

**LAPORAN PENELITIAN
DOSEN MUDA**



**RANCANGAN FURAN DENGAN METODE ANALYSIS
HIERARCY PROCESS DAN TAGUCHI MULTIRESPON
PADA INDUSTRI PEGECORAN LOGAM**

OLEH :

Ir. AMRU SIREGAR, MT.

**DIBIYAI DIPA
NOMOR: 0188.0/023-04.0/II/2008
KOORDINASI PERGURUAN TINGGI SWASTA WILAYAH I
MEDAN
2008**

LAPORAN PENELITIAN DOSEN MUDA

1. a. Judul Penelitian : RANCANGAN FURAN DENGAN METODE ANALYSIS HIERARCY PROCESS DAN TAGUCHI MULTIRESPON PADA INDUSTRI PEGECORAN LOGAM
- b. Bidang ilmu : Ilmu Teknik
- c. Kategori Penelitian : Pengembangan Lembaga
2. Ketua Peneliti :
 - a. Nama : Amru Sireagar, Ir.MT.
 - b. Jenis Kelamin : Laki-Laki
 - c. Gol/Pangkat/NIP : III-c/Penata/131.996.163
 - d. Jabatan fungsional : Lektor
 - e. Fakultas/Jurusan : Teknik/Mesin
 - f. Pusat Penelitian : Laboratorium Fakultas Teknik UMA
3. Alamat Ketua Peneliti :
 - a. Alamat Kantor/Telp. : Jl.Kolam No.1 Medan Estate, Telp.7357771
 - b. Alamat Rumah/Telp. : Jl.Bersama Gg.Matahari No.26 Telp. 7351985
4. Lokasi Penelitian : Laboratorium Fak. Teknik .UMA dan Kawasan Industri Medan
5. Lama Penelitian : Seratus hari kelender (20 Maret 20 Juni 2008)
6. Biaya Penelitian : DIPA Koordinator Perguruan Tinggi Swasta Wilayah I Sumatra Utara & NAD tahun 2008
7. Besar Biaya Penelitian : Rp. 5.500.000,- (lima juta lima ratus ribu rupiah)

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik UMA



(Drs. Dadan Ramdan, M.Eng. Msc.)

Peneliti

(Ir. Amru Sireagar, MT.)

Mengetahui
Ketua Lembaga Penelitian UMA

(Ir. Roeswandi)

KATA PENGANTAR

Dengan rasa syukur kehadiran Allah SWT. yang Maha Pengasih dan Penyayang atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

Penelitian ini merupakan salah satu Penelitian Dosen Muda yang dibiayai oleh DIPA Kopertis Wilayah I, tahun anggaran 2008. Penelitian ini merupakan suatu sarana untuk melatih penulis untuk meneliti faktor-faktor yang mempengaruhi sifat-sifat furan. Dari hasil penelitian ini kemungkinan penulis dapat memperdalam kajian-kajian lebih lanjut tentang pengecoran, khususnya tentang cetakan pasir.

Atas selesainya penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada :

- a. Bapak Koordinator Kopertis Wilayah I di Medan.
- b. Bapak/Ibu Ketua Lembaga Penelitian UMA.
- c. Bapak Dekan Fak.Teknik UMA.
- d. Rekan-rekan yang telah memberi bantuan dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan ini.

Atas semua bantuan dan jerih payahnya selama pelaksanaan penelitian ini, mudah-mudahan Allah SWT. memberi imbalan yang berlipat ganda, Amiin.

Medan, Juli 2008

Penulis

ABSTRAK

Pembuatan furan digunakan bahan-bahan pasir Silika, Resin dan Katalis, biasanya timbul beberapa permasalahan seperti kadar air tinggi, kadar asam tinggi, kadar *clay* tinggi, distribusi tidak sesuai, permeabilitas rendah/sulit. Dari beberapa permasalahan tersebut mengakibatkan kekuatan furan tidak sesuai dengan target yang telah ditetapkan sehingga furan mudah rontok atau rapuh, retak-retak dan tidak tahan terhadap temperatur tinggi serta kekuatan rendah.

Karakteristik dan komposisi yang tepat dari bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan furan sangat berperan dalam menentukan kualitas furan. Pengumpulan data tentang karakteristik dan prioritas serta tingkat kepentingan dan kelayakan furan dilakukan dengan penyebaran kuesioner dan wawancara langsung kepada pihak yang berkompeten. Data-data tentang identifikasi faktor dan proses produksi dilakukan dengan interview dan penyebaran kuesioner serta observasi kemudian dilakukan eksperimen. Metode yang digunakan untuk menentukan karakteristik bahan dalam rancangan furan dilakukan pemilihan alternatif jenis Resin, Katalis dan pasir Silika dengan performansi tinggi adalah Proses Hirarki Analitis. Sedangkan untuk menentukan setting parameter yang tepat dan nilai taksiran optimal untuk mendapatkan kekuatan tekan dan kekuatan geser secara serentak, digunakan Metode Taguchi Multirespon dengan menerapkan prosedur TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*).

Alternatif 7 sebagai alternatif terpilih ternyata mempunyai performansi dan bobot yang lebih tinggi dibandingkan desain awal dan alternatif yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi Resin Fosco, Katalis Fosco dan Pasir campuran merupakan karakteristik bahan yang mempunyai performansi tertinggi yang meliputi kriteria kadar air, kemudahan operasi, biaya operasi, kadar *clay* serta distribusi yang cocok. Kriteria-kriteria tersebut, dapat mempengaruhi kekuatan tekan dan kekuatan geser furan. Berdasarkan *analysis of variance* (ANOVA) dapat diketahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon kekuatan tekan dan kekuatan geser yaitu Resin, Katalis, pasir Silika serta interaksi antara Resin dan pasir Silika.

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah kombinasi optimal berdasarkan nilai TOPSIS terbesar yaitu A1 B2 C3 dengan komposisi Resin 1.3%, Katalis 22.5% dan pasir baru 15% + pasir *reclaim* 85%. Besarnya koefisien *loss function* respon kekuatan tekan adalah 4.611,11 dan 10.375 untuk respon kekuatan geser. Dalam aplikasinya 1 ton pasir mampu menghasilkan 10 unit *moulding brake drum* dengan *loss-by dispersion* sebesar Rp.126.851,489 untuk kekuatan tekan dan Rp. 155.913,84 untuk kekuatan geser. Peningkatan kualitas yang diperoleh berdasarkan percobaan konfirmasi adalah 0.1018 untuk kekuatan tekan dan 0.2339 untuk kekuatan geser. Nilai S/N yang diperoleh pada percobaan konfirmasi untuk respon kekuatan tekan adalah 20.5817 dan 23.0480 dimana kedua nilai tersebut berada dalam batas interval kepercayaan yang ditentukan, hal ini menunjukkan bahwa prosedur TOPSIS telah mampu meningkatkan kualitas furan untuk kedua respon yaitu respon kekuatan tekan dan kekuatan geser secara serentak dalam satu setting parameter.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	3
1.6. Batasan Masalah	4
1.7. Asumsi	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1. Furan	5
2.1.1. Syarat-Syarat Furan	5
2.1.2. Macam Furan	6
2.1.3. Susunan Furan	7
2.1.4. Sifat-Sifat Furan	11
2.1.5. Mempersiapkan Furan	14
2.1.6. Pengujian Furan	16
2.2. Analysis Hierarchy Process	17
2.2.1. Langkah-langkah Proses Hirarki Analitis	18
2.2.2. Pengukuran Data dengan Skala Likert	20
2.2.3. Pengukuran Data dengan Skala Pembobotan	21
2.3. Tinjauan Statistika	21
2.3.1. Rancangan Faktorial Lengkap 3^k	22
2.3.2. Rancangan Faktorial Sebagian 3^{k-p}	22
2.3.3. Metode Taguchi	23
2.3.4. Prinsip Kerja Metode Taguchi	28
2.3.5. Analisis of Varian (ANOVA)	35
2.3.6. Prosedur Penggabungan (Pooling) Efek Faktor	37
2.3.7. Persen Kontribusi	38
2.3.8. Kondisi Optimum Respon	38
2.3.9. Prosedur TOPSIS Pada Problematika Taguchi Multirespon	39
2.3.10. Interval Kepercayaan	41
2.3.11. Analisis Residual	41

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Identifikasi Masalah	44
3.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian	45
3.3. Tinjauan Kepustakaan	45
3.4. Observasi Proses Produksi dan Kuesioner	45
3.5. Diagram Ishikawa	46
3.6. Pemunculan Kreativitas	46
3.7. Perankingan dan Solusi Terbaik	46
3.8. Perumusan Karakteristik Kualitas	47
3.9. Penetapan Desain Eksperimen	47
3.10. Pemilihan Array Orthogonal	48
3.11. Percobaan	49
3.12. Analisis Data	49
3.13. Percobaan Konfirmasi	49
3.14. Kesimpulan dan Saran	49

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Gambaran Umum Proses Pembuatan Furan	50
4.1.1. Tahap Persiapan	50
4.1.2. Proses Pembuatan Furan	51
4.1.3. Pengujian Kekuatan Furan	52
4.2. Pengumpulan Data Pada Metode Analysis Hierarchy Process	53
4.2.1. Tahap Informasi	53
4.2.2. Pemunculan Kreativitas	54
4.3. Pengolahan Data	55
4.3.1. Analisis Keuntungan-Kerugian	55
4.3.2. Matriks Kelayakan	61
4.3.3. Matriks Evaluasi	62
4.3.4. Pembobotan Kriteria	63
4.3.5. Penyusunan Struktur Hirarki	63
4.3.6. Hasil Matriks Perbandingan Berpasangan	63
4.3.7. Analisis Sensitivitas	64
4.3.8. Ringkasan Bobot Kriteria dan Alternatif	64
4.3.9. Perhitungan Performansi	65
4.3.10. Tahap Pengembangan	65
4.4. Pengumpulan Data Pada Metode taguchi Multirespon	66
4.4.1. Variabel-variabel Eksperimen	66
4.4.2. Data Percobaan	66
4.4.3. Pemilihan Orthogonal Array Percobaan Utama	67
4.5. Pengolahan Data Dengan Taguchi Multirespon	68
4.5.1. Pengaruh Faktor Terhadap Respon Kekuatan Tekan Furan	69
4.5.2. Pengaruh Faktor Terhadap Respon Kekuatan Geser	75
4.6. Penerapan Prosedur TOPSIS Pada Rancangan Furan	80

4.6.1. Transformasi Tingkat Kepentingan Tiap Respon dalam Bentuk Fuzzy	80
4.6.2. Perhitungan Quality Loss	81
4.6.3. Kombinasi Optimum	82
4.6.4. Percobaan Konfirmasi	84

BAB V ANALISIS DATA DAN INTERPRETASI HASIL

5.1. Analisis dan Interpretasi pada Metode Proses Hirarki Analitis	86
5.1.1. Analisis Keuntungan-Kerugian	86
5.1.2. Matriks Kelayakan	86
5.1.3. Matriks Evaluasi	86
5.1.4. Penyusunan Hirarki	87
5.1.5. Matriks Perbandingan Berpasangan	87
5.1.6. Pembobotan	88
5.1.7. Analisis Sensitivitas	88
5.2. Analisis dan Interpretasi Pada Metode Taguchi Multirespon	89
5.2.1. Analisis variansi (ANOVA)	89
5.2.2. Persen Kontribusi	91
5.2.3. Kondisi Optimum	91
5.2.4. Confidence Interval	92
5.2.5. Analisis Residual	92
5.2.6. Prosedur TOPSIS	94
5.2.7. Percobaan Konfirmasi	95

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan	96
6.2. Saran	97

DAFTAR PUSTAKA	98
-----------------------	-----------



DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 3.1. Diagram alir metode penelitian	44
2. Gambar 4.1. Plot pangaruh faktor utama kekuatan tekan furan	72
3. Gambar 4.2. Interaksi plot S/N kekuatan tekan furan	72
4. Gambar 4.3. Plot pengaruh faktor utama kekuatan geser furan	77
5. Gambar 4.4. Plot pengaruh interaksi AxC	79
6. Gambar 4.5. Pengaruh factor utama terhadap nilai TOPSIS	83

DAFTAR TABEL

1. Tabel 2.1. Temperatur penuangan untuk berbagai coran	6
2. Tabel 2.2. Skala penilaian perbandingan berpasangan	17
3. Tabel 2.3. Matriks perbandingan berpasangan	19
4. Tabel 2.4. Indeks random	20
5. Tabel 2.5. Anova dua arah	35
6. Tabel 3.1. Penetapan level factor	47
7. Tabel 4.1. Alternatif kombinasi furan	54
8. Tabel 4.2. Data penilaian penentuan	56
9. Tabel 4.3. Penentuan tingkat kepentingan untuk tiap criteria	57
10. Tabel 4.4. Analisa keuntungan kerugian	58
11. Tabel 4.5. Hasil penilaian Matrik kelayakan	61
12. Tabel 4.6. Hasil akhir penilaian matrik evaluasi	62
13. Tabel 4.7. Bobot pada criteria terhadap tujuan	64
14. Tabel 4.8. bobot pada alternative terhadap criteria	64
15. Tabel 4.9. Nilai performasi tiap alternative	65
16. Tabel 4.10 Rancangan OA I.27	69
17. Tabel 4.11. Anova rasio S ² /N kekuatan tekan furan	70
18. Tabel 4.12. persen kontribusi kekuatan tekan furan	71
19. Tabel 4.13. ANOVA kekuatan geser furan	75
20. Tabel 4.14. Persen kontribusi kekuatan tekan geser furan	76
21. Tabel 4.15. Nilai TOPSIS	83
22. Tabel 4.16. Pengaruh factor utama terhadap nilai TOPSIS	84
23. Tabel 4.17. Hasil percobaan konfirmasi	84

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Industri pengecoran di Indonesia berkembang cukup pesat. Hal ini terbukti dengan pembuatan mesin-mesin dan benda-benda coran yang bersifat lokal maupun ekspor. Adanya tuntutan permintaan yang bervariasi terhadap penggunaan benda coran dari pihak konsumen, maka pihak industri pengecoran berusaha untuk memenuhi permintaan tersebut sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan dan kualitas yang terjamin agar dapat mencapai target serta dapat bersaing dengan produk coran buatan luar negeri. Dalam mewujudkan realita tersebut terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas coran diantaranya furan. Furan adalah pasir silika yang mempunyai kadar SiO_2 dan titik lebur tinggi serta telah mengalami proses perawatan untuk mencapai keasaman yang rendah, kadar *clay* rendah, *PH balance*, *L.O.I (Loss On Ignition)* rendah, ukuran distribusi sesuai, bersih dan kadar air rendah

Perusahaan Pengecoran Logam merupakan cikal bakal industri berat di Indonesia yang bergerak dalam bidang industri pengecoran dan permesinan. Divisi ini memproduksi rangka baja berat, bejana tekan, *heat exchanger*, *part machinery*, *brake drum*, *brake shoe*, *mill roll*, *cylinder block* dan jenis pengecoran lain yang bentuknya kompleks maupun yang sederhana. Sebagai industri berat Perusahaan Pengecoran dalam menjalankan proses produksinya selalu menekankan pada pelayanan konsumen dengan cepat dan tepat waktu seiring dengan kualitas produk yang dihasilkan.

Beberapa permasalahan yang dialami Perusahaan Pengecoran Logam khususnya bagian *foundry* adalah timbulnya cacat dari hasil coran. Penyebab dari cacat tersebut adalah furan yang digunakan disamping *pattern/pola* yang dibuat, *melting*, *gating system*, *pouring*, kinerja operator dan mesin-mesin yang digunakan. Faktor penyebab yang lain adalah pemakaian komposisi yang tidak tepat dari Resin, Katalis dan Pasir Silika, sehingga furan menjadi rapuh atau mudah rontok karena kekuatannya rendah. Dengan demikian akan menimbulkan kerugian biaya produksi. Cacat lain yang terjadi pada furan adalah timbulnya rongga udara, retak, permeabilitas rendah. Hal ini disebabkan kadar air tinggi, kadar asam tinggi, kadar *clay* tinggi dan

distribusi yang tidak sesuai. Cacat coran yang disebabkan oleh furan ini rata-rata 2 – 10%.

Agar kualitas produk yang dihasilkan mempunyai kualitas tinggi, maka Perusahaan Pengecoran Logam membuat standar pasir Silika yang digunakan sebagai acuan untuk membuat *moulding* adalah SiO_2 : 95%, Fe_2O_3 : 1% (maksimum), Al_2O_3 : 2% (maksimum), CaO : 1% (maksimum), MgO : 1% (maksimum).

Selain itu juga terdapat beberapa kandungan/kadar unsur atau zat lain dengan prosentase kecil yang meliputi *Clay* : 0,5% (maksimum), *Moisture* : 0,5% (maksimum), *Acid demand value* : 4 ml H_2SO_4 / 100gr dan *Loss on Ignition (L.O.I)* : 2,7% – 35%. Akan tetapi realita yang terjadi di lapangan adalah :

- a. Pada pasir baru terdapat beberapa kadar/kandungan unsur yang terdiri dari : *Clay* : 0 – 6%, *Moisture* : 0 – 10%, *Acid demand value* : 12 – 20 ml H_2SO_4 / 100gr, *Loss on Ignition (L.O.I)* : 0 – 82 %.
- b. Pada pasir *reclaim* terdapat beberapa kadar/kandungan unsur yang terdiri dari : *Moisture* : 0 – 4 % *Acid demand value* : 40 ml H_2SO_4 / 100gr, *Loss on Ignition (L.O.I)* : 3 – 48 %.
- c. Pada pasir campuran terdapat kadar/kandungan unsur yang terdiri dari : *Moisture* : 0 – 5 %, *Acid demand value* : 10 ml H_2SO_4 / 100gr, *Loss on Ignition (L.O.I)* : 3 – 54%.

Berdasarkan indikator tersebut di atas, maka perlu peningkatan kualitas furan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut di atas, dapat diterapkan metode Proses Hirarki Analitis dalam memilih karakteristik parameter yang mempunyai performansi tinggi dan prosedur TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) untuk mengoptimalkan kekuatan tekan dan kekuatan geser furan secara serentak.

1.2. Perumusan Masalah

Rancangan furan yang dilakukan selama ini belum menggunakan setting parameter yang optimal, sehingga kualitas furan yang diinginkan belum tercapai. Mengingat pentingnya kualitas furan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

*“Bagaimana kriteria dan setting parameter furan yang mempunyai performansi tinggi serta berapa nilai taksiran optimal yang bisa dicapai untuk mendapatkan kekuatan tekan (*Compression Strength*) dan kekuatan geser (*Shear Strength*) furan secara serentak dengan menekan *loss function*”?*

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan di atas, tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menemukan faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan (*Compression Strength*) dan kekuatan geser (*Shear Strength*) furan.
2. Mengevaluasi proses pemilihan alternatif kombinasi furan agar dapat membangun performansi furan.
3. Menentukan setting parameter yang tepat sehingga dapat mengoptimalkan kekuatan tekan (*Compression Strength*) dan kekuatan geser (*Shear Strength*) secara serentak.
4. Menemukan nilai taksiran optimum dari kekuatan tekan (*Compression Strength*) dan kekuatan geser (*Shear Strength*).

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah dapat menjadikan masukan bagi pihak manajemen dan *design engineering* untuk mendapatkan alternatif kombinasi dan perankingan jenis furan sehingga dapat memilih furan yang mempunyai performansi paling tinggi dengan memperhatikan kriteria Resin, Katalis dan pasir Silica baru maupun pasir *reclaim*. Bahan pembelajaran bagi mahasiswa untuk mengetahui faktor-faktor yang terjadi didalam melakukan pengujian (percobaan) dilaboratorium serta penerapan di lapangan kerja, Selain itu pihak perusahaan dapat meningkatkan kualitas furan baik berupa kekuatan tekan maupun kekuatan geser dari setting parameter yang optimal dengan meminimumkan *loss function*.

1.5. Ruang Lingkup

Penelitian ini dilakukan pada bagian furan divisi peralatan industri Perusahaan Pengecoran Logam, di Medan. Data-data yang berhubungan dengan kriteria dari

rancangan tersebut dilakukan dengan pengisian kuesioner kepada pihak-pihak yang berkompeten di bidang furan. Adapun metode yang digunakan dalam pemilihan kriteria furan adalah Proses Hirarki Analitis (AHP). Sebagai variabel respon dalam penelitian ini adalah kekuatan tekan (*Compression Strength*) dan kekuatan geser (*Shear Strength*). Faktor-faktor yang dipertimbangkan dalam rancangan furan adalah komposisi Resin, Katalis, pasir baru dan pasir *reclaim*. Pengumpulan data dilakukan dengan percobaan secara langsung dengan mengubah-ubah setting parameter (variabel bebas) dengan tiga kali replikasi. Sedangkan Pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan metode Taguchi Multirespon dengan prosedur TOPSIS. Hasil dari penelitian ini berupa suatu setting parameter yang optimal yang dijadikan dasar dalam percobaan konfirmasi.

1.6. Batasan Penelitian

Mengingat begitu kompleksnya permasalahan dan agar tujuan penelitian di atas tercapai, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan pada bagian furan untuk pembuatan *moulding* yang berasal dari Perusahaan Pengecoran Logam, di Medan, Sumatera Utara.
2. Parameter yang digunakan untuk mengetahui kualitas furan adalah kekuatan tekan (*Compression Strength*) dan kekuatan geser (*Shear Strength*).
3. Percobaan dilakukan dalam tiga level pada masing-masing faktor dengan tiga kali replikasi.
4. Penelitian dibatasi pada interaksi antar dua faktor utama.

1.7 Asumsi

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Pekerja dalam membuat produk furan dalam keadaan normal (sehat jasmani rohani).
2. Bahan baku yang diolah untuk pembuatan furan selalu tersedia.
3. Peralatan yang digunakan untuk pembuatan furan dalam keadaan yang normal sehingga menghasilkan furan yang berkualitas.
4. Faktor-faktor *noise* seperti temperatur udara dan kelembaban udara diasumsikan konstan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Furan

Furan yang berkualitas adalah pasir silika yang mempunyai kadar SiO_2 dan titik lebur tinggi serta telah mengalami proses perawatan untuk mencapai keasaman yang rendah, *clay* rendah, *PH balance*, *L.O.I (Loss on Ignition)* rendah, ukuran distribusi sesuai, bersih dan kadar air rendah. Furan ini digunakan untuk membuat cetakan atau *moulding* pada benda-benda yang akan dicor.

2.1.1. Syarat-Syarat Furan

Furan memerlukan sifat-sifat yang memenuhi persyaratan sebagai berikut :

a. Mempunyai Sifat Mampu Bentuk

Sifat ini memudahkan dalam pembuatan cetakan dengan kekuatan (*Strength*) yang cocok. Cetakan yang dihasilkan harus kuat sehingga tidak rusak karena dipindah-pindah dan dapat menahan logam cair waktu dituang ke dalamnya. Oleh karena itu kekuatannya pada temperatur kamar dan kekuatan panasnya sangat diperlukan.

b. Permeabilitas yang Cocok

Pada metode pembuatan cetakan dan terutama pembuatan inti dengan suntikan atau semprotan, maka kemampuan bentuk pasir dinyatakan dengan permeabilitas. Dikuatirkan bahwa hasil coran mempunyai cacat seperti rongga penyusutan, gelembung gas atau kekasaran permukaan, kecuali jika udara atau gas terjadi dalam cetakan waktu penuangan disalurkan melalui rongga-rongga di antara butir-butir pasir keluar dari cetakan dengan kecepatan yang cocok.

c. Distribusi Batas Butir yang Cocok

Permukaan coran diperhalus kalau coran dibuat di dalam cetakan yang berbutir halus, gas dicegah keluar dan membuat cacat, yaitu gelembung udara. Distribusi besar butir harus cocok mengingat dua syarat di atas.

d. Tahan Terhadap Temperatur Logam yang Dituang

Temperatur penuangan yang digunakan untuk bermacam-macam coran yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. Butir pasir dan pengikat harus mempunyai derajat tahan api tertentu terhadap temperatur tinggi, kalau logam cair dengan temperatur tinggi ini dituang ke dalam cetakan.

Tabel 2.1. Temperatur penuangan untuk berbagai coran (Surdia, 1965)

Macam Coran	Temperatur Penuangan (°C)
Paduan ringan	650 – 750
Brons	1.100 – 1.250
Kuningan	950 – 1.100
Besi Cor	1.250 – 1.450
Baja cor	1.500 – 1.550

e. Komposisi yang Cocok

Butir pasir bersentuhan dengan logam yang dituang mengalami peristiwa kimia dan fisika karena logam cair mempunyai temperatur yang tinggi. Bahan-bahan yang tercampur yang mungkin menghasilkan gas atau larut dalam logam adalah tidak dikehendaki.

f. Mampu Dipakai Lagi

Pasir harus dapat dipakai berulang-ulang supaya ekonomis yang disebut dengan pasir *reclaim*. Pasir ini masih mengandung kadar Resin, hal ini dilakukan untuk membatasi penggunaan pasir baru.

2.1.2. Macam Furan

Furan yang paling lazim adalah pasir gunung, pasir pantai, pasir sungai dan pasir Silika yang disediakan alam. Dalam penggunaannya dapat dilakukan secara langsung dan ada pula yang dilakukan pemecahan menjadi butir-butir dengan ukuran yang cocok.

Pasir gunung, umumnya digali dari lapisan tua. Pasir ini mengandung lempung dan kebanyakan dapat dipakai setelah dicampur air. Pasir dengan kadar lempung 10 – 20% dapat dipakai begitu saja.

Pasir Silika, dalam beberapa hal didapat dari gunung dalam keadaan alamiah. Semuanya mempunyai bagian utama SiO_2 , dan terkandung kotoran-kotoran seperti mika. Pasir pantai dan pasir sungai terutama berisi kotoran seperti ikatan organik yang banyak. Kotoran ini diharapkan sekecil mungkin.

Pasir pantai, pasir sungai, pasir Silika alam dan pasir Silika buatan tidak melekat dengan sendirinya, oleh karena itu dibutuhkan pengikat untuk mengikat butir-butirnya satu sama lain dan baru dipakai setelah pencampuran.

2.1.3. Susunan Furan

a. Bentuk butir pasir

Bentuk butir pasir dari furan digolongkan menjadi beberapa jenis yaitu butir pasir bundar, butir pasir sebagian bersudut, butir pasir bersudut, butir pasir kristal dan sebagainya.

Jenis butir pasir bulat baik sebagai furan, karena memerlukan jumlah pengikat yang lebih sedikit untuk mendapat kekuatan (*Strength*) dan permeabilitas tertentu, serta mampu alirnya baik sekali. Pada butir pasir kristal kurang baik untuk furan, sebab akan pecah menjadi butir-butir kecil pada pencampuran serta memberikan ketahanan api dan permeabilitas yang buruk pada cetakan, dan selanjutnya membutuhkan pengikat dalam jumlah banyak.

