

**PENERAPAN METODE TAGUCHI UNTUK MENENTUKAN
SETTING LEVEL BERDASARKAN FAKTOR-FAKTOR YANG
BERPENGARUH TERHADAP KEBOCORAN PRODUK
WELLHEAD DI PT BIMA DRILLING TOOLS**

TUGAS AKHIR

**Untuk Memenuhi Sebagian Syarat-syarat Penyelesaian Program Studi D-IV
Teknik Industri Otomotif**

OLEH

**NAMA : IRVA SYARIATUN NISA
NIM : 1112010**



**POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I.
2016**

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I

TANDA PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

JUDUL TUGAS AKHIR :
“PENERAPAN METODE TAGUCHI UNTUK MENENTUKAN *SETTING*
LEVEL BERDASARKAN FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH
TERHADAP KEBOCORAN PRODUK *WELLHEAD* DI PT BIMA DRILLING
TOOLS”

DISUSUN OLEH :
NAMA : IRVA SYARIATUN NISA
NIM : 1112010
PROGRAM STUDI : D-IV TEKNIK INDUSTRI OTOMOTIF

Telah Diperiksa dan Disetujui Untuk Diajukan dan Dipertahankan Dalam Ujian
Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta.

Menyetujui,
Jakarta, Agustus 2016
Dosen Pembimbing

Irma Agustiningsih Imdam, S.ST, MT
NIP : 197208012003122002

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I.

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL TUGAS AKHIR :
“PENERAPAN METODE TAGUCHI UNTUK MENENTUKAN *SETTING*
LEVEL BERDASARKAN FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH
TERHADAP KEBOCORAN PRODUK *WELLHEAD* DI PT BIMA DRILLING
TOOLS”

DISUSUN OLEH :
NAMA : IRVA SYARIATUN NISA
NIM : 1112010
PROGRAM STUDI : D-IV TEKNIK INDUSTRI OTOMOTIF

Telah Diperiksa dan Disetujui Untuk Diajukan dan Dipertahankan Dalam Ujian
Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian R.I.

Jakarta, Oktober 2016

Dosen Penguji 1

Dosen Penguji 2

Dr. Hendrastuti Hendro A., MT

NIP : 1954103019890320011

Dosen Penguji 3

Dr. Huwae Elias Paulus, MSc. MM

NIP : 195510091982031002

Dosen Penguji 4

Siti Aisyah, ST, MT

NIP : 197712172002122003

Irma Agustiningsih I., S.ST, MT

NIP : 197208012003122002

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irva Syariatun Nisa

NIM : 1112010

Berstatus sebagai mahasiswa jurusan Program Studi Teknik Industri Otomotif di Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian R.I, dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir yang telah saya buat dengan judul **“PENERAPAN METODE TAGUCHI UNTUK MENENTUKAN *SETTING* LEVEL BERDASARKAN FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH TERHADAP KEBOCORAN PRODUK *WELLHEAD* DI PT BIMA DRILLING TOOLS”**.

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur kuliah, survei lapangan, asistensi dengan Dosen Pembimbing, serta buku-buku maupun jurnal-jurnal ilmiah yang menjadi bahan acuan yang tertera dalam referensi karya Tugas Akhir ini.
- Bukan merupakan hasil duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai sebelumnya untuk mendapatkan gelar Sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali yang telah disebutkan sumbernya dan dicantumkan pada referensi karya Tugas Akhir ini.
- Bukan merupakan karya tulis hasil terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi karya Tugas Akhir ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan diatas, maka saya bersedia menerima sanksi atas apa yang telah saya lakukan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Jakarta, Agustus 2016

Yang Membuat Pernyataan

Irva Syariatun Nisa

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

NAMA : IRVA SYARIATUN NISA

NIM : 1112010

DOSEN PEMBIMBING : IRMA AGUSTININGSIH IMDAM, S.ST, MT

JUDUL TUGAS AKHIR :

“PENERAPAN METODE TAGUCHI UNTUK MENENTUKAN *SETTING* LEVEL BERDASARKAN FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH TERHADAP KEBOCORAN PRODUK *WELLHEAD* DI PT BIMA DRILLING TOOLS”

No	Tanggal	Pokok Bahasan	Keterangan	Paraf
1	13/07/16	BAB I	Revisi	
2	20/07/16	BAB I	Revisi	
3	27/07/16	BAB I & BAB II	Revisi	
4	29/07/16	BAB I & BAB II	Acc BAB I, Revisi BAB II	
5	29/07/16	BAB II & BAB III	Acc BAB II, Revisi BAB III	
6	01/08/16	BAB III & BAB IV	Acc BAB III, Revisi BAB IV	
7	15/08/16	BAB IV	Revisi	
8	18/08/16	BAB IV	Revisi	
9	19/08/16	BAB IV & BAB V	Acc BAB IV, Revisi BAB V	
10	22/08/16	BAB V	Revisi	
11	23/08/16	BAB V	Revisi	
12	24/08/16	BAB V & BAB VI	Acc BAB V, Revisi BAB VI	
13	25/08/16	BAB VI	Revisi	
14	26/08/16	BAB I – BAB VI	Acc	

Mengetahui,

Jakarta, Agustus 2016

Kepala Prodi
Teknik Industri Otomotif

Dosen Pembimbing
Tugas Akhir

Muhamad Agus, ST, MT

NIP : 197008292002121001

Irma Agustiningsih Imdam, S.ST, MT

NIP : 197208012003122002

ABSTRAK

Perusahaan yang memproduksi alat-alat pengeboran minyak dan gas bumi merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dibidang manufaktur. Setiap perusahaan dituntut untuk membuat produk yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan konsumen. PT Bima Drilling Tools (PT BDT) merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi alat-alat pengeboran minyak dan gas bumi. Salah satu jenis produk yang dihasilkan oleh PT BDT adalah produk *wellhead*. Produk *wellhead* merupakan produk yang berperan sangat penting dalam pengeboran minyak dan gas bumi. PT BDT pernah mendapatkan komplain dari konsumen akibat kebocoran *wellhead*. Keadaan seperti ini menyebabkan perusahaan harus mengeluarkan biaya untuk membayar kerugian yang dialami oleh konsumen. Kebocoran pada *wellhead* terjadi karena tekanan yang dihasilkan *wellhead* tidak sesuai dengan tekanan pada saat proses pengeboran minyak dan gas bumi. Kebocoran pada produk *wellhead* dapat dicegah dengan menggunakan metode rekayasa kualitas yaitu metode Taguchi. Metode Taguchi terdiri dari tiga tahap yaitu tahap perencanaan Taguchi, tahap pelaksanaan Taguchi, dan tahap analisa Taguchi. Tahap perencanaan Taguchi mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kebocoran produk *wellhead* serta menentukan nilai level dari masing-masing faktor yang digunakan. Faktor-faktor yang digunakan adalah banyaknya pasir, banyaknya cat, ketebalan *sun blasting*, dan tekanan *compressor*. Level masing-masing faktor terdiri dari 2 level. Banyaknya pasir (3gram, dan 3,3 gram), banyaknya cat (4 liter, dan 4,5 liter), ketebalan *sun blasting* (1 mm, dan 1,5 mm), dan tekanan *compressor* (10 bar, dan 12 bar). Tahap pelaksanaan Taguchi adalah tahap dimana pelaksanaan percobaan dilakukan. Tahap analisa Taguchi adalah tahapan yang dilakukan untuk menghitung pengaruh masing-masing faktor yang digunakan terhadap karakteristik kualitas yang digunakan. Karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah *nominal is the best*. Data yang dibutuhkan dalam metode Taguchi adalah data hasil uji tekanan *wellhead*. Data ini yang akan diolah berdasarkan nilai rata-rata dan nilai *signal to noise ratio* (rasio S/N). Hasil akhir yang diperoleh dari penelitian menggunakan metode Taguchi adalah penentuan level terbaik untuk masing-masing faktor agar kebocoran pada produk *wellhead* dapat dicegah. Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang dilakukan, maka level terbaik yang dapat mencegah kebocoran *wellhead* adalah kombinasi dari banyaknya pasir (faktor A) level 2 (3,3 gram), banyaknya cat (faktor B) level 2 (4,5 liter), dan ketebalan *sun blasting* (faktor C) level 2 (1,5 mm). Besarnya *quality loss function* yang dikeluarkan oleh perusahaan akibat kebocoran *wellhead* sebesar Rp 759.900

Kata kunci : Taguchi, *quality loss function*, *signal to noise ratio*, *nominal is the best*

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam semoga tetap terlimpah kepada Nabi Muhammad SAW dan semoga syafaat beliau melengkapi kita di hari akhir.

Penulis sadar, bahwa yang telah dicapai hingga saat ini bukanlah kerja keras pribadi. Hal ini tidak akan terjadi tanpa izin-Nya dan bantuan dari orang-orang di sekitar penulis. Oleh karena itu, dengan penuh penghormatan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- Kedua orang tua saya beserta kakak-kakak dan adik saya yang telah memberikan bantuan serta dukungan sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Bapak Dr. Mustofa, S.T.,M.T, selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
- Bapak Dr. Ridzky Kramanandita, S.Kom, MT, selaku Pembantu Direktur 1.
- Bapak Muhammad Agus, S.T.,M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Otomotif
- Ibu Irma Agustiniingsih Imdam S.ST, MT selaku dosen pembimbing yang selalu sabar memberikan waktu, petunjuk, saran, arahan serta bimbingan yang sangat berharga. Terima kasih atas segala bantuan dan pengertiannya, mohon maaf apabila banyak kesalahan yang dilakukan penulis.
- Bapak Mustofa selaku pembimbing lapangan yang telah memberikan masukan serta bantuan data-data yang dibutuhkan selama masa penelitian di PT Bima Drilling Tools.
- Bapak Suratman selaku *Technical Engineering* yang selalu memberikan masukan serta bantuan selama masa penelitian di PT Bima Drilling Tools.
- Bapak Ariyono Armono selaku Manager HRD yang telah memberikan saya kesempatan untuk melakukan penelitian di PT Bima Drilling Tools.
- Kepada sahabat dan teman-teman seperjuangan Teknik Industri yang selalu membantu dan memberikan semangat dalam mengerjakan laporan praktikum kerja lapangan.

Penulis juga menyadari bahwa dalam menyusun Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan-kesalahan di dalam penulisan Tugas Akhir ini. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi saya khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Jakarta, Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL

LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

ABSTRAK

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1. Kualitas	6
2.1.1. Definisi Kualitas.....	6
2.1.2. Dimensi Kualitas	7
2.1.3. Pengendalian Kualitas	8
2.1.4. Tujuan Pengendalian Kualitas.....	9
2.1.5. Faktor-faktor Pengendalian Kualitas.....	9
2.2. Rekayasa Kualitas	10
2.2.1. Rekayasa Kualitas Secara <i>Off Line</i>	10
2.2.2. Rekayasa Kualitas Secara <i>On Line</i>	11
2.3. Metode Taguchi	12
2.3.1. Konsep Kualitas Taguchi	13
2.3.2. Klasifikasi Karakteristik Kualitas Taguchi	14

2.3.3. Klasifikasi Parameter	15
2.3.4. Fungsi Kerugian Taguchi	17
2.4. Desain Eksperimen Taguchi	19
2.4.1. Tahap Perencanaan Eksperimen.....	20
2.4.2. Tahap Pelaksanaan Eksperimen	25
2.4.3. Tahap Analisa.....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Jenis Data dan Sumber Data	33
3.1.1. Jenis Data	33
3.1.2. Sumber Data	34
3.2. Metode Pengumpulan Data	34
3.3. Teknik Analisis	35
3.3.1. Studi Lapangan.....	35
3.3.2. Studi Pustaka	35
3.3.3. Identifikasi Masalah	35
3.3.4. Tujuan Penelitian.....	35
3.3.5. Pengumpulan Data	35
3.3.6. Pengolahan Data.....	35
3.3.7. Analisis dan Pembahasan	38
3.3.8. Kesimpulan dan Saran.....	38
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	
4.1. Pengumpulan Data	42
4.1.1. Profil Perusahaan.....	42
4.1.2. Visi dan Misi Perusahaan	44
4.1.3. Kebijakan Mutu dan Sasaran Mutu Perusahaan....	45
4.1.4. Produk Perusahaan	46
4.1.5. Ketenagakerjaan	48
4.1.6. Struktur Organisasi Perusahaan	48
4.1.7. Proses Produksi <i>Wellhead</i>	54
4.1.8. Hasil Uji Tekanan <i>Wellhead</i>	58
4.1.9. Biaya Kerugian Kebocoran <i>Wellhead</i>	59

4.1.10. Spesifikasi Faktor Penyebab Kebocoran	
<i>Wellhead</i>	59
4.2. Pengolahan Data	60
4.2.1. Tahap Perencanaan Metode Taguchi	61
4.2.2. Tahap Pelaksanaan Metode Taguchi	66
4.2.3. Tahap Analisa Metode Taguchi	67
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
5.1. Analisis Tahap Perencanaan Metode Taguchi	92
5.1.1. Analisis Penentuan Variabel Tak Bebas	92
5.1.2. Analisis Penentuan Faktor-faktor (Variabel Bebas)	92
5.1.3. Analisis Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor	93
5.1.4. Analisis Penentuan Jumlah Derajat Kebebasan	94
5.1.5. Analisis Pemilihan Matriks Ortogonal	94
5.1.6. Analisis Penempatan Kolom untuk Faktor dan Interaksi ke dalam Matriks Ortogonal	94
5.2. Analisis Tahap Pelaksanaan Metode Taguchi	95
5.3. Analisis Tahap Analisa Metode Taguchi	95
5.3.1. Analisis Pengaruh Level dari Faktor dan Interaksi Faktor Terhadap Tekanan <i>Wellhead</i> Berdasarkan Nilai Rata-rata	95
5.3.2. Analisis Perhitungan Varians Terhadap Tekanan <i>Wellhead</i> Berdasarkan Nilai Rata-rata	98
5.3.3. Analisis <i>Pooling Up</i> Faktor Berdasarkan Nilai Rata-rata	99
5.3.4. Analisis Perhitungan F-rasio Berdasarkan Nilai Rata-rata	99
5.3.5. Analisis Perhitungan Persentase Kontribusi Berdasarkan Nilai Rata-rata	100

5.3.6. Analisis Pengaruh Level dari Faktor dan Interaksi Faktor Terhadap Tekanan <i>Wellhead</i> Berdasarkan Nilai Rasio S/N.....	101
5.3.7. Analisis Perhitungan Varians Terhadap Tekanan <i>Wellhead</i> Berdasarkan Nilai Rasio S/N	103
5.3.8. Analisis <i>Pooling Up</i> Faktor Berdasarkan Nilai Rasio S/N.....	104
5.3.9. Analisis Perhitungan F-rasio Berdasarkan Nilai Rasio S/N.....	105
5.3.10. Analisis Perhitungan Persentase Kontribusi Berdasarkan Nilai Rata-rata	106
5.4. Analisis Kombinasi Level Faktor dan Interaksi Faktor	106
5.5. Analisis Penentuan Level Terbaik	108
5.6. Analisis Eksperimen Konfirmasi	109
5.7. Analisis <i>Quality Loss Function</i>	112
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1. Kesimpulan	114
6.2. Saran.....	114
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Pemilihan Matriks Ortogonal Berdasarkan Derajat Kebebasan.....	22
Tabel 2.2. Ortogonalitas	23
Tabel 4.1. Sasaran Mutu Perusahaan.....	45
Tabel 4.2. Produk Perusahaan	46
Tabel 4.3. Waktu Kerja Perusahaan	48
Tabel 4.4. Hasil Uji Tekanan <i>Wellhead</i>	59
Tabel 4.5. Biaya Kerugian Kebocoran <i>Wellhead</i>	59
Tabel 4.6. Penentuan Level Faktor.....	63
Tabel 4.7. Perhitungan Derajat Kebebasan	63
Tabel 4.8. Pemilihan Matriks Ortogonal Berdasarkan Derajat Kebebasan.....	64
Tabel 4.9. Penempatan Kolom Untuk Faktor dan Interaksi	65
Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Rata-rata (<i>Mean</i>).....	67
Tabel 4.11. Hasil Perhitungan Level dari Faktor Berdasarkan Rata-rata	68
Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Pemecahan Interaksi AB Berdasarkan Rata-rata	69
Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Pemecahan Interaksi AC Berdasarkan Rata-rata	69
Tabel 4.14. Hasil Perhitungan <i>Sum of Square</i> Berdasarkan Rata-rata	70
Tabel 4.15. Hasil Perhitungan <i>Mean Square</i> Berdasarkan Rata-rata	71
Tabel 4.16. Hasil Perhitungan Analisis Varians Berdasarkan Rata-rata	73
Tabel 4.17. Hasil Perhitungan Analisis Varians <i>Pooling Up</i> Berdasarkan Rata-rata	73

Tabel 4.18. Hasil Perhitungan F-rasio Berdasarkan Rata-rata	74
Tabel 4.19. Hasil Perhitungan Analisis Varians dengan F-rasio Berdasarkan Rata-rata	75
Tabel 4.20. Hasil Pengujian Hipotesis Berdasarkan Rata-rata.....	76
Tabel 4.21. Hasil Perhitungan Rasio S/N.....	77
Tabel 4.22. Hasil Perhitungan Level dari Faktor Berdasarkan Rasio S/N.....	78
Tabel 4.23. Hasil Perhitungan Pemecahan Interaksi AB Berdasarkan Rasio.....	79
Tabel 4.24. Hasil Perhitungan Pemecahan Interaksi AC Berdasarkan Rasio.....	79
Tabel 4.25. Hasil Perhitungan <i>Sum of Square</i> Berdasarkan Rasio S/N.....	80
Tabel 4.26. Hasil Perhitungan <i>Mean Square</i> Berdasarkan Rasio S/N.....	81
Tabel 4.27. Hasil Perhitungan Analisis Varians Berdasarkan Rasio S/N.....	82
Tabel 4.28. Hasil Perhitungan Analisis Varians <i>Pooling Up</i> Berdasarkan Rasio S/N.....	83
Tabel 4.29. Hasil Perhitungan F-rasio Berdasarkan Rasio S/N	84
Tabel 4.30. Hasil Perhitungan Analisis Varians dengan F-rasio Berdasarkan Rasio S/N.....	84
Tabel 4.31. Hasil Pengujian Hipotesis Berdasarkan Rasio S/N	85
Tabel 4.32. Hasil Perhitungan Persentase Kontribusi Berdasarkan Analisis Varians <i>Pooling Up</i> Rata-rata	87
Tabel 4.33. Hasil Perhitungan Persentase Kontribusi Berdasarkan Analisis Varians <i>Pooling Up</i> Rasio S/N	88
Tabel 5.1 Hasil Eksperimen Konfirmasi	110
Tabel 5.2. Interval Kepercayaan Prediksi dan Konfirmasi	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kualitas .	16
Gambar 2.2.	Notasi Matriks Ortogonal	23
Gambar 2.3.	Grafik Linier I $L_8(2^7)$	24
Gambar 2.4.	Grafik Linier II $L_8(2^7)$	25
Gambar 3.1.	Kerangka Pemecahan Masalah.....	40
Gambar 4.1.	Lokasi Perusahaan	42
Gambar 4.2.	Struktur Organisasi Perusahaan.....	49
Gambar 4.3.	Proses Produksi <i>Wellhead</i>	54
Gambar 4.4.	AISI 4130	55
Gambar 4.5.	Mesin Bubut	55
Gambar 4.6.	Mesin <i>Radial Bore</i>	56
Gambar 4.7.	Mesin <i>Milling</i>	56
Gambar 4.8.	Mesin <i>Hydrotesting</i>	57
Gambar 4.9.	<i>Wellhead</i>	58
Gambar 4.10.	Grafik Linier yang diperlukan	64
Gambar 4.11.	Grafik Linier $L_8(2^7)$	65
Gambar 5.1.	Respon Faktor dan Interaksi Faktor Berdasarkan Nilai Rata-rata	95
Gambar 5.2.	Respon Faktor dan Interaksi Faktor Berdasarkan Nilai Rasio S/N.....	101
Gambar 5.3.	Grafik <i>Quality Loss Function</i>	113

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	: Perhitungan Pengaruh Level dan Faktor Berdasarkan Nilai Rata-rata
Lampiran B	: Perhitungan Jumlah Kuadrat (<i>Sum of Square</i>) Berdasarkan Nilai Rata-rata
Lampiran C	: Perhitungan Rasio Signal to Noise (Rasio S/N)
Lampiran D	: Perhitungan Pengaruh Level dan Faktor Berdasarkan Nilai Rasio S/N
Lampiran E	: Perhitungan Jumlah Kuadrat (<i>Sum of Square</i>) Berdasarkan Nilai Rasio S/N
Lampiran F	: Perhitungan Persentase Kontribusi Berdasarkan Nilai Rata-rata
Lampiran G	: Perhitungan Persentase Kontribusi Berdasarkan Nilai Rasio S/N
Lampiran H	: Perhitungan Rasio S/N Hasil Eksperimen Konfirmasi
Lampiran I	: Tabel Distribusi F
Lampiran J	: Spesifikasi Produk <i>Wellhead</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perusahaan yang memproduksi alat-alat pengeboran minyak dan gas bumi merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur. Perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur dituntut untuk dapat membuat produk yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan konsumen. Dalam hal ini, kualitas produk menjadi hal yang paling penting dalam menghasilkan suatu produk. Produk yang berkualitas akan selalu diinginkan oleh konsumen, karena produk tersebut dianggap memiliki spesifikasi yang baik serta terjamin.

PT Bima Drilling Tools (PT BDT) merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi alat-alat pengeboran minyak dan gas bumi. Salah satu jenis produk yang dihasilkan oleh PT BDT adalah produk *wellhead*. *Wellhead* atau kepala sumur merupakan produk yang digunakan untuk melakukan pengeboran minyak dan gas bumi. Produk ini merupakan produk yang berperan sangat penting dalam pengeboran minyak dan gas bumi, sehingga kualitas dari produk ini harus diperhatikan.

Produk *wellhead* merupakan produk yang tidak setiap saat diproduksi oleh PT BDT. Produk ini hanya diproduksi apabila mendapat pesanan dari konsumen. PT BDT pernah menerima komplain dari konsumen terkait dengan produk ini. Komplain konsumen terkait produk *wellhead* adalah pada saat produk ini digunakan oleh konsumen ternyata mengalami kebocoran. Hal ini menyebabkan produk *wellhead* dikembalikan ke PT BDT, dan konsumen meminta perusahaan untuk membayar kerugian yang dialami konsumen atas kejadian tersebut. Keadaan seperti ini menyebabkan kerugian bagi pihak perusahaan karena biaya yang telah digunakan untuk memproduksi produk *wellhead* menjadi hilang dan membuat perusahaan harus mengeluarkan biaya untuk membayar kerugian yang dialami konsumen.

Kebocoran pada *wellhead* terjadi karena tekanan yang dihasilkan *wellhead* tidak sesuai dengan tekanan pada saat proses pengeboran minyak dan

gas bumi. Kebocoran pada produk *wellhead* dapat dicegah dengan menggunakan metode rekayasa kualitas. Metode yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah metode Taguchi. Metode Taguchi adalah metode yang dapat digunakan untuk merekayasa atau memperbaiki produk, agar produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik dengan biaya seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* (kokoh) terhadap *noise* (gangguan) karena itu sering disebut sebagai *Robust Design*.

Penggunaan metode Taguchi dapat mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kebocoran produk *wellhead*. Level yang digunakan pada masing-masing faktor juga dapat ditentukan, sehingga hasil akhir yang diperoleh dari penelitian ini adalah penentuan level terbaik pada masing-masing faktor agar kebocoran pada produk *wellhead* dapat dicegah. Permasalahan yang dihadapi perusahaan mengenai kebocoran *wellhead* diharapkan dapat teratasi dengan menggunakan metode Taguchi.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas maka didapatkan perumusan masalah sebagai berikut:

1. Apa saja faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kebocoran produk *wellhead* yang diproduksi oleh PT Bima Drilling Tools ?
2. Bagaimana kombinasi level dari masing-masing faktor yang dapat menghasilkan kualitas *wellhead* terbaik ?
3. Bagaimana *setting* level terbaik dari masing-masing faktor agar dapat mencegah kebocoran pada produk *wellhead* ?
4. Berapa besarnya *Quality Loss Function* (QLF) pada produk *wellhead* ?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah yang telah diuraikan di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kebocoran produk *wellhead* yang diproduksi oleh PT Bima Drilling Tools.

2. Mendapatkan kombinasi level dari masing-masing faktor yang dapat menghasilkan kualitas *wellhead* terbaik.
3. Mendapatkan *setting* level terbaik dari masing-masing faktor agar dapat mencegah kebocoran pada produk *wellhead*.
4. Mendapatkan besarnya *Quality Loss Function* (QLF) pada produk *wellhead*.

1.4. Batasan Masalah

Dalam membuat penelitian ini diperlukan batasan masalah agar pembahasan lebih fokus terhadap permasalahan yang ada. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Penelitian dilakukan di PT Bima Drilling Tools pada bagian *Quality Control*.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil uji tekanan *wellhead* selama pelaksanaan eksperimen pada bulan Februari-April 2016.
3. Tidak membahas mengenai keadaan atau kondisi mesin yang digunakan.
4. Tidak menjelaskan secara rinci mengenai proses produksi *wellhead*.
5. Karakteristik kualitas yang digunakan adalah *nominal is the best*.
6. Pemilihan level untuk masing-masing faktor sebanyak 2 (dua).
7. Penentuan besarnya *quality loss function* hanya berdasarkan fungsi biaya kerugian yang dikeluarkan oleh perusahaan.
8. Biaya yang diperhitungkan adalah biaya-biaya yang dikeluarkan pada faktor-faktor yang digunakan.
9. Hasil penelitian hanya sampai tahap penentuan level terbaik untuk masing-masing faktor yang mempengaruhi kebocoran *wellhead* dan biaya kerugian yang dikeluarkan oleh perusahaan.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian Tugas Akhir ini, yaitu sebagai berikut:

1. Bagi perusahaan, dapat memberikan masukan dalam membuat keputusan mengenai strategi peningkatan kualitas.

2. Bagi mahasiswa, mendapatkan pengalaman untuk mengaplikasikan ilmu-ilmu yang selama ini diperoleh secara akademis, serta dapat menambah pengetahuan dan wawasan mengenai metode peningkatan kualitas suatu produk yang telah dipelajari pada saat kuliah.
3. Bagi peneliti lain, hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan dan informasi untuk melakukan penelitian selanjutnya secara lebih mendalam.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari enam bab dengan rincian sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II: LANDASAN TEORI

Bab ini berisi penjelasan tentang teori-teori yang menjadi acuan dan pedoman dari hasil penentuan dan analisis yang dilakukan. Teori-teori yang digunakan meliputi teori mengenai kualitas, pengendalian kualitas, rekayasa kualitas, metode Taguchi, dan tahap-tahap pelaksanaan metode Taguchi. Teori ini diperoleh dari berbagai sumber seperti jurnal, literatur-literatur, buku, internet, atau sumber lainnya.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan untuk memecahkan masalah secara berurutan dan sistematis. Langkah-langkah ini dimulai dari studi pendahuluan, identifikasi masalah, tujuan penelitian, studi pustaka, studi lapangan, pengumpulan dan pengolahan data dengan metode Taguchi. Ada 3 tahap yang dilakukan dalam eksperimen Taguchi yaitu

perencanaan, pelaksanaan, dan analisis. Selanjutnya adalah menentukan besarnya *quality loss function*.

BAB IV: PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini menjabarkan mengenai pengumpulan dan pengolahan data yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan penelitian. Pengumpulan data meliputi data umum perusahaan, hasil uji tekanan *wellhead*, dan biaya kerugian karena kebocoran *wellhead*. Pengolahan data meliputi penentuan variabel bebas dan variabel tak bebas, perhitungan derajat kebebasan, pemilihan matriks ortogonal, perhitungan ANOVA, strategi *pooling up*, pengujian hipotesis, perhitungan rasio S/N, perhitungan persen kontribusi, dan perhitungan interval kepercayaan.

BAB V: ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi analisis mengenai hasil dari pengolahan data. Analisis tersebut meliputi analisis pengaruh level dari faktor, analisis varians, *pooling up*, F-rasio dan pengujian hipotesis, kombinasi level terbaik, penentuan level terbaik terhadap faktor yang secara signifikan mempengaruhi kekuatan *wellhead*, eksperimen konfirmasi, dan perhitungan *quality loss function* berdasarkan fungsi biaya kerugian yang dikeluarkan oleh perusahaan akibat kebocoran *wellhead*.

BAB VI: KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini dijelaskan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan berdasarkan pengolahan dan analisis masalah. Serta memberikan saran-saran yang membangun sebagai perbaikan bagi perusahaan di masa yang akan datang.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kualitas

Kualitas merupakan kunci kesuksesan dalam suatu perusahaan. Saat ini kualitas merupakan salah satu strategi yang digunakan untuk memenangkan persaingan diantara banyak produk sejenis yang bersaing di pasaran. Dengan demikian, terlihat bahwa kualitas merupakan faktor penting dalam suatu perusahaan. Sebelum kita lebih jauh membahas tentang kualitas, kita harus lebih dahulu mengetahui definisi kualitas.

2.1.1 Definisi Kualitas

Kualitas merupakan suatu istilah relatif yang sangat bergantung pada situasi. Banyak ahli yang mendefinisikan kualitas yang secara garis besar orientasinya adalah kepuasan pelanggan yang merupakan tujuan perusahaan atau organisasi yang berorientasi pada kualitas (Ariani, 2004). Beberapa ahli telah merumuskan definisi kualitas.

1. *Juran* (1962), kualitas adalah kesesuaian dengan tujuan atau manfaatnya.
2. *Crosby* (1979), kualitas adalah kesesuaian dengan kebutuhan yang meliputi *availability, delivery, reliability, maintainability*, dan *cost effectiveness*.
3. *Deming* (1982), kualitas harus bertujuan memenuhi kebutuhan pelanggan sekarang dan di masa mendatang.
4. *Feigenbaum* (1991), kualitas merupakan keseluruhan karakteristik produk dan jasa yang meliputi *marketing, manufacture*, dan *maintenance*, dalam mana produk dan jasa tersebut dalam pemakaiannya akan sesuai dengan kebutuhan dan harapan pelanggan.
5. *Scherkenbach* (1991), kualitas ditentukan oleh pelanggan, pelanggan menginginkan produk dan jasa yang sesuai dengan kebutuhan dan harapannya pada suatu tingkat harga tertentu yang menunjukkan nilai produk tersebut.
6. *Elliot* (1993), kualitas adalah sesuatu yang berbeda untuk orang yang berbeda dan tergantung pada waktu dan tempat, atau dikatakan sesuai dengan tujuan.

