respon yang digunakan adalah kuat tekan dan kadar air batako.

3.4.2. Identifikasi faktor kendali dan levelnya (*Identify the control factors and their levels*)

Faktor terkontrol (*control factors*) adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Setelah ditentukan variabel respon berupa kuat tekan dan kadar air maka langkah selanjutnya yaitu menentukan faktor kendali dan level faktor yang dapat mempengaruhi kuat tekan dan kadar air batako. Didalam penelitian ini digunakan 7 faktor kendali dengan 2 level.

3.4.3. Pilih matriks eksperimen *array orthogonal* (*Select the orthogonal array matrix experiment*)

Pemilihan *orthogonal array* yang sesuai tergantung dari nilai faktor dan interaksi yang diharapkan serta nilai level dari tiap faktor. Dalam memilih jenis *orthogonal array* harus diperhatikan jumlah level faktor yang diamati. Karena dalam penelitian ini menggunakan 7 faktor kendali dengan 2 level maka matriks eksperimen *array orthogonal* yang dipilih yaitu $L_8(2^7)$

3.4.4. Lakukan eksperimen matriks (*Conduct the matrix experiment*)

Persiapan eksperimen dengan matriks yang dipilih pada langkah sebelumnya meliputi penentuan jumlah replikasi percobaan dan randomisasi pelaksanaan percobaan.

a. Jumlah Replikasi

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Replikasi bertujuan untuk mengurangi tingkat kesalahan percobaan, menambah ketelitian data percobaan, mendapatkan harga estimasi kesalahan percobaan sehingga memungkinkan diadakan test signifikasi hasil eksperimen.

b. Randomisasi

Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit percobaan, memberikan kesempatan yang sama pada semua unit percobaan untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh pada setiap perlakuan yang sama, mendapatkan hasil pengamatan yang bebas (*independent*) satu sama lain.

Pelaksanaan percobaan Taguchi adalah pengerjaan berdasarkan setting faktor pada *orthogonal array* dengan jumlah percobaan sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti randomisasi. Pada tahap ini dilakukan eksperimen dan pengumpulan data dengan 7 faktor kendali dan faktor *noise* menggunakan 2 level dan 4 replikasi pada proses produksi batako. Kemudian dilakukan uji kuat tekan dan kadar air batako yang digunakan dalam tahap pengolahan dan analisis data.

3.4.5. Menganalisa data, memprediksi level optimal dan kinerja (*Analyze the data, predict the Optimum levels and performance*)

Analisis data yang dilakukan yaitu melalui hasil pengolahan data yang diperoleh dari hasil eksperimen sebelumnya. Data hasil eksperimen dilakukan pengolahan data terlebih dahulu, pengolahan data yang dilakukan antara lain uji normalitas, uji homogenitas, ANOVA,

Perhitungan nilai SNR dan efek tiap faktor. Untuk level optimal dapat diperoleh dari hasil perhitungan MRSN yang dilakukan.

3.4.6. Lakukan eksperimen verifikasi dan rencanakan tindakan masa depan (*Perform the verification experiment and plan the future action*).

Setelah diperoleh kombinasi level optimal maka langkah selanjutnya yaitu melakukan eksperimen konfirmasi. Tujuan eksperimen konfirmasi adalah untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisa. Hal ini perlu dilakukan bila digunakan percobaan dengan resolusi rendah dan berbentuk faktorial fraksional. Ketika eksperimen yang digunakan berbentuk faktorial-fraksional dan beberapa faktor memiliki kontribusi terhadap variasi, terdapat kemungkinan bahwa kombinasi terbaik dari faktor dan level tidak nampak pada kombinasi pengujian *orthogonal array*. Eksperimen konfirmasi juga bertujuan melakukan pengujian kombinasi faktor dan level ini. Pada penelitian ini tidak dilakukan eksperimen konfirmasi atas kondisi optimal.

3.4. Pengolahan Data Eksperimen

Didalam melakukan pengolahan data untuk hasil eksperimen dilakukan beberapa pengolahan data dengan uji statistik. Uji statistik yang dilakukan yaitu meliputi uji normalitas, uji homogenitas dan uji ANOVA, uji beda (*t-Test*) selain uji statistik juga dilakukan perhitungan SNR untuk menentukan kombinasi level optimal dan MRSN untuk kombinasi level faktor multi respon. Berikut akan dijelaskan masing-masing tahapan pengolahan data hasil eksperimen.

3.4.1. Uji Normalitas

Uji normalitas bertujuan untuk mengetahui apakah distribusi sebuah data mengikuti atau mendekati distribusi normal atau tidak dan dapat digunakan untuk statistik parametrik. Jika analisis menggunakan metode parametrik, maka persyaratan normalitas harus terpenuhi yaitu data berasal dari distribusi yang normal.

Jika telah diperoleh hasil eksperimen dengan replikasi yang telah ditentukan sesuai masing-masing respon maka dilakukan uji normalitas, data yang di uji menggunakan uji normalitas didalam penelitian ini yaitu data dari kuat tekan dan kuat tarik batako yang diperoleh dari 7 faktor kendali dan faktor *noise* dengan 2 faktor yang telah ditentukan pada tahapan penelitian sebelumnya. Uji normalitas bertujuan memastikan bahwa data yang diperoleh berdistribusi normal untuk kemudian dilakukan uji homogenitas.

3.4.2. Uji Homogenitas

Uji homogenitas adalah suatu prosedur uji statistik yang dimaksudkan untuk memperlihatkan bahwa dua atau lebih kelompok data sampel berasal dari populasi yang memiliki variansi yang sama. Dengan kata lain, homogenitas berarti bahwa himpunan data yang kita teliti memiliki karakteristik yang sama.

Pengujian homogenitas juga dimaksudkan untuk memberikan keyakinan bahwa sekumpulan data yang diperoleh dalam serangkaian analisis memang berasal dari populasi yang tidak jauh berbeda keragamannya. data yang di uji menggunakan uji homogenitas didalam penelitian ini yaitu data dari kuat tekan dan kuat tarik batako yang diperoleh dari 7 faktor kendali dan faktor *noise* dengan 2 faktor yang telah ditentukan pada tahapan penelitian sebelumnya. Uji homogenitas bertujuan memastikan bahwa data yang diperoleh homogen untuk kemudian dilakukan uji ANOVA.

3.4.3. ANOVA (*Analysis of Variance*)

ANOVA merupakan uji statistik yang digunakan didalam penelitian ini untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan dan kadar air kualitas batako. ANOVA dilakukan setelah dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas dari data yang diperoleh pada hasil eksperimen.

ANOVA (*Analysis of Variance*) merupakan uji komparasi multivariabel dengan menguji apakah terdapat perbedaan rata-rata tiga kelompok atau lebih dengan membandingkan variansinya. ANOVA dapat digunakan untuk menganalisa sejumlah sampel dengan jumlah data yang sama pada tiap-tiap kelompok sampel, atau dengan jumlah data yang berbeda. ANOVA mensyaratkan data-data penelitian untuk dikelompokkan berdasarkan kriteria tertentu. Sampel yang berbeda dilihat dari variabilitas-nya. Ukuran-ukuran pada variabilitasnya ditunjukkan dengan nilai variansi dan *standard deviation* (simpangan baku). Ada beberapa asumsi yang digunakan dalam pengujian ANOVA, yaitu:

- 1) Data dari populasi-populasi (sampel) berjenis interval atau rasio.
- 2) Populasi atau sampel yang akan diuji lebih dari dua populasi.
- 3) Populasi atau sampel yang akan diuji berdistribusi normal.
- 4) Varian setiap populasi (sampel) harus sama (homogen)

3.4.4. Perhitungan Nilai SNR dan Efek Tiap Faktor

Setelah dilakukan uji normalitas dan Uji Homogenitas, dan dapat dipastikan bahwa data hasil eksperimen yang diperoleh berdistribusi normal maka dilakukan perhitungan nilai SNR dan efek tiap faktor. Nilai SNR dihitung sesuai dengan karakteristik yang ditentukan, apakah LTB, STB, maupun NTB. Dilakukan perhitungan efek tiap faktor kendali terhadap hasil SNR yang didapatkan. Efek tiap faktor menunjukkan seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan oleh masing – masing faktor untuk mengurangi *noise* dalam setiap respon yang ditentukan. Jika menggunakan multi respon, maka memiliki lebih dari satu variabel respon,

sehingga kombinasi optimal masing – masing variabel respon mungkin saja berbeda. Dibutuhkan analisa lebih lanjut menggunakan perhitungan MRSN

3.4.5. Perhitungan *Multi Respon Signal to Ratio* (MRSN)

Taguchi multi respon memiliki lebih dari satu variabel respon, sehingga kombinasi optimal masing – masing variabel respon mungkin saja berbeda. Dilakukan perhitungan MRSN untuk mendapatkan kombinasi yang optimal untuk meningkatkan kualitas masing – masing variabel respon.

1. Uji Prediksi

Uji prediksi dilakukan untuk mengetahui hubungan antar faktor, terutama untuk menelusuri pola hubungan yang modelnya belum diketahui menggunakan analisis regresi. Uji prediksi dilakukan karena pada eksperimen yang telah dilakukan hanya menggunakan sebagian eksperimen yang sudah dianggap mewakili keseluruhan eksperimen yang seharusnya dilakukan. Jumlah prediksi yang dilakukan sesuai dengan jumlah keseluruhan eksperimen yang seharusnya berdasarkan faktor – faktor dan level yang mempengaruhi.

Analisis regresi adalah analisis statistik yang mempelajari hubungan antara dua atau lebih variabel kuantitatif sehingga satu variabel dapat diramalkan (*predicted*) dari variabel lainnya. Hubungan antara dua variabel dapat dibedakan menjadi dua, yaitu hubungan fungsional dan hubungan statistik. Hubungan fungsional antara dua variabel dapat dinyatakan secara matematis; jika X variabel bebas (*indenpendent variable*) dan Y variabel tak bebas (*dependent variable*).

2. Menghitung Nilai MRSN

Dari nilai MRSN masing – masing prediksi hasil eksperimen dari nilai terbesarnya dan didapatkan kondisi optimal untuk multi respon. Dari kondisi optimal yang diperoleh kemudian dilakukan eksperimen konfirmasi untuk memastikan. Dalam menghitung nilai MRSN langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

- a. Menghitung *Quality Loss* untuk menentukan *Quality loss* maksimum untuk tiap respon. *Quality Loss* digunakan untuk mengetahui atribut dan fungsi kerugian dalam setiap respon yang berbeda-beda.
- b. Menghitung *Normalisasi Quality Loss*
 Dalam mengurangi variabilitas dibutuhkan normalisasi skala *Quality Loss* setiap respon. Penurunan kualitas yang ternormalisasi berkisaran antara 0 hingga 1. Dengan begitu *Quality Loss* disetiap respon dapat secara langsung dijumlahkan.
- c. Menghitung *Total Normalized Quality Loss* (TNQL)
 Menghitung jumlah dari normalisasi masing – masing respon sesuai dengan kepentingan serta seberapa dominannya respon tersebut dengan pembobotan.
- d. Menghitung MRSN ratio setiap eksperimen.

3.4.6. Uji Beda

Uji beda *t-Test* merupakan teknik analisis untuk membandingkan sampel, teknik ini digunakan untuk menguji apakah nilai tertentu berbeda secara signifikan atau tidak dengan rata-rata sebuah sampel. Uji beda dilakukan untuk mengetahui apakah hasil dari simulasi kondisi optimal dapat meningkatkan kualitas respon secara signifikan jika dapat meningkatkan kualitas respon, maka dapat dilanjutkan ke tahap analisa. Jika tidak maka dilakukan pengecekan kembali secara mundur apakah terdapat kesalahan dalam perhitungan MRSN hingga pada proses perancangan eksperimen yang masih belum tepat.

3.5. Analisa dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap hasil pengolahan data yang dilakukan meliputi uji normalitas, uji homogenitas, uji ANOVA, perhitungan SNR dan analisa efek tiap faktor, analisa hasil perhitungan MRSN. Selain itu juga dijelaskan hasil level optimal dari faktor kendali yang diperoleh berdasarkan nilai MRSN yang terbesar serta analisis hasil uji beda yang dilakukan optimal dapat meningkatkan kualitas respon secara signifikan. Selain analisis pengolahan data juga dilakukan analisis terhadap 8 langkah taguchi.

3.6. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap kesimpulan dan saran akan dijelaskan tentang jawaban yang diperoleh berdasarkan rumusan masalah dalam penelitian serta diberikan usulan perbaikan yang akan dijelaskan untuk diimplementasikan bagi perusahaan untuk menjadi acuan dalam meningkatkan kualitas produk. Serta diuraikan beberapa saran yang dapat digunakan untuk peneliti selanjutnya yang akan melanjutkan dan mengembangkan penelitian ini.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini, berisi tentang hasil pengumpulan data yang diperoleh dari Pasir Luhur dan hasil eksperimen data batako sesuai dengan karakteristik kualitas yang telah dipilih. Setelah data yang dibutuhkan lengkap kemudian dilakukan pengolahan data sesuai tujuan dalam penelitian, pengolahan data digunakan sebagai analisis hasil penelitian.

4.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri dari data kualitatif dan data kuantitatif, data kualitatif antara lain sejarah dan perkembangan perusahaan, Visi dan misi perusahaan, hasil produksi, proses produksi serta dilakukan perancangan eksperimen dengan melakukan identifikasi keinginan konsumen, perancangan respon, penentuan faktor kendali, penentuan level faktor, penentuan matriks eksperimen. Sedangkan data kuantitatif berisi data pelaksanaan eksperimen dengan melakukan uji kuat tekan dan kadar air batako untuk hasil kombinasi level dan batako kondisi awal perusahaan.

4.1.1. Sejarah dan Perkembangan Perusahaan

Perusahaan Pasir Luhur merupakan perorangan. Perusahaan ini didirikan oleh Bapak Sikam pada tahun 2002 dengan modal awal sebesar Rp 3.000.000 dengan lokasi di desa Samiran, Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah. Pasir Luhur bergerak dalam bidang

concrete block dan memperdagangkannya untuk keperluan pembangunan rumah dan keperluan toko bahan bangunan (material). *Concrete block* adalah komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton.

Pada saat awal berdiri produksi yang dihasilkan hanya berupa batako, dengan menggunakan sistem manual (cetakan manual) dengan kapasitas produksi 60 buah batako perhari, kemudian pada tahun 2010 usaha tersebut terus berkembang hingga memproduksi berbagai macam produk selain batako. Selain produk yang mulai berkembang menjadi berbagai macam, cara memproduksi batako juga mulai menggunakan cetakan mesin karena permintaan yang semakin banyak menuntut peningkatan kapasitas produksi oleh perusahaan agar dapat memenuhi permintaan.

Pasir Luhur ini tumbuh dan berkembang secara bertahap, dengan konsisten dalam mengelola usaha sehingga mampu meningkatkan kapasitas produksi dan penjualan serta sekaligus memperluas wilayah pemasarannya. Pada awalnya Pasir Luhur memasarkan produknya dengan cara menawarkan hasil produksi kepada perusahaan-perusahaan yang bergerak dibidang proyek pembangunan kemudian karena semakin banyak konsumen yang mulai mengenal perusahaan ini, banyak konsumen yang mengambil produk secara langsung. Pasir Luhur juga menggunakan pemasaran melalui sistem langsung dijual kepada konsumen dan melakukan kerjasama dengan toko material dengan cara menitipkan produk untuk kemudian dijual kepada konsumen.

4.1.2. Visi dan Misi Perusahaan

Setiap organisasi maupun perusahaan yang didirikan pasti memiliki visi, dan misi sebagai landasan bagi perusahaan tersebut dalam merumuskan kebijakan-kebijakan guna mencapai tujuan yang diinginkan. Visi dan Misi dari perusahaan Pasir Luhur akan diuraikan sebagai berikut:

Visi Perusahaan:

Menghasilkan produk-produk berkualitas tinggi dengan inovasi berkelanjutan dan mengedepankan kepuasan pelanggan dengan harga yang terjangkau.

Misi Perusahaan:

- 1) Meningkatkan keterampilan pekerja dengan komitmen serta dedikasi tinggi.
- 2) Mampu menjaga konsistensi mutu agar mampu memberikan produk yang tidak berubah setiap waktu
- 3) Meningkatkan mutu dengan menjaga kualitas dan selalu meningkatkan kualitas secara terus-menerus.
- 4) Mengutamakan keinginan dan kepuasan pelanggan
- 5) Memasarkan sebuah karya produk keluar maupun didalam daerah.
- 6) Aktif berpartisipasi dalam kegiatan sosial keagamaan untuk mendukung pembangunan tempat ibadah.

4.1.3. Hasil Produksi

Kapasitas produk yang dihasilkan oleh Pasir Luhur adalah 12.500 buah produk perbulan untuk masing-masing jenis produk. Produksi yang dilakukan oleh perusahaan Pasir Luhur yaitu dengan *make to stock* dan *make to order*, dimana produksi dilakukan untuk persediaan tanpa menunggu adanya pesanan dari pelanggan, namun ketika ada pesanan khusus, seperti ukuran dan jenis yang diinginkan perusahaan siap untuk melayani keinginan pelanggan. Hasil produksi yang dihasilkan oleh pasir luhur antara lain adalah:

1. Batako



Gambar 4.1. Batako

2. Paving block



Gambar 4.2. Paving block

3. Kansteen



Gambar 4.3. Kansteen

4. Buis beton



Gambar 4.4. Buis beton

4.1.4. Proses Produksi

Dalam proses produksi pembuatan batako dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu tahap persiapan, pengadukan, pencetakan, penjemuran dan perawatan. Berikut ini akan diuraikan tahapan dalam proses produksi batako.

4.1.4.1. Persiapan Material

Persiapan produksi merupakan suatu proses penyediaan material dan persiapan peralatan yang digunakan dalam produksi batako sebelum dilakukan proses produksi. Penyediaan bahan baku material dan persiapan peralatan yang digunakan harus sesuai dengan standard pembuatan batako yang telah ditetapkan. Persiapan produksi batako akan diuraikan sebagai berikut:

1. Penyediaan bahan material yang diperlukan.

Bahan material yang diperlukan dalam pembuatan batako harus memenuhi SK SNI S-04-1989-F tentang spesifikasi air, spesifikasi bahan perekat hidrolis, spesifikasi agregat, dan spesifikasi bahan tambahan untuk batako sebagai bahan bangunan. Berikut ini merupakan material campuran batako yang digunakan:

- a. Portland Pozzolan Cement

Portland Pozzolan Cement berfungsi sebagai bahan pengisi dan pengikat pada campuran batako. Pada penelitian ini semen yang digunakan yaitu semen gresik dalam kemasan 40 kg. Semen yang digunakan dalam produksi batako harus dalam kondisi baik dapat dilakukan dengan memeriksa secara visual, semen yang baik memiliki ciri-ciri kemasan tertutup rapat, tidak terdapat butiran-butiran dari semen yang menggumpal. Selain itu semen yang akan digunakan diletakkan ditempat yang kering dan terlindungi dari gangguan cuaca.



Gambar 4.5. Semen

b. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam produksi batako berasal dari pasir Merapi, sebelum digunakan agregat diayak terlebih dahulu, agregat halus yang digunakan memiliki ukuran lebih kecil dari 4,80 mm. Agregat yang digunakan harus memenuhi persyaratan sesuai persyaratan bangunan Indonesia.



Gambar 4.6 Agregat halus

c. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam produksi batako memiliki ukuran lebih besar dari 4,880 mm dan paling besar berukuran 19 mm yang berupa kerikil berasal dari pecahan batu yang telah dihancurkan menjadi agregat kasar dan sesuai dengan persyaratan bangunan untuk agregat kasar yang baik.



Gambar 4.7. Agregat kasar

d. Air

Air yang digunakan berasal dari dan dilakukan pemeriksaan secara visual. Dari pemeriksaan secara visual terlihat bahwa air yang digunakan bersih, tidak mengandung garam, tidak berwarna ataupun keruh, dan tidak berbau. Dari pemeriksaan secara visual yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa air yang digunakan sebagai bahan pencampuran batako memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan.

e. Abu tempurung kelapa

Abu tempurung kelapa merupakan bahan tambahan dalam pembuatan batako yang diharapkan dapat meningkatkan kualitas produk batako. Abu tempurung kelapa yang digunakan merupakan abu yang diperoleh dari warung jadah dan penjual es kelapa muda yang ada di daerah Boyolali.



Gambar 4.8. Abu tempurung kelapa

2. Persiapan alat yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam produksi batako harus memenuhi ketentuan dalam peralatan batako seperti semua peralatan untuk penakaran, pengadukan dan pengangkutan harus dalam keadaan baik dan bersih, mesin pengaduk harus pada kecepatan yang direkomendasikan, alat pemadatan yang digunakan harus disesuaikan dengan bentuk dan jenis pekerjaan. Berikut ini merupakan alat yang digunakan dalam pembuatan batako:

a. Timbangan

Dalam proses produksi batako digunakan timbangan berkapasitas 100 kg digunakan untuk menimbang material yang akan dipakai dalam campuran produksi batako sesuai dengan *orthogonal array* yang telah dipilih



Gambar 4.9. Timbangan

b. Ayakan 4,7 mm dan 19 mm

Ayakan ini digunakan untuk memisahkan kerikil dengan pasir agar ukuran butiran agregat yang digunakan menjadi seragam. Ukuran agregat yang seragam akan menghasilkan lebih banyak pori sehingga membuat batako menjadi lebih ringan.

c. Sekop pasir

Sekop pasir dalam produksi batako digunakan untuk memindahkan material dalam jumlah banyak ke dalam mesin pengaduk campuran mortar. Dan dapat digunakan memindahkan material dari mesin pengaduk mortar ke mesin pencetak batako.



Gambar 4.10. Sekop

d. Sendok semen

Sendok semen merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan semen dan memudahkan dalam mengambil semen sesuai dengan takaran yang digunakan dalam proses produksi batako.



Gambar 4.11. Sendok semen

e. Ember

Merupakan alat yang digunakan untuk menampung air sebagai salah satu bahan campuran didalam produksi batako



Gambar 4.12. Ember

f. Gelas ukur volume air

Gelas ukur merupakan alat yang digunakan untuk mengatur jumlah air dalam proses campuran material batako sesuai dengan nilai fas yang telah ditentukan.

g. Mesin pengaduk campuran batako

Mesin pengaduk digunakan untuk mencampur adonan pasir, semen, dan bahan tambah lainnya dalam produksi batako. Mesin pengaduk campuran batako memiliki kelebihan

dapat mengaduk campuran material batako lebih homogen dibandingkan dengan mengaduk batako secara manual.



Gambar 4.13. Mesin pengaduk

h. Mesin pencetak batako

Cetakan batako digunakan untuk mencetak sampel benda uji. Cetakan yang dipakai memiliki dimensi 40 x 20 x 10 cm seperti terlihat pada Gambar



Gambar 4.14. Mesin pencetak batako

4.1.4.2. Pencampuran dan pengadukan

Pencampuran seluruh material penyusun batako dan pengadukan bertujuan agar bahan penyusun yang digunakan dalam pembuatan batako dapat tercampu secara homogen agar semen dapat bereaksi secara sempurna dengan bahan lain penyusun batako.

1. Agregat halus, agregat kasar, semen, dan abu tempurung kelapa dimasukkan sesuai dengan *orthogonal array* yang telah ditentukan seperti pada tabel ke dalam mesin pengaduk. Setiap bahan ditambahkan 10-20% untuk mengantisipasi kekurangan akibat menempel pada dinding mesin.
2. Semen, agregat halus dan agregat kasar diaduk didalam mesin pengaduk terlebih dahulu.
3. Kemudian air dituangkan sedikit demi sedikit untuk menghindari penggumpalan sampai seluruh air yang telah ditentukan dituangkan.
4. Setelah seluruh material dan air selesai dituangkan dilakukan pengadukan dengan waktu yang telah ditentukan didalam *orthogonal array*.

4.1.4.3. Pencetakan

Setelah adonan batako selesai diaduk maka proses selanjutnya yaitu proses pencetakan batako. Mesin yang digunakan untuk mencetak batako menggunakan sistem *Gravitation Drop & Vibrator*, adonan semen dicetak dengan *molding* dan dipadatkan beban *molding* atas yang dibantu dengan gaya gravitasi, setelah itu adonan akan digetarkan menggunakan diesel ataupun motor listrik sehingga adonan di dalam *molding* akan merata dan padat. Dan setelah proses pencetakan selesai dilakukan tahap berikutnya yaitu tahap penjemuran batako.

4.1.4.4. Penjemuran

Proses penjemuran dalam produksi batako dilakukan dengan cara meletakkan batako pada satu lokasi penjemuran yang teduh untuk menghindari panas langsung dari sinar matahari, kemudian dibiarkan selama 3 hari. Pengeringan batako yang dilakukan yaitu dengan cara diangin-anginkan, hal ini bertujuan agar proses persenyawaan antara semen dengan pasir betul-betul sempurna. Setelah itu dilakukan penjemuran dibawah sinar matahari beberapa hari sesuai dengan lama penjemuran yang telah ditentukan dalam *orthogonal array*, agar diperoleh hasil yang maksimal.

4.1.4.5. Perawatan

Setelah produk batako telah selesai dilakukan proses penjemuran, selanjutnya batako diberikan perawatan dengan cara disiram dengan air setiap hari selama 7 hari, agar ikatan semen yang dibentuk dengan material penyusun batako dapat terikat secara sempurna. Batako umur 28 hari merupakan umur yang ideal yang memiliki kekuatan maksimal dalam produksi batako.