Furan biasanya kumpulan dari butir-butir yang berukuran bermacam-macam. Tetapi kadang-kadang terdiri dari butir-butir tersaring yang mempunyai ukuran seragam. Besar butir yang diinginkan adalah sedemikian rupa sehingga 2/3 dari butir pasir mempunyai ukuran dari 3 *mesh* yang berurutan, dan sisanya dari ukuran *mesh-mesh* berikutnya.

b. Tanah lempung (Tonus)

Tanah lempung jika ditambahkan air, akan menjadi lekat dan jika lebih banyak air akan menjadi seperti pasta. Kalau lempung kehilangan kadar airnya, sifat lekatnya menjadi sangat berkurang. Ukuran dari butir-butir tanah lempung adalah $\pm 0,005$ mm sampai 0,02 mm.

Untuk coran yang besar dan cetakan pasir kering, dipakai pasir Silika yang telah dicampur dengan tanah lempung yang mempunyai derajat tahan api tinggi. Keplatisan terjadi karena penggelembungan dengan menambahkan air ke dalamnya.

Tonus adalah bahan pengikat yang paling tua digunakan, pasir alam dan tanah liat dewasa ini dipergunakan pada pengecoran tradisional. Jenis tonus yang paling banyak digunakan adalah *bentonit*, yaitu satu jenis dari tanah lempung yang terdiri

dari butir-butir halus dari $10 - 0,01\mu$ dimana fasa penyusun utamanya ialah *monmorilonit* ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$). Dibanding dengan jenis tonus yang lain, *bentonit* memiliki sumber yang lebih banyak dan memiliki daya ikat yang lebih kuat. Semakin tinggi kandungan *bentonit*, semakin tinggi pula kemampuan tekan dan kemampuan bentuk furan. Sebaliknya kemampuan alir dan kemampuan alir gas akan menurun.

c. Pasir Kuarsa (SiO_2)

Pasir kuarsa adalah pasir alam yang lazim dipakai dalam dunia pengecoran logam sebagai bahan dasar cetakan. Pada butiran yang besar biasanya dipakai sebagai cetakan untuk besi tuang kelabu, butiran antara $0,25 - 0,35$ mm. Sedangkan untuk baja, logam berat dan logam ringan akan menggunakan butiran yang halus hingga medium dengan diameter $< 0,2$ mm.

Pasir kuarsa ini didapatkan dari alam, oleh karena itu harus dicuci bersih terlebih dahulu. Adapun sifat-sifat fisik dari pasir kuarsa antara lain :

1. BJ $2,7$ gr / cm^3 .
2. Temperatur cair $1720^\circ C$.
3. Pada temperatur tinggi reaksi bersifat asam.
4. Bentuk butirannya bulat sampai sedikit menyudut dan permukaannya licin.
5. Warnanya putih hingga abu-abu kekuning-kuningan.
6. Besar butiran antara $0,1 - 1,5$ mm
7. Lumpur hampir tidak ada.
8. Pemuaian besar yaitu pada temperatur $573^\circ C$

Komposisi kimia pada pasir ini adalah SiO_2 minimal 98%. Pasir kuarsa ini digunakan sebagai cetakan pasir untuk semua jenis penuangan, kecuali penuangan Baja Mangan Keras.

d. Pengikat atau Perekat

Pengikat ini dibuat dari pasir yang dibubuhi minyak nabati pengering 1,5 sampai dengan 3% seperti minyak biji rami (*linseed oil*), minyak kedelai atau minyak biji kol dan dipanggang pada temperatur 200 sampai $250^\circ C$ yang disebut inti pasir minyak. Bahan ini mempunyai sifat tidak menyerap air dan mudah ambruk pada waktu pembongkaran. Tetapi pasir yang hanya dibubuhi minyak saja kekuatannya pada temperatur tinggi tidak cukup, sehingga perlu dibubuhkan sedikit *bentonit*

dan kanji supaya mudah dibentuk dan diolah meskipun pada temperatur kamar. Kadang-kadang pada tanah lempung dibubuhi *dekstrin* yang dibuat dari kanji sebagai pengikat pembantu. *Dekstrin* bersifat lekat meskipun kadar airnya rendah, sehingga ia dipakai sebagai penstabil dari butir pasir pada permukaan cetakan basah atau kering.

1. Furan berpengikat Resin dengan pengerasan dingin

Furan berpengikat Resin pengerasan dingin digunakan untuk membuat cetakan maupun inti yang besar. Pasir umumnya kuarsa, dengan dicampur sejumlah kecil Resin cair (Phenol maupun furan) dan asam sebagai pengeras, diisikan ke dalam rangka cetakan dengan ditaburkan. Pengerasan furan telah terjadi sejak di dalam mesin pencampurnya, saat Resin bertemu dengan pengerasnya, maka waktu pengerjaan cetakan dengan pasir ini sangat terbatas. Pada furan ini campuran terdiri dari :

- Pasir kuarsa sebanyak 90% berupa pasir *reclaim*
- Resin furan atau Phenol : 0,8% – 1,2%
- Pengeras : untuk furan : asam fosfat (H_3PO_4)
 untuk Phenol : asam *Tolualsulfon*

Keuntungan menggunakan bahan perekat Resin :

- Kekuatan tinggi
- Kemampuan alirnya baik
- Tahan panas
- Pembongkaran mudah.

Sedangkan kerugiannya yaitu agresif terhadap asam kuat.

2. Furan berpengikat Resin *Cold – Box*

Sebagai bahan pengikat furan ini adalah Resin Phenol dan *Polyisocyanat* sebagai komponen I dan komponen II. Pengerasan terjadi setelah furan dihembus dengan gas sebagai Katalisator. Pada furan ini campuran terdiri dari :

- Pasir kuarsa : 90% berupa pasir *reclaim*
- Bahan pengikat : 0,8 – 1,3% yaitu komponen I dan komponen II dengan perbandingan 1 : 1.

- Katalisator : *Trimethylamin* atau *Dimethylamin* antara 0,05% – 0,2%.

3. Furan berpengikat Resin pengerasan cepat (Metode *Pep-set*)

Furan ini memiliki bahan pengikat sama dengan *Cold – Box*. Bedanya adalah pada proses pengerasannya, dimana Katalisator dalam hal ini adalah *Pyridinderivat* yang langsung dicampurkan pada furan. Jumlah Katalisator yang dicampurkan berpengaruh terhadap kecepatan pengerasan furan. Pada furan ini campuran terdiri dari :

- Pasir kuarsa : 90% diantaranya pasir *reclaim*
- Komponen I : 0,8%
- Komponen II : 0,8%
- Katalisator : 0,5% – 1,8%, bersama dengan komponen I dan II pada pencampuran tahap pertama.

Pada prinsipnya proses pengerasan telah terjadi pada saat komponen I dicampurkan dengan komponen II, namun tanpa Katalisator proses tersebut berjalan sangat lambat.

4. Furan *croning*

Furan *croning* adalah furan berpengikat Resin Phenol dengan jenis Resin *Resol* maupun *Novolak*. Modifikasi dari Resin adalah dengan mencampurkan Resin tumbuhan hingga 35% atau dengan tambahan khusus Resin jenis Phenol untuk memperkuat lapisan pengikat pada butir pasir. Campuran pada furan ini terdiri dari :

- Pasir kuarsa untuk inti khusus
- Resin Phenol : 1,5% – 4%
- Furan ini kering dan terurai tanpa gumpalan-gumpalan.

5. Furan berpengikat Resin *Hot – Box*

Resin *Hot-Box* adalah Phenol maupun furan yang pada puncak kekerasannya memiliki kemampuan patah hingga 800 N/cm^2 . Cara ini kebanyakan digunakan dalam pembuatan inti. Berbeda dengan pasir *Croning*, pasir ini basah seperti pasir pengerasan dingin. Furan ini terdiri dari :

- Pasir kuarsa : 90% diantaranya pasir *reclaim*
- Resin: 1,5% – 2%
- *Hardener* : 0,2% – 0,5%

e. Tambahan khusus

Bubuk arang, tepung ter, minyak bumi, jelaga kokas dibubuhkan kira-kira 1% ke dalam furan agar permukaan coran halus, pembongkaran mudah, mencegah permukaan kasar. Kelebihan tambahan, menyebabkan cacat karena gas yang terbentuk. Oleh sebab itu penting untuk menggunakannya dalam jumlah yang cocok.

Tujuan menggunakan bahan tambahan pada furan, yaitu untuk menentukan sifat furan seperti pemuluran atau mengembangkannya furan karena panas dan sifat-sifat lainnya agar tercapai segala tuntutan dan syarat dari furan yang diinginkan, untuk mencapai kualitas yang maksimal. Selain itu dengan bahan tambahan dapat memperbaiki permukaan benda tuangan. Hal ini terjadi karena terbentuknya karbon mengkilat, tekanan udara karena panas berkurang tidak dapat lagi menembus atau masuk ke dalam logam cair yang telah terbungkus oleh karbon mengkilat pada seluruh permukaan furan, dengan demikian dapat menghasilkan permukaan yang bersih dan licin.

Pengaruh yang lain adalah oksigen dari udara dalam cetakan akan mudah terbakar dengan tepung kayu atau arang, dengan demikian terjadinya oksidasi pada benda tuangan dapat dikurangi. Selain itu juga dapat meningkatkan penembusan gas keluar melalui pori-pori, dimana bahan tambahan yang berupa bahan organik tersebut terbakar. Begitu juga pada permukaan antara logam cair dan cetakan tekan akan terjadi pemampatan karena pemuaian pasir yang membesar akan merapatkan pori-porinya, sehingga penetrasi pada benda tuangan akan terhindar.

2.1.4. Sifat-Sifat Furan

a. Sifat-sifat furan basah

Furan dengan tanah lempung atau *bentonit* sebagai pengikat menunjukkan berbagai sifat sesuai dengan kadar air. Oleh karena itu kadar air merupakan faktor sangat penting dalam pengaturan furan. Karena kadar tanah lempung dibuat tetap dan kadar air tambah, maka kekuatan berangsur-angsur bertambah sampai titik maksimum dan seterusnya menurun. Kecenderungan serupa timbul jika kadar air dibuat tetap dan kadar lempung ditambah. Titik maksimum dari kekuatan dan permeabilitas adalah keadaan dimana butir-butir pasir dikelilingi oleh ketebalan

tertentu dari campuran lempung dan air. Dengan kelebihan kadar air, kekuatan dan permeabilitas akan menurun karena ruangan antara butir-butir pasir ditempati oleh lempung yang berlebihan air. Air yang tidak cukup akan menurunkan kekuatan karena kurang lekatnya lempung. Selanjutnya tanah lempung yang berbutir menempati ruangan antara butir-butir pasir dan menurunkan permeabilitas.

Kadar air yang membuat kekuatan maksimum dan yang membuat permeabilitas maksimum pada umumnya tidak sama. Untuk pasir dengan pengikat *bentonit*, kadar air yang menyebabkan kekuatan basah maksimum dan yang menyebabkan permeabilitas maksimum sangat berdekatan satu sama lain.

b. Sifat penguatan oleh udara

Sifat-sifat cetakan yang berubah selama antara pembuatan cetakan dan penuangan disebut sifat penguatan oleh udara. Umumnya hal itu disebabkan oleh pergerakan air dalam cetakan dan penguapan air dari permukaan cetakan dan meningkatkan kekerasan permukaan cetakan. Derajat kenaikan kekerasan tergantung pada sifat campuran pasir, derajat pemadatan atau keadaan sekeliling cetakan (temperatur udara luar, kelembaban) dan lain-lain. Penguapan air membuat permukaan cetakan dari pasir yang dicampur *bentonit* menjadi getas. Oleh karena itu laju penguapan pasir harus diatur.

c. Sifat-sifat kering

Pasir dengan pengikat lempung yang dikeringkan mempunyai permeabilitas dan kekuatan yang meningkat dibandingkan dengan dalam keadaan basah, karena air bebas dan air yang diabsorpsi pada permukaan butir tanah lempung dihilangkan. Faktor-faktor yang memberikan pengaruh sangat besar pada sifat-sifat kering adalah kadar air sebelum pengeringan. Kekuatan tekan kering (*Dry Compression Strength*) dari pasir dengan pengikat lempung mempunyai hubungan dengan cacat "*terpotong*" yang terjadi pada waktu penuangan. Kekuatan tekan kering (*Dry Compression Strength*) yang rendah cenderung menyebabkan cacat terpotong, sedangkan kekuatan tekan (*Compression Strength*) yang berlebihan membuat pembongkaran yang susah.

d. Sifat-sifat panas

Cetakan mengalami temperatur tinggi dan tekanan tinggi dari logam cair pada waktu penuangan. Sehingga kekuatan panas, pemuaian panas harus diketahui sebelumnya.

1. Pemuaian panas

Satu balok furan pada suatu keadaan permukaan memuai cepat dan selanjutnya perlahan-lahan mencapai harga maksimum. Volume maksimum ini menjadi lebih besar kalau temperatur lebih tinggi. Pasir dengan butir-butir halus membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai volume maksimum. Pasir pantai dan pasir gunung mempunyai pemuaian panas yang lebih kecil dibanding dengan pasir Silika. Pemuaian panas bertambah sebanding dengan kadar air dari pasir dan menurun kalau kadar yang dapat terbakar bertambah.

2. Kekuatan panas

Cetakan harus tahan terhadap tekanan dari aliran logam cair dalam keadaan panas. Kekuatan ini berubah menurut keadaan dan kira-kira setinggi-tingginya hanya 30 kgf/cm^2 untuk besi cor dan baja cor. Sebenarnya diinginkan harga yang lebih besar dari harga tersebut bagi coran yang besar dan coran pasir kering.

Kekuatan panas berubah-ubah sesuai dengan furan yang dipengaruhi oleh adanya kadar tanah lempung, distribusi besar butir dan berat jenis. Kalau kadar tanah lempung dibuat tetap, kekuatan ikat bertambah apabila besar butir mengecil, dan kekuatan pasir yang besar butirnya tidak seragam berkekuatan lebih tinggi dari pasir yang mempunyai besar butir seragam. Pasir dengan besar butir tidak seragam dapat dipadatkan sehingga mempunyai berat jenis yang tinggi, mempunyai permukaan sentuh yang luas dengan butir-butir tetangganya dan mempunyai kekuatan panas yang tinggi.

3. Perubahan bentuk panas

Furan yang cocok menunjukkan perubahan bentuk lebih besar sampai ia patah, kalau gaya bekerja pada sebuah balok pasir dalam keadaan panas. Perubahan bentuk dapat disebut kemampuan *absorpsi* pemuaian panas pada penuangan logam cair ke dalam cetakan. Perubahan bentuk akan bertambah apabila besar butir mengecil dan kadar tanah lempung, tambahan khusus, dan kadar airnya bertambah.

e. Sifat-sifat sisa

Sifat-sifat cetakan yang dibutuhkan ketika coran diambil dari cetakan setelah penuangan disebut sisa-sisa. Untuk pembongkaran, perlu sifat mampu ambruk yang baik. Sifat mampu ambruk dari furan ialah berarti bahwa cetakan dengan mudah dapat rontok dan disingkirkan dari permukaan coran. Furan dapat dipakai berulang kali, sehingga pengumpulan pasir setelah pembongkaran harus mudah. Pengaturan yang ketat dari kadar air dan pengikat diperlukan agar furan mempunyai sifat-sifat sisa yang baik. Pasir yang sifat ambruknya buruk dapat diperbaiki dengan membubuhkan bubuk arang atau kanji ke dalamnya.

2.1.5. Mempersiapkan Furan

a. Perputaran pasir

Furan dipergunakan berulang kali dengan tidak tergantung pada bahan logam cair. Furan disiapkan menjadi keadaan dapat dipakai kembali dengan mencampurkan pasir baru dan pengikat baru setelah kotoran-kotoran dibuang. Pekerjaan penting selama proses ini adalah pembuangan debu halus dan kotoran, pencampuran dan pendinginan furan.

Furan dipecah menjadi potongan-potongan dengan demikian debu halus akan bertambah. Karena gaya pengikat menjadi hilang, maka perlu ditambah pasir baru dan pengikat. Tanpa penambahan tersebut, kekuatan dan permeabilitasnya akan memburuk dan menyebabkan cacat-cacat seperti berkulit kasar dan sejenisnya.

Pencampuran adalah langkah yang paling penting dalam pengolahan pasir. Resin, Katalis, air dan bahan tambahan dibutuhkan pada furan, selanjutnya pengukuran yang tepat dari jumlahnya dan pencampurannya sampai mendapat distribusi yang merata dari bahan-bahan tambahan sangatlah penting. Pencampuran yang tidak homogen menyebabkan kekuatan furan rendah. Penggunaan berulang kali dari pasir akan menaikkan temperaturnya, sehingga pendinginan menjadi perlu. Tanpa pendinginan, penguapan air bertambah kalau temperatur pasir melebihi 35 – 40°C, dan uap air mengembun pada permukaan pola selama pembuatan cetakan yang menyebabkan pembuangan pasir dari permukaan pola menjadi sulit. Selanjutnya cacat-cacat coran bertambah. Oleh karena itu didinginkan oleh alat

pendingin. Untuk pengolahan pasir, dipakai mesin-mesin yang cocok yaitu penggiling pasir (*mixer*), pengaduk pasir, pengayak pasir, pencampur pasir dan sebagainya.

b. Penggiling pasir, pengaduk pasir

Furan diolah dengan penggiling pasir atau pengaduk pasir menurut macam pengikat. Biasanya penggiling pasir dipakai untuk pasir dengan lempung sebagai pengikat dan pengaduk pasir dipakai untuk pasir dengan pengikat seperti minyak pendering atau Natrium Silikat.

Mesin penggiling pasir dengan rol berputar bidang mendatar dan pengaduk pasir dengan menekannya ke pinggir tangki. Dalam hal ini putaran kira-kira 60 – 100 putar per menit, dan hanya membutuhkan waktu 2 sampai 3 menit untuk mengaduk dari awal sampai akhir. Pengaduk ini mempunyai sebuah pemutar yang mempunyai beberapa baling-baling yang dipasang pada porosnya dan berputar di sekeliling poros mendatar dalam saluran mendatar. Pasir dan pengikat diaduk di dalamnya. Terdapat dua jenis, yaitu jenis bak dan jenis kontinu. Hal terpenting dalam pemakaian mesin-mesin ini adalah menjaga jumlah yang telah ditentukan, menjaga waktu pengolahan dan membersihkannya setelah pemakaian.

c. Penyampur pasir

Penyampur pasir dipakai untuk memecah bungkah-bungkah pasir setelah pencampuran. Furan diisikan ke atas ban karet yang bergigi berbentuk sisir yang bergerak memecah pasir melalui satu sisi yang mempunyai celah-celah banyak dan kemudian melemparkannya. Pemberian udara dapat dilakukan, demikian juga penyisihan kotoran. Kecepatan pengisian dari furan kira-kira 10m/s dan jarak pelemparan pasir biasanya 2 sampai 3 m. Pasir dari penggiling pasir kadang-kadang diisikan ke pencampur pasir, dan biasanya pasir *reclaim* diisikan langsung ke dalamnya.

d. Pengayakan

Dalam mendapatkan kembali furan, ayakan dipakai untuk menyisihkan kotoran dan butir-butir pasir yang sangat kasar. Ayakan jenis berputar berbentuk silinder atau segi enam atau piramid segi delapan. Pasir yang diisikan ke dalamnya berkurang karena pengayakan ketika berjalan masuk ke saluran keluar, maka

saluran keluar dibuat lebih kecil dari saluran masuk. Pada jenis segi banyak, pasir jatuh secara terputus-putus oleh perputaran, dan pasir tersebut berbenturan satu sama lain sehingga gumpalan-gumpalan serentak pecah. Pasir *reclaim* yang dibongkar dari rangka cetakan berbentuk gumpalan dan balok-balok. Dalam hal ini dipergunakan saringan pemecah.

e. Pemisah magnetis

Dalam mendapatkan kembali furan untuk besi cor dan baja cor, dipakai pemisah magnetis untuk menyisahkan potongan-potongan besi yang berada dalam pasir. Ada dua macam magnet yang biasa dipakai, magnet permanen dan elektromagnetik. Magnet dipasang pada roda dari ujung *conveyor* ban. Pasir dibawa oleh *conveyor* ke pemisah magnetis dan dijatuhkan ke depan. Potongan-potongan besi dalam pasir akan melekat pada magnet dan berputar sampai mereka jatuh ketika sampai pada dasar.

f. Pendingin pasir

Dalam mendinginkan pasir, udara pendinginan perlu bersentuhan dengan butir-butir pasir sebanyak mungkin. Oleh karena itu berbagai cara diusahakan dalam pendinginan pasir ini. Pasir diletakkan pada pelat berlubang banyak dan didinginkan oleh udara dari dasar. Dalam hal ini penggetaran pelat dan pengembangan pasir adalah efektif.

2.1.6. Pengujian Furan

a. Pengujian kekuatan tekan (*Compression Strength*)

Kekuatan tekan (*Compression Strength*) dilakukan dengan membuat spesimen standar ($\Phi 50$ mm x 50 mm) dengan memadatkan pasir dalam tabung spesimen 3 kali pada pemadat pasir standar dan kemudian dikeluarkan untuk dipakai pada pengujian kekuatan tekan (*Compression Strength*). Beban diberikan kepada spesimen sampai patah, yang dilakukan pada mesin penguji kekuatan pasir. Kekuatan tekan (*Compression Strength*) dihitung berdasarkan persamaan berikut

$$\text{Kekuatan tekan (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{\text{Beban pada patahnya spesimen (kgf)}}{\text{Luas irisan spesimen (cm}^2\text{)}} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\sigma = P/A$$

Laju pembebanan adalah 30 gr/cm²/detik untuk spesimen basah, dan 150 gr/cm²/detik untuk spesimen kering. Kekuatan tekan (*Compression Strength*) cetakan berbeda-beda menurut jenis dan jumlah pengikat serta kadar air. Kekuatan tekan (*Compression Strength*) yang tidak cukup akan menyebabkan mudah pecahnya cetakan, sedangkan kekuatan tekan (*Compression Strength*) yang berlebihan akan mencegah penyusutan coran dan menyebabkan retak serta pembongkarannya sulit. Standar pengujian yang diterima pada kekuatan geser (*Shear Strength*) minimum 3,8 kg/cm².

b. Pengujian kekuatan geser (*Shear Strength*)

Pada pengujian ini dilakukan dengan menyiapkan specimen/benda uji dengan ukuran yang sudah ditentukan yaitu panjang 73 mm, lebar 25 mm dan tinggi 26 mm. Kemudian specimen tersebut diletakkan pada tempat uji dan untuk menggerakkan mesin uji tersebut dilakukan dengan memutar "Switch on". Setelah specimen/benda uji patah, maka magnet pembaca akan menunjukkan angka pada skala penunjuk. Dalam hal ini skala penunjuk yang digunakan untuk pengujian kekuatan geser (*Shear Strength*) adalah *dry sand*. Standar pengujian yang diterima pada kekuatan geser (*Shear Strength*) minimum 1,2 kg/cm².

2.2. Proses Hirarki Analitis

Proses Hirarki Analitis merupakan suatu proses "rasionalitas sistematis" untuk mempertimbangkan suatu persoalan sebagai satu keseluruhan dan mengkaji interaksi serempak dari berbagai komponennya dalam di dalam suatu hirarki. Proses Hirarki Analitis dapat mensintesis penilaian-penilaian menjadi suatu taksiran menyeluruh dengan prioritas-prioritas relatif berbagai alternatif tindakan. Prioritas yang dihasilkan Proses Hirarki Analitis merupakan satuan dasar yang digunakan dalam semua jenis analisis dan merangsang timbulnya gagasan untuk melaksanakan tindakan kreatif serta untuk mengevaluasi keefektifan tindakan tersebut. Selain itu Proses Hirarki Analitis juga dapat melacak ketidakkonsistenan dalam pertimbangan dan preferensi peserta/responden (*Saaty, 1986*). Metode-metode yang digunakan dalam Proses Hirarki Analitis dalam menyelesaikan/memecahkan persoalan adalah :

a. Penyusunan hirarki

Analisa hirarki digunakan untuk merinci suatu keadaan yang kompleks atau berkerangka ke dalam komponen-komponennya, kemudian mengatur bagian-bagian komponen tersebut dalam bentuk hirarki. Langkah penting adalah penyusunan hirarki adalah penilaian perbandingan berpasangan antara kriteria pada suatu hirarki.

b. Penetapan prioritas

Penetapan prioritas merupakan suatu langkah untuk melakukan sintesis dari hasil penilaian perbandingan berpasangan dari tahap sebelumnya dan untuk menentukan kriteria mana yang memiliki prioritas tertinggi dan terendah sebagai hasil analisis.

c. Pengujian konsistensi

Dalam melakukan pengujian konsistensi data hasil penetapan prioritas, informasi dan data yang sangat terbatas dapat diselesaikan dengan cepat dan mudah.

2.2.1. Langkah-langkah Proses Hirarki Analitis

a. Penyusunan struktur hirarki

Permasalahan dirinci ke dalam komponen-komponen, kemudian bagian-bagian dari komponen disusun dalam bentuk hirarki. Hirarki teratas diuraikan ke dalam beberapa elemen pendukung, selanjutnya elemen-elemen tersebut diuraikan menjadikan elemen-elemen yang lebih spesifik.

b. Analisis Keuntungan Kerugian

Pada tahap ini dimulai dengan penyebaran dan pengisian kuesioner yang berisi pertanyaan tentang urutan tingkat prioritas kriteria dan memilih tingkat kepentingannya berdasarkan tingkat prioritas yang telah dipilih. Urutan tingkat prioritas kriteria ini selanjutnya digunakan untuk menentukan bobot kriteria yang dipakai pada tahap analisis matriks evaluasi.

c. Penilaian Perbandingan Berpasangan

Penilaian perbandingan berpasangan dilakukan terhadap elemen-elemen pada suatu tingkat hirarki. Penilaian dilakukan dengan memberikan bobot numerik berdasarkan perbandingan berpasangan antar suatu elemen dengan elemen lain. Hasil perbandingan dibentuk menjadi matrik bujur sangkar dengan ordo sesuai

dengan jumlah elemen pada tingkat hirarki. Adapun skala penilaian dalam perbandingan berpasangan ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Skala Penilaian Perbandingan berpasangan (Thomas L.Saaty,1986)

Tk.Keputusan	Definisi	Keterangan
1	Kedua elemen sama penting	Kedua elemen menyumbang sama besar pada sifat tersebut
3	Satu elemen lebih sedikit penting dibanding elemen lain	Pengalaman menyatakan sedikit memihak sebuah elemen
5	Satu elemen sesungguhnya lebih penting dibanding elemen lain	Pengalaman menyatakan secara kuat memihak sebuah elemen
7	Satu elemen jelas lebih penting dibanding elemen lain	Pengalaman secara kuat disukai dan didominasi dalam praktek
9	Satu elemen mutlak lebih penting dibanding elemen lain	Pengalaman menyatakan satu elemen jelas lebih penting
2,4,6,8	Nilai tengah diantara dua nilai yang berdampingan	Nilai ini diberikan jika diperlukan kompromi
Lawan dari angka tingkat Keputusan		Bila elemen ke-i menjadi nilai dibandingkan elemen ke-j, maka faktor-j mendapat nilai 1/X.