7. *Goetch dan Davis* (1995), kualitas adalah suatu kondisi dinamis yang berkaitan dengan produk, pelayanan, orang, proses, dan lingkungan yang memenuhi atau melebihi apa yang diharapkan.
8. *Taguchi* dalam *Soejanto* (2009) kualitas adalah untuk menghasilkan produk dan jasa yang dapat memenuhi kebutuhan dan harapan konsumen berkaitan dengan umur produk atau jasa.

Meskipun tidak ada definisi mengenai kualitas yang diterima secara universal, dari definisi-definisi yang ada terdapat beberapa kesamaan, yaitu dalam elemen-elemen sebagai berikut (*Tjiptono dan Diana*, 2002):

1. Kualitas meliputi usaha memenuhi atau melebihi harapan pelanggan.
2. Kualitas mencakup produk, jasa, manusia, proses, dan lingkungan.
3. Kualitas merupakan kondisi yang selalu berubah (misalnya apa yang dianggap merupakan kualitas saat ini mungkin dianggap kurang berkualitas pada masa mendatang).

2.1.2 Dimensi Kualitas

Untuk dapat menghasilkan produk yang berkualitas sehingga mampu memenuhi keinginan konsumen, maka perlu mengetahui dimensi kualitas. Hal ini dibutuhkan agar produk yang dihasilkan sesuai dengan apa yang diinginkan oleh konsumen. Dimensi kualitas terdiri dari (*Wahyuni dkk*, 2015):

1. Kinerja (*performance*) merupakan spesifikasi utama yang berkaitan dengan fungsi produk dan seringkali menjadi pertimbangan konsumen dalam membuat keputusan membeli atau tidak produk tersebut.
2. *Feature* merupakan karakteristik produk yang mampu memberikan keunggulan dari produk sejenis.
3. Keandalan (*reliability*) merupakan aspek produk berkaitan dengan profitabilitas untuk menjalankan fungsi sesuai dengan spesifikasinya dalam periode waktu tertentu.
4. Kesesuaian dengan spesifikasi (*conformance to specification*) merupakan aspek produk yang memperlihatkan kesesuaian antara spesifikasi dengan kebutuhan konsumen.

5. Daya tahan (*durability*) merupakan ukuran kuantitatif (umur) produk, menunjukkan sampai kapan produk dapat digunakan konsumen.
6. Kemampuan pelayanan (*serviceability*) merupakan ciri produk berkaitan dengan kecepatan, keramahan/kesopanan, kompetensi, kemudahan serta akurasi dalam perbaikan.
7. Keindahan produk terkait dengan bagaimana bentuk fisik produk tersebut. Keindahan produk merupakan daya tarik utama konsumen untuk melakukan pembelian terhadap suatu produk. Produk yang indah seringkali memikat konsumen, meskipun seringkali tidak memerlukan produk tersebut.
8. Kualitas yang dirasakan (*perceived quality*) bersifat subyektif, berkaitan dengan citra dan reputasi produk serta tanggung jawab perusahaan terhadapnya.

2.1.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan salah satu teknik yang perlu dilakukan mulai dari sebelum proses produksi berjalan, pada saat proses produksi, hingga proses produksi berakhir dengan menghasilkan produk akhir. Pengendalian kualitas dilakukan agar dapat menghasilkan produk berupa barang atau jasa yang sesuai dengan standar yang diinginkan dan direncanakan, serta memperbaiki kualitas produk yang belum sesuai dengan standar yang telah ditetapkan dan sebisa mungkin mempertahankan kualitas yang sesuai (Kaban, 2014).

Pengendalian kualitas merupakan pemikiran Armand Feigenbaum yang dikemukakan pada tahun 1956. Pendapatnya adalah bahwa pengendalian harus dimulai dari perancangan produk dan berakhir hanya jika produk telah sampai ke tangan pelanggan yang puas. Prinsip utamanya adalah “*quality is everybody’s job*”. Feigenbaum menyatakan bahwa kegiatan kualitas dapat dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu pengendalian rancangan baru, pengendalian bahan baku yang baru datang, dan pengendalian *product/shop floor*. Sistem kualitas saat ini juga memasukkan pengembangan produk baru, seleksi pemasok, dan pelayanan pelanggan (Tjiptono dan Diana, 2002).

Menurut Feigenbaum dalam Muhandri dan Kadarisman (2006), pengendalian kualitas adalah pengukuran kinerja produk, membandingkan dengan

standar dan spesifikasi produk , serta melakukan koreksi bila ada penyimpangan. Tiga langkah utama dalam pengendalian kualitas adalah sebagai berikut (Nisak, 2013)

1. Menetapkan standar
2. Menilai kesesuaian (mengukur dan membandingkan dengan standar), dan
3. Melakukan tindakan koreksi bila diperlukan

2.1.4 Tujuan Pengendalian Kualitas

Tujuan utama pengendalian kualitas adalah untuk mendapatkan jaminan bahwa kualitas produk atau jasa yang dihasilkan sesuai dengan standar kualitas yang telah ditetapkan dengan mengeluarkan biaya yang ekonomis atau serendah mungkin. Pengendalian kualitas tidak dapat dilepaskan dari pengendalian produksi, karena pengendalian kualitas merupakan bagian dari pengendalian produksi. Pengendalian produksi baik secara kualitas maupun kuantitas merupakan kegiatan yang sangat penting dalam suatu perusahaan.

Hal ini disebabkan karena kegiatan produksi yang dilaksanakan akan dikendalikan, supaya barang atau jasa yang dihasilkan sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan. Penyimpangan-penyimpangan yang terjadi diusahakan diminimumkan. Pengendalian kualitas juga menjamin barang atau jasa yang dihasilkan dapat dipertanggungjawabkan seperti halnya pada pengendalian produksi, dengan demikian antara pengendalian produksi dan pengendalian kualitas erat kaitannya dalam pembuatan produk (Kaban, 2014).

2.1.5 Faktor-faktor Pengendalian Kualitas

Menurut Montgomery faktor-faktor yang mempengaruhi pengendalian kualitas yang dilakukan perusahaan adalah:

1. Kemampuan proses
Batas-batas yang ingin dicapai haruslah disesuaikan dengan kemampuan proses yang ada. Tidak ada gunanya mengendalikan suatu proses dalam batas-batas yang melebihi kemampuan atau kesanggupan proses yang ada.
2. Spesifikasi yang berlaku
Spesifikasi hasil produksi yang ingin dicapai harus dapat berlaku, bila ditinjau dari segi kemampuan proses dan keinginan atau kebutuhan konsumen

yang ingin dicapai dari hasil produksi tersebut. Dalam hal ini haruslah dapat dipastikan dahulu apakah spesifikasi tersebut dapat berlaku dari kedua segi yang telah disebutkan di atas sebelum pengendalian kualitas pada proses dapat dimulai.

3. Tingkat ketidaksesuaian yang dapat diterima

Tujuan dilakukannya pengendalian suatu proses adalah dapat mengurangi produk yang berada di bawah standar seminimal mungkin. Tingkat pengendalian yang diberlakukan tergantung pada banyaknya produk yang berada dibawah standar yang dapat diterima.

4. Biaya kualitas

Biaya kualitas sangat mempengaruhi tingkat pengendalian kualitas dalam menghasilkan produk dimana biaya kualitas mempunyai hubungan yang positif dengan terciptanya produk yang berkualitas.

2.2 **Rekayasa Kualitas**

Rekayasa kualitas dapat diartikan sebagai proses pengukuran yang dilakukan selama perancangan produk atau proses. Kerangka dasar dari rekayasa kualitas merupakan suatu hubungan antara dua disiplin ilmu yaitu teknik perancangan dan manufaktur, dimana mencakup seluruh aktivitas pengendalian kualitas dalam setiap fase dari penelitian dan pengembangan produk, perancangan proses, perancangan produksi, dan kepuasan konsumen.

Target dari metodologi rekayasa kualitas ini adalah untuk mencapai seluruh target dari perbaikan terus menerus, penemuan yang dipercepat, penyelesaian masalah dengan cepat, dan efektifitas biaya dalam meningkatkan kualitas produk. Metodologi rekayasa kualitas dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu rekayasa kualitas secara *off line*, dan rekayasa kualitas secara *on line* (Soejanto, 2009).

2.2.1 **Rekayasa Kualitas Secara Off Line**

Rekayasa kualitas secara *off line* adalah pengendalian kualitas dimana pengendalian dilakukan sebelum proses produksi berjalan. Dalam rekayasa kualitas secara *off line*, perancangan eksperimen merupakan peralatan yang sangat

fundamental terutama pada kegiatan penelitian dan pengembangan produk. Teknik perancangan eksperimen pada dasarnya melalui dua hal yaitu mengidentifikasi sumber dari variasi dan menentukan perancangan proses yang optimal. Metodologi rekayasa kualitas secara *off line* terbagi dalam tiga tahap, yaitu (Soejanto, 2009):

1. Perancangan Konsep

Tahap perancangan konsep berfungsi untuk dapat berhubungan dengan konsumen dan mendapatkan suara konsumen dengan kemampuan daya cipta dan kemampuan teknis untuk merancang konsep produk yang unggul. Tahap ini merupakan tahap pemunculan ide dalam kegiatan.

2. Perancangan Parameter

Tahap perancangan parameter berfungsi untuk mengoptimisasi level dari faktor pengendali terhadap efek yang ditimbulkan oleh faktor derau sehingga produk yang dihasilkan dapat kokoh/tangguh. Hal inilah yang menjadikan perancangan parameter dapat juga disebut sebagai perancangan kokoh.

3. Perancangan Toleransi

Tahap terakhir dari rekayasa kualitas secara *off line* yaitu perancangan toleransi. Perancangan toleransi ini dilakukan dengan menggunakan matriks orthogonal, fungsi kerugian, dan analisis varians untuk menyeimbangkan biaya dan mutu dari suatu produk.

2.2.2 Rekayasa Kualitas Secara On Line

Rekayasa kualitas secara *on line* merupakan suatu aktivitas untuk mengamati dan mengendalikan kualitas pada setiap proses produksi secara langsung. Aktivitas ini sangat penting dalam menjaga agar biaya produksi menjadi rendah dan secara langsung dapat meningkatkan mutu produk.

Rekayasa kualitas secara *on line* ini juga dapat mengontrol mesin-mesin produksi sehingga dapat mencegah terjadinya kerusakan-kerusakan pada mesin tersebut (Soejanto, 2009).

2.3 Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran itu dengan menjadikan produk atau proses tidak sensitif terhadap berbagai faktor seperti misalnya material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional. Metode Taguchi menjadikan produk atau proses bersifat kokoh (*robust*) terhadap faktor gangguan (*noise*), karenanya metode ini disebut juga sebagai perancangan kokoh (*robust design*).

Filosofi Taguchi terdiri dari tiga konsep yaitu (Soejanto,2009):

1. Kualitas harus didesain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya.
2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target. Produk harus didesain sehingga kokoh (*robust*) terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
3. Kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Metode Taguchi memperkenalkan pendekatan dengan menggunakan pendekatan desain eksperimen yang berguna untuk:

1. Merancang suatu produk/merancang proses sehingga kualitasnya kokoh terhadap kondisi lingkungan.
2. Merancang/mengembangkan produk sehingga kualitasnya kokoh terhadap variasi komponen.
3. Meminimalkan variasi disekitar target.

Metode Taguchi mempunyai beberapa keunggulan seperti:

1. Desain eksperimen Taguchi lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan jumlah.
2. Desain eksperimen Taguchi mungkin diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk yang konsisten dan kokoh terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol (faktor gangguan).

3. Metode Taguchi menghasilkan kesimpulan mengenai respon faktor-faktor dan level dari faktor-faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.

2.3.1 Konsep Kualitas Taguchi

Suatu produk memiliki karakteristik-karakteristik yang menggambarkan performansi relatif terhadap kebutuhan dan harapan pelanggan. Pada dasarnya pelanggan menginginkan dan mengharapkan produk secara konsisten memiliki performansi yang tinggi dengan variasi minimal, baik dalam jangka pendek maupun dalam jangka panjang dan tidak tergantung pada kondisi pengoperasian atau penggunaannya. Oleh karena itu produk yang berkualitas harus dipandang sebagai produk yang memiliki performansi yang tangguh (*robust*).

Genichi Taguchi, seorang konsultan pengendalian kualitas mengemukakan tiga konsep sederhana dan mendasar sehubungan dengan usaha untuk menghasilkan produk berkualitas tangguh (*robust performance*). Adapun konsep Taguchi adalah sebagai berikut (Soejanto, 2009):

1. *Quality Robustness*

Kualitas sebaiknya dirancang ke dalam produk dan tidak diinspeksikan ke dalam produk tersebut, produk sebaiknya juga dirancang untuk kebal terhadap faktor-faktor lingkungan yang tidak dapat dikendalikan.

2. *Target Oriented Quality*

Kualitas diperoleh dengan meminimalkan penyimpangan (deviasi) dari sebuah target.

3. *Quality Loss Function*

Biaya kualitas sebaiknya diukur sebagai fungsi penyimpangan dari suatu nilai standar dan pengukuran terhadap kerugian sebaiknya meliputi keseluruhan sistem yang ada.

Sehubungan hal tersebut, maka Taguchi menekankan bahwa cara terbaik untuk meningkatkan kualitas adalah merancang kualitas ke dalam produk yang dimulai sejak tahap desain produk, sehingga dengan rancangan produk yang tangguh akan menghasilkan produk yang memiliki performansi yang tangguh pula. Selain itu kualitas secara langsung berhubungan dengan penyimpangan

parameter rancangan dari nilai target, bukan kesesuaian terhadap batasan spesifikasi (toleransi) yang telah ditetapkan.

2.3.2 Klasifikasi Karakteristik Kualitas Taguchi

Setiap produk di desain untuk menghasilkan fungsi tertentu. Beberapa karakteristik pengukuran biasanya menunjukkan karakteristik kualitas. Karakteristik kualitas digunakan untuk mengekspresikan sejauh mana sebuah produk menjalankan fungsinya. Di dalam banyak kasus karakteristik kualitas biasanya merupakan kuantitas pengukuran tunggal seperti berat, panjang, dan waktu.

Karakteristik kualitas (*variabel respons*) adalah obyek yang menarik dari produk atau proses. Karakteristik kualitas adalah hasil suatu proses yang berkaitan dengan kualitas. Karakteristik kualitas yang terukur menurut Taguchi dapat dibagi menjadi tiga kategori , yaitu sebagai berikut:

1. *Nominal is the best*

Karakteristik *nominal is the best* merupakan karakteristik yang dapat diukur yang mempunyai nilai target yang secara spesifik telah ditentukan oleh pemakai. Nilai tersebut dapat positif maupun negatif. Ukuran yang termasuk dalam kategori *nominal is the best* adalah:

- a. Berat
- b. Ketebalan
- c. Volume
- d. Panjang
- e. Diameter
- f. Jarak
- g. Lebar
- h. Luas
- i. Tekanan
- j. Kerapatan
- k. Kecepatan
- l. Waktu

2. *Smaller the better*

Karakteristik *smaller the better* merupakan karakteristik non negatif yang dapat diukur yang mempunyai kondisi ideal atau target 0 (*zero*). Pencapaian karakteristik jika semakin kecil (mendekati nol) semakin baik. Ukuran yang termasuk dalam kategori *smaller the best* adalah:

- a. Penggunaan mesin
- b. Penyimpangan
- c. Waktu proses
- d. Pemborosan energi
- e. Persen kontaminasi
- f. Kebisingan
- g. Waktu respon
- h. Hambatan
- i. Produk gagal
- j. Kerusakan

3. *Larger the better*

Karakteristik *larger the better* merupakan karakteristik non negatif yang dapat diukur yang mempunyai kondisi ideal atau target *infinity* (tak terbatas). Ukuran yang termasuk dalam kategori *larger the better* adalah:

- a. Kekuatan
- b. Waktu antar kerusakan
- c. Kekuatan tarik
- d. Ketahanan terhadap korosi
- e. Efisiensi

2.3.3 Klasifikasi Parameter

Banyak faktor lain yang dapat mempengaruhi karakteristik kualitas (respon variabel) dari suatu produk. Faktor-faktor tersebut dapat diklasifikasikan atas:

1. Faktor *noise*

Faktor *noise* yaitu suatu parameter yang menyebabkan penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai targetnya. Faktor *noise* dapat menyebabkan

pengaruh pada karakteristik secara tidak terkendali dan sulit diprediksi. Faktor *noise* biasanya sulit, mahal, dan tidak menjadi sasaran pengendalian, tetapi untuk tujuan eksperimen perlu dikendalikan dalam skala kecil.

2. Faktor kontrol

Faktor kontrol yaitu parameter-parameter yang nilainya ditentukan oleh ahli teknik. Faktor-faktor kontrol dapat mempunyai nilai satu atau lebih yang disebut level. Pada akhir eksperimen, suatu level faktor kontrol yang sesuai akan dipilih. Salah satu aspek dari perancangan kokoh adalah mencari kondisi level optimal untuk faktor kontrol sehingga karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap *noise*.

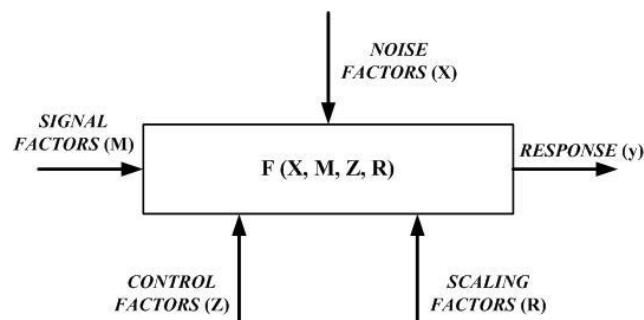
3. Faktor *signal*

Faktor *signal* yaitu faktor-faktor yang mengubah nilai-nilai karakteristik kualitas yang sebenarnya yang akan diukur. Karakteristik kualitas dalam perancangan eksperimen dimana faktor *signal* mempunyai nilai konstan (dalam hal ini tidak dimasukkan sebagai faktor) disebut karakteristik statis. Faktor *signal* dapat mengambil banyak nilai, karakteristik mempunyai sifat dinamis. Faktor *signal* tidak ditentukan oleh ahli teknik, tetapi oleh konsumen berdasarkan hasil yang diinginkan.

4. Faktor *scaling*

Faktor ini digunakan untuk mengubah *mean* level karakteristik kualitas untuk mencapai hubungan fungsional yang diperlukan antara faktor *signal* dengan karakteristik kualitas. Faktor *scaling* disebut juga faktor penyesuaian.

Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kualitas
(Sumber : Soejanto, 2002)

2.3.4 Fungsi Kerugian Taguchi (*Quality Loss Function*)

Fungsi kerugian terhadap produk timbul akibat adanya penyimpangan spesifikasi produk dari target yang telah ditetapkan, yang pada akhirnya kerugian ditanggung oleh masyarakat (produsen dan konsumen) selama penggunaan produk. Produsen menderita kerugian bila perbaikan atau penguatan dari kinerja produk yang ditolak atau dikembalikan karena menyimpang dari target, sedangkan konsumen menderita kerugian dalam bentuk ketidaknyamanan, kerugian keuangan, dan konsekuensi rusak dari penggunaan produk.

Taguchi menggunakan fungsi penyimpangan kualitas untuk mengukur kerugian karena variasi fungsional, meminimalisasi penyimpangan kinerja suatu produk dari nilai targetnya akan meningkatkan kualitas produk. Dengan demikian semakin kecil variasi fungsional, maka semakin kecil pula kerugian yang ditanggung masyarakat, yang berarti semakin tinggi kualitas produk. Berikut ini adalah fungsi kerugian kualitas dari masing-masing karakteristik kualitas Taguchi (Soejanto, 2002):

1. Fungsi kerugian kualitas *nominal is the best*

Untuk 1 unit produk, jika y adalah nilai karakteristik kualitas *nominal is the best*, fungsi kerugian y ditulis $L(y)$. Kerugian $L(y)$ dapat dideretkan menurut deret Taylor.

Diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$L(y) = k (y - m)^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

y = Nilai karakteristik kualitas *nominal is the best*.

$L(y)$ = Kerugian untuk tiap produk bila karakteristik kualitas sama dengan y .

m = Nilai target dari y

k = Koefisien biaya

Untuk sampel, fungsi kerugian kualitas *nominal is the best* adalah sebagai berikut:

$$L(y) = k [\text{MSD}]$$

$$\text{Substitusi } [\text{MSD}] = [\sigma^2 + (\bar{y} - m)^2]$$

Maka:

$$L(y) = k [\sigma^2 + (\bar{y} - m)^2] \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

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

σ = standar deviasi sampel

m = nilai target

MSD = *mean squared deviation*

2. Fungsi kerugian kualitas *smaller the better*

Untuk 1 unit produk, dari persamaan (2), ambil nilai target $m = 0$, diperoleh:

$$L(y) = ky^2$$

$$k = \frac{L(y)}{y^2}$$

Pada spesifikasi, $k = \frac{A_0}{\Delta^2}$

$$L(y) = \frac{A_0}{\Delta^2} \times y^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk sampel, fungsi kerugian kualitas *smaller the better* adalah sebagai berikut:

$$L(y) = k [\text{MSD}]$$

$$L(y) = k [\sigma^2 + (\bar{y} - m)^2]$$

Target untuk karakteristik *smaller the better* adalah $m=0$, maka fungsi kerugian kualitas:

$$\begin{aligned} L(y) &= k [\sigma^2 + (\bar{y} - m)^2] \\ &= k [\sigma^2 + (\bar{y} - 0)^2] \\ &= k [\sigma^2 + \bar{y}^2] \dots\dots\dots (2.4) \end{aligned}$$

3. Fungsi kerugian kualitas *larger the better*

Untuk 1 unit produk adalah:

$$L(y) = k \left[\frac{1}{y} \right]^2$$

$$\text{Untuk } k = L(y) \cdot y^2$$

$$= A_0 \cdot \Delta^2$$

$$\text{Maka : } L(y) = A_0 \cdot \Delta^2 \cdot \left(\frac{1}{y} \right)^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk sampel, karena nilai yang diharapkan dari $(y-\mu^2)$ adalah 0 dan nilai yang diharapkan $(y-\mu^2)$ adalah varians (σ^2). Kita bisa menulisnya:

$$MSD = \frac{1}{\mu^2} \left[1 + \frac{3\sigma^2}{\mu^2} \right]$$

Dan fungsi kerugian kualitas dapat kita tuliskan:

$$L(y) = k [MSD]$$

$$L(y) = \frac{k}{\mu^2} \left[1 + \frac{3\sigma^2}{\mu^2} \right]$$

Populasi parameter-parameter (μ dan σ) dapat ditaksir dari sampel produk dengan rata-rata y dan standar deviasi sampel σ atau S .

2.4. Desain Eksperimen Taguchi

Suatu desain eksperimen adalah evaluasi secara serentak terhadap dua atau lebih faktor (parameter) terhadap kemampuannya untuk mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses. Pada umumnya desain eksperimen Taguchi dibagi menjadi tiga tahap utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen. Tiga tahap utama tersebut meliputi tahap perencanaan, tahap pelaksanaan, dan tahap analisis (Soejanto, 2009).

Tahap perencanaan merupakan tahap terpenting. Pada tahap ini akan dipelajari berbagai hal dari eksperimen, kadang kala informasi yang diperoleh dari eksperimen akan positif dan juga negatif. Informasi yang positif merupakan indikasi tentang faktor-faktor dan level-level manakah yang akan mengarah kepada peningkatan performansi produk atau proses. Informasi yang negatif merupakan indikasi tentang faktor-faktor manakah yang tidak berpengaruh terhadap peningkatan performansi produk atau proses. Namun faktor-faktor yang berpengaruh tidak dapat diketemukan.

Tahap pelaksanaan merupakan tahap terpenting berikutnya, ketika hasil-hasil pengujian dikumpulkan. Jika eksperimen terencana dan terlaksana secara baik, analisa akan jauh lebih mudah dilakukan dan akan menghasilkan informasi positif tentang faktor dan level.

Tahap analisa merupakan tahap yang tingkat kepentingannya paling kecil dalam kaitannya dengan apakah eksperimen akan memperoleh hasil yang positif.

Namun tahapan ini paling bersifat statistik. Hal ini dikarenakan keterlibatan statistiknya paling besar, tahap analisa umumnya merupakan tahap yang paling kurang dimengerti oleh ahli produk atau proses.

Desain eksperimen yang baik, apabila eksperimen yang dilakukan sesuai dengan masalahnya dan mempunyai efisiensi yang tinggi, yaitu apabila eksperimen dilakukan dengan menggunakan biaya, waktu, dan usaha yang minimum tetapi dapat memberikan informasi yang optimum.

2.4.1. Tahap Perencanaan Eksperimen

Perencanaan eksperimen merupakan tahap terpenting yang meliputi perumusan masalah, penetapan tujuan eksperimen, penentuan variabel tak bebas, identifikasi faktor-faktor (variabel bebas), pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan, penentuan jumlah level dan nilai level faktor, letak dari kolom interaksi, perhitungan derajat kebebasan, dan pemilihan matriks ortogonal (Soejanto, 2009).

1. Perumusan Masalah

Langkah pertama adalah merumuskan/mendefinisikan masalah atau fokus yang akan diselidiki dalam eksperimen. Perumusan masalah harus spesifik dan jelas secara teknis harus dapat dituangkan ke dalam eksperimen yang akan dilakukan. Jika respon yang diharapkan lebih dari satu harus dinyatakan dengan jelas.

2. Tujuan Eksperimen

Tujuan yang melandasi eksperimen harus dapat menjawab apa yang telah dinyatakan pada perumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang kita amati.

3. Penentuan Variabel Tak Bebas

Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas yang akan diselediki.

4. Identifikasi Faktor-faktor (Variabel Bebas)

Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor yang akan

diselediki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan. Dalam seluruh percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselediki, sebab hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Hanya faktor-faktor yang dianggap penting saja yang diselediki. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang akan diteliti adalah *brainstorming*, *flowchart*, dan *cause effect diagram*.

5. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor-faktor yang diamati terbagi atas faktor kontrol dan faktor gangguan. Dalam metode Taguchi keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruh antara kedua jenis faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau dikendalikan, atau faktor yang tidak ingin kita atur atau kendalikan.

6. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan ongkos pelaksanaan percobaan. Makin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh akan lebih banyak, tetapi banyaknya level juga akan meningkatkan jumlah pengamatan sehingga menaikkan ongkos eksperimen.

7. Perhitungan Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan adalah banyaknya pengukuran bebas yang dapat dilakukan untuk menaksir sumber informasi. Angka derajat kebebasan menunjukkan banyak perbandingan bebas yang dapat dilakukan pada sekelompok data. Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Pentingnya memahami berapa banyak derajat kebebasan yang dibutuhkan untuk mempelajari faktor minat adalah penting dalam menentukan matriks ortogonal dalam desain eksperimen. Tiap matriks ortogonal mempunyai derajat kebebasan yang dibutuhkan, kita dapat memilih sebuah matriks

ortogonal yang mempunyai jumlah pembanding atau derajat kebebasan. Rumus yang digunakan untuk menentukan jumlah derajat kebebasan adalah sebagai berikut:

- a. Derajat kebebasan untuk setiap faktor dapat ditentukan dengan rumus:

$$dof_{\text{faktor}} = n_{\text{faktor}} - 1 \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana;

n_{faktor} = banyaknya level tiap faktor

- b. Derajat kebebasan untuk setiap interaksi dapat ditentukan dengan rumus:

$$dof_{\text{interaksi(AxB)}} = (n_{(A)} - 1) \times (n_{(B)} - 1) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana;

$n_{(A)}$ = banyaknya level pada faktor A

$n_{(B)}$ = banyaknya level pada faktor B

8. Pemilihan Matriks Orthogonal

Matriks ortogonal adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom merupakan faktor yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris merupakan kombinasi level dari faktor dalam eksperimen. matriks disebut ortogonal karena level-level dari faktor berimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor lain dalam eksperimen. Hal ini berarti bahwa matriks ortogonal adalah matriks seimbang dari faktor dan level sedemikian hingga pengaruh suatu faktor atau level tidak baur dengan pengaruh faktor atau level yang lain. Pemilihan matriks orthogonal disesuaikan dengan jumlah derajat kebebasan yang digunakan pada penelitian. Pemilihan matriks ortogonal berdasarkan jumlah derajat kebebasan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Pemilihan Matriks Orthogonal Berdasarkan Derajat Kebebasan

Jumlah <i>dof</i>	Matriks Orthogonal
2 – 3	$L_4(2^3)$
4 – 7	$L_8(2^7)$
8 – 11	$L_{12}(2^{11})$
12 – 15	$L_{16}(2^{15})$

(Sumber : Telaumbanua, 2013)

Penulisan matriks ortogonal memiliki arti yang perlu kita ketahui. Tiap matriks dapat dikenali dengan bentuk $L_A(B^C)$ dan dapat diilustrasikan oleh matriks ortogonal pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Notasi Matriks Ortogonal
(Sumber : Soejanto, 2009)

Setelah mengetahui matriks ortogonal yang digunakan, maka kita dapat mengetahui tabel untuk matriks ortogonal yang digunakan. Terdapat beberapa tabel matriks ortogonal yang dapat digunakan. Tabel matriks ortogonal untuk matriks ortogonal $L_8(2^7)$ dapat dilihat pada Tabel 2.2.