4.2. Perancangan Eksperimen Metode Taguchi

Perancangan eksperimen merupakan evaluasi secara serentak terhadap dua atau lebih faktor (parameter) terhadap kemampuan mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk suatu proses tertentu (Peace, 1993). Tahap-tahap yang dilakukan dalam perancangan eksperimen Taguchi adalah sebagai berikut:

4.2.1. *Identify the Main Function, Side Effect and Failure Mode*

Berdasarkan hasil observasi perusahaan melalui metode wawancara yang dapat dilihat pada lampiran 1, dapat diketahui bahwa pada saat proses penjemuran/ pemindahan dan proses pengiriman kepada konsumen ditemukan cacat produk antara lain retak, sudut-sudutnya tidak utuh. Dari perusahaan diperkirakan jumlah cacat produk yang tidak utuh sebanyak 40 sampai dengan 55 produk dari total keseluruhan 500 produk, dapat diasumsikan bahwa produk tidak utuh (cacat) sebanyak 8% sampai dengan 11%. Selain produk yang retak dan sudut-sudutnya tidak utuh terdapat 5 sampai dengan 8 produk batako yang pecah atau sekitar 1% sampai dengan 2 % karena guncangan saat pengiriman dengan alat transportasi, biasanya perusahaan harus mengganti produk yang pecah kepada konsumen yang mengakibatkan kerugian bagi perusahaan.

Selain produk cacat yang dihasilkan oleh perusahaan, saat ini kualitas produk batako berlubang perusahaan berada pada kondisi level II sampai dengan level III pada Standar

Nasional Indonesia (SNI). Untuk meningkatkan kualitas batako agar kerugian atas produk cacat, maka perlu dilakukan perbaikan kualitas oleh perusahaan agar ketika proses penjemuran/ pемidahan batako tidak mengakibatkan adanya cacat produk. Selain untuk meminimalisir produk cacat, perbaikan kualitas dapat dilakukan untuk memenuhi kebutuhan konsumen akan produk batako dengan kualitas yang diinginkan agar dapat dicapai kepuasan konsumen sehingga perusahaan memiliki nilai unggul dalam kualitas produk dan dapat bersaing dengan perusahaan lain. Dari perbaikan kualitas yang dilakukan diharapkan kualitas produk batako dapat naik pada level I dalam Standar Nasional Indonesia.

4.2.2. *Identify Noise Factors, Testing Conditions, and Quality Characteristics*

Faktor *noise* (faktor yang berpengaruh pada kualitas batako tetapi tidak dikendalikan karena membutuhkan biaya yang mahal). Faktor *noise* yang ditentukan dalam penelitian ini yaitu bahan organik (H), kandungan bahan organik yang terdapat pada material penyusun batako dipilih sebagai faktor *noise* dalam penelitian ini, karena bahan organik yang terkandung dalam agregat halus atau kasar maupun pada air merupakan faktor yang sulit dikendalikan dalam desain eksperimen dan apabila dikendalikan dalam pemeriksaannya membutuhkan biaya yang besar, tetapi bahan organik dapat mempengaruhi reaksi kimia pada ikatan semen dalam proses pembuatan batako.

Untuk karakteristik kualitas kekuatan beton maupun batako umumnya dianggap sebagai sifat yang paling penting, walaupun dalam banyak kasus karakteristik lain, seperti daya tahan, impermeabilitas dan stabilitas volume, mungkin sebenarnya lebih penting. Namun demikian, kekuatan biasanya memberikan gambaran keseluruhan dari kualitas beton dan batako (Neville & Brooks, Concrete Technology, 2010).

Dari hasil wawancara kepada perusahaan konsumen menginginkan batako yang memiliki kualitas tinggi, kualitas batako yang diinginkan konsumen memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Tidak mudah pecah
- b. Tidak mudah retak
- c. Tidak mudah rapuh/hancur ketika diangkat

- d. Memiliki permukaan halus, padat dan pori-pori tertutup rapat
- e. Bentuknya sempurna, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan jari tangan.

Sehingga keinginan konsumen untuk kualitas batako yang tidak mudah pecah, tidak mudah retak dan tidak mudah rapuh/hancur ketika diangkat dapat di terjemahkan ke dalam bahasa teknik ke dalam pengujian kuat tekan batako dan kadar air batako.

4.2.3. *Identify the Objective Function to be Optimize*

Faktor tujuan atau yang disebut variabel respon adalah variabel dependen, yaitu variabel dipengaruhi oleh level faktor atau kombinasi level faktor. Variabel respon atau disebut karakteristik kualitas merupakan suatu proyek yang menarik dari suatu produk atau proses. Secara umum setiap karakteristik kualitas memiliki suatu target. Respon atau karakteristik kualitas biasanya dapat diukur dan dapat ditetapkan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Respon diartikan sebagai parameter performansi keberhasilan eksperimen yang dilakukan. Dalam penelitian ini respon yang digunakan adalah kuat tekan dan kadar air batako.

Kuat tekan beban batako adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 03-1974-1990). Untuk menguji kuat tekan batako dapat menggunakan alat uji tekan yaitu *Universal Testing Machine* atau CTM (*Compressing Testing Machine*) dengan satuan pengukuran kg/cm^2 dan karakteristik kualitas *Large the Better* (LTB).

Kadar air ditunjukkan berdasarkan pertambahan massa batako setelah direndam dalam air. Besar kecilnya penyerapan air sangat dipengaruhi pori atau rongga yang terdapat pada batako. Semakin banyak pori yang terkandung dalam batako maka akan semakin besar penyerapan airnya sehingga ketahanan batako akan berkurang. Berdasarkan (SNI 03-0349-1989, 1989) daya serap air maksimal adalah 35%. Dalam eksperimen ini, karakteristik dari respon kadar air diharapkan lebih kecil lebih baik *smaller the better* (STB).

4.2.4. *Identify the Control Factors and Their Levels*

Dibawah ini akan diuraikan tentang penjelasan faktor kendali yang dipilih dalam penelitian penentuan kombinasi level optimal untuk produksi batako. Selain itu akan dijelaskan terkait pemilihan level yang digunakan berdasarkan landasan teori dan penelitian sebelumnya yang sudah ada.

4.2.4.1. **Identifikasi Faktor kendali**

Faktor- faktor yang mempengaruhi dalam karakteristik pengendalian kualitas dibedakan menjadi dua, yaitu faktor terkendali dan faktor tak terkendali (*noise*). Faktor terkendali atau disebut juga faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan (*noise factor*) adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau kendalikan, atau faktor yang tidak ingin kita atur atau kendalikan, walaupun dapat kita atur, faktor tersebut membutuhkan biaya yang mahal (Peace, 1993).

Tidak semua faktor-faktor kualitas produksi digunakan dalam penelitian ini, faktor yang digunakan dalam penelitian ini merupakan faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respon. Berikut ini merupakan faktor-faktor terkendali (faktor kontrol) yang digunakan dalam penelitian.

1. Perbandingan semen dan agregat (A)

Agregat merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran pembuatan batako. Sedangkan semen merupakan bahan perekat hidrolis berupa serbuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker (bahan ini terdiri dari silika-silika kalsium yang bersifat hidrolis) dengan gips sebagai bahan tambah. Komposisi perbandingan agregat pasir dengan komposisi semen didalam pembuatan batako merupakan hal yang penting dalam pengendalian kualitas batako sebagai salah satu faktor yang dapat dikendalikan. Faktor tersebut merupakan faktor yang diharapkan dapat meningkatkan kualitas batako sesuai dengan variabel respon yang telah ditentukan.

2. Perbandingan agregat halus dan perbandingan agregat kasar (B)

Untuk membedakan jenis agregat yang sering dilakukan ialah dengan didasarkan pada ukuran butir-butirnya Agregat dengan ukuran butir-butir besar disebut agregat kasar, sedang yang berbutir kecil disebut agregat halus. Sebagai batas antara ukuran butiran yang kasar dan yang halus umumnya diambil 4,8 mm. Agregat yang butir-butirnya lebih besar dari 4,8 mm disebut agregat kasar, dan agregat yang lebih kecil dari 4,8 mm disebut agregat halus. Komposisi jumlah perbandingan agregat halus dan jumlah agregat kasar merupakan faktor terkendali yang diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik dan diharapkan mampu meningkatkan kualitas.

3. Jumlah air semen (fas) (C)

Faktor air semen adalah perbandingan antara berat air dan berat semen dalam campuran adukan. Air diperlukan pada pembuatan beton atau batako untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton. Air yang digunakan dalam penelitian ini merupakan air yang sesuai syarat yang dapat digunakan sebagai campuran batako. Nilai fas merupakan nilai penting yang dapat dikendalikan dan berpengaruh terhadap kualitas batako.

4. Jumlah abu tempurung kelapa (D)

Terdapat beberapa material yang dianggap limbah oleh masyarakat mempunyai karakteristik teknis yang sama dengan bahan-bahan penyusun batako, misalnya limbah abu batok kelapa. Limbah tersebut merupakan bahan yang memiliki karakteristik mirip dengan bahan utama pembuatan batako yaitu semen dan pasir sehingga dalam penelitian ini digunakan abu tempurung kelapa sebagai faktor yang dapat dikendalikan dalam peningkatan kualitas.

5. Lama pengadukan (E)

Pengadukan merupakan hal yang penting untuk pembuatan batako, batako harus diaduk sedemikian hingga tercapai penyebaran bahan yang merata dan semua hasil adukan harus dikeluarkan sebelum mesin pengaduk diisi kembali. Bahan yang tercampur secara merata dari agregat, semen, air dan bahan tambahan diharapkan dapat terikat secara sempurna. Sehingga lama pengadukan digunakan sebagai faktor kendali dalam pengendalian kualitas.

6. Lama tekanan yang diberikan (F)

Tekanan yang diberikan dalam pembuatan batako bertujuan untuk memadatkan secara sempurna agar dapat mengisi sepenuhnya daerah cetakan. Lama penekanan yang diberikan dapat mempengaruhi kualitas batako dan merupakan faktor yang dapat dikendalikan.

7. Lama pengeringan (G)

Lama pengeringan merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menjemur batako dibawah matahari langsung agar proses persenyawaan antara semen dengan pasir betul-betul sempurna dan batako memiliki kekerasan yang maksimal

4.2.4.2. Penentuan Level Faktor

Level faktor merupakan nilai atau atribut yang melekat pada sebuah faktor dengan minimal dua level. Penentuan level penting dilakukan untuk ketelitian hasil percobaan, semakin banyak jumlah level maka jumlah eksperimen dan biaya yang digunakan semakin banyak. Didalam penelitian ini digunakan level faktor sebanyak dua level. Berikut ini akan diuraikan level yang digunakan dalam penelitian serta teori yang mendasari didalam penentuan level.

1. Perbandingan semen dan agregat (A)

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam pembuatan batako. Perbandingan campuran semen:pasir antar 1:6 dan 1:8 merupakan campuran ideal dalam pembuatan batako, apabila lebih tinggi campuran pasir mengakibatkan kuat tekan yang rendah (Maryoto,2008; Wallah & Pandaleke, 2014)

Sifat agregat bukan hanya mempengaruhi sifat beton, akan tetapi juga mempengaruhi ketahanan (*durability*), daya tahan terhadap kemunduran mutu akibat siklus dari pembekuan-pencairan). Oleh karena agregat lebih murah dari semen, maka adalah logis untuk menggunakannya dengan presentase yang setinggi mungkin. (Chu Kia Wang & Charles G. Salmon, Disain Beton Bertulang, 1993)

Kemudian didalam pembuatan batako level faktor dalam eksperimen yang digunakan untuk komposisi semen dibanding agregat pasir sebesar 1:6 dan 1:8, pasir merupakan material yang sangat penting untuk pembuatan batako, tetapi apabila kadarnya terlalu besar akan mengakibatkan kerapuhan jika sudah mengering, dan dapat menyebabkan kuat tekan rendah dan kadar air tinggi . Hal ini disebabkan daya rekat antara partikel-partikel berkurang dengan adanya pasir dalam jumlah yang besar, sebab pasir tersebut tidak bersifat merekatkan akan tetapi hanya sebagai pengisi (*filler*) tetapi apabila pasir digunakan kurang dari ketentuan maka akan terjadi keretakan karena pasir berfungsi untuk mengurangi penyusutan yang terjadi mulai dari per cetakan hingga pengeringan serta berpengaruh terhadap kuat tekan yang rendah dan kadar air yang tinggi.

2. Perbandingan agregat halus dan agregat kasar (B)

Perbandingan antara berat agregat halus dan agregat kasar pada campuran beton diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Perbandingan agregat halus dan agregat kasar yang baik adalah perbandingan yang dapat masuk ke dalam kurva standar seperti yang terdapat pada tata cara pembuatan rencana campuran beton.

Terlalu tinggi nilai perbandingan volume antara agregat kasar terhadap agregat halus dapat mengakibatkan segregasi dan *workability* yang rendah, campuran kasar dan tidak mudah dalam penyelesaian. Sebaliknya terlalu banyak agregat halus menyebabkan *workability* tinggi, tetapi campuran yang kelebihan pasir membuat rendah daya tahan batako (Neville & Brooks, Concrete Technology, 2010).

Workability Factor (WF) adalah persentase agregat gabungan yang melewati saringan No 8 (2.36 mm). Kuat tekan betako meningkat dengan peningkatan *Workability Factor* (WF) sampai batas tertentu, setelah itu kekuatan mulai menurun secara terbalik. Hal ini mungkin disebabkan oleh fakta bahwa, partikel agregat halus diperlukan untuk mengisi rongga antar partikel-partikel agregat kasar. Tapi setelah batas tertentu, ketika jumlah partikel agregat halus lebih tinggi dari yang dibutuhkan campuran akan menjadi kelebihan pasir. Oleh karena itu, harus ada batasan *Factor Workability* yang cocok untuk mendapatkan kekuatan yang lebih tinggi (Ashaf & Noor, 2011).

Pada penelitian sebelumnya diperoleh nilai kuat tekan tertinggi batako pada komposisi agregat halus sebesar 45% sampai 55% dan agregat kasar sebesar 55% sampai 45%. Sehingga dipilih level 1 komposisi perbandingan agregat halus dibanding agregat kasar 45:55 dan dipilih level 2 komposisi perbandingan agregat halus dibanding agregat kasar 55:45 (Ginting, 2014). Perbandingan level tersebut dipilih karena apabila komposisi perbandingan agregat kasar dan halus terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat mengurangi kuat tekan dan kuat tarik lentur batako, dan pada level yang dipilih perbandingan agregat halus dan agregat kasar dapat meningkatkan kuat tekan dan menurunkan kadar air batako.

3. Jumlah Air (Nilai Fas atau perbandingan berat antara air dan semen Portland) (C)

Pada dasarnya semen memerlukan jumlah air sebesar 32% berat semen untuk bereaksi secara sempurna, akan tetapi apabila kurang dari 40% berat semen maka reaksi kimia tidak selesai dengan sempurna (Manap A, dkk, 1987).

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat antara air dan semen Portland di dalam campuran adukan beton. Dalam praktek pembuatan beton nilai fas berkisar antara 0.4 sampai dengan 0,65. (Tjokrodimulyo, 2007). Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Ada batas-batas dalam hal ini. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65. Rata-rata ketebalan lapisan yang memisahkan antar partikel dalam beton sangat tergantung pada faktor air semen dan kehalusan butir semennya (Mulyono, 2005).

Level yang digunakan yaitu sebesar 40% dan 65% dari berat semen, untuk proses hidrasi semen yang diperlukan pada pembuatan batako, agar adukan tercampur dengan baik, diangkut dengan mudah, dan dapat dicetak dan dipadatkan dengan baik dan dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik lentur batako. Apabila kadar air terlalu sedikit dapat menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan sehingga menyebabkan kuat tekan rendah. Tetapi apabila kadar air berlebihan maka akan menyebabkan kuat tekan pada batako berkurang dan porous serta dapat meningkatkan kadar air pada batako.

4. Jumlah abu tempurung kelapa (D)

Jumlah abu tempurung kelapa menggunakan level faktor yang digunakan yaitu sebesar 5% dan 8% karena apabila terlalu banyak campuran abu tempurung kelapa dapat terjadi penurunan presentase dari salah satu unsur kimia dan terdapat perbedaan unsur kimia semen dan unsur kimia abu tempurung kelapa yang mengakibatkan nilai kuat tekan menjadi menurun dan kadar air tinggi. Tetapi apabila jumlah abu tempurung kelapa kurang dari 5% maka tempurung abu kelapa tidak dapat mengisi ruang-ruang kosong sebagai bahan pengikat dan menyebabkan kuat tekan berkurang serta kadar air batako meningkat (Mustaqim, Marliansyah, & Rahmi, 2016).

5. Lama pengadukan (E)

Menurut Standar Nasional Indonesia tata cara pengadukan pengecoran batako maupun semen pengadukan beton dilapangan harus memenuhi ketentuan berikut (SNI 03-3976-1995):

- 1) Beton harus diaduk sedemikian hingga tercapai penyebaran bahan yang merata dan semua hasil adukannya harus dikeluarkan sebelum mesin pengadukan diisi kembali;
- 2) Pengadukan harus dilakukan tidak kurang dari 11/2 menit untuk setiap lebih kecil atau sama dengan 1 m³ adukan. Waktu pengadukan harus ditambah ½ menit untuk setiap penambahan kapasitas 1 m³ adukan;
- 3) Pengadukan harus dilanjutkan minimal 11/2 menit setelah semua bahan dimasukkan kedalam mesin pengaduk (atau sesuai dengan spesifikasi alat pengaduk);
- 4) Selama pengadukan berlangsung, kekentalan adukan beton harus diawasi terus menerus dengan jalan memeriksa slump pada setiap campuran beton yang baru;
- 5) Kekentalan beton harus disesuaikan dengan jarak pengangkutan;
- 6) Bila produksi beton dilakukan oleh perusahaan beton siap pakai, maka keseragaman pengadukan harus mengikuti ketentuan yang berlaku;
- 7) Perekaman data yang rinci harus dilakukan terhadap:
 - a) Waktu dan tangga pengadukan dan pengecoran;
 - b) Proporsi bahan yang digunakan;
 - c) Jumlah batch-adukan yang dihasilkan;
 - d) Lokasi pengecoran akhir struktur

Level yang digunakan adalah 10 menit dan 15 menit, waktu minimal yang dibutuhkan untuk mengaduk bahan batako agar bahan tercampur (homogen) minimal 10 menit dan apabila pengadukan dilakukan kurang dari 10 menit dapat mengakibatkan campuran adonan bahan batako tidak homogen sehingga semen tidak dapat bereaksi dengan sempurna dengan material yang lain dan menyebabkan kuat tekan berkurang dan kandungan air tidak tercampur secara homogen. Apabila lebih dari 15 menit menjadi tidak optimal (tidak efektif) sehingga menyebabkan peningkatan biaya tenaga kerja dan pemborosan waktu produksi tetapi kuat tekan tetap atau tidak meningkat serta kandungan air dalam batako tetap.

6. Lama Penekanan (F)

Pembuatan batako pada umumnya dilakukan dengan mencampurkan pasir kuarsa sebagai sumber SiO_2 , kapur dan semen serta sejumlah agregat yang berupa kerikil atau batu kricak dalam perbandingan tertentu. Jumlah maupun ukuran bahan campuran yang berbeda dapat menyebabkan timbulnya pori dari struktur batako yang dapat menyimpan udara maupun menyerap air. Untuk mengurangi pori-pori tersebut dan meningkatkan kualitas batako yang dihasilkan dapat dicetak secara manual atau mekanik dalam bentuk dan ukuran yang diinginkan dengan pemberian tekanan (*pressing*) dengan lama penekanan 45 detik sampai dengan 60 detik untuk mendapatkan kuat tekan batako, paving maupun mortar yang konstan dan selanjutnya diletakkan atau disimpan hingga mengeras sempurna (Jumaeri, W, Sumarni, & Latifah, 2006).

Level yang dipilih untuk kuat tekanan yang diberikan dalam pembuatan batako adalah 45 detik dan 60 detik lama pemberian tekanan dan pencetakan batako dilakukan dengan mesin, pemilihan level faktor pemberian tekanan dibawah 45 detik dikhawatirkan akan mempengaruhi kepadatan batako sehingga batako memiliki kuat tekan yang rendah dan kadar air yang tinggi.

7. Lama penjemuran (G)

Lama waktu penegeringan akan mempengaruhi kualitas produk dan mempengaruhi banyaknya kadar air yang terdapat didalam batako. Didalam eksperimen ini akan dilakukan penjemuran dengan waktu 3 hari (level 1) dan 5 hari (level 2). Apabila kurang dari 3 hari maka batako tidak kering sehingga mudah retak akan menyebabkan kuat tarik batako rendah

dan kadar air batako tinggi, apabila lebih dari 5 hari maka kandungan air terlalu sedikit sehingga semen tidak dapat mengikat pasir dan agregat halus dan dapat menyebabkan kuat tekan batako berkurang.

Sedangkan *factor noise* dari batako yang digunakan banyaknya kandungan organik seperti bakteri, tumbuhan yang tercampur didalam bahan pembuatan batako terdapat dua level factor yaitu sedikit untuk level factor 1 dan banyak untuk level factor 2 dari keseluruhan bahan batako. Bahan organik dalam agregat halus yang akan digunakan pada campuran beton dapat menghambat waktu pengikatan semen, tetapi bahan organik dalam agregat bahan batako susah untuk dikendalikan dan apabila dikendalikan dapat meningkatkan biaya (biaya dalam pengendalian menjadi mahal).

Berikut ini akan disajikan tabel faktor kendali. Tabel kendali yang disertai dengan kode dan level faktor kendali untuk pelaksanaan desain eksperimen.

Tabel 4.1. Faktor kendali kualitas batako

Faktor Kendali	Kode	Level	
		1	2
Perbandingan semen dan agregat	A	1 semen : 6 Pasir	1 semen : 8 Pasir
Perbandingan agregat halus dan agregat kasar	B	45 agregat halus : 55 agregat kasar	55 agregat halus : 45 agregat kasar
Jumlah Air (Nilai Fas atau perbandingan berat antara air dan semen Portland)	C	0,4	0,65
	D	5%	8%
Jumlah abu tempurung kelapa		(20 kg semen : 1 abu)	(12,5 kg semen : 1 abu)
Lama pengadukan	E	10 menit	15 menit
Lama tekanan	F	45 detik	60 detik
Lama penjemuran	G	3 hari	5 hari

Tabel 4.2. Faktor *noise* kualitas batako

Faktor Noise	Kode	Level	
		1	2
Bahan Organik	H	Banyak dari keseluruhan bahan penyusun batako	Sedikit dari keseluruhan bahan penyusun batako

4.2.5. *Select the Orthogonal Array Matrix Experiment*

Setelah faktor kendali serta level faktor selesai ditentukan, kemudian menentukan matriks eksperimen yang akan digunakan. Sebelum menentukan matriks eksperimen dilakukan perhitungan derajat kebebasan (*degree of freedom*) (df) terlebih dahulu. Perhitungan derajat kebebasan atau *degree of freedom* (df) dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan. Terdapat dua perhitungan yaitu untuk faktor dan level (v_{f1}) serta untuk *orthogonal array* (v_{OA}) yang dipilih. Perancangan level faktor kendali dalam penelitian ini menggunakan 7 faktor dengan 2 level, derajat kebebasan yang diperlukan untuk inner array faktor dan level faktor dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 v_{f1} &= \text{degree of freedom of factor levels} \\
 &= \text{number of factor} \times (\text{number of level} - 1) \\
 v_{f1} &= 7 \times (2 - 1) = 7
 \end{aligned}$$

Dalam penelitian ini terdapat 7 faktor kendali dengan dua level faktor sehingga rumus L yang digunakan adalah 2^7 *array orthogonal* yang digunakan adalah $L_8 (2^7)$ dengan 8 eksperimen. Derajat kebebasan *orthogonal array* dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 v_{OA} &= \text{degree of freedom of orthogonal array} \\
 &= \text{number of experiments} - 1 \\
 v_{OA} &= 8 - 1 = 7
 \end{aligned}$$

Karena $v_{OA} \geq v_{f1}$ atau diperoleh hasil perhitungan dalam penelitian $7 \geq 7$, maka matriks *orthogonal* yang dipilih sudah sesuai dengan ketentuan dan dapat digunakan sebagai matriks yang digunakan untuk mendesain eksperimen yang efisien guna menganalisis data percobaan. *Orthogonal array* yang digunakan untuk faktor kendali dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 4.3. *Orthogonal Array* $L_8 (2^7)$

Trial no	Column no						
	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Perancangan level faktor noise dalam penelitian ini menggunakan 1 faktor dengan 2 level, derajat kebebasan yang diperlukan untuk *outer array* faktor dan level faktor dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$v_{f1} = \text{degree of freedom of factor levels}$$

$$= \text{number of factor} \times (\text{number of level} - 1)$$

$$v_{f1} = 1 \times (2 - 1) = 1$$

Dalam penelitian ini terdapat 1 faktor *noise* dengan dua level faktor sehingga rumus L yang digunakan adalah 2^1 . Namun karena dalam taguchi tidak ada rumus $L_n (2^1)$ maka digunakan *array orthogonal* yang terdekat yaitu $L_4 (2^3)$ dengan 4 eksperimen. Derajat kebebasan *orthogonal array* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$v_{OA} = \text{degree of freedom of orthogonal array}$$

$$= \text{number of experiments} - 1$$

$$v_{OA} = 4 - 1 = 3$$

Karena $v_{OA} \geq v_{f1}$ atau diperoleh hasil perhitungan dalam penelitian $3 \geq 1$, maka matriks *orthogonal* yang dipilih sudah sesuai dengan ketentuan dan dapat digunakan sebagai matriks yang digunakan untuk mendesain eksperimen yang efisien guna menganalisis data percobaan. *Orthogonal array* yang digunakan untuk faktor *noise* dapat dilihat pada tabel.

Tabel 4.4. *Orthogonal Array* $L_4 (2^3)$

Trial no	Column no		
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	2	2
4	1	2	2

Didalam eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan 7 faktor kendali dengan 2 level dan 1 faktor *noise* dengan 2 level, dilakukan replikasi pada masing-masing kombinasi level faktor sebanyak 4 kali. Sehingga didapatkan *orthogonal array* seperti tabel berikut:

Tabel 4.5. Tabel *Orthogonal Array* kuat tekan dan kadar air

Trial no	Faktor Noise (H)															
	Faktor Kendali								1	1	2	2				
	A	B	C	D	E	F	G	Data Hasil Percobaan				Data Hasil Percobaan				
	Column Number								Replikasi (Y)				Replikasi (Y)			
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	1	1	1	1	1	1	1									
2	1	1	1	2	2	2	2									
3	1	2	2	1	1	2	2									
4	1	2	2	2	2	1	1									
5	2	1	2	1	2	1	2									
6	2	1	2	2	1	2	1									
7	2	2	1	1	2	2	1									
8	2	2	1	2	1	1	2									

4.2.6. Conduct the matriks experiment

Tahap pelaksanaan eksperimen merupakan tahap pengumpulan data hasil eksperimen setelah eksperimen dilakukan dari rancangan-rancangan parameter berdasarkan matrik *orthogonal array* yang telah dipilih. Data hasil eksperimen diperoleh dari pengujian kualitas sesuai dengan variabel respon yang telah ditentukan, meliputi pengujian kuat tekan dan kadar air batako kondisi awal perusahaan serta batako eksperimen.