Tabel 2.3. Matriks Perbandingan Berpasangan (Thomas L.Saaty, 1986)

Kriteria	K1	K2	K3	...	Kn
K1	1	N1	N2	...	N_{j-3}
K2	1/N1	1	N3	...	N_{j-2}
K3	1/N2	1/N3	1	...	N_{j-1}
...	1	...
Kn	$1/N_{j-3}$	$1/N_{j-2}$	$1/N_{j-1}$...	1

d. Menghitung *Eigenvektor* dan *Eigenvalue*

Elemen-elemen pada tiap baris dari matrik bujur sangkar hasil perbandingan berpasangan dikalikan secara kumulatif, kemudian hasil perkalian dimasukkan akar dengan derajat sesuai jumlah elemen pada baris matriks.

Hasil proses ini berupa matrik kolom, sedangkan *eigenvektor* diperoleh dengan membagi matrik kolom dengan jumlah kumulatif elemen pada matrik kolom. Perkalian antara matrik perbandingan berpasangan dengan *eigenvektor* akan menghasilkan matrik kolom baru. *Eigenvalue* merupakan hasil bagi antara elemen

yang bersesuaian dari matrik kolom baru dengan *eigenvektor*. *Eigenvalue* maksimum adalah rerata dari elemen-elemen pada matrik *eigenvalue*.

e. Menguji Konsistensi Data

Konsistensi data diketahui dari nilai *Rasio Konsistensi* (CR) yang merupakan hasil bagi antara *Indeks Konsistensi* (CI) dan *Indeks Random* (RI), dimana RI dapat diperoleh dari tabel.

$$CI = (\lambda_{maks} - n)/(n-1) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$CR = CI / RI \dots\dots\dots(2.3)$$

Data dapat dikatakan konsisten, jika $CR \leq 0,100$. Proses pengujian konsistensi data dilaksanakan pada semua tingkat hirarki (Saaty, 1986).

Tabel 2.4. Indeks Random

Ordo Matrik	IR	Ordo Matrik	IR	Ordo Matrik	IR
1	0.00	6	1.24	11	1.51
2	0.00	7	1.32	12	1.48
3	0.58	8	1.41	13	1.56
4	0.90	9	1.45	14	1.57
5	1.12	10	1.49	15	1.59

Sumber : Thomas L.Saaty, *Decision Making for Leader*, 1986

2.2.2. Pengukuran Data dengan Skala Likert

Alternatif atau jumlah pilihan pada skala Likert tergantung dari peneliti. Semakin banyak alternatif atau jumlah pilihan, maka semakin spesifik materi pembagiannya. Dalam pengukuran skala Likert ini terdapat beberapa kelebihan dan kelemahan.

a. Kelebihan :

- Penyusunan pertanyaan mengenai sikap dan penentuan skor relatif mudah karena berupa angka.
- Reliabilitas tinggi dalam mengurutkan jawaban berdasarkan intensitas sikap tertentu.

b. Kelemahan :

- Jawaban yang berlainan dari beberapa responden yang mempunyai sikap intensitas sama sehingga mengakibatkan skor akhir berbeda.

- Asumsi bahwa setiap kuesioner yang mempunyai bobot sama, tidak dapat dipertanggungjawabkan.

2.2.3. Pengukuran Data dengan Skala Pembobotan

Dalam Pengukuran dengan Skala Pembobotan ini, penilaian dilakukan dengan memilih atau mengurutkan kriteria-kriteria sesuai urutan prioritas. Urutan prioritas dinyatakan dengan angka 1 sampai 10. Kriteria yang mempunyai nomor urut 1 mempunyai nilai 10 dan seterusnya sampai nomor urut 10 mempunyai nilai 1. Selanjutnya hasil penilaian seluruh responden dijumlahkan pada tiap-tiap kriteria dan dihitung bobot masing-masing kriteria.

2.3. Tinjauan Statistika

Pada umumnya kesulitan yang sering muncul pada pengendalian kualitas adalah bagaimana memperbaiki pengaturan level-level parameter input untuk memenuhi spesifikasi output. Akan tetapi bila pengaturan karakteristik kualitas dilakukan sedini mungkin, maka spesifikasi yang diharapkan dalam pengendalian kualitas akan tercapai. Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi rancangan sejak awal, agar dihasilkan produk yang berkualitas.

Metode Taguchi merupakan suatu pendekatan konvensional yang digunakan dalam pengendalian kualitas *off-line* untuk meningkatkan kualitas produk dan proses manufaktur (Ross, 1989). Metode ini menitik beratkan pada masalah pengaruh berbagai jenis faktor terhadap timbulnya variasi performansi produk baik faktor yang terkendali maupun faktor yang tidak terkendali yang tidak bisa dirancang seperti faktor lingkungan dan faktor *noise*. Oleh karena itu, melalui salah satu tahapan dari metode Taguchi, yaitu *parameter design*, diharapkan dapat meminimalkan efek dari faktor *noise*. Sehingga pada akhirnya seorang *engineer* bisa menetapkan parameter dari suatu proses produksi yang dapat mendekati nilai target yang diharapkan. Namun selama ini metode Taguchi, implementasinya hanya pada optimasi single respon saja, sedangkan untuk kasus multirespon sangatlah terbatas dan timbul kesulitan. Hal ini disebabkan bila memakai metode Taguchi akan diperoleh banyak setting *parameter design* sesuai banyaknya karakteristik kualitas, sehingga sangatlah tidak efisien (*Majalah IPTEK, Vol 10, No.4, 1999*). Oleh karena itu telah banyak ilmuwan yang

berusaha mengembangkan metode-metode untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Derringer dan Suich (1980) mencoba mentransformasikan beberapa variabel respon dalam satu fungsi yang dikehendaki. Pendekatan ini memungkinkan seorang peneliti untuk membuat pertimbangan-pertimbangan subyektif mengenai tingkat kepentingan dari masing-masing respon. Khuri dan Conlon (1981) mengusulkan suatu prosedur yang dapat mengoptimalkan beberapa variabel respon secara serentak dengan menggunakan suatu fungsi jarak untuk mengukur simpangan dari nilai optimum yang ideal. Akan tetapi kedua pendekatan tersebut terdapat beberapa kelemahan yaitu melibatkan perhitungan yang rumit dan meningkatkan ketidakpastian pada hasil sehingga perlu sekali dikembangkan suatu pendekatan yang lebih efektif untuk menyelesaikan masalah-masalah yang lebih kompleks.

Pada tahun 1995 Lee – Ing Tong dan Chao – Ton Su membuat prosedur TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) dan memperkenalkannya melalui artikel yang berjudul “*Optimizing Multirespon Problems in Taguchi Methods by Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*” (*Jurnal Quality and Reability Engineering International* volume 13 tahun 1997). Prosedur ini dapat menyelesaikan masalah-masalah multi dimensi. Tong dan Su juga menyarankan prosedur untuk menentukan Signal To Noise Multirespon (MRSN) melalui penyatuan *quality loss* untuk semua respon dengan aplikasi SNR Taguchi.

2.3.1. Rancangan Faktorial Lengkap 3^k

Rancangan faktorial lengkap 3^k adalah pengaturan faktorial untuk setiap k faktor terdiri dari 3 level. Secara umum dinotasikan untuk 3 level sebagai level rendah, level sedang dan level tinggi.

2.3.2. Rancangan Faktorial Sebagian 3^{k-p}

Apabila jumlah faktor pada rancangan faktorial lengkap bertambah, maka jumlah percobaan yang harus dilakukan juga semakin bertambah. Untuk mengurangi jumlah percobaan yang harus dilakukan maka dapat digunakan rancangan faktorial sebagian. Rancangan faktorial sebagian hanya menyertakan efek utama dan interaksi order rendah, sedangkan interaksi order tinggi diabaikan.

Rancangan faktorial sebagian 3^k adalah rancangan percobaan yang terdiri dari $(1/3)^p$ bagian disain 3^k untuk $p < k$. sebagai contoh 3^{k-2} adalah rancangan percobaan yang terdiri dari $1/9$ bagian disain 3^k .

2.3.3. Metode Taguchi

Metode Taguchi diperkenalkan oleh Genechi Taguchi pada tahun 1940 yang bertujuan untuk mengoptimalkan proses eksperimen. Metode taguchi berkembang berdasarkan pendekatan yang secara keseluruhan berbeda dengan metode konvensional dalam rekayasa kualitas. Dalam pengendalian kualitas Taguchi telah menggabungkan falsafah-falsafah besar yang ada pada industri manufaktur. Pendekatan metode Taguchi pada rancangan eksperimen diharapkan mampu menghasilkan pengembangan kualitas yang kokoh (*robust*) terhadap faktor *noise*.

A. Kontribusi Taguchi Untuk Disain Eksperimen Dan Pengembangan Kualitas

Salah satu tujuan dari pengembangan kualitas adalah mendisain kualitas ke dalam setiap produk dan proses. Disain eksperimen merupakan elemen utama dari aktivitas tersebut.

Genechi Taguchi memperkenalkan pendekatan dengan menggunakan disain eksperimen yang berguna untuk :

- a. Meminimumkan variasi di sekitar nilai target
- b. Mendisain produk atau proses sehingga kualitasnya *robust* terhadap kondisi lingkungan.
- c. Mengembangkan produk atau proses sehingga kualitasnya *robust* terhadap variasi komponen.

Robust berarti produk atau proses yang secara konsisten berada pada target dan relatif tidak sensitif terhadap faktor yang sulit dikontrol. Taguchi menghubungkan tiga tujuan di atas pada pendekatan *parameter design*.

B. Filosofi Taguchi

Genechi Taguchi memperkenalkan pendekatan metode yang dilandasi oleh tiga konsep mendasar, yang dikenal dengan Filosofi Taguchi yaitu :

- a. Kualitas harus didisain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya atau inspeksi.

- b. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target. Produk harus didisain sehingga *robust* terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
- c. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standart tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Berdasarkan observasi yang dilakukan oleh Taguchi disebutkan bahwa 85% kualitas yang buruk disebabkan oleh proses manufaktur dan hanya 15% yang disebabkan oleh operator. Dari keadaan ini Taguchi kemudian mengembangkan sistem manufaktur yang *robust* (kokoh) atau tidak mudah dipengaruhi variasi lingkungan keseharian dan musiman, pemakaian mesin dan faktor eksperimen lainnya. Tiga prinsip tersebut merupakan pedoman bagi Taguchi di dalam mengembangkan sistem ini, menguji faktor-faktor yang mempunyai kualitas produk dan spesifikasi parameter produk.

Pengendalian kualitas dapat dibagi ke dalam dua tahap yaitu :

1. Pengendalian kualitas "*off line*" berhubungan dengan aktivitas selama pengembangan produk dan disain proses. Aktivitas yang dilakukan adalah :
 - a. Mengidentifikasikan kebutuhan konsumen dan yang diharapkan oleh konsumen.
 - b. Mendisain produk yang sesuai dengan harapan konsumen.
 - c. Mendisain produk secara konsisten dan secara ekonomi menguntungkan.
 - d. Mengembangkan secara jelas dan cukup spesifik standar, prosedur dan peralatan untuk pembuatan.
2. Pengendalian kualitas "*On-line*" berhubungan dengan proses selama produksi. Pengendalian kualitas "*On-line*" berarti memelihara kekonsistenan produk dan proses sehingga meminimumkan variasi antar unit. Hal ini perlu dilakukan yang tinggi secara serentak.

Pendekatan metode disain eksperimen Taguchi digunakan dalam lingkup penerapan yang luas, akan tetapi secara khusus teknik Taguchi diterapkan pada pengendalian kualitas "*Off-line*". Pengendalian kualitas ini dibedakan menjadi tiga tahap yaitu :

a. Disain Sistem/Konsep (*Primary design*)

Pada tahap ini dihasilkan konsep, ide dan metode baru untuk pengembangan produk/teknologi untuk memenuhi kebutuhan konsumen yang ditekankan pada pencapaian target dengan tingkat biaya terendah. Tahap disain memerlukan pengetahuan teknis yang luas dan mendalam untuk menilai pengembangan produk atau proses (tidak memerlukan perancangan eksperimen).

b. Disain parameter (*Secondary design*)

Dalam tahap perancangan parameter berkaitan dengan penekanan biaya dan meningkatkan kualitas dengan menggunakan metode perancangan eksperimen yang efektif. Hal ini termasuk penentuan nilai-nilai parameter yang kurang sensitif terhadap faktor *noise*. Jika tujuannya adalah untuk merancang proses atau produk dengan stabilitas dan keandalan yang tinggi, maka perancangan parameter adalah langkah terpenting. Pada tahap ini juga dicari kombinasi level parameter yang dapat mengurangi faktor *noise*. Tahap ini adalah tahap utama dalam perancangan kokoh agar produk atau proses mempunyai keandalan yang tinggi, walaupun material yang digunakan tidak mahal, mempunyai keragaman tinggi dan mudah rusak (aus).

Faktor *noise* digolongkan menjadi tiga macam, yaitu :

1. Gangguan eksternal (*External noise*)

Eksternal noise berkaitan dengan lingkungan atau kondisi yang mempengaruhi fungsi ideal dari produk. Misalnya temperatur ulang, kelembaban, debu, daya listrik, pengaruh elektromagnetik, getaran dan kesalahan manusia dalam mengoperasikan produk.

2. Gangguan antar unit (*Unit-to unit noise*)

Keragaman dari unit ke unit berkaitan dengan faktor yang menyebabkan perbedaan antara tiap produk yang telah dibuat dalam spesifikasi yang sama. Variasi ini tidak dapat dielakkan dalam proses pembuatan dan mengarah pada keragaman dalam parameter produk sutau unit ke unit lainnya. Misalnya, nilai kekuatan tekan (*Compression Strength*) dispesifikasikan 60 kg/cm^2 , tetapi nilai yang keluar pada sutau produk mungkin 70 kg/cm^2 dan 50 kg/cm^2 pada produk yang lain.

3. Internal noise (*Deterioration noise*)

Internal noise berkaitan dengan faktor yang menyebabkan produk menjadi aus sehingga tidak mencapai target. Misal produk menjadi aus karena usia pakainya meningkat.

c. Disain toleransi (*Tertiary design*)

Tahap ini berkaitan dengan pengendalian faktor-faktor yang mempengaruhi nilai target dengan menggunakan komponen mutu tinggi dan biaya yang tidak dapat dielakan. Setelah sistem dirancang (melalui *system design*) dan nilai tengah parameternya telah ditentukan (melalui *parameter design*), langkah berikutnya membuat toleransi parameter (melalui *tolerance design*). Faktor noise, termasuk juga parameter sistem dimasukkan dalam disain eksperimen untuk menentukan dampaknya pada karakteristik output. Toleransi yang lebih sempit harus diberikan pada faktor noise yang mempunyai pengaruh terbesar pada karakteristik output. Setelah proses produksi ditentukan, keragaman dalam produk mungkin diakibatkan oleh keragaman dari material, komponen yang berbeda, keausan alat, kerusakan mesin dan kesalahan manusia. Semua sumber keragaman ini berkaitan dengan *on-line quality control* selama proses produksi normal berlangsung. Terdapat 3 bentuk *on-line quality control*, yaitu :

- a. Proses diagnosis dan penyesuaian
- b. Prediksi dan koreksi
- c. Pengukuran dan tindakan

C. Rasio Signal to Noise

Rasio S/N didefinisikan sebagai logaritma dari rata-rata kuadrat simpangan dari nilai target sebagai berikut :

$$S/N = -10 \log (\text{MSD}) \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana MSD adalah rata-rata kuadrat simpangan. Rasio signal to noise merupakan hasil transformasi dari beberapa replikasi data sehingga nilainya mewakili kualitas penyajian variasi. Nilai MSD dapat dihitung berdasarkan pada karakteristik kualitas dari suatu respon dan dirumuskan sebagai berikut :

a. *Smaller the better*

$$\text{MSD} = (Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_N^2) / N \dots\dots\dots (2.5)$$

b. *Nominal the better*

$$MSD = [(Y_1 - m)^2 + (Y_2 - m)^2 + \dots + (Y_N - m)^2] / N \dots\dots\dots(2.6)$$

c. *Larger the better*

$$MSD = (1/Y_1^2 + 1/Y_2^2 + \dots + 1/Y_N^2) / N \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana : Y_i = nilai hasil pengamatan

m = nilai target eksperimen

N = jumlah pengulangan

Nilai rasio S/N yang tertinggi menunjukkan level faktor yang optimum pada eksperimen yang dilakukan. Jika nilai S/N semakin besar maka nilai MSD semakin kecil, dan jika S/N semakin kecil maka nilai MSD semakin besar.

Penggunaan rasio S/N memberikan keuntungan sebagai berikut :

1. Memberikan perbandingan yang obyektif dari dua atau lebih data pengamatan dengan memperhatikan variasi di sekitar target dan simpangan nilai rata-rata pengamatan dari nilai target secara serentak.
2. Memberikan gambaran pada pemilihan level-level faktor yang optimum berdasarkan pada variasi di sekitar target yang terkecil dan pada nilai rata-rata terdekat pada nilai target.

D. Loss Function

Dalam pengendalian kualitas, Taguchi mengembangkan konsep *loss function* yang didasarkan pada total simpangan kuantitas dari karakteristik kualitas yang ditargetkan. Pada simpangan nol, maka produk tepat seperti apa yang ditargetkan dan kerugian atau *loss function* sama dengan nol.

Pada saat produk atau proses kinerjanya menyimpang dari target, maka loss yang terjadi pada pelanggan dapat dihitung. Menurut Taguchi jika $L(y)$ menyatakan loss disebabkan oleh simpangan kinerja yang kecil $(y - m)$ dari target m , maka dengan pemakaian deret Taylor dapat ditulis :

$$L(y) = L(m + y - m) \dots\dots\dots(2.8)$$

$$= L(m) + L'(m)(y - m) + \frac{L''(m)(y - m)^2}{2!} + \frac{L'''(m)(y - m)^3}{3!} \dots\dots\dots(2.9)$$

Pada saat $y = m$ berarti performansi tepat pada target, sehingga pada titik ini *loss to society* bernilai nol. Untuk turunan pertama $L'(m)$ mempunyai nilai nol karena

$L(m)$ minimum. Dengan mengabaikan orde yang lebih tinggi dari orde tingkat dua pada persamaan 2.9 karena nilainya kecil sekali maka persamaan di atas dapat ditulis :

$$L(y) = k(y-m)^2 \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana $k = L''(m) / 2!$ adalah konstan.

Nilai k menyatakan nilai koefisien dari fungsi kerugian. Nilai k dibuat oleh Taguchi dengan menentukan nilai perhitungan dari fungsi kerugian yang sedekat mungkin terhadap target dengan batas toleransi kualitas. Jika simpangan fungsi karakteristik produk sebesar Δ dari nilai target m , dan nilai *loss* sebesar A maka persamaan 2.10 menjadi :

$$A = k \Delta^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$K = A/\Delta^2 \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk produk masal, *mean* kerugian/unit adalah :

$$L'(y) = k(y-m)^2 / n \dots\dots\dots(2.13)$$

$$= k (\text{MSD}) \dots\dots\dots(2.14)$$

Fungsi kerugian dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu :

1. *Smaller the better*

$$L(y) = k (y-m)^2 \dots\dots\dots(2.15)$$

2. *Nominal the better*

$$L(y) = k(y)^2 \dots\dots\dots(2.16)$$

3. *Larger the better*

$$L(y) = k(1/y)^2 \dots\dots\dots(2.17)$$

2.3.4. Prinsip Kerja Metode Taguchi

Pemilihan dan Penyesuaian *Orthogonal Array* (OA)

Orthogonal Array adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom merupakan faktor atau kondisi yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris merupakan keadaan dari faktor. *Array* disebut *orthogonal* karena level-level dari faktor berimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor yang lain dalam eksperimen. Jadi *Orthogonal Array* adalah matriks seimbang dari faktor dan level, sedemikian hingga pengaruh suatu faktor atau level tidak baur (*counfounded*) dengan pengaruh faktor atau level yang lain. OA membutuhkan

eksperimen yang lebih sedikit dalam mengevaluasi beberapa faktor sehingga memberikan eksperimen yang lebih efisien dengan tetap tidak kehilangan informasi dari eksperimen yang diamati.

Setelah menentukan jumlah faktor, jumlah taraf masing-masing faktor dan interaksi antar faktor, maka dalam penyusunan *Orthogonal Array* diperlukan perhitungan jumlah total derajat bebas. Jumlah total derajat bebas adalah merupakan minimal baris dalam OA, atau paling sedikit sama dengan banyaknya eksperimen yang harus dilakukan. Sehingga pemilihan OA yang sesuai dengan barisnya tidak boleh kurang dari jumlah total derajat bebas. OA yang sesuai dapat dilihat dari salah satu OA standar yang diberikan oleh Taguchi. Dalam OA untuk dua level terdiri dari L4, L8, L12, L16, L32 dan untuk tiga level terdiri dari L9, L18, L27. Notasi L menunjukkan jumlah percobaan yang harus dilakukan.

Perancangan Eksperimen Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metode dalam bidang *engineering* yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk/proses dalam waktu yang bersamaan untuk menekan sumber daya dan *loss function*. Sehingga diharapkan dapat mencapai target dan produk/proses tidak sensitif terhadap faktor *noise*.

Suatu teknik untuk mendefinisikan dan menyelidiki semua kondisi yang mungkin dalam suatu eksperimen yang melibatkan *multiple* faktor disebut disain eksperimen. Dalam hal ini disain eksperimen cukup efektif bila faktor dan level di tiap faktor yang terlihat dalam tiap percobaan relatif kecil jumlahnya, misal terdapat 2 faktor dengan masing-masing 2 level, maka akan dihasilkan kombinasi sebanyak 2^2 (4) kombinasi yang mungkin. Tetapi bila jumlah faktor sangat banyak, misalnya 15 faktor dengan masing-masing 2 level, akan tetapi terdapat 2^{15} (32.768) kombinasi yang mungkin. Hal ini tentu sangat tidak efisien dalam hal waktu, biaya maupun tenaga.

Untuk mengatasi hal ini, Genechi Taguchi mengusulkan suatu teknik untuk menyederhanakan eksperimen tanpa mengurangi esensi dari percobaan. Taguchi melakukan pendekatan dengan *Fractional Factorial Eksperimen* (FFE) yang standar dan konsisten sehingga meningkatkan efisiensi dari percobaan yang akan dilakukan. Ia membangun beberapa FFE yang dapat digunakan pada berbagai situasi. Pada FFE

ini dipilih beberapa kondisi perlakuan untuk tetap mempertahankan prinsip orthogonalitas diantara berbagai faktor dan kombinasi.

a. Robust Design

Salah satu tujuan dari eksperimen pada parameter disain adalah untuk menyusun satu kombinasi faktor-faktor yang kokoh (*robust*) terhadap adanya faktor-faktor pengganggu (*noise*), dimana faktor-faktor *noise* ini tidak dapat/sulit dikendalikan, dan menyebabkan timbulnya variabilitas yang tinggi pada produk. Dengan adanya kombinasi yang optimal dari faktor-faktor kontrol, maka proses/produk akan tahan terhadap adanya gangguan tersebut.

b. Disain Parameter Taguchi

Dalam upaya meningkatkan kualitas produk dan memperkecil variabilitas yang terjadi, Taguchi memperkenalkan upaya-upaya yang dapat ditempuh guna menghasilkan produk dengan tingkat variabilitas yang kecil, dengan mengatur parameter-parameter yang mempengaruhinya pada tingkat yang paling kurang sensitif terhadap faktor gangguan (*noise*). Cara ini dikenal dengan disain parameter Taguchi, yang ditujukan terutama untuk meningkatkan kualitas tanpa menghilangkan penyebab timbulnya variabilitas. Untuk meningkatkan kualitas produk Taguchi membagi atas 3 hal :

1. Disain Sistem

Disain sistem adalah upaya dimana konsep-konsep, ide-ide, metode-metode baru dan sebagainya dimunculkan untuk memberikan peningkatan produk kepada pemakai. Sebagai salah satu cara untuk memenangkan persaingan yaitu dengan terus mengembangkan teknologi baru, sehingga dalam hal ini konsep-konsep, metode maupun penemuan baru sangat bermanfaat dalam disain sistem.

2. Disain Parameter

Disain parameter adalah hal yang sangat penting dalam upaya meningkatkan keseragaman produk atau mencegah tingginya variabilitas. Pada tahap ini parameter-parameter dari produk/proses tertentu ditetapkan untuk menghasilkan performansi produk menjadi kurang/tidak sensitif terhadap penyebab terjadinya variabilitas. Disain eksperimen dilakukan untuk

mendapatkan kondisi faktor-faktor yang tahan terhadap penyebab timbulnya variabilitas.

3. Disain Toleransi

Pada disain toleransi ini, kualitas ditingkatkan dengan mengetatkan toleransi pada parameter produk/proses untuk mengurangi terjadinya variabilitas pada performansi produk. Eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini menerapkan langkah-langkah prinsip disain parameter, yaitu melakukan eksperimen guna menentukan faktor dominan yang berpengaruh terhadap peningkatan kualitas furan dan menentukan kombinasi faktor-faktor dimana kombinasi tersebut tahan terhadap penyebab timbulnya variabilitas.

c. Langkah-langkah dalam melakukan eksperimen :

Taguchi mengusulkan langkah-langkah yang sistematis dalam melakukan eksperimen yaitu sebagai berikut :

1. Menyatakan permasalahan yang akan dipecahkan : Yaitu mendefinisikan dengan se jelas mungkin permasalahan yang dihadapi untuk dilakukan suatu upaya perbaikan.
2. Penentuan tujuan penelitian : Meliputi pengidentifikasian karakteristik kualitas dan tingkat performansi dari eksperimen.
3. Menentukan metode pengukuran : Menentukan bagaimanakah parameter-parameter yang diamati akan diukur, dan bagaimana cara pengukurannya dan peralatan yang diperlukan.
4. Identifikasi faktor : Tahap ini adalah melakukan pendekatan yang sistematis guna menemukan penyebab permasalahan. Untuk mendapatkan gambaran mengenai faktor yang akan diteliti, maka langkah-langkah yang dapat ditempuh adalah sebagai berikut :

a. Brainstorming

Brainstorming adalah suatu cara mendorong timbulnya gagasan yang mungkin sebanyak-banyaknya dengan memberikan kesempatan proses pemikiran kreatif setiap orang dalam kelompok untuk mengajukan pendapatnya. Langkah-langkah yang ditempuh dalam *brainstorming* adalah sebagai berikut :

- Mengumpulkan gagasan-gagasan mengenai penyebab dari permasalahan yang timbul pada perusahaan.
- Mencatat semua gagasan yang masuk tanpa kecuali, sehingga dapat mengetahui pendapat dari banyak orang mengenai permasalahan yang ada.
- Mengelompokkan gagasan-gagasan tersebut. Gagasan-gagasan yang sejenis dikelompokkan dalam satu kelompok.
- Menyimpulkan gagasan-gagasan yang mungkin menjadi penyebab permasalahan yang timbul pada perusahaan

b. Diagram Sebab Akibat (*Ishikawa Diagram*)

Diagram ini berguna untuk menggambarkan mengenai sebab akibat dari proses yang diamati. Dalam diagram sebab akibat ini digambarkan penyebab utama maupun penyebab sampingan, yang mempunyai akibat tertentu dan hubungan yang mungkin timbul diantara masing-masing penyebab. Pada Diagram sebab akibat ini karakteristik kualitas yang diamati dibuat garis lurus memotong diagram (*effect*). Faktor-faktor yang diduga menjadi penyebab permasalahan ditunjukkan oleh anak panah yang menuju cabang utama.