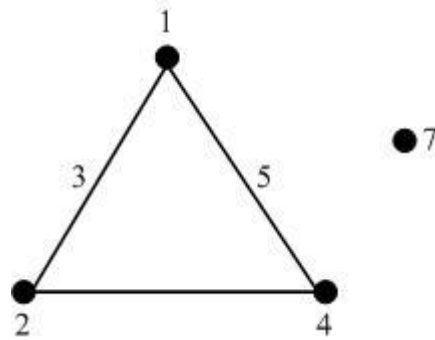
Tabel 2.2 Ortogonalitas

Eksperimen	Matriks Ortogonal $L_8(2^7)$						
	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 : Soejanto, 2009)

9. Penempatan Kolom untuk Faktor dan Interaksi ke dalam Matriks Orthogonal
 Penugasan faktor-faktor baik faktor kontrol maupun faktor gangguan dan interaksi-interaksinya pada matriks ortogonal terpilih dengan memperhatikan grafik linier dan tabel triangular. Kedua hal tersebut merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh Taguchi. Grafik linier mengindikasikan berbagai kolom ke mana faktor-faktor tersebut. Tabel triangular berisi semua hubungan interaksi-interaksi yang mungkin antara faktor-faktor (kolom-kolom) dalam suatu matriks ortogonal. Untuk memudahkan di kolom mana

saja diletakkan interaksi faktor pada setiap matriks orthogonal, Taguchi menyatakan dalam grafik linier. Grafik linier adalah representasi grafik dari informasi interaksi dalam suatu matriks eksperimen yang terdiri dari titik dan garis. Setiap titik pada grafik linier mewakili suatu faktor utama dan garis yang menghubungkan dua titik menggambarkan interaksi antar dua faktor utama yang bersangkutan. Misalnya dalam suatu penelitian menggunakan 3 faktor yaitu A, B, dan C, serta 3 interaksi AxB, interaksi AxC, dan interaksi BxC dan memiliki 2 level dimana total derajat kebebasannya adalah 5, maka matriks yang digunakan adalah $L_8(2^7)$ yang total derajat kebebasannya berada diantara 4 sampai dengan 7. Untuk matriks $L_8(2^7)$ maka pasangan grafik linear yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Grafik Linier 1 $L_8(2^7)$
(Sumber : Sujanto, 2009)

Berdasarkan gambar grafik linier di atas dapat diketahui bahwa:

Faktor A ditempatkan pada kolom 1

Faktor B ditempatkan pada kolom 2

Interaksi faktor AxB ditempatkan pada kolom 3

Faktor C ditempatkan pada kolom 4

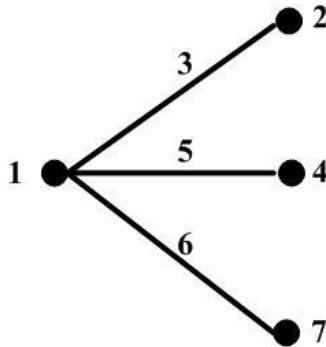
Interaksi faktor AxC ditempatkan pada kolom 5

Interaksi faktor BxC ditempatkan pada kolom 6

Sedangkan untuk kolom 7 ditulis “e” yang menyatakan error.

Sementara apabila dalam suatu penelitian menggunakan 4 faktor yaitu A, B, C dan D, serta 3 interaksi AxB, interaksi AxC, dan interaksi AxD dan memiliki 2 level dimana total derajat kebebasannya adalah 5, maka matriks yang digunakan adalah $L_8(2^7)$ yang total derajat kebebasannya berada

diantara 4 sampai dengan 7. Untuk matriks $L_8(2^7)$ maka pasangan grafik linear yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Grafik Linier 2 $L_8(2^7)$
(Sumber : Sujanto, 2009)

2.4.2 Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen meliputi penentuan jumlah replikasi eksperimen dan randomisasi pelaksanaan eksperimen (Soejanto, 2009).

1. Jumlah Replikasi

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

- a. Menambah ketelitian data eksperimen
- b. Mengurangi tingkat kesalahan pada eksperimen
- c. Memperoleh harga taksiran kesalahan eksperimen sehingga memungkinkan diadakannya uji signifikan hasil eksperimen.

2. Randomisasi

Dalam eksperimen selain faktor-faktor yang diselidiki pengaruhnya terhadap variabel, juga terhadap faktor-faktor lain yang tidak terkendali atau tidak diinginkan yang dapat mempengaruhi hasil eksperimen. Pengaruh faktor-faktor tersebut diperkecil dengan menyebarkan pengaruh tersebut selama eksperimen melalui randomisasi (pengacakan) urutan percobaan. Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk:

- a. Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit eksperimen.
- b. Memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama.
- c. Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas satu sama lain. Jika replikasi dengan tujuan untuk memungkinkan dilakukan uji signifikan, maka randomisasi bertujuan menjadikan uji tersebut valid dengan menghilangkan sifat bias. Pelaksanaan eksperimen Taguchi adalah melakukan pengerjaan berdasarkan setting faktor pada matriks orthogonal dengan jumlah eksperimen sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti pada randomisasi.

2.4.3. Tahap Analisa

Pada analisis dilakukan pengumpulan dan pengolahan data yang meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu layout tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu eksperimen yang dipilih. Analisis dan pengolahan data eksperimen dengan menggunakan perhitungan nilai *mean* dan ditransformasikan kebentuk rasio S/N dalam tabel analisis varians (Soejanto, 2009).

1. Analisis Variansi Taguchi

Analisis varians adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen secara statistik. Analisis ini merupakan teknik menganalisis dengan menguraikan seluruh (total) variansi atas bagian-bagian yang diteliti. Pada bagian ini dilakukan pengklasifikasian hasil-hasil percobaan secara statistik sesuai dengan sumber-sumber variasi. Analisis variansi digunakan untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Tujuan utama dari pengembangan produk dan proses adalah meningkatkan karakteristik kinerja, untuk itu sangat diperlukan percobaan dalam tahap pengembangan desain. Parameter produk dan proses yang bertujuan untuk mengetahui beberapa faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kinerja produk dan

proses. Analisis variansi untuk suatu matriks ortogonal dilakukan berdasarkan jumlah kuadrat untuk masing-masing kolom. Untuk analisis variansi dua arah adalah data eksperimen yang terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih. Perhitungan yang dilakukan dalam analisis variansi adalah sebagai berikut:

- a. SS_T – Jumlah Kuadrat Total

Jumlah kuadrat total adalah sebagai berikut:

$$SS_T = \sum_{i=1}^N y^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

N = jumlah percobaan

y = data yang diperoleh dari percobaan

- b. SS_A – Jumlah Kuadrat Faktor A

Jumlah kuadrat faktor A sebagai berikut:

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{KA} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots (2.9)$$

Di mana :

A_i = Level ke i faktor A

n_{Ai} = Jumlah percobaan level ke i faktor A

KA = Jumlah level faktor A

i = Banyaknya level pada tiap faktor

T = Jumlah seluruh nilai data

N = Banyaknya data keseluruhan

- c. S_{AxB} – Jumlah Interaksi Faktor AxB

Dengan cara yang sama, jumlah kuadrat interaksi AxB sebagai berikut:

$$S_{AxB} = \frac{[Total \ AxB_1]^2}{n_1} + \frac{[Total \ AxB_2]^2}{n_2} - \frac{[Total \ AxB]^2}{n_1+n_2} \dots\dots\dots (2.10)$$

- d. S_m – Jumlah Kuadrat Karena Rata-rata

Jumlah kuadrat karena rata-rata adalah sebagai berikut:

$$S_m = n \cdot \bar{y}^2 \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

n = banyaknya data keseluruhan

$\bar{y}$ = rata-rata data eksperimen

e. SS_e – Jumlah Kuadrat *Error*

$$SS_e = SS_T - S_m - SS_{\text{faktor}} \dots\dots\dots (2.12)$$

f. Perhitungan Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan diperlukan dalam mempelajari faktor atau efek utama, yaitu sama dengan jumlah level dikurangi satu dalam eksperimen. Perhitungan derajat kebebasan dilakukan pada tiap faktor dengan rumus yang sama pada rumus 2.6 dan rumus 2.7

g. MS – Rata-rata Kuadrat

Perhitungan rata-rata kuadrat menggunakan rumus:

$$MS_n = \frac{SS_n}{dof_n} \dots\dots\dots (2.13)$$

SS_n = Jumlah kuadrat masing-masing faktor dan interaksi

dof_n = Derajat Kebebasan masing-masing faktor dan interaksi

2. Uji F

Hasil analisis variansi tidak membuktikan adanya perbedaan perlakuan dan pengaruh faktor dalam percobaan, pembuktian ini dilakukan uji hipotesa F. Uji hipotesa F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi *error*. Variansi *error* adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan. Dalam hal ini:

$$F_{\text{sumber}} = \frac{\text{variansi karena perlakuan} + \text{variansi karena error}}{\text{variansi karena error}}$$

Nilai F_{sumber} tersebut dibandingkan dengan nilai F dari tabel pada harga α tertentu. Hipotesa pengujian dalam suatu percobaan adalah sebagai berikut:

H_0 : tidak ada pengaruh perlakuan, sehingga $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_j = \mu_k$

H_1 : ada pengaruh perlakuan, sehingga sedikit ada satu μ_1 yang tidak sama

Apabila nilai F_{sumber} lebih kecil dari nilai F_{tabel} ($F_{\text{sumber}} < F_{\text{tabel}}$), maka hipotesa (H_0) diterima atau berarti tidak ada perlakuan. Namun jika nilai F_{sumber} lebih besar dari nilai F_{tabel} ($F_{\text{sumber}} > F_{\text{tabel}}$), maka hipotesa (H_0) ditolak dan berarti ada perbedaan perlakuan.

3. Strategi *Pooling Up*

Strategi *pooling up* dirancang Taguchi untuk mengestimasi variansi error pada analisis variansi. Sehingga estimasi yang dihasilkan akan lebih baik, karena strategi ini akan mengakumulasi beberapa variansi error dari beberapa faktor yang kurang berarti. Pada *pooling up* dilakukan dengan ketentuan nilai $MS_{hitung} \leq MS_{error}$. Penentuan *error* ini dilakukan dengan metode *pooling up* yaitu mengumpulkan faktor-faktor yang tidak signifikan sebagai *error*. *Pooling up* bertujuan untuk melihat faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap terjadinya penurunan kualitas sehingga dapat diatasi dengan segera.

4. Rasio S/N

Rasio S/N (Rasio *Signal To Noise*) digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu respon. Rasio S/N merupakan rancangan untuk transformasi pengulangan data ke dalam suatu nilai yang merupakan ukuran variasi yang timbul. Penggunaan rasio S/N untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Rasio S/N mempunyai keuntungan dibandingkan dengan simpangan kuadrat rata-rata. Jika nilai target diubah, maka kondisi optimal yang diperoleh dengan memaksimalkan rasio S/N akan tetap valid. Berdasarkan pendekatan *loss function*, karakteristik kualitas yang terukur menurut Taguchi dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

a. Semakin kecil semakin baik (*smaller the better*)

Adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 dan non negatif. Nilai semakin kecil (mendekati nol adalah yang diinginkan). Rumus yang digunakan untuk menghitung rasio S/N berdasarkan karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik (*smaller the better*) adalah sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right) \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

n = jumlah pengulangan dari suatu *trial*

- b. Tertuju pada nilai tertentu (*nominal the best*)

Karakteristik kualitas dengan nilai atau target tidak nol dan terbatas. Atau dengan kata lain nilai yang mendekati suatu nilai yang ditentukan adalah yang terbaik. Rumus yang digunakan untuk menghitung rasio S/N berdasarkan karakteristik kualitas tertuju pada nilai tertentu (*nominal the best*) adalah sebagai berikut:

$$S/N = -10\log V_e$$

$$S/N = -10\log \left(\frac{V_m - V_e}{nV_e} \right) \dots\dots\dots (2.15)$$

- c. Semakin besar semakin baik (*larger the better*)

Karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non negatif. Nilai semakin besar adalah semakin yang diinginkan. Rumus yang digunakan untuk menghitung rasio S/N berdasarkan karakteristik kualitas semakin besar semakin baik (*larger the better*) adalah sebagai berikut:

$$S/N = -10\log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots\dots\dots (2.16)$$

5. Interpretasi Hasil Eksperimen

Dalam menganalisa hasil eksperimen dari Taguchi ini menggunakan analisis variansi, yaitu perhitungan jumlah kuadrat (SS_T), jumlah kuadrat faktor dan interaksi (S_n), dan jumlah kuadrat *error* (S_e). Interpretasi yang dilakukan antara lain:

- a. Perhitungan Persen Kontribusi

Ketika analisis variansi telah digunakan pada seperangkat data dan jumlah kuadrat telah dihitung kita dapat menggunakan data ini untuk membagi jumlah kuadrat dengan faktor-faktor yang relevan. Dengan membandingkan nilai ini terhadap jumlah kuadrat total menghasilkan persen kontribusi dari masing-masing faktor.

$$SS'_A = SS_A - (V_A) \cdot (MS_e) \dots\dots\dots (2.17)$$

Persen kontribusi adalah:

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots (2.18)$$

Pada persen kontribusi akan dihitung persen kontribusi faktor maupun interaksi faktor yang signifikan dan *error*.

b. Perhitungan Interval Kepercayaan

Estimasi dari nilai rata-rata didasarkan pada nilai rata-rata hasil yang diperoleh dari eksperimen. Perilaku eksperimen menginginkan untuk mempunyai kisaran nilai di mana nilai rata-rata sebenarnya akan berada didalamnya dengan tingkat kepercayaan tertentu. Interval kepercayaan merupakan nilai maksimum dan nilai minimum dimana diharapkan nilai rata-rata sebenarnya akan tercakup dengan beberapa persentase kepercayaan tertentu. Rumus yang digunakan untuk menghitung interval kepercayaan untuk perkiraan rata-rata adalah sebagai berikut:

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, v_1, v_2} \times MS_e \times \left(\frac{1}{n_{eff}}\right)} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$n_{eff} = \frac{jumlah\ total\ eksperimen}{jumlah\ derajat\ kebebasan\ dalam\ perkiraan\ rata-rata} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

F_{α} = Nilai tabel f distribusi dengan α tertentu dan

v_1 = Jumlah level – 1

v_2 = Jumlah derajat kebebasan *error*

n_{eff} = Jumlah pengamatan efektif

MS_e = Rata-rata kuadrat *error*

6. Perhitungan Eksperimen Konfirmasi

Tujuan eksperimen konfirmasi adalah untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisa. Hal ini perlu dilakukan bila digunakan percobaan pemeriksaan dengan resolusi rendah dan berbentuk faktorial fraksional. Karena adanya pencampuran di dalam kolom, kesimpulan yang diperoleh harus dianggap sebagai kesimpulan awal hingga dilakukannya validasi oleh eksperimen konfirmasi. Ketika eksperimen yang digunakan berbentuk faktorial fraksional dan beberapa faktor memiliki kontribusi terhadap variasi, terdapat kemungkinan bahwa kombinasi terbaik dari faktor dan level tidak terlihat pada kombinasi pengujian matriks ortogonal. Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$CI = \sqrt{F_{\alpha; 1; v_e} MS_e \left[\left(\frac{1}{n_{eff}}\right) + \left(\frac{1}{r}\right) \right]} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana:

F_{α} = Nilai tabel f distribusi dengan α tertentu dan

v_1 = Jumlah level – 1

v_2 = Jumlah derajat kebebasan *error*

n_{eff} = Jumlah pengamatan efektif

MS_e = Rata-rata kuadrat *error*

r = jumlah sampel pada percobaan konfirmasi dan $r \neq 0$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian menggambarkan kerangka pemecahan masalah yang akan dijalankan pada penelitian ini secara berurutan dan sistematis. Tujuan dari pembuatan metodologi penelitian adalah agar proses dalam penelitian ini terstruktur dengan baik dan sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan. Metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.1 Jenis Data dan Sumber Data

Jenis data terbagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari objek yang diteliti. Data sekunder adalah data yang diperoleh dari hasil penelitian orang lain atau dari suatu institusi dimana data tersebut sudah dipublikasikan. Sumber data adalah sumber dari mana data bisa didapatkan. Jenis dan sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.1.1 Jenis Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer digunakan untuk melakukan pengolahan data, sedangkan data sekunder digunakan sebagai pendukung data primer.

1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari sumber yang diamati secara langsung dari perusahaan. Data primer dalam penelitian ini meliputi faktor-faktor yang mempengaruhi kebocoran *wellhead*, hasil uji tekanan *wellhead*, dan biaya kerugian yang dikeluarkan oleh perusahaan akibat kebocoran *wellhead*.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang tidak berhubungan langsung dengan objek yang diteliti tetapi ikut mendukung kelancaran produksi. Data sekunder dalam penelitian ini yaitu data umum perusahaan yang meliputi:

- a. Profil perusahaan
- b. Visi dan misi perusahaan

- c. Struktur organisasi dan *job description* perusahaan
- d. Ketenagakerjaan, hari dan jam kerja perusahaan
- e. Jenis-jenis produk yang dihasilkan perusahaan

3.1.2 Sumber Data

Data primer dan data sekunder yang didapatkan dalam penelitian ini diperoleh dengan cara sebagai berikut:

1. Data primer didapatkan melalui penelitian langsung terhadap objek yang diteliti. Informasi-informasi lain yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan penelitian didapatkan melalui wawancara kepada bagian *quality control*.
2. Data sekunder didapatkan dengan cara mengumpulkan hasil penelitian dan laporan atau dokumentasi yang telah ada dan tersedia di perusahaan.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Metode pengumpulan data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Kepustakaan

Pengumpulan kepastakaan merupakan metode pengumpulan landasan teori yang berasal dari literatur-literatur, buku-buku yang ada hubungannya dengan materi yang akan dibahas dalam tugas akhir ini, dan karya ilmiah lain yang telah ada sebelumnya. Pengumpulan kepastakaan ini bersifat teori dan merupakan penunjang didalam melaksanakan penelitian lapangan.

2. Penelitian Lapangan

Dalam melakukan penelitian ini maka dilakukan pengumpulan data melalui metode observasi langsung. Observasi langsung dilakukan pada bagian *quality control* untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan yang berkaitan dengan produk *wellhead*.

3. Wawancara

Metode pengumpulan data dengan wawancara dilakukan secara langsung kepada bagian *quality control* untuk mendapatkan informasi tambahan yang dibutuhkan untuk menunjang pembahasan masalah.

3.3 Teknik Analisis

Teknik analisis yang dilakukan dalam metodologi penelitian ini meliputi:

3.3.1 Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan untuk mendapatkan gambaran umum mengenai kondisi perusahaan dan permasalahan apa yang terjadi di dalam perusahaan. Untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan dalam penelitian ini, maka dilakukan studi lapangan ke PT Bima Drilling Tools.

3.3.2 Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk mengumpulkan teori-teori mengenai metode yang akan digunakan dalam pengolahan data, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

3.3.3 Identifikasi Masalah

Berdasarkan studi lapangan dan studi pustaka yang telah dilakukan, maka dapat ditentukan identifikasi masalah terhadap objek penelitian. Identifikasi masalah telah diuraikan pada BAB I.

3.3.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dilakukan setelah identifikasi masalah ditentukan, tujuan penelitian ini telah diuraikan pada BAB I.

3.3.5 Pengumpulan Data

Untuk mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan, perlu dilakukan pengumpulan data yang dapat mendukung pemecahan masalah yang ada. Pengumpulan data yang dilakukan meliputi:

1. Data umum perusahaan.
2. Data faktor-faktor yang mempengaruhi kebocoran *wellhead*.
3. Data level yang digunakan untuk masing-masing faktor.
4. Data hasil uji tekanan *wellhead*
5. Data biaya kerugian akibat kebocoran *wellhead*

3.3.6 Pengolahan Data

Pengolahan data dengan menggunakan metode Taguchi terbagi menjadi tiga tahap, yaitu perencanaan, pelaksanaan, dan analisis. Pengolahan data menggunakan metode Taguchi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Tahap Perencanaan Metode Taguchi

Dalam tahap perencanaan metode Taguchi ada beberapa hal yang dilakukan, yaitu:

a. Penentuan Variabel Tak Bebas

Penentuan variabel tak bebas dilakukan dengan cara identifikasi masalah yang terjadi di perusahaan yang berkaitan dengan objek yang diteliti. Identifikasi masalah ini dilakukan dengan cara wawancara kepada bagian *quality control* untuk mendapatkan informasi mengenai permasalahan yang berkaitan dengan objek penelitian.

b. Penentuan Faktor-faktor (Variabel Bebas)

Penentuan faktor-faktor (variabel bebas) didapatkan dengan cara penelitian secara langsung dan wawancara kepada bagian-bagian yang mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan kebocoran *wellhead*.

c. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Pada penelitian ini, setelah mendapatkan faktor-faktor (variabel bebas), langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menentukan jumlah dan nilai level yang digunakan masing-masing faktor. Penentuan jumlah dan nilai level ini dilakukan oleh bagian *quality control*.

d. Perhitungan derajat kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menentukan matriks ortogonal yang akan digunakan. Cara perhitungan derajat kebebasan adalah jumlah level yang digunakan pada masing-masing faktor dan interaksi faktor dikurangi satu.

e. Pemilihan Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal didasarkan pada jumlah derajat kebebasan yang digunakan. Matriks ortogonal menentukan jumlah eksperimen yang akan dilakukan pada tahap pelaksanaan metode Taguchi.

f. Penempatan Kolom untuk Faktor dan Interaksi ke dalam Matriks Ortogonal

Penempatan kolom untuk faktor dan interaksi ke dalam matriks ortogonal ditentukan berdasarkan grafik linier yang digunakan.

2. Tahap Pelaksanaan Metode Taguchi

Tahap pelaksanaan metode Taguchi adalah tahap dimana pelaksanaan percobaan dilakukan. Pada tahapan ini, dilakukan perhitungan rata-rata terhadap hasil eksperimen yang dilakukan.

3. Tahap Analisis metode Taguchi

Tahap analisis metode Taguchi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Perhitungan ANOVA

Analisis variansi (ANOVA) adalah teknik yang digunakan untuk menganalisa data yang telah disusun dalam tahap perencanaan metode Taguchi secara statistik. Perhitungan ANOVA dilakukan dengan cara menghitung nilai rata-rata dari tiap faktor.

b. *Pooling Up*

Pooling up dilakukan apabila nilai $MS_{hitung} < MS_{error}$. Pada tahapan ini faktor-faktor yang memiliki nilai $MS_{hitung} < MS_{error}$ akan dilakukan penggabungan (*pooling up*), dan dianggap faktor-faktor ini tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kebocoran *wellhead*.

c. Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis dilakukan untuk mengetahui apakah ada pengaruh faktor secara nyata terhadap kebocoran *wellhead*. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor terhadap variansi error. Hipotesis yang akan diuji adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor terhadap kebocoran *wellhead*

H_1 : Ada pengaruh faktor terhadap kebocoran *wellhead*

Apabila nilai F uji lebih kecil dari nilai F tabel, maka hipotesa H_0 diterima atau berarti tidak ada pengaruh perlakuan. Tetapi jika nilai F uji lebih besar dari F tabel maka hipotesa H_0 ditolak dan itu berarti ada pengaruh perlakuan.

d. Rasio S/N

Perhitungan rasio S/N dilakukan berdasarkan karakteristik kualitas yang digunakan. Pada penelitian ini, karakteristik kualitas yang digunakan adalah *nominal is the best*. Untuk mendapatkan nilai rasio S/N dengan

cara $10 \log$ dikalikan dengan rata-rata kuadrat dibagi dengan variansi dari data pengamatan.

e. Interpretasi Hasil Percobaan

Pada tahapan ini terdapat dua langkah yang dilakukan yaitu perhitungan persen kontribusi dan perhitungan interval kepercayaan. Pada perhitungan persen kontribusi akan dihitung persen kontribusi faktor maupun interaksi faktor yang signifikan dan *error*. Perhitungan interval kepercayaan dilakukan untuk mengetahui nilai prediksi rata-rata yang diharapkan pada kondisi optimum.

3.3.7 Analisis dan Pembahasan

Analisis dilakukan berdasarkan hasil pengolahan data yang sudah dilakukan pada masing-masing tahapan dalam metode Taguchi. Analisis ini bertujuan untuk mengubah hasil dari pengolahan data menjadi informasi yang nantinya bisa dipergunakan dalam mengambil kesimpulan. Analisis yang dilakukan meliputi:

1. Analisis tahap perencanaan metode Taguchi

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam tahap perencanaan Taguchi akan dianalisis. Analisis yang dilakukan pada tahapan ini meliputi analisis penentuan variabel tak bebas, penentuan faktor-faktor, penentuan jumlah level dan nilai level faktor, penentuan derajat kebebasan, pemilihan matriks ortogonal, dan penempatan kolom untuk faktor dan interaksi ke dalam matriks ortogonal.

2. Analisis tahap pelaksanaan metode Taguchi

Analisis pada tahap pelaksanaan metode Taguchi adalah hasil dari uji tekanan *wellhead* yang dilakukan. Nilai pada hasil uji tekanan *wellhead* tersebut kemudian akan diolah menjadi nilai rata-rata dan rasio S/N.

3. Analisis tahap analisa Taguchi

Perhitungan-perhitungan yang dilakukan pada tahap analisa Taguchi akan dianalisis. Perhitungan tersebut meliputi perhitungan pengaruh level terhadap tekanan *wellhead*, perhitungan ANOVA, *pooling up*, F-rasio, dan pengujian hipotesis.

4. Analisis penentuan kombinasi level faktor

Masing-masing faktor akan dipilih level terbaik berdasarkan karakteristik kualitas yang digunakan yaitu *nominal is the best*. Penentuan ini berdasarkan hasil perhitungan pengaruh level terhadap tekanan *wellhead*.

5. Analisis penentuan level terbaik

Penentuan level terbaik ditentukan berdasarkan hasil pengujian hipotesis yang dilakukan.

6. Analisis eksperimen konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan setelah menentukan level terbaik pada setiap faktor yang secara signifikan dapat mencegah kebocoran *wellhead*.

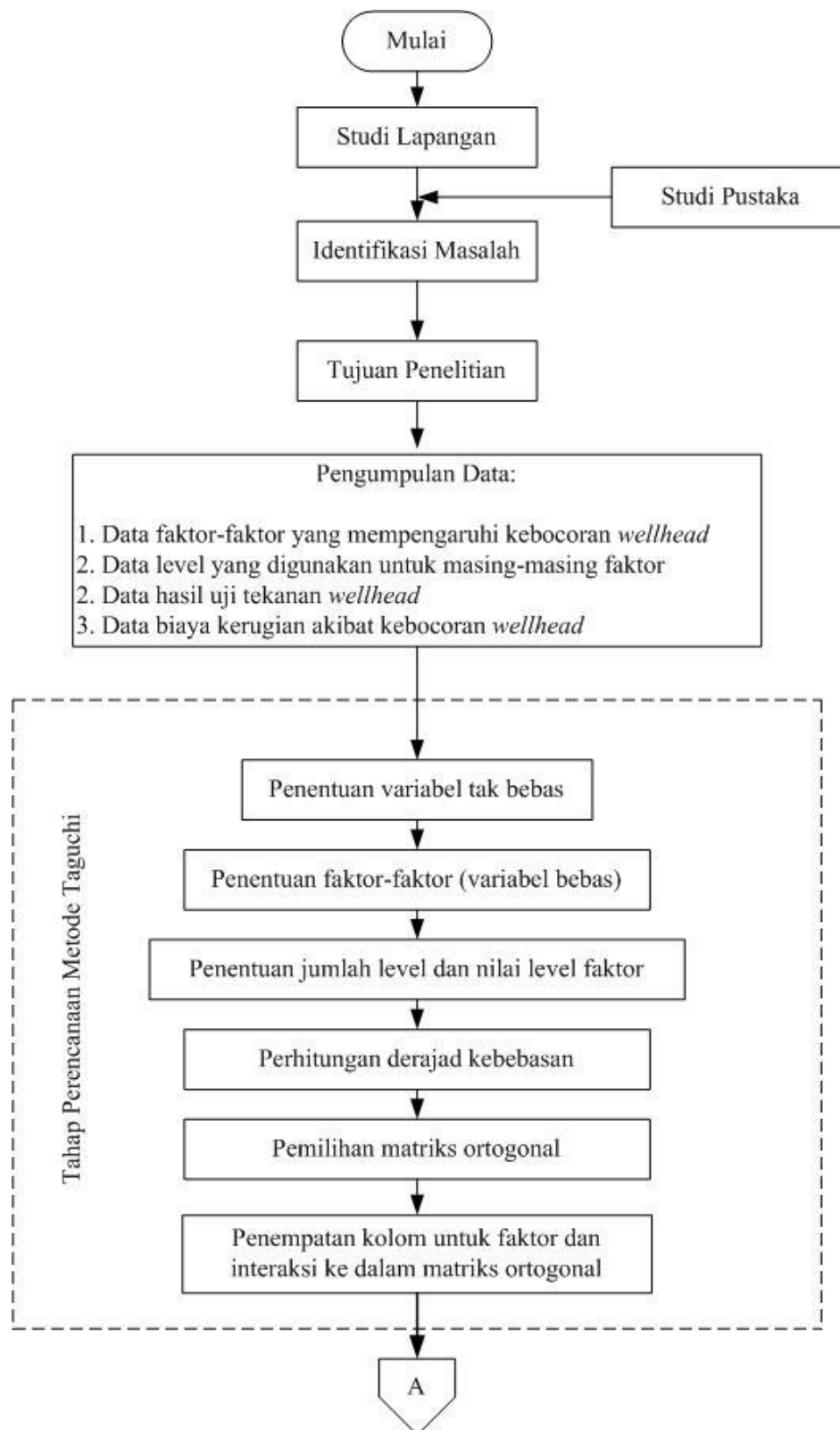
7. Analisis besarnya *quality loss function*

Besarnya *quality loss function* dihitung berdasarkan biaya yang dikeluarkan pada faktor-faktor yang digunakan.

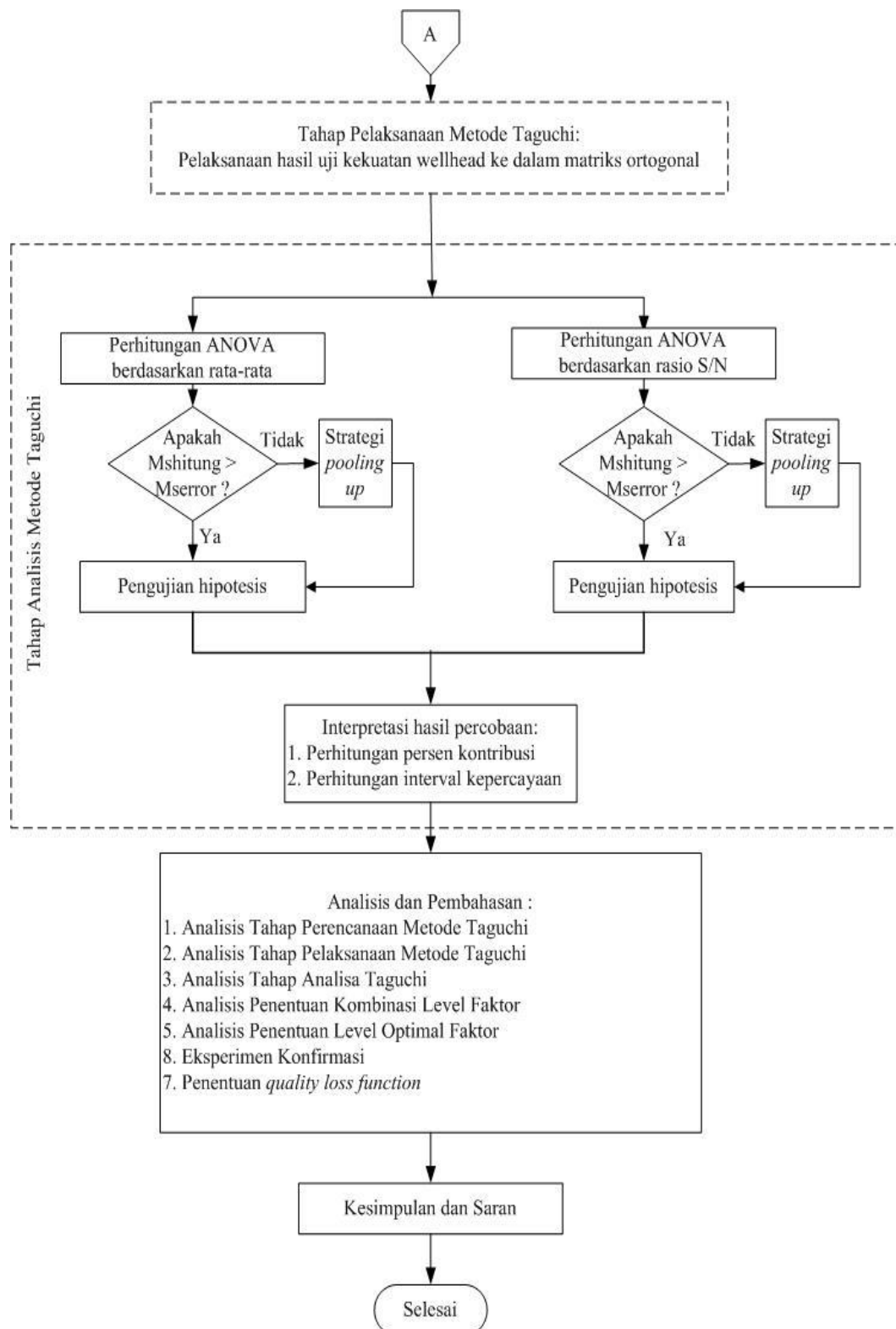
3.3.8 Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil suatu kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan, serta memberikan saran yang bermanfaat bagi perusahaan.