4.2.6.1. Pelaksanaan Uji Kuat Tekan Batako

Untuk pengujian kuat tekan, akan dilakukan percobaan pengujian terlebih dahulu untuk mengontrol kecepatan penekanan beban agar sesuai dengan syarat SNI 03-0349-1989 yaitu dari mulai pemberian beban sampai benda uji hancur diatur sehingga tidak kurang dari

1 menit dan tidak lebih dari 2 menit. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekandari masing-masing campuran. Pengujian kuat tekan batako dilakukan dengan menggunakan mesin uji desak CTM yang dimiliki Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Arah tekanan pada bidang tekan benda uji disesuaikan dengan arah tekanan beban didalam pemakaian. Langkah-langkah pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

1. Setiap batako yang akan diuji diberi kode agar memudahkan dalam pencatatan nilai kuat tekan batako.
2. Sisi bidang tekan diratakan dengan menggunakan plat besi. Pemberian plat besi diperlukan untuk memastikan distribusi beban yang merata ke seluruh bidang tekan batako.
3. Benda uji diletakkan pada alat uji kuat desak.
4. Mesin alat kuat tekan dinyalakan dan pembebanan pada benda uji dimulai.
5. Hasil pembebanan maksimal dicatat pada form penilaian.



Gambar 4.15. *Compressing Testing Machine (CTM)*

Rumus kuat tekan adalah sebagai berikut:

$$F_c = \frac{P}{A}$$

Dimana:

F_c = Kuat tekan (Kg/cm^2)

F = Beban maksimum (Kg)

A = Luas Bidang permukaan (cm^2)

4.2.6.2. Pelaksanaan Uji Kadar Air (Daya Serap) Batako

Uji serapan air dilaksanakan dengan cara batako berlubang dioven pada suhu 110°C selama 24 jam, kemudian direndam dalam air selama 24 jam.

$$\text{Penyerapan Air}(\%) = \frac{mb - mk}{mk} \times \%$$

Dimana:

mb = Berat benda uji dalam keadaan basah (g)

mk = Berat benda uji dalam keadaan kering (g)

Cara pengujian serapan air adalah sebagai berikut.

1. Benda uji direndam selama 24, setelah 24 jam benda uji diangkat lalu dibiarkan meniris selama 1 menit, lalu permukaan benda uji diseka dengan menggunakan kain lembab kemudian ditimbang beratnya.
2. Benda uji dikeringkan di dalam oven selama 24 jam pada suhu $105 \pm 5^\circ \text{C}$.
3. Benda uji setelah di oven, ditimbang beratnya.



Gambar 4.16. Timbangan (kadar air)

4.2.6.3. Data Kuat Tekan dan Kadar Air produk Batako Perusahaan

Produk batako di perusahaan Pasir Luhur dilakukan pengujian kualitas terhadap kuat tekan dan kadar air. Berikut ini merupakan data hasil kuat tekan dan kadar air untuk produk batako diperusahaan Pasir Luhur.

Tabel 4.6. Data uji kadar air batako perusahaan

No Produk	Berat Batako (g)		Penyerapan Air (%)
	Berat Basah	Berat Kering	
1	12900	10200	26,47
2	13000	10300	26,21
3	12600	10400	21,15
4	12900	10700	20,56
5	12400	10100	22,77
6	12700	10200	24,51
7	12500	10100	23,76
8	12600	10100	24,75

Tabel 4.7. Data uji kuat tekan batako perusahaan

No Produk	Luas Penampang (cm)	Beban Maksimum (kg)	Kuat Tekan (kg/cm)
1	1230,32	53185	43,22859094
2	1230,32	55170	44,84199233
3	1230,32	52530	42,69620912
4	1230,32	55345	44,98423174
5	1230,32	53365	43,37489434
6	1230,32	51625	41,96062813
7	1230,32	49380	40,1358996
8	1230,32	49985	40,62764159

4.2.6.4. Data Uji Kuat Tekan Batako Eksperimen

Dilakukan uji kuat tekan terhadap rancangan eksperimen sesuai dengan matriksi kombinasi dari *orthogonal array*. Berikut ini merupakan hasil kuat tekan dari pengujian eksperimen yang dilakukan.

Tabel 4.8. Data uji Kuat tekan batako eksperimen

Trial	Faktor Kendali							Faktor Noise (H)							
								1	1	2	2				
								Data Hasil Percobaan				Data Hasil Percobaan			
	A	B	C	D	E	F	G	Replikasi (R)				Replikasi (R)			
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	67,61	70,76	69,16	70,01	69,90	71,76	72,62	70,89
2	1	1	1	2	2	2	2	71,66	68,36	69,14	67,55	70,08	69,05	65,43	71,41
3	1	2	2	1	1	2	2	79,06	76,60	82,66	77,39	77,91	76,43	84,40	78,44
4	1	2	2	2	2	1	1	82,76	89,16	79,06	89,08	81,39	77,48	74,64	81,04
5	2	1	2	1	2	1	2	50,38	55,15	56,39	56,21	61,01	61,34	56,51	60,43
6	2	1	2	2	1	2	1	45,00	47,89	44,03	50,88	44,03	50,09	45,01	48,89
7	2	2	1	1	2	2	1	76,22	73,84	75,43	76,68	70,08	73,84	75,14	74,85
8	2	2	1	2	1	1	2	62,63	69,59	62,63	61,93	56,51	60,43	61,34	61,93

4.2.6.5. Data Uji Kadar Air Batako

Dilakukan uji kadar air terhadap rancangan eksperimen sesuai dengan matriksi kombinasi dari *orthogonal array*. Berikut ini merupakan hasil kadar air dari pengujian eksperimen yang dilakukan.

Tabel 4.9. Data uji kadar air batako

Trial	Faktor Kendali							Faktor Noise (H)							
								1				2			
								1				2			
	A	B	C	D	E	F	G	Data Hasil Percobaan				Data Hasil Percobaan			
	Coloumn Number							Replikasi (Y)				Replikasi (Y)			
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	11,82	9,52	12,28	12,38	11,32	10,28	11,43	11,76
2	1	1	1	2	2	2	2	14,68	13,16	15,09	15,39	13,16	16,83	14,15	16,83
3	1	2	2	1	1	2	2	9,57	9,61	7,02	10,00	10,28	8,57	8,49	9,52
4	1	2	2	2	2	1	1	13,76	12,61	12,28	11,22	14,95	13,51	12,28	14,68
5	2	1	2	1	2	1	2	8,49	8,33	9,35	8,33	9,48	7,14	8,77	9,73
6	2	1	2	2	1	2	1	11,11	11,43	10,91	11,82	10,28	10,19	9,35	11,82
7	2	2	1	1	2	2	1	12,84	11,65	12,96	11,11	13,89	12,15	14,02	12,04
8	2	2	1	2	1	1	2	5,61	6,90	4,76	6,73	7,14	5,66	4,63	5,17

4.2.7. Analyze the Data, Predict the Optimum Levels and Performance

Didalam sub bab ini akan dilakukan pengolahan data dari hasil pengumpulan data kuantitatif yang dilakukan sebelumnya yaitu data kuat tekan dan kadar air batako. Pengolahan data yang dilakukan meliputi uji normalitas, uji homogenitas, uji anova, perhitungan SNR, dan menghitung MRSN menggunakan *Microsoft Excel* dan *software statistik SPSS*.

Analisis data yang dilakukan menggunakan hasil pengolahan data pada langkah sebelumnya. Hasil dari perhitungna MRSN kemudian digunakan untuk memprediksi kualitas batako pada kondisi optimal. Berikut ini merupakan hasil pengolahan data yang dibutuhkan untuk memprediksi level faktor optimal pada peningkatan kualitas batako.

4.2.7.1. Uji Normalitas

Uji normalitas merupakan hal yang lazim dilakukan sebelum melakukan sebuah metode statistik. Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui sebaran data sampel apakah telah mewakili populasi yang ada, data untuk uji normalitas adalah data kuat tekan dan kadar air dari 7 level faktor kendali dan 1 faktor *noise* dengan 4 replikasi.

- 1) Bentuk uji hipotesisnya adalah sebagai berikut:
 - a. H_0 : Tidak ada perbedaan antara dugaan (data berdistribusi normal) dengan data hasil eksperimen
 - b. H_1 : Ada perbedaan antara dugaan (data tidak berdistribusi normal) dengan data hasil eksperimen.
- 2) Kriteria pengujian uji normalitas adalah sebagai berikut:
 - a. Nilai $\chi^2_{hitung} \leq \chi^2_{tabel}$, maka H_0 diterima (data berdistribusi normal)
 - b. Nilai $\chi^2_{hitung} \geq \chi^2_{tabel}$, maka H_0 ditolak (data tidak berdistribusi normal)

Uji normalitas kuat tekan dan kadar air batako dilakukan dengan langkah-langkah dan rumus pada halaman 41. Berikut ini merupakan perhitungan uji normalitas untuk kuat tekan dan kadar air batako.

1. Respon Kuat Tekan Batako

Berikut ini merupakan perhitungan uji normalitas untuk data kuat tekan batako 64 data dengan 8 kali replikasi,

- 1) Kelas interval $k = (1 + 3,32 \log 64) = 6,9965 = 7 \text{ kelas}$
- 2) Rentang data $R = 89,1638 - 44,0251 = 45,1387$
- 3) Menentukan panjang kelas interval $(P) = 45,1387 / 6,9965 = 6,4516$
- 4) Perhitungan standar deviasi data kuat tekan:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(67,61 - 67,644)^2 + (70,76 - 67,644)^2 + \dots + (67,61 - 61,93)^2}{64}}$$

$$= 11,4175$$

5) Contoh perhitungan nilai Z untuk kelas ke-1

$$Z_1 = \frac{BKB - \mu}{\sigma} = \frac{44,00 - 67,644}{11,4175} = -2,00$$

$$Z_2 = \frac{BKA - \mu}{\sigma} = \frac{51,00 - 67,644}{11,4175} = -1,417$$

Kemudian menghitung nilai Z untuk semua kelas, hasil perhitungan nilai Z semua kelas dapat dilihat pada tabel.

6) Contoh perhitungan nilai e untuk kelas ke 1

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= P(-2,00 < Z < -1,417) \\ &= P(Z < -1,417) - P(Z < -2,00) \\ &= 0,0783 - 0,0228 = 0,0555 \end{aligned}$$

$$e_1 = 0,555 \times 64 = 3,5546$$

Kemudian menghitung nilai luas dan mencari nilai e untuk semua kelas, hasil perhitungan nilai luas dan e semua kelas dapat dilihat pada tabel.

Tabel 4.10. Distribusi Frekuensi Data Kuat Tekan Batako

Interval Kelas		Oi	Pe mb ulat an Ei	Z ₁	Z ₂	PZ ₁	PZ ₂	Luas	Ei
Mi n	Max			$\frac{BKB - \mu}{\sigma}$	$\frac{BKA - \mu}{\sigma}$			P(Z ₁ < Z < Z ₂)	LUAS x n
44,0	51,0	9	4	-2,0000	-1,4167	0,0228	0,0783	0,0555	3,5546
51,0	58,0	5	8	-1,4167	-0,8333	0,0783	0,2023	0,1240	7,9384
58,0	65,0	9	13	-0,8333	-0,2500	0,2023	0,4013	0,1990	12,7338
65,0	72,0	17	15	-0,2500	0,3333	0,4013	0,6306	0,2293	14,6730
72,0	79,0	15	13	0,3333	0,9167	0,6306	0,8203	0,1898	12,1461
79,0	86,0	7	8	0,9167	1,5000	0,8203	0,9332	0,1129	7,2225
86,0	93,0	2	3	1,5000	2,0833	0,9332	0,9814	0,0482	3,0846
Total		64	64						61,3529

Pada tabel diketahui bahwa pada kelas pertama dan kelas ke tujuh jumlah data harapan (E_i) adalah kurang dari 5, sehingga dilakukan penggabungan sel-sel yang berdekatan. Sel yang digabungkan yaitu sel pertama nilai data harapan 4 dengan sel kedua dan sel keenam dengan sel ketujuh nilai data harapan 3.

- 7) Setelah dilakukan penggabungan untuk sel-sel yang berdekatan kemudian menghitung nilai *Chi-square*.

$$\chi^2 = \frac{(14 - 12)^2}{12} + \frac{(9 - 13)^2}{13} + \frac{(17 - 15)^2}{15} + \frac{(15 - 13)^2}{13} + \frac{(9 - 11)^2}{11} = 2,5021$$

Tabel 4.11. Uji Normalitas Data Kuat Tekan Batako

Kelas		O _i	E _i	Penggabungan E _i < 5	O _i	Chi Hitung	db	Chi Tabel
Min	Max	Teramati	Harapan			$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$	k - 3	(0.05,(5-3))
44	51	9	4	12	14	0,3333	2	5,9915
51	58	5	8					
58	65	9	13	13	9	1,2308		
65	72	17	15	15	17	0,2667		
72	79	15	13	13	15	0,3077		
79	86	7	8	11	9	0,3636		
86	93	2	3					
Total		64	64	64	64	2,5021		

Pada tabel dapat dilihat bahwa kelas data yang sebelumnya berjumlah 7 berubah menjadi 5 kelas. Uji normalitas data dilakukan dengan menggunakan nilai probabilitas kesalahan $(1 - \alpha) = 1 - 95\% = 0,05$, dengan derajat kebebasan (df) untuk uji normalitas data kuat tekan sebesar $5 - 3 = 2$ sehingga diperoleh nilai *Chi-Square* tabel $\chi_{tabel}^2 = \chi_{\alpha, (k-1)}^2 = \chi_{0,05(5-3)}^2 = 5,9915$. Dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai *Chi-Square* hitung dari data kuat tekan batako diperoleh hasil 2,5021. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh bahwa nilai (*Chi-Square*) $\chi_{hitung}^2 = 2,5021 < \chi_{tabel}^2 = 5,9915$ maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa nilai *Chi-Square* berada didaerah penerimaan maka hipotesisi (H_0) diterima. Dengan demikian maka data kuat tekan berdistribusi normal, sehingga dapat dilakukan langkah berikutnya untuk uji homogenitas.

2. Respon Kadar Air Batako

Uji normalitas kadar air batako dilakukan dengan langkah-langkah dan rumus yang sama dengan uji normalitas kuat tekan batako. Perhitungan uji kadar air batako sebagai berikut:

- 1) Menentukan kelas interval (k) = $(1 + 3,32 \log 64) = 6,9965 = 7 \text{ kelas}$
- 2) Menentukan rentang (R) = $16,8300 - 4,6300 = 12,2000$
- 3) Menentukan panjang kelas interval (P) = $12,2000 / 6,9965 = 1,7437$
- 4) Perhitungan standar deviasi data kadar air:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(11,82 - 10,814)^2 + (9,52 - 10,814)^2 + \dots + (5,17 - 10,814)^2}{64}}$$

$$= 2,8955$$

- 5) Contoh perhitungan nilai Z untuk kelas ke-1

$$Z_1 = \frac{BKB - \mu}{\sigma} = \frac{44,00 - 67,644}{11,4175} = -2,3540$$

$$Z_2 = \frac{BKA - \mu}{\sigma} = \frac{51,00 - 67,644}{11,4175} = -1,6633$$

- 6) Contoh perhitungan nilai e untuk kelas ke 1

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= P(-2,3540 < Z < -1,6633) \\ &= P(Z < -1,6633) - P(Z < -2,3540) \\ &= 0,0481 - 0,0093 = 0,0388 \end{aligned}$$

$$e_1 = 0,0388 \times 64 = 2,4860$$

Tabel 4.12. Distribusi Frekuensi Data Kadar Air Batako

Interval Kelas		Oi	Pe mb ulat an Ei	Z ₁	Z ₂	PZ ₁	PZ ₂	Luas	Ei
Min	Max			$\frac{BKB - \mu}{\sigma}$	$\frac{BKA - \mu}{\sigma}$			P(Z ₁ < Z ₂)	LUAS x n
4,0	6,0	5	3	-2,3540	-1,6633	0,0093	0,0481	0,0388	2,4860
6,0	8,0	5	8	-1,6633	-0,9725	0,0481	0,1654	0,1173	7,5049
8,0	10,0	15	14	-0,9725	-0,2818	0,1654	0,3890	0,2237	14,3140
10,0	12,0	16	17	-0,2818	0,4089	0,3890	0,6587	0,2697	17,2580
12,0	14,0	14	13	0,4089	1,0997	0,6587	0,8643	0,2056	13,1555
14,0	16,0	7	7	1,0997	1,7904	0,8643	0,9633	0,0990	6,3388
16,0	18,0	2	2	1,7904	2,4811	0,9633	0,9935	0,0301	1,9294
Total		64	64						62,9866

Pada tabel diketahui bahwa pada kelas pertama dan kelas ke tujuh jumlah data harapan (Ei) adalah kurang dari 5, sehingga dilakukan penggabungan sel-sel yang berdekatan. Sel yang digabungkan yaitu sel pertama nilai data harapan 3 dengan sel kedua dan sel keenam dengan sel ketujuh nilai data harapan 2.

- 7) Setelah dilakukan penggabungan untuk sel-sel yang berdekatan kemudian menghitung nilai *Chi-square*.

$$\chi^2 = \frac{(10 - 11)^2}{11} + \frac{(15 - 14)^2}{14} + \frac{(16 - 17)^2}{17} + \frac{(14 - 13)^2}{13} + \frac{(9 - 9)^2}{9} = 0,29808$$

Tabel 4.13. Uji Normalitas Data Kadar Air batako

Kelas		Oi	Ei	Penggabungan Ei < 5	Oi	Chi Hitung	db	Chi Tabel
Min	Max	Teramati	Harapan			$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$	k - 3	(0.05,(5-3))
4	6	5	3	11	10	0,09091	2	5,9915
6	8	5	8					
8	10	15	14	14	15	0,07143		
10	12	16	17	17	16	0,05882		
12	14	14	13	13	14	0,07692		
14	16	7	7	9	9	0,00000		
16	18	2	2					
Total		64	64	64	64	0,29808		

Untuk uji normalitas data kadar air besar derajat kebebasan (df) $5 - 3 = 2$ sehingga diperoleh nilai *Chi-Square* tabel $\chi^2_{tabel} = \chi^2_{\alpha, (k-1)} = \chi^2_{0,05(5-3)} = 5,9915$. Dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai *Chi-Square* hitung dari kadar air batako diperoleh hasil 0,298. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh bahwa nilai (*Chi-Square*) $\chi^2_{hitung} = 0,298 < \chi^2_{tabel} = 5,9915$ maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa nilai *Chi-Square* berada didaerah penerimaan maka hipotesisi (H_0) diterima. Dengan demikian maka data kadar air berdistribusi normal, sehingga dapat dilakukan langkah berikutnya untuk uji homogenitas.

4.2.7.2. Uji Homogenitas

Setelah data dilakukan uji normalitas dan data berdistribusi normal maka selanjutnya dilakukan uji homogenitas, tetapi apabila data tidak berdistribusi normal maka perlu ditambah data sampel dari populasi atau membuang data yang tidak normal. Uji homogenitas bertujuan untuk mengetahui apakah data dari uji kuat tekan dan kadar air bersifat homogenitas.

- 1) Bentuk uji hipotesisnya adalah sebagai berikut:
 - a. H_0 : Tidak ada perbedaan proporsi antara data replikasi (data bersifat homogen).
 - b. H_1 : Ada perbedaan proporsi antara data replikasi (data tidak homogen).
- 2) Kriteria pengujian adalah sebagai berikut:
 - a. Nilai $\chi^2_{hitung} \leq \chi^2_{tabel}$, maka H_0 diterima (data bersifat homogen)
 - b. Nilai $\chi^2_{hitung} \geq \chi^2_{tabel}$, maka H_0 ditolak (data tidak homogen)

Uji homogenitas kuat tekan dan kadar air batako dilakukan dengan langkah-langkah dan rumus pada halaman 43. Berikut ini merupakan perhitungan uji homogenitas untuk kuat tekan dan kadar air batako.

1. Respon Kuat Tekan batako

Berikut ini merupakan perhitungan yang dilakukan untuk uji homogenitas kuat tekan batako.

- Derajat kebebasan (dk) = $8 - 1 = 7$
- Contoh perhitungan varians (Si^2) data kuat tekan Replikasi 1:

$$Si^2 = \sqrt{\frac{\sum (67,61 - 67,6435)^2 + (71,66 - 67,6435)^2 + \dots + (62,63 - 67,6435)^2}{64}}$$

$$= 13,5258$$

Kemudian dilakukan perhitungan untuk varians satu sampai delapan dari data replikasi kuat tekan, data perhitungan dari varians dapat dilihat pada tabel

- Contoh perhitungan $dk \times \log Si^2 = 7 \times \log 13,5258 = 7,9181$ untuk data kuat tekan replikasi 1 kemudian dilakukan perhitungan pada seluruh replikasi, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel.
- Nilai varians gabungan semua kelompok

$$S_{gab}^2 = \frac{(7 \times 13,53) + (7 \times 12,70) + (7 \times 12,71) + (7 \times 12,40) + \dots + (7 \times 10,7)}{7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7}$$

$$= 12,0123$$

- Nilai Bartlett (B) = $(7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7) \log 12,0123 = 60,46$
- Nilai Chi-Square $\chi^2 = (\ln 10)[60,327 - 60,327] = 0,3054$

Tabel dibawah ini merupakan tabel perhitungan nilai varians, *Chi-Square* untuk delapan replikasi kuat tekan batako.

Tabel 4.14. Uji Homogenitas Data Kuat Tekan batako

Si^2	$dk = n - 1$	$(n_i - 1)Si^2$	S_{gab}^2	B	$(n - 1) \log Si$	χ^2 hitung	χ^2 tabel (0.05,7)
13,5257	7	94,6802			7,9181		
12,6997	7	88,8978			7,7266		
12,7045	7	88,9312			7,7277		
12,4039	7	86,8276			7,6549		
12,0944	7	84,6609	12,0123	60,4591	7,5781	0,3054	14,0671
9,4950	7	66,4653			6,8425		
12,4605	7	87,2235			7,6687		
10,7147	7	75,0030			7,2099		
Total	56	672,6897			60,3265		

Nilai probabilitas kesalahan yang digunakan adalah $(\alpha) = 0,05$ dengan tingkat kepercayaan 95%, maka nilai probabilitas kesalahan yang digunakan dalam uji homogenitas kuat tekan dan kadar air batako adalah : $(1 - \alpha) = 1 - 95\% = 0,05$. Nilai *Chi-Square* tabel dengan derajat kebebasan $(dk) = 8 - 1 = 7$ adalah $\chi^2_{tabel} = \chi^2_{(1-\alpha; dk=n-1)} = \chi^2_{0,05(7)} = 14,0671$. Berdasarkan hasil perhitungan uji homogenitas data kuat tekan batako diperoleh hasil untuk *Chi-Square* hitung sebesar 0,3054 sehingga hasil $\chi^2_{hitung} = 0,3054 < \chi^2_{tabel} = 14,067$ dengan demikian maka H_0 diterima. Dapat disimpulkan bahwa data kuat tekan batako homogen atau dapat diasumsikan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar data replikasi (data seragam), sehingga dapat dilakukan langkah berikutnya untuk pengolahan data ANOVA.

2. Respon Kadar Air Batako

Uji homogenitas kadar air batako dilakukan dengan langkah-langkah dan rumus yang sama dengan uji homogenitas kuat tekan batako. Berikut ini merupakan perhitungan uji homogenitas data kadar air batako.

- Menghitung derajat kebebasan $(dk) = 8 - 1 = 7$
- Contoh perhitungan varians (Si^2) data kadar air Replikasi 1:

$$Si^2 = \sqrt{\frac{\sum(11,82 - 10,814)^2 + (14,68 - 10,814)^2 + \dots + (5,61 - 10,814)^2}{64}}$$

$$= 2,9911$$

- Contoh perhitungan $dk \times LogSi^2 = 7 \times \log 2,9911 = 3,3308$ untuk data kadar air replikasi 1 kemudian dilakukan perhitungan pada seluruh replikasi, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel.
- Nilai varians gabungan semua kelompok

$$S^2_{gab} = \frac{(7 \times 3,01) + (7 \times 2,17) + (7 \times 3,38) + (7 \times 2,62) + \dots + (7 \times 3,507)}{7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7}$$

$$= 3,0067$$

- e. Nilai Bartlett $B = (7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7) \log 3,0067 = 26,7727$
 f. Nilai *Chi-Square* (χ^2) = $(\ln 10)[26,7727 - 26,4474] = 0,7489$

Tabel 4.15 Uji Homogenitas Data Kadar air batako

Si^2	$dk = n - 1$	$(n_i - 1)Si^2$	S^2	B	$(n - 1) \log Si$	χ^2 hitung	χ^2 tabel (0.05,7)
2,9911	7	20,9375			3,3308		
2,1732	7	15,2121			2,3596		
3,3796	7	23,6573			3,7021		
2,6225	7	18,3572			2,9310		
2,5687	7	17,9810	3,0067	26,7727	2,8680	0,7489	14,06714
3,5941	7	25,1586			3,8891		
3,2174	7	22,5218			3,5525		
3,5067	7	24,5471			3,8143		
Total	56	168,3727			26,4474		

Nilai *Chi-Square* tabel kadar air dengan derajat kebebasan (db) = $8 - 1 = 7$ adalah $\chi^2_{tabel} = \chi^2_{(1-\alpha; dk=n-1)} = \chi^2_{0,05(7)} = 14,0671$. Berdasarkan hasil perhitungan uji homogenitas data kadar air batako diatas *Chi-Square* hitung diperoleh hasil 0,7489 sehingga hasil $\chi^2_{hitung} = 0,7489 < \chi^2_{tabel} = 14,0671$ dengan demikian maka H_0 diterima. Dapat disimpulkan bahwa data kadar air batako homogen atau dapat diasumsikan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar data replikasi (data seragam), sehingga dapat dilakukan langkah berikutnya untuk pengolahan data ANOVA.

