



TESIS PM 7501

**OPTIMASI KUAT TARIK DAN KETAHANAN SLIP PADA
PROSES VULKANISASI SOL KARET DENGAN
GABUNGAN METODE TAGUCHI DAN *GREY
RELATIONAL ANALYSIS*
(STUDI KASUS DI CV. XYZ SIDOARJO)**

FAJAR ALAM YUDHA
09211650013002

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

DEPARTEMEN MANAJEMEN TEKNOLOGI
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN INDUSTRI
FAKULTAS BISNIS DAN MANAJEMEN TEKNOLOGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

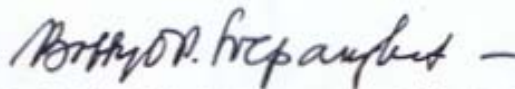
LEMBAR PENGESAHAN

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

Oleh:
FAJAR ALAM YUDHA
NRP. 09211650013002

Tanggal Ujian : 18 Juli 2018
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:



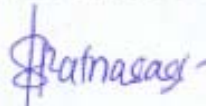
1. Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 1953 0516 1978 031001

(Pembimbing)



2. Dr. Ir. Mokh. Suf, M.Sc (Eng)
NIP. 1965 0630 1990 031002

(Penguji)



3. Dr. Vita Ratnasari, S.Si., M.Si.
NIP. 1970 0910 1997 022001

(Penguji)

Dekan Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi,



Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc.
NIP. 1959 0318 1987 011001

**OPTIMASI KUAT TARIK DAN KETAHANAN SLIP PADA PROSES VULKANISASI
SOL KARET DENGAN GABUNGAN METODE TAGUCHI DAN
GREY RELATIONAL ANALYSIS
(STUDI KASUS DI CV. XYZ SIDOARJO)**

Nama Mahasiswa : Fajar Alam Yudha
NRP : 09211650013002
Dosen Pembimbing : Ir. Bobby Oedy Pramoedyo S., MSc., Ph.D

ABSTRAK

Sol karet adalah salah satu produk dari CV. XYZ yang memiliki 2 karakteristik kualitas yang kritis (*Critical To Quality characteristic/CTQ*), yaitu kuat tarik dan ketahanan slip. Spesifikasi kuat tarik dan ketahanan slip sol karet masing-masing adalah minimal 4,9 MPa dan 0,14. Selama ini kuat tarik dan ketahanan slip sol karet dari proses vulkanisasi masih banyak yang belum memenuhi spesifikasi. Hal ini menyebabkan banyaknya produk sol karet yang cacat.

Agar *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip sol karet dapat memenuhi spesifikasi, dilakukan penelitian untuk menentukan level-level dari parameter proses vulkanisasi yang dapat memaksimalkan kuat tarik dan ketahanan slip secara serentak. Parameter-parameter proses adalah suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan. Karena ada tiga parameter proses dengan tiga level, maka rancangan eksperimen yang digunakan adalah matriks ortogonal L_9 . Kombinasi metode Taguchi dan *grey relational analysis* (Taguchi-GRA) digunakan untuk mengoptimasi proses vulkanisasi dengan karakteristik multi respon (kuat tarik dan ketahanan slip). Selain itu juga dihitung penurunan biaya kerugian dengan menggunakan level-level dari parameter-parameter proses hasil optimasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan cetakan adalah parameter proses yang mempunyai kontribusi paling besar dalam mengurangi variansi total dari kedua *CTQ* yang diamati secara serentak. Untuk memaksimalkan *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip maka suhu cetakan diatur pada 155⁰C, tekanan cetakan diatur pada 90 bar dan waktu tahan diatur pada 2 menit. Penurunan kerugian yang didapatkan pada proses vulkanisasi dengan menggunakan pengaturan yang dapat memaksimalkan *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip secara serentak adalah sebesar 29,18%.