Teknik analisis data yang telah dijelaskan dapat digambarkan menjadi suatu diagram kerangka pemecahan masalah yang merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian. Kerangka pemecahan masalah dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Kerangka Pemecahan Masalah
(Sumber : Pengolahan Data)



Gambar 3.1 Kerangka Pemecahan Masalah(Lanjutan)
(Sumber : Pengolahan Data)

BAB IV

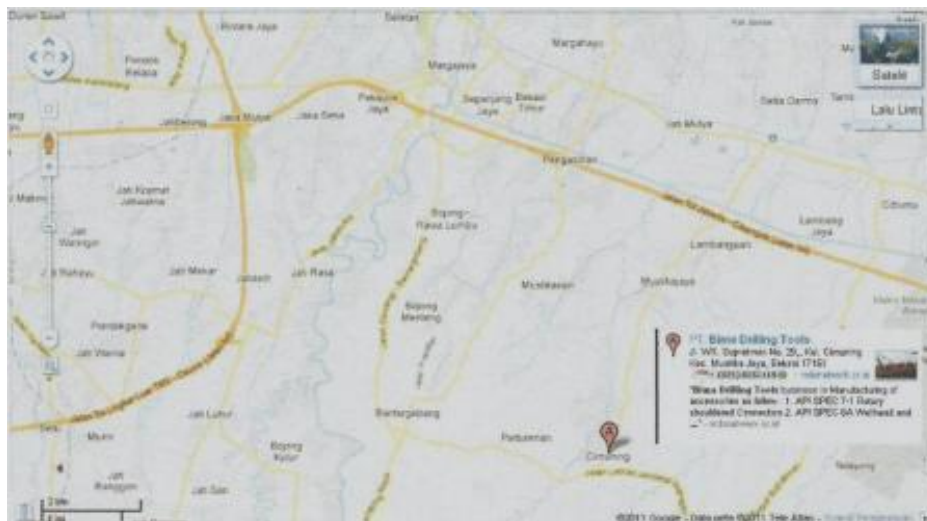
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan dalam penelitian ini. Pengumpulan data yang dilakukan meliputi data umum perusahaan, hasil uji tekanan produk *wellhead*, dan biaya kerugian karena kebocoran *wellhead*.

4.1.1 Profil Perusahaan

PT Bima Drilling Tools (PT BDT) adalah sebuah perusahaan manufaktur yang bergerak dibidang pembuatan alat-alat pengeboran minyak dan gas bumi, serta perbaikan peralatan pengeboran minyak dan gas bumi. Perusahaan ini terletak di Jalan WR. Supratman Nomor 29 Cimuning, Mustika Jaya Bekasi. Berdirinya perusahaan ini diprakarsai oleh Kuswito. Lokasi PT BDT dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Lokasi Perusahaan
(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

Pada awalnya perusahaan ini hanya bergerak dibidang pembuatan alat-alat pengeboran minyak dan gas bumi saja, namun seiring berjalannya waktu, akhirnya perusahaan ini mulai melebarkan sayap bisnisnya dengan menyediakan jasa perbaikan peralatan pengeboran minyak dan gas bumi. Perusahaan ini berdiri

di atas tanah seluas 2865m². Filosofi PT BDT yaitu selalu menciptakan produk dengan kualitas terbaik.

Luas pabrik PT BDT memang terbilang tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan pabrik-pabrik lainnya. Namun hal ini tidak membuat pemiliknya merasa tidak mampu untuk memajukan perusahaannya. Sejak berdirinya perusahaan ini, pimpinan perusahaan serta seluruh karyawan selalu berusaha untuk memajukan perusahaan. Karyawan yang bekerja di PT BDT adalah mereka yang sangat berpengalaman di dunia minyak dan gas bumi serta berorientasi pada kualitas produk yang dihasilkannya. Seluruh karyawan dibentuk menjadi tim pemenang profesional yang memungkinkan PT BDT untuk dapat melayani segala kebutuhan dan keinginan konsumennya.

Pada tahun 2010 PT BDT mendapatkan sertifikasi ISO 9001:2008. Pencapaian ini merupakan bukti tertulis bahwa perusahaan atau organisasi memiliki sistem manajemen mutu yang baik. Hal ini tentu akan berdampak signifikan pada kepercayaan dari konsumen atau mitra yang hendak menjalani kerja sama dengan perusahaan ini. ISO 9001:2008 mengatur bagaimana sistem manajemen harus dilakukan oleh suatu organisasi untuk bisa menjamin mutu produknya agar mutu produk tersebut sesuai dengan persyaratan pelanggan atau persyaratan lain.

Tidak hanya sampai pada sertifikasi ISO 9001:2008, pada tahun 2014 PT BDT juga mendapatkan sertifikasi *American Petroleum Institute* (API) untuk *spec* 5CT, 6A, dan 7-1. Ketiga *spec* ini dibedakan berdasarkan fungsi dan ukuran produknya. Untuk *spec* 5CT yaitu untuk perbaikan-perbaikan pipa, dan alat-alat pengeboran minyak dan gas bumi lainnya, *spec* 6A yaitu untuk produk *wellhead* dan asesorisnya, serta *spec* 7-1 yaitu untuk produk *crossover*, *flange* dan produk-produk kecil lainnya. Pencapaian sertifikasi API ini membuktikan keseriusan PT BDT dalam melayani kepuasan konsumen terkait kualitas produk yang dihasilkannya.

PT BDT memiliki banyak pelanggan yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia, yaitu:

1. National Drilling Service Co
2. Pertamina EP
3. Pertamina EP Region Sumatera
4. Pertamina Hulu Energi (PHE) Metra 4, 7, dan WHO
5. PT Elnusa Tbk
6. PT Karya Utama
7. PT Swasti Inti Teknik
8. PT Sampurna Teknik
9. PT Inti Fajar Pratama
10. PT Wirana Nusantara Energy, dan lain-lain

Daftar di atas hanya beberapa, masih banyak lagi pelanggan yang dimiliki oleh PT BDT. Sertifikasi API yang dimiliki oleh PT BDT membuat perusahaan ini memiliki banyak pelanggan. Hal ini karena dengan memiliki sertifikasi ini berarti produk-produk yang dihasilkan oleh PT BDT memiliki kualitas yang sesuai dengan standar yang ditetapkan.

PT BDT dalam menghasilkan produknya mendapatkan bahan baku dari beberapa macam *supplier*. *Supplier* PT BDT terdiri dari 4 perusahaan, yaitu:

1. PT Surya Sejahtera Metalindo Lestari
2. PT Stilmetindo Prima
3. PT Wahana Perkasa Auto Jaya
4. Jiangsu Wellhead Drilling Equipment Co. LTD

Keempat *supplier* tersebut yang dipilih oleh PT BDT untuk memasok bahan baku yang digunakan untuk memproduksi produk-produk pengeboran minyak dan gas bumi. Pemilihan *supplier* biasanya tergantung pada situasi dan kondisi produk yang diinginkan oleh konsumen. Konsumen biasanya memiliki kriteria untuk produk yang ingin dibelinya. Hal ini biasanya didasarkan pada tingkat penggunaan produk, dan biaya yang dimiliki oleh konsumen.

4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan

PT Bima Drilling Tools mempunyai visi dan misi yang harus dijalankan seluruh karyawannya untuk dapat memajukan perusahaannya. Visi dan misi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Visi

Menjadi perusahaan yang terbaik dalam kualitas produk dan layanan setiap saat.

2. Misi

Misi bisnis dari PT Bima Drilling Tolls adalah perbaikan, pembuatan dan layanan lainnya dari peralatan berdasarkan standar API dan Non API, yang diselenggarakan dengan memanfaatkan sumber daya yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan pelanggan.

4.1.3 Kebijakan Mutu dan Sasaran Mutu Perusahaan

Kebijakan mutu dan sasaran mutu yang ditetapkan oleh PT BDT didasarkan pada sertifikasi ISO 9001:2008 yang dimiliki oleh perusahaan. Kebijakan mutu tersebut adalah sebagai berikut:

1. Manufaktur dan perawatan peralatan pemboran, dengan sumber daya manusia yang kompeten dan didukung dengan fasilitas dari prasarana yang memadai.

Manufacturing and servicing of drilling equipment, with competent human resources and supported with adequate facilities and infrastucture.

2. Sungguh-sungguh menerapkan Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2008, menjalankan seluruh persyaratan pelanggan dan peraturan yang berlaku.

Earnestly implement the ISO 9001:2008 Quality Management System, running the entire customer and regulatory requirements applicable.

3. Meningkatkan Sistem Manajemen Mutu secara terus-menerus, terutama pada kualitas produk dan produktivitas.

Improve the Quality Management System continuously, especially on product quality and productivity.

4. Menetapkan dan meninjau sasaran mutu secara berkala.

Establish and review quality objectives periodically.

Sasaran mutu yang ditetapkan perusahaan dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Sasaran Mutu Perusahaan

No	Deskripsi (<i>Description</i>)	Target
1	Ketersediaan material <i>Material availability</i>	Min 90%

Lanjut ...

Tabel 4.1 Sasaran Mutu Perusahaan (Lanjutan)

No	Deskripsi (<i>Description</i>)	Target
2	<i>Reject/rework proses machining</i> <i>Machining rejection or rework</i>	Maks 25 %
3	Survei kepuasan pelanggan <i>Customer satisfaction survey</i>	Min 70 %
4	Tanggapan atas permintaan pelanggan <i>Customer inquiry response</i>	Maks 2 hari
5	Komplain pelanggan <i>Customer complain</i>	Maks 2 %
6	Waktu penyelesaian perubahan desain <i>Completion time of design changes</i>	Maks 2 hari
7	Tingkat kecelakaan kerja (fatal) <i>Accident at work</i>	0 %
8	Tingkat kehadiran karyawan <i>Employees attendance</i>	Min 95%

(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

4.1.4 Produk Perusahaan

PT BDT memiliki beberapa jenis produk yang dihasilkan. Produk-produk tersebut tentunya produk yang berkaitan dengan alat-alat pengeboran minyak dan gas bumi. Tidak semua jenis produk diproduksi setiap harinya, ada beberapa produk yang dibuat apabila mendapatkan pesanan dari konsumen. Produk yang sifatnya seperti itu adalah produk *wellhead*.

Produk-produk yang diproduksi oleh PT BDT biasanya didistribusikan ke daerah-daerah seperti Batam, Kalimantan, Riau, Palembang, serta Papua. Jenis produk yang diproduksi oleh PT BDT dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Produk Perusahaan

No	Gambar	Keterangan
1		<i>Crossover</i>

Lanjut ...

Tabel 4.2 Produk Perusahaan (Lanjutan)

No	Gambar	Keterangan
2		<i>Flange</i>
3		<i>Wellhead</i>
4		<i>Tubing Hanger</i>
5		<i>X-mastree</i>

(Sumber : Pengolahan Data)

4.1.5 Ketenagakerjaan

PT BDT memiliki jumlah karyawan sebanyak 63 orang yang terdiri dari *staff* dan *manager*. Jumlah divisi yang ada pada PT BDT dapat dilihat pada struktur organisasi perusahaan. Waktu kerja yang digunakan oleh PT BDT dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Waktu Kerja Perusahaan

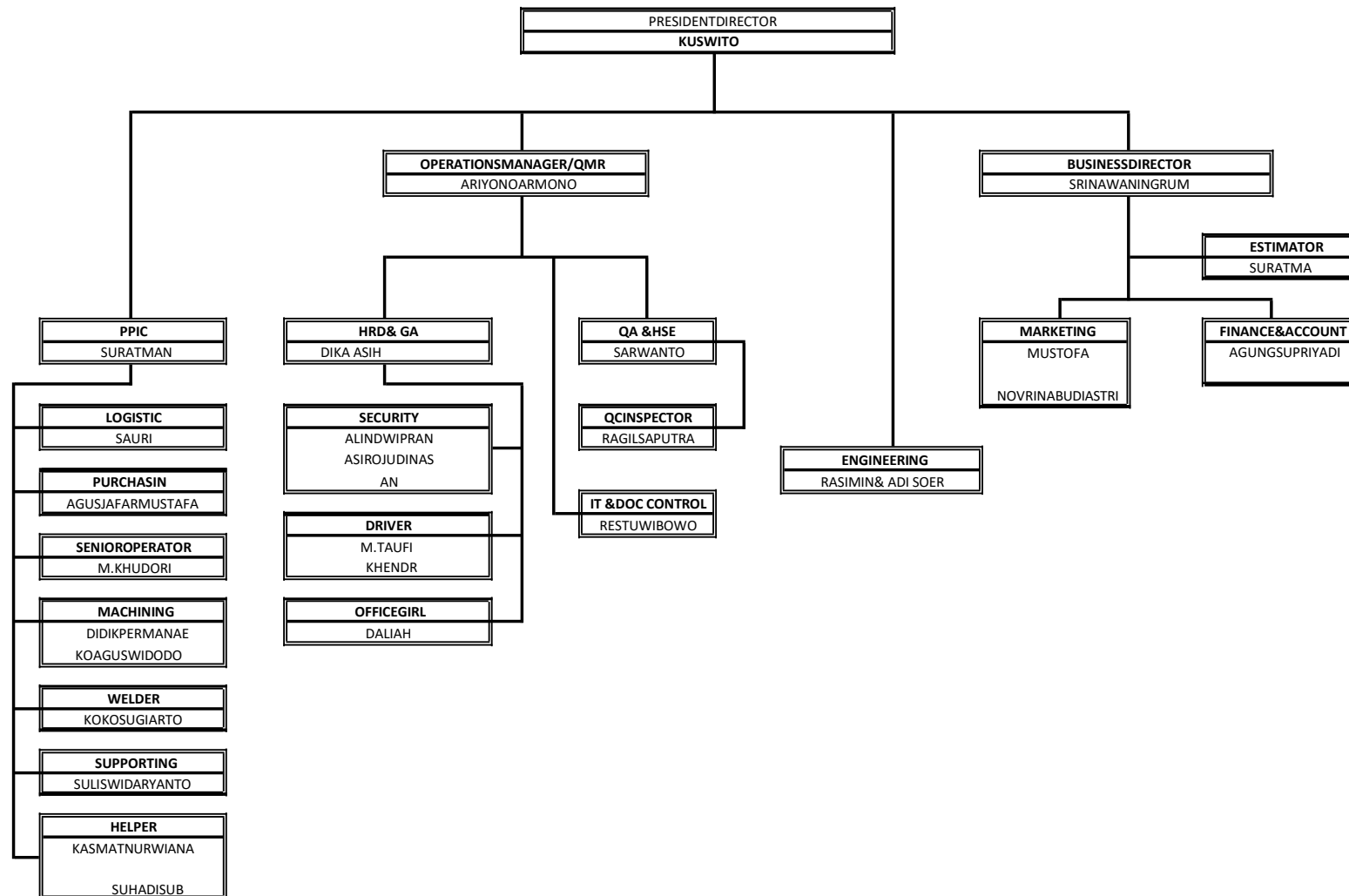
Hari	Waktu Kerja	Istirahat
Senin - Kamis	08.00 – 17.00	12.00 – 13.00
Jumat	08.00 – 17.00	11.45 – 12.45
Sabtu - Minggu	LIBUR	

(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

4.1.6 Struktur Organisasi Perusahaan

Struktur organisasi merupakan susunan dan hubungan antara setiap bagian maupun posisi yang terdapat pada sebuah organisasi atau perusahaan dalam menjalankan kegiatan operasionalnya. Struktur organisasi dimaksudkan untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan sebelumnya. Struktur organisasi dapat menggambarkan secara jelas pemisahan kegiatan dari pekerjaan antara yang satu dengan kegiatan yang lainnya.

Dengan demikian, struktur organisasi dapat pula dijadikan suatu pedoman bagi penyusunan kerja yang memberikan manfaat yang besar bagi pimpinan dan karyawannya. Struktur organisasi PT BDT dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Struktur Organisasi PT Bima Drilling Tools
(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

Secara umum uraian tugas, tanggung jawab dan wewenang dari masing-masing pekerjaan tersebut adalah sebagai berikut:

1. *President Director*

President Director PT Bima Drilling Tools memiliki tugas dan wewenang sebagai berikut:

- a. Memutuskan dan menentukan peraturan dan kebijakan tertinggi perusahaan.
- b. Bertanggung jawab dalam memimpin dan menjalankan perusahaan.
- c. Bertanggung jawab atas kerugian yang dihadapi perusahaan termasuk juga keuntungan perusahaan.
- d. Merencanakan serta mengembangkan sumber-sumber pendapatan dan pembelanjaan kekayaan perusahaan.
- e. Bertindak sebagai perwakilan perusahaan dalam hubungannya dengan dunia luar perusahaan.
- f. Menetapkan strategi-strategi untuk mencapai visi dan misi perusahaan.
- g. Mengkoordinasikan dan mengawasi semua kegiatan di perusahaan, mulai bidang administrasi, kepegawaian hingga pengadaan barang.
- h. Mengangkat dan memberhentikan karyawan perusahaan.

2. *Operation Manager*

Operation Manager PT Bima Drilling Tools memiliki tugas dan wewenang sebagai berikut:

- a. Mengelola seluruh kegiatan operasional pabrik dan manajemen pasokan.
- b. Bertanggung jawab untuk membuat perencanaan produksi, pengembangan tenaga kerja, proses perbaikan, pengiriman/distribusi, dan kualitas produk hasil produksi.
- c. Menganalisis permasalahan pada kegiatan operasi.
- d. Merekomendasikan program atau menyusun SOP baru dalam rangka meningkatkan produktivitas, efisiensi dan hasil produksi.
- e. Mengkoordinasikan kegiatan pemeliharaan mesin.
- f. Memantau dan menjaga pengeluaran biaya sesuai dengan anggaran yang telah ditetapkan oleh perusahaan.

- g. Menetapkan prioritas dan tujuan kerja sesuai dengan ketentuan.
- h. Turut serta dalam proses persiapan, pengkoordinasian dan perencanaan kegiatan produksi perusahaan.

3. *Production Planning and Inventory Control (PPIC)*

PPIC PT Bima Drilling Tools memiliki tugas dan wewenang sebagai berikut:

- a. Memimpin dan bertanggung jawab untuk kegiatan pekerjaan di bagian PPIC dan bagian gudang. Job aktivitas di PPIC termasuk pengendalian persediaan, pengendalian produksi perencanaan, dan kontrol pengiriman. Job aktivitas di gudang, termasuk bahan yang masuk, penyimpanan, penyediaan, dan pengiriman.
- b. Membuat rencana kegiatan tahunan dan penganggaran untuk basis Departemen PPIC pada rencana bisnis perusahaan.
- c. Membuat laporan kegiatan. Laporan ini disampaikan kepada *Top Management* di *Management Review* bulanan.
- d. Bertanggung jawab untuk Program Pengurangan Biaya.
- e. Bertanggung jawab untuk perbaikan terus-menerus.
- f. Bertanggung jawab untuk pengembangan sumber daya manusia.

4. *Quality Assurance*

Quality Assurance PT Bima Drilling Tools memiliki tugas dan wewenang sebagai berikut:

- a. Merencanakan prosedur jaminan kualitas suatu produk.
- b. Menerapkan dan menafsirkan standar jaminan kualitas.
- c. Mengevaluasi kecukupan standar jaminan kualitas.
- d. Merancang sampel prosedur dan petunjuk untuk mencatat dan melaporkan data berkualitas.
- e. Meninjau pelaksanaan dan efisiensi kualitas dan inspeksi sistem agar berjalan sesuai rencana, melaksanakan dan memantau pengujian dan inspeksi bahan dan produk untuk memastikan kualitas produk jadi.
- f. Mendokumentasikan audit internal dan kegiatan jaminan kualitas lainnya.

5. *Logistic*

Logistic PT Bima Drilling Tools memiliki tugas dan wewenang sebagai berikut:

- a. Menyusun bersama-sama dengan penanggung jawab logistik, kebijakan dan strategi logistik organisasi untuk menjadi acuan dalam pengelolaan logistik dalam menunjang pengadaan kebutuhan barang disetiap divisi.
- b. Menganalisa total kebutuhan barang dan mengatur penyediaan, pengadaan, dan pengiriman barang sedemikian rupa agar alokasi barang dapat memenuhi kebutuhan dengan efisien, efektif, dan tepat waktu.
- c. Mengumpulkan informasi tingkat persediaan secara berkala dan menganalisa jumlah dan jenis persediaan barang di gudang untuk mengontrol akurasi data persediaan dan tingkat persediaan yang sehat di organisasi atau divisi.
- d. Menerima dan memproses permintaan barang dari setiap divisi, dan mengontrol pengiriman barang dari pemasok agar barang dapat diterima sesuai dengan waktu, kuantitas, kualitas, dan biaya yang telah ditetapkan.
- e. Menyusun anggaran biaya logistik dan menjaga agar kegiatan operasional dapat berjalan dengan efisien dan efektif sesuai anggaran yang telah dialokasikan.
- f. Memantau dan mengelola kegiatan dan pelaksanaan proyek atau program kerja organisasi secara berkala dan memberikan laporan langsung kepada atasan.
- g. Mengatur operasional kendaraan operasional, penggunaan ruangan dan pemakaian aset proyek atau organisasi.
- h. Mengawasi dan melaksanakan pemeliharaan terhadap seluruh aset proyek atau organisasi termasuk merencanakan kebutuhan dananya.

6. *Purchasing*

Purchasing PT Bima Drilling Tools memiliki tugas dan wewenang sebagai berikut:

- a. Menerima dan mereview surat permintaan barang dari seluruh bagian baik yang harian maupun yang bulanan.

- b. Melakukan pemeriksaan terhadap ketepatan pemeriksaan dengan anggaran dan atau kebutuhan.
- c. Melakukan pendataan terhadap *supplier* dari segi harga, kesiapan dan ketepatan pengiriman serta kualitas barang yang mereka tawarkan sebagai data untuk melakukan seleksi pemasok.
- d. Menyiapkan pembayaran melalui kas kecil lainnya dan pendataan pengeluaran tersebut.
- e. Melakukan *review* dan rekap pembelian per bulan dan analisa ketepatan berdasarkan anggaran.

7. *Quality Control*

Quality Control PT Bima Drilling Tools memiliki tugas dan wewenang sebagai berikut:

- a. Memantau perkembangan semua produk yang diproduksi oleh perusahaan.
- b. Bertanggung jawab untuk memperoleh kualitas dalam produk perusahaannya.
- c. Memonitor setiap proses yang terlibat dalam produksi produk.
- d. Memastikan kualitas barang yang dibeli serta barang jadi.
- e. Bertanggung jawab untuk dokumentasi inspeksi dan tes yang dilakukan pada produk dari sebuah perusahaan.
- f. Bertanggung jawab untuk mengidentifikasi masalah dan isu-isu mengenai kualitas produk dan membuat rekomendasi kepada otoritas yang lebih tinggi.

8. *Machining*

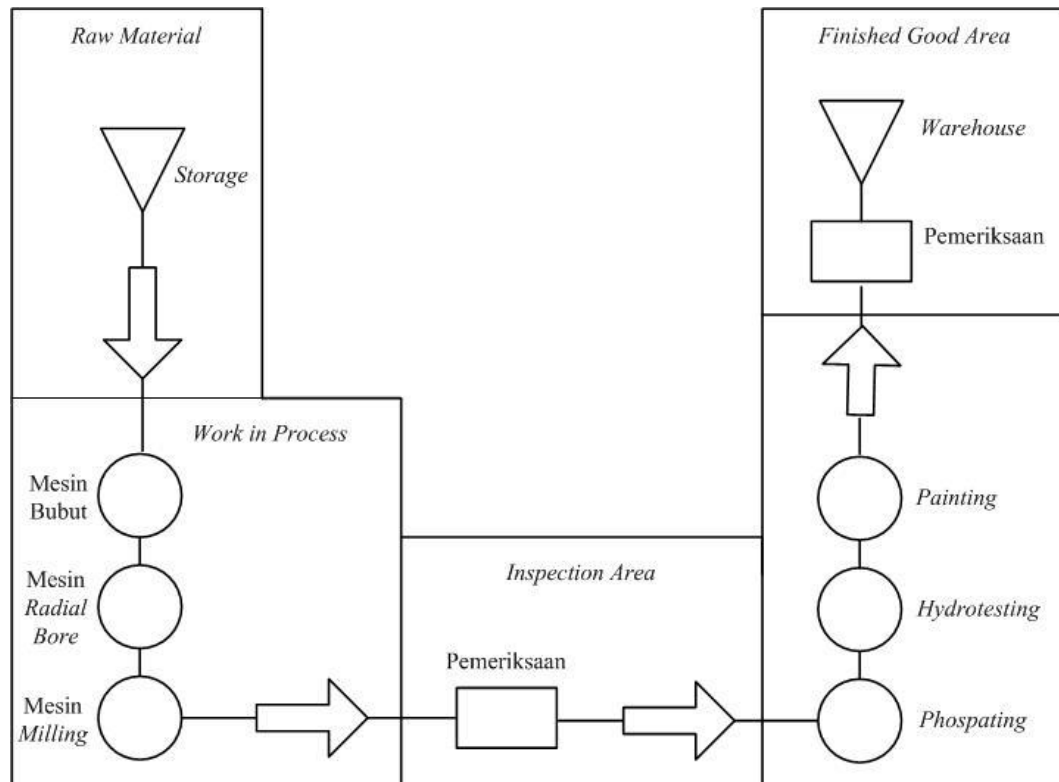
Machining PT Bima Drilling Tools memiliki tugas dan wewenang sebagai berikut:

- a. Menerima surat perintah kerja dari bagian *Production Planning and Inventory Control* (PPIC).
- b. Menentukan pekerjaan *machining* yang diperlukan.
- c. Menjalankan pekerjaan *machining* tersebut sehingga sesuai dengan surat perintah dan gambar yang dilampirkan.

4.1.7 Proses Produksi *Wellhead*

Produk *wellhead* merupakan salah satu produk yang dihasilkan oleh PT BDT. Produk ini dibuat berdasarkan permintaan konsumen. *Wellhead* atau kepala sumur berfungsi sebagai alat untuk melakukan pengeboran minyak dan gas bumi. PT BDT dalam membuat *wellhead* menggunakan bahan baku AISI 4130. Bahan baku ini didapatkan dari *supplier* PT BDT.

Setelah mengetahui bahan baku yang digunakan untuk pembuatan *wellhead*, selanjutnya adalah menjelaskan secara umum proses produksi *wellhead*. Produk *wellhead* terdiri dari 3 bagian, yang nantinya dirakit menjadi satu. Proses produksi masing-masing bagian sama, hanya saja ada penambahan asesoris yang berbeda pada tiap bagiannya. Pada penelitian ini tidak akan dibahas secara rinci mengenai proses produksinya, namun akan digambarkan menggunakan diagram aliran proses. Diagram aliran proses pembuatan *wellhead* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Diagram Alir Proses Produksi *Wellhead*
(Sumber : Pengolahan Data)

1. *Raw Material*

Proses pertama yang dilakukan adalah persiapan bahan baku. Bahan baku yang digunakan untuk produksi *wellhead* adalah AISI 4130. AISI 4130 merupakan bahan baku utama untuk pembuatan *wellhead*. Kualitas bahan baku ini akan mempengaruhi kualitas dari produk *wellhead*. Bahan baku AISI 4130 dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 AISI 4130
(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

2. *Machining (Mesin Bubut)*

Proses pengolahan bahan baku yang pertama kali dilakukan adalah pembuatan diameter dalam dan diameter luar dengan menggunakan mesin bubut. Pembuatan diameter ini dilakukan sesuai dengan *drawing* yang telah dibuat sebelumnya. Mesin bubut yang digunakan untuk pembuatan diameter dalam dan diameter luar dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Mesin Bubut
(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

3. *Machining (Mesin Radial Bore)*

Proses berikutnya setelah selesai membuat diameter dalam dan diameter luar yang dilakukan adalah membuat lubang baut dengan menggunakan mesin *radial bore*. Mesin *radial bore* yang digunakan untuk membuat lubang baut dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Mesin *Radial Bore*
(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

4. *Milling (Mesin Milling)*

Proses berikutnya adalah membuat *side outlet* dengan menggunakan mesin *milling*. Mesin *milling* yang digunakan untuk membuat *side outlet* dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Mesin *Milling*
(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

5. *Posphating*

Setelah semua proses di atas selesai dilakukan, proses berikutnya adalah *posphating*. Proses *posphating* adalah proses pencampuran produk ke dalam larutan kimia yaitu *manganese*. Proses ini dilakukan untuk mencegah produk dari sifat korosif.