4.2.7.3. Uji ANOVA (*Analysis of Variance*)

Setelah data dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas kemudian dilakukan uji ANOVA dari ketujuh faktor kendali. Analisis variansi (ANOVA) dilakukan untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari tujuh faktor yang telah di identifikasikan terhadap respon. Langkah-langkah perhitungan dengan menggunakan analisis variansi adalah:

Berdasarkan tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari faktor kendali terhadap rata-rata hasil eksperimen respon.

- 1) Bentuk uji hipotesisnya adalah sebagai berikut:
 - a. Faktor A (Perbandingan semen dan Agregat)

H_0 : tidak ada pengaruh faktor perbandingan semen dan agregat terhadap respon

H_1 : ada pengaruh faktor perbandingan semen dan agregat terhadap respon
 - b. Faktor B (Perbandingan Agregat Halus dan Agregat kasar)

H_0 : tidak ada pengaruh faktor perbandingan agregat halus dan kasar terhadap respon

H_1 : ada pengaruh faktor perbandingan agregat halus dan kasar terhadap respon
 - c. Faktor C (Perbandingan air semen/ fas)

H_0 : tidak ada pengaruh faktor perbandingan air semen (fas) terhadap respon

H_1 : ada pengaruh faktor perbandingan air semen (fas) terhadap respon
 - d. Faktor D (Jumlah Abu tempurung kelapa)

H_0 : tidak ada pengaruh faktor jumlah abu tempurung kelapa terhadap respon

H_1 : ada pengaruh faktor jumlah abu tempurung kelapa terhadap respon
 - e. Faktor E (Lama Pengadukan)

H_0 : tidak ada pengaruh faktor lama pengadukan terhadap respon

H_1 : ada pengaruh faktor lama pengadukan terhadap respon
 - f. Faktor F (Lama Tekanan)

H_0 : tidak ada pengaruh faktor lama tekanan terhadap respon

H_1 : ada pengaruh faktor lama tekanan terhadap respon
 - g. Faktor G (Lama Penjemuran)

H_0 : tidak ada pengaruh lama penjemuran terhadap respon

H_1 : ada pengaruh lama penjemuran terhadap respon
- 2) Kriteria pengujian ANOVA adalah sebagai berikut:
 - a. Apabila $F_{hitung} \leq F_{tabel}$: H_0 diterima (tidak ada pengaruh)
 - b. Apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$: H_0 ditolak (ada pengaruh)

Uji homogenitas kuat tekan dan kadar air batako dilakukan dengan langkah-langkah dan rumus pada halaman 47. Berikut ini merupakan perhitungan uji ANOVA untuk kuat tekan dan kadar air batako.

1. Respon Kuat Tekan Batako

Untuk *Analysis Varians* (ANOVA) data kuat tekan untuk mengetahui faktor berpengaruh terhadap variabel respon dilakukan perhitungan sebagai berikut:

a. Nilai harga *Sum of Square* (SS) atau jumlah kuadrat total

a) *Total Sum of Square* (SST) atau jumlah kuadrat total

$$T = 67,61 + 70,76 + 69,16 + 70,01 + 69,90 + \dots + 61,93 = 4329,18$$

$$CF = \frac{T^2}{N} = \frac{(4329,18)^2}{64} = 292840,98$$

$$SST = [67,61^2 + 70,76^2 + 69,90^2 + \dots + 61,93^2] - 292840,98 = 8212,69$$

b) Dilakukan perhitungan *Sum of Square* atau jumlah kuadrat untuk semua faktor faktor, misalnya perhitungan faktor A adalah

$$SSA = \left[\left(\frac{2402,92^2}{32} + \frac{1926,18^2}{32} \right) - \frac{4329,18^2}{64} \right]$$

$$SSA = [29390,88 - 292840,98] = 3549,901$$

Untuk perhitungan *Sum of Square* faktor A sampai faktor G dapat dilihat pada tabel.

c) *Sum of Square* atau jumlah kuadrat *error* (SSE)

$$SSE = 8212,69 - 3549,90 - 2914,92 - 120,20 - \dots - 37,88 = 561,79$$

b. Menghitung *degree of freedom* (df) atau derajat bebas

a) *Degree of Freedom total* (df_T), dirumuskan dengan:

$$Df_T = N - 1 = 64 - 1 = 63$$

b) *Degree of Freedom* suatu faktor, dirumuskan dengan:

$$df_A = K_A - 1 = 8 - 1 = 7$$

c) *Degree of Freedom error* (dfe), dirumuskan dengan :

$$dfe = df_T - df_{factor} = 63 - 7 = 56$$

c. Mengitung *mean of square* (Mq) atau rata-rata jumlah kuadrat suatu faktor

$$Mq_A = \frac{SSA}{df_A} = \frac{3549,90}{1} = 3549,90$$

- d. Menghitung F ratio suatu faktor

$$F_{ratio} = \frac{Mq}{Mqe} = \frac{3549,90}{10,03} = 353,857$$

- e. Menghitung *pure of square* (SS') suatu faktor

$$SS' = 3549,90 - (1 \times 10,03) = 3539,9$$

- f. Menghitung persen kontribusi (P) suatu faktor

$$P = \left[\frac{3539,9}{8212,69} \right] \times 100\% = 0,4310$$

Tabel 4.16. Hasil perhitungan jumlah Replikasi Kuat tekan

Level	A	B	C	D	E	F	G
	Jumlah Replikasi (R)						
1	2402,92	1948,63	2208,45	2249,11	2068,40	2171,73	2189,21
2	1926,27	2380,55	2120,74	2080,07	2260,79	2157,45	2139,97
Total	4329,18	4329,18	4329,18	4329,18	4329,18	4329,18	4329,18
Ranking	A1	B2	C1	D1	E2	F1	G1

Tabel 4.17. Hasil perhitungan ANOVA Respon Kuat Tekan

		SS	MS	Fhitung	Ftabel	Keputusan	SS'	% Kontribusi	Ranking
Derajat Bebas (V)									
Sumber Variansi									
A	1	3549,9	3549,9	353,8570	4,0130	Ditolak	3539,87	0,4310	1
B	1	2914,92	2914,92	290,5618	4,0130	Ditolak	2904,89	0,3537	2
C	1	120,201	120,201	11,9817	4,0130	Ditolak	110,169	0,0134	5
D	1	446,463	446,463	44,5038	4,0130	Ditolak	436,431	0,0531	4
E	1	578,336	578,336	57,6490	4,0130	Ditolak	568,304	0,0692	3
F	1	3,1866	3,1866	0,3176	4,0130	Diterima	-6,8454	-0,0008	
G	1	37,8828	37,8828	3,7762	4,0130	Diterima	27,8508	0,0034	
SSE	56	561,793	10,032				632,017	0,0770	
Total	63	8212,69						1	

Didalam pengujian ANOVA untuk variabel respon kuat tekan dan kadar air dilakukan perbandingan nilai statistic (F_{hitung}) dengan nilai titik kritis (F_{tabel}). Tingkat probabilitas kesalahan (α) = 0,05 dengan tingkat kepercayaan 95%, maka nilai probabilitas kesalahan:

$(1 - \alpha) = 1 - 95\% = 0,05$ sehingga nilai $F_{tabel} = F_{0,05,1,56} = 4,0130$. Dari hasil perhitungan untuk respon kuat tekan diperoleh F_{hitung} untuk faktor A adalah 353,857 dengan kontribusi sebesar 0,4310%, untuk faktor B hasil F_{hitung} 290,562 dengan kontribusi sebesar 0,3537%, untuk faktor C hasil F_{hitung} 11,9817 dengan kontribusi sebesar 0,0134%, untuk faktor D hasil F_{hitung} 44,503 dengan kontribusi sebesar 0,0531%, untuk faktor E hasil F_{hitung} 57,649 dengan kontribusi sebesar 0,0692%, untuk faktor F hasil F_{hitung} 0,3176 dengan kontribusi sebesar - 0,0008% dan untuk faktor G hasil F_{hitung} 3,7762 dengan kontribusi sebesar 0,007%.

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan maka dapat diketahui nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu faktor A, faktor B, faktor C, faktor D, faktor E, sehingga H_0 ditolak yang artinya bahwa ada pengaruh faktor A, faktor B, faktor C, faktor D, faktor E terhadap respon sedangkan untuk faktor F dan faktor G, H_0 diterima artinya tidak ada pengaruh faktor F dan faktor G terhadap respon kuat tekan

2. Respon Kadar Air Batako

Untuk *Analysis Varians* (ANOVA) data kadar air untuk mengetahui faktor berpengaruh terhadap variabel respon dilakukan perhitungan sebagai berikut:

a. Menghitung harga *Sum of Square* (SS) atau jumlah kuadrat total

a) *Total Sum of Square* (SST) atau jumlah kuadrat total

$$T = 11,82 + 9,52 + 12,28 + 12,38 + 11,32 + 10,28 + \dots + 5,17 = 692,22$$

$$CF = \frac{T^2}{N} = \frac{(692,09)^2}{64} = 7487$$

$$SST = [11,82^2 + 9,52^2 + 12,28^2 + \dots + 5,17^2] - 7487 = 528,18$$

b) Dilakukan perhitungan *Sum of Square* atau jumlah kuadrat untuk semua faktor faktor, misalnya perhitungan faktor A adalah

$$SSA = \left[\left(388,43^2 / 32 + 303,79^2 / 32 \right) - \frac{7487^2}{64} \right]$$

$$SSA = [7598,945 - 7487] = 111,94$$

Untuk perhitungan *Sum of Square* faktor A sampai faktor G dapat dilihat pada tabel

c) *Sum of Square* atau jumlah kuadrat *error* (SSE)

$$SSE = 528,12 - 111,94 - 26,27 - 7,88 - \dots - 88,08 = 65,07$$

b. Menghitung *degree of freedom* (df) atau derajat bebas

a) *Degree of Freedom total* (df_T), dirumuskan dengan:

$$Df_T = N - 1 = 64 - 1 = 63$$

b) *Degree of Freedom* suatu faktor, dirumuskan dengan:

$$df_A = K_A - 1 = 8 - 1 = 7$$

c) *Degree of Freedom error* (dfe), dirumuskan dengan :

$$dfe = df_T - df_{factor} = 63 - 7 = 56$$

c. Menghitung *mean of square* (Mq) atau rata-rata jumlah kuadrat suatu faktor

$$Mq_A = \frac{SSA}{df_A} = \frac{111,94}{1} = 111,94$$

d. Menghitung F ratio suatu faktor

$$F_{ratio} = \frac{Mq}{Mqe} = \frac{111,59}{1,16} = 96,336$$

e. Menghitung *pure of square* (SS') suatu faktor

$$SS' = 111,94 - (1 \times 1,16) = 110,77$$

f. Menghitung persen kontribusi (P) suatu faktor

$$P = \left[\frac{111,94}{529,63} \right] \times 100\% = 0,21$$

Tabel 4.18. Hasil perhitungan jumlah Replikasi

Level	A	B	C	D	E	F	G
	Jumlah Replikasi (R)						
1	388,43	366,61	357,34	334,13	297,36	312,30	383,65
2	303,79	325,61	334,88	358,09	394,86	379,92	308,57
Total	692,22	692,22	692,22	692,22	692,22	692,22	692,22
Ranking	A2	B2	C2	D1	E1	F1	G2

Tabel 4.19. Hasil perhitungan ANOVA Respon Kadar Air

Sumber Variansi	Derajat Bebas (V)	SS	MS	F _{hitung}	F _{tabel}	Keputusan	SS'	% Kontribusi	Ranking
A	1	111,9 4	111,9 4	96,336	4,013	Ditolak	110,7 7	0,21	2
B	1	26,27	26,27	22,605	4,013	Ditolak	25,10	0,05	5
C	1	7,88	7,88	6,784	4,013	Ditolak	6,72	0,01	7
D	1	8,97	8,97	7,720	4,013	Ditolak	7,81	0,01	6
E	1	148,5 4	148,5 4	127,83 4	4,013	Ditolak	147,3 7	0,28	1
F	1	71,44	71,44	61,487	4,013	Ditolak	70,28	0,13	4
G	1	88,08	89,08	75,803	4,013	Ditolak	86,92	0,16	3
SSE	56	65,07	1,16				73,20	0,14	
Total	63	528,1 8						1,00	

Dari hasil perhitungan untuk respon kadar air diperoleh F_{hitung} untuk faktor A adalah 96,336 dengan kontribusi sebesar 0,21%, untuk faktor B hasil F_{hitung} 26,27 dengan kontribusi sebesar 0,05%, untuk faktor C hasil F_{hitung} 6,784 dengan kontribusi sebesar 0,01%, untuk faktor D hasil F_{hitung} 7,720 dengan kontribusi sebesar 0,01%, untuk faktor E hasil F_{hitung} 147,37 dengan kontribusi sebesar 0,28%, untuk faktor F hasil F_{hitung} 70,28 dengan kontribusi sebesar 0,13% dan untuk faktor G hasil F_{hitung} 86,92 dengan kontribusi sebesar 0,14%.

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan maka dapat diketahui nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu faktor A, faktor B, faktor C, faktor D, faktor E, faktor F dan faktor G sehingga H_0 ditolak yang artinya bahwa ada pengaruh faktor A, faktor B, faktor C, faktor D, faktor E, faktor F dan faktor G (semua faktor berpengaruh) terhadap respon kadar air.

4.2.7.4. Perhitungan Signal to Noise Ratio (SNR) dan Efek Tiap Faktor

Untuk perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) kuat tekan menggunakan SN *Large the Better* (LTB) sedangkan kadar air menggunakan SN *Smaller the Better*.

1. Respon Kuat Tekan Batako

Dalam perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) untuk kuat tekan menggunakan SN *Large the Better* (LTB). Hal tersebut dikarenakan semakin besar kuat tekan batako maka akan semakin baik kualitas batako tersebut. Perhitungan ini dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$S/N_{LTB} = -\text{Log}_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

Efek tiap faktor perhitungan secara manual menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{efek faktor} = \frac{1}{a} \sum SNR$$

Berikut merupakan contoh perhitungan manual SNR hasil eksperimen ke-1 respon data kuat tekan batako.

$$S/N_{LTB} = -\log \left[\frac{1}{8} \times \left(\frac{1}{67,61^2} + \frac{1}{70,76^2} + \dots + \frac{1}{61,34^2} \right) \right] = 36,9385$$

Tabel dibawah ini adalah hasil perhitungan SNR untuk semua eksperimen pada respon kuat tekan batako.

Tabel 4.20. Nilai SNR Kuat Tekan Batako

Trial	L8							Total $\frac{1}{\overline{y^2}}$	$\frac{1}{n} \times \sum y^2$	SNR
	Coloumn Number									
	1	2	3	4	5	6	7			
1	1	1	1	1	1	1	1	0,00162	0,0002024	36,9385
2	1	1	1	2	2	2	2	0,00168	0,0002100	36,7775
3	1	2	2	1	1	2	2	0,00128	0,0001603	37,9501
4	1	2	2	2	2	1	1	0,00121	0,0001509	38,2135
5	2	1	2	1	2	1	2	0,00248	0,0003094	35,0949
6	2	1	2	2	1	2	1	0,00366	0,0004573	33,3977
7	2	2	1	1	2	2	1	0,00144	0,0001805	37,4351
8	2	2	1	2	1	1	2	0,00209	0,0002613	35,2879

Tabel 4.21. Efek tiap faktor untuk respon kuat tekan batako

Tabel Respon							
	A	B	C	D	E	F	G
Level 1	37,4699	35,5522	36,7448	36,8546	36,0286	36,5187	36,4962
Level 2	35,4389	37,3566	36,1640	36,0542	36,8802	36,3901	36,4126
Selisih	2,0310	1,8045	0,5807	0,8005	0,8517	0,1286	0,0836
Ranking	1	2	5	4	3	6	7
	A1	B2	C1	D1	E2	F1	G1

Menurut Balavendram (1995), formulasi terbaik didapat dari pemilihan nilai SNR dengan level faktor yang paling besar. Sehingga dari kuat tekan batako, didapatkan formulasi level faktor optimal A1 B2 C1 D1 E2 F1 G1.

2. Respon Kadar Air Batako

Dalam perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) untuk kadar air menggunakan SN *Smaller the Better* (STB). Hal tersebut dikarenakan semakin kecil kadar air yang terdapat dalam batako maka akan semakin baik kualitas batako tersebut. Perhitungan ini dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$S/N_{STB} = -\text{Log}_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

Efek tiap faktor perhitungan secara manual menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{efek faktor} = \frac{1}{a} \sum SNR$$

Berikut merupakan contoh perhitungan manual SNR hasil eksperimen ke-1 respon data kadar air batako

$$S/N_{STB} = -10 \log \left[\frac{1}{8} \times (11.82^2 + 9.52^2 + \dots + 11.78^2) \right] = -21.13 \text{ kg}$$

Tabel dibawah ini adalah hasil perhitungan SNR untuk semua eksperimen pada respon kadar air batako.

Tabel 4.22. Nilai SNR kadar air batako

Trial	L8							Total y ²	$\frac{1}{n} \times \sum y^2$	SNR
	Coloumn Number									
	1	2	3	4	5	6	7			
1	1	1	1	1	1	1	1	1037,17	129,65	-21,13
2	1	1	1	2	2	2	2	1793,15	224,14	-23,51
3	1	2	2	1	1	2	2	669,05	84,38	-19,26
4	1	2	2	2	2	1	1	1397,36	174,67	-22,42
5	2	1	2	1	2	1	2	610,72	76,34	-18,83
6	2	1	2	2	1	2	1	949,47	118,68	-20,74
7	2	2	1	1	2	2	1	1274,06	159,26	-22,02
8	2	2	1	2	1	1	2	278,21	34,78	-15,41

Contoh perhitungan secara manual untuk efek faktor A level 1

$$\text{Efek Faktor} = \frac{1}{4} (-21,13 + (-23,51) + (-19,26) + (-22,42)) = -21,5794$$

Tabel dibawah ini adalah efek faktor untuk SNR respon kadar air batako yang menunjukkan seberapa besar efek yang dapat mempengaruhi kualitas batako dari respon kadar air oleh masing-masing faktor.

Tabel 4.23. Efek tiap faktor untuk respon kadar air batako

Tabel Respon							
	A	B	C	D	E	F	G
Level 1	-21,5794	-21,0511	-20,5167	-20,3096	-19,1367	-19,4475	-21,5787
Level 2	-19,2513	-19,7796	-20,3140	-20,5211	-21,6940	-21,3832	-19,2520
Selisih	2,3281	1,2714	0,2027	0,2114	2,5573	1,9356	2,3266
Ranking	2	5	7	6	1	4	3
	A2	B2	C2	D1	E1	F1	G2

Formulasi terbaik didapat dari pemilihan nilai SNR dengan level faktor yang nilainya paling besar walaupun menggunakan SN *smaller the Better*. Sehingga dari kadar air batako, didapatkan formulasi level faktor optimal A2 B2 C2 D1 E1 F1 G2.

4.2.7.5. Uji Prediksi

Uji prediksi dilakukan untuk mengetahui hubungan antar faktor, terutama untuk menelusuri pola hubungan yang modelnya belum diketahui. Analisis regresi dapat dijadikan alat bantu untuk menganalisis hubungan tersebut.

Data yang digunakan untuk analisis regresi didapatkan dari hasil eksperimen yang telah dilakukan. Tujuan dari analisis ini adalah untuk melihat secara keseluruhan eksperimen yang seharusnya dilakukan. Uji prediksi dilakukan karena pada eksperimen taguchi hanya terdapat 8 trial atau 8 eksperimen yang sudah dianggap mewakili keseluruhan eksperimen yang seharusnya dilakukan. Karena memiliki $L_n = 2^7$ dengan 4 replikasi dan 1 faktor *noise* (level 1 dan 2) maka jumlah prediksi yang dilakukan adalah sebanyak $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 128 \text{ trial} \times 4 \text{ Replikasi} \times 2 = 1024 \text{ trial}$ atau eksperimen secara keseluruhan untuk respon kuat tekan. Kemudian juga dilakukan uji prediksi untuk kadar air sebanyak 1024 trial sehingga total uji prediksi yang dilakukan sebanyak 2048 trial.

Dalam uji prediksi ini menggunakan regresi linear berganda karena melibatkan lebih dari satu variabel yang mempengaruhi. Regresi linear dilakukan dengan bantuan *software* SPSS. Dari koefisien regresi yang didapatkan, kemudian dilakukan pengujian terhadap keseluruhan eksperimen dengan rumus berikut:

$$Y_{ij} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Dimana:

Y_{ij} = variabel yang diramalkan (*dependent variabel*), yaitu hasil prediksi eksperimen ke-I, pada respon j.

$X_1, X_2, \dots, X_n$ = variabel yang diketahui (*independent variabel*), yaitu nilai level tiap faktor

b_1, b_2, b_3 = koefisien regresi masing-masing faktor, hasil regresi linear berganda

1) Respon Kuat Tekan Batako

Berikut merupakan hasil dari regresi linear berganda respon kuat tekan batako pada tabel disetiap replikasinya.

Tabel 4.24. Hasil regresi masing-masing replikasi respon Kuat Tekan batako

Persamaan	A	b _A	b _B	b _C	b _D	b _E	b _F	b _G
R1	69,003	-16,719	16,506	-5,23	-2,806	6,681	2,144	-1,967
R2	74,446	-14,606	16,756	-3,436	-,337	5,419	-4,493	-2,987
R3	72,861	-15,388	15,267	-3,554	-7,198	5,385	1,003	0,784
R4	72,610	-14,586	15,104	-0,652	-2,712	7,330	-1,187	-5,893
R5	76,976	-16,913	10,22	-0,556	-6,725	8,549	-1,682	0,032
R6	80,184	-12,256	8,982	-2,437	-6,581	5,75	-0,399	-1,481
R7	84,096	-14,771	13,985	-3,490	-10,565	2,086	1,216	0,660
R8	75,697	-13,922	11,161	-2,571	-5,335	6,897	-0,174	-0,865

Contoh perhitungan prediksi eksperimen kombaini level faktor A1 B2 C2 D2 E1 F2 G1 (eksperimen ke 50) pada replikasi 1 respon kuat tekan batako adalah sebagai berikut:

$$Y_{50\ 1} = 69,003 + (-16,719 \times 1) + (16,506 \times 1) + (-5,23 \times 1) + (-2,806 \times 2) \\ + (6,681 \times 1) + (2,144 \times 2) + (-1,967 \times 2) = 64,98$$

Dilakukan pula perhitungan prediksi keseluruhan eksperimen yang dapat dilihat pada tabel.