5. Memisahkan faktor kontrol dan *noise* faktor : Untuk memulai langkah dalam disain parameter Taguchi, hal yang harus diketahui adalah jenis-jenis faktor yang mempengaruhi karakteristik proses/produk. Taguchi membedakan faktor ke dalam dua golongan besar yaitu :
- Faktor control Yaitu faktor yang sudah ditetapkan nilainya oleh perancangnya, dan nilainya dapat dikontrol. Sebuah faktor kontrol biasanya mempunyai 1 atau lebih yang disebut dengan level. Pada akhir eksperimen level yang sesuai dari faktor kontrol dapat dipilih. Satu aspek dari disain yang *robust* adalah memilih setting level kontrol faktor yang optimal, yang membuat karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap *noise*.
 - Faktor *noise* Adalah faktor yang dapat menyebabkan penyimpangan dari karakteristik kualitas dari nilai target. Faktor ini tidak dapat/sulit untuk dikontrol, dapat memakan biaya yang sangat besar sehingga tidak ekonomis untuk dikontrol.

6. Menentukan level dari faktor dan nilai faktor : Penentuan level ini menentukan jumlah derajat bebas yang akan digunakan dalam pemilihan *Orthogonal Array*.
7. Mengidentifikasi faktor yang mungkin berinteraksi : Apabila pengaruh dari suatu faktor tergantung dari level faktor lain, dikatakan terjadi suatu interaksi.
8. Menggambar *linear graph* yang diperlukan untuk faktor kontrol dan interaksi : Penggambaran *linear graph* ini untuk menentukan penempatan faktor-faktor serta interaksi yang mungkin digunakan pada kolom-kolom dalam *Orthogonal Array*. Taguchi telah menetapkan beberapa *linear graph* untuk mempermudah mengatur faktor-faktor dari interaksi ke dalam kolom.
9. Memilih *Orthogonal Array* : *Orthogonal Array* adalah matrik dari sejumlah kolom dan baris. Masing-masing kolom mewakili faktor-faktor dari percobaan yang dilakukan. *Orthogonal Array* ini memenuhi asumsi orthogonalitas, yaitu bahwa level dari masing-masing faktor adalah seimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor yang lain dalam eksperimen.
10. Memasukkan faktor dan atau interaksi ke dalam kolom : Taguchi menyediakan dua alat untuk membantu memasukkan faktor dan interaksi ke dalam kolom *array* yaitu *linear graph* dan *triangular tables*.
11. Melakukan percobaan : Dalam eksperimen ini sejumlah percobaan (*trial*) disusun untuk meminimasi kesempatan terjadinya kesalahan dalam menyusun level yang tepat untuk percobaan. Prinsip randomisasi juga harus diperhatikan dalam masalah ini.
12. Analisis hasil eksperimen : Dalam menganalisa hasil eksperimen dari Taguchi ini juga menggunakan metode ANOVA, yaitu perhitungan jumlah kuadrat total, jumlah kuadrat terhadap rata-rata, jumlah kuadrat faktor, dan jumlah kuadrat *error*.

a. *Pooling Factor*

Suatu metode yang dianjurkan apabila faktor yang diamati ternyata tidak signifikan secara statistik setelah melalui uji signifikansi.

b. *Persen Kontribusi*

Bagian dari total variasi yang diamati pada eksperimen dari masing-masing faktor yang signifikan pada metode Taguchi dinyatakan dalam

persen kontribusi. Persen kontribusi menandakan kekuatan relatif dari suatu faktor/interaksi untuk mereduksi variasi. Jika level faktor dan interaksi dikendalikan dengan cermat, maka total variasi akan berkurang sejumlah yang diindikasikan pada persen kontribusi.

c. *Rasio Signal to Noise (S/N Ratio)*

Taguchi memperkenalkan pendekatan S/N untuk meneliti pengaruh faktor *noise* terhadap variasi yang timbul. Terdapat beberapa jenis rasio S/N tergantung pada karakteristik kualitas yang diinginkan, yaitu :

- *Larger the Better (LTB)* yaitu karakteristik kualitas dalam pengukurannya bahwa semakin tinggi nilainya, maka kualitasnya akan lebih baik
- *Nominal the Better (NTB)*, biasanya ditetapkan suatu nilai nominal tertentu, dan semakin mendekati nilai nominal tersebut, kualitas semakin baik.
- *Smaller the Better (STB)*, meliputi pengukuran dimana akan semakin kecil nilainya, maka kualitasnya akan lebih baik.

13. Pemilihan level faktor untuk kondisi optimal : Apabila percobaan terdiri dari banyak faktor, dan tiap-tiap faktor terdiri dari beberapa level, maka untuk menentukan kombinasi level yang optimal adalah membandingkan nilai perbedaan rata-rata eksperimen dari level yang ada.

14. Perkiraan rata-rata proses pada kondisi optimal : Setelah mendapatkan kondisi yang optimal dari eksperimen dengan *Orthogonal Array*, maka dapat diperkirakan rata-rata proses untuk prediksi pada kondisi yang optimal. Hal ini di dapat dengan menjumlahkan pengaruh dari ranking faktor yang lebih tinggi. Pengaruh dari faktor yang signifikan adalah pengaruhnya pada rata-rata percobaan.

15. Prosedur TOPSIS : Prosedur ini merupakan prosedur optimasi yang berdasarkan pada pemilihan beberapa alternatif yang mempunyai jarak terdekat terhadap penyelesaian ideal (*Ideal solution*) dan mempunyai jarak terjauh dari penyelesaian ideal negatif (*Negative ideal solution*).

16. Menjalankan percobaan konfirmasi : Eksperimen konfirmasi dimaksudkan bahwa faktor dan level yang dimaksud memberikan hasil yang diharapkan.

Untuk menguji apakah level yang didapat sesuai dengan yang diharapkan, maka harus diuji dengan interval kepercayaan. Hasil yang didapatkan harus berada pada interval yang ditentukan. Data eksperimen dapat digunakan untuk membuat sejumlah perkiraan rata-rata proses yang optimum untuk lebih menguatkan tingkat kepercayaan dengan menghitung interval kepercayaan dimana perkiraan harus berada pada range interval kepercayaan tersebut.

2.3.5. Analisis of Varian (ANOVA)

Masalah paling kompleks yang sering dihadapi di dalam validitas untuk menentukan kualitas suatu produk atau proses dalam industri atau dalam menentukan kepresisian eksperimen adalah munculnya variasi. Karakteristik jaminan kualitas ataupun tingkat presisi selanjutnya diukur dari variansinya.

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

Di dalam ANOVA, derajat bebas, jumlah kuadrat, rata-rata kuadrat dan sebagainya dihitung dan diorganisasikan dalam format tabel standar. Pada ANOVA dua arah ini data eksperimen terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih.

Tabel 2.5. Anova Dua Arah

Sumber Variasi	Derajat Bebas (db)	SS	MS	F _{hitung}	% kontribusi
Faktor A	V_A	SS_A	MS_A	MS_A/Mse	SS'_A/SST
Faktor B	V_B	SS_B	MS_B	MS_B/MSe	SS'_B/SST
Interaksi	V_{AXB}	SS_{AXB}	MS_{AXB}	MS_{AXB}/MSe	SS'_{AXB}/SST
Residual	V_e	SSE	MSe		SS'_e/SST
Total	V_T	SS_T			100%

Dimana :

V_T = derajat bebas total = $N-1$

V_A = derajat bebas faktor A = k_A-1

V_B = derajat bebas faktor B = k_B-1

V_{AXB} = derajat bebas interaksi = $(k_A-1)(k_B-1)$

V_e = derajat bebas kesalahan (error) = $V_T - V_A - V_B - V_{AXB}$

CF = Correction factor = T^2/N

SS_T = jumlah kuadrat total

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right] - CF \dots\dots\dots(2.18)$$

SS_A = Jumlah kuadrat faktor A

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{A_i^2}{n_A} \right) \right] - CF \dots\dots\dots(2.19)$$

SS_B = Jumlah kuadrat faktor B

$$SS_B = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{B_i^2}{n_B} \right) \right] - CF \dots\dots\dots(2.20)$$

SS_{AXB} = Jumlah kuadrat interaksi antar faktor

$$SS_{AXB} = \left[\sum_{i=1}^c \left(\frac{AXB_i^2}{n_{AXB}} \right) - CF - SS_A - SS_B \right] \dots\dots\dots(2.21)$$

SSE = jumlah kuadrat kesalahan (error)

$$SSE = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AXB} \dots\dots\dots(2.22)$$

MS_A = rata-rata jumlah kuadrat faktor A

$$MS_A = SS_A / V_A \dots\dots\dots(2.23)$$

MS_B = rata-rata jumlah kuadrat faktor B

$$MS_B = SS_B / V_B \dots\dots\dots(2.24)$$

MS_{AXB} = rata-rata jumlah kuadrat interaksi faktor AXB

$$MS_{AXB} = SS_{AXB} / V_{AXB} \dots\dots\dots(2.25)$$

MSE = rata-rata jumlah kuadrat kesalahan (error)

$$MSE = SSE / V_e \dots\dots\dots(2.26)$$

T = jumlah seluruh pengamatan

$$T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij} \dots\dots\dots(2.27)$$

k_A = jumlah level faktor A

k_B = jumlah level faktor B

N = Jumlah kuadrat Eksperimen

N = $k \times n$

n_{Ai}, n_{Bj} = jumlah pengamatan (trial) faktor A dan faktor B

Model persamaan yang mewakili keadaan pengamatan adalah :

$$Y_{ikr} = \mu + \alpha_i + \beta_k + \varepsilon_{ikr} \dots\dots\dots(2.28)$$

dimana :

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, n ; \varepsilon_{ikr} \approx \text{IIDN} (0, \sigma^2)$$

Untuk menguji perbedaan pengaruh taraf faktor didasarkan pada hipotesis awal yang menyatakan bahwa efek taraf faktor A adalah sama, sehingga hipotesisnya adalah :

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 \dots\dots\dots = \alpha_m = 0$$

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

Dalam pengujian hipotesis, statistik uji yang digunakan adalah $F_{\text{hitung}} = MS_A / Mse$ kemudian dibandingkan dengan F tabel $F_{\alpha}(V_A, V_e)$. Kesimpulan yang diperoleh adalah menolak H_0 apabila $F_{\text{hitung}} > F_{\alpha}(V_A, V_e)$ dan jika $F_{\text{hitung}} < F_{\alpha}(V_A, V_e)$, maka H_0 diterima.

2.3.6. Prosedur Penggabungan (*Pooling*) Efek Faktor

Suatu metode yang dianjurkan apabila faktor yang diamati ternyata tidak signifikan secara statistik setelah melalui uji signifikansi adalah metode *pooling*. Apabila kontribusi suatu faktor sangat kecil, maka jumlah kuadrat dari faktor tersebut digabungkan dengan jumlah kuadrat error. Kemudian jumlah kuadrat setiap faktor lainnya yang signifikan disesuaikan (*adjustment*). Penggabungan biasanya dimulai dari jumlah faktor terkecil, kemudian berturut-turut dilanjutkan dengan jumlah kuadrat faktor yang lebih besar. Taguchi menganjurkan prosedur penggabungan ini dilakukan sampai setengah derajat bebas error mendekati setengah dari total derajat bebas pengamatan.

2.3.7. Persen Kontribusi

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

$$MS_A = MS'_A + MSe$$

$$MS'_A = MS_A - MSe$$

$$\frac{SS'_A}{V_A} = \frac{SS_A}{V_A} - MSe$$

$$SS'_A = SS_A - MSe \times V_A \dots\dots\dots(2.29)$$

Sehingga persen kontribusi terhadap variasi total dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_A = SS'_A / SS_T \times 100 \% \dots\dots\dots(2.30)$$

$$P_B = SS'_B / SS_T \times 100 \% \dots\dots\dots(2.31)$$

2.3.8. Kondisi Optimum Respon

Kombinasi faktor yang memberikan hasil optimum pada eksperimen diperoleh dengan menghitung rata-rata rasio S/N tiap-tiap level pada masing-masing faktor. Kombinasi faktor yang dapat memberikan rata-rata rasio S/N paling tinggi.

Andaikan dari analisis variansi suatu eksperimen dihasilkan model yang sesuai adalah

:

$$Y_{ijk} = y + A_i + B_j + C_k \dots\dots\dots(2.32)$$

Maka nilai taksiran optimum yang dicapai dari eksperimen adalah :

$$Y_{ijk} = y + (A_i - y) + (B_j - y) + (C_k - y) \dots\dots\dots(2.33)$$

dimana A, B, C adalah faktor-faktor yang signifikan, dan i, j, k adalah taraf faktor yang menghasilkan respon optimum.

2.3.9. Prosedur TOPSIS Pada Problematika Taguchi Multirespon

Prosedur ini merupakan prosedur optimasi yang berdasarkan pada pemilihan beberapa alternatif yang mempunyai jarak terdekat terhadap penyelesaian ideal (*Ideal solution*) dan mempunyai jarak terjauh dari penyelesaian ideal negatif (*Negative ideal solution*). Prosedur TOPSIS dikembangkan dari masalah *Multi Attribute Decision Making* (MADM) oleh Hwang dan Yoon 1981 serta fuzzy MADM (Chen dan Hwang 1992). MADM meliputi pemilihan beberapa alternatif yang bersifat *multiple atribut*. Atribut dalam hal ini menyatakan tujuan kriteria. Tingkat kepentingan masing-masing atribut biasanya diberikan dengan pembobot yang diperoleh berdasarkan informasi dari pembuat keputusan. Karena penentuan tingkat kepentingan ini sifatnya *uncertain* (*Imprecise information*) dan kadang-kadang tiap atribut mempunyai perbedaan pengukuran, maka Chen dan Hwang (1992) membuat suatu transformasi ke dalam bentuk data fuzzy melalui teori fuzzy. Kemudian mengkonversikan ke dalam *crisp score*. Setelah masalah-masalah tersebut termuat dalam *crisp score*, metode MADM klasik dipakai. Prosedur ini dibagi dalam 6 tahap sebagai berikut :

Tahap 1 : Mentransformasi tingkat kepentingan relatif masing-masing respon ke dalam bilangan fuzzy (*fuzzy number*).

- a. Tentukan tingkat kepentingan relatif masing-masing respon dengan bentuk *linguistic*, ini biasanya ditentukan oleh pengalaman seorang *engineer*.
- b. Temukan sistem skala formal yang dapat digunakan untuk mengkonversi bentuk *linguistic* ke dalam *fuzzy number* yang bersesuaian.
- c. Setelah ditemukan skala konversi yang bersesuaian untuk semua *linguistic* maka jika ditemukan lebih dari satu skala, skala dengan angka terkecil (skala sederhana) yang dipakai untuk konversi.

Tahap 2 : Tandai *crisp score* untuk memilih skala konversi *fuzzy number*. Lakukan konversi *fuzzy number* ke dalam *crisp score* melalui metode *scoring fuzzy*.

- a. Normalisasi *crisp score* dengan tujuan memperoleh pembobot yang menyatakan kepentingan relatif masing-masing respon sedemikian hingga $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ dimana w_j adalah pembobot respon ke- j ($j = 1, 2, \dots, n$).

Tahap 3 : Menghitung fungsi kerugian (loss funtion), dimana fungsi kerugian dari masing-masing respon dihitung berdasarkan karakteristik kualitasnya masing-masing.

Tahap 4 : Menentukan nilai TOPSIS untuk masing-masing percobaan.

a. Hitung $r_{ij} = \frac{L_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m L_{ij}^2}}$ dimana L_{ij} adalah fungsi kerugian untuk respon ke - j

pada percobaan ke - i

$$V_{ij} = W_j r_{ij} \dots \dots \dots (2.34)$$

dimana $R = (r_{ij})$ adalah matriks keputusan normalisasi dan $V = (v_{ij})$ adalah matriks keputusan normalisasi terboboti.

b. Menghitung kedekatan relatif (*relative closeness*) dari masing-masing kombinasi perlakuan sebagai berikut :

- Solusi ideal :

$$A^+ = \{(\max v_{ij} | j \in J), (\min v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\} \\ = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\} \dots \dots \dots (2.35)$$

- Solusi negatif ideal :

$$A^- = \{(\min v_{ij} | j \in J), (\max v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\} \\ = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\} \dots \dots \dots (2.36)$$

dimana $J = \{j=1, 2, \dots, n | j \text{ menyatakan kriteria keuntungan}\}$ dan $J' = \{j=1, 2, \dots, n | j \text{ sebagai kriteria biaya}\}$.

- Ukuran pemisahan terhadap solusi ideal :

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - V_j^+)^2}, i = 1, 2, \dots, m \dots \dots \dots (2.37)$$

- Ukuran pemisahan terhadap solusi ideal negatif:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - V_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m \dots \dots \dots (2.38)$$

Menghitung nilai TOPSIS (C_i^*) :

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \dots \dots \dots (2.39)$$

dimana : $i = 1, 2, \dots, m$.

Tahap 5 : Menentukan kombinasi taraf faktor yang optimum.

- a. Menghitung pengaruh taraf faktor terhadap nilai TOPSIS.
- b. Menentukan kombinasi taraf kendali yang optimum dengan cara memilih taraf-taraf faktor yang memberikan nilai TOPSIS terbesar.

Tahap 6 : Melaksanakan eksperimen konfirmasi untuk membuktikan bahwa kondisi optimum yang telah diperoleh benar-benar memberikan peningkatan kualitas. Dalam hal ini indeks yang terbesar menunjukkan kualitas produk yang terbaik.

2.3.10. Interval Kepercayaan (*Confidence Interval*)

Interval kepercayaan (CI) untuk pengaruh taraf faktor A data diperoleh dengan persamaan berikut :

$$CI = \bar{A}_i \pm \sqrt{\frac{F_{\alpha, I, v_2} \times MSE}{n}} \dots \dots \dots (2.40)$$

Sedangkan interval kepercayaan (CI) untuk hasil yang dicapai pada kondisi optimum dihitung dengan cara yang sama seperti CI pengaruh faktor diatas yaitu :

$$CI = \hat{y}_{ijk} \pm \sqrt{\frac{F_{\alpha, I, v_2} \times MSE}{n}} \dots \dots \dots (2.41)$$

- dimana:
- A_i = pengaruh faktor A taraf k-i.
 - y_{ijk} = harga taksiran respon yang optimum.
 - F_{α, I, v_2} = nilai tabel distribusi F
 - v_2 = derajat bebas kesalahan *pooling*
 - MSe = varian kesalahan *pooling*
 - N = jumlah pengulangan
 - = jumlah pengamatan untuk menghitung *mean*
 - n_{eff} = jumlah pengulangan efektif
 - = $\frac{\text{jumlah seluruh percobaan}}{1 + \text{jumlah derajat bebas semua faktor}}$

2.3.11. Analisis Residual

Residual didefinisikan sebagai selisih antara nilai pengamatan dengan nilai dugaan yang telah ditetapkan, sehingga dapat dirumuskan :

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \dots \dots \dots (2.42)$$

dimana :

e_i = residual

y_i = nilai pengamatan

\hat{y}_i = nilai dugaan

Suatu model dikatakan valid apabila residual bersifat bebas satu dengan yang lain (*independent*), mempunyai *mean* nol dan varian yang konstan, σ^2 (identik) dan berdistribusi normal atau $\sim \text{IIDN}(0, \sigma^2)$ terpenuhi.

Pemeriksaan dan Pengujian Identik

Pemeriksaan dan pengujian identik ini bertujuan untuk mengetahui apakah residual mempunyai penyebaran yang sama (*homogen*).

a. Pemeriksaan Identik

Pemeriksaan identik dilakukan dengan membuat plot antara residual e_i dengan y_i , jika penyebaran datanya acak dan menyebar disekitar garis nol, dan tidak menunjukkan pola-pola tertentu, maka asumsi identik terpenuhi.

b. Pengujian Identik

Pengujian ini dilakukan dengan uji Gletser, yaitu dengan meregresikan nilai absolut residual ($|e_i|$) terhadap seluruh variabel bebas yang dianggap mempunyai hubungan yang kuat dengan σ_i . Jika tidak terdapat parameter regresi yang signifikan antara residual dengan masing-masing variabel bebas, maka asumsi identik terpenuhi. Adapun hipotesis yang digunakan adalah :

H_0 : Residual mempunyai sebaran identik. Atau $H_0 : \sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_k = 0$.

H_1 : Residual mempunyai sebaran tidak identik. Atau H_1 : paling tidak ada salah satu $\sigma_k \neq 0$.

Jika $F_{hitung} > F(\alpha, v_1, v_2)$ maka H_0 ditolak.

Pemeriksaan Asumsi Independent

Pemeriksaan asumsi ini bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat dependensi antara residual pada pengamatan ke- t dan pengamatan ke $t+k$ dengan selisih waktu t . Asumsi ini dapat diperiksa dengan melihat plot ACF (*Auto Correlation Function*).

Hipotesis untuk pengujian ini adalah :

$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$

H_1 = paling tidak ada satu $\rho_k \neq 0$.

$$\text{Statistik uji untuk } \hat{\rho}_k = \frac{\hat{\gamma}_k}{\hat{\gamma}_0} = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Z_t - \bar{Z})(Z_{t+k} - \bar{Z})}{\sum_{t=1}^n Z_{t/n}} \dots\dots\dots(2.43)$$

Residual dikatakan *independent* jika nilai ACF-nya berada pada rentang $-1.65/\sqrt{n}$ dan $1.65/\sqrt{n}$ dengan $\alpha = 10\%$.

Pengujian Asumsi Kenormalan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah residual mempunyai distribusi normal $(0, \sigma^2)$. Pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan plot normal residual atau metode QQ-plot. Jika plot residual mendekati garis lurus maka asumsi terpenuhi. Sedangkan pengujian kenormalan residual dapat dilakukan dengan menggunakan uji Lilliefors dengan hipotesis sebagai berikut :

- Ho : residual berdistribusi normal
- HI : residual tidak berdistribusi normal

Statistik uji :

$$T = \max|F(e_{(i)}) - S(e_{(i)})| \dots\dots\dots(2.44)$$

Dimana :

$E_{(i)} = e_i$ yang diurutkan
 $F(e_{(i)}) = F(z_i)$
 $Z_i = (e_i - x)/s \dots\dots\dots(2.45)$

$S(e_i) = i/n \quad , i = 1, \dots, n \dots\dots\dots(2.46)$

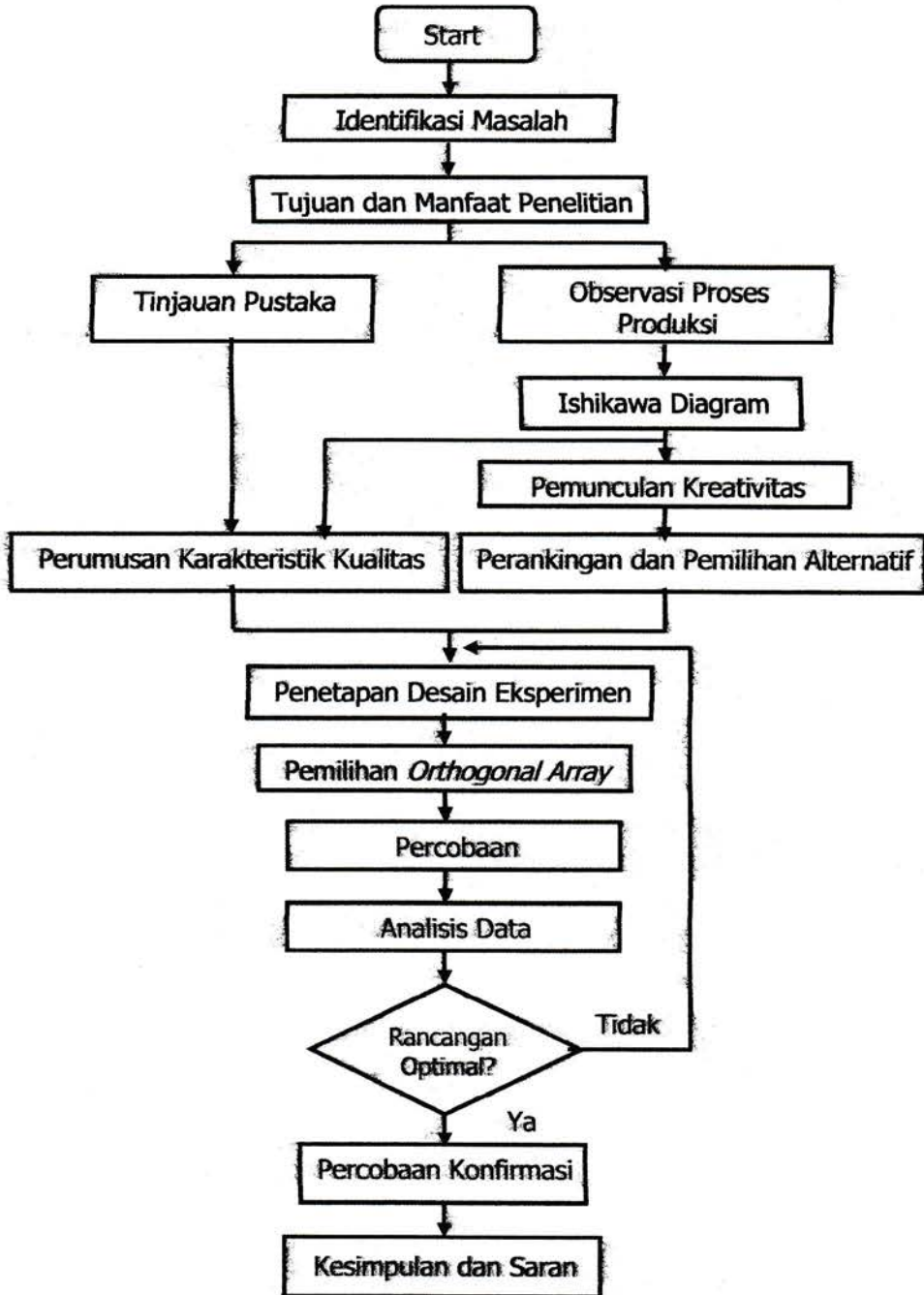
S = simpangan baku (standar deviasi)

Jika $T_{hitung} > T_{tabel}$, maka Ho ditolak. Artinya residual berdistribusi normal.

BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan dimulai dari identifikasi masalah sampai kesimpulan dan saran yang dijelaskan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Metode Penelitian

3.1. Identifikasi Masalah

Pada bagian ini dibahas tentang perumusan masalah yang akan dijadikan pokok pembahasan di dalam penelitian dan merupakan tahapan awal untuk mencapai tujuan penelitian agar dapat berhasil sesuai dengan yang diharapkan.