Kata Kunci : suhu cetakan, tekanan cetakan, waktu tahan, kuat tarik, ketahanan slip, Taguchi-Grey Relational Analysis (GRA)

**TENSILE STRENGTH AND SLIP RESISTANCE OPTIMIZATION OF
VULCANIZATION PROCESSES OF RUBBER SOLE WITH TAGUCHI GREY
RELATIONAL ANALYSIS METHOD**

By : Fajar Alam Yudha
Student Identify Number : 09211650013002
Supervisor : Ir. Bobby Oedy Pramoedyo S., MSc., Ph.D

ABSTRACT

Rubber soles are one of the products of CV. XYZ which has 2 Critical To Quality characteristic (CTQ), namely tensile strength and slip resistance. The specifications for tensile strength and slip resistance of rubber sole are at least 4.9 MPa and 0.14, respectively. During this time tensile strength and slip resistance of rubber soles from the vulcanization process that do not meet the specifications. This causes a lot of defective rubber soles.

In order for CTQ tensile strength and slip resistance of rubber soles to meet specifications, research is conducted to determine the levels of vulcanization process parameters that can maximize tensile strength and slip resistance simultaneously. Process parameters are mold temperature, mold pressure and holding time. Because there are three process parameters with three levels, the experimental design used is the L9 orthogonal matrix. The combination of Taguchi method and gray relational analysis (Taguchi-GRA) is used to optimize the vulcanization process with multi-response characteristics (tensile strength and slip resistance). In addition, the reduction in loss costs is calculated by using the levels of the optimization process parameters.

The results showed that the mold pressure is a process parameter that has the greatest contribution in reducing the total variance of the two CTQ observed simultaneously. To maximize CTQ tensile strength and slip resistance, the mold temperature is set at 155⁰C, the mold pressure is set at 90 bar and the hold time is set at 2 minutes. The decrease in losses obtained in the vulcanization process using settings that can maximize CTQ tensile strength and slip resistance in an optimal setting is 29.18%.

Keywords: mold temperature, mold pressure, holding time, tensile strength, slip resistance, Taguchi-Gray Relational Analysis (GRA)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul: "Optimasi Kuat Tarik dan Ketahanan Slip Sol Karet Dengan Gabungan Metode Taguchi dan Grey Relational Analysis (Studi Kasus di CV. XYZ Sidoarjo)". Tesis ini dapat penulis selesaikan dengan baik berkat dukungan serta bantuan baik langsung maupun tidak langsung dari semua pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Istri dan anak-anak tercinta yang selalu memberikan dorongan semangat dan doa yang tulus ikhlas.
2. Bapak Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.SC., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang membantu memberikan pengarahan selama mengerjakan tesis.
3. Rachmadi Norcahyo yang selalu memberikan motivasi dan pengertian dalam mengerjakan tesis ini.
4. Pimpinan dan para karyawan CV. Carita Niaga, Sidoarjo
5. Teman-teman karyawan Balai Pengembangan Industri Persepatuan Indonesia (BPIPI).
6. Teman-teman Team Tesis Optimasi.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan selanjutnya. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 26 Juli 2018

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.2.1. Batasan Masalah.....	4
1.2.2. Asumsi Penelitian.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Latar Belakang Industri Sol Karet.....	7
2.2 Pembuatan Sol Karet.....	10
2.3 Metode Taguchi.....	11
2.4 Desain Eksperimental Taguchi.....	12
2.4.1. Tahap Perencanaan.....	13
2.4.2. Tahap Pelaksanaan.....	15
2.4.3. Tahap Analisis.....	16
2.5 Metode Taguchi- <i>Grey Relational Analysis (GRA)</i>	16
2.6 Interpretasi Hasil Eksperimen.....	25
2.7 Eksperimen Konfirmasi.....	26
2.8 Penurunan Biaya Kerugian.....	27