6. Pengujian Tekanan (Mesin *Hydrotesting*)

Proses ini merupakan proses yang paling penting dalam pembuatan *wellhead*. Hal ini dikarenakan, berdasarkan fungsi *wellhead* sebagai pengeboran minyak dan gas bumi berarti untuk melakukan pengeboran ini diperlukan tekanan. Proses ini untuk menentukan berapa tekanan maksimal yang dapat digunakan oleh *wellhead* untuk melakukan fungsinya sebagai pengeboran minyak dan gas bumi. Mesin *Hydrotesting* yang digunakan untuk melakukan pengujian tekanan dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Mesin *Hydrotesting*
(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

7. *Painting*

Proses ini merupakan proses pengecatan produk. PT BDT menggunakan metode *sun blasting* pada proses painting ini agar produk menjadi lebih kuat

dan tahan lama. Metode *sun blasting* berbeda dengan metode pengecatan pada umumnya, pada metode ini digunakan pasir sebagai bahan tambahan untuk pengecatan produk. Hal ini dilakukan agar produk menjadi lebih kuat dan tahan lama sehingga tekanan yang dihasilkan produk semakin besar. *Wellhead* yang diproduksi oleh PT Bima Drilling Tools dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 *Wellhead*
(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

8. *Packaging*

Proses *packaging* dilakukan untuk melindungi produk dari debu, air, dan sebagainya yang dapat merusak penampilan produk.

4.1.8 Hasil Uji Tekanan *Wellhead*

Pengumpulan data hasil uji tekanan *wellhead* didapatkan melalui eksperimen yang dilakukan di PT BDT berdasarkan faktor dan level yang digunakan. Uji tekanan ini dilakukan untuk melihat besar tekanan yang dihasilkan oleh produk *wellhead* berdasarkan faktor dan level yang digunakan pada eksperimen Taguchi. Hasil uji tekanan *wellhead* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Uji Tekanan *Wellhead*

Eksperimen	Tekanan (N/mm ²)		Rata-rata Tekanan (N/mm ²)
	1	2	
1	26,00	23,00	24,50
2	27,00	32,00	29,50
3	24,00	28,00	26,00
4	31,00	34,00	32,50
5	24,00	31,00	27,50
6	30,00	33,00	31,50
7	26,00	30,00	28,00
8	34,00	31,00	32,50

(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

4.1.9 Biaya Kerugian Kebocoran *Wellhead*

PT BDT pernah menerima komplain dari konsumen akibat kebocoran *wellhead* yang dialami oleh konsumen pada saat produk tersebut digunakan. Konsumen merasa dirugikan karena produk yang dibelinya tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Akibat kejadian ini, konsumen meminta ganti rugi kepada pihak perusahaan. Hal ini mengakibatkan perusahaan harus mengeluarkan biaya untuk mengganti rugi akibat kebocoran *wellhead* tersebut.

Biaya aktual yang dikeluarkan oleh perusahaan akibat kebocoran *wellhead* berdasarkan faktor-faktor yang digunakan dalam metode Taguchi dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Biaya Kerugian Kebocoran *Wellhead*

No	Jenis Bahan	Harga (Rp)	Total Harga (Rp)
1	Pasir (3,3 gram)	Rp 40.000/gram	3,3 x Rp 40.000 = Rp 132.000
2	Cat (4,5 liter)	Rp 84.000/liter	4,5 x Rp 84.000 = Rp 378.000
Total			Rp 510.000

(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

4.1.10 Spesifikasi Faktor Penyebab Kebocoran *Wellhead*

Kebocoran *wellhead* disebabkan oleh tekanan pada *wellhead* yang tidak sesuai dengan tekanan yang dihasilkan pada saat proses pengeboran minyak dan gas bumi. Tekanan yang dihasilkan *wellhead* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah proses *painting* dengan menggunakan metode *sun blasting*. Terdapat beberapa faktor yang terlibat dalam *sun blasting* yaitu banyaknya pasir yang digunakan, banyaknya cat yang digunakan, tekanan pada

compressor , dan ketebalan *sun blasting*. Spesifikasi untuk masing-masing faktor tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Banyaknya Pasir

Pasir digunakan pada saat proses *sun blasting* dengan tujuan untuk melapisi *wellhead* agar lebih kuat dan tahan lama. Semakin kuat *wellhead* maka tekanan yang dihasilkan juga akan semakin besar. Banyaknya pasir yang digunakan untuk proses *sun blasting* biasanya antara 3gram sampai dengan 3,4gram.

2. Banyaknya Cat

Cat digunakan untuk mewarnai *wellhead* agar terlihat lebih menarik. Banyaknya cat yang digunakan tergantung dari banyaknya pasir yang digunakan. Biasanya perusahaan menggunakan cat dengan volume antara 4,2 liter sampai dengan 4,5 liter.

3. Ketebalan *Sun Blasting*

Ketebalan *sun blasting* akan mempengaruhi kekuatan *wellhead* sehingga tekanan yang dihasilkan *wellhead* juga akan semakin besar. Ketebalan *sun blasting* biasanya antara 1mm sampai dengan 1,5 mm.

4. Tekanan *Compressor*

Compressor digunakan untuk membersihkan *wellhead* dari *scrap* sisa-sisa produksi. Hal ini dilakukan agar tidak ada *scrap* yang menempel pada *wellhead* sehingga tidak mempengaruhi proses *sun blasting*. Tekanan *compressor* yang digunakan biasanya antara 10 bar sampai dengan 12 bar.

4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Pengolahan data dengan menggunakan metode Taguchi terbagi menjadi tiga tahap, yaitu perencanaan, pelaksanaan, dan analisis. Pengolahan data menggunakan metode Taguchi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

4.2.1 Tahap Perencanaan Metode Taguchi

Tahap perencanaan merupakan tahap terpenting yang dilakukan dalam metode Taguchi. Tahap perencanaan meliputi:

1. Penentuan Variabel Tak Bebas

Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu eksperimen harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas mana yang akan diselidiki. Variabel tak bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah tekanan *wellhead* dalam melakukan pengeboran minyak dan gas bumi agar tidak terjadi kebocoran pada saat digunakan. Karakteristik kualitas yang digunakan adalah *nominal is the best* yang berarti bahwa nilai tekanan tertuju pada nilai tertentu. Nilai tekanan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebesar 30 N/mm².

2. Penentuan Faktor-faktor (Variabel Bebas)

Variabel bebas adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor mana saja yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan. Dalam suatu percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel akan diselidiki. Hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Faktor-faktor yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Banyaknya Pasir

Pasir digunakan pada saat proses *sun blasting* dengan tujuan untuk melapisi *wellhead* agar lebih kuat dan tahan lama. Semakin kuat *wellhead* maka tekanan yang dihasilkan juga akan semakin besar. Banyaknya pasir yang digunakan untuk proses *sun blasting* akan berpengaruh terhadap banyaknya cat yang digunakan dan juga ketebalan *sun blasting*. Hal ini berarti bahwa akan ada interaksi antara banyaknya pasir dengan banyaknya cat dan ketebalan *sun blasting*.

b. Banyaknya Cat

Cat digunakan untuk mewarnai *wellhead* agar terlihat lebih menarik. Banyaknya cat yang digunakan tergantung dari banyaknya pasir yang digunakan. Komposisi yang optimal antara banyaknya pasir dan banyaknya cat yang digunakan pada proses *sun blasting* akan mempengaruhi kekuatan *wellhead*. Semakin kuat *wellhead* maka tekanan yang dihasilkan juga akan semakin besar.

c. Ketebalan *Sun Blasting*

Ketebalan *sun blasting* akan mempengaruhi kekuatan *wellhead* sehingga tekanan yang dihasilkan *wellhead* juga akan semakin besar. Ketebalan *sun blasting* dipengaruhi oleh banyaknya pasir yang digunakan. Kesesuaian ketebalan *sun blasting* dengan banyaknya pasir yang digunakan akan mempengaruhi kekuatan *wellhead*, sehingga tekanan yang dihasilkan *wellhead* akan semakin besar.

d. Tekanan *Compressor*

Compressor digunakan untuk membersihkan *wellhead* dari *scrap* sisa-sisa produksi. Hal ini dilakukan agar tidak ada *scrap* yang menempel pada *wellhead* sehingga tidak mempengaruhi proses *sun blasting*. Tekanan *compressor* yang digunakan akan berpengaruh terhadap *wellhead* apakah bersih dari sisa-sisa *scrap* atau tidak.

3. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Menentukan banyaknya level dan faktor yang digunakan untuk tiap faktor yang dipilih dalam eksperimen adalah tahap penting dalam perencanaan. Level dari masing-masing faktor yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari PT Bima Drilling Tools pada bagian *quality control*. Penentuan nilai level pada masing-masing faktor berdasarkan nilai spesifikasi faktor yang telah dijelaskan pada penjelasan sebelumnya. Penentuan level dan nilai level faktor dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Penentuan Level Faktor

Kode	Faktor	Level 1	Level 2	Satuan
A	Banyaknya Pasir	3	3,3	Gram
B	Banyaknya Cat	4,2	4,5	Liter
C	Ketebalan <i>Sun Blasting</i>	1	1,5	Mm
D	Tekanan <i>Compressor</i>	10	12	Bar

(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa faktor yang mempengaruhi kekuatan *wellhead* yaitu banyaknya pasir, banyaknya cat, ketebalan *sun blasting*, dan tekanan *compressor*.

4. Perhitungan Derajat Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Total derajat kebebasan juga menentukan dalam pemilihan matriks ortogonal. Rumus yang dapat digunakan untuk menentukan derajat kebebasan tiap-tiap faktor dan interaksinya adalah sebagai berikut.

a. Rumus derajat kebebasan faktor (*dof*)

$$dof \text{ untuk faktor } x = n_x - 1$$

b. Rumus derajat kebebasan interaksi

$$dof \text{ untuk interaksi (AxB)} = [(n_A - 1) \times (n_B - 1)]$$

Dimana;

n = jumlah level tiap faktor

Berdasarkan rumus diatas, maka perhitungan derajat kebebasan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Perhitungan Derajat Kebebasan

Faktor dan Interaksi	Derajat Kebebasan (<i>dof</i>)	Total
A	2-1	1
B	2-1	1
C	2-1	1
D	2-1	1
AxB	(2-1) x (2-1)	1
AxC	(2-1) x (2-1)	1
Total		6

(Sumber : Pengolahan Data)

5. Pemilihan Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal berdasarkan total derajat kebebasan yang digunakan. Total derajat kebebasan pada penelitian ini berjumlah 6 berada diantara jumlah derajat kebebasan 4-7 yang berarti bahwa matriks ortogonal yang digunakan adalah $L_8(2^7)$. Pemilihan matriks ortogonal ini sesuai pada ketentuan Tabel 4.8 berikut ini.

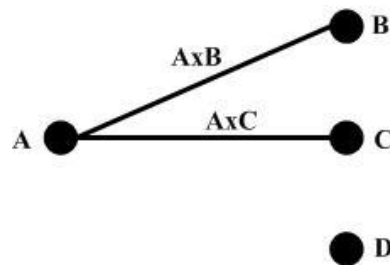
Tabel 4.8 Pemilihan Matriks Ortogonal Berdasarkan Derajat Kebebasan

Jumlah derajat kebebasan (<i>dof</i>)	Matriks Ortogonal
2 – 3	$L_4(2^3)$
4 – 7	$L_8(2^7)$
8 – 11	$L_{12}(2^{11})$
12 – 15	$L_{16}(2^{15})$

(Sumber : e-Jurnal Teknik Industri FT USU)

6. Penempatan Kolom untuk Faktor dan Interaksi ke dalam Matriks Ortogonal

Penempatan kolom untuk faktor dan interaksi ke dalam matriks ortogonal dapat ditentukan dengan melihat susunan matriks ortogonal $L_8(2^7)$. Penentuan kolom untuk faktor dan interaksi didapat menggunakan grafik linier. Grafik linier yang diperlukan sesuai dengan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Linier yang diperlukan
(Sumber : Pengolahan Data)

Grafik linier di atas menjelaskan bahwa:

A merupakan faktor banyaknya pasir

B merupakan faktor banyaknya cat

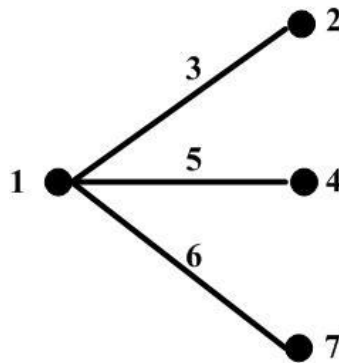
AxB merupakan interaksi antara faktor banyaknya pasir dan banyaknya cat

C merupakan faktor ketebalan *sun blasting*

AxC merupakan interaksi antara faktor banyaknya pasir dan faktor ketebalan *sun blasting*

D merupakan faktor tekanan *compressor*

Sesuai gambar grafik linier di atas, maka grafik linier standar yang hampir menyerupai grafik linier yang diperlukan dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik Linier $L_8(2^7)$
(Sumber : Pengolahan Data)

Berdasarkan grafik linier di atas, maka dapat diketahui bahwa:

Faktor A ditempatkan pada kolom 1

Faktor B ditempatkan pada kolom 2

Interaksi AxB ditempatkan pada kolom 3

Faktor C ditempatkan pada kolom 4

Interaksi AxC ditempatkan pada kolom 5

Faktor D ditempatkan pada kolom 7

Sedangkan untuk kolom kosong 6 ditulis “e” yang menyatakan *error*.

Penempatan kolom untuk faktor dan interaksi ke dalam matriks ortogonal $L_8(2^7)$ dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Penempatan Kolom untuk Faktor dan Interaksi

Eksperimen	Matriks Ortogonal $L_8(2^7)$						
	A	B	AxB	C	AxC	e	D
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 : Pengolahan Data)

4.2.2 Tahap Pelaksanaan Metode Taguchi

Tahap pelaksanaan metode Taguchi adalah tahap dimana pelaksanaan percobaan dilakukan. Pada tahapan ini dilakukan penerapan langsung menggunakan faktor-faktor dan level yang telah ditentukan pada tahap pelaksanaan metode Taguchi. Nilai kuat tekan yang ada pada Tabel 4.10 berdasarkan nilai kuat tekan pada Tabel 4.4. Tahap pelaksanaan metode Taguchi dilakukan untuk menghitung nilai rata-rata (*mean*) berdasarkan nilai kuat tekan. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai *mean* adalah sebagai berikut:

1. Eksperimen 1

$$Mean = \frac{26+23}{2} = 24,50$$

2. Eksperimen 2

$$Mean = \frac{27+32}{2} = 29,50$$

3. Eksperimen 3

$$Mean = \frac{24+28}{2} = 26,00$$

4. Eksperimen 4

$$Mean = \frac{31+34}{2} = 32,50$$

5. Eksperimen 5

$$Mean = \frac{24+31}{2} = 27,50$$

6. Eksperimen 6

$$Mean = \frac{30+33}{2} = 31,50$$

7. Eksperimen 7

$$Mean = \frac{26+30}{2} = 28,00$$

8. Eksperimen 8

$$Mean = \frac{34+31}{2} = 32,50$$

Perhitungan nilai rata-rata (*mean*) berdasarkan nilai tekanan dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Rata-rata (*Mean*)

Eksperimen	Matriks Ortogonal $L_8(2^7)$									
	Faktor dan Interaksi							Kuat Tekan (N/mm ²)		Mean (N/mm ²)
	A	B	AxB	C	AxC	e	D	1	2	
1	1	1	1	1	1	1	1	26,00	23,00	24,50
2	1	1	1	2	2	2	2	27,00	32,00	29,50
3	1	2	2	1	1	2	2	24,00	28,00	26,00
4	1	2	2	2	2	1	1	31,00	34,00	32,50
5	2	1	2	1	2	1	2	24,00	31,00	27,50
6	2	1	2	2	1	2	1	30,00	33,00	31,50
7	2	2	1	1	2	2	1	26,00	30,00	28,00
8	2	2	1	2	1	1	2	34,00	31,00	32,50

(Sumber : Pengolahan Data)

4.2.3 Tahap Analisa Metode Taguchi

Pada tahap analisa metode Taguchi dilakukan pengumpulan, pengolahan, serta penyajian data pada hasil eksperimen. Untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang signifikan yang berpengaruh terhadap kekuatan *wellhead* diperlukan analisis dan pengolahan data eksperimen dengan menggunakan perhitungan nilai *mean* dan ditransformasikan kebentuk rasio S/N dalam tabel analisis varians.

1. Pengaruh Level dari Faktor Terhadap Nilai Rata-rata (*Mean*)

Untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap nilai rata-rata (*mean*) dilakukan perhitungan nilai rata-rata tiap level faktor. Perhitungan ini berdasarkan pada nilai rata-rata yang ada pada Tabel 4.10. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai rata-rata tiap level faktor adalah sebagai berikut:

$$X_n = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n)/n$$

Dimana;

X_n = rata-rata tiap faktor pada level ke-n

Y = data hasil pengamatan

n = banyaknya data

Hasil perhitungan untuk faktor A:

$$\bar{A}_1 = \frac{24,50+29,50+26,00+32,50}{4} = 28,13$$

$$\bar{A}_2 = \frac{27,50+31,50+28,00+32,50}{4} = 29,88$$

Hasil perhitungan untuk interaksi AxB

$$\overline{AxB}_1 = \frac{24,50+29,50+28,00+32,50}{4} = 28,63$$

$$\overline{AxB}_2 = \frac{26,00+32,50+27,50+31,50}{4} = 29,38$$

Hasil perhitungan untuk faktor dan interaksi lainnya dapat dilihat pada Lampiran A. Matriks ortogonal $L_8(2^7)$ mempunyai 7 derajat kebebasan, untuk menentukan faktor yang memiliki pengaruh penting, maka diambil kira-kira setengah dari total derajat kebebasan yang digunakan (Soejanto, 2009). Total derajat kebebasan yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 6, berarti diambil 3 sebagai pengaruh penting. Perhitungan level dari faktor berdasarkan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Level dari Faktor Berdasarkan Rata-rata

	A	B	AxB	C	AxC	D
Level 1	28,13	28,25	28,63	26,50	28,63	29,13
Level 2	29,88	29,75	29,38	31,50	29,38	28,88
Selisih	1,75	1,50	0,75	5,00	0,75	0,25
Rangking	2	3	5	1	4	6

(Sumber : Pengolahan Data)

Berdasarkan karakteristik kualitas yang digunakan yaitu *nominal is the best*, maka ditentukan nilai yang mendekati target pada masing-masing faktor dan interaksi. Penentuan faktor dan interaksi sebagai pengaruh penting berdasarkan pada nilai rangking tertinggi. Faktor dan interaksi yang memiliki pengaruh penting adalah interaksi faktor C level 2, faktor A level 2, dan faktor B level 2. Perhitungan pemecahan interaksi AB berdasarkan pada nilai rata-rata yang ada pada Tabel 4.10. Perhitungan pemecahan interaksi AB adalah sebagai berikut:

$$A_1B_1 = \frac{24,50 + 29,50}{2} = 27,00$$

$$A_1B_2 = \frac{26,00 + 32,50}{2} = 29,25$$

$$A_2B_1 = \frac{27,50 + 31,50}{2} = 29,50$$

$$A_2B_2 = \frac{28,00 + 32,50}{2} = 30,25$$

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Pemecahan Interaksi AB Berdasarkan Rata-rata

Interaksi	B ₁	B ₂
A ₁	27,00	29,25
A ₂	29,50	30,25

(Sumber : Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.12, maka level terbaik untuk pemecahan interaksi AB berdasarkan karakteristik kualitas *nominal is the best* adalah A₂B₂ karena interaksi A₂B₂ memiliki nilai yang mendekati target yaitu 30 N/mm². Perhitungan pemecahan interaksi AC berdasarkan pada nilai rata-rata yang ada pada Tabel 4.10. Perhitungan pemecahan interaksi AC adalah sebagai berikut:

$$A_1C_1 = \frac{24,50 + 26,00}{2} = 25,25$$

$$A_1C_2 = \frac{29,50 + 32,50}{2} = 31,00$$

$$A_2C_1 = \frac{27,50 + 28,00}{2} = 27,75$$

$$A_2C_2 = \frac{31,50 + 32,50}{2} = 32,00$$

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Pemecahan Interaksi AC Berdasarkan Rata-rata

Interaksi	C ₁	C ₂
A ₁	25,25	31,00
A ₂	27,75	32,00

(Sumber : Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.12, maka level terbaik untuk pemecahan interaksi AC berdasarkan karakteristik kualitas *nominal is the best* adalah A₁C₂ karena interaksi A₁C₂ memiliki nilai yang mendekati target yaitu 30 N/mm².

2. Analisis Varians Berdasarkan Nilai Rata-rata

Analisis varians berguna untuk mengidentifikasi faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan *wellhead*. Untuk mengidentifikasi faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan *wellhead*, maka dilakukan perhitungan jumlah kuadrat (*sum of square*), rata-rata jumlah kuadrat (*mean square*), jumlah kuadrat total, kuadrat rata-rata, kuadrat *error*, *pooling up* dan F-rasio. Perhitungan tersebut adalah sebagai berikut:

a. Perhitungan Jumlah Kuadrat (*Sum of Square*) Berdasarkan Rata-rata

Rumus jumlah kuadrat (*sum of square*):

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{KA} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$$

Dimana;

KA = jumlah level faktor A

A_i = level ke i faktor A

n_{Ai} = jumlah percobaan level ke i faktor A

T = jumlah seluruh nilai data

N = banyak data keseluruhan

Perhitungan jumlah kuadrat (*sum of square*) berdasarkan nilai rata-rata (lihat Tabel 4.10 dan Lampiran A). Perhitungan jumlah kuadrat (*sum of square*) untuk faktor A adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS_A &= \frac{112,50^2}{4} + \frac{119,50^2}{4} - \frac{(112,50 + 119,50)^2}{8} \\ &= 3.164,06 + 3.570,06 - 6.728,00 \\ &= 6,13 \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kuadrat untuk faktor dan interaksi lainnya dapat dilihat pada Lampiran B. Hasil perhitungan *sum of square* dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan *Sum of Square* Berdasarkan Rata-rata

Faktor dan Interaksi	Nilai <i>Sum of Square</i> (SS)
A	6,13
B	4,50

Lanjut ...

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan *Sum of Square* Berdasarkan Rata-rata (Lanjutan)

Faktor dan Interaksi	Nilai <i>Sum of Square</i> (SS)
AxB	1,13
C	50,00
AxC	1,13
D	0,13

(Sumber : Pengolahan Data)

- b. Perhitungan Rata-rata Kuadrat (*Mean Square*) Berdasarkan Rata-rata

Rumus rata-rata kuadrat (*mean square*):

$$MS_n = \frac{SS_n}{dof_n}$$

Dimana;

SS_n = Jumlah kuadrat faktor n

dof_n = Derajat kebebasan faktor n

Perhitungan rata-rata kuadrat (*mean square*) berdasarkan pada nilai *sum of square* (SS) (lihat Tabel 4.14) dan nilai *dof* masing-masing faktor dan interaksi berdasarkan Tabel 4.7. Perhitungan *mean square* untuk faktor A adalah sebagai berikut:

$$MS_A = \frac{SS_A}{dof_A} = \frac{6,13}{1} = 6,13$$

Perhitungan *mean square* (MS) untuk faktor dan interaksi lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.15

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan *Mean Square* Berdasarkan Rata-rata

Faktor dan Interaksi	SS (A)	dof (B)	MS (A/B)
A	6,13	1	6,13
B	4,50	1	4,50
AxB	1,13	1	1,13
C	50,00	1	50,00
AxC	1,13	1	1,13
D	0,13	1	0,13

(Sumber : Pengolahan Data)

- c. Perhitungan Jumlah Kuadrat Total (SS_T) Berdasarkan Rata-rata

Rumus jumlah kuadrat total (SS_T):

$$SS_T = \sum y^2$$

Dimana;

y = rata-rata data eksperimen

Perhitungan jumlah kuadrat total (SS_T) berdasarkan nilai rata-rata (*mean*) yang ada pada Tabel 4.10. Perhitungan jumlah kuadrat total (SS_T) adalah sebagai berikut:

$$SS_T = 24,50^2 + 29,50^2 + 26,00^2 + 32,50^2 + 27,50^2 + 31,50^2 + 28,00^2 + 32,50^2$$

$$SS_T = 6.791,50$$

d. Perhitungan Kuadrat Rata-rata (S_m)

Rumus kuadrat rata-rata (S_m):

$$S_m = n \times \bar{y}^2$$

Dimana;

n = banyaknya eksperimen

$\bar{y}$ = rata-rata data eksperimen

Perhitungan kuadrat rata-rata (S_m) berdasarkan nilai rata-rata (*mean*) yang ada pada Tabel 4.10. Perhitungan kuadrat rata-rata (S_m) adalah sebagai berikut:

$$\bar{y} = \frac{24,50 + 29,50 + 26,00 + 32,50 + 27,50 + 31,50 + 28,00 + 32,50}{8} = 29,00$$

$$S_m = 8 \times 29,00^2$$

$$S_m = 6.728$$

e. Perhitungan kuadrat *error* (SS_e)

Rumus kuadrat *error* (SS_e):

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}}$$

Perhitungan nilai SS_{faktor} berdasarkan pada nilai SS masing-masing faktor dan interaksi yang ada pada Tabel 4.14. Perhitungan nilai SS_{faktor} adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS_{\text{faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_{A \times B} + SS_C + SS_{A \times C} + SS_D \\ &= 6,13 + 4,50 + 1,13 + 50,00 + 1,13 + 0,13 = 63,02 \end{aligned}$$

Maka, nilai SS_e adalah sebagai berikut:

$$SS_e = SS_T - S_m - SS_{\text{faktor}}$$

$$SS_e = 6.791,50 - 6.728 - 63,02 = 0,48$$

Setelah menghitung nilai *sum of square* (SS), *mean square* (MS), jumlah kuadrat total (SS_T), kuadrat rata-rata (SS_m), dan kuadrat *error* (SS_e), maka nilai tersebut dipetakan menjadi hasil perhitungan analisis varians berdasarkan nilai rata-rata. Hasil perhitungan analisis varians berdasarkan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Analisis Varians Berdasarkan Rata-rata

Faktor dan Interaksi	Dof	SS	MS
A	1	6,13	6,13
B	1	4,50	4,50
AxB	1	1,13	1,13
C	1	50,00	50,00
AxC	1	1,13	1,13
D	1	0,13	0,13
Error	1	0,48	0,48
Total	7	63,50	-

(Sumber : Pengolahan Data)

Pada kondisi ini terdapat satu faktor yang memiliki nilai $MS_{hitung} < MS_{error}$ yaitu faktor D, sehingga dilakukan *pooling* terhadap nilai faktor D menjadi suatu taksiran variansi *error*. Nilai derajat kebebasan (*dof*) variansi *error* menjadi dua. Perhitungan untuk *e-pooled* adalah sebagai berikut:

$$dof_{e-pooled} = dof_D + dof_{error}$$

$$dof_{e-pooled} = 1 + 1 = 2$$

$$SS_{e-pooled} = SS_D + SS_{error}$$

$$SS_{e-pooled} = 0,13 + 0,48 = 0,61$$

$$MS_{e-pooled} = \frac{SS_{e-pooled}}{dof_{e-pooled}} = \frac{0,61}{2} = 0,31$$

Tabel hasil perhitungan analisis varians dengan menggunakan strategi *pooling up* berdasarkan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Analisis Varians *Pooling Up* Berdasarkan Rata-rata

Faktor dan Interaksi	Dof	SS	MS
A	1	6,13	6,13
B	1	4,50	4,50
AxB	1	1,13	1,13

Lanjut ...

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Analisis Varians *Pooling Up* Berdasarkan Rata-rata (Lanjutan)

Faktor dan Interaksi	Dof	SS	MS
C	1	50,00	50,00
AxC	1	1,13	11,14
D	(1)	(0,13)	<i>Pooled</i>
<i>e-pooled</i>	2	0,61	0,31
Total	7	63,50	-

(Sumber : Pengolahan Data)

f. Perhitungan F-rasio

Interaksi faktor AxB yang sudah di *pooled* tidak perlu dihitung nilai F-rasio karena interaksi faktor tersebut dianggap tidak signifikan.

Rumus F-rasio:

$$F - \text{rasio}_n = \frac{MS_n}{MS_{e-pooled}}$$

Perhitungan F-rasio berdasarkan nilai MS pada masing-masing faktor dan interaksi dan nilai $MS_{e-pooled}$ (lihat Tabel 4.17), perhitungan F-rasio untuk faktor A adalah sebagai berikut:

$$F\text{-rasio A} = \frac{6,13}{0,31} = 19,77$$

Perhitungan F-rasio untuk faktor dan interaksi lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.18

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan F-rasio Berdasarkan Rata-rata

Faktor dan Interaksi	MS (A)	MS <i>e-pooled</i> (B)	F-rasio (A/B)
A	6,13	0,31	19,77
B	4,50	0,31	14,52
AxB	1,13	0,31	3,65
C	50,00	0,31	161,29
AxC	1,13	0,31	3,65

(Sumber : Pengolahan Data)

Setelah melakukan perhitungan F-rasio, maka nilai tersebut dipetakan menjadi nilai analisis varians dengan F-rasio berdasarkan rata-rata. Hasil analisis varians dengan F-rasio berdasarkan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.18. Nilai *dof*, SS, dan MS yang ada pada Tabel 4.19 sama dengan nilai *dof*, SS, dan MS yang ada pada Tabel 4.17. Hasil analisis varians dengan F-rasio berdasarkan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil Analisis Varians dengan F-rasio Berdasarkan Rata-rata

Faktor dan Interaksi	dof	SS	MS	F-rasio
A	1	6,13	6,13	19,77
B	1	4,50	4,50	14,52
AxB	1	1,13	1,13	3,65
C	1	50,00	50,00	161,29
AxC	1	1,13	1,13	3,65
D	(1)	(0,13)	<i>Pooled</i>	-
<i>e-pooled</i>	2	0,61	0,31	-
Total	7	63,50	-	-

(Sumber : Pengolahan Data)

3. Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh faktor terhadap kekuatan *wellhead*. Faktor-faktor yang diuji hipotesis adalah faktor yang tidak dilakukan *pooled* yaitu faktor A, faktor B, faktor C, interaksi faktor AxB, dan interaksi faktor AxC. Pengujian hipotesis ini dilakukan dengan menggunakan tabel f distribusi dimana taraf signifikan yang digunakan adalah ($\alpha=10\%$), sehingga tingkat kepercayaan 90% maka nilai $F_{\text{tabel } 0,10 (1,2)} = 8,53$. Apabila nilai $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$, maka H_0 diterima, namun jika $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$, maka H_0 ditolak. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai F_{hitung} adalah sebagai berikut:

$$F_{\text{hitung}_n} = \frac{MS_n}{MS_{e-pooled}}$$

Nilai MS untuk masing-masing faktor dan interaksi dan nilai $MS_{e-pooled}$ didapatkan dari Tabel 4.19. Pengujian hipotesis untuk faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

a. Faktor A

H_0 = Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *wellhead*

H_1 = Ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *wellhead*

Nilai MS untuk

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_{e-pooled}} = \frac{6,13}{0,31} = 19,77$$

$$F_{\text{tabel } 0,10 (1,2)} = 8,53$$

Kesimpulan menyatakan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, ini berarti H_0 ditolak artinya ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *wellhead*. Pengujian hipotesis untuk faktor dan interaksi lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.20

Tabel 4.20 Hasil Pengujian Hipotesis Berdasarkan Rata-rata

Faktor dan Interaksi	MS (A)	MS <i>e-pooled</i>	F-hitung	F-tabel	Keterangan	Hasil Hipotesis
A	6,13	0,31	19,77	8,53	$F_{hitung} > F_{tabel}$	H_0 ditolak
B	4,50	0,31	14,52	8,53	$F_{hitung} > F_{tabel}$	H_0 ditolak
AxB	1,13	0,31	3,65	8,53	$F_{hitung} < F_{tabel}$	H_0 diterima
C	50,00	0,31	161,29	8,53	$F_{hitung} > F_{tabel}$	H_0 ditolak
AxC	1,13	0,31	3,65	8,53	$F_{hitung} < F_{tabel}$	H_0 diterima

(Sumber : Pengolahan Data)

4. Perhitungan Pengaruh Faktor dan Interaksi Faktor terhadap *Ratio Signal to Noise*

Data ditransformasikan ke dalam bentuk rasio S/N (*Signal to Noise*) untuk mencari faktor yang berpengaruh pada variasi karakteristik kualitas yang digunakan. Karakteristik kualitas yang digunakan pada penelitian ini adalah *nominal is the best*.