3.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Perumusan tujuan penelitian merupakan hal mutlak dalam penelitian, karena tujuan penelitian merupakan dasar penentuan langkah yang harus dilakukan dalam penelitian. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah menentukan kriteria furan yang digunakan sebagai dasar setting parameter dan mengevaluasi nilai taksiran yang optimum untuk mengetahui kekuatan tekan dan kekuatan geser furan yang optimal. Manfaat penelitian merupakan suatu hasil yang dicapai dari tujuan penelitian yang dilakukan, sehingga dapat menjadi tolok ukur bagi pihak manajemen perusahaan dalam pengembangan selanjutnya.

3.3. Tinjauan Kepustakaan

Dalam studi pustaka ini dilakukan pengumpulan informasi dan landasan teori yang terkait dengan permasalahan yang diteliti baik dari literatur, jurnal, majalah yang kemudian digunakan sebagai acuan dalam melakukan pengolahan data. Dari studi pustaka ini akan diperoleh landasan dan metode yang akan digunakan dalam menyelesaikan permasalahan yang ada.

3.4. Observasi Proses Produksi dan Kuesioner

Observasi proses produksi dilakukan untuk mengetahui aliran proses pembuatan furan di Perusahaan Pengeroran Logam. Sedangkan kuesioner disebarakan kepada para pakar dan orang-orang yang berpengalaman dalam penanganan furan untuk memperoleh informasi yang sebanyak-banyaknya tentang pembuatan furan, bahan baku dan faktor-faktor lain yang berpengaruh terhadap kekuatan tekan dan kekuatan geser furan. Kemudian dari kuesioner tersebut dapat diketahui kriteria dan variabel yang diperlukan dalam pembuatan furan yang selanjutnya dibuat diagram sebab akibat.

3.5. Diagram Ishikawa

Berdasarkan aliran proses produksi dan kuesioner, maka dapat dibuat hubungan sebab akibat dalam pembuatan furan untuk mendapatkan kekuatan tekan (*Compression Strength*) dan kekuatan geser (*Shear Strength*) yang optimal. Berdasarkan diagram sebab akibat dan studi kepustakaan, maka dapat dirumuskan karakteristik kualitas yang digunakan.

3.6. Pemunculan Kreativitas

Berdasarkan diagram ishikawa yang diperoleh kemudian dikembangkan alternatif-alternatif baru yang dapat memenuhi fungsi dasar (fungsi primer), yang memiliki kelayakan, dapat berisi ide orisinal, perbaikan terhadap suatu ide, kombinasi beberapa ide, atau penggunaan analogi. Alternatif-alternatif kriteria furan yang dimunculkan kemudian dibandingkan dan dipilih satu alternatif terbaik dan dijadikan dasar ke dalam disain eksperimen.

Pada tahap ini akan dilakukan pemunculan kreativitas yaitu berupa pengembangan alternatif produk sebanyak mungkin kemudian diseleksi terhadap alternatif-alternatif yang mempunyai potensi efisiensi biaya. Kreativitas yang dimunculkan pada tahap ini dapat berupa gagasan orisinal, *improvement* terhadap gagasan yang telah ada atau kombinasi dari berbagai gagasan dan pemakaian analogi. Semakin banyak alternatif yang dimunculkan, maka semakin baik analisis dihasilkan, karena mempunyai daya kreativitas yang tinggi.

Alternatif-alternatif yang diperoleh dalam tahap kreatif kemudian dievaluasi untuk menentukan alternatif terbaik dengan peningkatan performansi dan pengurangan biaya. Analisis yang akan dilakukan yaitu analisis keuntungan kerugian, perhitungan nilai dengan matrik kelayakan, analisis pembobotan dengan matrik perbandingan berpasangan, dan perhitungan *Inconsistency Index*. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah Proses Hirarki Analitis.

3.7. Perankingan Dan Pemilihan Alternatif

Pada tahap ini alternatif yang diperoleh dari kreativitas yang dimunculkan dianalisis dan dilakukan perankingan untuk menentukan kriteria furan. Setiap alternatif yang dievaluasi diberi nilai dengan maksud untuk menentukan pilihan

terbaik dan mengetahui kelebihan dan kerugian masing-masing alternatif. Berdasarkan *Inconsistency Index* terendah itulah yang dipilih sebagai alternatif terbaik. Besarnya *Inconsistency Index* yang diharapkan adalah $CI < 0,1$.

3.8. Perumusan Karakteristik Kualitas

Berdasarkan kajian teori yang ada, proses produksi dan diagram Ishikawa, maka dapat dirumuskan karakteristik kualitas yang digunakan. Kekuatan tekan dan kekuatan geser termasuk jenis karakteristik kualitas *larger the better*, sehingga semakin tinggi kekuatan tekan dan kekuatan geser, maka kualitas furan semakin baik. Oleh karena itu kekuatan tekan dan kekuatan geser furan tersebut tidak boleh kurang dari nilai kekuatan yang telah ditentukan.

3.9. Penetapan Disain Eksperimen

Dalam penetapan rancangan ini mengacu pada perumusan karakteristik kualitas dan pemilihan alternatif kriteria furan. Berdasarkan jumlah level dan faktor yang digunakan atau interaksi yang diamati untuk mendapatkan kekuatan tekan (*Compression Strength*) dan kekuatan geser (*Shear Strength*) furan, maka dapat ditentukan derajat bebasnya. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan tekan (*Compression Strength*) dan kekuatan geser (*Shear Strength*) furan yang perlu diperhatikan dalam penetapan disain eksperimen meliputi : Resin, Katalis, pasir Silika dan operator.

Dalam pemilihan faktor terkendali, faktor operator tidak dimasukkan ke dalam *Orthogonal Array*, sehingga percobaan yang dilakukan hanya dilakukan terhadap faktor-faktor terkendali dengan melakukan *trial* dan masing-masing percobaan dilakukan 3 kali replikasi. Adapun penetapan level faktor pada rancangan furan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1. Penetapan level faktor

No	Faktor	Level 1 (%)	Level 2(%)	Level 3(%)
1	Resin	1,3	1,5	1,7
2	Katalis	20	22,5	25
3	Pasir Campuran	95% Pasir reclaim + 5% Pasir baru	90% Pasir reclaim + 10 % Pasir baru	85% Pasir reclaim + 15% Pasir baru

3.10. Pemilihan Orthogonal Array

Pemilihan *Orthogonal Array* ini berdasarkan derajat bebas total yang diperoleh dan ada tidaknya interaksi antar faktor serta *linear graph* kemudian memilih beberapa jenis *Orthogonal Array* yang paling tepat. Dalam penelitian ini terdapat tiga faktor terkendali dan masing-masing tiga level. Lambang dari ketiga faktor tersebut adalah sebagai berikut :

A : melambangkan komposisi Resin

A1 : Resin 1,3%

A2 : Resin 1,5%

A3 : Resin 1,7%

B : melambangkan komposisi Katalis

B1 : Katalis 20%

B2 : Katalis 22,5%

B3 : Katalis 25%

C : melambangkan komposisi pasir

C1 : pasir *reclaim* 95% + pasir baru 5%

C2 : pasir *reclaim* 90% + pasir baru 10%

C3 : pasir *reclaim* 85% + pasir baru 15%

Besarnya derajat bebas total dalam rancangan furan ini adalah

$$db_{\text{faktor utama}} = \text{jumlah taraf} - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah } db_{\text{total}} \text{ adalah db tiga faktor utama} &= db_A \times db_B \times db_C \\ &= 2 \times 2 \times 2 = 6 \end{aligned}$$

$$db_{\text{interaksi}} = (\text{jumlah taraf} - 1) \times (\text{jumlah taraf} - 1) \text{ yaitu interaksi AXC}$$

$$\begin{aligned} &= (3-1) \times (3-1) \\ &= 2 \times 2 = 4 \end{aligned}$$

Sehingga derajat bebas total = 6 + 4 = 10. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah baris minimal adalah 10, oleh karena itu dapat digunakan OA L18. Akan tetapi karena pada L18 tidak ada interaksi, maka dipilih *Orthogonal Array* L27 sebagai dasar pelaksanaan percobaan.

3.11. Percobaan

Setelah *Orthogonal Array* ditetapkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan percobaan. Percobaan ini dilakukan pada bagian furan dengan cara mengubah-ubah parameter atau variabel bebas yang mengacu pada *Orthogonal Array* yang digunakan dengan replikasi 3 kali untuk setiap respon. Agar diperoleh data yang akurat, diperlukan ketelitian yang tinggi.

3.12. Analisis data

Dalam analisis data ini dilakukan secara bertahap mulai dari ANOVA tiap respon, prosedur *pooling*, persen kontribusi, *signal to noise* optimal. Dalam analisis residual dilakukan pemeriksaan asumsi identik dengan metode grafis dan uji Gletser, pemeriksaan asumsi *independent* dengan plot ACF residual, dan pemeriksaan asumsi normal dengan metode grafis dan pengujian Lilliefors. Berdasarkan perhitungan, pemeriksaan dan pengujian tersebut dapat diketahui berapa nilai *mean*, nilai variansi dan rancangan yang optimal. Jika rancangan telah optimal, kemudian melakukan percobaan konfirmasi. Akan tetapi jika rancangan tidak optimal maka perlu ditinjau ulang tentang pemilihan disain eksperimen

3.13. Percobaan Konfirmasi

Dalam percobaan konfirmasi ini dilakukan untuk membuktikan hasil eksperimen sebelumnya berdasarkan nilai optimum dari nilai TOPSIS terbesar. Hal ini dilakukan jika terjadi interaksi yang signifikan. Sehingga dari percobaan ini akan ditemukan rancangan dengan faktor dan level yang akurat dan validitasnya tinggi.

3.14. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan ringkasan dari hasil analisa dan perhitungan data eksperimen yang menjawab tujuan penelitian dan dapat mewakili hasil penelitian secara keseluruhan. Sehingga dapat ditentukan bagaimana rancangan optimal yang dapat memperbaiki kualitas furan. Sedangkan saran merupakan suatu langkah perbaikan pada pihak perusahaan sebagai obyek penelitian.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini data-data yang berkaitan dengan kuesioner prioritas kriteria, tingkat kepentingan, tingkat kelayakan maupun identifikasi faktor rancangan furan diperoleh dengan penyebaran kuesioner kepada responden dan wawancara langsung kepada pihak-pihak yang berkompeten dan berpengalaman dalam menangani furan. Sedangkan data-data yang berkaitan dengan pengujian kekuatan tekan dan kekuatan geser diperoleh dengan melakukan percobaan utama di laboratorium Perusahaan khususnya bagian Foundry. Selanjutnya data-data tentang prioritas kriteria, tingkat kepentingan, tingkat kelayakan dievaluasi dengan menggunakan *software* Expert Choice Profesional untuk memperoleh alternatif kombinasi terbaik. Sedangkan data-data tentang pengujian kekuatan tekan dan kekuatan geser dievaluasi dengan menggunakan *software* MiniTab untuk memperoleh setting parameter yang tepat dan nilai taksiran optimal dari variabel respon secara serentak.

4.1. Gambaran Umum Proses Pembuatan Furan

Dalam pembuatan furan bahan baku yang digunakan berupa pasir Silika. Sedangkan bahan tambahan yang berfungsi sebagai pengikat berupa Resin dan bahan tambahan yang berfungsi mempercepat reaksi yaitu Katalis. Pasir Silika yang digunakan dapat berupa pasir *reclaim*, pasir baru atau campuran antara pasir *reclaim* dan pasir baru. Kualitas furan yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh mutu bahan yang digunakan, setting parameter bahan yang digunakan, homogenitas campuran, proses penumbukan, *pattern* yang digunakan, ataupun faktor kondisi lingkungan baik yang dapat dikendalikan maupun yang tidak dapat dikendalikan. Akan tetapi dalam penelitian ini faktor yang tidak dapat dikendalikan diasumsikan konstan.

4.1.1. Tahap Persiapan

Dalam tahap persiapan ini bahan-bahan seperti Resin, Katalis dan pasir Silika yang digunakan disesuaikan dengan bahan coran dan permintaan konsumen. Hal ini dilakukan karena type Resin, Katalis dan pasir Silika mempunyai karakteristik, kekuatan dan ketahanan terhadap panas maupun temperatur yang berbeda. Type Resin

dan Katalis ada tiga macam yaitu Foseco, Indocerra dan Uniprima. Secara singkat bahan-bahan yang digunakan untuk membuat furan dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. **Resin** : Resin merupakan bahan tambahan yang berfungsi untuk mengikat pasir dalam pembuatan furan. Semakin daya ikatnya tinggi, maka kualitas Resin semakin baik sehingga furan yang dihasilkan mempunyai kekuatan yang tinggi. Dalam penelitian ini komposisi dari Resin yang digunakan adalah 1,3% ; 1,5% dan 1,7% dari berat pasir.
- b. **Katalis** : Katalis merupakan bahan tambahan yang berfungsi untuk mempercepat laju reaksi antara Resin dengan pasir. Dalam menggunakan Katalis ini perlu hati-hati karena jika kadar Katalis yang digunakan terlalu tinggi, maka kualitas furan yang dihasilkan menjadi jelek (pasir rontok). Akan tetapi jika kadar Katalisnya terlalu rendah, maka reaksi yang terjadi antara pasir dan Resin memerlukan waktu yang cukup lama. Dalam penelitian ini komposisi dari Katalis yang digunakan adalah 20%; 22,5% dan 25% dari berat Resin.
- c. **Pasir Silika** : Pasir Silika merupakan bahan baku pembuatan furan. Pasir Silika ini mempunyai karakteristik yang berbeda-beda tergantung *mesh* dan daerah asalnya. Karakteristik yang perlu diperhatikan pada pasir Silika adalah kandungan *clay*, kadar air, kadar asam, distribusi pasir dan sebagainya. Dalam penelitian ini pasir Silika yang digunakan berupa pasir campuran antara pasir *reclaim* dan pasir baru dengan komposisi sebagai berikut :
 - Pasir *reclaim* 95% + pasir baru 5%
 - Pasir *reclaim* 90% + pasir baru 10%
 - Pasir *reclaim* 85% + pasir baru 15%

4.1.2. Proses Pembuatan Furan

Sebelum proses pembuatan furan, maka pola (*pattern*) dipersiapkan terlebih dahulu sesuai dengan ukuran dari cetakan yang akan dibuat. Dalam pembuatan *pattern* ini dapat digunakan tripleks, kayu, atau bahan lain dengan memperhatikan batas kelonggaran atau toleransi maupun ketirusan sesuai dengan bahan yang digunakan dalam pengecoran. Agar pembongkaran cetakan dapat dilakukan dengan mudah, maka *pattern* tersebut diolesi dengan sparater atau *pattern* yang digunakan jenis sambungan. Proses pembuatan furan dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Siapkan peralatan (gelas ukur, pipet, timbangan, penumbuk, *mixer*).
2. Siapkan bahan (pasir baru, pasir *reclaim*, Resin dan Katalis).
3. Siapkan pola, tempatkan pada lantai atau papan yang bersih dan rata agar kebersihan dan bentuk tetap terjaga.
4. Timbang pasir sesuai dengan parameter yang ditentukan kemudian taburkan pada papan yang rata.
5. Timbang Katalis dan Resin sesuai dengan parameter yang ditentukan.
6. Campurkan Katalis ke dalam pasir sampai homogen.
7. Setelah homogen, tambahkan Resin dan aduk cepat jangan sampai *life time*-nya habis.
8. Setelah benar-benar homogen, masukkan campuran tersebut ke dalam cetakan, sambil ditumbuk dengan hati-hati agar pola tidak bergeser.
9. Lakukan pengepresan atau perataan permukaan, dan tunggu hingga 15 – 20 menit sampai furan benar-benar keras/kuat.
10. Bongkar cetakan dengan hati-hati agar tidak retak.

4.1.3. Pengujian Kekuatan Furan

a. Pengujian Kekuatan Tekan

Sebelum dilakukan pengujian kekuatan tekan, furan diperiksa dahulu, apakah ada cacat atau tidak. Hal ini dilakukan agar kualitas tetap terjaga sehingga apabila terdapat cacat dapat segera dilakukan penyempurnaan teknis atau dilakukan pengecekan lebih lanjut. Langkah-langkah pengujian kekuatan tekan adalah sebagai berikut :

1. Bersihkan peralatan yang akan dipakai, dan setting jarum pembaca pada posisi nol.
2. Siapkan benda uji dan letakkan pada landasan.
3. Atur ketinggian – Anvil sampai permukaan Anvil menyentuh permukaan atas benda uji.
4. Tekan *Switch "on" (power)*.
5. Tekan *Switch start*.
6. Setelah benda uji patah, tekan *Switch stop*, dan baca angka jarum penunjuk.

7. Hitung kekuatan tekan dengan persamaan $\sigma = P/A$, dimana A = luas penampang (cm^2) dan P = beban patah untuk sampel (kg).

b. Pengujian Kekuatan Geser

Sebelum dilakukan pengujian kekuatan tekan, furan diperiksa dahulu, apakah ada cacat atau tidak untuk menjaga kualitas furan. Langkah-langkah pengujian kekuatan geser adalah sebagai berikut :

1. Bersihkan peralatan yang akan dipakai, dan tempelkan magnet pada skala hingga menyentuh ayuan.
2. Siapkan benda uji dan letakkan pada tempat uji.
3. Tekan *Switch "on" (power)*.
4. Setelah benda uji patah, lihat magnet pembaca pada skala penunjuk (*dry shear*) yang menunjukkan kekuatan geser furan.

4.2. Pengumpulan Data Metode Analysis Hierarchy Process

Pengumpulan data ini dilakukan dengan penyebaran kuesioner kepada responden yang berkompeten dan berpengalaman dalam menangani furan, agar jawaban atau penilaian yang diberikan benar-benar dapat kompromis. Responden ini berasal dari bagian foundry dan bagian QC khususnya bagian foundry. Mengingat terbatasnya responden, maka jumlah responden dalam penelitian ini sebanyak 15 responden yang benar-benar berpengalaman dalam menangani furan.

4.2.1. Tahap Informasi

Tahap ini merupakan tahap awal untuk menggali data dan informasi yang diperlukan berdasarkan pertanyaan-pertanyaan pada rencana kerja. Furan yang akan dibahas adalah furan yang mempunyai kekuatan tekan minimal $3,8 \text{ kg/cm}^2$ dan kekuatan geser minimal $1,2 \text{ kg/cm}^2$. Furan ini mempunyai komposisi bahan antara lain Resin, Katalis dan pasir. Resin dan Katalis yang biasa digunakan adalah jenis Foseco. Sedangkan pasir yang digunakan adalah pasir *reclaim*. Pemilihan obyek penelitian adalah furan di Medan, karena Perusahaan Pengecoran Logam merupakan suatu perusahaan yang sangat memperhatikan kualitas furan dalam pembuatan moulding sebelum dilakukan pengecoran pada benda-benda coran.

Desain awal furan yang dipakai sebagai standar dan potensial untuk dikembangkan adalah furan dengan komposisi Resin 1,5% dari berat pasir, Katalis 26% dari berat Resin dan menggunakan pasir *reclaim* (pasir lama). Jenis Resin dan Katalis yang digunakan pada proses pembuatan furan adalah Foseco.

Adanya cacat pada moulding seperti rongga udara, retak, permukaan kasar, rapuh dan sebagainya dapat disebabkan oleh kualitas furan yang dihasilkan. Hal yang menjadi fokus penelitian ini adalah kriteria dan jenis komposisi furan yang mempunyai performansi tinggi yang dijadikan dasar dalam setting parameter percobaan Taguchi. Analisis dan kesimpulan dalam penelitian ini disesuaikan dengan kemampuan dan keahlian pembuat furan dan peralatan yang tersedia dalam keadaan standar.

4.2.2. Pemunculan Kreativitas

Pada tahap ini akan dilakukan pemunculan kreativitas yaitu berupa pengembangan alternatif produk sebanyak mungkin kemudian diseleksi terhadap alternatif-alternatif yang mempunyai potensial efisiensi biaya. Pada rancangan furan terdapat beberapa komposisi material yaitu Resin, Katalis dan pasir. Type dari Resin dan Katalis adalah Foseco, Indocerra dan Uniprima. Sedangkan pasir yang digunakan terdiri dari pasir *reclaim*, pasir baru dan pasir campuran. Kombinasi alternatif yang memiliki potensi untuk dapat diusulkan sebagai rancangan furan dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Alternatif Kombinasi Furan

Alternatif	Resin	Katalis	Pasir
1	Foseco	Foseco	Pasir Baru
2	Foseco	Indocerra	Pasir Baru
3	Foseco	Uniprima	Pasir Baru
4	Foseco	Foseco	Pasir <i>Reclaim</i>
5	Foseco	Indocerra	Pasir <i>Reclaim</i>
6	Foseco	Uniprima	Pasir <i>Reclaim</i>
7	Foseco	Foseco	Pasir Campuran
8	Foseco	Indocerra	Pasir Campuran
9	Foseco	Uniprima	Pasir Campuran
10	Indocerra	Foseco	Pasir Baru
11	Indocerra	Indocerra	Pasir Baru
12	Indocerra	Uniprima	Pasir Baru
13	Indocerra	Foseco	Pasir <i>Reclaim</i>

Alternatif	Resin	Katalis	Pasir
14	Indocerra	Indocerra	Pasir <i>Reclaim</i>
15	Indocerra	Uniprima	Pasir <i>Reclaim</i>
16	Indocerra	Foseco	Pasir Campuran
17	Indocerra	Indocerra	Pasir Campuran
18	Indocerra	Uniprima	Pasir Campuran
19	Uniprima	Foseco	Pasir Baru
20	Uniprima	Indocerra	Pasir Baru
21	Uniprima	Uniprima	Pasir Baru
22	Uniprima	Foseco	Pasir <i>Reclaim</i>
23	Uniprima	Indocerra	Pasir <i>Reclaim</i>
24	Uniprima	Uniprima	Pasir <i>Reclaim</i>
25	Uniprima	Foseco	Pasir Campuran
26	Uniprima	Indocerra	Pasir Campuran
27	Uniprima	Uniprima	Pasir Campuran

4.3. Pengolahan Data

Pada tahap ini akan dilakukan beberapa analisis yaitu analisis keuntungan kerugian, perhitungan nilai dengan matrik kelayakan, analisis pembobotan dengan matrik perbandingan berpasangan, perhitungan performansi dengan matriks evaluasi.

4.3.1. Analisis Keuntungan Kerugian

Analisis keuntungan-kerugian digunakan untuk menganalisis fungsi dari dua puluh tujuh (27) alternatif yang dikembangkan pada tahap kreatif. Kriteria yang digunakan sebagai pertimbangan adalah kadar air, kemudahan operasi, waktu operasi, kadar *clay*, biaya operasi, harga material dan distridusi yang cocok. Kuesioner tentang urutan tingkat prioritas kriteria ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Data Penilaian Penentuan Prioritas Kriteria

Kriteria	Responden															Jumlah skor	(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Biaya produksi	10	8	8	10	9	9	8	10	10	6	10	9	7	10	10	134	16,14
Kadar air	9	10	10	9	10	4	5	9	9	10	9	3	10	5	9	121	14,57
Kemudahan operasi	7	7	4	2	8	8	1	2	2	3	6	4	9	6	5	74	8,92
Waktu pelaksanaan	3	9	9	5	4	7	10	4	3	8	7	7	2	8	2	88	10,60
Harga material	8	6	2	8	6	10	6	8	7	5	5	10	8	9	8	106	12,7
Distribusi yg cocok	5	5	3	7	7	1	4	7	9	7	8	5	6	4	1	79	9,52
Kadar clay	2	4	6	3	5	3	9	3	6	9	4	8	4	1	3	70	8,43
Mampu di-reclaim	1	2	1	4	2	2	7	5	8	4	3	1	1	7	6	54	6,51
Kadar SiO ₂	4	1	5	1	3	6	2	1	1	1	1	2	3	3	7	41	4,94

Urutan prioritas terpilih selanjutnya digunakan pada penentuan bobot kriteria pada tahap analisis matriks evaluasi. Berdasarkan hasil penentuan prioritas di atas, maka urutan kriteria adalah

1. Biaya produksi
2. Kadar air
3. Harga material
4. Waktu pelaksanaan
5. Distribusi yang cocok
6. Kemudahan operasi
7. Kadar clay
8. Mampu di-reclaim
9. Kadar SiO₂

Langkah selanjutnya adalah menentukan tingkat kepentingan untuk tiap kriteria yang ditunjukkan pada tabel 4.3. Berdasarkan hasil analisa tersebut, maka tingkat kepentingan untuk tiap-tiap kriteria adalah :

1. Biaya produksi mahal
2. Kadar air tinggi
3. Harga material sedang

4. Waktu pelaksanaan cepat
5. Distribusi yang cocok cukup tinggi
6. Kemudahan operasi cukup tinggi
7. Kadar *clay* sedang

Dalam menganalisa keuntungan-kerugian tiap-tiap alternatif agar dapat diketahui kondisi tiap-tiap alternatif yang diusulkan, maka perlu mempertimbangkan tingkat kepentingan tiap-tiap kriteria. Analisa keuntungan-kerugian untuk 27 alternatif ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.3. Penentuan tingkat kepentingan untuk tiap kriteria

Kriteria	Tingkat Pemenuhan	Responden															Frek	TKT
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Biaya Produksi	T							√		√	√	√	√	√	√	√	7	T
	CT	√		√	√	√	√								√		6	
	CR		√						√								2	
	R																0	
Kadar air	T		√	√				√		√		√				√	6	
	CT	√			√	√	√		√		√	√	√	√			9	CT
	CR																	
Harga Material	T					√				√						√	3	
	CT			√	√		√	√	√	√		√	√	√	√		10	CT
	CR	√	√														2	
	R																	
Waktu Pelaksanaan	T				√				√		√						3	
	CT	√	√	√			√								√	√	6	
	CR					√		√		√		√	√				5	
	R													√			1	
Distribusi Yang Cocok	T		√		√				√		√						4	
	CT			√		√	√	√				√	√	√	√		8	CT
	CR	√								√		√					3	
	R																	
Kemudahan Operasi	T				√				√								2	
	CT	√	√	√		√	√			√					√	√	8	CT
	CR							√		√		√	√	√			5	
	R																	
Kadar Clay	T							√	√		√						3	
	CT	√		√		√						√	√	√			6	CT
	CR						√			√						√	3	
	R		√		√											√	3	