2.9	Posisi Penelitian	29
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1	Tahapan Penelitian	31
3.2	Parameter-parameter dalam penelitian.....	32
3.2.1	Parameter konstan	33
3.2.2	Parameter proses	33
3.2.3	Parameter <i>noise</i>	33
3.3	Bahan dan Peralatan.....	33
3.3.1	Bahan penelitian.....	34
3.3.2	Peralatan penelitian	34
3.4	Rancangan Percobaan	37
3.4.1	Pengaturan parameter konstan dan parameter proses	37
3.4.2	Pemilihan matriks ortogonal	37
3.5	Rancangan Pengambilan Data	38
3.6	Prosedur Percobaan.....	39
3.7	Perhitungan Nilai Penurunan Biaya Kerugian	40
BAB 4 OPTIMASI MULTI RESPON DAN PERHITUNGAN PENURUNAN BIAYA KERUGIAN		43
4.1	Data Hasil Eksperimen.....	43
4.2	Nilai Rasio S/N Data Hasil Eksperimen	44
4.3	Normalisasi Data.....	45
4.4	Menentukan <i>Deviation Sequence</i> ($\Delta\mathbf{0}, \mathbf{ik}$).....	46
4.5	Menentukan <i>Grey Relational Coefficient</i> atau <i>GRC</i> ($\xi\mathbf{ik}$)	47
4.6	Perhitungan Nilai <i>Grey Relational Grade</i> (<i>GRG</i>) Untuk Respon Optimal.....	48
4.7	Menentukan Kombinasi Parameter Proses Untuk Respon Optimal	49
4.8	Analisis Variansi	51
4.9	Prediksi Nilai <i>GRG</i> Hasil Optimasi dan Interval Keyakinan.....	54