Tabel 4.25. Hasil Uji Prediksi Kuat Tekan

Trial	Respon Kuat Tekan							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
1	67,61	70,76	69,16	70,01	69,90	71,76	72,62	70,89
2	64,81	70,43	61,96	67,30	63,18	65,18	62,06	65,55
3	62,38	67,33	65,61	69,36	69,35	69,33	69,13	68,32
4	59,58	66,99	58,41	66,65	62,62	62,74	58,57	62,98
5	84,12	87,52	84,43	85,12	80,12	80,74	86,61	82,05
6	81,31	87,18	77,23	82,41	73,40	74,16	76,04	76,71
7	78,89	84,08	80,87	84,47	79,57	78,31	83,12	79,48
8	76,08	83,75	73,68	81,75	72,84	71,73	72,55	74,14
9	50,89	56,16	53,77	55,43	52,99	59,51	57,85	56,97
10	48,09	55,82	46,57	52,72	46,26	52,93	47,29	51,63
11	45,66	52,72	50,22	54,78	52,43	57,07	54,36	54,40
12	42,86	52,38	43,02	52,06	45,71	50,49	43,80	49,06
13	67,40	72,91	69,04	70,53	63,21	68,49	71,84	68,13
14	64,59	72,58	61,84	67,82	56,48	61,91	61,27	62,79
15	62,17	69,48	65,49	69,88	62,65	66,05	68,35	65,56
16	59,36	69,14	58,29	67,17	55,93	59,47	57,78	60,22
17	65,65	67,78	69,94	64,12	69,93	70,28	72,69	70,02
18	62,84	67,44	62,75	61,41	63,21	63,70	62,12	64,69
19	60,42	64,34	66,39	63,47	69,38	67,84	69,20	67,45
20	57,61	64,00	59,19	60,76	62,65	61,26	58,63	62,12
21	82,15	84,53	85,21	79,23	80,15	79,26	86,67	81,18
22	79,35	84,19	78,01	76,51	73,43	72,68	76,11	75,85
23	76,92	81,10	81,66	78,57	79,60	76,83	83,18	78,61
24	74,12	80,76	74,46	75,86	72,87	70,25	72,62	73,28
25	48,93	53,17	54,56	49,54	53,02	58,03	57,92	56,10
26	46,12	52,83	47,36	46,82	46,30	51,44	47,35	50,77
27	43,70	49,73	51,00	48,88	52,46	55,59	54,43	53,53
28	40,89	49,40	43,80	46,17	45,74	49,01	43,86	48,20
29	65,43	69,93	69,82	64,64	63,24	67,01	71,90	67,26
30	62,63	69,59	62,63	61,93	56,52	60,43	61,34	61,93
31	60,20	66,49	66,27	63,99	62,68	64,57	68,41	64,69
32	57,40	66,15	59,07	61,28	55,96	57,99	57,85	59,36
33	69,76	66,27	70,16	68,83	68,22	71,36	73,84	70,71
34	66,95	65,93	62,97	66,12	61,49	64,78	63,27	65,38
35	64,53	62,83	66,61	68,18	67,66	68,93	70,35	68,14

Trial	Respon Kuat Tekan							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
36	61,72	62,50	59,41	65,46	60,94	62,35	59,78	62,81
37	86,26	83,03	85,43	83,93	78,44	80,35	87,82	81,88
38	83,46	82,69	78,23	81,22	71,71	73,76	77,26	76,54
39	81,03	79,59	81,88	83,28	77,88	77,91	84,33	79,30
40	78,23	79,25	74,68	80,57	71,16	71,33	73,77	73,97
41	53,04	51,66	54,78	54,24	51,31	59,11	59,07	56,79
42	50,23	51,33	47,58	51,53	44,58	52,53	48,50	51,46
43	47,81	48,23	51,22	53,59	50,75	56,67	55,58	54,22
44	45,00	47,89	44,02	50,88	44,03	50,09	45,01	48,89
45	69,54	68,42	70,04	69,35	61,53	68,09	73,05	67,95
46	66,74	68,08	62,84	66,63	54,80	61,51	62,49	62,62
47	64,31	64,98	66,49	68,69	60,97	65,65	69,56	65,38
48	61,51	64,65	59,29	65,98	54,25	59,07	59,00	60,05
49	67,79	63,28	70,95	62,93	68,25	69,88	73,91	69,85
50	64,98	62,95	63,75	60,22	61,53	63,30	63,34	64,51
51	62,56	59,85	67,39	62,28	67,70	67,45	70,42	67,28
52	59,75	59,51	60,20	59,57	60,97	60,86	59,85	61,94
53	84,30	80,04	86,21	78,04	78,47	78,86	87,89	81,01
54	81,49	79,70	79,02	75,33	71,75	72,28	77,33	75,68
55	79,07	76,60	82,66	77,39	77,92	76,43	84,40	78,44
56	76,26	76,27	75,46	74,67	71,19	69,85	73,84	73,10
57	51,07	48,68	55,56	48,35	51,34	57,63	59,13	55,93
58	48,26	48,34	48,36	45,64	44,61	51,05	48,57	50,59
59	45,84	45,24	52,01	47,70	50,78	55,19	55,64	53,36
60	43,03	44,90	44,81	44,98	44,06	48,61	45,08	48,02
61	67,58	65,43	70,83	63,45	61,56	66,61	73,12	67,09
62	64,77	65,10	63,63	60,74	54,83	60,03	62,55	61,75
63	62,35	62,00	67,27	62,80	61,00	64,17	69,63	64,52
64	59,54	61,66	60,07	60,09	54,28	57,59	59,06	59,18
65	74,29	76,18	74,55	77,34	78,45	77,51	74,71	77,79
66	71,49	75,84	67,35	74,63	71,73	70,93	64,14	72,45
67	69,06	72,75	70,99	76,69	77,89	75,08	71,22	75,21
68	66,26	72,41	63,79	73,98	71,17	68,49	60,65	69,88
69	90,80	92,94	89,81	92,45	88,67	86,49	88,69	88,95
70	87,99	92,60	82,61	89,74	81,95	79,91	78,13	83,61

Trial	Respon Kuat Tekan							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
71	85,57	89,50	86,26	91,80	88,11	84,06	85,20	86,38
72	82,76	89,16	79,06	89,08	81,39	77,48	74,64	81,04
73	57,57	61,58	59,16	62,76	61,54	65,26	59,94	63,86
74	54,77	61,24	51,96	60,05	54,81	58,68	49,37	58,53
75	52,34	58,14	55,60	62,11	60,98	62,82	56,45	61,29
76	49,54	57,80	48,41	59,39	54,26	56,24	45,88	55,96
77	74,08	78,33	74,42	77,86	71,76	74,24	73,92	75,02
78	71,27	77,99	67,23	75,15	65,03	67,66	63,36	69,69
79	68,85	74,90	70,87	77,21	71,20	71,80	70,43	72,45
80	66,04	74,56	63,67	74,50	64,48	65,22	59,87	67,12
81	72,33	73,19	75,33	71,45	78,48	76,03	74,78	76,92
82	69,52	72,86	68,13	68,74	71,76	69,45	64,21	71,59
83	67,10	69,76	71,78	70,80	77,93	73,59	71,29	74,35
84	64,29	69,42	64,58	68,09	71,20	67,01	60,72	69,01
85	88,83	89,95	90,60	86,56	88,70	85,01	88,76	88,08
86	86,03	89,61	83,40	83,84	81,98	78,43	78,20	82,75
87	83,60	86,51	87,04	85,90	88,15	82,58	85,27	85,51
88	80,80	86,18	79,84	83,19	81,42	76,00	74,71	80,18
89	55,61	58,59	59,94	56,87	61,57	63,78	60,00	63,00
90	52,80	58,25	52,74	54,15	54,84	57,19	49,44	57,66
91	50,38	55,15	56,39	56,21	61,01	61,34	56,51	60,43
92	47,57	54,82	49,19	53,50	54,29	54,76	45,95	55,09
93	72,11	75,34	75,21	71,97	71,79	72,76	73,99	74,16
94	69,31	75,01	68,01	69,26	65,06	66,18	63,42	68,82
95	66,88	71,91	71,65	71,32	71,23	70,32	70,50	71,59
96	64,08	71,57	64,46	68,61	64,51	63,74	59,93	66,25
97	76,44	71,69	75,55	76,16	76,77	77,11	75,93	77,61
98	73,63	71,35	68,35	73,45	70,04	70,53	65,36	72,28
99	71,21	68,25	71,99	75,51	76,21	74,68	72,44	75,04
100	68,40	67,92	64,80	72,79	69,49	68,10	61,87	69,71
101	92,94	88,44	90,82	91,26	86,99	86,10	89,91	88,77
102	90,14	88,11	83,62	88,55	80,26	79,51	79,35	83,44
103	87,71	85,01	87,26	90,61	86,43	83,66	86,42	86,20
104	84,91	84,67	80,06	87,90	79,71	77,08	75,86	80,87
105	59,72	57,08	60,16	61,57	59,86	64,86	61,15	63,69

Trial	Respon Kuat Tekan							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
106	56,91	56,75	52,96	58,86	53,13	58,28	50,59	58,35
107	54,49	53,65	56,61	60,92	59,30	62,42	57,66	61,12
108	51,68	53,31	49,41	58,21	52,57	55,84	47,10	55,78
109	76,22	73,84	75,43	76,68	70,08	73,84	75,14	74,85
110	73,42	73,50	68,23	73,96	63,35	67,26	64,57	69,52
111	70,99	70,40	71,87	76,02	69,52	71,40	71,65	72,28
112	68,19	70,07	64,68	73,31	62,79	64,82	61,08	66,94
113	74,47	68,70	76,33	70,26	76,80	75,63	75,99	76,75
114	71,66	68,36	69,13	67,55	70,08	69,05	65,43	71,41
115	69,24	65,27	72,78	69,61	76,24	73,20	72,50	74,18
116	66,43	64,93	65,58	66,90	69,52	66,61	61,94	68,84
117	90,98	85,46	91,60	85,37	87,02	84,61	89,98	87,91
118	88,17	85,12	84,40	82,66	80,30	78,03	79,41	82,57
119	85,75	82,02	88,05	84,72	86,46	82,18	86,49	85,34
120	82,94	81,68	80,85	82,00	79,74	75,60	75,92	80,00
121	57,75	54,10	60,94	55,68	59,89	63,38	61,22	62,82
122	54,95	53,76	53,75	52,97	53,16	56,80	50,66	57,49
123	52,52	50,66	57,39	55,03	59,33	60,94	57,73	60,25
124	49,72	50,32	50,19	52,31	52,61	54,36	47,17	54,92
125	74,26	70,85	76,21	70,78	70,11	72,36	75,21	73,99
126	71,45	70,51	69,01	68,07	63,38	65,78	64,64	68,65
127	69,03	67,42	72,66	70,13	69,55	69,92	71,72	71,41
128	66,22	67,08	65,46	67,42	62,83	63,34	61,15	66,08

2) Respon Kadar Air Batako

Berikut merupakan hasil dari regresi linear berganda respon kadar air batako pada tabel disetiap replikasinya.

Tabel 4.26. Hasil regresi masing-masing replikasi respon kadar air batako

Persamaan	A	b _A	b _B	b _C	b _D	b _E	b _F	b _G
R1	13,490	-2,945	-1,080	-0,505	0,610	2,915	2,130	-2,795
R2	7,757	-1,647	-0,417	0,187	1,248	2,073	2,123	-1,802
R3	15,678	-2,172	-2,653	-1,383	0,357	3,678	1,828	-3,053
R4	15,395	-2,750	-2,215	-1,060	0,835	1,280	2,415	-1,520
R5	11,335	-2,230	0,505	-0,130	0,140	3,115	1,180	-2,595
R6	9,758	-3,512	-1,137	-1,378	2,012	3,733	2,787	-1,983
R7	13,51	-2,395	-1,070	-1,335	-0,575	3,830	2,225	-2,760
R8	12,528	-3,643	-2,048	-0,147	1,227	3,888	2,082	-2,128

Contoh perhitungan prediksi eksperimen kombaini level faktor A1 B2 C2 D2 E1 F2 G1 (eksperimen ke 40) pada replikasi 3 respon kadar air batako adalah sebagai berikut:

$$Y_{40\ 3} = 15,67 + (-2,172 \times 1) + (-2,653 \times 2) + (-1,383 \times 2) + (0,357 \times 2) \\ + (3,678 \times 1) + (1,828 \times 2) + (-3,053 \times 1) = 10,43\%$$

Kemudian dilakukan pula perhitungan prediksi keseluruhan eksperimen yang berjumlah 1024 eksperimen untuk kadar air batako dengan langkah-langkah dan rumus sesuai dengan contoh perhitungan. Hasil perhitungan prediksi keseluruhan eksperimen dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4.27. Hasil Uji Prediksi Kadar air

Trial	Respon Kadar Air							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
1	11,82	9,52	12,28	12,38	11,32	10,28	11,43	11,76
2	12,43	10,77	12,64	13,22	11,46	12,29	10,86	13,12
3	11,32	9,71	10,90	11,32	11,19	8,90	10,10	11,75
4	11,93	10,96	11,25	12,16	11,33	10,91	9,52	13,11
5	10,74	9,11	9,63	10,17	11,83	9,14	10,36	9,58
6	11,35	10,35	9,98	11,00	11,97	11,16	9,79	10,94
7	10,24	9,29	8,24	9,11	11,70	7,77	9,03	9,57
8	10,85	10,54	8,60	9,94	11,84	9,78	8,45	10,93
9	8,88	7,88	10,11	9,63	9,09	6,77	9,04	8,25
10	9,49	9,12	10,47	10,47	9,23	8,78	8,46	9,62
11	8,37	8,06	8,73	8,57	8,96	5,39	7,70	8,24
12	8,98	9,31	9,08	9,41	9,10	7,40	7,13	9,60
13	7,80	7,46	7,46	7,42	9,60	5,63	7,97	6,07
14	8,41	8,71	7,81	8,25	9,74	7,64	7,39	7,43
15	7,29	7,65	6,07	6,36	9,47	4,25	6,63	6,06
16	7,90	8,89	6,43	7,19	9,61	6,27	6,06	7,42
17	9,03	7,72	9,23	10,86	8,73	8,30	8,67	9,50
18	9,64	8,97	9,58	11,70	8,87	10,31	8,10	10,86
19	8,52	7,91	7,84	9,80	8,60	6,92	7,34	9,49
20	9,13	9,16	8,20	10,64	8,74	8,93	6,76	10,85
21	7,95	7,30	6,57	8,65	9,23	7,16	7,60	7,32
22	8,56	8,55	6,93	9,48	9,37	9,17	7,03	8,68
23	7,44	7,49	5,19	7,59	9,10	5,78	6,27	7,30
24	8,05	8,74	5,55	8,42	9,24	7,79	5,69	8,67
25	6,08	6,07	7,06	8,11	6,50	4,79	6,28	5,99
26	6,69	7,32	7,41	8,95	6,64	6,80	5,70	7,35
27	5,58	6,26	5,67	7,05	6,37	3,41	4,94	5,98
28	6,19	7,51	6,03	7,89	6,51	5,42	4,37	7,34
29	5,00	5,66	4,40	5,90	7,00	3,65	5,21	3,81
30	5,61	6,90	4,76	6,73	7,14	5,66	4,63	5,17
31	4,50	5,84	3,02	4,84	6,87	2,27	3,87	3,80
32	5,11	7,09	3,38	5,67	7,01	4,28	3,30	5,16
33	13,95	11,65	14,11	14,80	12,50	13,07	13,66	13,98
34	14,56	12,89	14,47	15,63	12,64	15,08	13,08	15,34
35	13,45	11,83	12,73	13,74	12,37	11,69	12,32	13,97

Trial	Respon Kadar Air							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
36	14,06	13,08	13,08	14,57	12,51	13,70	11,75	15,33
37	12,87	11,23	11,46	12,58	13,01	11,93	12,59	11,80
38	13,48	12,48	11,81	13,42	13,15	13,94	12,01	13,16
39	12,37	11,42	10,07	11,52	12,88	10,55	11,25	11,78
40	12,98	12,66	10,43	12,36	13,02	12,56	10,68	13,15
41	11,01	10,00	11,94	12,05	10,27	9,56	11,26	10,47
42	11,62	11,25	12,29	12,88	10,41	11,57	10,69	11,83
43	10,50	10,19	10,55	10,99	10,14	8,18	9,93	10,46
44	11,11	11,43	10,91	11,82	10,28	10,19	9,35	11,82
45	9,93	9,58	9,28	9,83	10,78	8,42	10,19	8,29
46	10,54	10,83	9,64	10,67	10,92	10,43	9,62	9,65
47	9,42	9,77	7,90	8,77	10,65	7,04	8,86	8,28
48	10,03	11,02	8,26	9,61	10,79	9,05	8,28	9,64
49	11,16	9,84	11,06	13,28	9,91	11,08	10,90	11,72
50	11,77	11,09	11,41	14,11	10,05	13,10	10,32	13,08
51	10,65	10,03	9,67	12,22	9,78	9,71	9,56	11,70
52	11,26	11,28	10,03	13,05	9,92	11,72	8,99	13,07
53	10,08	9,43	8,40	11,06	10,41	9,95	9,83	9,53
54	10,69	10,67	8,76	11,90	10,55	11,96	9,25	10,90
55	9,57	9,61	7,02	10,00	10,28	8,57	8,49	9,52
56	10,18	10,86	7,38	10,84	10,42	10,58	7,92	10,88
57	8,21	8,20	8,88	10,53	7,68	7,57	8,50	8,21
58	8,82	9,44	9,24	11,36	7,82	9,58	7,93	9,57
59	7,71	8,38	7,50	9,47	7,55	6,19	7,17	8,20
60	8,32	9,63	7,86	10,30	7,69	8,21	6,59	9,56
61	7,13	7,78	6,23	8,31	8,18	6,44	7,43	6,03
62	7,74	9,03	6,59	9,15	8,32	8,45	6,86	7,39
63	6,63	7,97	4,85	7,25	8,05	5,06	6,10	6,01
64	7,24	9,21	5,20	8,09	8,19	7,07	5,52	7,38
65	14,74	11,60	15,96	13,66	14,44	14,01	15,26	15,51
66	15,35	12,84	16,32	14,50	14,58	16,03	14,69	16,88
67	14,23	11,78	14,58	12,60	14,31	12,64	13,93	15,50
68	14,84	13,03	14,93	13,44	14,45	14,65	13,35	16,86
69	13,66	11,18	13,31	11,45	14,94	12,88	14,19	13,33
70	14,27	12,43	13,66	12,28	15,08	14,89	13,62	14,69

Trial	Respon Kadar Air							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
71	13,15	11,37	11,92	10,39	14,81	11,50	12,86	13,32
72	13,76	12,61	12,28	11,22	14,95	13,51	12,28	14,68
73	11,79	9,95	13,79	10,91	12,21	10,50	12,87	12,01
74	12,40	11,20	14,14	11,75	12,35	12,51	12,29	13,37
75	11,29	10,14	12,40	9,85	12,08	9,12	11,53	12,00
76	11,90	11,38	12,76	10,69	12,22	11,14	10,96	13,36
77	10,71	9,53	11,13	8,70	12,71	9,36	11,80	9,83
78	11,32	10,78	11,49	9,53	12,85	11,38	11,22	11,19
79	10,21	9,72	9,75	7,64	12,58	7,99	10,46	9,81
80	10,82	10,97	10,11	8,47	12,72	10,00	9,89	11,18
81	11,94	9,79	12,91	12,14	11,84	12,03	12,50	13,25
82	12,55	11,04	13,26	12,98	11,98	14,04	11,93	14,61
83	11,44	9,98	11,52	11,08	11,71	10,65	11,17	13,24
84	12,05	11,23	11,88	11,92	11,85	12,66	10,59	14,60
85	10,86	9,38	10,25	9,93	12,35	10,89	11,43	11,07
86	11,47	10,62	10,61	10,76	12,49	12,91	10,86	12,43
87	10,36	9,56	8,87	8,87	12,22	9,52	10,10	11,06
88	10,97	10,81	9,23	9,70	12,36	11,53	9,52	12,42
89	9,00	8,15	10,73	9,39	9,61	8,52	10,11	9,74
90	9,61	9,39	11,09	10,23	9,75	10,53	9,53	11,11
91	8,49	8,33	9,35	8,33	9,48	7,14	8,77	9,73
92	9,10	9,58	9,71	9,17	9,62	9,15	8,20	11,09
93	7,92	7,73	8,08	7,18	10,12	7,38	9,04	7,56
94	8,53	8,98	8,44	8,01	10,26	9,39	8,46	8,92
95	7,41	7,92	6,70	6,12	9,99	6,00	7,70	7,55
96	8,02	9,16	7,05	6,95	10,13	8,02	7,13	8,91
97	16,87	13,72	17,79	16,08	15,62	16,80	17,49	17,73
98	17,48	14,97	18,14	16,91	15,76	18,81	16,91	19,09
99	16,36	13,91	16,40	15,02	15,49	15,42	16,15	17,72
100	16,97	15,15	16,76	15,85	15,63	17,43	15,58	19,08
101	15,79	13,30	15,13	13,86	16,12	15,66	16,42	15,55
102	16,40	14,55	15,49	14,70	16,26	17,68	15,84	16,91
103	15,28	13,49	13,75	12,80	15,99	14,29	15,08	15,54
104	15,89	14,74	14,11	13,64	16,13	16,30	14,51	16,90
105	13,92	12,07	15,61	13,33	13,39	13,29	15,09	14,22

Trial	Respon Kadar Air							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
106	14,53	13,32	15,97	14,16	13,53	15,30	14,52	15,59
107	13,42	12,26	14,23	12,27	13,26	11,91	13,76	14,21
108	14,03	13,51	14,59	13,10	13,40	13,92	13,18	15,57
109	12,84	11,65	12,96	11,11	13,89	12,15	14,02	12,04
110	13,45	12,90	13,32	11,95	14,03	14,16	13,45	13,40
111	12,34	11,84	11,58	10,05	13,76	10,77	12,69	12,03
112	12,95	13,09	11,94	10,89	13,90	12,79	12,11	13,39
113	14,07	11,92	14,73	14,56	13,02	14,82	14,73	15,47
114	14,68	13,16	15,09	15,39	13,16	16,83	14,15	16,83
115	13,57	12,10	13,35	13,50	12,89	13,44	13,39	15,46
116	14,18	13,35	13,71	14,33	13,03	15,45	12,82	16,82
117	12,99	11,50	12,08	12,34	13,53	13,68	13,66	13,29
118	13,60	12,75	12,44	13,18	13,67	15,69	13,08	14,65
119	12,49	11,69	10,70	11,28	13,40	12,30	12,32	13,27
120	13,10	12,93	11,05	12,12	13,54	14,31	11,75	14,64
121	11,13	10,27	12,56	11,81	10,79	11,31	12,33	11,96
122	11,74	11,52	12,92	12,64	10,93	13,32	11,76	13,32
123	10,62	10,46	11,18	10,75	10,66	9,93	11,00	11,95
124	11,23	11,70	11,54	11,58	10,80	11,94	10,42	13,31
125	10,05	9,85	9,91	9,59	11,30	10,17	11,26	9,78
126	10,66	11,10	10,27	10,43	11,44	12,18	10,69	11,14
127	9,54	10,04	8,53	8,53	11,17	8,79	9,93	9,77
128	10,15	11,29	8,88	9,37	11,31	10,80	9,35	11,13

4.2.7.6. Menghitung *Quality Loss* (Lij)

Setelah didapatkan perhitungan hasil prediksi untuk 1024 untuk eksperimen kuat tekan dan 1024 eksperimen kadar air batako. Kemudian dilakukan perhitungan *Quality Loss* (Lij) yang kemudian hasil perhitungan digunakan untuk menghitung *Normalisasi Quality Loss* (Cij).

1. Respon Kuat Tekan Batako

Perhitungan *Quality Loss* untuk karakteristik LTB dicari dengan rumus berikut:

$$L_{ij} = k_j^{1/n_i} \sum_{k=1}^n 1/Y_{ijk}^2$$

Apabila dilakukan simulasi/ramalan terhadap kombinasi faktor kendali yang optimal untuk respon kuat tekan yaitu A1 B2 C1 D1 E2 F1 G1, maka didapatkan hasil rata-rata jumlah kuat tekan 89,924kg/cm², jika dibandingkan dengan hasil rata-rata kuat tekan produk batako pada kondisi awal dengan kuat tekan 42,731kg/cm², maka diperoleh selisih kuat tekan 89,924kg/cm² – 42,731kg/cm² = 47,19kg/cm². Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, biaya yang diperlukan untuk menaikkan kuat tekan produk batako tersebut adalah sebesar Rp. 1.075 per produk. Dengan demikian, nilai k dari respon kuat tekan dapat dihitung sebagai berikut:

$$k_1 = \frac{979,311}{47,19^2} = 0,44$$

Berikut merupakan contoh perhitungan pada eksperimen pertama respon kuat tekan batako:

$$L_{11} = 0,44 \times \frac{1}{8} \left(1/67,61^2 + 1/70,76^2 + \dots + 1/61,33^2 \right) = 0,0000893$$

Dilakukan pula perhitungan *Quality Loss* keseluruhan eksperimen pada respon kuat tekan yang dapat dilihat pada lampiran. Dari hasil perhitungan nilai L_{ij} maksimum untuk respon kuat tekan adalah pada eksperimen ke-60 sebesar 0,0002146.

Tabel 4.28. Perhitungan Lij untuk kuat tekan

Trial	Respon 1 (Kuat Tekan)	Trial	Respon 1 (Kuat Tekan)	Trial	Respon 1 (Kuat Tekan)	Trial	Respon 1 (Kuat Tekan)
	Lij		Lij		Lij		Lij
1	0,0000893	36	0,0001155	71	0,0000583	106	0,0001432
2	0,0001047	37	0,0000637	72	0,0000666	107	0,0001310
3	0,0000969	38	0,0000729	73	0,0001173	108	0,0001591
4	0,0001144	39	0,0000680	74	0,0001419	109	0,0000796
5	0,0000629	40	0,0000781	75	0,0001293	110	0,0000929
6	0,0000721	41	0,0001470	76	0,0001581	111	0,0000858
7	0,0000672	42	0,0001799	77	0,0000787	112	0,0001007
8	0,0000774	43	0,0001632	78	0,0000921	113	0,0000802
9	0,0001445	44	0,0002017	79	0,0000849	114	0,0000926
10	0,0001776	45	0,0000946	80	0,0000999	115	0,0000865
11	0,0001608	46	0,0001118	81	0,0000790	116	0,0001006
12	0,0001999	47	0,0001025	82	0,0000916	117	0,0000573
13	0,0000933	48	0,0001218	83	0,0000854	118	0,0000650
14	0,0001104	49	0,0000952	84	0,0000996	119	0,0000610
15	0,0001012	50	0,0001111	85	0,0000566	120	0,0000694
16	0,0001206	51	0,0001033	86	0,0000643	121	0,0001258
17	0,0000936	52	0,0001212	87	0,0000603	122	0,0001509
18	0,0001096	53	0,0000662	88	0,0000688	123	0,0001387
19	0,0001017	54	0,0000756	89	0,0001236	124	0,0001678
20	0,0001198	55	0,0000707	90	0,0001490	125	0,0000831
21	0,0000653	56	0,0000811	91	0,0001365	126	0,0000967
22	0,0000748	57	0,0001568	92	0,0001661	127	0,0000896
23	0,0000698	58	0,0001911	93	0,0000819	128	0,0001049
24	0,0000803	59	0,0001745	94	0,0000957		
25	0,0001535	60	0,0002146	95	0,0000884		
26	0,0001880	61	0,0000992	96	0,0001039		
27	0,0001712	62	0,0001169	97	0,0000767		
28	0,0002119	63	0,0001075	98	0,0000888		
29	0,0000976	64	0,0001275	99	0,0000827		
30	0,0001153	65	0,0000758	100	0,0000963		
31	0,0001059	66	0,0000880	101	0,0000553		
32	0,0001260	67	0,0000818	102	0,0000628		
33	0,0000905	68	0,0000956	103	0,0000588		
34	0,0001059	69	0,0000547	104	0,0000671		
35	0,0000982	70	0,0000622	105	0,0001190		

2. Respon Kadar Air Batako

Perhitungan *Quality Loss* untuk karakteristik STB dicari dengan rumus berikut:

$$L_{ij} = k_j \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2$$

Sedangkan apabila dilakukan simulasi/ramalan terhadap kombinasi faktor kendali yang optimal untuk respon kadar air yaitu A2 B2 C2 D1 E1 F1 G2, maka didapatkan hasil rata-rata kadar air 4,36 %, jika dibandingkan dengan hasil rata-rata kadar air produk batako pada kondisi awal dengan kadar air rata-rata 23,77%, maka diperoleh selisih kadar air 23,77 % – 4,36% = 19,42 %. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, biaya yang diperlukan untuk menaikkan kuat tekan produk batako tersebut adalah sebesar Rp. 825 per produk. Dengan demikian, nilai k dari respon kuat tekan dapat dihitung sebagai berikut:

$$k_2 = \frac{605,275}{19,42^2} = 1,609$$

Berikut merupakan contoh perhitungan pada eksperimen pertama respon kadar air batako:

$$L_{12} = 1,609 \times \frac{1}{8} (11,82^2 + 9,52^2 + \dots + 5,17^2) = 208,565$$

Dilakukan pula perhitungan *Quality Loss* keseluruhan eksperimen pada respon kadar air yang dapat dilihat pada lampiran. Dari hasil perhitungan nilai L_{ij} maksimum untuk respon kadar air adalah pada eksperimen ke-98 sebesar 482,0003.