TKT = tingkat kepentingan

Tabel 4.4. Analisa Keuntungan-Kerugian

Alternatif	Keuntungan	Kerugian
1 (RF,KF,PB)	- Waktu pelaksanaan cepat	- Biaya produksi mahal
	- Kemudahan operasi	- Kadar <i>clay</i> cukup tinggi
		- Kadar air tinggi
2 (RF,KI,PB)	- Operasi mudah	- Kadar <i>clay</i> cukup tinggi
	- Harga material murah	- Kadar air tinggi
		- Waktu pelaksanaan lama
		- Distribusi kurang cocok
3 (RF,KU,PB)	- Operasi mudah	- Distribusi kurang cocok
		- Kadar <i>clay</i> cukup tinggi
		- Waktu pelaksanaan lama
4 (RF,KF,PR)	- Waktu pelaksanaan cepat	- Biaya produksi mahal
	- Kadar <i>clay</i> cukup rendah	- Distribusi kurang cocok
	- Operasi mudah	- Harga material tinggi
		- Kadar air tinggi
5 (RF,KI,PR)	- Harga material murah	- Distribusi kurang cocok
	- Kadar <i>clay</i> cukup rendah	- Waktu pelaksanaan lama
	- Operasi mudah	- Kadar air tinggi
6 (RF,KU,PR)	- Biaya produksi sedang	- Distribusi kurang cocok
	- Kadar <i>clay</i> cukup rendah	- Waktu pelaksanaan lama
	- Harga material rendah	- Kadar air tinggi
		- Operasi sulit
7 (RF,KF,PC)	- Kadar air rendah	- Harga material tinggi
	- Operasi mudah	- Biaya produksi tinggi
	- Waktu pelaksanaan cepat	
	- Kadar <i>clay</i> rendah	
	- Distribusi sesuai	
8 (RF,KI,PC)	- Kadar air rendah	- Waktu pelaksanaan lama
	- Operasi mudah	- Harga material tinggi
	- Kadar <i>clay</i> rendah	
9 (RF,KU,PC)	- Kadar air rendah	- Waktu pelaksanaan lama
	- Operasi mudah	
	- Harga material rendah	
	- Kadar <i>clay</i> rendah	

Alternatif	Keuntungan	Kerugian
10 (RI,KF,PB)	- Waktu pelaksanaan cepat	- Kadar air tinggi
	- Operasi mudah	- Kadar <i>clay</i> tinggi
	- Distribusi sesuai	- Harga material tinggi
		- Biaya produksi tinggi
11 (RI,KI,PB)	- Operasi mudah	- Waktu pelaksanaan lama
	- Distribusi cocok	- Harga material tinggi
		- Kadar <i>clay</i> cukup tinggi
12 (RI,KU,PB)	- Distribusi cocok	- Harga material tinggi
	- Operasi mudah	- Waktu pelaksanaan lama
		- Kadar <i>clay</i> cukup tinggi
		- Kadar air tinggi
13 (RI,KF,PR)	- Biaya produksi murah	- Distribusi kurang cocok
	- Waktu pelaksanaan cepat	- Kadar air tinggi
	- Kadar <i>clay</i> cukup rendah	
	- Operasi mudah	
14 (RI,KI,PR)	- Biaya produksi murah	- Kadar air tinggi
	- Operasi mudah	- Waktu pelaksanaan lama
	- Harga material murah	- Distribusi kurang cocok
	- Kadar <i>clay</i> rendah	
15 (RI,KU,PR)		- Waktu pelaksanaan lama
	- Kadar <i>clay</i> rendah	- Distribusi kurang cocok
	- Harga material rendah	- Kadar air tinggi
		- Operasi agak sulit
16 (RI,KF,PC)	- Kadar air rendah	- Kadar <i>clay</i> sedang
	- Operasi mudah	
	- Harga material murah	
17 (RI,KI,PC)	- Operasi mudah	- Kadar <i>clay</i> sedang
	- Harga material murah	- Waktu pelaksanaan lama
	- Biaya produksi murah	- Distribusi kurang sesuai
	- Kadar air rendah	
18 (RI,KU,PC)	- Operasi mudah	- Waktu pelaksanaan lama
	- Harga material murah	- Distribusi kurang sesuai
	- Biaya produksi murah	- Kadar <i>clay</i> tinggi

Alternatif	Keuntungan	Kerugian
19 (RU,KF,PB)	- Waktu pelaksanaan cepat	- Kadar <i>clay</i> cukup tinggi
	- Operasi mudah	- Kadar air tinggi
		- Harga material tinggi
20 (RU,KI,PB)	- Operasi mudah	- Waktu pelaksanaan lama
	- Distribusi sesuai	- Kadar <i>clay</i> cukup tinggi
		- Biaya produksi tinggi
		- Kadar air tinggi
21 (RU, KU, PB)	- Operasi mudah	- Kadar air tinggi
	- Distribusi sesuai	- Kadar <i>clay</i> tinggi
		- Waktu pelaksanaan lama
22 (RU,KF,PR)	- Waktu pelaksanaan cepat	- Operasi mudah
	- Kadar <i>clay</i> rendah	- Distribusi kurang cocok
	- Harga material rendah	- Kekuatan rendah
23 (RU,KI,PR)	- Kadar air rendah	- Waktu pelaksanaan lama
	- Harga material rendah	- Operasi sulit
	- Kadar <i>clay</i> rendah	
24 (RU,KU,PR)	- Kadar air rendah	- Waktu pelaksanaan lama
	- Kadar <i>clay</i> rendah	- Operasi sulit
	- Harga material rendah	
	- Biaya produksi rendah	
25 (RU,KF,PC)	- Distribusi sesuai	- Operasi sulit
	- Waktu pelaksanaan cepat	- Kadar <i>clay</i> sedang
	- Kadar air rendah	
26 (RU,KI,PC)	- Kadar <i>clay</i> rendah	- Waktu pelaksanaan lama
	- Harga material rendah	- Distribusi kurang cocok
	- Biaya produksi murah	- Operasi sulit
	- Kadar air rendah	
27 (RU,KU,PC)	- Kadar <i>clay</i> rendah	- Waktu pelaksanaan lama
	- Harga material rendah	- Operasi sulit
	- Biaya produksi murah	

Langkah selanjutnya dalam tahap analisis ini adalah menganalisa alternatif-alternatif tersebut dengan matriks kelayakan.

4.3.2. Matriks Kelayakan

Matriks kelayakan digunakan untuk menyeleksi kombinasi-kombinasi alternatif. Penilaian untuk masing-masing kombinasi alternatif dilakukan dengan memberikan nilai antara 0 sampai dengan 10. Pada tahap ini ditetapkan kriteria-kriteria sebagai bahan pertimbangan yang diberikan berdasarkan hasil kuesioner. Berdasarkan penilaian yang diberikan oleh responden kemudian dilakukan perhitungan total kelayakan untuk setiap alternatif dan diurutkan berdasarkan rankingnya yang ditunjukkan pada tabel 4.5. Selanjutnya ditentukan alternatif terpilih, dalam hal ini dipilih sebanyak 8 alternatif ditambah desain awal untuk dianalisis pada tahap evaluasi. Pemilihan ini berdasarkan total nilai kelayakan terbesar atau ranking tertinggi.

Tabel 4.5. Hasil Akhir Penilaian Matriks Kelayakan

Alternatif	Kadar Air	Kemudahan Operasi	Biaya Operasi	Kadar Clay	Distribusi Yang Cocok	Total	Ranking
1	115	104	60	105	108	492	7
2	95	99	51	102	103	450	15
3	95	100	55	100	102	452	13
4	114	106	74	111	104	509	3
5	108	111	59	110	106	494	6
6	99	102	60	99	103	463	10
7	129	122	78	131	126	586	1
8	120	106	61	113	112	512	2
9	117	107	59	112	109	504	4
10	97	99	62	98	100	456	11
11	95	102	58	99	97	451	14
12	90	104	58	97	98	447	18
13	110	107	69	105	105	496	5
14	94	101	50	100	97	442	25
15	89	97	54	96	96	432	27
16	103	102	61	102	103	471	9
17	94	97	58	97	98	444	22
18	96	96	57	98	98	445	21
19	97	100	58	99	101	455	12
20	95	98	56	100	97	446	19
21	94	97	54	98	99	442	24

Alternatif	Kadar Air	Kemudahan Operasi	Biaya Operasi	Kadar Clay	Distribusi Yang Cocok	Total	Ranking
22	102	103	71	107	104	487	8
23	95	100	58	97	98	448	17
24	96	98	57	101	97	449	16
25	96	97	60	96	97	446	20
26	98	95	56	96	99	444	23
27	95	96	54	97	97	439	26

4.3.3. Matriks Evaluasi

Pada matriks evaluasi ini, terdapat delapan alternatif yang terpilih pada tahap sebelumnya dan ditambah satu desain awal. Selanjutnya sebagai bahan pertimbangan penilaian digunakan 6 kriteria dengan mempertimbangkan aspek prioritas utama yang berpengaruh terhadap rancangan furan. Kriteria-kriteria tersebut adalah biaya produksi, kadar air, kemudahan operasi, waktu operasi, kadar *clay*, dan distridusi yang cocok. Penilaian ini dengan memberikan predikat yang telah ditetapkan kemudian dikonversikan dengan angka 1 sampai dengan 5. Hasil akhir penilaian matriks evaluasi terdapat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Akhir Penilaian Matriks Evaluasi

No	Alternatif	Kriteria				
		1	2	3	4	5
1	Desain awal	46	53	56	49	48
2	1	48	55	51	45	47
3	4	52	54	54	48	51
4	5	55	52	48	46	50
5	7	66	64	56	64	61
6	8	56	57	53	53	55
7	9	50	51	57	47	49
8	13	49	48	52	50	53
9	22	53	47	50	43	46

Keterangan :

1. Kadar air
2. Kemudahan operasi
3. Biaya operasi
4. Kadar *clay*
5. Distribusi yang cocok

4.3.4. Pembobotan Kriteria

Pembobotan untuk masing-masing kriteria dilakukan dengan menggunakan metode perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) berdasarkan tingkat kepentingannya, sehingga tingkat kepentingannya suatu kriteria relatif terhadap kriteria lain dapat dinyatakan dengan jelas. dan mengacu pada tabel perbandingan berpasangan. Dalam pembobotan kriteria ini apabila konsistensinya $\leq 0,1$ maka dikatakan konsistensinya baik, sedangkan bila konsistensinya $> 0,1$ maka dikatakan konsistensinya jelek. Banyaknya entri proses perbandingan berpasangan untuk 5 kriteria pembanding adalah :

$$\begin{aligned} \text{Banyaknya entri} &= \frac{n^2 - n}{2} \\ &= \frac{5^2 - 5}{2} \\ &= 10 \end{aligned}$$

Berdasarkan banyaknya entri tersebut, maka akan dijadikan dasar perbandingan kepentingan dalam proses perbandingan berpasangan. Dalam *Analysis Hierarchy Process* ini, pembuatan struktur hirarki, perhitungan *eigenvektor*, *eigen value* dan pengujian konsistensi data, sintesis dan analisis sensitivitas dengan menggunakan *software* Expert Choice Profesional.

Kriteria-kriteria yang mempunyai bobot besar terhadap tujuan (*goal*), maka kriteria tersebut mempunyai pengaruh yang besar dan jika kriteria mempunyai bobot yang relatif kecil artinya pengaruh kriteria tersebut terhadap *goal* relatif kecil

4.3.5. Penyusunan Struktur Hirarki

Dalam penyusunan hirarki pemilihan alternatif rancangan furan ini terdiri dari tiga level. Level 1 berupa tujuan (*goal*), level 2 adalah kriteria yaitu kadar air, kemudahan operasi, biaya operasi, kadar *clay* dan distribusi yang cocok. Sedangkan level 3 berupa alternatif yang terdiri dari desain awal, alternatif 1, alternatif 4, alternatif 5, alternatif 7, alternatif 8, alternatif 9, alternatif 13 dan alternatif 22.

4.3.6. Hasil Matriks Perbandingan Berpasangan

Perbandingan berpasangan antara elemen-elemen ini dengan memperhatikan pengaruh elemen pada level di atasnya. Pembagian pertama dilakukan untuk elemen-

elemen pada level kriteria dengan memperhatikan level di atasnya, yaitu tujuan utama (*goal*). Perbandingan dilakukan dengan skala satu sampai dengan sembilan dan memenuhi aksioma-aksioma Proses Hirarki Analitis.

4.3.7. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas ini dilakukan untuk melihat pengaruh dari perubahan bobot kriteria terhadap susunan alternatif. Analisis sensitivitas ini dapat juga dipakai untuk elemen-elemen kriteria lainnya sehingga hirarki yang dibentuk lebih dinamis dan dapat menangkap gejala-gejala perubahan yang jelas. Munculnya informasi baru atau perubahan kondisi kadangkala membuat orang mengubah penilaiannya sehingga otomatis hasil hirarki secara keseluruhan berbeda pula.

4.3.8. Ringkasan Bobot Kriteria dan Alternatif

Bobot yang dihasilkan dari perhitungan perbandingan berpasangan baik pada kriteria terhadap tujuan maupun alternatif terhadap kriteria diringkaskan dalam bentuk tabel untuk memudahkan dalam analisis data.

Tabel 4.7 Bobot Pada Kriteria Terhadap Tujuan

Kriteria	Kd.Air	Km.Opr	By.Opr	Kd.Clay	Ds.Cocok
Bobot	0.284	0.104	0.353	0.078	0.182
<i>Inconsistency Ratio : 0.04</i>					

Tabel 4.8 Bobot Pada Alternatif Terhadap Kriteria

Kriteria Alternatif	Kd.Air	Km.Opr	By.Opr	Kd.Clay	Ds.Cocok	Syntesis
D.Awal	0.032	0.008	0.045	0.006	0.014	0.108
Alternatif 1	0.018	0.005	0.038	0.013	0.019	0.096
Alternatif 4	0.030	0.013	0.044	0.006	0.033	0.125
Alternatif 5	0.022	0.007	0.043	0.006	0.015	0.097
Alternatif 7	0.036	0.022	0.033	0.010	0.036	0.130
Alternatif 8	0.049	0.013	0.036	0.010	0.022	0.127
Alternatif 9	0.048	0.012	0.041	0.013	0.010	0.124
Alternatif 13	0.028	0.017	0.030	0.009	0.018	0.099
Alternatif 22	0.021	0.007	0.042	0.006	0.015	0.094
CI	0.05	0.09	0.09	0.07	0.09	0.06

4.3.9. Perhitungan Performansi

Perhitungan performansi untuk masing-masing alternatif dan desain awal ini dilakukan dengan mengalikan nilai masing-masing baris dengan bobotnya. Hal ini bertujuan untuk menentukan alternatif mana yang mempunyai nilai performansi paling tinggi yang dijadikan dasar pada tahap pengembangan.

Keterangan : Kriteria 1 : kadar air

Kriteria 2 : kemudahan operasi

Kriteria 3 : biaya operasi

Kriteria 4 : kadar *clay*

Kriteria 5 : distribusi yang cocok

Tabel 4.9 Nilai Performansi Tiap Alternatif

Alternatif	Kriteria Evaluasi					Pn	Ranking
	1	2	3	4	5		
	Bobot Tiap Kriteria						
	0.284	0.104	0.353	0.078	0.182		
D.Awal	46	53	56	49	48	50.902	5
1	48	55	51	45	47	49.419	8
4	52	54	54	48	51	52.472	3
5	55	52	48	46	50	50.660	7
7	66	64	56	64	61	61.262	1
8	56	57	53	53	55	54.685	2
9	50	51	57	47	49	52.209	4
13	49	48	52	50	53	50.810	6
22	53	47	50	43	46	49.316	9

4.3.10. Tahap Pengembangan

Tahap ini bertujuan untuk memilih satu alternatif dari beberapa alternatif yang terpilih pada tahap sebelumnya dengan memberikan rekomendasi akhir secara tertulis bagi alternatif yang terpilih untuk diimplementasikan, termasuk pertimbangan faktor teknis dan ekonomis yang secara lengkap untuk diimplementasikan. Berdasarkan sintesis, analisa sensitivitas, dan perhitungan performansi, maka alternatif 7 (Resin Foseco, Katalis Foseco, pasir Campuran) dapat diimplementasikan dilakukan mengacu pada level dan faktor, *orthogonal array* yang digunakan pada metode Taguchi.

4.4. Pengumpulan Data Pada Metode Taguchi Multirespon

Pengumpulan data rancangan furan ini berdasarkan kombinasi alternatif terpilih yaitu Resin Foseco, Katalis Foseco dan pasir campuran dari metode Proses Hirarki Analitis. Selain itu juga dengan penyebaran kuesioner kepada responden yang berkompeten dalam menangani furan.

4.4.1. Variabel-variabel Eksperimen

Dalam eksperimen ini variabel-variabel yang digunakan meliputi :

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel Bebas (*Independent Variable*) yang berpengaruh terhadap kekuatan tekan (*Compression Strength*) dan kekuatan geser (*Shear Strength*), berdasarkan studi pustaka dan kuesioner adalah Resin, Katalis dan pasir Silika.

2. Level-level faktor

Level pada masing-masing faktor yang digunakan dalam rancangan furan ini adalah sebagai berikut :

- Faktor Resin (A) : Pada faktor Resin, level yang digunakan terdiri dari tiga level faktor yaitu Resin 1,3%; Resin 1,5%; Resin 1,7%.
- Faktor Katalis (B) : Pada faktor Katalis, level yang digunakan terdiri dari tiga level faktor yaitu Katalis 20%; Katalis 22,5%; Katalis 25%.
- Faktor pasir Silika : Pada faktor pasir, level yang digunakan terdiri dari tiga level faktor yaitu pasir *reclaim* 95% + pasir baru 5%; pasir *reclaim* 90% + pasir baru 10%; pasir *reclaim* 85% + pasir baru 15%.

3. Variabel Respon

Dalam rancangan furan ini variabel responnya adalah kekuatan tekan (*Compression Strength*) dan kekuatan geser (*Shear Strength*). Karakteristik kualitas untuk kekuatan tekan (*Compression Strength*) dan kekuatan geser (*Shear Strength*) adalah *larger the better*.

4.4.2. Data Percobaan

Data percobaan rancangan furan ini berupa data pengujian kekuatan tekan (*Compression Strength*) dan kekuatan geser (*Shear Strength*), yang dilakukan dengan percobaan langsung berdasarkan *array orthogonal* terpilih dengan replikasi masing-

masing tiga kali. Data percobaan ini terdiri dari percobaan utama dan percobaan konfirmasi.

1. Data percobaan Utama

Percobaan utama ini dilakukan berdasarkan dari hasil referensi yang ada menunjukkan bahwa informasi deduktif mengenai interaksi antar faktor utama dalam penelitian ini adalah A x C. Interaksi ini berpengaruh secara signifikan terhadap kedua respon secara serentak. Oleh karena itu rancangan percobaan dalam penelitian ini mengikutkan interaksi dua faktor utama. Data percobaan utama pada rancangan furan ini dapat dilihat pada lampiran I.

2. Data Percobaan Konfirmasi

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui dan membuktikan hasil prediksi kombinasi optimum dari kekuatan tekan (*Compression Strength*) dan kekuatan geser (*Shear Strength*). Percobaan ini dilakukan yang mengacu pada kondisi optimum dari hasil TOPSIS dengan menggunakan faktor-faktor yang sama dan bisa ditambah faktor baru yang sebelumnya terisolasi dengan replikasi yang lebih besar. Hasil pada percobaan ini dibandingkan terhadap proses yang dilakukan oleh operator selama ini (*starting condition*).

4.4.3. Pemilihan Orthogonal Array Percobaan Utama

Pemilihan tabel OA pada percobaan utama didasarkan pada jumlah derajat bebas total yang diperoleh dari penjumlahan derajat bebas faktor utama dan derajat bebas interaksi antara dua faktor yang signifikan.

Dalam percobaan ini faktor utama yang signifikan adalah Resin (A), Katalis (B) dan Pasir (C). Interaksi antar dua faktor utama yang signifikan berdasarkan referensi adalah interaksi antara Resin dan pasir atau A x C.

Perhitungan derajat bebas total percobaan utama adalah sebagai berikut :

$$\text{Derajat bebas faktor utama} = k-1 = 3-1$$

$$\begin{aligned} \text{Derajat bebas tiga faktor utama} &= db_A \times db_B \times db_C \\ &= 2 \times 2 \times 2 = 6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Derajat bebas interaksi} &= (k-1) \times (k-1) \\ &= (3-1) \times (3-1) = 4 \end{aligned}$$

$$\text{Derajat bebas total} = 6 + 4 = 10$$

Tabel OA yang dipilih harus mempunyai jumlah baris minimum yang tidak boleh kurang dari jumlah derajat bebas totalnya sehingga dipilih tabel OA L18. Tetapi, rancangan OA L18 tidak memuat aturan *linear graph* untuk interaksi sehingga tidak bisa dipakai dalam percobaan ini, selanjutnya digunakan OA L27.

Penentuan letak faktor-faktor yang digunakan pada percobaan utama yaitu Resin (A), Katalis (B), pasir (C) dan interaksi antara Resin dan pasir (A x C) pada kolom OA sesuai dengan tabel segitiga interaksi (*triangular table of interaction*). Faktor utama diletakkan pada dua kolom tabel OA. Dengan mengacu pada aturan tabel segitiga interaksi OA L27, maka dipilih penentuan letak faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut :

- Faktor Utama A diletakkan pada kolom 1.
- Faktor Utama B diletakkan pada kolom 2.
- Faktor Utama C diletakkan pada kolom 5.
- Faktor interaksi A x C diletakkan pada kolom 6 dan 7.

Rancangan OA L27 dapat dilihat pada tabel 4.10.

4.5. Pengolahan Data dengan Metode Taguchi Multirespon

Data-data yang berkaitan dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan dan kekuatan geser, dihitung dengan ANOVA dimana data telah ditransformasi dalam bentuk *rasio signal to noise* S/N. Langkah selanjutnya pada masing-masing respon adalah perhitungan dengan prosedur *pooling*, persen kontribusi, kondisi optimum, analisis residual dengan asumsi IIDN, prosedur TOPSIS, transformasi tingkat kepentingan, *quality loss*, kombinasi optimum dan percobaan konfirmasi.

Tabel 4.10 Rancangan OA L27

No	Resin A	Katalis B	Pasir Silika C	Repl 1	Repl 2	Repl 3
1	1	1	1			
2	1	1	2			
3	1	1	3			
4	1	2	1			
5	1	2	2			
6	1	2	3			
7	1	3	1			
8	1	3	2			
9	1	3	3			
10	2	3	1			
11	2	3	2			
12	2	3	3			
13	2	1	1			
14	2	1	2			
15	2	1	3			
16	2	2	1			
17	2	2	2			
18	2	2	3			
19	3	2	1			
20	3	2	2			
21	3	2	3			
22	3	3	1			
23	3	3	2			
24	3	3	3			
25	3	1	1			
26	3	1	2			
27	3	1	3			

4.5.1. Pengaruh Faktor Terhadap Respon Kekuatan Tekan Furan

Respon kekuatan tekan (*Compression Strength*) furan dinyatakan dengan besaran Kg/cm². Variabel ini mempunyai karakteristik kualitas lebih besar lebih baik (*Larger the better*) yang artinya semakin besar kekuatan tekan (*Compression Strength*) furan semakin disukai. Dengan menggunakan data percobaan utama ingin diketahui faktor-faktor mana yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respon kekuatan tekan (*Compression Strength*) furan.

ANOVA Respon Kekuatan Tekan Furan

Untuk mengetahui faktor utama dan interaksi antara dua faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respon kekuatan tekan maka digunakan *analysis of varians* (ANOVA) dua arah. Data yang digunakan dalam analisis ANOVA dua arah adalah data yang telah ditransformasi dalam bentuk *rasio signal to noise* S/N. Faktor-faktor yang akan diuji menggunakan ANOVA dua arah ini adalah Resin (A), Katalis (B), Pasir Silika (C) dan interaksi Resin dan Pasir Silika (A x C) dengan model berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\gamma_{ik} + \varepsilon_{ijkl}$$

Dimana :

- Y_{ijk} = kondisi kekuatan geser furan pada faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j, faktor C taraf ke-k dan interaksi A x C.
- μ = rata-rata keseluruhan
- α_i = pengaruh faktor A taraf ke-i
- β_j = pengaruh faktor B taraf ke-j
- γ_k = pengaruh faktor C taraf ke-k
- $\alpha\gamma_{ik}$ = pengaruh interaksi faktor AxC
- ε_{ijkl} = error ~ IIDN $(0, \sigma^2)$

Data yang telah dirubah dalam bentuk rasio S/N dengan karakteristik kualitas lebih besar lebih baik, dianalisis yang hasilnya dibawah ini :

Tabel 4.11. Anova Rasio S/N Kekuatan Tekan Furan

Sumber variasi	df	F _{hitung}	F _{tabel}
Resin (A)	2	2059.11	2.67
Katalis (B)	2	36.00	2.67
Pasir Silika (C)	2	106.94	2.67
AxC	4	128.80	2.33
Error	16		
Total	26		

Untuk mengetahui faktor-faktor mana yang signifikan dan memberikan kontribusi paling besar terhadap rata-rata kekuatan tekan, maka dilakukan *pooling factor* ke dalam *error*.

Prosedur *Pooling* Kekuatan Tekan Furan

Berdasarkan hasil ANOVA dua arah pada tabel 4.11. diperoleh $db_{error} = 16$ dan $db_{total} = 26$ sehingga prosedur *pooling* tidak dapat dilakukan. Hal ini dikarenakan prosedur

pooling direkomendasikan hanya dilakukan dimana derajat bebas error mendekati setengah dari derajat bebas total.

Persen Kontribusi Kekuatan Tekan Furan

Persen kontribusi diperoleh untuk mengetahui besarnya sumbangan faktor utama dan interaksi yang signifikan terhadap respon kekuatan tekan furan. Persen kontribusi masing-masing faktor ditunjukkan pada tabel 4.12. Berdasarkan tabel persen kontribusi kekuatan tekan tampak bahwa kekuatan tekan furan dipengaruhi oleh Resin, Katalis, pasir Silika masing-masing sebesar 83.4%, 1.4%, 4.3% dan interaksi antara Resin dan pasir Silika sebesar 10.3%. Resin mempunyai persentase paling besar dibandingkan Katalis dan pasir Silika, hal ini menunjukkan bahwa Resin mempunyai sumbangan paling besar dalam perancangan furan karena sifatnya sebagai pengikat.

Tabel 4.12. Persen Kontribusi Kekuatan Tekan Furan

Sumber variasi	SS	Df	MS	SS'	Persen Kontribusi
Resin (A)	102.800	2	51.400	102.75	83.4037
Katalis (B)	1.797	2	0.899	1.747	1.4181
PasirSilika (C)	5.339	2	2.670	5.289	4.2932
AxC	12.861	4	3.215	12.761	10.3583
Error	0.399	16	0.025		0.5268
Total	123.196	26			100.00

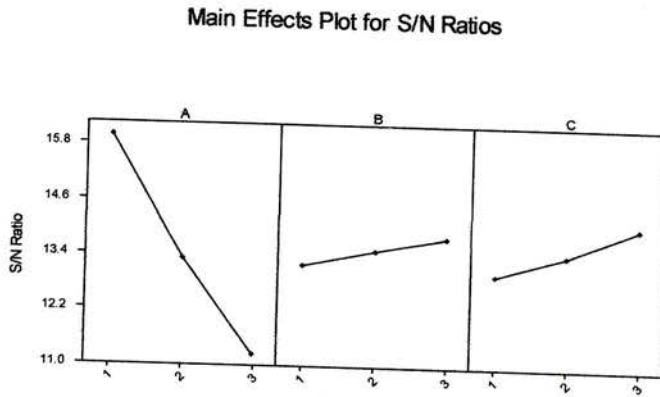
Kondisi Optimum Kekuatan Tekan Furan

Kondisi optimum digunakan untuk mengetahui level dari setiap faktor yang dapat mengoptimalkan respon kekuatan tekan. Faktor-faktor yang signifikan terhadap respon ini adalah Resin (A), Katalis (B), pasir Silika (C) dan interaksi Resin dan pasir Silika (A x C). Kondisi optimum dipilih untuk setiap level yang memberikan nilai rata-rata S/N yang tertinggi. Kondisi optimum tiap faktor untuk respon kekuatan tekan furan ditunjukkan pada gambar 4.2

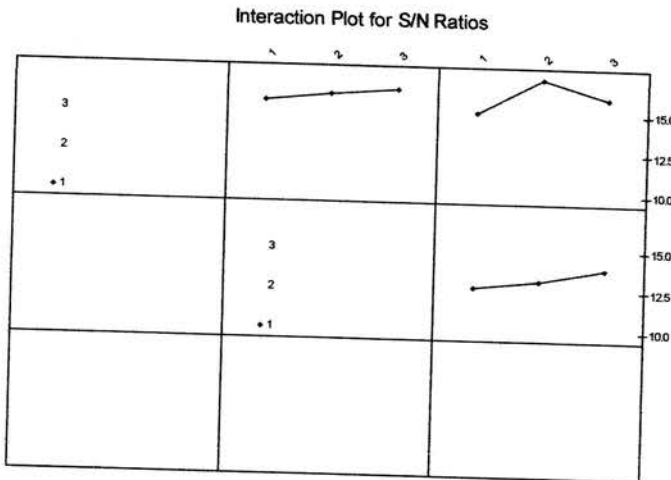
Berdasarkan plot pengaruh faktor utama pada gambar diatas terlihat kondisi optimum untuk respon kekuatan tekan furan dicapai pada kombinasi level A1 B3 C3 dengan rancangan sebagai berikut :

- Resin (A) : 13%

- Katalis (B) : 25%
- Pasir *Reclaim* 85% + Pasir Baru 15%.