4.10	Eksperimen Konfirmasi	56
4.11	Perbandingan Antara Respon Hasil Kombinasi Awal Dengan Respon Hasil Kombinasi Optimum	58
4.12	Perbandingan Antara Respon Hasil Kombinasi Awal dan Hasil Kombinasi Optimum	60
4.13	Penurunan Biaya Kerugian	61
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA		69
Lampiran 1. Peta kendali \bar{X} dan R pengaturan awal.....		71
Lampiran 2. Analisa kemampuan proses pengaturan awal.....		72
Lampiran 3. Peta kendali \bar{X} dan R pengaturan optimal		73
Lampiran 4. Analisis kemampuan proses pengaturan optimal		74
Lampiran 5. Analisa <i>GRG</i> dengan menggunakan Minitab 17.....		75
Lampiran 6. Grafik residual plot untuk <i>GRG</i> dan data Residual.....		76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sol luar dari bahan kulit.....	7
Gambar 2.2 Sol luar dari bahan <i>PVC</i>	8
Gambar 2.3 Sol karet.....	8
Gambar 2.4 Sol luar dari bahan <i>PU</i>	9
Gambar 2.5 Sol luar dari bahan <i>TPR</i>	9
Gambar 2.6 Sol luar dari bahan spon.....	9
Gambar 2.7 Proses pembuatan sol karet.....	10
Gambar 2.8 Langkah-langkah optimasi metode Taguchi- <i>GRA</i>	17
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 3.2 Mesin vulkanisasi.....	34
Gambar 3.3 Mesin pemotong.....	34
Gambar 3.4 Mesin potong tekan.....	35
Gambar 3.5 Mesin uji tarik.....	35
Gambar 3.6 Mesin uji ketahanan slip.....	36
Gambar 3.7 Pengukur tebal.....	36
Gambar 4.1 <i>Plotting</i> rata-rata nilai <i>GRG</i> pada masing-masing level parameter proses...50	
Gambar 4.2 Plot interval keyakinan <i>GRG</i> prediksi dan <i>GRG</i> eksperimen konfirmasi ...58	
Gambar 4.3 Analisa kemampuan proses sol karet dengan pengaturan awal untuk kuat tarik	62
Gambar 4.4 Analisa kemampuan proses sol karet dengan pengaturan awal untuk ketahanan slip.....	62
Gambar 4.5 Analisis kemampuan proses menggunakan pengaturan optimal untuk <i>CTQ</i> kuat tarik.....	63
Gambar 4.6 Analisis kemampuan proses menggunakan pengaturan optimal untuk <i>CTQ</i> ketahanan slip.....	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis-Jenis Matriks Ortogonal	15
Tabel 2.2 Respon <i>GRG</i>	20
Tabel 2.3 Analisis Variansi Dua Arah	21
Tabel 2.4 Rumus <i>Taguchi Loss Function</i>	28
Tabel 2.5 Penelitian Yang Menggunakan Desain Eksperimen Dengan Gabungan Metode Taguchi dan <i>GRA</i>	30
Tabel 3.1 Pengaturan Mesin Untuk Parameter Proses.....	37
Tabel 3.2 Total Derajat Kebebasan Faktor dan Level	38
Tabel 3.3 Rancangan Percobaan Taguchi.....	38
Tabel 3.4 Tampilan Data Hasil Eksperimen	39
Tabel 3.5 Perhitungan Biaya Pengganti Kerugian (A_0) Sol Karet.....	40
Tabel 4.1 Data Hasil Eksperimen	43
Tabel 4.2 Nilai Rasio S/N Masing-masing Respon.	44
Tabel 4.3 Normalisasi Rasio S/N Pada Masing-masing Respon	46
Tabel 4.4 <i>Deviation Sequence</i> pada Masing-masing Respon	47
Tabel 4.5 <i>GRC</i> untuk Masing-masing Respon	48
Tabel 4.6 Nilai <i>GRG</i>	49
Tabel 4.7 Kombinasi <i>GRG</i> Pada Masing-masing Level.....	49
Tabel 4.8 Tabel Nilai Rata-rata <i>GRG</i> Pada Masing-masing Level Parameter Proses	50
Tabel 4.9 Kombinasi Level Parameter Proses Untuk Respon Optimum.....	51
Tabel 4.10 ANAVA untuk <i>GRG</i> Hasil Perhitungan.....	52
Tabel 4.11 ANAVA dan Persen Kontribusi Untuk <i>GRG</i>	54
Tabel 4.12 Kombinasi Parameter Proses untuk Kondisi Awal dan Kondisi Optimum	56
Tabel 4.13 Data yang Diperoleh pada Eksperimen Konfirmasi	56
Tabel 4.14 Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N Eksperimen Konfirmasi	56
Tabel 4.15 Nilai <i>Deviation Sequence</i> , <i>GRC</i> dan <i>GRG</i> Eksperimen Konfirmasi	57
Tabel 4.16 Hasil Respon dengan Menggunakan Kombinasi Awal	59
Tabel 4.17 Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N Kombinasi Awal	59
Tabel 4.18 <i>Deviation Sequence</i> , <i>GRC</i> dan <i>GRG</i> Kombinasi Awal	59
Tabel 4.19 Perbandingan <i>GRG</i> Kombinasi Awal dengan Kombinasi Optimum.....	60
Tabel 4.20 Hasil Uji Kesamaan Rata-rata.....	60

Tabel 4.21 Perbandingan Respon dengan Menggunakan Kombinasi Awal dengan Kombinasi Optimum.....	61
Tabel 4.22 Perhitungan Penurunan Biaya Kerugian	65
Tabel 4.23 Perbandingan Peningkatan dari Deviasi Standar dan Persentase Cacat	65
Tabel 4.24 Perbandingan Kapasitas Produksi Parameter Proses Pengaturan Awal dan Pengaturan Optimal.....	66

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta kendali \bar{X} dan R pengaturan awal.....	71
Lampiran 2. Analisa kemampuan proses pengaturan awal.....	72
Lampiran 3. Peta kendali \bar{X} dan R pengaturan optimal	73
Lampiran 4. Analisis kemampuan proses pengaturan optimal	74

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Agar mampu bersaing di bidang industri manufaktur, maka suatu perusahaan dituntut untuk mampu menjaga kualitas hasil produksinya. Kualitas hasil produksi merupakan hal utama yang harus diperhatikan oleh perusahaan manufaktur karena konsumen menginginkan kualitas produk yang tinggi. Atas dasar hal tersebut, maka perusahaan manufaktur akan berusaha menghasilkan produk yang berkualitas tinggi dengan biaya produksi yang rendah. Akan tetapi untuk membuat produk dengan kualitas tinggi tersebut membutuhkan usaha yang besar karena banyaknya faktor yang mempengaruhi proses produksi.