Tabel 4.29. Perhitungan Lij untuk kadar air

Trial	Respon 2 (Kadar air)	Trial	Respon 2 (Kadar air)	Trial	Respon 2 (Kadar air)	Trial	Respon 2 (Kadar air)
	Lij		Lij		Lij		Lij
1	208,565	36	295,417	71	250,600	106	344,793
2	236,729	37	239,316	72	281,001	107	279,880
3	183,703	38	269,725	73	224,395	108	312,283
4	210,463	39	213,120	74	252,520	109	256,224
5	164,234	40	242,125	75	198,421	110	286,594
6	188,960	41	189,380	76	225,141	111	228,916
7	143,169	42	216,108	77	178,954	112	257,880
8	166,491	43	165,608	78	203,641	113	324,543
9	123,439	44	190,932	79	156,776	114	360,579
10	144,484	45	147,312	80	180,058	115	292,724
11	104,798	46	170,603	81	235,087	116	327,355
12	124,438	47	127,337	82	265,440	117	267,880
13	90,692	48	149,223	83	208,398	118	300,477
14	108,299	49	200,408	84	237,346	119	239,856
15	75,847	50	229,364	85	187,743	120	271,049
16	92,050	51	175,921	86	214,658	121	214,285
17	131,600	52	203,473	87	164,851	122	243,202
18	154,874	53	156,437	88	190,361	123	188,685
19	112,245	54	181,956	89	143,289	124	216,197
20	134,113	55	135,747	90	166,523	125	169,204
21	96,951	56	159,861	91	122,820	126	194,683
22	116,786	57	116,650	92	144,649	127	147,401
23	81,391	58	138,488	93	107,529	128	171,475
24	99,822	59	98,384	94	127,325		
25	66,304	60	118,817	95	90,856		
26	82,459	61	84,264	96	109,247		
27	53,168	62	102,663	97	441,074		
28	67,918	63	69,794	98	482,000		
29	43,237	64	86,788	99	403,749		
30	55,954	65	336,023	100	443,270		
31	33,898	66	371,266	101	374,729		
32	45,210	67	303,828	102	412,218		
33	292,967	68	337,667	103	341,201		
34	326,814	69	278,999	104	377,284		
35	262,975	70	310,804	105	310,985		

4.2.7.7. Menghitung *Normalisasi Quality Loss* (C_{ij})

Perhitungan *Normalisasi Quality Loss* dapat dicari dengan rumus berikut:

$$C_{ij} = L_{ij} / L_{max}$$

Dimana:

C_{ij} = *Normalitas Quality Loss*

L_{ij} = *Quality Loss*

L_{max} = nilai tertinggi dari keseluruhan *Quality Loss*

Berikut merupakan contoh perhitungan pada eksperimen pertama respon kuat tekan batako:

$$C_{11} = 0,0000893 / 0,0002146 = 0,41593$$

Berikut merupakan contoh perhitungan pada eksperimen pertama respon kadar air batako:

$$C_{11} = 208,5648 / 482,0003 = 0,432707$$

Dilakukan perhitungan *Normalitas Quality Loss* keseluruhan eksperimen disetiap responnya.

Tabel 4.30. *Normalisasi Quality Loss* kadar air dan Kuat tekan

Trial	Respon 1	Respon 2	Trial	Respon 1	Respon 2
	(Kuat Tekan)	(Kadar Air)		(Kuat Tekan)	(Kadar Air)
	Cij	Cij		Cij	Cij
1	0,415935	0,432707	36	0,538245	0,612898
2	0,487943	0,491139	37	0,296657	0,496505
3	0,451470	0,381127	38	0,339452	0,559594
4	0,533215	0,436645	39	0,316706	0,442158
5	0,293194	0,340735	40	0,363937	0,502333
6	0,336052	0,392034	41	0,684965	0,392904
7	0,313250	0,297032	42	0,838218	0,448357
8	0,360686	0,345416	43	0,760560	0,343585
9	0,673121	0,256097	44	0,939950	0,396124
10	0,827473	0,299760	45	0,440860	0,305627
11	0,749246	0,217422	46	0,520797	0,353947
12	0,931537	0,258171	47	0,477422	0,264185
13	0,434639	0,188157	48	0,567480	0,309590
14	0,514542	0,224686	49	0,443422	0,415783
15	0,471334	0,157358	50	0,517486	0,475859
16	0,561784	0,190974	51	0,481289	0,364981
17	0,436114	0,273030	52	0,564948	0,422143
18	0,510516	0,321315	53	0,308447	0,324559
19	0,473827	0,232872	54	0,352472	0,377501
20	0,558267	0,278243	55	0,329506	0,281633
21	0,304397	0,201142	56	0,378091	0,331661
22	0,348440	0,242294	57	0,730522	0,242013
23	0,325407	0,168861	58	0,890409	0,287320
24	0,374152	0,207099	59	0,812908	0,204116
25	0,715138	0,137560	60	1,000000	0,246508
26	0,875769	0,171076	61	0,462132	0,174821
27	0,797570	0,110307	62	0,544738	0,212994
28	0,987272	0,140909	63	0,500990	0,144800
29	0,454674	0,089704	64	0,594055	0,180059
30	0,537134	0,116087	65	0,352990	0,697142
31	0,493535	0,070328	66	0,410092	0,770262
32	0,586884	0,093797	67	0,381059	0,630349
33	0,421870	0,607814	68	0,445526	0,700554
34	0,493424	0,678036	69	0,254966	0,578835
35	0,457392	0,545590	70	0,290016	0,644821

Trial	Respon 1 (Kuat Tekan)	Respon 2 (Kadar Air)	Trial	Respon 1 (Kuat Tekan)	Respon 2 (Kadar Air)
	Cij	Cij		Cij	Cij
71	0,271452	0,519918	100	0,448891	0,919648
72	0,310117	0,582989	101	0,257576	0,777446
73	0,546587	0,465550	102	0,292452	0,855223
74	0,661103	0,523900	103	0,274051	0,707885
75	0,602683	0,411661	104	0,312425	0,782747
76	0,736651	0,467097	105	0,554461	0,645198
77	0,366614	0,371274	106	0,667350	0,715338
78	0,428919	0,422491	107	0,610251	0,580664
79	0,395486	0,325262	108	0,741379	0,647890
80	0,465685	0,373564	109	0,370998	0,531585
81	0,368189	0,487732	110	0,432956	0,594592
82	0,426884	0,550705	111	0,399766	0,474928
83	0,397764	0,432360	112	0,469290	0,535021
84	0,464001	0,492419	113	0,373468	0,673326
85	0,263829	0,389509	114	0,431646	0,748089
86	0,299725	0,445348	115	0,403144	0,607310
87	0,281020	0,342013	116	0,468534	0,679159
88	0,320611	0,394939	117	0,266884	0,555766
89	0,575914	0,297280	118	0,302636	0,623396
90	0,694154	0,345483	119	0,284106	0,497627
91	0,635899	0,254813	120	0,323436	0,562342
92	0,774154	0,300102	121	0,586109	0,444574
93	0,381711	0,223088	122	0,702924	0,504567
94	0,445714	0,264159	123	0,646115	0,391462
95	0,412076	0,188498	124	0,781711	0,448542
96	0,484176	0,226654	125	0,386983	0,351045
97	0,357289	0,915091	126	0,450711	0,403906
98	0,413802	1,000000	127	0,417340	0,305811
99	0,385343	0,837652	128	0,488834	0,355757

4.2.7.8. Menghitung Total Normalized Quality Loss (TNQL)

Perhitungan *Total Normalized Quality Loss* (TNQL) dapat dicari dengan rumus berikut:

$$TNQL_i = \sum W_j \times C_{ij}$$

Dimana:

W_j = bobot masing-masing respon

C_{ij} = *Normalitas Quality Loss*

Karena terdapat dua respon, maka dipilih istilah linguistiknya adalah “tinggi” dan “sedang”. Tingkat kepentingan relative ditunjukkan oleh tabel linguistic term. Istilah tersebut dikonversikan kedalam bilangan fuzzy. Berdasarkan tabel *Cype Scores-of fuzzy number*, diperoleh respon 1 sebesar 0,750 serta untuk respon 2 sebesar 0.583. Penentuan pembobotan (w) didasarkan atas kepentingan serta seberapa dominannya respon tersebut. Karena kuat tekan merupakan indikator terpenting didalam kualitas produk batako yang menjadi acuan tentang bagus dan tidaknya produk maka dipilih bobot respon 1 untuk kuat tekan serta bobot respon 2 untuk uji kadar air. Bobot masing – masing respon dapat dihitung seperti berikut:

$$w_1(\text{kuat tekan}) = 0,750 / (0,750 + 0,583) = 0,5626$$

$$w_2(\text{kadar air}) = 0,583 / (0,750 + 0,583) = 0,4374$$

Berikut merupakan contoh perhitungan pada eksperimen pertama:

$$TNQL_1 = (0,5626 \times 0,41593) + (0,4374 \times 0,432707) = 0,4233$$

Kemudian dilakukan perhitungan TNQL1 untuk semua eksperimen,

Tabel 4.31. TNQL Kuat tekan dan Kadar air

Trial	Respon 1 (Kuat Tekan)	Respon 2 (Kadar Air)	TNQL	Trial	Respon 1 (Kuat Tekan)	Respon 2 (Kadar Air)	TNQL
	Wi*Cij	Wi*Cij			Wi*Cij	Wi*Cij	
1	0,234022	0,189248	0,4233	36	0,302838	0,268057	0,5709
2	0,274536	0,214804	0,4893	37	0,166911	0,217151	0,3841
3	0,254015	0,166690	0,4207	38	0,190989	0,244744	0,4357
4	0,300009	0,190971	0,4910	39	0,178192	0,193382	0,3716
5	0,164963	0,149024	0,3140	40	0,204766	0,219700	0,4245
6	0,189076	0,171460	0,3605	41	0,385389	0,171840	0,5572
7	0,176247	0,129910	0,3062	42	0,471616	0,196093	0,6677
8	0,202937	0,151071	0,3540	43	0,427922	0,150270	0,5782
9	0,378725	0,112006	0,4907	44	0,528854	0,173248	0,7021
10	0,465570	0,131103	0,5967	45	0,248046	0,133669	0,3817
11	0,421556	0,095092	0,5166	46	0,293021	0,154802	0,4478
12	0,524121	0,112913	0,6370	47	0,268617	0,115544	0,3842
13	0,244546	0,082292	0,3268	48	0,319288	0,135402	0,4547
14	0,289502	0,098269	0,3878	49	0,249487	0,181847	0,4313
15	0,265192	0,068822	0,3340	50	0,291159	0,208121	0,4993
16	0,316083	0,083524	0,3996	51	0,270793	0,159628	0,4304
17	0,245375	0,119412	0,3648	52	0,317863	0,184628	0,5025
18	0,287237	0,140530	0,4278	53	0,173545	0,141949	0,3155
19	0,266594	0,101849	0,3684	54	0,198315	0,165104	0,3634
20	0,314104	0,121692	0,4358	55	0,185394	0,123175	0,3086
21	0,171266	0,087971	0,2592	56	0,212729	0,145055	0,3578
22	0,196046	0,105970	0,3020	57	0,411021	0,105847	0,5169
23	0,183087	0,073853	0,2569	58	0,500980	0,125662	0,6266
24	0,210513	0,090577	0,3011	59	0,457375	0,089272	0,5466
25	0,402366	0,060163	0,4625	60	0,562641	0,107813	0,6705
26	0,492743	0,074822	0,5676	61	0,260014	0,076459	0,3365
27	0,448746	0,048244	0,4970	62	0,306492	0,093155	0,3996
28	0,555479	0,061628	0,6171	63	0,281878	0,063330	0,3452
29	0,255818	0,039233	0,2951	64	0,334240	0,078750	0,4130
30	0,302213	0,050772	0,3530	65	0,198607	0,304902	0,5035
31	0,277683	0,030759	0,3084	66	0,230734	0,336881	0,5676
32	0,330205	0,041023	0,3712	67	0,214399	0,275689	0,4901
33	0,237361	0,265833	0,5032	68	0,250671	0,306394	0,5571
34	0,277620	0,296545	0,5742	69	0,143454	0,253159	0,3966
35	0,257347	0,238619	0,4960	70	0,163175	0,282019	0,4452

Trial	Respon 1 (Kuat Tekan)	Respon 2 (Kadar Air)	TNQL	Trial	Respon 1 (Kuat Tekan)	Respon 2 (Kadar Air)	TNQL
	Cij	Cij			Cij	Cij	
71	0,152730	0,227391	0,3801	100	0,252564	0,402216	0,6548
72	0,174485	0,254976	0,4295	101	0,144923	0,340023	0,4849
73	0,307532	0,203613	0,5111	102	0,164546	0,374040	0,5386
74	0,371963	0,229133	0,6011	103	0,154192	0,309600	0,4638
75	0,339094	0,180044	0,5191	104	0,175783	0,342342	0,5181
76	0,414470	0,204289	0,6188	105	0,311962	0,282183	0,5941
77	0,206272	0,162380	0,3687	106	0,375478	0,312860	0,6883
78	0,241327	0,184781	0,4261	107	0,343352	0,253959	0,5973
79	0,222516	0,142256	0,3648	108	0,417130	0,283361	0,7005
80	0,262014	0,163382	0,4254	109	0,208738	0,232494	0,4412
81	0,207158	0,213314	0,4205	110	0,243599	0,260051	0,5036
82	0,240182	0,240856	0,4810	111	0,224925	0,207714	0,4326
83	0,223798	0,189097	0,4129	112	0,264042	0,233997	0,4980
84	0,261066	0,215364	0,4764	113	0,210128	0,294486	0,5046
85	0,148441	0,170355	0,3188	114	0,242862	0,327184	0,5700
86	0,168637	0,194777	0,3634	115	0,226825	0,265613	0,4924
87	0,158113	0,149583	0,3077	116	0,263616	0,297036	0,5607
88	0,180389	0,172730	0,3531	117	0,150160	0,243070	0,3932
89	0,324033	0,130018	0,4541	118	0,170275	0,272648	0,4429
90	0,390559	0,151100	0,5417	119	0,159849	0,217642	0,3775
91	0,357783	0,111445	0,4692	120	0,181978	0,245945	0,4279
92	0,435570	0,131252	0,5668	121	0,329769	0,194438	0,5242
93	0,214766	0,097570	0,3123	122	0,395493	0,220677	0,6162
94	0,250777	0,115532	0,3663	123	0,363530	0,171210	0,5347
95	0,231851	0,082441	0,3143	124	0,439822	0,196174	0,6360
96	0,272417	0,099129	0,3715	125	0,217732	0,153533	0,3713
97	0,201025	0,400223	0,6012	126	0,253588	0,176652	0,4302
98	0,232822	0,437359	0,6702	127	0,234812	0,133749	0,3686
99	0,216809	0,366355	0,5832	128	0,275038	0,155593	0,4306

4.2.7.9. Menghitung Nilai *Multi Respon Signal to Ratio* (MRSN)

Perhitungan Nilai MRSN dicari dengan rumus berikut:

$$MRSN_i = -10 \times \log(TNQN_i)$$

Berikut merupakan contoh perhitungan pada eksperimen pertama:

$$MRSN_i = -10 \times \log(0,4233) = 3,7338$$

Kemudian dilakukan perhitungan TNQL1 untuk semua eksperimen mengikuti rumus dan langkah pada contoh diatas. Perhitungan untuk nilai MRSN dilakukan sebanyak 128 sesuai dengan trial yang digunakan pada desain eksperimen. Setelah semua perhitungan selesai dilakukan kemudian dicari nilai MRSN terbesar. Nilai MRSN terbesar atau nilai maksimal dari perhitungan MRSN yaitu sebesar 5,9017 pada percobaan ke-23. Sehingga dapat disimpulkan dari hasil perhitungan nilai MRSN kombinasi optimal dari eksperimen yang dilakukan adalah A1 B2 C2 D1 E1 F1 G2

Tabel 4.32. Hasil Perhitungan MRSN

Trial	Faktor Kendali							MRSN	Ranking
	A	B	C	D	E	F	G		
1	1	1	1	1	1	1	1	3,73382	50
2	1	1	1	2	1	1	1	3,10389	76
3	1	1	2	1	1	1	1	3,76023	49
4	1	1	2	2	1	1	1	3,08937	79
5	1	2	1	1	1	1	1	5,03089	11
6	1	2	1	2	1	1	1	4,43051	23
7	1	2	2	1	1	1	1	5,14056	6
8	1	2	2	2	1	1	1	4,50987	21
9	2	1	1	1	1	1	1	3,09156	78
10	2	1	1	2	1	1	1	2,24264	112
11	2	1	2	1	1	1	1	2,86805	91
12	2	1	2	2	1	1	1	1,95837	121
13	2	2	1	1	1	1	1	4,85668	15
14	2	2	1	2	1	1	1	4,11425	41
15	2	2	2	1	1	1	1	4,76235	16
16	2	2	2	2	1	1	1	3,98367	44
17	1	1	1	1	1	1	2	4,37960	27
18	1	1	1	2	1	1	2	3,68792	54
19	1	1	2	1	1	1	2	4,33630	29
20	1	1	2	2	1	1	2	3,60717	63
21	1	2	1	1	1	1	2	5,86302	2
22	1	2	1	2	1	1	2	5,19970	5
23	1	2	2	1	1	1	2	5,90168	1
24	1	2	2	2	1	1	2	5,21304	4
25	2	1	1	1	1	1	2	3,34861	70
26	2	1	1	2	1	1	2	2,45984	104
27	2	1	2	1	1	1	2	3,03653	82
28	2	1	2	2	1	1	2	2,09639	117
29	2	2	1	1	1	1	2	5,30103	3
30	2	2	1	2	1	1	2	4,52244	19
31	2	2	2	1	1	1	2	5,10827	8
32	2	2	2	2	1	1	2	4,30360	32
33	1	1	1	1	1	2	1	2,98264	86
34	1	1	1	2	1	2	1	2,40963	108
35	1	1	2	1	1	2	1	3,04548	81

Trial	Faktor Kendali							MRSN	Ranking
	A	B	C	D	E	F	G		
36	1	1	2	2	1	2	1	2,43444	107
37	1	2	1	1	1	2	1	4,15598	39
38	1	2	1	2	1	2	1	3,60779	62
39	1	2	2	1	1	2	1	4,29955	35
40	1	2	2	2	1	2	1	3,72157	51
41	2	1	1	1	1	2	1	2,53966	101
42	2	1	1	2	1	2	1	1,75413	123
43	2	1	2	1	1	2	1	2,37928	109
44	2	1	2	2	1	2	1	1,53600	128
45	2	2	1	1	1	2	1	4,18261	38
46	2	2	1	2	1	2	1	3,48893	67
47	2	2	2	1	1	2	1	4,15487	40
48	2	2	2	2	1	2	1	3,42285	69
49	1	1	1	1	1	2	2	3,65186	60
50	1	1	1	2	1	2	2	3,01656	84
51	1	1	2	1	1	2	2	3,66107	58
52	1	1	2	2	1	2	2	2,98872	85
53	1	2	1	1	1	2	2	5,01010	13
54	1	2	1	2	1	2	2	4,39593	25
55	1	2	2	1	1	2	2	5,10648	9
56	1	2	2	2	1	2	2	4,46379	22
57	2	1	1	1	1	2	2	2,86620	92
58	2	1	1	2	1	2	2	2,02980	119
59	2	1	2	1	1	2	2	2,62293	99
60	2	1	2	2	1	2	2	1,73631	125
61	2	2	1	1	1	2	2	4,73049	17
62	2	2	1	2	1	2	2	3,98324	45
63	2	2	2	1	1	2	2	4,61920	18
64	2	2	2	2	1	2	2	3,84060	47
65	1	1	1	1	2	1	1	2,97993	87
66	1	1	1	2	2	1	1	2,45946	105
67	1	1	2	1	2	1	1	3,09726	77
68	1	1	2	2	2	1	1	2,54094	100
69	1	2	1	1	2	1	1	4,01633	43
70	1	2	1	2	2	1	1	3,51451	66

Trial	Faktor Kendali							MRSN	Ranking
	A	B	C	D	E	F	G		
71	1	2	2	1	2	1	1	4,20078	37
72	1	2	2	2	2	1	1	3,67077	56
73	2	1	1	1	2	1	1	2,91456	90
74	2	1	1	2	2	1	1	2,21056	114
75	2	1	2	1	2	1	1	2,84718	94
76	2	1	2	2	2	1	1	2,08478	118
77	2	2	1	1	2	1	1	4,33383	31
78	2	2	1	2	2	1	1	3,70481	53
79	2	2	2	1	2	1	1	4,37978	26
80	2	2	2	2	2	1	1	3,71207	52
81	1	1	1	1	2	1	2	3,76263	48
82	1	1	1	2	2	1	2	3,17821	74
83	1	1	2	1	2	1	2	3,84160	46
84	1	1	2	2	2	1	2	3,22001	73
85	1	2	1	1	2	1	2	4,96487	14
86	1	2	1	2	2	1	2	4,39597	24
87	1	2	2	1	2	1	2	5,11878	7
88	1	2	2	2	2	1	2	4,52079	20
89	2	1	1	1	2	1	2	3,42896	68
90	2	1	1	2	2	1	2	2,66274	98
91	2	1	2	1	2	1	2	3,28617	72
92	2	1	2	2	2	1	2	2,46553	103
93	2	2	1	1	2	1	2	5,05379	10
94	2	2	1	2	2	1	2	4,36152	28
95	2	2	2	1	2	1	2	5,02666	12
96	2	2	2	2	2	1	2	4,29987	34
97	1	1	1	1	2	2	1	2,20946	115
98	1	1	1	2	2	2	1	1,73808	124
99	1	1	2	1	2	2	1	2,34209	110

4.2.8. *Perform the Verification Experiment and Plan the Future Action*

Didalam penelitian ini setelah ditentukan kombinasi level optimal untuk multirespon kuat tekan dan kadar air dengan menggunakan metode MRSN (*Multirespon Signal to Ratio*), tidak dilakukan eksperimen konfirmasi untuk kombinasi level optimal tersebut karena untuk melakukan eksperimen konfirmasi membutuhkan lebih banyak waktu, tenaga dan biaya yang diperlukan.

Hasil eksperimen disimulasikan berdasarkan prediksi dengan menggunakan regresi linier berganda untuk kombinasi level optimal yang diperoleh dari dengan metode MRSN yaitu sebesar 5,9017 pada percobaan ke-23 dengan kombinasi optimal adalah A1 B2 C2 D1 E1 F1 G2. Simulasi hasil eksperimen dengan kombinasi level optimal tersebut digunakan untuk dilakukan uji beda antara kondisi optimal dengan kondisi awal perusahaan mengenai kualitas produk batako yang dihasilkan, uji beda tersebut dilakukan dengan menggunakan *paired sample t-Test*. Hasil dari uji beda tersebut digunakan untuk merencanakan tindakan perbaikan terkait peningkatan kualitas batako.

4.2.8.1. Uji Beda Kondisi Awal dan Optimal

Paired-sample t-Test digunakan uji beda pada masing-masing respon. Uji beda dilakukan untuk mengetahui apakah data kuat tekan dan kadar air batako lebih baik dari data hasil kondisi awal produk batako di perusahaan.

a. Hipotesis.

H_0 : usulan tidak memberikan hasil yang lebih baik ($\mu_1 = \mu_2$)

H_1 : kondisi usulan lebih baik dari kondisi awal ($\mu_1 < \mu_2$)

Dimana μ_1 adalah rata-rata kuat tekan dan kadar air awal dan μ_2 adalah rata-rata kuat tekan dan kadar air usulan optimal

b. Tingkat signifikansi : $\alpha = 5 \%$

$$\begin{aligned} t_{tabel} &= t(\alpha; n - 1) \\ &= t(0,05; 8 - 1) \\ &= t(0,05; 7) = 1,8946 \end{aligned}$$

c. Kriteria Pengujian

H_0 diterima jika nilai $P_{value} \geq \alpha$ atau t_{tabel} didaerah penolakan maka H_0 ditolak (usulan tidak memberikan hasil yang lebih baik).

H_0 ditolak jika nilai $P_{value} < \alpha$ atau t_{tabel} didaerah penerimaan maka H_0 diterima (kondisi usulan lebih baik dari kondisi standar).

Berikut merupakan data yang akan dibandingkan antara kondisi awal perusahaan dan kondisi optimal kuat tekan dan kadar air batako yang akan digunakan sebagai pembanding (dilakukan uji beda) untuk kuat tekan dan kadar air batako

Tabel 4.33. Data Kondisi awal dan kondisi optimal variabel respon

Replikasi	Kuat Tekan (kg/cm ²)		Kadar Air (%)	
	Awal	optimal	Awal	Optimal
1	43,229	76,921	26,470	7,440
2	44,842	81,095	26,210	7,490
3	42,696	81,657	21,150	5,191
4	44,984	78,573	20,560	7,585
5	43,375	79,597	22,770	9,100
6	41,961	76,826	24,510	5,782
7	40,136	84,184	23,760	6,265
8	40,628	78,613	24,750	7,304

Data yang untuk kuat tekan dan kadar air batako untuk kondisi awal dan kondisi optimal dilakukan uji beda dengan software statistik SPSS. Berikut hasil pengujian *t-Test* dengan SPSS.

Tabel 4.34. Hasil *Paired Sample t-Test* untuk kuat tekan

Paired Samples Test								
	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Kondisi _Awal_ Kuat_Te kan - Kondisi _Optima l_Kuat_ Tekan	-36.95187	3.43866	1.21575	-39.82667	-34.07708	-30.394	7	.000

Pada Tabel *paired Samples test mean* menunjukkan perbedaan rata-rata dari kuat tekan kondisi awal dan sesudah kondisi optimal, untuk t_{hitung} adalah -30,394. Karena merupakan signifikansi 2 *tailed* maka bisa diasumsikan positif yaitu 30,394. Untuk nilai *mean* tidak berada diantara batas bawah yaitu -39,8967 dan batas atas yaitu -34,07708, sehingga *mean* tidak berada pada daerah penerimaan H_0 . Berdasarkan output hasil SPSS dapat diketahui bahwa nilai t_{hitung} SPSS = -29,930. Sedangkan $-t_{\alpha/2,v}$ dan $t_{\alpha/2,v}$ adalah -1,8946 dan 1,8946. Jika dibandingkan, maka t_{hitung} SPSS tidak berada diantara angka-angka t_{tabel} sehingga H_0 ditolak. Selain itu dapat dilihat dari hasil signifikansi, yaitu jika sig. (2 *tailed*) > 0,05, maka H_0 diterima. Dalam hal ini, nilai sig.(2 *tailed*) adalah (2 x 0,000), karena nilai signifikansi < 0,05 maka H_0 ditolak.