Rumus rasio S/N untuk *nominal is the best*:

$$S/N = 10 \log_{10} \left(\frac{\bar{y}^2}{\sigma^2} \right)$$

Dimana;

$\bar{y}$ = nilai rata-rata tekanan *wellhead* hasil pengamatan

σ^2 = varians

Perhitungan rasio S/N didapatkan dengan cara mentransformasikan nilai kuat tekan pada Tabel 4.10 menjadi nilai rasio S/N. Perhitungan nilai rasio S/N pada eksperimen ke 1 adalah sebagai berikut:

$$\text{Rasio S/N} = 10 \log_{10} \left(\frac{24,5^2}{24,5} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10 \log_{10}(24,5)$$

$$\text{Rasio S/N} = 13,89$$

Perhitungan pada eksperimen ke 2 sampai dengan eksperimen ke 8 dapat dilihat pada Lampiran C. Perhitungan rasio S/N dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Rasio S/N

Eksperimen	Matriks Ortogonal $L_8(2^7)$									
	Faktor dan Interaksi							Kuat Tekan (N/mm ²)		Rasio S/N
	A	B	AxB	C	AxC	e	D	1	2	
1	1	1	1	1	1	1	1	26,00	23,00	13,89
2	1	1	1	2	2	2	2	27,00	32,00	14,70
3	1	2	2	1	1	2	2	24,00	28,00	14,15
4	1	2	2	2	2	1	1	31,00	34,00	15,12
5	2	1	2	1	2	1	2	24,00	31,00	14,39
6	2	1	2	2	1	2	1	30,00	33,00	14,98
7	2	2	1	1	2	2	1	26,00	30,00	14,47
8	2	2	1	2	1	1	2	34,00	31,00	15,12

(Sumber : Pengolahan Data)

Perhitungan analisis rasio S/N dilakukan dengan formulasi yang sama dengan perhitungan faktor dan interaksi faktor terhadap nilai rata-rata. Untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap nilai rasio S/N dilakukan perhitungan nilai rata-rata tiap level faktor. Perhitungan ini berdasarkan pada nilai rasio S/N yang ada pada Tabel 4.21. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai rata-rata tiap level faktor adalah sebagai berikut:

$$X_n = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n)/n$$

Dimana;

X_n = rata-rata tiap faktor pada level ke-n

Y = data hasil pengamatan

n = banyaknya data

Hasil perhitungan untuk faktor A:

$$\bar{A}_1 = \frac{13,89 + 14,70 + 14,15 + 15,12}{4} = 14,47$$

$$\bar{A}_2 = \frac{14,39 + 14,98 + 14,47 + 15,12}{4} = 14,74$$

Hasil perhitungan untuk interaksi AxB

$$\bar{AxB}_1 = \frac{13,89 + 14,70 + 14,47 + 15,12}{4} = 14,55$$

$$\overline{AxB_2} = \frac{14,15+15,12+14,39+14,98}{4} = 14,66$$

Hasil perhitungan untuk faktor dan interaksi lainnya dapat dilihat pada Lampiran D. Matriks ortogonal $L_8(2^7)$ mempunyai 7 derajat kebebasan, untuk menentukan faktor yang memiliki pengaruh penting, maka diambil kira-kira setengah dari total derajat kebebasan yang digunakan (Soejanto, 2009). Total derajat kebebasan yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 6, berarti diambil 3 sebagai pengaruh penting. Perhitungan level dari faktor berdasarkan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Hasil Perhitungan Level dari Faktor Berdasarkan Rasio S/N

	A	B	AxB	C	AxC	D
Level 1	14,47	14,49	14,55	14,23	14,54	14,62
Level 2	14,74	14,72	14,66	14,98	14,67	14,59
Selisih	0,28	0,22	0,12	0,75	0,14	0,02
Rangking	2	3	5	1	4	6

(Sumber : Pengolahan Data)

Berdasarkan karakteristik kualitas yang digunakan yaitu *nominal is the best*, maka ditentukan nilai yang mendekati target pada masing-masing faktor dan interaksi. Penentuan faktor dan interaksi sebagai pengaruh penting berdasarkan pada nilai rangking tertinggi. Faktor dan interaksi yang memiliki pengaruh penting adalah interaksi faktor C level 2, faktor A level 2, dan faktor B level 2. Perhitungan pemecahan interaksi AB berdasarkan pada nilai rasio yang ada pada Tabel 4.21. Perhitungan pemecahan interaksi AB adalah sebagai berikut:

$$A_1B_1 = \frac{13,89 + 14,70}{2} = 14,30$$

$$A_1B_2 = \frac{14,15 + 15,12}{2} = 14,64$$

$$A_2B_1 = \frac{14,39 + 14,98}{2} = 14,69$$

$$A_2B_2 = \frac{14,47 + 15,12}{2} = 14,80$$

Tabel 4.23 Hasil Perhitungan Pemecahan Interaksi AB Berdasarkan Rasio

Interaksi	B ₁	B ₂
A ₁	14,30	14,64
A ₂	14,69	14,80

(Sumber : Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.23, maka level terbaik untuk pemecahan interaksi AB berdasarkan karakteristik kualitas *nominal is the best* adalah A₂B₂. Perhitungan pemecahan interaksi AC berdasarkan pada nilai rasio yang ada pada Tabel 4.21. Perhitungan pemecahan interaksi AC adalah sebagai berikut:

$$A_1C_1 = \frac{13,89 + 14,15}{2} = 14,02$$

$$A_1C_2 = \frac{14,70 + 15,12}{2} = 14,91$$

$$A_2C_1 = \frac{14,39 + 14,47}{2} = 14,43$$

$$A_2C_2 = \frac{14,98 + 15,12}{2} = 15,05$$

Tabel 4.24 Hasil Perhitungan Pemecahan Interaksi AC Berdasarkan Rasio

Interaksi	C ₁	C ₂
A ₁	14,02	14,91
A ₂	14,43	15,05

(Sumber : Pengolahan Data)

Berdasarkan Tabel 4.24, maka level terbaik untuk pemecahan interaksi AC berdasarkan karakteristik kualitas *nominal is the best* adalah A₁C₂

5. Analisis Varians Rasio S/N

Analisis varians berguna untuk mengidentifikasi faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan *wellhead*. Untuk mengidentifikasi faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan *wellhead*, maka dilakukan perhitungan jumlah kuadrat (*sum of square*), rata-rata jumlah kuadrat (*mean square*), jumlah kuadrat total, kuadrat rata-rata, kuadrat *error*, *pooling up* dan F-rasio. Perhitungan tersebut adalah sebagai berikut:

a. Perhitungan Jumlah Kuadrat (*Sum of Square*) Berdasarkan Rasio S/N

Rumus jumlah kuadrat (*sum of square*):

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{KA} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$$

Dimana;

KA = jumlah level faktor A

A_i = level ke i faktor A

n_{Ai} = jumlah percobaan level ke i faktor A

T = jumlah seluruh nilai data

N = banyak data keseluruhan

Perhitungan jumlah kuadrat (*sum of square*) berdasarkan nilai rasio S/N yang ada pada Tabel 4.21. Perhitungan jumlah kuadrat (*sum of square*) untuk faktor A adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}SS_A &= \frac{57,86^2}{4} + \frac{58,96^2}{4} - \frac{(57,86 + 58,96)^2}{8} \\&= 836,94 + 869,07 - 1.705,86 \\&= 0,15\end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kuadrat untuk faktor dan interaksi lainnya dapat dilihat pada Lampiran E. Perhitungan jumlah kuadrat (*sum of square*) berdasarkan rasio S/N dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Hasil Perhitungan (*Sum of Square*) Berdasarkan Rasio S/N

Faktor dan Interaksi	Nilai <i>Sum of Square</i> (SS)
A	0,15
B	0,10
AxB	0,03
C	1,14
AxC	0,04
D	0

(Sumber : Pengolahan Data)

- b. Perhitungan Rata-rata Kuadrat (*Mean Square*) Berdasarkan Rasio S/N

Rumus rata-rata kuadrat (*mean square*):

$$MS_n = \frac{SS_n}{dof_n}$$

Dimana;

SS_n = Jumlah kuadrat faktor n

dof_n = Derajat kebebasan faktor n

Perhitungan rata-rata kuadrat (*mean square*) berdasarkan pada nilai *sum of square* (SS) (lihat Tabel 4.25) dan nilai *dof* masing-masing faktor dan

interaksi (lihat Tabel 4.7), perhitungan *mean square* untuk faktor A adalah sebagai berikut:

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A} = \frac{0,15}{1} = 0,15$$

Perhitungan *mean square* untuk faktor dan interaksi lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Hasil Perhitungan *Mean Square* Berdasarkan Rasio S/N

Faktor dan Interaksi	SS (A)	V (B)	MS (A/B)
A	0,15	1	0,15
B	0,10	1	0,10
AxB	0,03	1	0,03
C	1,14	1	1,14
AxC	0,04	1	0,04
D	0	1	0

(Sumber : Pengolahan Data)

- c. Perhitungan Jumlah Kuadrat Total (SS_T) Berdasarkan Rasio S/N

Rumus Jumlah Kuadrat Total (SS_T):

$$SS_T = \sum y^2$$

Dimana;

y = rata-rata data eksperimen

Perhitungan jumlah kuadrat total (SS_T) berdasarkan nilai rasio S/N yang ada pada Tabel 4.21. Perhitungan jumlah kuadrat total (SS_T) adalah sebagai berikut:

Perhitungan Jumlah Kuadrat Total (SS_T) adalah:

$$SS_T = 13,89^2 + 14,70^2 + 14,15^2 + 15,12^2 + 14,39^2 + 14,98^2 + 14,47^2 + 15,12^2$$

$$SS_T = 1.707,33$$

- d. Perhitungan Kuadrat Rata-rata (S_m) Berdasarkan Rasio S/N

Rumus Kuadrat Rata-rata (S_m):

$$S_m = n \times \bar{y}^2$$

Dimana;

n = banyaknya eksperimen

$\bar{y}$ = rata-rata data eksperimen

Perhitungan kuadrat rata-rata (SS_m) berdasarkan nilai rasio S/N yang ada pada Tabel 4.21. Perhitungan kuadrat rata-rata (SS_m) adalah sebagai berikut:

Perhitungan kuadrat rata-rata (SS_m) adalah:

$$\bar{y} = \frac{13,89+14,70+14,15+15,12+14,39+14,98+14,47+15,12}{8} = 14,60$$

$$SS_m = 8 \times 14,60^2 = 1.705,86$$

- e. Perhitungan Kuadrat Error (SS_e) Berdasarkan Rasio S/N

Rumus Kuadrat Error (SS_e):

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}}$$

Perhitungan nilai SS_{faktor} berdasarkan pada nilai SS masing-masing faktor dan interaksi yang ada pada Tabel 4.25 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS_{\text{faktor}} &= SS_A + SS_B + SS_{A \times B} + SS_C + SS_{A \times C} + SS_D \\ &= 0,15 + 0,10 + 0,03 + 1,14 + 0,04 + 0 = 1,46 \end{aligned}$$

Maka, nilai SS_e adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_T - SS_m - SS_{\text{faktor}} \\ &= 1.707,33 - 1.705,86 - 1,46 = 0,01 \end{aligned}$$

Setelah menghitung nilai *sum of square* (SS), *mean square* (MS), jumlah kuadrat total (SS_T), kuadrat rata-rata (SS_m), dan kuadrat error (SS_e), maka nilai tersebut dipetakan menjadi hasil perhitungan analisis varians berdasarkan nilai rasio S/N. Hasil perhitungan analisis varians berdasarkan rasio S/N dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Hasil Perhitungan Analisis Varians Berdasarkan Rasio S/N

Faktor dan Interaksi	dof	SS	MS
A	1	0,15	0,15
B	1	0,10	0,10
AxB	1	0,03	0,03
C	1	1,14	1,14
AxC	1	0,04	0,04
D	1	0	0
Error	1	0,01	0,01
Total	7	1,47	-

(Sumber : Pengolahan Data)

Pada kondisi ini terdapat satu interaksi faktor yang memiliki nilai $MS_{hitung} < MS_{error}$ yaitu interaksi AxB , sehingga dilakukan *pooling* menjadi suatu taksiran variansi *error*. Nilai derajat kebebasan (*dof*) variansi *error* menjadi dua. Perhitungan untuk *e-pooled* adalah sebagai berikut:

$$dof_{e-pooled} = dof_D + dof_{error}$$

$$dof_{e-pooled} = 1 + 1 = 2$$

$$SS_{e-pooled} = SS_D + SS_{error}$$

$$SS_{e-pooled} = 0 + 0,01 = 0,01$$

$$MS_{e-pooled} = \frac{SS_{e-pooled}}{dof_{e-pooled}} = \frac{0,01}{2} = 0,005$$

Tabel analisis variansi dengan menggunakan strategi *pooling up* dapat dilihat pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Hasil Perhitungan Analisis Variansi *Pooling Up* Berdasarkan Rasio S/N

Faktor dan Interaksi	dof	SS	MS
A	1	0,15	0,15
B	1	0,10	0,10
AxB	1	0,03	0,03
C	1	1,14	1,14
AxC	1	0,04	0,04
D	(1)	(0)	<i>Pooled</i>
<i>e-pooled</i>	2	0,01	0,005
Total	7	1,47	-

(Sumber : Pengolahan Data)

- f. Perhitungan F-rasio Berdasarkan Rasio S/N

Interaksi faktor AxB yang sudah di *pooled* tidak perlu dihitung nilai F-rasio karena interaksi faktor tersebut dianggap tidak signifikan.

Rumus F-rasio:

$$F - rasio_n = \frac{MS_n}{MS_{e-pooled}}$$

Perhitungan F-rasio berdasarkan nilai MS pada masing-masing faktor dan interaksi dan nilai $MS_{e-pooled}$ yang ada pada Tabel 4.28.

Perhitungan F-rasio untuk faktor A adalah sebagai berikut:

$$F\text{-rasio A} = \frac{0,15}{0,005} = 30$$

Hasil perhitungan F-rasio untuk faktor dan interaksi lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.29

Tabel 4.29 Hasil Perhitungan F-rasio Berdasarkan Rasio S/N

Faktor dan Interaksi	MS	MS <i>e-pooled</i>	F-rasio
A	0,15	0,005	30,00
B	0,10	0,005	20,00
AxB	0,03	0,005	6,00
C	1,14	0,005	228,00
AxC	0,04	0,005	8,00

(Sumber : Pengolahan Data)

Setelah melakukan perhitungan F-rasio, maka nilai tersebut dipetakan menjadi nilai analisis varians dengan F-rasio berdasarkan rasio S/N. Hasil analisis varians dengan F-rasio berdasarkan rasio S/N dapat dilihat pada Tabel 4.30. Nilai *dof*, SS, dan MS yang ada pada Tabel 4.30 sama dengan nilai *dof*, SS, dan MS yang ada pada Tabel 4.28. Tabel 4.30 hasil analisis varians dengan F-rasio berdasarkan rasio S/N adalah sebagai berikut.

Tabel 4.30 Hasil Analisis Varians dengan F-rasio Berdasarkan Rasio S/N

Faktor dan Interaksi	<i>dof</i>	SS	MS	F-rasio
A	1	0,15	0,15	30,00
B	1	0,10	0,10	20,00
AxB	(1)	0,03	0,03	6,00
C	1	1,14	1,14	228,00
AxC	1	0,04	0,04	8,00
D	(1)	(0)	<i>Pooled</i>	-
<i>e-pooled</i>	2	0,01	0,005	-
Total	7	1,47	-	-

(Sumber : Pengolahan Data)

6. Pengujian Hipotesis Berdasarkan Rasio S/N

Pengujian hipotesis dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh faktor terhadap kekuatan *wellhead*. Faktor-faktor yang diuji hipotesis adalah faktor yang tidak dilakukan *pooled* yaitu faktor A, faktor B, faktor C, interaksi faktor AxB, dan interaksi faktor AxC. Pengujian hipotesis ini dilakukan dengan menggunakan tabel f distribusi dimana taraf signifikan yang digunakan adalah ($\alpha=10\%$), sehingga tingkat kepercayaan 90% maka

nilai $F_{\text{tabel } 0,10 (1,2)} = 8,53$. Apabila nilai $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$, maka H_0 diterima, namun jika $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$, maka H_0 ditolak. Hasil uji hipotesis untuk faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

a. Faktor A

H_0 = Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *wellhead*

H_1 = Ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *wellhead*

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_{\text{error}}} = \frac{0,15}{0,005} = 30,00$$

$$F_{\text{tabel } 0,10 (1,2)} = 8,53$$

Kesimpulan menyatakan bahwa $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$, ini berarti H_0 ditolak artinya ada pengaruh faktor A terhadap kekuatan *wellhead*. Hasil pengujian hipotesis untuk faktor dan interaksi lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.31

Tabel 4.31 Hasil Pengujian Hipotesis Berdasarkan Rasio S/N

Faktor dan Interaksi	MS	MS <i>error</i>	F- hitung	F- tabel	Keterangan	Hasil Hipotesis
A	0,15	0,005	30,00	8,53	$F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$	H_0 ditolak
B	0,10	0,005	20,00	8,53	$F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$	H_0 ditolak
AxB	0,03	0,005	6,00	8,53	$F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$	H_0 diterima
C	1,14	0,005	228,00	8,53	$F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$	H_0 ditolak
AxC	0,04	0,005	8,00	8,53	$F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$	H_0 diterima

(Sumber : Pengolahan Data)

8. Interpretasi Hasil Percobaan

Interpretasi percobaan dilakukan untuk menentukan nilai persentase kontribusi dan interval kepercayaan berdasarkan nilai rata-rata dan nilai rasio S/N. Perhitungan persentase kontribusi dan interval kepercayaan adalah sebagai berikut:

a. Persentase Kontribusi

Persentase kontribusi merupakan penilaian porsi dari masing-masing faktor dan interaksi faktor yang signifikan terhadap total variansi yang diamati. Persentase kontribusi merupakan fungsi *sum of square* (SS) murni dari masing-masing faktor yang signifikan dibandingkan dengan jumlah kuadrat total (SS_T). Rumus yang digunakan untuk perhitungan persentase kontribusi adalah sebagai berikut:

$$\rho = \frac{SS'_{\text{faktor}}}{SS_T} \times 100\%$$

$$SS'_{\text{faktor}} = SS_{\text{faktor}} - MS_{e-pooled}(dof_{\text{faktor}})$$

Perhitungan persentase kontribusi dilakukan terhadap hasil analisis variansi *pooling up* terhadap rata-rata, dan hasil analisis variansi *pooling up* terhadap rasio S/N.

- 1). Hasil perhitungan persentase kontribusi berdasarkan analisis variansi *pooling up* terhadap rata-rata adalah sebagai berikut:

Nilai SS'_{faktor} , $MS_{e-pooled}$, SS_T , dan dof_{faktor} berdasarkan pada Tabel 4.16. Perhitungan persentase kontribusi untuk faktor A adalah sebagai berikut:

$$SS'_A = SS_A - MS_{\text{error}}(dof_A)$$

$$SS'_A = 6,13 - (0,31)(1) = 5,82$$

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

$$\rho_A = \frac{5,82}{63,50} \times 100\% = 9,17\%$$

Perhitungan persentase kontribusi untuk faktor dan interaksi lainnya berdasarkan analisis variansi *pooling up* rata-rata dapat dilihat pada Lampiran F. Hasil perhitungan persentase kontribusi berdasarkan analisis variansi *pooling up* rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Hasil Perhitungan Persentase Kontribusi Berdasarkan Analisis Varians *Pooling Up* Rata-rata

Faktor dan Interaksi	dof	SS	MS	SS'	p(100%)
A	1	6,13	6,13	5,82	9,17
B	1	4,50	4,50	4,19	6,60
AxB	1	1,13	1,13	0,82	1,29
C	1	50,00	50,00	49,69	78,25
AxC	1	1,13	1,13	0,82	1,29
D	(1)	(0,13)	<i>Pooled</i>	-	-
<i>e-pooled</i>	2	0,61	0,31	-	-
Total	7	63,50	-	-	-

(Sumber : Pengolahan Data)

Dari Tabel 4.32 di atas menunjukkan faktor C (ketebalan *sun blasting*) memberikan kontribusi yang paling besar terhadap kekuatan *wellhead* bila dibandingkan dengan faktor lainnya, yaitu sebesar 78,25%.

- 2). Hasil perhitungan persentase kontribusi berdasarkan analisis varians *pooling up* terhadap rasio S/N adalah sebagai berikut:

Nilai SS'_{faktor} , $MS_{e-pooled}$, SS_T , dan dof_{faktor} berdasarkan pada Tabel 4.28. Perhitungan persentase kontribusi untuk faktor A adalah sebagai berikut:

$$SS'_{A=SS_A - MS_{error}(dof_A)}$$

$$SS'_{A=SS_A - MS_{error}(dof_A)}$$

$$SS'_{A=0,15 - (0,005)(1) = 0,145}$$

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

$$\rho_A = \frac{0,145}{1,47} \times 100\% = 9,86\%$$

Perhitungan persentase kontribusi untuk faktor dan interaksi lainnya berdasarkan analisis varians *pooling up* rasio S/N dapat dilihat pada Lampiran G. Hasil perhitungan persentase kontribusi berdasarkan analisis varians *pooling up* rasio S/N dapat dilihat pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Hasil Perhitungan Persentase Kontribusi Berdasarkan Analisis Varians Rasio S/N

Faktor dan Interaksi	dof	SS	MS	SS'	p(100%)
A	1	0,15	0,15	0,145	9,86
B	1	0,10	0,10	0,095	6,46
AxB	1	0,03	0,03	0,025	1,70
C	1	1,14	1,14	1,135	77,21
AxC	1	0,04	0,04	0,035	2,38
D	(1)	(0)	<i>Pooled</i>	-	-
<i>e-pooled</i>	2	0,01	0,005	-	-
Total	7	1,47	-	-	-

(Sumber : Pengolahan Data)

Dari Tabel 4.33 di atas menunjukkan bahwa faktor C (ketebalan *sun blasting*) memberikan kontribusi yang paling besar terhadap kekuatan *wellhead* bila dibandingkan dengan faktor lainnya, yaitu sebesar 77,21%.

b. Perhitungan Interval Kepercayaan

Perhitungan interval kepercayaan berdasarkan hasil perhitungan level dari faktor berdasarkan rata-rata dan rasio S/N. Perhitungan hanya dilakukan pada faktor-faktor yang berpengaruh secara nyata, sesuai dengan hasil uji hipotesis. Faktor-faktor yang berpengaruh secara nyata berdasarkan hasil uji hipotesis adalah faktor A, faktor B, dan faktor C. Perhitungan interval kepercayaan berdasarkan rata-rata dan rasio S/N adalah sebagai berikut:

1). Perhitungan Interval Kepercayaan Berdasarkan Rata-rata

Perhitungan interval kepercayaan berdasarkan rata-rata di dapat dari hasil perhitungan level dari faktor. Nilai untuk faktor A, faktor B, dan faktor C di dapatkan berdasarkan nilai tertinggi yang ada pada Tabel 4.11. Perhitungan interval kepercayaan berdasarkan rata-rata adalah sebagai berikut:

Perhitungan nilai $\bar{y}$ berdasarkan nilai rata-rata yang ada pada Tabel 4.10.

$$\bar{y} = \frac{24,50+29,50+26,00+32,50+27,50+31,50+28,00+32,50}{8} = 29,00$$

$$\mu_{prediksi} = \bar{y} + (\bar{C}_2 - \bar{y}) + (\bar{A}_2 - \bar{y}) + (\bar{B}_2 - \bar{y})$$

$$\mu_{prediksi} = 29,00 + (31,50 - 29,00) + (29,88 - 29,00) + (29,75 - 29,00)$$

$$\mu_{prediksi} = 29,00 + 2,5 + 0,88 + 0,75$$

$$\mu_{prediksi} = 33,13$$

Interval kepercayaan berdasarkan rata-rata dengan tingkat kepercayaan 90% adalah sebagai berikut:

$$n_{eff} = \frac{(banyaknya\ eksperimen) \times (banyaknya\ pengulangan)}{1 + derajat\ kebebasan\ rata - rata}$$

Derajat kebebasan rata-rata yaitu derajat kebebasan yang digunakan pada masing-masing faktor dan interaksi faktor yang berpengaruh secara nyata yaitu faktor A, faktor B, dan faktor C.

$$n_{eff} = \frac{8 \times 2}{1 + (1 + 1 + 1 + 1)}$$

$$n_{eff} = \frac{16}{5} = 3,2$$

$$Cl = \pm \sqrt{F_{(\alpha;v1,v2)} \times MS_e \times \frac{1}{n_{eff}}}$$

Nilai MS_e didapatkan berdasarkan nilai MS_e pada Tabel 4.19. Nilai $v1$ pada tabel f ditentukan berdasarkan rata-rata derajat kebebasan yang digunakan pada masing-masing faktor dan interaksi. Nilai $v2$ pada tabel f ditentukan berdasarkan jumlah derajat kebebasan *error* yang ada pada Tabel 4.18.

$$Cl = \pm \sqrt{F_{(0,10;1,2)} \times MS_e \times \frac{1}{n_{eff}}}$$

$$Cl = \pm \sqrt{8,53 \times 0,31 \times \frac{1}{3,2}} = \pm 0,91$$

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI$$

$$33,13 - 0,91 \leq 33,13 \leq 33,13 + 0,91$$

$$32,22 \leq 33,13 \leq 34,04$$

2). Perhitungan Interval Kepercayaan Berdasarkan Rasio S/N

Perhitungan interval kepercayaan berdasarkan rasio S/N di dapat dari hasil perhitungan level dari faktor. Nilai untuk faktor A, faktor B, dan faktor C di dapatkan berdasarkan nilai tertinggi yang ada pada Tabel 4.21. Perhitungan interval kepercayaan berdasarkan rasio adalah sebagai berikut:

Perhitungan nilai $\bar{y}$ berdasarkan nilai pada rasio yang ada pada Tabel 4.21.

$$\bar{y} = \frac{13,89+14,70+14,15+15,12+14,39+14,98+14,47+15,12}{8} = 14,60$$

$$\mu_{prediksi} = \bar{y} + (\bar{C}_2 - \bar{y}) + (\bar{A}_2 - \bar{y}) + (\bar{B}_2 - \bar{y})$$

$$\mu_{prediksi} = 14,60 + (14,98-14,60) + (14,74-14,60) + (14,72-14,60)$$

$$\mu_{prediksi} = 14,60 + 0,38 + 0,14 + 0,12$$

$$\mu_{prediksi} = 15,24$$

Interval kepercayaan berdasarkan rata-rata dengan tingkat kepercayaan 90% adalah sebagai berikut:

$$n_{eff} = \frac{(banyaknya\ eksperimen) \times (banyaknya\ pengulangan)}{1 + derajat\ kebebasan\ rata - rata}$$

Derajat kebebasan rata-rata yaitu derajat kebebasan yang digunakan pada masing-masing faktor dan interaksi faktor yang berpengaruh secara nyata yaitu faktor A, faktor B, dan faktor C.

$$n_{eff} = \frac{8 \times 2}{1 + (1 + 1 + 1 + 1)}$$

$$n_{eff} = \frac{16}{5} = 3,2$$

$$CI = \pm \sqrt{F_{(\alpha, v1, v2)} \times MS_e \times \frac{1}{n_{eff}}}$$

Nilai MS_e didapatkan berdasarkan nilai MS_e pada Tabel 4.31. Nilai v_1 pada tabel f ditentukan berdasarkan rata-rata derajat kebebasan yang digunakan pada masing-masing faktor dan interaksi. Nilai v_2 pada tabel f ditentukan berdasarkan jumlah derajat kebebasan *error* yang ada pada Tabel 4.30.

$$Cl = \pm \sqrt{F_{(0,10;1,2)} \times MS_e \times \frac{1}{n_{eff}}}$$

$$Cl = \pm \sqrt{8,53 \times 0,005 \times \frac{1}{3,2}} = \pm 0,12$$

$$\mu_{prediksi} - Cl \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + Cl$$

$$15,24 - 0,12 \leq 15,24 \leq 15,24 + 0,12$$

$$15,12 \leq 15,24 \leq 15,36$$

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Tahap Perencanaan Metode Taguchi

Tahap perencanaan merupakan tahap terpenting yang dilakukan dalam metode Taguchi. Analisis yang dilakukan dalam tahap perencanaan metode Taguchi adalah sebagai berikut:

5.1.1 Analisis Penentuan Variabel Tak Bebas

Variabel tak bebas yang digunakan adalah tekanan *wellhead* dalam melakukan pengeboran minyak dan gas bumi agar tidak terjadi kebocoran pada saat digunakan. Kebocoran *wellhead* diakibatkan oleh tekanan pada *wellhead* yang tidak sesuai dengan tekanan pada saat proses pengeboran minyak dan gas bumi. Untuk dapat mencegah kebocoran pada *wellhead*, maka tekanan yang dihasilkan *wellhead* harus diperhatikan. Proses produksi *wellhead* akan mempengaruhi tekanan yang dihasilkannya. Berdasarkan variabel tak bebas yang digunakan, yaitu tekanan maka karakteristik kualitas yang digunakan adalah *nominal is the best*.