Industri manufaktur sol karet saat ini merupakan salah satu bidang industri yang sedang berkembang pesat di Indonesia. Hasil produksi industri sol karet ini digunakan sebagai bahan baku alas kaki. Bahan tersebut sering dijumpai di pasaran dan digunakan sebagai bahan baku utama industri alas kaki. Belum banyaknya pengetahuan tentang proses produksi sol karet, membuat perusahaan yang bergerak di bidang industri ini masih sedikit.

CV. XYZ yang berlokasi di Sidoarjo merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang industri alas kaki. Selain memproduksi alas kaki secara utuh, CV. XYZ juga memproduksi sol karet untuk memenuhi permintaan pasar sol karet. Banyaknya sentra industri alas kaki di Jawa Timur yang menggunakan sol karet sebagai komponen utama menjadikan pasar sol karet masih terbuka lebar. Hal utama yang dilakukan CV. XYZ adalah menjaga kualitas produk yang dikirim ke pelanggannya dengan harga yang kompetitif.

Pembuatan sol karet ini memiliki lima tahapan proses produksi, yaitu penentuan komposisi, proses pencampuran, proses pemotongan, proses vulkanisasi dan yang terakhir proses pemotongan akhir (merapikan). CV. XYZ berpendapat bahwa komposisi saat ini merupakan komposisi terbaik bila dilihat dari segi harga sehingga tidak memerlukan perubahan lagi pada proses penentuan komposisi. Pada lima tahapan proses tersebut, cacat produk banyak terjadi pada proses vulkanisasi. Proses

vulkanisasi ini menggunakan mesin *hotpress* yang memiliki tiga parameter proses dalam produksinya, yaitu suhu cetakan, tekanan cetakan, dan lamanya waktu tahan.

Saat ini CV. XYZ menggunakan satu jenis campuran (*compound*) yang digunakan untuk semua jenis sol karet yang mereka produksi. Sol karet memiliki dua karakteristik kualitas kritis atau *critical to quality characteristic (CTQ)*, yaitu kuat tarik dan ketahanan slip. Besarnya *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip sol karet yang diproduksi saat ini masing-masing adalah sebesar 4,863 MPa dan 0,146.

Proses produksi sol karet saat ini masih mengalami banyak kesulitan untuk menghasilkan produk sol karet dengan tingkat keakurasian dan kepresisian yang baik. Hal ini dikarenakan produk ini masih baru diproduksi, sehingga pengaturan mesin yang tepat untuk produksi produk ini masih belum ditemukan. Untuk mengetahui tingkat keakurasian dan kepresisian dari sol karet ini dilakukan analisa kemampuan proses.

Analisis kemampuan proses diawali dengan memeriksa apakah proses vulkanisasi telah terkendali atau belum untuk *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip. Pemeriksaan ini dilakukan dengan membuat peta kendali \bar{X} dan R menggunakan piranti lunak statistik Minitab 17 yang hasilnya ditunjukkan pada Lampiran 1. Peta kendali \bar{X} dan R pengaturan awal untuk kuat tarik dan ketahanan slip menunjukkan bahwa kedua *CTQ* sudah terkendali. Setelah *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip sudah terkendali, maka dilakukan analisis kemampuan proses dengan bantuan piranti lunak statistik Minitab 16. Hasil dari analisis kemampuan dari *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip ditunjukkan pada Lampiran 2.