Tabel 4.35. Hasil *Paired Sample t-Test* untuk kadar air

Paired Samples Test								
	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Kondisi _Awal_ Kadar_ Air - Kondisi _Optima l_Kadar _Air	16.75287	2.34197	.82801	14.79494	18.71081	20.233	7	.000

Pada Tabel *paired Samples test mean* menunjukkan perbedaan rata-rata dari kuat tekan kondisi awal dan sesudah kondisi optimal, untuk t_{hitung} adalah 20,233. Untuk nilai *mean* tidak berada diantara batas bawah yaitu 14,79494 dan batas atas yaitu 18,71081, sehingga *mean* tidak berada pada daerah penerimaan H_0 . Berdasarkan output hasil SPSS dapat diketahui bahwa nilai thitung SPSS =20,040. Sedangkan $-t_{\alpha/2, v}$ dan $t_{\alpha/2, v}$ adalah -1,8946 dan 1,8946. Jika dibandingkan, maka thitung SPSS tidak berada diantara angka-angka t_{tabel} sehingga H_0 ditolak. Selain itu dapat dilihat dari hasil signifikasi, yaitu jika sig. (2tailed) > 0,05, maka H_0 diterima. Dalam hal ini, nilai sig. (2tailed) adalah (2 x 0,000), karena nilai signifikasi < 0,05 maka H_0 ditolak.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Analisis *Identify the Main Function, Side Effect and Failure Mode*

Dari hasil wawancara dengan perusahaan diperoleh mode kegagalan pada penelitian ini mengacu pada kondisi awal perusahaan dengan kualitas produk batako yang terdapat antara level II dan III dan cacat produk yang dihasilkan ketika proses penjemuran/ pemindahan dan saat proses pengiriman kepada konsumen. Hal tersebut disebabkan oleh perusahaan yang hanya menggunakan standar produksi batako dengan komposisi perbandingan antara agregat dan semen, sehingga terkadang kualitas setiap produk dapat berbeda-beda. Komposisi batako yang menjadi standar perusahaan yaitu 1 sak semen dengan berat 40 kg menghasilkan 50 sampai dengan 55 produk batako, air yang digunakan tidak diukur volumenya apabila dirasa cukup sampai adonan bisa dikepal dengan tangan dan tidak hancur/ terlalu encer.

Kualitas produk yang berbeda-beda dapat disebabkan karena perusahaan tidak mempertimbangkan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kualitas antara lain lama penekanan, lama penjemuran, banyaknya air yang dibutuhkan untuk dapat bereaksi sempurna dengan semen, selain itu perbandingan agregat halus dan pasir yang digunakan. Apabila agregat kasar terlalu banyak maka penggunaan air juga semakin banyak. Untuk lama penekanan pada proses pencetakan dilakukan oleh perusahaan apabila batako dirasa sudah padat tanpa durasi waktu yang jelas, untuk lama penjemuran perusahaan juga tidak memberikan standar durasi berapa lama sehingga apabila dirasa batako telah kering maka penjemuran selesai dilakukan. Untuk itu perlu dilakukan perbaikan pada proses produksi

terkait dengan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kualitas produk batako agar kualitas batako memiliki standar kualitas yang sama dan cacat produk dapat diminimalisir.

5.2. Analisis *Identify Noise Factors, Testing Conditions, and Quality Characteristics*

Identifikasi faktor *noise* yang dilakukan dalam penelitian ini didapatkan dari hasil pengamatan tentang material penyusun batako seperti agregat kasar dan halus, air yang digunakan bahwa terkadang didalam agregat maupun air terdapat kandungan senyawa organik seperti lumut, rumput maupun tumbuhan lain. Kandungan senyawa organik tersebut dapat mempengaruhi proses kimia pada reaksi ikatan semen dan kandungan organik yang terdapat pada material penyusun batako berbeda-beda untuk setiap proses pembuatan batako. Karena dalam penelitian ini tidak dilakukan uji bahan organik secara kuantitatif, maka dilakukan pengamatan terhadap senyawa organik material penyusun batako dan didapatkan dua level faktor *noise* yaitu kandungan senyawa organik banyak dan sedikit.

Untuk karakteristik kualitas produksi batako yang menjadi acuan dalam peningkatan kualitas diperoleh dari wawancara perusahaan terkait dengan kualitas produk batako yang diinginkan konsumen. Sehingga upaya peningkatan kualitas dalam penelitian ini tidak berdasarkan survei langsung kepada konsumen. Dari beberapa karakteristik produk batako yang diinginkan konsumen menurut perusahaan diterjemahkan kedalam pengujian agar satuan dapat terukur.

Pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran terhadap kuat tekan batako untuk menerjemahkan keinginan kualitas produk batako tentang kualitas batako yang tidak mudah pecah dan tidak mudah retak. Sedangkan untuk karakteristik kualitas memiliki permukaan halus, padat dan pori-pori tertutup rapat diterjemahkan kedalam kadar air yang terdapat pada produk batako tersebut.

5.3. Analisis *Identify Objective Function to be Optimize*

Dari hasil karakteristik kualitas produk batako yang diinginkan konsumen diperoleh hasil kuat tekan dan kadar air untuk mengukur kualitas dari batako. Untuk kuat tekan dilakukan pengujian dengan *Compresing Testing Machine* (CTM) dengan satuan pengukuran kg/cm^2 dan karakteristik kualitas *Large the Better* (LTB). Karakteristik kualitas *Large the Better* merupakan karakteristik kualitas apabila nilainya semakin besar maka kualitas produk tersebut semakin bagus. Sedangkan untuk kadar air yang terdapat pada batako dilakukan pengujian dengan timbangan digital dengan satuan persen (%) dengan karakteristik kualitas *Smaller the Better* (STB), merupakan karakteristik kualitas dengan nilai yang semakin kecil maka dapat disimpulkan kualitas produk semakin bagus. Dalam hal ini diartikan apabila penyerapan batako semakin sedikit maka batako memiliki kualitas yang semakin bagus.

Agar karakteristik kualitas tujuan dapat tercapai maka perlu dilakukan analisis melalui pengamatan, teori, maupun penelitian yang sudah ada sebelumnya mengenai faktor-faktor yang dapat mempengaruhi secara signifikan terhadap kuat tekan dan kadar air batako. Peningkatan karakteristik kualitas batako dalam penelitian ini hanya berfokus terhadap kuat tekan dan kadar air produk batako, untuk pengukuran karakteristik kualitas lainnya tidak diukur.

5.4. Analisis *Identify the Control Factors and Their Levels*

Sebelum menentukan faktor kendali dan level yang digunakan dalam penelitian ini, dilakukan pengamatan dan wawancara kepada perusahaan terhadap proses produksi serta faktor-faktor yang mungkin berpengaruh terhadap kuat tekan dan kadar air batako. Setelah dilakukan pengamatan dan wawancara kemudian dilakukan studi literatur terkait teori maupun penelitian sebelumnya yang dapat mempengaruhi variabel respon tujuan dalam penelitian.

Dari hasil penggabungan terhadap wawancara, pengamatan dan kajian teori maka didapatkan 7 faktor kendali dan 2 level faktor terhadap variabel respon tujuan penelitian.

7 faktor kendali tersebut antara lain perbandingan semen dan agregat level 1 sebesar 1 semen banding 6 agregat, level 2 yaitu 1 semen banding 8 pasir, perbandingan agregat halus dan agregat kasar dengan level 1 sebesar 45 agregat halus banding 55 agregat kasar, nilai fas sebesar 0,4 untuk level 1 dan 0,65 untuk level 2, jumlah abu tempurung kelapa untuk level 1 sebanyak 5% dan level 2 sebanyak 8%, lama pengadukan untuk level 1 yaitu 10 menit dan untuk level 2 yaitu 15 menit, sedangkan lama tekanan untuk level 1 selama 45 detik dan untuk level 2 selama 60 detik dan yang terakhir lama penjemuran untuk level 1 adalah 3 hari level 2 yaitu 5 hari.

Pemilihan faktor kendali dengan 2 level dalam penelitian ini masih menggunakan range yang sedikit jauh sehingga kombinasi level faktor untuk peningkatan kualitas masih belum akurat dikarenakan hanya menggunakan 2 level faktor. Sehingga apabila penelitian berikutnya menggunakan 3 level atau 4 level diasumsikan kondisi kombinasi level optimal untuk peningkatan kualitas batako akan lebih akurat.

5.5. Analisis the Orthogonal Array Matrix Experiment

Penelitian ini menggunakan 7 faktor kendali dengan 2 level faktor, 4 replikasi dan 1 faktor *noise* dengan 2 level. Sehingga perlu dilakukan percobaan atau trial sebanyak $2^7 \times 4$ replikasi $\times 2$ yaitu sebanyak 1024 trial, untuk 1 respon. Dalam penelitian ini terdapat 2 respon kuat tekan dan akadar air maka perlu dilakukan sebanyak 2048 eksperimen, agar penelitian lebih efisien maka eksperimen dilakukan dengan menggunakan *array orthogonal*.

Penentuan *array orthogonal* diperoleh dengan cara terlebih dahulu menghitung derajat kebebasan (*degree of freedom*) sehingga diperoleh matriks *array orthogonal* untuk faktor kendali yaitu $L_8 (2^7)$ sehingga percobaan yang seharusnya dilakukan sebanyak 128 hanya dilakukan sebanyak 8 trial, sedangkan untuk faktor *noise* digunakan *array orthogonal* yang terdekat yaitu $L_4 (2^3)$ dengan 4 eksperimen. Setelah menentukan *array orthogonal* untuk faktor kendali dan faktor *noise* kemudian dilakukan pengabungan keduanya dengan masing-masing 4 replikasi. Sehingga eksperimen yang perlu dilakukan yaitu sebanyak $8 \times 4 \times 2 = 64$

trial untuk 1 respon, sehingga dalam penelitian perlu dilakukan eksperimen sebanyak 128 kali.

5.6. Analisis *Matriks Eksperiment*

Untuk eksperimen dalam matriks *array orthogonal* terdapat 2 langkah, langkah pertama yaitu membuat batako sesuai dengan kombinasi level sesuai dengan matriks *array orthogonal* sehingga kombinasi material yang dilakukan sebanyak 8 trial dengan masing-masing jumlah produk batako sebanyak 8 untuk respon kuat tekan dan 8 untuk respon kadar air. Dalam eksperimen batako dikerjakan oleh operator yang sama sesuai dengan operator produksi batako pada perusahaan.

Eksperimen uji kualitas batako dalam penelitian ini untuk respon kuat tekan dilakukan sebanyak 64 kali untuk respon kuat tekan dan 64 kali untuk respon kadar air. Kuat tekan batako di uji dengan menggunakan CTM dan kadar air menggunakan timbangan digital agar hasilnya terbaca akurat di laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia sehingga batako hasil eksperimen dipindahkan dari perusahaan ke laboratorium, untuk menghindari benda uji yang rusak selama pemindahan maka terdapat 32 batako cadangan untuk respon kuat tekan dan kadar air. Dari proses pemindahan untuk keperluan pengujian terdapat benda uji yang rusak sebanyak 8 batako, batako yang rusak anatara lain bagian tepi dan sudut-sudutnya tidak utuh.

Selain pengujian terhadap hasil eksperimen pada matriks *array orthogonal* juga dilakukan pengujian kuat tekan dan kadar air terhadap batako produksi perusahaan sebanyak 16 batako dengan 8 batako cadangan yang akan dibandingkan dengan batako pada kombinasi level faktor optimal. Proses pengangkutan dan pemindahan mengakibatkan 1 batako pecah dan 3 batako retak.

Mesin CTM dan timbangan digital yang berada di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik telah dikalibrasi oleh petugas sesuai dengan Standar Prosedur Laboratorium. Proses uji kuat tekan dengan mesin CTM dilakukan oleh petugas laboratorium, sedangkan untuk

pengukuran dimensi produk serta pengujian kadar air dilakukan penulis. Pengukuran dimensi produk menggunakan bantuan alat penggaris

5.7. *Analyze the Data, Predict the Optimum Levels and Performance*

Didalam sub bab ini terdapat analisis untuk Uji Normalitas, Uji Homogenitas, ANOVA (*Analysis of Variance*), SNR (*Signal to Noise Ratio*) Efek tiap faktor dan MRSN (*Multi Respon Signal Ratio*). Hasil dari perhitungan MRSN merupakan prediksi kombinasi level optimal dari peningkatan kualitas Batako.

5.7.1. Analisis Perhitungan Uji Normalitas

Sebelum pengolahan data untuk mengetahui faktor berpengaruh terhadap variabel respon dilakukan uji normalitas untuk data kuat tekan dan kadar air. Uji Normalitas bertujuan untuk menguji apakah data eksperimen dari kombinasi faktor yang telah ditentukan memiliki distribusi normal, apabila asumsi ini dilanggar maka uji *statistic* menjadi tidak *valid* untuk jumlah sampel kecil.

Dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai *Chi-Square* hitung dari data kuat tekan batako diperoleh hasil 2,5021. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh bahwa nilai (*Chi-Square*) $\chi^2_{hitung} = 2,5021 < \chi^2_{tabel} = 5,9915$ maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa nilai *Chi-Square* berada didaerah penerimaan maka hipotesisi (H_0) diterima, dengan demikian maka data kuat tekan berdistribusi normal. Untuk data kadar air diperoleh nilai *Chi-Square* hitung dari kadar air batako diperoleh hasil 0,298. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh bahwa nilai (*Chi-Square*) $\chi^2_{hitung} = 0,298 < \chi^2_{tabel} = 5,9915$ maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa nilai *Chi-Square* berada didaerah penerimaan maka hipotesis (H_0) diterima dengan demikian maka data kadar air berdistribusi normal. Data untuk kadar air dan kuat batako merupakan data yang *valid* dan dapat dilakukan uji berikutnya yaitu uji homogenitas.

5.7.2. Analisis Perhitungan Uji Homogenitas

Setelah dipastikan bahwa dari uji normalitas data kuat tekan dan kadar air batako merupakan data yang berdistribusi normal maka perlu dilakukan uji homogenitas. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sebaran data variansi dan dilakukan ketika uji hipotesis dua populasi atau lebih. Dari data kuat tekan dan data kadar air terdapat 8 populasi dari masing-masing replikasi hasil eksperimen.

Berdasarkan hasil perhitungan uji homogenitas data kuat tekan batako diperoleh hasil untuk *Chi-Square* hitung sebesar 0,3054 sehingga hasil $\chi^2_{hitung} = 0,3054 < \chi^2_{tabel} = 14,067$ dengan demikian maka H_0 diterima. Dapat disimpulkan bahwa data kuat tekan batako homogen atau dapat diasumsikan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar data replikasi (data seragam). Untuk data kadar air berdasarkan hasil perhitungan uji homogenitas data kadar air batako diatas *Chi-Square* hitung diperoleh hasil 0,7489 sehingga hasil $\chi^2_{hitung} = 0,7489 < \chi^2_{tabel} = 14,0671$ dengan demikian maka H_0 diterima. Dapat disimpulkan bahwa data kadar air batako homogen atau dapat diasumsikan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar data replikasi (data seragam).

5.7.3. Analisis Perhitungan ANOVA

ANOVA (*Analysis of Variance*) merupakan uji komparasi multivariabel dengan menguji apakah terdapat perbedaan rata-rata tiga kelompok atau lebih dengan membandingkan variansinya. ANOVA dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui faktor kendali yang berpengaruh terhadap variabel respon.

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan maka dapat diketahui nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu faktor A (perbandingan semen dan agregat), faktor B (perbandingan agregat halus dan agregat kasar), faktor C (perbandingan air semen/nilai fas), faktor D (jumlah abu tempurung kelapa), faktor E (lama pengadukan), sehingga H_0 ditolak yang artinya bahwa ada pengaruh faktor A, faktor B, faktor C, faktor D, faktor E terhadap respon sedangkan untuk faktor F dan

faktor G, H_0 diterima artinya tidak ada pengaruh faktor F (lama tekanan) dan faktor G (lama penjemuran) terhadap respon kuat tekan

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan maka dapat diketahui nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu faktor A, faktor B, faktor C, faktor D, faktor E, faktor F dan faktor G sehingga H_0 ditolak yang artinya bahwa ada pengaruh faktor A, faktor B, faktor C, faktor D, faktor E, faktor F dan faktor G (semua faktor berpengaruh) terhadap respon kadar air.

5.7.4. Analisis Perhitungan SNR dan Efek Tiap Faktor

Eksperimen taguchi perhitungan nilai *Signal to Noise* (SNR) kuat tekan digunakan *SN Large the Better* (LTB) karena semakin besar kuat tekan batako maka akan semakin baik kualitas batako tersebut. Dari perhitungan SNR untuk respon kuat tekan diperoleh kombinasi level optimal A1 B2 C1 D1 E2 F2 G1 dengan uraian perbandingan semen dan agregat sebesar 1:6, perbandingan jumlah agregat halus dan agregat kasar sebesar 55:45, jumlah air (fas) sebesar 0,4, jumlah abu tempurung kelapa sebesar (5%), lama pengadukan adalah 15 menit, lama tekanan 60 detik dan lama penjemuran 3 hari.

Sedangkan untuk perhitungan *Signal to Noise* (SNR) untuk kadar air digunakan *SN Smaller the Better* (STB) karena semakin kecil kadar air batako maka akan semakin baik kualitas batako tersebut. Dari perhitungan SNR untuk respon kuat tekan diperoleh kombinasi level optimal A2 B2 C2 D1 E1 F1 G2 dengan uraian perbandingan semen dan agregat sebesar 1:8, perbandingan jumlah agregat halus dan agregat kasar sebesar 55:45, jumlah air (fas) sebesar 0,65, jumlah abu tempurung kelapa sebesar 5%, lama pengadukan adalah 10 menit, lama tekanan 45 detik dan lama penjemuran 5 hari.

Dari perhitungan SNR diperoleh kombinasi level berbeda antara respon kuat tekan dan kadar air. Agar perusahaan dapat memproduksi batako dengan kuat tekan dan kadar air yang optimal maka harus diperoleh kombinasi level yang optimal untuk kedua respon tersebut sehingga perlu dilakukan perhitungan MRSN (*multi respon signal ratio*).

5.7.5. Analisis Perhitungan MRSN

Dalam menghitung nilai MRSN yang perlu dilakukan yaitu menentukan hasil regresi linear berganda dari tiap replikasi di setiap responnya sehingga dapat diketahui hubungan antara tiap replikasi dengan kombinasi level faktor yang ada. Setelah diperoleh koefisien regresi, kemudian dilakukan perhitungan prediksi hasil eksperimen terhadap 128 trial dengan 4 replikasi dan 2 faktor *noise* dan 2 variabel respon yaitu sebanyak 2048 prediksi.

Nilai MRSN terbesar atau A nilai maksimal dari perhitungan MRSN yaitu sebesar 5,90167 sehingga diperoleh kombinasi level faktor yang optimal untuk memperoleh kuat tekan dan kadar air yang baik yaitu A1 B2 C2 D1 E1 F1 G2., yaitu perbandingan semen dan agregat sebesar 1:6, perbandingan jumlah agregat halus dan agregat kasar sebesar 55:45, jumlah air (fas) sebesar 0,65, jumlah abu tempurung kelapa sebesar 5%, lama pengadukan adalah 10 menit, lama tekanan 45 detik dan lama penjemuran 5 hari.

Dari hasil prediksi kombinasi level faktor yang optimal untuk kedua respon diperoleh rata-rata kuat tekan sebesar 79,5583 kg/cm² dan rata-rata kadar air sebesar 7,304%. Namun peningkatan kuat tekan dan penurunan kadar air tersebut belum tentu memberikan peningkatan kualitas yang signifikan, maka perlu dilakukan pengujian secara statistik apakah hasil dari usulan memberikan peningkatan yang signifikan terhadap kuat tekan dan kadar air. Jika tetap berada dalam batas penerimaan, maka masih dianggap sama atau tidak berbeda secara signifikan.

5.8. Analisis *Perform the Verification Experiment and Plan the Future Action*

Dalam bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa eksperimen verifikasi tidak dilakukan dalam penelitian ini. Tetapi dilakukan prediksi terhadap data kuat tekan dan kadar air batako untuk dilakukan uji beda terhadap kondisi awal perusahaan dan kondisi optimal perusahaan. Selain dilakukan uji beda, dalam penelitian ini dilakukan perhitungan tentang berapa persen kenaikan kualitas kuat tekan dan kadar air dari kondisi awal terhadap kondisi optimal.

Perhitungan uji beda kondisi awal dan kuat tekan batako dengan menggunakan *software* SPSS uji *paired sample t-Test* dengan signifikansi $\alpha = 5\%$ diperoleh hasil $t_{tabel} = t(0,05; 8 - 1) = 1,8946$. Hasil kombinasi level faktor untuk kuat tekan diperoleh hasil perhitungan $t_{hitung} = 30,394$ hasil tersebut tidak berada diantara angka-angka t_{tabel} yaitu -1,8946 dan 1,8946 sehingga H_0 ditolak artinya kondisi usulan lebih baik dari kondisi awal. Sedangkan hasil kombinasi level faktor untuk kadar air diperoleh hasil perhitungan $t_{hitung} = 20,233$ hasil tersebut tidak berada diantara angka-angka t_{tabel} yaitu -1,8946 dan 1,8946 sehingga H_0 ditolak artinya kondisi usulan lebih baik dari kondisi awal.

Setelah diketahui hasil uji beda (*t-Test*) untuk kondisi awal dan kondisi optimal kemudian dilakukan perbandingan peningkatan kondisi awal dengan kondisi kombinasi level optimal. Peningkatan kondisi awal terhadap kondisi kombinasi level optimal dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 5.1. Presentase peningkatan kualitas

Variabel Respon	Kondisi Awal	Kondisi Optimal	Peningkatan	peningkatan
Kuat Tekan	42,7312	79,55825	28,413	86%
Kadar Air	23,7725	7,3040	-16,7725	-69%

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa kondisi optimal terdapat peningkatan kuat tekan sebesar 86% sedangkan untuk kadar air terdapat penurunan sebesar 69% dari kondisi awal batako. Berdasarkan tujuan dari perancangan eksperimen taguchi ini, peningkatan presentase yang terjadi telah membuktikan bahwa rancangan usulan dapat meningkatkan kualitas batako yang diukur dari variabel respon kuat tekan dan kadar air. Dari peningkatan tersebut perusahaan dapat menggunakan level faktor optimal agar aktivitas produksi dapat lebih terukur dan kenaikan kualitas dapat tercapai sebagai tindakan masa depan.

5.9. Analisis Kekurangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan masih jauh dari kata sempurna walaupun peneliti berusaha melakukan dan mengumpulkan data yang valid yang digunakan dalam pengolahan data penelitian. Data yang digunakan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan yaitu data dari kuat tekan dan kadar air batako hasil eksperimen dan data produk perusahaan.

Tetapi dalam pencapaian tujuan yang ditetapkan didalam penelitian ini masih terdapat beberapa asumsi. Salah satu asumsi yang digunakan yaitu asumsi tentang spesifikasi produk batako yang diinginkan oleh konsumen tidak berdasarkan survei langsung kepada konsumen tetapi hanya spesifikasi kualitas produk berdasarkan hasil wawancara dari produsen. Selain itu penelitian hanya berfokus pada dua variabel respon terkait penerjemahan kedalam standar teknik dari spesifikasi produsen yaitu kuat tekan dan kadar air, sedangkan uji kualitas lain seperti kuat tekan berdiri, kuat lentur, dan sebagainya tidak dilakukan dalam penelitian ini.

Kemudian kekurangan dalam penelitian ini tidak dilakukan eksperimen konfirmasi untuk terhadap hasil prediksi data kuat tekan dan kadar air dari kombinasi level optimal, tetapi uji beda yang dilakukan hanya berdasarkan hasil prediksi yang diperoleh dengan menggunakan regresi linier, sehingga belum dilakukan pembuktian bahwa hasil prediksi dan hasil eksperimen konfirmasi tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

Hal lain yang diasumsikan dalam penelitian ini yaitu perhitungan biaya dalam pembuatan batako. Perusahaan tidak memiliki standar khusus untuk komposisi agregat yang digunakan sehingga perhitungan biaya untuk material agregat hanya berdasarkan perkiraan yang disampaikan oleh perusahaan dalam pembuatan batako sehingga berpengaruh terhadap besarnya biaya yang dibutuhkan terkait dengan biaya material agregat.

BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon kuat tekan batako yaitu perbandingan semen dan agregat sebesar 1 :6, perbandingan jumlah agregat halus dan agregat kasar sebesar 55:45, jumlah air (fas) sebesar 0,4, jumlah abu tempurung kelapa 5%, lama pengadukan 15 menit, sedangkan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kadar air batako yaitu perbandingan semen dan agregat sebesar 1:8, perbandingan jumlah agregat halus dan agregat kasar sebesar 55:45, jumlah air (fas) sebesar 0,65, jumlah abu tempurung kelapa 5%, lama pengadukan 10 menit, lama tekanan 45 detik dan lama penjemuran 5 hari.
2. Kombinasi level optimal diperoleh perbandingan semen dan agregat sebesar 1:6, perbandingan jumlah agregat halus dan agregat kasar 55:45, jumlah air (fas) 0,4 jumlah abu tempurung kelapa sebesar (5%), lama pengadukan adalah 15 menit, lama tekanan 60 detik dan lama penjemuran 3 hari. Sedangkan untuk kadar air diperoleh kombinasi level optimal perbandingan semen dan agregat sebesar 1:8, perbandingan jumlah agregat halus dan agregat kasar sebesar 55:45, jumlah air (fas) sebesar 0,65, jumlah abu tempurung kelapa sebesar 5%, lama pengadukan adalah 10 menit, lama tekanan 45 detik dan lama penjemuran 5 hari. Dari perhitungan MRSN diperoleh kombinasi level faktor yang optimal untuk memperoleh kuat tekan dan kadar air yang baik yaitu perbandingan semen dan agregat sebesar 1:6, perbandingan jumlah agregat halus dan agregat kasar sebesar

55:45, jumlah air (fas) sebesar 0,65, jumlah abu tempurung kelapa sebesar 5%, lama pengadukan 10 menit, lama tekanan 45 detik dan lama penjemuran 5 hari.