5.1.2 Analisis Penentuan Faktor-faktor (Variabel Bebas)

Faktor-faktor yang digunakan dalam penelitian ini yang mempengaruhi tekanan *wellhead* sebanyak 4 faktor. Tidak semua faktor-faktor yang mempengaruhi tekanan *wellhead* diselidiki, hal ini dikarenakan terbatasnya waktu pelaksanaan percobaan dan sumber daya yang diberikan oleh perusahaan. Penentuan faktor-faktor ini hanya berdasarkan proses *painting* yang dilakukan pada saat proses produksi *wellhead*. Faktor-faktor yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Banyaknya Pasir

Pasir digunakan pada saat proses *sun blasting* dengan tujuan untuk melapisi *wellhead* agar lebih kuat dan tahan lama. Pasir merupakan salah satu faktor yang berpengaruh dalam proses *painting* karena akan mempengaruhi tekanan yang dihasilkan oleh *wellhead*.

Semakin kuat *wellhead* maka tekanan yang dihasilkan juga akan semakin besar.

2. Banyaknya Cat

Cat digunakan untuk mewarnai *wellhead* agar terlihat lebih menarik. Banyaknya cat yang digunakan tergantung dari banyaknya pasir yang digunakan. Komposisi yang optimum antara banyaknya pasir dan cat yang digunakan akan mempengaruhi tekanan yang dihasilkan *wellhead*

3. Ketebalan *Sun Blasting*

Ketebalan *sun blasting* akan mempengaruhi kekuatan *wellhead* dan tekanan yang dihasilkan *wellhead*. Ketebalan *sun blasting* dipengaruhi oleh faktor lain yang digunakan yaitu banyaknya pasir. Ketebalan *sun blasting* yang optimum tergantung dari banyaknya pasir yang digunakan. Keadaan ini nantinya akan mempengaruhi tekanan yang dihasilkan *wellhead*.

4. Tekanan *Compressor*

Compressor digunakan untuk membersihkan *wellhead* dari *scrap* sisa-sisa produksi. Hal ini dilakukan agar tidak ada *scrap* yang menempel pada *wellhead* sehingga tidak mempengaruhi proses *sun blasting*. Tekanan *compressor* yang digunakan akan mempengaruhi terbuangnya *scrap* yang menempel pada *wellhead*. Namun, tekanan *compressor* juga harus diperhatikan, agar tekanan yang keluar tidak merusak material dari *wellhead*.

5.1.3 Analisis Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Jumlah level yang digunakan pada masing-masing faktor dalam penelitian ini sebanyak dua. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah level yang digunakan maka akan membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang cukup tinggi, sedangkan sumber daya yang diberikan perusahaan terbatas. Penentuan nilai level faktor diambil berdasarkan nilai toleransi pada spesifikasi masing-masing faktor yang digunakan.

5.1.4 Analisis Penentuan Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan dilakukan untuk menentukan berapa jumlah eksperimen yang akan dilakukan. Pada penelitian ini digunakan 6 derajat kebebasan yang terdiri dari 4 faktor utama, dan 2 faktor interaksi. Faktor utama yaitu banyaknya pasir, banyaknya cat, ketebalan *sun blasting*, dan tekanan *compressor*. Faktor interaksi yaitu interaksi antara banyaknya pasir dan banyaknya cat serta banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*.

5.1.5 Analisis Pemilihan Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal berdasarkan jumlah derajat kebebasan yang digunakan. Jumlah derajat kebebasan yang digunakan sebanyak 6, berarti matriks ortogonal yang digunakan adalah $L_8(2^7)$.

5.1.6 Analisis Penempatan Kolom untuk Faktor dan Interaksi ke dalam Matriks Ortogonal

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat ditentukan penempatan kolom untuk faktor dan interaksi faktor yang sesuai pada Gambar 4.11. Penempatan kolom untuk faktor dan interaksi faktor adalah sebagai berikut:

1. Faktor A (banyaknya pasir) diletakan pada kolom 1, hal ini sesuai pada grafik linier $L_8(2^7)$ (lihat Gambar 4.11).
2. Faktor B (banyaknya cat) diletakan pada kolom 2, hal ini sesuai pada grafik linier $L_8(2^7)$ (lihat Gambar 4.11).
3. Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) diletakan pada kolom 3, hal ini sesuai pada grafik linier $L_8(2^7)$ (lihat Gambar 4.11).
4. Faktor C (ketebalan *sun blasting*) diletakan pada kolom 4, hal ini sesuai pada grafik linier $L_8(2^7)$ (lihat Gambar 4.11).
5. Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) diletakan pada kolom 5, hal ini sesuai pada grafik linier $L_8(2^7)$ (lihat Gambar 4.11).
6. Kolom 6 yang ada pada Gambar 4.11 tidak digunakan, hal ini karena tidak ada interaksi antara faktor A (banyaknya pasir) dan Faktor D (tekanan *compressor*), sehingga pada kolom 6 akan dinyatakan sebagai *error*.
7. Faktor D tekanan *compressor*) diletakan pada kolom 7, hal ini sesuai pada grafik linier $L_8(2^7)$ (lihat Gambar 4.11).

5.2 Analisis Tahap Pelaksanaan Metode Taguchi

Tahap pelaksanaan metode Taguchi adalah tahap dimana pelaksanaan percobaan dilakukan. Pada tahapan ini, ditentukan nilai tekanan (lihat Tabel 4.4) pada produk *wellhead* yang didapatkan berdasarkan eksperimen yang dilakukan di PT Bima Drilling Tools dengan dua kali replikasi. Nilai tekanan tersebut akan dihitung nilai rata-ratanya pada masing-masing eksperimen. Hasil perhitungan rata-rata tekanan pada masing-masing eksperimen adalah sebagai berikut:

1. Eksperimen 1 menghasilkan nilai rata-rata kuat tekan 24,50 N/mm².
2. Eksperimen 2 menghasilkan nilai rata-rata kuat tekan 29,50 N/mm².
3. Eksperimen 3 menghasilkan nilai rata-rata kuat tekan 26,00 N/mm².
4. Eksperimen 4 menghasilkan nilai rata-rata kuat tekan 32,50 N/mm².
5. Eksperimen 5 menghasilkan nilai rata-rata kuat tekan 27,50 N/mm².
6. Eksperimen 6 menghasilkan nilai rata-rata kuat tekan 31,50 N/mm².
7. Eksperimen 7 menghasilkan nilai rata-rata kuat tekan 28,00 N/mm².
8. Eksperimen 8 menghasilkan nilai rata-rata kuat tekan 32,50 N/mm².

5.3 Analisis Tahap Analisa Metode Taguchi

Pada tahap analisa metode Taguchi dilakukan pengolahan data untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang secara signifikan mempengaruhi tekanan *wellhead*. Nilai rata-rata tekanan yang dihasilkan berdasarkan tahap analisis pelaksanaan metode Taguchi tersebut akan digunakan sebagai analisis tahap analisa metode Taguchi. Analisis yang dilakukan pada tahapan ini adalah sebagai berikut:

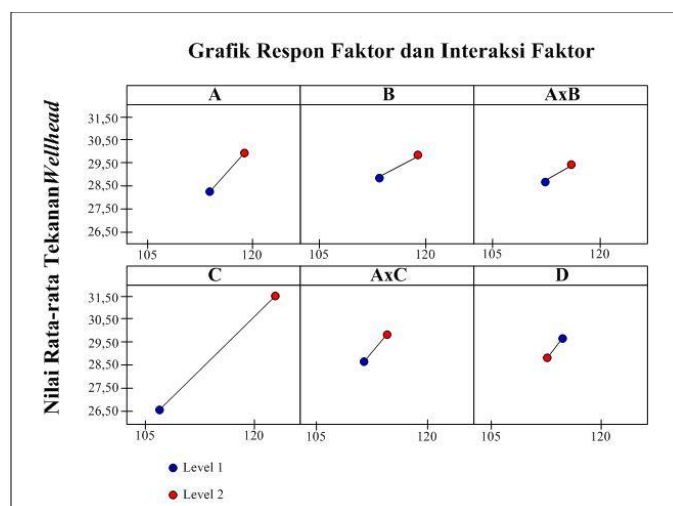
5.3.1 Analisis Pengaruh Level dari Faktor dan Interaksi Faktor Terhadap Tekanan *Wellhead* Berdasarkan Nilai Rata-rata

Pengaruh level dari faktor dan interaksi faktor terhadap tekanan *wellhead* berdasarkan nilai rata-rata dapat ditentukan berdasarkan hasil perhitungan level dari faktor (lihat Tabel 4.11). Hasil perhitungan level dari faktor adalah sebagai berikut:

1. Faktor A (banyaknya pasir) level 1 (3 gram) sebesar 28,13.
Faktor A (banyaknya pasir) level 2 (3,3 gram) sebesar 29,88.

2. Faktor B (banyaknya cat) level 1 (4,2 liter) sebesar 28,25.
Faktor B (banyaknya cat) level 2 (4,5 liter) sebesar 29,75.
3. Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) level 1 (3 gram dan 4,2 liter) sebesar 28,63.
Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) level 2 (3,3 gram dan 4,5 liter) sebesar 29,38.
4. Faktor C (ketebalan *sun blasting*) level 1 (1mm) sebesar 26,50.
Faktor C (ketebalan *sun blasting*) level 2 (1,5mm) sebesar 31,50.
5. Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) level 1 (3 gram dan 1 mm) sebesar 28,63.
Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) level 2 (3,3 gram dan 1,5 mm) sebesar 29,38.
6. Faktor D (tekanan *compressor*) level 1 (10 bar) sebesar 29,13.
Faktor D (tekanan *compressor*) level 2 (12 bar) sebesar 26,25.

Grafik respon faktor dan interaksi faktor berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.11 dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Respon Faktor dan Interaksi Faktor Berdasarkan Nilai Rata-rata
(Sumber : Pengolahan Data)

Grafik respon faktor dan interaksi faktor diatas menunjukkan pengaruh faktor terhadap variabel tak bebas yang ditentukan. Garis yang menghubungkan antara level 1 dan level 2 disebut sebagai *range*. Apabila *range* antara level 1 dan level 2 pendek, maka kemungkinan pengaruh faktor terhadap variabel tak bebas

tidak muncul secara signifikan. Namun, apabila *range* antara level 1 dan level 2 panjang, maka kemungkinan pengaruh faktor terhadap variabel tak bebas muncul secara signifikan. Karakteristik kualitas yang digunakan adalah *nominal is the best*. Berdasarkan Gambar 5.1 maka faktor-faktor yang secara signifikan mempengaruhi variabel tak bebas berdasarkan karakteristik kualitas terhadap nilai *range* yang dihasilkan dari yang tertinggi sampai terendah adalah sebagai berikut:

1. Faktor C (ketebalan *sun blasting*) dengan nilai *range* sebesar 5,00 sangat berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead*.
2. Faktor A (banyaknya pasir) dengan nilai *range* sebesar 1,75 kurang berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*).
3. Faktor B (banyaknya cat) dengan nilai *range* sebesar 1,50 kurang berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), dan faktor A (banyaknya pasir).
4. Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) dengan nilai *range* sebesar 0,75 kurang berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), faktor A (banyaknya pasir), faktor B (banyaknya cat), dan interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) .
5. Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) dengan nilai *range* sebesar 0,75 kurang berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), faktor A (banyaknya pasir), dan faktor B (banyaknya cat) .
6. Faktor D (tekanan *compressor*) dengan nilai *range* sebesar 0,25 kurang berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), faktor A (banyaknya pasir), faktor B (banyaknya cat), interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat), dan interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*)

Berdasarkan nilai tersebut, maka faktor ketebalan *sun* memiliki pengaruh signifikan terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* karena memberikan nilai *range* tertinggi. Faktor tekanan *compressor* tidak memiliki pengaruh signifikan

terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* karena memberikan nilai *range* terendah.

5.3.2 Analisis Perhitungan Varians Terhadap Tekanan *Wellhead* Berdasarkan Nilai Rata-rata

Hasil perhitungan analisis varians terhadap tekanan *wellhead* berdasarkan nilai rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.15. Analisis varians dilakukan untuk menentukan faktor atau interaksi faktor yang mempengaruhi tekanan *wellhead* berdasarkan nilai jumlah kuadrat (SS) tertinggi. Berdasarkan Tabel 4.15, nilai SS pada masing-masing faktor dan interaksi faktor dari yang tertinggi sampai terendah adalah sebagai berikut:

1. Faktor C (ketebalan *sun blasting*) dengan nilai SS sebesar 50,00 sangat berpengaruh terhadap tekanan *wellhead*.
2. Faktor A (banyaknya pasir) dengan nilai SS sebesar 6,13 kurang berpengaruh terhadap tekanan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*).
3. Faktor B (banyaknya cat) dengan nilai SS sebesar 4,50 kurang berpengaruh terhadap tekanan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), dan faktor A (banyaknya pasir) .
4. Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) dengan nilai SS sebesar 1,13 kurang berpengaruh terhadap tekanan *wellhead* dibandingkan dengan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), faktor A (banyaknya pasir), faktor B (banyaknya cat), dan interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) .
5. Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) dengan nilai SS sebesar 1,13 kurang berpengaruh terhadap tekanan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), faktor A (banyaknya pasir), dan faktor B (banyaknya cat) .
6. Faktor D (tekanan *compressor*) dengan nilai SS sebesar 0,13 kurang berpengaruh terhadap tekanan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), faktor A (banyaknya pasir), faktor B (banyaknya cat),

interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat), dan interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*)

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka faktor ketebalan *sun blasting* mempunyai pengaruh signifikan terhadap tekanan *wellhead* karena memberikan nilai SS tertinggi dibandingkan dengan faktor dan interaksi faktor lainnya.

5.3.3 Analisis *Pooling Up* Faktor Berdasarkan Nilai Rata-rata

Pooling up dilakukan untuk mencari faktor atau interaksi faktor yang berpengaruh terhadap nilai *error*. *Pooling up* dilakukan apabila nilai $MS_{hitung} < MS_{error}$. Tabel 4.15 menyatakan bahwa nilai MS_{hitung} pada faktor D (tekanan *compressor*) lebih kecil daripada nilai MS_{error} , yaitu MS_{hitung} sebesar 0,13, sedangkan MS_{error} sebesar 0,48. Hal ini berarti nilai-nilai yang ada pada faktor D (tekanan *compressor*) di *pooling* menjadi satu taksiran nilai *error* (lihat Tabel 4.16). Sehingga nilai *dof* pada *error* menjadi 2, dan nilai MS_{error} menjadi 0,31. faktor D (tekanan *compressor*) di *pooling* terhadap nilai *error* karena dianggap tidak memiliki pengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead*.

5.3.4 Analisis Perhitungan F-rasio Berdasarkan Nilai Rata-rata

Perhitungan F-rasio dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh faktor atau interaksi faktor terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead*. Penentuan ada atau tidaknya faktor atau interaksi faktor yang berpengaruh terhadap tekanan *wellhead* dilakukan berdasarkan hasil pengujian hipotesis. Pengujian hipotesis dilakukan dengan cara membandingkan nilai F_{hitung} dan F_{tabel} . Apabila nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ berarti faktor atau interaksi faktor memiliki pengaruh terhadap tekanan *wellhead*. F_{tabel} yang digunakan adalah $F_{tabel\ 0,10\ (1,2)} = 8,53$ dengan tingkat kepercayaan 90%. Hasil pengujian hipotesis pada Tabel 4.19 menyatakan bahwa faktor-faktor yang memiliki pengaruh terhadap tekanan *wellhead* adalah faktor A, faktor B, dan faktor C. Hal ini dikarenakan nilai F_{hitung} pada masing-masing faktor ini lebih besar dibandingkan dengan nilai F_{tabel} . Perbandingan nilai F_{hitung} faktor-faktor yang memiliki pengaruh terhadap tekanan *wellhead* adalah sebagai berikut (lihat Tabel 4.19):

1. F_{hitung} faktor A (banyaknya pasir) sebesar 19,77, F_{tabel} sebesar 8,53 berarti $F_{hitung} > F_{tabel}$, hal ini berarti faktor A (banyaknya pasir) memiliki pengaruh terhadap tekanan *wellhead*.
2. F_{hitung} faktor B (banyaknya cat) sebesar 14,52, F_{tabel} sebesar 8,53 berarti $F_{hitung} > F_{tabel}$, hal ini berarti faktor B (banyaknya cat) memiliki pengaruh terhadap tekanan *wellhead*.
3. F_{hitung} faktor C (ketebalan *sun blasting*) sebesar 161,29, F_{tabel} sebesar 8,53 berarti $F_{hitung} > F_{tabel}$, hal ini berarti faktor C (ketebalan *sun blasting*) memiliki pengaruh terhadap tekanan *wellhead*.

Berdasarkan nilai tersebut, maka faktor ketebalan *sun blasting* memiliki nilai terbesar yaitu sebesar 161,29. Hal ini berarti bahwa faktor ketebalan *sun blasting* memiliki pengaruh signifikan terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* dibandingkan dengan faktor dan interaksi faktor lainnya.

5.3.5 Analisis Perhitungan Persentase Kontribusi Berdasarkan Nilai Rata-rata

Perhitungan persentase kontribusi dilakukan untuk melihat seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor dan interaksi faktor terhadap tekanan *wellhead*. Perhitungan persentase kontribusi tidak dilakukan terhadap faktor D (tekanan *compressor*) karena sudah dilakukan *pooling* menjadi suatu taksiran *error*. Hasil perhitungan persentase kontribusi berdasarkan nilai rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.30. Berdasarkan Tabel 4.30 faktor dan interaksi faktor yang menghasilkan nilai persentase kontribusi dari yang tertinggi sampai terendah adalah sebagai berikut:

1. Faktor C (ketebalan *sun blasting*) dengan nilai persentase kontribusi sebesar 78,25%.
2. Faktor A (banyaknya pasir) dengan nilai persentase kontribusi sebesar 9,17%.
3. Faktor B (banyaknya cat) dengan nilai persentase kontribusi sebesar 6,60%.
4. Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) dengan nilai persentase kontribusi sebesar 1,29%.

5. Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) dengan nilai persentase kontribusi sebesar 1,29%.

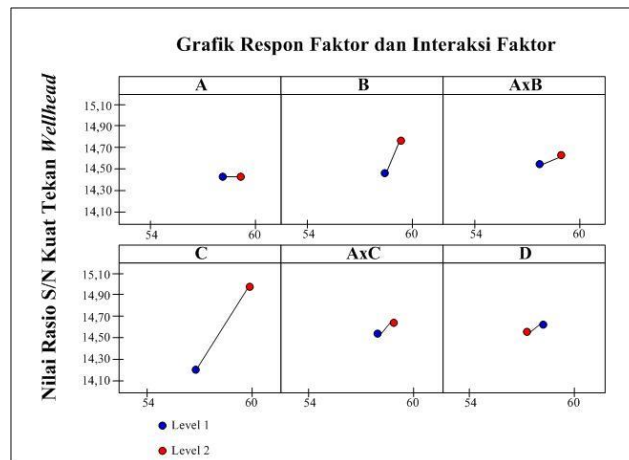
Berdasarkan nilai tersebut, didapatkan bahwa faktor ketebalan *sun blasting* memberikan kontribusi paling besar terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* yaitu sebesar 78,25% . Hal ini berarti faktor ketebalan *sun blasting* memberikan pengaruh signifikan terhadap tekanan *wellhead* apabila dibandingkan dengan faktor dan interaksi faktor lainnya.

5.3.6 Analisis Pengaruh Level dari Faktor dan Interaksi Faktor Terhadap Tekanan *Wellhead* Berdasarkan Nilai Rasio S/N

Pengaruh level dari faktor dan interaksi faktor terhadap tekanan *wellhead* berdasarkan nilai rasio S/N dapat ditentukan berdasarkan hasil perhitungan level dari faktor (lihat Tabel 4.21). Hasil perhitungan level dari faktor adalah sebagai berikut:

1. Faktor A (banyaknya pasir) level 1 (3 gram) sebesar 14,47.
Faktor A (banyaknya pasir) level 2 (3,3 gram) sebesar 14,74.
2. Faktor B (banyaknya cat) level 1 (4,2 liter) sebesar 14,49.
Faktor B (banyaknya cat) level 2 (4,5 liter) sebesar 14,72.
3. Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) level 1 (3 gram dan 4,2 liter) sebesar 14,55.
Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) level 2 (3,3 gram dan 4,5 liter) sebesar 14,66.
4. Faktor C (ketebalan *sun blasting*) level 1 (1mm) sebesar 14,23.
Faktor C (ketebalan *sun blasting*) level 2 (1,5mm) sebesar 14,98.
5. Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) level 1 (3 gram dan 1 mm) sebesar 14,54.
Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) level 2 (3,3 gram dan 1,5 mm) sebesar 14,67.
6. Faktor D (tekanan *compressor*) level 1 (10 bar) sebesar 14,62.
Faktor D (tekanan *compressor*) level 2 (12 bar) sebesar 14,59.

Grafik respon faktor dan interaksi faktor berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.21 dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Respon Faktor dan Interaksi Faktor Berdasarkan Nilai Rasio S/N
(Sumber : Pengolahan Data)

Grafik respon faktor dan interaksi faktor diatas menunjukkan pengaruh faktor terhadap variabel tak bebas yang ditentukan. Garis yang menghubungkan antara level 1 dan level 2 disebut sebagai *range*. Apabila *range* antara level 1 dan level 2 pendek, maka kemungkinan pengaruh faktor terhadap variabel tak bebas tidak muncul secara signifikan. Namun, apabila *range* antara level 1 dan level 2 panjang, maka kemungkinan pengaruh faktor terhadap variabel tak bebas muncul secara signifikan. Karakteristik kualitas yang digunakan adalah *nominal is the best*. Berdasarkan Gambar 5.1 maka faktor-faktor yang secara signifikan mempengaruhi variabel tak bebas berdasarkan karakteristik kualitas terhadap nilai *range* yang dihasilkan dari yang tertinggi sampai terendah adalah sebagai berikut:

1. Faktor C (ketebalan *sun blasting*) dengan nilai *range* sebesar 0,75 sangat berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead*.
2. Faktor A (banyaknya pasir) dengan nilai *range* sebesar 0,28 kurang berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*).
3. Faktor B (banyaknya cat) dengan nilai *range* sebesar 0,22 kurang berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), dan faktor A (banyaknya pasir).
4. Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) dengan nilai *range* sebesar 0,14 kurang berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), faktor A

- (banyaknya pasir), faktor B (banyaknya cat), dan interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) .
5. Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) dengan nilai *range* sebesar 0,12 kurang berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), faktor A (banyaknya pasir), dan faktor B (banyaknya cat) .
 6. Faktor D (tekanan *compressor*) dengan nilai *range* sebesar 0,0,2 kurang berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), faktor A (banyaknya pasir), faktor B (banyaknya cat), interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat), dan interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*)

Berdasarkan nilai tersebut, maka faktor ketebalan *sun* memiliki pengaruh signifikan terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* karena memberikan nilai *range* tertinggi. Faktor tekanan *compressor* tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* karena memberikan nilai *range* terendah.

5.7 Analisis Perhitungan Varians Terhadap Tekanan Wellhead Berdasarkan Nilai Rasio S/N

Hasil perhitungan analisis varians terhadap tekanan *wellhead* berdasarkan nilai rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.15. Analisis varians dilakukan untuk menentukan faktor atau interaksi faktor yang mempengaruhi tekanan *wellhead* berdasarkan nilai jumlah kuadrat (SS) tertinggi. Berdasarkan Tabel 4.15, nilai SS pada masing-masing faktor dan interaksi faktor dari yang tertinggi sampai terendah adalah sebagai berikut:

1. Faktor C (ketebalan *sun blasting*) dengan nilai SS sebesar 1,14 sangat berpengaruh terhadap tekanan *wellhead*.
2. Faktor A (banyaknya pasir) dengan nilai SS sebesar 0,15 kurang berpengaruh terhadap tekanan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*).

3. Faktor B (banyaknya cat) dengan nilai SS sebesar 0,10 kurang berpengaruh terhadap tekanan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), dan faktor A (banyaknya pasir) .
4. Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) dengan nilai SS sebesar 0,04 kurang berpengaruh terhadap tekanan *wellhead* dibandingkan dengan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), faktor A (banyaknya pasir), faktor B (banyaknya cat), dan interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) .
5. Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) dengan nilai SS sebesar 0,03 kurang berpengaruh terhadap tekanan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), faktor A (banyaknya pasir), dan faktor B (banyaknya cat) .
6. Faktor D (tekanan *compressor*) dengan nilai SS sebesar 0 kurang berpengaruh terhadap tekanan *wellhead* dibandingkan dengan faktor C (ketebalan *sun blasting*), faktor A (banyaknya pasir), faktor B (banyaknya cat), interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat), dan interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*)

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka faktor ketebalan *sun blasting* mempunyai pengaruh signifikan terhadap tekanan *wellhead* karena memberikan nilai SS tertinggi dibandingkan dengan faktor dan interaksi faktor lainnya.

5.3.8 Analisis *Pooling Up* Faktor Berdasarkan Nilai Rasio S/N

Pooling up dilakukan untuk mencari faktor atau interaksi faktor yang berpengaruh terhadap nilai *error*. *Pooling up* dilakukan apabila nilai $MS_{hitung} < MS_{error}$. Tabel 4.15 menyatakan bahwa nilai MS_{hitung} pada faktor D (tekanan *compressor*) lebih kecil daripada nilai MS_{error} , yaitu MS_{hitung} sebesar 0 sedangkan MS_{error} sebesar 0,01. Hal ini berarti nilai-nilai yang ada pada faktor D (tekanan *compressor*) di *pooling* menjadi satu taksiran nilai *error* (lihat Tabel 4.16). Sehingga nilai *dof* pada *error* menjadi 2, dan nilai MS_{error} menjadi 0,005. faktor D (tekanan *compressor*) di *pooling* terhadap nilai *error* karena dianggap tidak memiliki pengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead*.

5.3.9 Analisis Perhitungan F-rasio Berdasarkan Nilai Rasio S/N

Perhitungan F-rasio dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh faktor atau interaksi faktor terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead*. Penentuan ada atau tidaknya faktor atau interaksi faktor yang berpengaruh terhadap tekanan *wellhead* dilakukan berdasarkan hasil pengujian hipotesis. Pengujian hipotesis dilakukan dengan cara membandingkan nilai F_{hitung} dan F_{tabel} . Apabila nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ berarti faktor atau interaksi faktor memiliki pengaruh terhadap tekanan *wellhead*. F_{tabel} yang digunakan adalah $F_{tabel\ 0,10\ (1,2)} = 8,53$ dengan tingkat kepercayaan 90%. Hasil pengujian hipotesis pada Tabel 4.19 menyatakan bahwa faktor-faktor yang memiliki pengaruh terhadap tekanan *wellhead* adalah faktor A, faktor B, dan faktor C. Hal ini dikarenakan nilai F_{hitung} pada masing-masing faktor ini lebih besar dibandingkan dengan nilai F_{tabel} . Perbandingan nilai F_{hitung} faktor-faktor yang memiliki pengaruh terhadap tekanan *wellhead* adalah sebagai berikut (lihat Tabel 4.19):

1. F_{hitung} faktor A (banyaknya pasir) sebesar 30,00, F_{tabel} sebesar 8,53 berarti $F_{hitung} > F_{tabel}$, hal ini berarti faktor A (banyaknya pasir) memiliki pengaruh terhadap tekanan *wellhead*.
2. F_{hitung} faktor B (banyaknya cat) sebesar 20,00, F_{tabel} sebesar 8,53 berarti $F_{hitung} > F_{tabel}$, hal ini berarti faktor B (banyaknya cat) memiliki pengaruh terhadap tekanan *wellhead*.
3. F_{hitung} faktor C (ketebalan *sun blasting*) sebesar 228,00, F_{tabel} sebesar 8,53 berarti $F_{hitung} > F_{tabel}$, hal ini berarti faktor C (ketebalan *sun blasting*) memiliki pengaruh terhadap tekanan *wellhead*.

Berdasarkan nilai tersebut, maka faktor ketebalan *sun blasting* memiliki nilai terbesar yaitu sebesar 228,00. Hal ini berarti bahwa faktor ketebalan *sun blasting* memiliki pengaruh signifikan terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* dibandingkan dengan faktor dan interaksi faktor lainnya.

5.3.10 Analisis Perhitungan Persentase Kontribusi Berdasarkan Nilai Rasio S/N

Perhitungan persentase kontribusi dilakukan untuk melihat seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor dan interaksi faktor terhadap tekanan *wellhead*. Perhitungan persentase kontribusi tidak dilakukan terhadap faktor D (tekanan *compressor*) karena sudah dilakukan *pooling* menjadi suatu taksiran *error*. Hasil perhitungan persentase kontribusi berdasarkan nilai rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.30. Berdasarkan Tabel 4.30 faktor dan interaksi faktor yang menghasilkan nilai persentase kontribusi dari yang tertinggi sampai terendah adalah sebagai berikut:

1. Faktor C (ketebalan *sun blasting*) dengan nilai persentase kontribusi sebesar 77,21%.
2. Faktor A (banyaknya pasir) dengan nilai persentase kontribusi sebesar 9,86%.
3. Faktor B (banyaknya cat) dengan nilai persentase kontribusi sebesar 6,46%.
4. Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) dengan nilai persentase kontribusi sebesar 2,38%.
5. Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) dengan nilai persentase kontribusi sebesar 1,70%.

Berdasarkan nilai tersebut, didapatkan bahwa faktor ketebalan *sun blasting* memberikan kontribusi paling besar terhadap tekanan yang dihasilkan *wellhead* yaitu sebesar 77,21%. Hal ini berarti faktor ketebalan *sun blasting* memberikan pengaruh signifikan terhadap tekanan *wellhead* apabila dibandingkan dengan faktor dan interaksi faktor lainnya.

5.4 Analisis Kombinasi Level Faktor dan Interaksi Faktor

Kombinasi level faktor dan interaksi faktor yang dapat menghasilkan tekanan *wellhead* terbaik ditentukan berdasarkan hasil perhitungan pengaruh level dari faktor dan interaksi faktor terhadap nilai rata-rata dan nilai rasio S/N (lihat Tabel 4.11 dan Tabel 4.21).

Karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah *nominal is the best* (bertujuan pada nilai tertentu), berarti kombinasi level terbaik

adalah nilai level yang mendekati nilai target yaitu sebesar 30 N/mm². Kombinasi level faktor dan interaksi faktor berdasarkan nilai rata-rata (lihat Tabel 4.11) adalah sebagai berikut:

1. Faktor A (banyaknya pasir) level 1 (3 gram) sebesar 28,13.
Faktor A (banyaknya pasir) level 2 (3,3 gram) sebesar 29,88.
2. Faktor B (banyaknya cat) level 1 (4,2 liter) sebesar 28,25.
Faktor B (banyaknya cat) level 2 (4,5 liter) sebesar 29,75.
3. Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) level 1 (3 gram dan 4,2 liter) sebesar 28,63.
Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) level 2 (3,3 gram dan 4,5 liter) sebesar 29,38.
4. Faktor C (ketebalan *sun blasting*) level 1 (1mm) sebesar 26,50.
Faktor C (ketebalan *sun blasting*) level 2 (1,5mm) sebesar 31,50.
5. Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) level 1 (3 gram dan 1 mm) sebesar 28,63.
Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) level 2 (3,3 gram dan 1,5 mm) sebesar 29,38.
6. Faktor D (tekanan *compressor*) level 1 (10 bar) sebesar 29,13.
Faktor D (tekanan *compressor*) level 2 (12 bar) sebesar 26,25.