Analisis kemampuan proses untuk kuat tarik dan ketahanan slip menunjukkan bahwa kedua *CTQ* mempunyai tingkat kualitas yang masih rendah. Persentase cacat kuat tarik dan ketahanan slip masing-masing adalah 47,23% dan 35,73%. Selain itu C_{pk} untuk masing-masing *CTQ* bernilai kurang dari 1,33, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses vulkanisasi masih belum mampu menghasilkan sol karet yang memenuhi spesifikasi dari *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip. Oleh karena itu perlu ditentukan pengaturan dari parameter-parameter proses vulkanisasi yang tepat agar dapat menghasilkan sol karet yang kuat tarik dan ketahanan slipnya memenuhi spesifikasi.

Metode Taguchi sangat populer digunakan untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan optimasi di dalam bidang teknik produksi.

Metode ini menggunakan rancangan eksperimen yang dinamakan desain matriks ortogonal dan *signal-to-noise ratio* (rasio S/N), yang digunakan sebagai fungsi objektif untuk dioptimalkan dalam desain eksperimen (Kazancoglu dkk., 2011). Namun metode Taguchi tidak dapat digunakan untuk optimasi proses pada dua parameter respon atau lebih. Untuk mengatasi masalah ini, digunakan kombinasi antara metode Taguchi dan *grey relational analysis (GRA)*. Dengan menggunakan kombinasi metode Taguchi dan *GRA*, maka optimasi terhadap beberapa parameter respon dapat dilakukan secara serentak. Gallih dkk. (2016) juga menggunakan metode Taguchi dan *GRA* untuk melakukan optimasi parameter *drilling* dan bentuk peralatan pada pelobangan komposit.

Berdasarkan hal-hal yang telah dijelaskan, maka dilakukan penelitian tentang penentuan pengaturan parameter proses vulkanisasi sol karet untuk memaksimalkan semua respon yang diamati secara serentak masih perlu dilakukan. Selain itu juga dihitung penurunan biaya kerugian dengan menggunakan pengaturan yang baru dari level-level parameter-parameter proses vulkanisasi. Parameter-parameter proses yang divariasikan adalah suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan. Rancangan percobaan ditetapkan berdasarkan gabungan antara metode Taguchi dan *Grey Relational Analysis (GRA)*.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan adalah:

1. Apakah parameter proses vulkanisasi seperti tekanan cetakan, suhu cetakan dan waktu tahan mempunyai kontribusi dalam mengurangi variansi total dari *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip sol karet secara serentak.
2. Bagaimana pengaturan yang tepat dari parameter-parameter proses tersebut agar dapat memaksimalkan *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip.
3. Berapa penurunan biaya kerugian yang didapatkan apabila menggunakan pengaturan parameter proses vulkanisasi hasil optimasi.

1.2.1. Batasan Masalah

Agar permasalahan dapat terselesaikan secara terarah, maka diberlakukan batasan-batasan pada penelitian ini. Batasan-batasan yang diberlakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Desain produk dan sifat-sifat material bahan baku tidak dibahas.
2. Pada penelitian ini hanya dibatasi pada sol yang terbuat dari bahan karet, tidak membahas sol dari bahan yang lain.
3. Hasil produksi dari proses penentuan komposisi, pencampuran dan pemotongan yang hasilnya menjadi input bagi proses vulkanisasi tidak dibahas.
4. Komposisi *compound* sol karet yang digunakan tidak dibahas.
5. Operator yang mengoperasikan mesin selama penelitian adalah sama.
6. Pengukuran parameter respon dilakukan pada laboratorium yang sudah terakreditasi dan memiliki sertifikasi ISO 17025.