Gambar 4.1. Plot Pengaruh Faktor Utama Kekuatan Tekan Furan



Gambar 4.2. Interaksi Plot S/N Kekuatan Tekan Furan

Besarnya nilai taksiran kekuatan tekan furan apabila dilakukan perlakuan pada kondisi kombinasi optimum tersebut dapat dihitung melalui model yang dibentuk oleh faktor-faktor yang memberikan efek signifikan yaitu kombinasi level A2C2. Oleh karena itu taksiran kondisi optimum untuk respon kekuatan tekan furan dimodelkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 S/N_{\text{optimal}} &= y + (A1-y) + (B3-y) + (C3-y) + (A2C2-y) \\
 &= 13.53 + (16.01312 - 13.53) + (13.845 - 13.53) + (14.1 - 13.53) + \\
 &\quad (17.11117 - 13.53) \\
 &= 20.47989
 \end{aligned}$$

a. Pemeriksaan Asumsi Identik

- Dengan metode grafik

Plot antara residual (e_i) dan nilai taksiran variabel dependennya menunjukkan bahwa data menyebar secara acak dan tidak membentuk pola tertentu. Dengan demikian asumsi identik terpenuhi.

- Uji gletser

Hipotesa :

Ho : Residual identik

H1 : Residual tidak identik

Dari nilai $F_{hitung} = 0.19 > \alpha = 0.1$, maka dapat disimpulkan gagal tolak Ho yang berarti residual identik.

b. Pemeriksaan asumsi independen

Pemeriksaan terhadap asumsi independen dilakukan dengan menggunakan plot ACF residual. Residual dikatakan independen jika nilai korelasi residualnya berada pada interval $\pm 1,65/\sqrt{n}$. Dari plot ACF diatas dengan $n = 27$ terlihat nilai korelasi berada dalam batas interval, maka dapat dikatakan memenuhi asumsi independent.

c. Pemeriksaan asumsi normal ($0, \sigma^2$)

- Dengan metode grafik

Pemeriksaan kenormalan dengan plot residual, pada plot residual dari kiri bawah kekanan atas mendekati garis lurus maka dapat disimpulkan residual memenuhi asumsi normal.

- Uji Lilliefors

Hipotesa :

Ho : residual berdistribusi normal

H1 : residual tidak berdistribusi normal

Nilai $T1 = \max |F_{(e(i))} - S_{(e(i))}| = 0.0536$, jika dibandingkan dengan nilai tabel Lilliefors $W_{27,90\%} = 0.15240$, jadi $T1 < W_{1-\alpha}$ dengan $\alpha = 10\%$ dapat disimpulkan gagal tolak Ho yang berarti residual berdistribusi normal.

4.5.2. Pengaruh Faktor Terhadap Respon Kekuatan Geser Furan

Variabel respon kekuatan geser furan mempunyai karakteristik kualitas lebih besar lebih baik (*Larger the better*) dengan besaran kg/cm^2 . Langkah awalnya adalah melakukan analisa dengan analisis of varians (ANOVA) terhadap besaran S/N untuk menentukan faktor-faktor mana saja yang signifikan terhadap respon kekuatan geser furan.

ANOVA Kekuatan Geser Furan

Menggunakan ANOVA dua arah akan diketahui faktor mana yang signifikan terhadap kekuatan geser, data yang digunakan adalah data yang telah ditransformasi dalam bentuk S/N. Faktor-faktor tersebut dimodelkan sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\gamma_{ik} + \epsilon_{ijkl}$$

Dimana :

- Y_{ijk} = harga kekuatan geser furan pada Resin taraf ke-i, Katalis taraf ke-j, pasir Silika taraf ke-k dan interaksi AxC .
- μ = rata-rata keseluruhan
- α_i = pengaruh faktor A taraf ke-i
- β_j = pengaruh faktor B taraf ke-j
- γ_k = pengaruh faktor C taraf ke-k
- $\alpha\gamma_{ik}$ = pengaruh interaksi faktor AxC
- ϵ_{ijkl} = error \sim IIDN $(0, \sigma^2)$

Hasil Analisis of varians respon kekuatan geser ditunjukkan pada tabel 4.13.

Prosedur Pooling Kekuatan Geser Furan

Berdasarkan hasil ANOVA dua arah pada tabel 4.13 diperoleh $db_{\text{error}} = 16$ dan $db_{\text{total}} = 26$ sehingga prosedur *pooling* tidak dapat dilakukan. Hal ini dikarenakan prosedur *pooling* direkomendasikan hanya dilakukan dimana derajat bebas error mendekati setengah dari derajat bebas total.

Tabel 4.13. ANOVA Kekuatan Geser Furan

Sumber variasi	DF	F _{hitung}	F _{tabel}
Resin (A)	2	14.94	2.67
Katalis (B)	2	5.49	2.67
Pasir Silika (C)	2	5.22	2.67
AXC	4	2.70	2.33
Error	16		
Total	26		

Persen Kontribusi Kekuatan Geser Furan

Persen kontribusi diperoleh untuk mengetahui besarnya sumbangan faktor utama dan interaksi yang signifikan terhadap respon kekuatan geser furan. Persen kontribusi masing-masing faktor ditunjukkan pada tabel 4.14.

Berdasarkan tabel 4.14 tampak bahwa kekuatan geser furan dipengaruhi oleh Resin, Katalis dan pasir Silika masing-masing 35.69%, 11.5%, 10.82% dan interaksi antara Resin dan pasir Silika 8.69%. Hal ini menunjukkan bahwa Resin mempunyai sumbangan yang paling besar terhadap respon kekuatan geser furan.

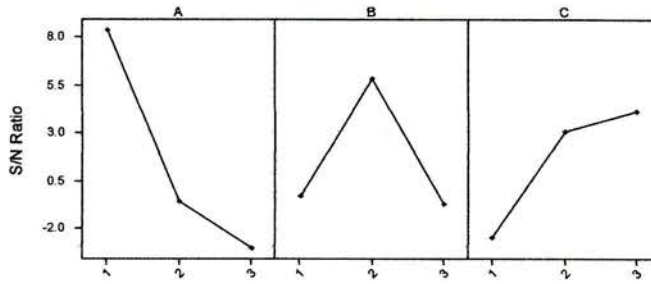
Kondisi Optimum Kekuatan Geser Furan

Kondisi optimum digunakan untuk mengetahui level dari setiap faktor yang dapat mengoptimalkan respon kekuatan geser . Faktor-faktor yang signifikan terhadap respon ini adalah Resin (A), Katalis (B), Pasir Silika (C) dan interaksi Resin dan Pasir Silika (A x C). Kondisi optimum dipilih untuk setiap level yang memberikan nilai rata-rata S/N yang tertinggi. Kondisi optimum tiap faktor untuk respon kekuatan geser furan ditunjukkan pada gambar 4.3.

Tabel 4.14 Persen Kontribusi Kekuatan Tekan Geser Furan

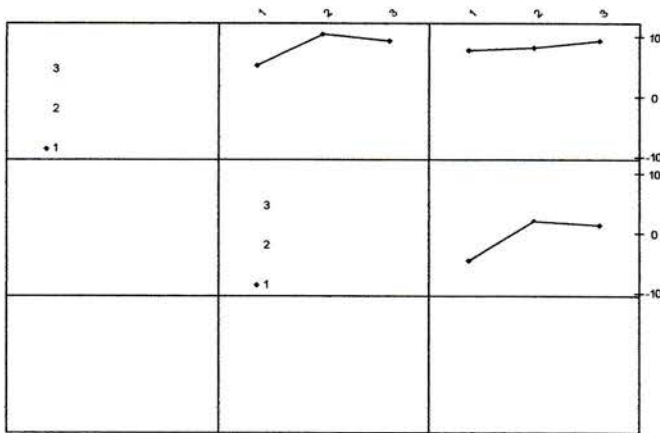
Sumber Variasi	DF	SS	MS	SS'	Persen Kontribusi
Resin (A)	2	643.82	321.91	600.22	35.69
Katalis(B)	2	236.70	118.35	193.60	11.50
Pasir Silika(C)	2	225.14	112.57	182.04	10.82
AXC	4	232.46	58.11	146.26	8.69
Error	16	344.78	21.55		33.29
Total	26	1682.91			100.00

Main Effects Plot for S/N Ratios



Gambar 4.3. Plot Pengaruh Faktor Utama Terhadap Kekuatan Geser Furan

Interaction Plot for S/N Ratios



Gambar 4.4. Plot Pengaruh Interaksi A x C

Pada gambar diatas kombinasi level yang memberikan kondisi optimum untuk respon kekuatan geser tanpa mengikut sertakan interaksi adalah A1B2C3. sedangkan interaksi antara Resin dan pasir Silika yang mempunyai S/N tertinggi dicapai pada A3C3.

Kondisi optimum terjadi pada level-level :

- Resin (A) : 13%
- Katalis (B) : 22.5%
- Pasir *Reclaim* 85% + Pasir Baru 15%

Taksiran kondisi optimum untuk respon kekuatan geser dapat dimodelkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
S/N_{\text{optimal}} &= y + (A1-y) + (B2-y) + (C3-y) + (A3C3-y) \\
&= 1.65787 + (8.41 - 1.657) + (5.834 - 1.657) + (4.2737 - 1.657) + \\
&\quad (9.27 - 1.657) \\
&= 22.81409
\end{aligned}$$

Interval untuk taksiran kondisi optimum :

$$\begin{aligned}
CI &= \hat{y}_{ijk} \pm \sqrt{\frac{F_{\alpha, v1, v2} \text{ MSe}}{n_{\text{eff}}}} \\
CI &= 22.81409 \pm \sqrt{\frac{F_{\alpha, v1, v2} (21.55)}{7,3636}}
\end{aligned}$$

$$CI = 22.81409 \pm 9.83$$

Hasil kondisi optimum dikonversi kedalam nilai MSD, yaitu :

$$S/N = -10 \text{ Log MSD}$$

$$\begin{aligned}
\text{MSD} &= 10^{(-S/N)/10} \\
&= 10^{(-2.281409)} \\
&= 0.005231
\end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
y &= \sqrt{\text{MSD}} \\
&= 0.072326
\end{aligned}$$

Dengan demikian dari hasil penelitian diperoleh taksiran optimum respon kekuatan geser sebesar 22.81409. Pada selang kepercayaan 90% diperoleh batas interval respon kekuatan geser sebesar 12.98409 sampai dengan 32.64409.

Analisis Residual

Residual adalah selisih antara nilai taksiran dengan nilai pengamatan, asumsi untuk residual adalah IIDN $(0, \sigma^2)$ dengan melakukan pengujian-pengujian sebagai berikut :

Persamaan matematis yang sesuai untuk rasio S/N kekuatan tekan furan adalah :

$$y_{ijk} = y + A_i + B_j + C_k$$

dimana :

- y_{ijk} : nilai taksiran kekuatan tekan furan
- y : nilai rata-rata keseluruhan
- $A_i = A_i - y$: pengaruh faktor Resin taraf ke-I
- $B_j = B_j - y$: pengaruh Katalis taraf ke-j

$C_k = C_k - y$: pengaruh pasir Silika taraf ke-k

a. Pemeriksaan Asumsi Identik

- Dengan metode grafik

Plot antara residual (e_i) dan nilai taksiran variabel dependennya menunjukkan bahwa data menyebar secara acak dan tidak membentuk pola tertentu. Dengan demikian asumsi identik terpenuhi.

- Uji gletser

Hipotesa :

Ho : Residual identik

H1 : Residual tidak identik

Dari nilai $F_{hitung} = 0.19 > \alpha = 0.1$, maka dapat disimpulkan gagal tolak Ho yang berarti residual identik.

b. Pemeriksaan asumsi independen

Pemeriksaan terhadap asumsi independen dilakukan dengan menggunakan plot ACF residual. Residual dikatakan independen jika nilai korelasi residualnya berada pada interval $\pm 1,65/\sqrt{n}$. Dari plot ACF diatas dengan $n = 27$ terlihat nilai korelasi berada dalam batas interval, maka dapat dikatakan memenuhi asumsi independen.

c. Pemeriksaan asumsi normal. $(0, \sigma^2)$

- Dengan metode grafik

Pemeriksaan kenormalan dengan plot residual, pada plot residual dari kiri bawah kekanan atas mendekati garis lurus maka dapat disimpulkan residual memenuhi asumsi normal.

- Uji Lilliefors

Hipotesa :

Ho : residual berdistribusi normal

H1 : residual tidak berdistribusi normal

Nilai $T1 = \max |F_{(e(i))} - S_{(e(i))}| = 0.0536$, jika dibandingkan dengan nilai tabel Lilliefors $W_{27,90\%} = 0.15240$, jadi $T1 < W_{1-\alpha}$ dengan $\alpha = 10\%$ dapat disimpulkan gagal tolak Ho yang berarti residual berdistribusi normal.

4.6. Penerapan Prosedur TOPSIS pada Rancangan Furan

Berdasarkan hasil analisa data dan pembahasan dengan metode non konvensional pada metode Taguchi, diperoleh level faktor yang dapat mengoptimalkan respon kekuatan tekan dan kekuatan geser secara serentak. Kombinasi level faktor yang dapat mengoptimalkan masing-masing respon tersebut adalah :

- Kekuatan tekan furan : A1B3C3
- Kekuatan geser furan : A1B2C3

Respon kekuatan tekan dan kekuatan geser tidak mempunyai kombinasi level yang sama. Dengan menggunakan prosedur TOPSIS akan diperoleh level Resin, Katalis dan pasir Silika yang dapat mengoptimalkan kedua respon tersebut. Mengingat hampir semua produk manufaktur selalu mempunyai beberapa karakteristik kualitas, dimana masing-masing karakteristik kualitas tersebut harus dapat memenuhi kebutuhan dan preferensi konsumen yang semakin kompleks, maka perlu ditentukan suatu setting yang dapat mengoptimalkan kedua respon secara bersama-sama. Untuk mencapai tujuan ini digunakan metode Taguchi dengan pendekatan nonkonvensional yaitu pendekatan prosedur TOPSIS untuk menyelesaikan masalah-masalah Taguchi Multirespon.

4.6.1. Transformasi Tingkat Kepentingan Tiap Respon dalam Bentuk Fuzzy

Langkah awal prosedur ini adalah menentukan tingkat kepentingan relatif dari masing-masing respon. Berdasarkan pertimbangan bahwa kekuatan geser relatif lebih berarti dari kekuatan tekan, maka dipilih istilah linguistiknya adalah 'tinggi' dan 'sedang'. Dengan menggunakan tabel yang menyatakan tingkat kepentingan relatif dinyatakan dalam istilah linguistik ditunjukkan dalam tabel *Linguistic Term* pada lampiran N.

Istilah-istilah linguistik yang telah ditetapkan kemudian dikonversikan kedalam angka *fuzzy* dengan cara menentukan skala yang memuat kedua istilah tersebut. Dalam hal ini, skala 1,2,3,4,5,6,7 dan 8 yang semuanya memuat istilah tinggi dan sedang.. Sebagai skala konversinya dipilih skala yang paling sederhana dan memuat paling sedikit istilah *linguistic*, yaitu skala konversi. Langkah selanjutnya

adalah mengkonversikan angka-angka *fuzzy* pada skala konversi kedalam *crisp scores* dengan metode *fuzzy scoring* yang dapat ditunjukkan tabel *Crisp Scores of Fuzzy Number*. Skala 1 yang terpilih sebagai skala konversi dalam penelitian ini memuat *crisp scores* untuk masing-masing respon sebagai berikut :

- Respon kekuatan geser : 0.750
- Respon kekuatan tekan : 0.583

Selanjutnya diperoleh pembobot tingkat kepentingan masing-masing respon, dilakukan normalisasi terhadap *crisp scores* yang diperoleh :

- pembobot untuk kekuatan geser

$$W1 = 0.750 / (0.750+0.583)$$

$$= 0.562641$$
- pembobot untuk kekuatan tekan

$$W2 = 0.583 / (0.750+0.583)$$

$$= 0.437359$$

4.6.2. Perhitungan *Quality Loss*

Karakteristik kualitas untuk respon kekuatan tekan dan kekuatan geser adalah lebih besar lebih baik (*Larger is better*), maka bentuk *loss function* yang akan dipakai adalah sebagai berikut:

$$L_{ij} = K \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r \left(\frac{1}{y_{ijk}} \right)^2$$

Penghitungan koefien kerugian sebagai berikut :

- Untuk mencapai kekuatan tekan 3.8 kg/cm² pada proses pembuatan furan dilakukan selama 20 menit, sedang biaya pembuatannya sebesar Rp 415,-.
- Dari hasil pembuatan biasanya mencapai kekuatan tekan 3.5 kg/cm², maka selisih yang dihasilkan dari target sebesar 0.3 kg/cm².
- Dengan rumus $k = L / \Delta^2$ maka koefisien fungsi kerugian didapatkan :

$$k = 415 / (0.3)^2 = 4.611,11$$

Dengan cara yang sama untuk kekuatan tekan diperoleh :

- kekuatan geser yang diinginkan sebesar 1.2 kg/cm² ternyata kekuatan geser yang biasa terjadi sebesar 1.0 kg/cm², dengan lama pembuatan furan 20 menit dan biayanya Rp. 415,- sehingga koefisien kerugiannya 10.375.

4.6.3. Kombinasi Optimum

Kombinasi kondisi perlakuan yang dapat menghasilkan kualitas optimum pada kedua respon secara sekaligus diperoleh dengan cara menghitung nilai TOPSIS-nya. Bentuk fungsi kerugian dengan tiga kali replikasi untuk masing-masing respon, adalah :

- Respon kekuatan tekan furan , $Li_1 = 4.611,11 \sum_1^3 \left(\frac{1}{y_{i_1k}} \right)^2$

- Respon kekuatan tekan furan , $Li_2 = 10.375 \sum_1^3 \left(\frac{1}{y_{i_2k}} \right)^2$

Dalam penelitian ini, 1 ton pasir apabila digunakan untuk memproduksi *brake drum* dengan tipe yang sama akan menghasilkan 10 unit, maka besarnya *Loss-by-dispersion* adalah :

$$\text{Loss - by - dispersion} = \frac{A_0}{\Delta^2} \left[\sigma^2 + (\bar{y} - m)^2 \right] \times \text{number of product}$$

Untuk kekuatan tekan :

$$\begin{aligned} \text{Loss - by - dispersion} &= 4611.11 \left[1.55 + (4.8959 - 3.8)^2 \right] \times 10 \\ &= \text{Rp.}126.851,489 \end{aligned}$$

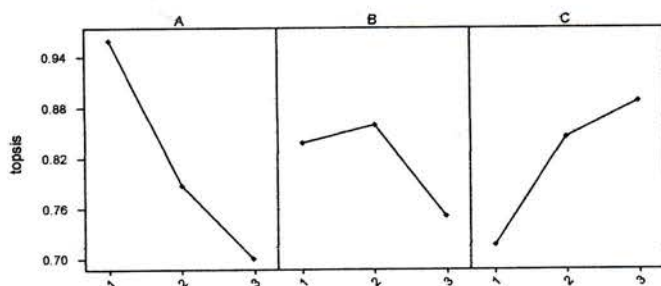
Untuk kekuatan geser :

$$\begin{aligned} \text{Loss - by - dispersion} &= 10.375 \left[1.28 + (1.672 - 1.2)^2 \right] \times 10 \\ &= \text{Rp.}155.913,84 \end{aligned}$$



Nilai-nilai TOPSIS untuk 27 kombinasi percobaan yang diperoleh disajikan dalam tabel 4.15. Dalam perhitungan nilai TOPSIS. Berdasarkan nilai TOPSIS tersebut, dapat dilihat pengaruh dari faktor-faktor utama terhadap nilai TOPSIS melalui plot sebagai berikut :

Main Effects Plot - Data Means for topsis



Gambar 4.5 Pengaruh Faktor Utama Terhadap Nilai TOPSIS

Tabel 4.15. Nilai TOPSIS

Eksp.	FAKTOR					TOPSIS
	A	B	C	AxC	AxC*	
1	1	1	1	1	1	0.921970
2	1	2	1	2	2	0.977084
3	1	3	1	3	3	0.953408
4	1	1	2	1	1	0.933647
5	1	2	2	2	2	0.995227
6	1	3	2	3	3	0.955949
7	1	1	3	1	1	0.941939
8	1	2	3	2	2	0.998281
9	1	3	3	3	3	0.974215
10	2	1	3	2	3	0.758781
11	2	2	3	3	1	0.849971
12	2	3	3	1	2	0.893414
13	2	1	1	2	3	0.820425
14	2	2	1	3	1	0.855275
15	2	3	1	1	2	0.911842
16	2	1	2	2	3	0.223990
17	2	2	2	3	1	0.867576
18	2	3	2	1	2	0.917706
19	3	1	2	3	2	0.740129
20	3	2	2	1	3	0.668370
21	3	3	2	2	1	0.790479
22	3	1	3	3	2	0.791418
23	3	2	3	1	3	0.684508
24	3	3	3	2	1	0.800329
25	3	1	1	3	2	0.324276
26	3	2	1	1	3	0.713213
27	3	3	1	2	1	0.798939

Nilai pengaruh faktor utama ditunjukkan pada tabel 4.16 sebagai berikut :

Tabel 4.16. Pengaruh Faktor Utama Terhadap Nilai TOPSIS

Level	Faktor		
	A	B	C
1	0.9613	0.8393	0.7174
2	0.7887	0.8609	0.8455
3	0.7013	0.7511	0.8885
Max-Min	0.2600	0.1098	0.1711

Berdasarkan tabel 4.16 nilai TOPSIS yang tertinggi menggambarkan kualitas yang baik dengan kombinasi faktor A1 B2 C3 dan setting parameternya adalah Resin 1.3%; Katalis 22.5% dan Pasir baru 15% + Pasir *reclaim* 85%. Faktor Resin mempunyai kontribusi paling besar terhadap nilai TOPSIS, kemudian diikuti pasir campuran dan Katalis.

4.6.4. Percobaan Konfirmasi

Percobaan konfirmasi dilakukan untuk mengetahui dan membuktikan hasil prediksi kombinasi optimum yang telah diperoleh memang menunjukkan peningkatan pada kualitas output, baik berupa kekuatan tekan maupun kekuatan geser. Kondisi yang digunakan pada percobaan ini adalah setting yang diperoleh dari prosedur TOPSIS dan dilakukan replikasi (r) sebanyak lima kali. Hasil pada percobaan ini dibandingkan terhadap proses setting yang biasa dilakukan oleh operator selama ini (*starting condition*) ditunjukkan pada tabel 4.17.

Tabel 4.17. Hasil Percobaan Konfirmasi

Respon	Kondisi Awal	CI Konfirmasi	Kondisi Optimum	Peningkatan
Kekuatan Tekan	S/N opt. = 20.47989 MSD = 0.0089 Varians = 1.183	20.47989 ± 0.1680	S/N opt = 20.5817 MSD = 0.0087 Varians = 0.165	0.1018
Kekuatan Geser	S/N opt = 22.81409 MSD = 0.0052 Varians = 1.08	22.81409 ± 4.9310	S/N opt = 23.0480 MSD = 0.0050 Varians = 0.2129	0.2339

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.17 terdapat peningkatan kualitas pada rasio S/N untuk respon kekuatan tekan sebesar 0.1018 dan kekuatan geser sebesar 0.2339. Besarnya nilai rasio S/N yang diperoleh dari percobaan konfirmasi

ternyata berada dalam batas interval yang ada. Dengan demikian, kombinasi optimum yang diperoleh melalui metode Taguchi dengan pendekatan prosedur TOPSIS telah mampu meningkatkan kualitas hasil pembuatan furan untuk kedua respon secara serentak dengan setting A1 B2 C3, yaitu Resin 1.3%; Katalis 22.5% dan Pasir baru 15% + Pasir *reclaim* 85%.

BAB V

ANALISIS DAN INTERPRETASI

5.1. Analisis dan Interpretasi Pada Metode Proses Hirarki Analitis

Dalam metode Proses Hirarki Analitis ini hasil yang akan dianalisis meliputi tahap keuntungan-kerugian, matrik kelayakan, matrik evaluasi, dan analisa sensitivitas serta perhitungan performansi, dimana alternatif yang mempunyai performansi tertinggi selanjutnya dapat dipilih menjadi dasar dalam tahap pengembangan pada metode Taguchi Multirespon.

5.1.1. Analisis Keuntungan-Kerugian

Berdasarkan analisis keuntungan-kerugian dari 27 alternatif, dengan mempertimbangkan tingkat kepentingan untuk tiap-tiap kriteria dapat terdeteksi alternatif-alternatif yang mempunyai tingkat keuntungan besar dan tingkat kerugian yang relatif kecil atau sebaliknya. Alternatif-alternatif yang mempunyai tingkat keuntungan besar, selanjutnya dilakukan analisis dengan matriks kelayakan yang mengikutsertakan desain awal.

5.1.2. Matriks Kelayakan

Matrik kelayakan ini digunakan untuk menyeleksi kombinasi-kombinasi alternatif. Berdasarkan perhitungan pada matriks kelayakan, dari 27 alternatif yang diusulkan dipilih 8 alternatif yang mempunyai ranking tertinggi. Hal ini dihitung berdasarkan total nilai kelayakan tertinggi, secara berturut-turut adalah alternatif 7, 8, 4, 9, desain awal, 13, 5, 1 dan alternatif 22.