Berdasarkan karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *nominal is the best*, maka kombinasi level untuk masing-masing faktor dan interaksi faktor adalah banyaknya pasir level 2 (3,3 gram), banyaknya cat level 2 (4,5 liter), interaksi antara banyaknya pasir dan banyaknya cat (3,3 gram dan 4,5 liter), ketebalan *sun blasting* level 2 (1,5 mm), interaksi antara banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting* (3 gram dan 1,5 mm), dan tekanan *compressor* level 1 (10 bar).

Kombinasi level faktor dan interaksi faktor berdasarkan nilai rasio S/N (lihat Tabel 4.21) adalah sebagai berikut:

1. Faktor A (banyaknya pasir) level 1 (3 gram) sebesar 14,47.
Faktor A (banyaknya pasir) level 2 (3,3 gram) sebesar 14,74.

2. Faktor B (banyaknya cat) level 1 (4,2 liter) sebesar 14,49.
Faktor B (banyaknya cat) level 2 (4,5 liter) sebesar 14,72.
3. Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) level 1 (3 gram dan 4,2 liter) sebesar 14,55.
Interaksi faktor AxB (banyaknya pasir dan banyaknya cat) level 2 (3,3 gram dan 4,5 liter) sebesar 14,66.
4. Faktor C (ketebalan *sun blasting*) level 1 (1mm) sebesar 14,23.
Faktor C (ketebalan *sun blasting*) level 2 (1,5mm) sebesar 14,98.
5. Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) level 1 (3 gram dan 1 mm) sebesar 14,54.
Interaksi faktor AxC (banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting*) level 2 (3,3 gram dan 1,5 mm) sebesar 14,67.
6. Faktor D (tekanan *compressor*) level 1 (10 bar) sebesar 14,62.
Faktor D (tekanan *compressor*) level 2 (12 bar) sebesar 14,59.

Berdasarkan karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *nominal is the best*, maka kombinasi level untuk masing-masing faktor dan interaksi faktor adalah banyaknya pasir level 2 (3,3 gram), banyaknya cat level 2 (4,5 liter), interaksi antara banyaknya pasir dan banyaknya cat (3,3 gram dan 4,5 liter), ketebalan *sun blasting* level 2 (1,5 mm), interaksi antara banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting* (3 gram dan 1,5 mm), dan tekanan *compressor* level 1 (10 bar).

5.5 Analisis Penentuan Level Terbaik

Penentuan level terbaik ditentukan berdasarkan hasil pengujian hipotesis yang telah dilakukan dengan menggunakan nilai rata-rata dan nilai rasio S/N. Hasil pengujian hipotesis dilakukan untuk menentukan faktor dan interaksi faktor yang secara signifikan mempengaruhi tekanan *wellhead*. Faktor dan interaksi faktor yang secara signifikan mempengaruhi tekanan *wellhead* berdasarkan hasil pengujian hipotesis terhadap nilai rata-rata dan nilai rasio S/N (lihat Tabel 4.19 dan Tabel 4.29) adalah sama yaitu faktor A (banyaknya pasir), faktor B (banyaknya cat), dan faktor C (ketebalan *sun blasting*).

Penentuan level terbaik terhadap faktor A, faktor B, dan faktor C ditentukan berdasarkan nilai level tertinggi yang dihasilkan oleh masing-masing faktor dan interaksi faktor berdasarkan hasil perhitungan pengaruh level dari faktor. Penentuan level terbaik untuk faktor dan interaksi faktor yang secara signifikan mempengaruhi tekanan *wellhead* berdasarkan pengujian hipotesis terhadap nilai rata-rata (lihat Tabel 4.11) adalah sebagai berikut:

1. Faktor A (banyaknya pasir) level 1 (3 gram) sebesar 28,13.
Faktor A (banyaknya pasir) level 2 (3,3 gram) sebesar 29,88.
2. Faktor B (banyaknya cat) level 1 (4,2 liter) sebesar 28,25.
Faktor B (banyaknya cat) level 2 (4,5 liter) sebesar 29,75.
3. Faktor C (ketebalan *sun blasting*) level 1 (1mm) sebesar 26,50.
Faktor C (ketebalan *sun blasting*) level 2 (1,5mm) sebesar 31,50.

Penentuan level terbaik untuk faktor dan interaksi faktor yang secara signifikan mempengaruhi tekanan *wellhead* berdasarkan pengujian hipotesis terhadap nilai rasio S/N (lihat Tabel 4.21) adalah sebagai berikut:

1. Faktor A (banyaknya pasir) level 1 (3 gram) sebesar 14,47.
Faktor A (banyaknya pasir) level 2 (3,3 gram) sebesar 14,74.
2. Faktor B (banyaknya cat) level 1 (4,2 liter) sebesar 14,49.
Faktor B (banyaknya cat) level 2 (4,5 liter) sebesar 14,72.
3. Faktor C (ketebalan *sun blasting*) level 1 (1mm) sebesar 14,23.
Faktor C (ketebalan *sun blasting*) level 2 (1,5mm) sebesar 14,98.

Berdasarkan karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *nominal is the best*, maka level terbaik untuk masing-masing faktor yang secara signifikan mempengaruhi tekanan *wellhead* adalah banyaknya pasir level 2 (3,3 gram), banyaknya cat level 2 (4,5 liter), dan ketebalan *sun blasting* level 2 (1,5 mm).

5.6 Analisis Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan cara mengatur nilai pada masing-masing faktor yang secara signifikan mempengaruhi tekanan *wellhead* berdasarkan level terbaik. Level terbaik untuk masing-masing faktor yang secara

signifikan mempengaruhi tekanan *wellhead* adalah banyaknya pasir level 2 (3,3 gram), banyaknya cat level 2 (4,5 liter), dan ketebalan *sun blasting* level 2 (1,5 mm).

Nilai tekanan yang dihasilkan *wellhead* pada eksperimen konfirmasi berdasarkan nilai level terbaik pada masing-masing faktor dapat dilihat pada Tabel 5.1. Banyaknya eksperimen konfirmasi yang dilakukan adalah 8, hal ini dikarenakan terbatasnya sumber daya yang disediakan oleh perusahaan. Nilai tekanan *wellhead* pada eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen	Tekanan (N/mm ²)
1	21,50
2	29,85
3	28,05
4	33,30
5	30,45
6	29,15
7	29,05
8	28,85
Jumlah	230,20
Rata-rata	28,78

(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

Nilai rata-rata eksperimen konfirmasi ($\mu_{konfirmasi}$) harus berada dalam interval kepercayaan konfirmasi. Berdasarkan Tabel 5.3 nilai $\mu_{konfirmasi}$ adalah 28,78.

- 1). Interval kepercayaan rata-rata untuk eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

$$CI = \pm \sqrt{F_{(\alpha;v1,v2)} \times MS_e \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

Berdasarkan Tabel 4.19 diketahui $F_{(0,10;1,2)} = 8,53$ dan $MS_e = 0,31$

Dimana;

r = banyaknya eksperimen konfirmasi

$n_{eff} = 3,2$ (berdasarkan nilai n_{eff} pada perhitungan interval kepercayaan yang ada pada bab 4)

$$CI = \pm \sqrt{F_{(0,10;1,2)} \times 0,31 \times \left[\frac{1}{3,2} + \frac{1}{8} \right]}$$

$$CI = \pm \sqrt{8,53 \times 0,31 \times 0,4375}$$

$$CI = \pm 1,08$$

Interval kepercayaan untuk rata-rata adalah:

$$28,78 - 1,08 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 28,78 + 1,08$$

$$27,70 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 29,86$$

- 2). Interval kepercayaan rasio S/N untuk eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut.

$$CI = \pm \sqrt{F_{(\alpha;v1,v2)} \times MS_e \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

Perhitungan rasio S/N hasil eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Lampiran H. Berdasarkan Tabel 4.29 diketahui $F_{(0,10;1,2)} = 8,53$ dan $MS_e = 0,005$

Dimana;

r = banyaknya eksperimen konfirmasi

$n_{eff} = 3,2$ (berdasarkan nilai n_{eff} pada perhitungan interval kepercayaan yang ada pada bab 4)

$$CI = \pm \sqrt{F_{(0,10;1,2)} \times 0,005 \times \left[\frac{1}{3,2} + \frac{1}{8} \right]}$$

$$CI = \pm \sqrt{8,53 \times 0,005 \times 0,4375}$$

$$CI = \pm 0,14$$

Interval kepercayaan untuk rasio S/N adalah:

$$14,56 - 0,14 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 14,56 + 0,14$$

$$14,42 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 14,70$$

Berdasarkan perhitungan interval kepercayaan terhadap nilai rata-rata dan nilai rasio S/N pada eksperimen konfirmasi, maka nilai $\mu_{konfirmasi}$ berada di dalam nilai interval kepercayaan prediksi. Pada analisis ini perbandingan interval kepercayaan menentukan diterima atau tidaknya hasil eksperimen

konfirmasi yang dibandingkan dengan prediksi interval kepercayaan. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, nilai interval kepercayaan prediksi dan interval kepercayaan konfirmasi berdasarkan rata-rata dan rasio S/N dapat dilihat pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Interval Kepercayaan Prediksi dan Konfirmasi

Perbandingan	Berdasarkan	Interval Kepercayaan	
		Nilai	Optimasi
Prediksi	Rata-rata	33,13	$33,13 \pm 0,91$
	Rasio S/N	15,24	$15,24 \pm 0,12$
Konfirmasi	Rata-rata	28,78	$28,78 \pm 1,08$
	Rasio S/N	14,56	$14,56 \pm 0,14$

(Sumber : Pengolahan Data)

Berdasarkan hasil yang didapat dari kedua interval kepercayaan tersebut maka dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Nilai interval kepercayaan prediksi berdasarkan rata-rata sebesar 33,13, dengan nilai maksimal 34,04 dan nilai minimal 32,22.
2. Nilai interval kepercayaan prediksi berdasarkan rasio S/N sebesar 15,24, dengan nilai maksimal 15,36 dan nilai minimal 15,12.
3. Nilai interval kepercayaan konfirmasi berdasarkan rata-rata sebesar 28,14, dengan nilai maksimal 29,22 dan nilai minimal 27,06.
4. Nilai interval kepercayaan konfirmasi berdasarkan rasio S/N sebesar 14,56, dengan nilai maksimal 14,70 dan nilai minimal 14,42.

Berdasarkan hasil yang didapat dari kedua interval kepercayaan tersebut maka percobaan konfirmasi dapat diterima. Hal ini dikarenakan hasil percobaan konfirmasi memiliki nilai lebih kecil dari pada prediksi yang ditentukan.

5.7 Analisis *Quality Loss Function*

Analisis *quality loss function* dilakukan untuk menentukan biaya kerugian yang dikeluarkan oleh perusahaan akibat kebocoran *wellhead*. Nilai *quality loss function* yang dikeluarkan perusahaan berdasarkan karakteristik kualitas yang digunakan yaitu *nominal is the best* adalah sebagai berikut:

$$L(y) = k (\bar{y} - m)^2$$

Dimana;

$L(y)$ = besarnya *quality loss function* (Rp)

k = koefisien biaya

m = nilai target

$\bar{y}$ = nilai rata-rata uji tekanan *wellhead* berdasarkan eksperimen konfirmasi

Dari hasil eksperimen konfirmasi, dapat diketahui:

k = Rp 510.000/unit (lihat Tabel 4.5)

m = 30 (berdasarkan nilai target yang dituju)

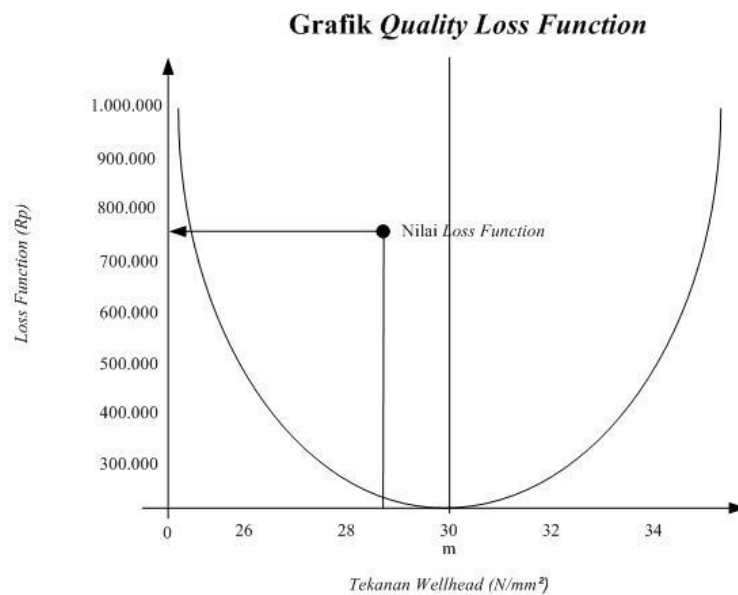
$\bar{y}$ = 28,78, maka

$$L(y) = k (\bar{y} - m)^2$$

$$L(y) = \text{Rp } 510.000 (28,78 - 30)^2$$

$$L(y) = \text{Rp } 510.000 (1,49)$$

$$L(y) = \text{Rp } 759.900$$



Gambar 5.3 Grafik *Quality Loss Function*
(Sumber : Pengolahan Data)

Gambar 5.3 menunjukkan besarnya *quality loss function* yang dikeluarkan oleh perusahaan akibat kebocoran *wellhead*. Besarnya *quality loss function* yang dikeluarkan oleh perusahaan akibat kebocoran *wellhead* berdasarkan Gambar 5.3 adalah sebesar Rp 759.900

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang didapatkan untuk menjawab tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kebocoran produk *wellhead* adalah banyaknya pasir, banyaknya cat, ketebalan *sun blasting*, dan tekanan *compressor*.
2. Kombinasi level dari masing-masing faktor yang dapat menghasilkan kualitas *wellhead* terbaik adalah banyaknya pasir level 2 (3,3 gram), banyaknya cat level 2 (4,5 liter), interaksi antara banyaknya pasir dan banyaknya cat (3,3 gram dan 4,5 liter), ketebalan *sun blasting* level 2 (1,5 mm), interaksi antara banyaknya pasir dan ketebalan *sun blasting* (3 gram dan 1,5 mm), dan tekanan *compressor* level 1 (10 bar).
3. *Setting* level terbaik dari faktor yang secara signifikan dapat mencegah kebocoran *wellhead* adalah banyaknya pasir level 2 (3,3 gram), banyaknya cat level 2 (4,5 liter), dan ketebalan *sun blasting* level 2 (1,5 mm).
4. Besarnya *quality loss function* berdasarkan fungsi biaya kerugian yang dikeluarkan oleh perusahaan akibat kebocoran *wellhead* sebesar Rp 759.900

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, maka saran yang dapat diberikan kepada PT Bima Drilling Tools adalah sebagai berikut:

1. PT Bima Drilling Tools sebaiknya memperhatikan faktor-faktor yang dapat menyebabkan kebocoran pada produk *wellhead* seperti banyaknya pasir, banyaknya cat, ketebalan *sun blasting*, dan tekanan *compressor*.
2. PT Bima Drilling Tools sebaiknya menerapkan hasil penelitian agar kualitas produk *wellhead* menjadi lebih baik, sehingga kebocoran *wellhead* dapat dicegah.

3. PT Bima Drilling Tools harus mencegah kebocoran yang terjadi pada *wellhead*, agar perusahaan tidak perlu mengeluarkan biaya kerugian akibat kebocoran produk *wellhead*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, Dorothea Wahyu. 2004. Pengendalian Kualitas Statistik (Pendekatan Kuantitatif dalam Manajemen Kualitas Statistik). ANDI. Yogyakarta.
- Kaban, Rendy. 2014. Pengendalian Kualitas Kemasan Plastik *Pouch* Menggunakan *Statistical Process Control* di PT Incasi Raya Padang. Padang. Universitas Andalas.
- Nisak, Fitrotun. 2013. Analisis Pengendalian Mutu Produk Menggunakan *Statistical Process Control* Studi Kasus PT Mitratani 27 Jember. Jember. Universitas Jember.
- Soejanto, Irwan. 2002. Rancangan Eksperimen. Yayasan Humaniora. Yogyakarta.
- Soejanto, Irwan. 2009. Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Tjiptono, Fandy dan Diana, Anastasia. 2002. *Total Quality Management*. Andi. Yogyakarta.
- Wahyuni, H.C, Wiwik Sulistiyowati, dan Muhammad Khamim. 2015. Pengendalian Kualitas. Graha Ilmu. Yogyakarta.

LAMPIRAN

A

Perhitungan Level dari Faktor Berdasarkan Rata-rata

1. Faktor A

$$\text{Faktor } \bar{A}_1 = \frac{24,50+29,50+26,00+32,50}{4} = \frac{112,50}{4} = 28,13$$

$$\text{Faktor } \bar{A}_2 = \frac{27,50+31,50+28,00+32,50}{4} = \frac{119,50}{4} = 29,88$$

2. Faktor B

$$\text{Faktor } \bar{B}_1 = \frac{24,50+29,50+27,50+31,50}{4} = \frac{113,00}{4} = 28,25$$

$$\text{Faktor } \bar{B}_2 = \frac{26,00+32,50+28,00+32,50}{4} = \frac{119,00}{4} = 29,75$$

3. Faktor AxB

$$\text{Faktor } \overline{AxB}_1 = \frac{24,50+29,50+28,00+32,50}{4} = \frac{114,50}{4} = 28,63$$

$$\text{Faktor } \overline{AxB}_2 = \frac{26,00+32,50+27,50+31,50}{4} = \frac{117,50}{4} = 29,38$$

4. Faktor C

$$\text{Faktor } \bar{C}_1 = \frac{24,50+26,00+27,50+28,00}{4} = \frac{106,00}{4} = 26,50$$

$$\text{Faktor } \bar{C}_2 = \frac{29,50+32,50+31,50+32,50}{4} = \frac{126,00}{4} = 31,50$$

5. Faktor AxC

$$\text{Faktor } \overline{Ax\bar{C}}_1 = \frac{24,50+26,00+31,50+32,50}{4} = \frac{114,50}{4} = 28,63$$

$$\text{Faktor } \overline{Ax\bar{C}}_2 = \frac{29,50+32,50+27,50+28,00}{4} = \frac{117,50}{4} = 29,38$$

6. Faktor D

$$\text{Faktor } \bar{D}_1 = \frac{24,50+32,50+31,50+28,00}{4} = \frac{116,50}{4} = 29,13$$

$$\text{Faktor } \bar{D}_2 = \frac{29,50+26,00+27,50+32,50}{4} = \frac{115,50}{4} = 28,88$$

LAMPIRAN B

Perhitungan Jumlah Kuadrat (*Sum of Square*) Berdasarkan Rata-rata

1. Faktor A

$$SS_A = \frac{112,50^2}{4} + \frac{119,50^2}{4} - \frac{(112,50+119,50)^2}{8}$$

$$SS_A = 3146,06 + 3570,06 - 6728,00$$

$$SS_A = 6,13$$

2. Faktor B

$$SS_B = \frac{113,00^2}{4} + \frac{119,00^2}{4} - \frac{(113,00+119,00)^2}{8}$$

$$SS_B = 3192,25 + 3540,25 - 6728,00$$

$$SS_B = 4,50$$

3. Interaksi AxB

$$SS_{AxB} = \frac{114,50^2}{4} + \frac{117,50^2}{4} - \frac{(114,50+117,50)^2}{8}$$

$$SS_{AxB} = 3277,56 + 3451,56 - 6728,00$$

$$SS_{AxB} = 1,13$$

4. Faktor C

$$SS_C = \frac{106,00^2}{4} + \frac{126,00^2}{4} - \frac{(106,00+126,00)^2}{8}$$

$$SS_C = 2809,00 + 3969,00 - 6728,00$$

$$SS_C = 50,00$$

5. Interaksi Faktor AxC

$$SS_{AxC} = \frac{114,50^2}{4} + \frac{117,50^2}{4} - \frac{(114,50+117,50)^2}{8}$$

$$SS_{AxC} = 3277,56 + 3451,56 - 6728,00$$

$$SS_{AxC} = 1,13$$

6. Faktor D

$$SS_D = \frac{116,50^2}{4} + \frac{115,50^2}{4} - \frac{(116,50+115,50)^2}{8}$$

$$SS_D = 3393,06 + 3335,06 - 6728,00$$

$$SS_D = 0,13$$

LAMPIRAN C

Perhitungan Rasio S/N

1. Eksperimen 1

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{24,50^2}{24,50} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log (24,50)$$

$$\text{Rasio S/N} = 13,89$$

2. Eksperimen 2

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{29,50^2}{29,50} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log (29,50)$$

$$\text{Rasio S/N} = 14,70$$

3. Eksperimen 3

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{26,00^2}{26,00} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log (26,00)$$

$$\text{Rasio S/N} = 14,15$$

4. Eksperimen 4

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{32,50^2}{32,50} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log (32,50)$$

$$\text{Rasio S/N} = 15,12$$

5. Eksperimen 5

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{27,50^2}{27,50} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log (27,50)$$

$$\text{Rasio S/N} = 14,39$$

6. Eksperimen 6

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{31,50^2}{31,50} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log (31,50)$$

$$\text{Rasio S/N} = 14,98$$

7. Eksperimen 7

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{28,00^2}{28,00} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log (28,00)$$

$$\text{Rasio S/N} = 14,47$$

8. Eksperimen 8

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log \left(\frac{32,50^2}{32,50} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = 10\log (32,50)$$

$$\text{Rasio S/N} = 15,12$$

LAMPIRAN D

Perhitungan Level dari Faktor Berdasarkan Rasio S/N

1. Faktor A

$$\text{Faktor } \bar{A}_1 = \frac{13,89+14,70+14,15+15,12}{4} = \frac{57,86}{4} = 14,47$$

$$\text{Faktor } \bar{A}_2 = \frac{14,39+14,98+14,47+15,12}{4} = \frac{58,96}{4} = 14,74$$

2. Faktor B

$$\text{Faktor } \bar{B}_1 = \frac{13,89+14,70+14,39+14,98}{4} = \frac{57,96}{4} = 14,49$$

$$\text{Faktor } \bar{B}_2 = \frac{14,15+15,12+14,47+15,12}{4} = \frac{58,86}{4} = 14,72$$

3. Interaksi Faktor AxB

$$\text{Faktor } \overline{AB}_1 = \frac{13,89+14,70+14,47+15,12}{4} = \frac{58,18}{4} = 14,55$$

$$\text{Faktor } \overline{AB}_2 = \frac{14,15+15,12+14,39+14,98}{4} = \frac{58,64}{4} = 14,66$$

4. Faktor C

$$\text{Faktor } \overline{C}_1 = \frac{13,89+14,15+14,39+14,47}{4} = \frac{56,90}{4} = 14,23$$

$$\text{Faktor } \overline{C}_2 = \frac{14,70+15,12+14,98+15,12}{4} = \frac{59,92}{4} = 14,98$$

5. Interaksi Faktor Ax C

$$\text{Faktor } \overline{AC}_1 = \frac{13,89+14,15+14,98+15,12}{4} = \frac{58,14}{4} = 14,54$$

$$\text{Faktor } \overline{AC}_2 = \frac{14,70+15,12+14,39+14,47}{4} = \frac{58,68}{4} = 14,67$$

6. Faktor D

$$\text{Faktor } \overline{D}_1 = \frac{13,89+15,12+14,98+14,47}{4} = \frac{58,46}{4} = 14,62$$

$$\text{Faktor } \overline{D}_2 = \frac{14,70+14,15+14,39+15,12}{4} = \frac{58,36}{4} = 14,59$$

LAMPIRAN E

Perhitungan Jumlah Kuadrat (*Sum of Square*) Berdasarkan Rasio S/N

1. Faktor A

$$SS_A = \frac{57,86^2}{4} + \frac{58,96^2}{4} - \frac{(57,86+58,96)^2}{8}$$

$$SS_A = 836,94 + 869,07 - 1705,86$$

$$SS_A = 0,15$$

2. Faktor B

$$SS_B = \frac{57,96^2}{4} + \frac{58,86^2}{4} - \frac{(57,96+58,86)^2}{8}$$

$$SS_B = 839,84 + 866,12 - 1705,86$$

$$SS_B = 0,10$$

3. Interaksi AxB

$$SS_{AxB} = \frac{58,18^2}{4} + \frac{58,64^2}{4} - \frac{(58,18+58,64)^2}{8}$$

$$SS_{AxB} = 846,23 + 859,66 - 1705,86$$

$$SS_{AxB} = 0,03$$

4. Faktor C

$$SS_C = \frac{56,90^2}{4} + \frac{59,92^2}{4} - \frac{(56,90+59,92)^2}{8}$$

$$SS_C = 809,40 + 897,60 - 1705,86$$

$$SS_C = 1,14$$

5. Interaksi Faktor AxC

$$SS_{AxC} = \frac{58,14^2}{4} + \frac{58,68^2}{4} - \frac{(58,14+58,68)^2}{8}$$

$$SS_{AxC} = 845,06 + 860,84 - 1705,86$$

$$SS_{AxC} = 0,04$$

6. Faktor D

$$SS_D = \frac{58,46^2}{4} + \frac{58,36^2}{4} - \frac{(58,46+58,36)^2}{8}$$

$$SS_D = 854,39 + 851,47 - 1705,86$$

$$SS_D = 0,00$$

LAMPIRAN F

Perhitungan Persentase Kontribusi Berdasarkan Rata-rata

1. Faktor A

$$SS'_A = SS_A - MS_{error} (dof_A)$$

$$SS'_A = 6,13 - 0,31(1)$$

$$SS'_A = 5,82$$

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

$$\rho_A = \frac{5,82}{63,50} \times 100\%$$

$$\rho_A = 9,17\%$$

2. Faktor B

$$SS'_B = SS_B - MS_{error} (dof_B)$$

$$SS'_B = 4,50 - 0,31(1)$$

$$SS'_B = 4,19$$

$$\rho_B = \frac{SS'_B}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho_B = \frac{4,19}{63,50} \times 100\%$$

$$\rho_B = 6,60\%$$

3. Interaksi Faktor AxB

$$SS'_{AxB} = SS_{AxB} - MS_{error} (dof_{AxB})$$

$$SS'_{AxB} = 1,13 - 0,31(1)$$

$$SS'_{AxB} = 0,82$$

$$\rho_{AxB} = \frac{SS'_{AxB}}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho_{AxB} = \frac{0,82}{63,50} \times 100\%$$

$$\rho_{AxB} = 1,29\%$$

4. Faktor C

$$SS'_C = SS_C - MS_{error} (dof_C)$$

$$SS'_C = 50,00 - 0,31(1)$$

$$SS'_C = 49,69$$

$$\rho_C = \frac{SS'_C}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho_C = \frac{49,69}{63,50} \times 100\%$$

$$\rho_C = 78,25\%$$

5. Interaksi Faktor AxC

$$SS'_{AxC} = SS_{AxC} - MS_{error} (dof_{AxC})$$

$$SS'_{AxC} = 1,13 - 0,31(1)$$

$$SS'_{AxC} = 0,82$$

$$\rho_{AxC} = \frac{SS'_{AxC}}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho_{\text{AxC}} = \frac{0,82}{63,50} \times 100\%$$

$$\rho_{\text{AxC}} = 1,29\%$$

LAMPIRAN G

Perhitungan Persentase Kontribusi Berdasarkan Rasio S/N

1. Faktor A

$$SS'_A = SS_A - MS_{error} (dof_A)$$

$$SS'_A = 0,15 - 0,005(1)$$

$$SS'_A = 0,145$$

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

$$\rho_A = \frac{0,145}{1,47} \times 100\%$$

$$\rho_A = 9,86\%$$

2. Faktor B

$$SS'_B = SS_B - MS_{error} (dof_B)$$

$$SS'_B = 0,10 - 0,005(1)$$

$$SS'_B = 0,095$$

$$\rho_B = \frac{SS'_B}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho_B = \frac{0,095}{1,47} \times 100\%$$

$$\rho_B = 6,46\%$$

3. Interaksi Faktor AxB

$$SS'_{AxB} = SS_{AxB} - MS_{error} (dof_{AxB})$$

$$SS'_{AxB} = 0,03 - 0,005(1)$$

$$SS'_{AxB} = 0,025$$

$$\rho_{AxB} = \frac{SS'_{AxB}}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho_{AxB} = \frac{0,025}{1,47} \times 100\%$$

$$\rho_{AxB} = 1,70\%$$

4. Faktor C

$$SS'_C = SS_C - MS_{error} (dof_C)$$

$$SS'_C = 1,14 - 0,005(1)$$

$$SS'_C = 1,135$$

$$\rho_C = \frac{SS'_C}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho_C = \frac{1,135}{1,47} \times 100\%$$

$$\rho_C = 77,21\%$$

5. Interaksi Faktor AxC

$$SS'_{AxC} = SS_{AxC} - MS_{error} (dof_{AxC})$$

$$SS'_{AxC} = 0,04 - 0,005(1)$$

$$SS'_{AxC} = 0,035$$

$$\rho_{AxC} = \frac{SS'_{AxC}}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho_{\text{AxC}} = \frac{0,035}{1,47} \times 100\%$$

$$\rho_{\text{AxC}} = 2,38\%$$

LAMPIRAN H

Perhitungan Rasio S/N Hasil Eksperimen Konfirmasi

Hasil eksperimen konfirmasi dihitung nilai rata-ratanya dan kemudian ditransformasikan ke dalam bentuk rasio S/N. Hasil eksperimen konfirmasi dapat dilihat berdasarkan Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Hasil Eksperimen Konfirmasi

Sampel	Hasil Eksperimen (N/mm ²)	Rasio S/N
1	21,50	13,32
2	29,85	14,75
3	28,05	14,48

4	33,30	15,22
5	30,45	14,84
6	29,15	14,65
7	29,05	14,63
8	28,85	14,60
Jumlah	230,20	116,49
Rata-rata	28,78	14,56

(Sumber : PT Bima Drilling Tools)

$$\text{Rasio S/N} = \frac{1}{n} \left(\sum 10 \log \frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$$

$$\text{Rasio S/N} = \frac{1}{8} (13,32 + 14,75 + 14,48 + 15,22 + 14,84 + 14,65 + 14,63 + 14,60)$$

$$\text{Rasio S/N} = \frac{1}{8} (116,49)$$

$$\text{Rasio S/N} = 14,56$$

LAMPIRAN I

LAMPIRAN J