1.2.2. Asumsi Penelitian

Adapun asumsi-asumsi yang diberlakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin pada proses vulkanisasi yang digunakan dianggap memenuhi persyaratan operasional.
2. Campuran material bahan baku dan bahan tambahan lainnya yang digunakan bersifat homogen dan tetap.
3. Faktor manusia dan lingkungan sekitar tidak berpengaruh.
4. Interaksi antar parameter proses atau faktor diabaikan.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui besarnya kontribusi dari parameter proses vulkanisasi seperti suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan dalam mengurangi variansi dari *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip sol karet secara serentak.
2. Menentukan pengaturan yang tepat dari parameter-parameter proses vulkanisasi agar dapat memaksimalkan *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip.

3. Menentukan penurunan biaya kerugian apabila menggunakan pengaturan parameter proses vulkanisasi hasil optimasi.

1.4. Manfaat Penelitian

Berdasarkan pada tujuan penelitian, maka manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat digunakan untuk menentukan pengaturan parameter mesin vulkanisasi agar dapat memenuhi spesifikasi *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip.
2. Mengurangi jumlah produk cacat sehingga meningkatkan produktivitas dan mengurangi kerugian perusahaan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Latar Belakang Industri Sol Karet

Sol luar (*outsole*) alas kaki adalah salah satu bagian dari alas kaki yang terletak di bagian paling luar dan langsung bersinggungan dengan lantai atau tanah. Beberapa material yang dapat digunakan sebagai bahan baku sol luar alas kaki adalah sebagai berikut (Bingham dkk., 2013).

a. Kulit

Sol luar alas kaki dari bahan kulit biasanya terbuat dari kulit sapi dengan ketebalan 2,5-5 mm. Contoh sol luar dari kulit bisa dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sol luar dari bahan kulit

b. *Poly Vinyl Chloride (PVC)*

c. Sol luar yang terbuat dari bahan *Poly Vinyl Chloride (PVC)* mempunyai sifat ringan, keras dan kurang elastis. Contoh sol luar dari bahan *PVC* bisa dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sol luar dari bahan *PVC*

d. Karet

Sol luar dari bahan karet dibuat dengan sistem vulkanisasi dan disebut sebagai sol karet. Jenis sol ini tidak mempunyai masa kadaluwarsa, kuat, lebih lentur dan masih memungkinkan untuk ditambah jahitan di samping pengeleman. Kekurangan sol dari bahan karet adalah bobot yang berat. Contoh sol luar dari sol karet bisa dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sol karet

e. *Polyurethane (PU)*

Sol luar dari bahan baku *Polyurethane (PU)* mempunyai sifat ringan, lebih tahan terhadap minyak tetapi mempunyai harga lebih mahal dibanding sol jenis lain dan mempunyai masa kadaluwarsa. Jika sudah kadaluwarsa, sol jenis ini akan hancur dengan sendirinya. Contoh sol luar dari bahan *PU* bisa dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sol luar dari bahan *PU*

f. *Thermo Plastic Rubber (TPR)*

Sol luar yang terbuat dari bahan *TPR* mempunyai sifat kurang elastis tetapi ringan. Contoh sol luar dari bahan *TPR* bisa dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sol luar dari bahan *TPR*

g. *Spon (Sponge)*

Sol luar dari bahan spon mempunyai bobot yang ringan dan sering digunakan untuk sandal santai. Contoh sol luar dari bahan spon bisa dilihat pada Gambar 2.6.

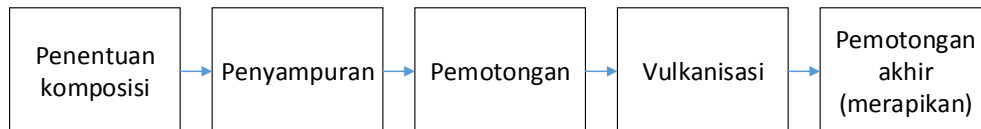


Gambar 2.6 Sol luar dari bahan spon

Pada penelitian ini hanya dibatasi pada sol yang terbuat dari bahan karet, tidak membahas sol dari bahan yang lain.