5.1.3. Matriks Evaluasi

Pada matriks evaluasi ini 8 alternatif yang terpilih pada analisa kelayakan ditambah dengan desain awal dilakukan penilaian dengan mempertimbangkan kriteria-kriteria yang telah ditentukan yaitu kadar air, kemudahan operasi, biaya operasi, kadar *clay* dan distribusi yang cocok. Jumlah kriteria ini akan berpengaruh terhadap banyaknya entri yang digunakan sebagai dasar dalam matriks perbandingan berpasangan. Banyaknya entri yang diperoleh pada matriks evaluasi sebesar 10.

5.1.4. Penyusunan Hirarki

Dalam penyusunan hirarki rancangan furan ini terdiri dari tiga level. Level I berupa tujuan (*goal*) yaitu pemilihan rancangan furan di Perusahaan Pengecoran. Level kedua berisi kriteria-kriteria yang meliputi : kadar air, kemudahan operasi, biaya operasi, kadar *clay* dan distribusi yang cocok. Level ketiga berupa alternatif yang terdiri dari 8 alternatif yang terpilih pada tahap matriks kelayakan dengan mengikutsertakan desain awal. Kriteria-kriteria dan alternatif-alternatif yang diusulkan akan mempengaruhi rancangan furan dengan intensitas yang berbeda. Dengan penyusunan hirarki dapat dievaluasi dampak dari suatu kriteria keputusan terhadap rancangan furan. Ancangan dalam menyusun hirarki bergantung pada jenis keputusan yang perlu diambil. Hirarki yang dibuat perlu keluwesan, sehingga dapat diubah dengan menampung kriteria baru.

5.1.5. Matriks Perbandingan Berpasangan

Pada matriks perbandingan berpasangan ini dilakukan pada masing-masing kriteria terhadap tujuan (*goal*). Selanjutnya matriks perbandingan berpasangan juga dilakukan pada masing-masing alternatif terhadap kriteria dengan memasukkan skala dari 1 sampai 9 dengan memperhatikan bobot masing-masing kriteria. Pengalaman telah membuktikan bahwa skala dengan sembilan satuan dapat diterima dan mencerminkan derajat sampai dimana kemampuan manusia dapat membedakan intensitas tata hubungan antar elemen. Selanjutnya akan diperoleh *inconsistency ratio* dan bobot masing-masing kriteria atau masing-masing bobot yang disertai dengan grafik. Besarnya *inconsistency ratio* pada kelima kriteria rancangan furan masing-masing adalah kadar air (0.05), kemudahan operasi (0.09), biaya operasi (0.09), kadar *clay* (0.07) dan distribusi yang cocok (0.09). Hal ini menunjukkan bahwa responden cukup konsisten dalam memberikan jawaban dan penilaian terhadap kriteria-kriteria rancangan furan.

5.1.6. Pembobotan

Berdasarkan tabel 4.7 biaya operasi mempunyai bobot paling tinggi yaitu 0.353 kemudian disusul kadar air, distribusi yang cocok, kemudahan operasi dan kadar *clay* yang masing-masing bobotnya adalah 0.284, 0.182, 0.104 dan 0.078 dengan *Inconsistency Ratio* 0,04. Biaya operasi mempunyai bobot paling tinggi, hal ini

menunjukkan bahwa dalam perancangan furan kriteria biaya merupakan faktor penting, karena tinggi rendahnya biaya operasi akan berpengaruh terhadap harga jual suatu produk. Kadar air menempati prioritas kedua dalam perancangan furan, karena semakin rendah kadar air maka furan yang dihasilkan semakin kuat. Distribusi yang cocok menempati prioritas ketiga dalam perancangan furan, hal ini menunjukkan bahwa dengan distribusi yang cocok, maka kekuatan tekan dan kekuatan geser menjadi tinggi, begitu juga dengan permeabilitasnya. Pada kriteria kemudahan operasi mempunyai bobot pada urutan keempat, hal ini menunjukkan semakin mudah operasinya maka proses produksi akan lancar. Begitu juga dengan kadar *clay*, karena semakin rendah kadar *clay*, maka kekuatan furan semakin tinggi sehingga furan tidak mudah rontok atau retak.

5.1.7. Analisis Sensitivitas

Berdasarkan grafik analisis sensitivitas diperoleh bahwa alternatif 7 yaitu rancangan furan dengan karakteristiknya adalah Resin Foseco, Katalis Foseco dan pasir campuran menempati urutan pertama. Selanjutnya disusul alternatif 8, 4, 9, desain awal, 13, 5, 1 dan alternatif 22. Hal ini menunjukkan bahwa Resin Foseco merupakan bahan pengikat yang memang dikehendaki oleh pengguna karena sifat daya ikatnya tinggi. Adapun Katalis Foseco mempunyai kecepatan reaksi lebih tinggi dibandingkan dengan jenis Uniprima ataupun Indocera. Sedangkan pasir campuran mempunyai distribusi yang sesuai dan kadar asam yang rendah sehingga komposisi dari ketiga parameter tersebut diharapkan dapat meningkatkan kualitas furan dari segi kekuatan tekan dan kekuatan geser furan. Selain itu apabila ditinjau dari segi performansinya, alternatif 7 mempunyai performansi paling tinggi, dibandingkan dengan alternatif lain maupun desain awal, sehingga alternatif 7 ini dapat dijadikan acuan dalam tahap pengembangan dengan menggunakan metode Taguchi Multirespon.

5.2 Analisis Dan Interpretasi Pada Metode Taguchi Multirespon

Pada metode ini analisis dan interpretasi dilakukan baik pada respon kekuatan tekan maupun kekuatan geser dimulai dari ANOVA, persen kontribusi, kondisi optimum, analisis residual. Selanjutnya pada prosedur TOPSIS yang dilakukan untuk menentukan setting parameter yang dapat mengoptimalkan variabel respon secara serentak, kemudian *quality loss*, kombinasi optimum dan percobaan konfirmasi.

5.2.1. Analisis Variansi (ANOVA)

a. Respon Kekuatan Tekan

Berdasarkan tabel ANOVA pada respon kekuatan tekan, maka pengujian hipotesis adalah sebagai berikut :

1. $H_0 : \alpha_1 = \dots = \alpha_3 = 0$ (tidak ada efek faktor Resin)

H_1 : paling sedikit ada satu pasang α_i yang tidak sama

Kesimpulan : $F_{hitung} = 2059.11 > F_{(10\%, 2, 16)} = 2.67$ maka H_0 ditolak artinya ada pengaruh perbedaan level Resin terhadap respon kekuatan tekan furan.

2. $H_0 : \beta_1 = \dots = \beta_3 = 0$ (tidak ada efek faktor Katalis)

H_1 : paling sedikit ada satu pasang β_j yang tidak sama

Kesimpulan : $F_{hitung} = 36 > F_{(10\%, 2, 16)} = 2.67$ maka menolak H_0 yang berarti ada pengaruh perbedaan level Katalis terhadap respon kekuatan tekan furan.

3. $H_0 : \gamma_1 = \dots = \gamma_3 = 0$ (tidak ada efek faktor pasir Silika)

H_1 : paling sedikit ada satu pasang γ_k yang tidak sama

Kesimpulan : $F_{hitung} = 106.94 > F_{(10\%, 2, 16)} = 2.67$ maka menolak H_0 yang berarti ada pengaruh perbedaan level pasir Silika terhadap respon kekuatan tekan furan.

4. $H_0 : \alpha\gamma_{11} = \dots = \alpha\gamma_{33} = 0$ (tidak ada efek interaksi Resin dan pasir Silika)

H_1 : paling sedikit ada satu pasang $\alpha\gamma_{ik}$ yang tidak sama

Kesimpulan : $F_{hitung} = 128.8 > F_{(10\%, 2, 16)} = 2.67$ maka menolak H_0 yang berarti ada pengaruh perbedaan level dari interaksi antara Resin dan pasir Silika terhadap respon kekuatan tekan furan.

Sehingga dengan menggunakan tingkat kepercayaan 90% ($1-\alpha$) yang mempengaruhi respon kekuatan tekan secara signifikan adalah Resin (A), Katalis (B), pasir Silika (C) dan interaksi antara Resin dan pasir Silika (AxC). Hal ini menunjukkan bahwa sumbangan dari faktor Resin, Katalis dan pasir Silika serta interaksi antara Resin dan pasir Silika cukup berarti dalam pembentukan model.

b. Respon Kekuatan Geser

Berdasarkan tabel ANOVA pada respon kekuatan geser, maka pengujian hipotesis adalah sebagai berikut :

1. $H_0 : \alpha_1 = \dots = \alpha_3 = 0$ (tidak ada efek faktor Resin)

H1 : paling sedikit ada satu pasang α_i yang tidak sama

Kesimpulan : $F_{hitung} = 14.94 > F_{(10\%, 2, 16)} = 2.67$ maka menolak H_0 yang berarti ada pengaruh perbedaan level Resin terhadap respon kekuatan geser furan.

2. $H_0 : \beta_1 = \dots = \beta_3 = 0$ (tidak ada efek faktor Katalis)

H1 : paling sedikit ada satu pasang β_j yang tidak sama

Kesimpulan : $F_{hitung} = 5.49 > F_{(10\%, 2, 16)} = 2.67$ maka menolak H_0 yang berarti ada pengaruh perbedaan level Katalis terhadap respon kekuatan geser furan.

3. $H_0 : \gamma_1 = \dots = \gamma_3 = 0$ (tidak ada efek faktor pasir Silika)

H1 : paling sedikit ada satu pasang γ_k yang tidak sama

Kesimpulan : $F_{hitung} = 5.22 > F_{(10\%, 2, 16)} = 2.67$ maka H_0 ditolak artinya ada pengaruh perbedaan level pasir Silika terhadap respon kekuatan geser furan.

4. $H_0 : \alpha\gamma_{11} = \dots = \alpha\gamma_{33} = 0$ (tidak ada efek interaksi Resin dan pasir Silika)

H1 : paling sedikit ada satu pasang $\alpha\gamma_{ik}$ yang tidak sama

Kesimpulan : $F_{hitung} = 2.7 > F_{(10\%, 2, 16)} = 2.67$ maka menolak H_0 yang berarti ada pengaruh perbedaan level dari interaksi antara Resin dan pasir Silika terhadap respon kekuatan geser furan.

Sehingga dengan menggunakan tingkat kepercayaan 90% ($1-\alpha$) yang mempengaruhi respon kekuatan geser secara signifikan adalah Resin (A), Katalis (B), pasir Silika (C) dan interaksi antara Resin dan pasir Silika (AxC).

5.2.2. Persen Kontribusi

a. Kekuatan Tekan

Berdasarkan persen kontribusi menunjukkan bahwa kekuatan tekan furan dipengaruhi oleh Resin, Katalis, pasir Silika masing-masing sebesar 83.4%, 1.4%, 4.3% dan interaksi antara Resin dan pasir Silika sebesar 10.3%. Dalam hal ini Resin mempunyai kontribusi paling besar dan mempunyai pengaruh paling kuat terhadap kekuatan tekan, sehingga kekuatan Resin untuk mereduksi total variasi adalah 83.4%. Sedangkan kontribusi dari *error* yang mewakili kontribusi dan interaksi yang kurang signifikan sebesar 0.6%.

b. Kekuatan Geser

Berdasarkan persen kontribusi menunjukkan bahwa kekuatan geser furan dipengaruhi oleh Resin, Katalis dan pasir Silika masing-masing 35.69%, 11.5%, 10.82% dan interaksi antara Resin dan pasir Silika 8.69%. Dalam hal ini Resin mempunyai kontribusi paling besar dan mempunyai pengaruh paling kuat terhadap kekuatan geser, sehingga kekuatan Resin untuk mereduksi total variasi adalah 35.69%. Sedangkan interaksi antara Resin dan pasir Silika mempunyai kontribusi dan pengaruh paling kecil terhadap kekuatan geser furan dalam mereduksi total variasi yaitu 8.69%.

5.2.3. Kondisi Optimum

a. Kekuatan Tekan

Kondisi optimum pada kekuatan tekan ini dimaksudkan untuk memilih level dari faktor yang signifikan berdasarkan rata-rata S/N tertinggi yang dapat mengoptimalkan respon kekuatan tekan. Berdasarkan plot pengaruh faktor utama pada gambar 4.3 menunjukkan kondisi optimum untuk respon kekuatan tekan furan dicapai pada kombinasi level A1 B3 C3 dengan rancangan sebagai berikut :

- Resin (A) : 1.3%
- Katalis (B) : 25%
- Pasir *Reclaim* 85% + Pasir Baru 15%

b. Kekuatan Geser

Kondisi optimum pada kekuatan tekan ini dimaksudkan untuk memilih level dari faktor yang signifikan berdasarkan rata-rata S/N tertinggi yang dapat mengoptimalkan respon kekuatan geser. Berdasarkan plot pengaruh faktor utama pada gambar 4.4 menunjukkan kondisi optimum untuk respon kekuatan geser dicapai pada kombinasi level A1B2C3 dengan rancangan sebagai berikut :

- Resin (A) : 1.3%
- Katalis (B) : 22.5%
- Pasir *Reclaim* 85% + Pasir Baru 15%

5.2.4. Confidence Interval

a. Kekuatan Tekan

Confidence Interval merupakan batas maksimum dan minimum suatu nilai dimana rata-rata optimal kekuatan tekan yang diperoleh berada pada batas tersebut. *Confidence Interval* dapat juga digunakan untuk menguji hasil percobaan konfirmasi pada kekuatan tekan berimpit ataukah diluar interval desain awal. Berdasarkan kombinasi optimum yang diperoleh S/N_{optimal} respon kekuatan tekan sebesar 20.47989. Pada selang kepercayaan 90% diperoleh batas interval respon kekuatan tekan sebesar 20.37309 sampai dengan 20.58669.

b. Kekuatan Geser

Confidence Interval merupakan batas maksimum dan minimum suatu nilai dimana rata-rata optimal kekuatan geser yang diperoleh berada pada batas tersebut. *Confidence Interval* dapat juga digunakan untuk menguji hasil percobaan konfirmasi pada kekuatan geser berimpit ataukah diluar interval desain awal. Berdasarkan kombinasi optimum hasil penelitian diperoleh rata-rata respon kekuatan geser yang optimum sebesar 22.81409. Pada selang kepercayaan 90% diperoleh batas interval respon kekuatan geser sebesar 12.98409 sampai dengan 32.64409.

5.2.5. Analisis residual

a. Kekuatan Tekan

1. Pemeriksaan Asumsi Identik

Berdasarkan plot antara residual (e_i) dan nilai taksiran variabel *dependent* menunjukkan bahwa data menyebar secara acak dan tidak membentuk pola tertentu sehingga asumsi identik terpenuhi.

Pada uji Gletser hipotesisnya adalah :

H_0 : residual identik

H_1 : residual tidak identik

Nilai $P_{\text{value}} = 0.903 > \alpha = 0.1$, maka dapat disimpulkan gagal tolak H_0 dengan tingkat kepercayaan 90 % yang berarti residual identik.

2. Pemeriksaan asumsi *independent*

Berdasarkan plot ACF residual pada lampiran J-3 nilai korelasi residualnya berada pada interval $\pm 1,65/\sqrt{n}$. Pada $n = 27$ terlihat nilai korelasi berada dalam batas interval, maka dapat dikatakan memenuhi asumsi *independent*.

3. Pemeriksaan asumsi normal. $(0, \sigma^2)$

Plot residual yang diperoleh dari pemeriksaan kenormalan dengan plot residual menunjukkan bahwa hasil plot residual dari kiri bawah kekanan atas mendekati garis lurus maka dapat disimpulkan residual memenuhi asumsi normal.

Hipotesis pada uji Lilliefors adalah :

H_0 : residual berdistribusi normal

H_1 : residual tidak berdistribusi normal

Pada uji Lilliefors Nilai $T_1 = \max |F(e_{(i)}) - S(e_{(i)})| = 0.0536$, jika dibandingkan dengan nilai pada tabel Lilliefors $W_{27,90\%} = 0.15240$, sehingga $T_1 < W_{1-\alpha}$ dengan $\alpha = 10\%$ dapat disimpulkan gagal tolak H_0 yang berarti residual berdistribusi normal.

b. Kekuatan Geser

1. Pemeriksaan Asumsi Identik

Plot antara residual (e_i) dan nilai taksiran variabel *dependent* menunjukkan bahwa data menyebar secara acak dan tidak membentuk pola tertentu. Dengan demikian asumsi identik terpenuhi.

Pada uji Gletser hipotesis yang dilakukan adalah :

H_0 : residual identik

H_1 : residual tidak identik

Dari $P_{\text{value}} = 0.106 > \alpha = 0.1$ maka dapat disimpulkan gagal tolak H_0 , artinya bahwa residual identik.

2. Pemeriksaan Asumsi *Independent*

Pada plot ACF residual dikatakan *independent* jika nilai korelasi residualnya berada pada interval $\pm 1,65/\sqrt{n}$. Plot ACF dengan $n = 27$ menunjukkan bahwa nilai korelasi berada dalam batas interval, maka dapat dikatakan memenuhi asumsi *independent*.

3. Pemeriksaan Asumsi Normal

Pemeriksaan kenormalan dengan plot residual menunjukkan bahwa pada plot residual dari kiri bawah kekanan atas mendekati garis lurus maka dapat disimpulkan residual memenuhi asumsi normal.

Pada Uji Lilliefors hipotesanya adalah :

H_0 : residual berdistribusi normal

H_1 : residual tidak berdistribusi normal

Dari nilai $T1 = \max |F(e_{(i)}) - S(e_{(i)})| = 0.076$, jika dibandingkan dengan nilai tabel Lilliefors $W_{27,90\%} = 0.15240$, jadi $T1 < W_{1-\alpha}$ dengan $\alpha = 10\%$ dapat disimpulkan gagal tolak H_0 yang berarti residual berdistribusi normal.

5.2.6. Prosedur TOPSIS

Dalam prosedur TOPSIS ini bertujuan untuk mengoptimalkan respon kekuatan tekan dan kekuatan geser secara serentak. Setelah dilakukan perhitungan, *crisp scores* masing-masing respon adalah 0.750 untuk kekuatan geser dan 0.583 untuk kekuatan tekan. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan geser mempunyai bobot “*high*”, sedangkan kekuatan tekan mempunyai bobot “*medium*”. Adapun besarnya pembobot tingkat kepentingan masing-masing respon, yang telah dilakukan normalisasi terhadap *crisp scores* untuk kekuatan geser adalah 0.562641 dan pembobot untuk kekuatan tekan adalah 0.437359. Sedangkan dari *quality loss* diperoleh besarnya koefisien fungsi kerugian pada kekuatan tekan sebesar 4611.11 dan kekuatan geser 10.375.

Pada tabel 4.16 pada prosedur TOPSIS dapat diketahui kombinasi level optimum. Nilai TOPSIS terbesar menggambarkan kualitas yang baik, sehingga diperoleh kombinasi level faktor yang memberi kondisi optimum A1 (Resin) dengan level 1.3%, B2 (Katalis) dengan level 22.5%, C3 (pasir Silika) dengan level pasir *reclaim* 85% + pasir baru 15%. Artinya kombinasi Resin (1.3%), Katalis (22.5%) dan pasir baru 15% + pasir *reclaim* 85% merupakan setting parameter yang dapat mengoptimalkan kekuatan tekan dan kekuatan geser secara serentak.

5.2.7. Percobaan Konfirmasi

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.17 terdapat peningkatan kualitas pada rasio S/N untuk respon kekuatan tekan sebesar 0.1018 atau 10.18% dan kekuatan geser sebesar 0.2339 atau 23.39%. Besarnya nilai rasio S/N yang diperoleh dari

percobaan konfirmasi sebesar 20.5817 untuk respon kekuatan tekan dan 23.0480 untuk respon kekuatan geser ternyata berada dalam batas interval yang ditetapkan. Interval kondisi optimum untuk kekuatan tekan pada tingkat kepercayaan 90% adalah 20.3119 sampai dengan 20.6478. Sedangkan interval kondisi optimum untuk kekuatan geser pada tingkat kepercayaan 90% adalah 17.8831 sampai dengan 27.7451. Dengan demikian, kombinasi optimum yang diperoleh melalui metode Taguchi dengan pendekatan prosedur TOPSIS telah mampu meningkatkan kualitas furan untuk kedua respon secara serentak dengan setting A1 B2 C3, yaitu Resin 1.3%; Katalis 22.5% dan Pasir baru 15% + Pasir *reclaim* 85%.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan perhitungan perbandingan berpasangan pada kriteria diperoleh *inconsistency ratio* sebesar 0.04. Sedangkan *inconsistency ratio* pada kriteria kadar air sebesar 0.05, kemudahan operasi (0.09), biaya operasi (0.09), ladar *clay* (0.07) dan distribusi yang cocok (0.06).
2. Alternatif yang diperoleh dari analisis sensitivitas yaitu alternatif 7 dengan bobot tertinggi 0.130 dan karakteristiknya adalah Resin Foseco, Katalis Foseco dan pasir campuran.
3. Nilai performansi tertinggi diperoleh pada alternatif 7 sebesar 61.262 yang selanjutnya dijadikan acuan pada tahap pengembangan menggunakan metode *Taguchi Multiresponse* untuk memperoleh setting parameter yang tepat.
4. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan tekan dan kekuatan geser furan adalah Resin, Katalis, pasir Silika (SiO_2) dan interaksi antara Resin dengan pasir Silika.
5. Kombinasi level faktor yang menghasilkan kekuatan tekan optimum diperoleh dari A1B3C3 yaitu Resin 1.3%, Katalis 25% dan Pasir baru 15% + pasir *reclaim* 85%.
6. Kombinasi level faktor yang menghasilkan kekuatan geser optimum diperoleh dari A1B2C3 yaitu Resin 1.3%, Katalis 22.5% dan Pasir baru 15% + pasir *reclaim* 85%.
7. Kontribusi faktor-faktor yang signifikan terhadap respon kekuatan tekan masing-masing adalah Resin (83.4%), Katalis (1.4%), pasir Silika (4.3%) dan interaksi antara Resin dan pasir Silika sebesar 10.3%.
8. Kontribusi faktor-faktor yang signifikan terhadap respon kekuatan geser masing-masing adalah Resin (35.69%), Katalis (11.5%), pasir Silika (10.82%) dan interaksi antara Resin dan pasir Silika sebesar 8.69%.
9. Interval kondisi optimum kondisi awal untuk kekuatan tekan sebesar 20.37309 sampai dengan 20.58669, sedangkan untuk kekuatan geser dari 12.98409 sampai dengan 32.64409.

10. Berdasarkan analisis residual baik pada kekuatan tekan maupun kekuatan geser asumsi $INDN(0, \sigma^2)$ yaitu identik, *independent* dan berdistribusi normal terpenuhi.
11. Pembobot tingkat kepentingan kekuatan tekan setelah dilakukan normalisasi terhadap *crisp scores* adalah 0.437359, sedangkan untuk kekuatan geser sebesar 0.562641.
12. Kombinasi optimum berdasarkan prosedur TOPSIS adalah A1B2C3 dimana Resin memberikan kontribusi paling besar terhadap nilai TOPSIS yaitu 0.9613 diikuti pasir 0.8885 dan Katalis sebesar 0.8609.
13. Besarnya S/N kondisi optimum pada percobaan konfirmasi untuk respon kekuatan tekan adalah 20.5817 berada pada batas interval yang ditentukan dengan tingkat kepercayaan 90% yaitu antara 20.3119 sampai dengan 20.6478. Sedangkan untuk respon kekuatan geser besarnya S/N adalah 23.0480 yang berada pada batas interval yang ditentukan dengan tingkat kepercayaan 90% yaitu antara 17.8831 sampai dengan 27.7451.
14. Peningkatan kualitas berdasarkan percobaan konfirmasi pada respon kekuatan tekan adalah 0.1018, sedangkan untuk respon kekuatan geser adalah 0.2339.

6.2 Saran

1. Agar peningkatan kualitas furan tercapai baik dari segi kekuatan tekan maupun kekuatan geser, maka faktor dan level optimal yang diperoleh dari metode *Taguchi Multiresponse* dapat diimplementasikan.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan memasukkan faktor lain seperti waktu penumbukan, ketelitian dimensi, atau dengan memperbanyak jumlah level.

DAFTAR PUSTAKA

- Belavendram, Nicolo, *Quality by Design : Taguchi Techniques for Industrial Eksperimentation*, Prentice Hall, New York, 1991
- Clemen, Robert. T, *Making Hard Decision an Introduction to Decision Analysis*, PWS-KENT Publishing Company, Boston, 1991
- Date, B.G, *Manging Quality*, Philip Allen, New York, 1995
- Date Besterfield, *Total Quality Management*, Prentice Hall, Englewood Cliff New Jersey, 1995
- Douglas C. Montgomery, *Design and Analysis experimen*, Fourth Edition, 1997
- Parasuraman A, Valeri A, Zeithaml Dan Leonard L, Berry, *Delivering Quality Service Balancing Customer Perception And Expectation*, 1990
- Heller, Edward D, *Value Management.*, Value Engineering and Cost Reduction, 1997
- Ross, Philip J, *Taguchi Techniques for Quality Engeenering*, McGraw-Hill.2nd ed., New York,1996
- Radford K. J, *Managerial Decision Making*, Reston Va. Reston Publishing Co, Inc, 1975

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
KOORDINASI PERGURUAN TINGGI SWASTA WILAYAH - I
NANGGROE ACEH DARUSSALAM - SUMATERA UTARA

Jalan Setia Budi Tanjung Sari 20132, Telepon : 061 - 8214878, 8210359, Faksimile : 061 - 8210360
MEDAN SUMATERA UTARA - INDONESIA

nomor : 016.a /O.01.2.2/KL/2008

12 Maret 2008

lampiran : -

jenis : **Izin Penelitian.**

kepada : Sdr. Kepala Sentra Industri (IKM) dan Lab. UMA
di
Medan.

Dengan hormat, kami beritahukan bahwa dosen Kopertis Wilayah I :

Nama : Ir. Amru Siregar,MT
NIP : 131996163

akan mengadakan penelitian di Sentra Industri (IKM) Lab.UMA dengan :

Judul : Rancangan Furan dengan Metode Analysis Hierarcy Process (AHP) dan
Taguchi Multirespon pada Industri Pengecoran Logam.
Waktu : 90 (sembilan puluh) hari kalender terhitung sejak tanggal 20 Maret s/d
20 Juni 2008.

Untuk hal tersebut, kami mohon Saudara dapat menerima dan membantu memberikan
keterangan yang diperlukan, atas bantuan dan kerjasama yang baik kami ucapkan terima kasih.

Koordinator,



Tempat :
Universitas Medan Area



ATMINDO

P.T.ATMINDO

ENGINEERING AND MANUFACTURING

Jln. K.L.Yos Sudarso No.100

E-mail : boiler@atmindocoid

P.O.Box 1253

MEDAN (20115) - INDONESIA



Your reference

your letter

our reference

Medan, 21 Agustus 2008

No.EN088/08

SURAT KETERANGAN



Yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan bahwa :

N a m a : Ir. Amru Siregar, MT
N I P : 131 996 163

Telah melaksanakan Penelitian di PT. Atmindo – Medan, tentang Pembuatan dan Perancangan FURAN

Demikian Surat keterangan ini untuk dapat dipergunakan.

Hormat Kami,
PT. ATMINDO



Ir. D. SIMANJUNTAK
ENPD. Div. Head