3. Dari hasil prediksi kombinasi level faktor yang optimal untuk kedua respon diperoleh rata-rata kuat tekan sebesar 79,55825 kg/cm² dan rata-rata kadar air sebesar 7,3040% sedangkan rata-rata untuk kondisi awal kuat tekan yaitu sebesar 42,731 kg cm² dan rata-rata untuk kondisi awal kadar air yaitu sebesar 23,773%.
4. Dari hasil perhitungan kombinasi level optimal terdapat peningkatan kuat tekan sebesar 86% dari kondisi awal perusahaan sedangkan untuk respon kadar air terdapat penurunan sebesar 69% dari kondisi awal perusahaan. Kombinasi level faktor optimal memberikan usulan yang lebih baik terhadap kuat tekan dan kadar air batako.

6.2. Saran

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai pertimbangan dan acuan bagi perusahaan untuk menyusun kombinasi level faktor optimal untuk meningkatkan kualitas produk agar dapat bersaing di era global dan memenuhi keinginan konsumen terkait kualitas produk yang memiliki kualitas yang baik agar tercapai kepuasan pelanggan.

Penelitian ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga terdapat beberapa kelemahan yang dapat diperbaiki pada penelitian selanjutnya. Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Peningkatan kualitas batako yang tidak hanya dengan respon kuat tekan dan kadar air tetapi dapat mengembangkan respon yang lain seperti uji kuat lentur, kuat tarik belah, uji grafitasi batako atau uji gesek permukaan batako.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menambah variabel-variabel respon sehingga kualitas batako dapat lebih baik dari penelitian ini.
3. Mengatur kembali level-level faktor dengan mengubah interval antar level atau dengan menambah level faktor
4. Melakukan peningkatan kualitas dengan peningkatan biaya yang lebih rendah dari penelitian, sehingga harga dapat bersaing di pasar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashaf, W., & Noor, M. (2011). A Parametric Study For Assessing The Effects Of Coarseness Factor And Workability Factor On Concrete Compressive Strenght. *International Journal Of Civil And And Structural Engineering*, 1.
- Assauri, S. (2004). *Manjemen Pemasaran*. Jakarta: Rajawali Press.
- Balavendram. (1995). *Quality by Design: Taguchi Techniques for Industrialxperimentation*. London: Prentice Hall.
- Chu Kia Wang. (1993). Jakarta: Erlangga.
- Chu Kia Wang, & Charles G, S. (1993). Jakarta: Erlangga.
- Chu Kia Wang, & Charles G. Salmon. (1993). *Disain Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.
- Chu Kia Wang, & Salmon, C. (1993). *Desain Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.
- Daniel, M. (2002). *Metode Penelitian Sosial Ekonomi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Edward G Nawy. (1990). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*.
- Feigenbaum, A. (1991). *Total Quality Control*. Singapore: Mc Grow Hill Book.
- Garvin, D. (1994). *Kualitas Produk : Alat Strategi yang Penting*. Free Press.
- Gaspersz, V. (2002). *Manajemen Kualitas Penerapan Konsep-Konsep Kualitas dalam Manajemen Bisnis Total* (Indonesia ed.). Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Ghozali, I. (2012). *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS*. Yogyakarta: Universitas Diponegoro.
- Ginting, A. (2014). Pengaruh Perbandingan Agregat Halus dengan Agregat Kasar Terhadap Workability dan Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik*, 4, 1-7.
- Gujarati, D. (2003). *Ekonometri Dasar*. (S. Zain, Trans.) Jakarta: Erlangga.
- Hasan, M. I. (2002). *Pokok-pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya*. Bogor: Ghalia Indonesia.
- Heinz, & Ch. Koesmartadi. (1999). *Ilmu Bahan Bangunan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Ishak, A. (2002). *Rekasa Kualitas*. Universitas Sumatera Utara.
- Jumaeri,W, Sumarni, & Latifah. (2006). Karakteristik Abu Layang Industri Ban dan Pemanfaatannya untuk Pembuatan Batako. *Jurnal Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Jawa Tengah*, 3-7.

- Kolarik, W. (1995). *Creating Quality*. New Jersey: McGraw-Hill Inc.
- Lubis, M. (2003). Pengujian Struktur Beton dengan Metode Hammer Test dan Metode Uji Pembebanan (Load Test). *Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara*.
- Maddala, G. (1992). *Introduction to Econometrics*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Manap A, dkk. (1987). Analisis Batako dan Genteng Semen Sebagai Bahan Murah di DIY. *Laporan Penelitian*.
- Mitra, A. (1998). *Fundamental of Quality Control and Improvement*. Upper sadle river, NJ: Prentice hall.
- Montgomery, D. (1993). *Fundamental of Quality Control and Improvement*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Mulyo, T. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: ANDI.
- Mulyono, T. (2005). *Tenologi Beton*. Yogyakarta: Andi offset.
- Murdock, L., & K.M., B. (1979). *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Mustaqim, M. I., Marliansyah, J., & Rahmi, A. (2016). Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Paving Block. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Neville, A. (1997). *Properties of Concrete*. New York: Jhon Wiley & Sons. Inc.
- Neville, A., & Brooks, J. (2010). *Concrete Technology* (second Edition ed.). England: Pearson Education Limited, Essex.
- Neville, A.M. (1997). *Properties of Concrete*. New York: Jhon Wiley & Sons. Inc.
- Nugraha, P., & Antono. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: C.V Andi Offset.
- Peace, G. (1993). *Taguchi Methods A Hands on Approach*. Canada: Addison Wesley Publishing.
- Pramono, Y., Wahyudi, D., & San, G. (2001). Optimasi Proses Injeksi dengan Metode Taguchi. *Jurnal Fakultas Teknologi Industril Teknik Mesin*, 24-28.
- Purhantara, W. (2010). *Metode Penelitian Kualitatif Untuk Bisnis*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Pusoko, P. (1997). Pemanfaatan Pasir Laut untuk Keperluan Bahn Bangunan (Pembuatan Batko) Laporan Penelitian.
- Sachdeva, A. (2009). Multi-Factor Mode Critically Analysis Using TOPSIS. *International Journal of Industrial Enineering*.

- Saleh, C., & Purnomo, M. (2013). *Metodologi Penelitian: Sebuah Petunjuk Praktis*. Yogyakarta: Jaya Abadi Press.
- SK SNI T-15-1990-03. (1990). Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal. Departemen Pekerjaan Umum.
- SNI 03-0349-1989. (1989). Bata Beton Pejal. *Standar Nasional Indonesia*. Bandung: Badan Standar Nasional.
- SNI 03-1974-1990. (n.d.). Metode Pengujian Kuat Tekan Beton .
- SNI 03-3976-1995. (n.d.). Tata Cara Pengecoran Beton.
- SNI 19-8402-1991. (n.d.). *Pembendaharaan istilah ISO 8402 dan dari Standar National Indonesia*.
- Sudjana. (2006). *Metode Statistik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Sugiyono. (2015). *Metode Penelitian Kombinasi (Mix Methods)*. Bandung: Alfabeta.
- Tabachnick, B., & Fidell, L. (1996). *Using Multivariate Statistics*. New York: Harper-Collins.
- Tjokrodimulyo. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro penerbit.
- Umar, H. (2007). *Metode Penelitian Untuk Skripsi Dan Tesis Bisnis*. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Walpole, R. E. (1995). *Pengantar Statistika, edisi ke-3*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Transkrip Wawancara Peneliti dengan Pemilik Pasir Luhur

Nama : Sikam

Jabatan : Pemilik

Hari/Tanggal : Jumat, 1 Juli 2020

Pukul : 09.00 WIB

Tempat : Pasir Luhur (Jl. Boyolali – Magelang km.20, Desa Samiran,
Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali)

Peneliti :	Bagaimana standar ukuran komposisi material dalam proses produksi batako?
Narasumber :	Standar ukuran komposisi material yang digunakan oleh pasir luhur yaitu satu sak semen (berat 40 kg) menghasilkan 50 sampai dengan 55 batako berlubang.
Peneliti :	Untuk kebutuhan agregat pasir berapa banyak yang dibutuhkan untuk memproduksi batako untuk 1 sak semen?
Narasumber :	Dalam memproduksi batako dengan 1 sak semen digunakan agregat pasir sebanyak 1/3 dari agregat pasir mobil pickup.
Peneliti :	Apakah agregat pasir yang digunakan dalam produksi batako terdiri dari agregat halus dan kasar? Dan adakah perbandingan tertentu antara agregat kasar dan agregat halus?
Narasumber :	Dalam pembuatan batako pasir luhur menggunakan pasir dari 1 pesanan material 1 pasir mobil pick up (1 rit) yang sudah tercampur antara pasir halus dan kerikil tanpa perbandingan tertentu. Pasir berasal dari kali apu (hasil erupsi gunung merapi) atau jenis pasir vulkanik.

Peneliti :	Adakah komposisi lain yang digunakan dalam pembuatan batako selain ukuran pasir dan semen, seperti banyaknya air atau bahan lain yang digunakan?
Narasumber :	Untuk komposisi lain yang menjadi standar hanya pada komposisi perbandingan pasir dan semen, untuk ukuran air sesuai dengan kebutuhan yang dibutuhkan apabila adonan menurut pekerja dirasa cukup dan tidak terlalu encer maka hal tersebut yang menjadi standar dalam pembuatan batako yaitu dengan melihat adonan pasir, semen dan air bisa membentuk adonan batako, adonan batako tidak boleh terlalu encer. Pasir luhur batako hanya menggunakan material berupa pasir, semen dan air dalam pembuatan batako.
Peneliti :	Untuk proses pembuatan batako seperti apa berapa lama waktu yang diperlukan dalam pembuatan batako, seperti berapa lama proses pengadukan, lama penekanan pada proses cetak dan berapa lama waktu penjemuran yang dibutuhkan agar batako kering?
Narasumber :	Lama proses pengadukan tidak ditentukan dalam proses pembuatan batako, proses pengadukan dilakukan sampai semua bahan tercampur, sedangkan untuk proses pencetakan batako kurang dari 1 menit sampai batako dirasa padat dan untuk proses pengeringan sekitar 3 sampai 5 hari dibawah terik matahari. Sebelum proses pengeringan batako diangin-anginkan selama 1 hari dibawah rumah penjemuran yang terdapat plastik diatasnya (tidak diterik matahari langsung)
Peneliti :	Apakah hasil produk batako pernah diuji kualitas seperti pengujian kuat tekan atau yang lain?
Narasumber :	Untuk batako belum pernah dilakukan uji kualitas tetapi untuk produk paving block pernah dilakukan pengujian untuk kualitas di Universitas Diponegoro Semarang.
Peneliti :	Untuk kualitas seperti apakah batako yang diinginkan oleh konsumen?
Narasumber :	Hal pertama yang diinginkan oleh konsumen yaitu harga yang relatif murah dan terjangkau agar bisa bersaing dengan produsen batako di daerah kami, untuk kualitas yang diinginkan konsumen batako memiliki permukaan yang halus, pori-pori kecil/rapat, tidak mudah pecah, tidak mudah retak, sudut-sudutnya sempurna, tidak cuil.
Peneliti :	Apakah terdapat kendala/ kerugian seperti batako retak atau mungkin sudut-sudutnya tidak utuh pada proses produksi batako?
Narasumber :	Untuk proses produksi batako produk sedikit ditemukan tetapi terkadang terdapat produk rusak saat setelah proses pencetakan, batako terkadang memiliki garis retak tetapi masih menyatu, terkadang apabila diangkat tidak menyebabkan patah pada batako tetapi apabila diperhatikan setelah kering terlihat garis retakan. Produk cacat banyak ditemukan ketika proses pengiriman ke konsumen.

Peneliti :	Apakah produk yang retak tersebut tetap dijual kepada konsumen? Biasanya berapa batako yang rusak ketika proses pengiriman? Batako rusak saat pengiriman contohnya seperti apa untuk penggambarannya?
Narasumber :	Untuk produk yang tidak sampai patah atau bentuknya tidak sempurna tetap dijual kepada konsumen tetapi batako yang pecah dalam proses produksi maupun pengiriman tidak dijual kepada konsumen, dan kami mengganti dengan produk yang tidak pecah. Untuk setiap pengiriman biasanya konsumen memesan 200 – 3000 batako. Dan pada proses pengiriman tanggal 30 bulan Juni sebanyak 500 buah terdapat cacat retak sedikit, sudut-sudutnya cuil terdapat 40 sampai 55 batako sedangkan yang patah sekitar 5 atau 8 batako, dan kami mengganti produk batako yang patah. Selain itu kami memberikan bonus untuk pembelian kelipatan 500 buah diberikan tambahan batako sebanyak 10 buah
Peneliti :	Apakah ada data kepuasan pelanggan tentang produk batako atau data tentang pelanggan yang komplain?
Narasumber :	Untuk data itu kami belum pernah melakukan survei dan rekap data



Lampiran 2. Data Teknis campuran

Trial no	Faktor Kendali							Teknis Campuran Eksperimen							
	A	B	C	D	E	F	G	A (kg)	B (kg)		C (Liter)	D (kg)	E (Menit)	F (detik)	G (hari)
	Column Number								Halus	Kasar					
	1	2	3	4	5	6	7		1	2					
1	1	1	1	1	1	1	1	13	35,1	42,9	5,2	0,65	10	45	3
2	1	1	1	2	2	2	2	13	35,1	42,9	5,2	1,04	15	60	5
3	1	2	2	1	1	2	2	13	42,9	35,1	8,45	0,65	10	60	5
4	1	2	2	2	2	1	1	13	42,9	35,1	8,45	1,04	15	45	3
5	2	1	2	1	2	1	2	13	46,8	57,2	8,45	0,65	15	45	5
6	2	1	2	2	1	2	1	13	46,8	57,2	8,45	1,04	10	60	3
7	2	2	1	1	2	2	1	13	57,2	46,8	5,2	0,65	15	60	3
8	2	2	1	2	1	1	2	13	57,2	46,8	5,2	1,04	10	45	5

Keterangan:

Perbandingan semen dan agregat : (A)

Perbandingan agregat halus dan perbandingan agregat kasar : (B)

Jumlah air semen (fas) : (C)

Jumlah abu tempurung kelapa : (D)

Lama pengadukan : (E)

Lama tekanan yang diberikan : (F)

Lama pengeringan : (G)

Lampiran 3. Data Ukuran Batako

Trial	Replikasi	Ukuran Rata-rata Batako Berlubang (cm)			Ukuran Lubang (cm)			Ukuran Lekukan Samping (cm)		
		Panjang	Lebar	Tinggi	Panjang	Lebar	Tinggi	Alas (a)	Tinggi (t)	Tinggi prisma
1	1	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	2	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	3	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	4	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	5	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	6	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	7	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	8	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	9	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	10	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
2	11	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	12	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	13	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	14	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	15	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	16	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	17	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	18	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	19	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	20	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
3	21	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	22	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	23	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	24	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16

Trial	Replikasi	Ukuran Rata-rata Batako Berlubang (cm)			Ukuran Lubang (cm)			Ukuran Lekukan Samping (cm)		
		Panjang	Lebar	Tinggi	Panjang	Lebar	Tinggi	Alas (a)	Tinggi (t)	Tinggi prisma
4	25	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	26	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	27	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	28	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	29	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	30	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	31	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	32	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
5	33	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	34	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	35	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	36	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	37	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	38	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	39	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	40	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
6	41	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	42	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	43	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	44	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	45	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	46	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	47	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	48	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16

Trial	Replikasi	Ukuran Rata-rata Batako Berlubang (cm)			Ukuran Lubang (cm)			Ukuran Lekukan Samping(cm)		
		Panjang	Lebar	Tinggi	Panjang	Lebar	Tinggi	Alas (a)	Tinggi (t)	Tinggi prisma
7	49	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	50	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	51	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	52	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	53	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	54	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	55	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	56	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	57	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	58	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
8	59	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	60	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	61	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	62	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	63	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16
	64	40	20	10	7	4	15	4	3,46	16

Lampiran 4. Data Kuat Tekan Batako

Trial	Luas Penampang (cm ²)				Beban maksimum(kg)				Kuat Tekan (kg/cm ²)			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	83185	87060	85090	86140	67,612	70,762	69,161	70,014
2	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	88170	84110	85060	83110	71,664	68,364	69,136	67,552
3	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	97275	94245	101700	95210	79,065	76,602	82,661	77,386
4	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	101825	109700	97270	109600	82,763	89,164	79,061	89,083
5	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	61980	67855	69375	69160	50,377	55,152	56,388	56,213
6	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	55365	58920	54165	62595	45,000	47,890	44,025	50,877
7	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	93780	90845	92800	94335	76,224	73,839	75,428	76,675
8	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	77050	85615	77050	76190	62,626	69,588	62,626	61,927

Trial	Luas Penampang (cm ²)				Beban maksimum (kg)				Kuat Tekan (kg/cm ²)			
	R5	R6	R7	R8	R5	R6	R7	R8	R5	R6	R7	R8
1	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	86000	88290	89350	87215	69,901	71,762	72,623	70,888
2	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	86215	84955	80495	87860	70,075	69,051	65,426	71,412
3	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	95860	94030	103840	96505	77,915	76,427	84,401	78,439
4	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	100135	95320	91830	99705	81,389	77,476	74,639	81,040
5	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	75065	75465	69530	74345	61,013	61,338	56,514	60,427
6	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	54165	61625	55380	60145	44,025	50,089	45,013	48,886
7	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	86215	90845	92445	92090	70,075	73,839	75,139	74,850
8	1230,3	1230,3	1230,3	1230,3	69530	74345	75465	76190	56,514	60,427	61,338	61,927

Lampiran 5. Data Kadar Air Batako

Trial	Berat Batako (g)								Penyerapan Air (%)			
	Berat Basah				Berat Kering							
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	12300	11500	12800	11800	11000	10500	11400	10500	11,82	9,52	12,28	12,38
2	12500	12900	12200	12000	10900	11400	10600	10400	14,68	13,16	15,09	15,39
3	12600	11400	12200	12100	11500	10400	11400	11000	9,57	9,61	7,02	10
4	12400	12500	12800	10900	10900	11100	11400	9800	13,76	12,61	12,28	11,22
5	11500	11700	11700	11700	10600	10800	10700	10800	8,49	8,33	9,35	8,33
6	12000	11700	12200	12300	10800	10500	11000	11000	11,11	11,43	10,91	11,82
7	12300	11500	12200	12000	10900	10300	10800	10800	12,84	11,65	12,96	11,11
8	11300	12400	11000	11100	10700	11600	10500	10400	5,61	6,9	4,76	6,73

Trial	Berat Batako (g)								Penyerapan Air (%)			
	Berat Basah				Berat Kering							
	R5	R6	R7	R8	R5	R6	R7	R8	R5	R6	R7	R8
1	11800	11800	11700	11400	10600	10700	10500	10200	11,32	10,28	11,43	11,78
2	12900	11800	12100	11800	11400	10100	10600	10100	13,16	16,83	14,15	16,83
3	11800	11400	11500	11500	10700	10500	10600	10500	10,28	8,57	8,49	9,52
4	12300	12600	12800	12500	10700	11100	11400	10900	14,95	13,51	12,28	14,68
5	12700	12000	12400	12400	11600	11200	11400	11300	9,48	7,14	8,77	9,73
6	11800	11900	11700	12300	10700	10800	10700	11000	10,28	10,19	9,35	11,82
7	12300	12000	12200	12100	10800	10700	10700	10800	13,89	12,15	14,02	12,04
8	12000	11200	11300	12200	11200	10600	10800	11600	7,14	5,66	4,63	5,17

Lampiran 6. Perhitungan Biaya

Perhitungan Biaya Peralatan dan Mesin Pencetak Batako

Harga mesin cetak dan pengaduk = Rp. 15.000.000

Umur mesin = 15 Tahun

Biaya Perawatan:

Pembersihan setiap hari (tidak membutuhkan biaya tambahan)

Biaya depresiasi = $\frac{\text{Rp.15.000.000}}{15 \text{ tahun}}$ = Rp. 1.000.000 /tahun

Jumlah hari kerja = 314 hari

Biaya mesin = $\frac{\text{Rp.1.000.000}}{314 \text{ hari}}$ = Rp. 3.184,7133 /hari

= $\frac{\text{Rp.3.184,7133}}{450 \text{ produk}}$ = Rp. 7,0071 / buah

Biaya bahan baku produksi batako per hari (450 produk) adalah sebagai berikut:

Tabel Bahan Baku Produksi Batako

No	Bahan Baku	Jumlah	Harga Satuan	Harga
1	Semen (40 kg)	6 Sak	Rp 45.000	Rp 270.000
2	Agregat halus+kasar	3 Pick up	Rp 250.000	Rp 750.000
	Total			Rp 1.020.000

Bahan Baku produksi per produk = $\frac{\text{Rp.1.020.000}}{450 \text{ produk}}$ = Rp. 2.266,667

Biaya peralatan mesin dan tenaga kerja per hari (450 produk) adalah sebagai berikut:

Tabel mesin dan tenaga kerja Produksi Batako

No	Rincian Biaya	Per hari	Per produk
1	Biaya depresiasi mesin	Rp 3.187,713	Rp 7,084
2	Biaya tenaga kerja	Rp 50.000,000	Rp 111,111
3	Air	Rp 2.000,000	Rp 4,444
4	Solar	Rp 10.000,000	Rp 22,222
	Total Biaya		Rp 144,862

Total Biaya Produksi per produk adalah sebagai berikut:

Tabel Total Biaya Produksi per produk

No	Rincian Biaya	Biaya
1	Bahan Baku	Rp 2.266,667
2	Mesin dan Tenaga Kerja	Rp 144,862
	Total	Rp 2.411,528

Biaya bahan baku produksi level optimal kuat tekan batako per hari (450 produk) adalah sebagai berikut:

Tabel Bahan Baku Level Optimal Kuat Tekan

No	Bahan Baku	Jumlah	Harga Satuan	Harga
1	Semen (40 kg)	14,96 sak	Rp 45.000	Rp 673.200
2	Agregat halus	1,65 pick up	Rp 250.000	Rp 412.500
3	Agregat kasar	1,35 Pick up	Rp 275.000	Rp 371.250
4	Abu	0,748 kg	Rp 5.000	Rp 3.740
	Total			Rp 1.460.690

$$\text{Bahan Baku produksi per produk} = \frac{\text{Rp.1.460.690}}{450 \text{ buah}} = \text{Rp. 3.245,978}$$

Biaya bahan baku produksi level optimal kadar air batako per hari (450 produk) adalah sebagai berikut:

Tabel Bahan Baku Level Optimal Kadar Air

No	Bahan Baku	Jumlah	Harga Satuan	Harga
1	Semen (40 kg)	11,22 sak	Rp 45.000	Rp 504.883
2	Agregat halus	1,65 pick up	Rp 250.000	Rp 412.500
3	Agregat kasar	1,35 Pick up	Rp 275.000	Rp 371.250
4	Abu	36 kg	Rp 5.000	Rp 3.741
		Total		Rp 1.292.374

$$\text{Bahan Baku produksi per produk} = \frac{\text{Rp.1.292.374}}{450 \text{ buah}} = \text{Rp. 2.871,942}$$

Tabel total Biaya kondisi awal, optimal kuat tekan, dan kadar air

Rincian Biaya	Kondisi Awal	Respon Kuat Tekan Optimal	Respon Kadar Air Optimal	MRSN Optimal
Biaya Bahan Baku	Rp 2.266,667	Rp 3.245,978	Rp 2.871,942	Rp 3.245,978
Mesin dan Tenaga Kerja	Rp 144,862	Rp 144,862	Rp 144,862	Rp 144,862
Total	Rp 2.411,528	Rp 3.390,839	Rp 3.016,803	Rp 3.390,839

Berikut ini merupakan rincian pertambahan biaya untuk respon kuat tekan kondisi optimal dan respon kadar air kondisi optimal.

1. Biaya untuk kondisi awal:

Biaya bahan baku = Rp. 2.266,667

Biaya mesin dan tenaga kerja = Rp. 144,862

Biaya total per produk = Rp. 2.411,528

2. Biaya untuk kondisi optimal pada respon kuat tekan:

Biaya bahan baku = Rp. 3.245,978

Biaya mesin dan tenaga kerja = Rp. 144,862

Biaya total per produk = Rp. 3.390,839

$$\begin{aligned}\text{Biaya Peningkatan} &= \text{Rp. } 3.390,839 - \text{Rp. } 2.411,528 \\ &= \text{Rp. } 979,311\end{aligned}$$

3. Biaya untuk kondisi optimal pada respon kadar air:

$$\begin{aligned}\text{Biaya bahan baku} &= \text{Rp. } 2.871,942 \\ \text{Biaya mesin dan tenaga kerja} &= \text{Rp. } 144,862 \\ \text{Biaya total per produk} &= \text{Rp. } 3.016,803 \\ \text{Biaya Peningkatan} &= \text{Rp. } 3.016,803 - \text{Rp. } 2.411,528 \\ &= \text{Rp. } 979,311\end{aligned}$$

4. Biaya untuk kondisi optimal berdasarkan nilai MRSN:

$$\begin{aligned}\text{Biaya bahan baku} &= \text{Rp. } 3.245,978 \\ \text{Biaya mesin dan tenaga kerja} &= \text{Rp. } 144,862 \\ \text{Biaya total per produk} &= \text{Rp. } 3.390,839 \\ \text{Biaya Peningkatan} &= \text{Rp. } 3.390,839 - \text{Rp. } 2.411,528 \\ &= \text{Rp. } 979,311\end{aligned}$$