2.2 Pembuatan Sol Karet

Proses pembuatan sol karet ditunjukkan pada Gambar 2.7 berikut:



Gambar 2.7 Proses pembuatan sol karet

Secara garis besar langkah-langkah proses pembuatan sol karet (Groover, 2010) adalah:

a) Penentuan komposisi

Tahap ini dimulai dengan memilih dan memadukan kombinasi yang tepat dari berbagai bahan baku yang terdiri dari bermacam-macam bentuk (cair, serbuk, *granule*, padatan dan lain-lain). Penentuan komposisi dilakukan dengan menggunakan prosentase berat, sehingga timbangan merupakan peralatan utama pada proses ini.

b) Pencampuran

Proses pencampuran dilakukan dengan 2 tahap dan menggunakan 2 macam mesin, yaitu:

- *Kneader*

Mesin penyampur ini mampu melakukan pencampuran bahan dengan berbagai bentuk bahan (cair, serbuk, *granule*, padatan dan lain-lain). Hasil akhir dari mesin ini adalah lembaran karet dengan ketebalan tertentu.

- *Two Roll Mill*,

Mesin ini mempunyai 2 silinder yang berputar sehingga biasa disebut sebagai *two roll mill*. Kecepatan putaran dan besar celah antar silinder bisa diatur sesuai dengan bahan yang akan dicampur. Hasil dari mesin *kneader*

dimasukkan ke mesin ini dengan beberapa kali pengulangan sampai campuran benar-benar homogen. Mesin ini menghasilkan adonan berbentuk lembaran dengan tebal tertentu.

c) Pemotongan

Pemotongan diperlukan untuk menyesuaikan ukuran adonan dengan ukuran cetakan (*dies*) pada proses vulkanisasi.

d) Vulkanisasi

Vulkanisasi adalah proses pemasakan karet dengan tujuan untuk meningkatkan elastisitas. Setelah melalui proses pemotongan, potongan disusun pada cetakan pada mesin vulkanisasi. Proses ini menggunakan parameter-parameter proses seperti suhu cetakan, waktu tahan, dan tekanan cetakan. Pengaturan parameter-parameter proses tersebut sebelumnya hanya dilihat sebagai parameter yang mempengaruhi bentuk akhir produk jadi, sehingga mempunyai bentuk yang baik, tanpa gelembung dan cukup matang.

e) Pemotongan akhir

Hasil dari proses vulkanisasi sering menyisakan kelebihan karet pada bagian pinggir cetakan. Kelebihan karet ini memerlukan pemotongan, sehingga hasil sol karet bisa rapi. Pada proses ini juga dilakukan proses seleksi pada produk akhir.

2.3 Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metodologi dalam bidang teknik yang digunakan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses, serta menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran tersebut dengan menjadikan produk dan proses tidak sensitif terhadap berbagai faktor gangguan (*noise*), seperti material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia dan kondisi-kondisi operasional (Soejanto, 2009). Metode Taguchi menjadikan produk dan proses memiliki sifat *robust* terhadap faktor-faktor gangguan tersebut. Oleh karena itu, rancangan Taguchi juga disebut *robust design*.

Metode Taguchi memperkenalkan pendekatan desain eksperimen yang dapat merancang suatu proses yang *robust* terhadap kondisi lingkungan, mengembangkan kualitas produk yang *robust* terhadap variasi komponen dan mengurangi variasi di sekitar target. Metode ini memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan metode desain eksperimen lainnya. Kelebihan-kelebihan tersebut antara lain (Soejanto, 2009):

1. Lebih efisien karena dapat melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan level faktor.
2. Dapat memperoleh proses yang menghasilkan produk secara konsisten dan *robust* terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol.
3. Menghasilkan kesimpulan mengenai level dari faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.

Namun demikian, metode Taguchi memiliki struktur rancangan yang sangat kompleks, sehingga pemilihan rancangan percobaan harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian. Desain eksperimen adalah proses mengevaluasi dua faktor atau lebih secara serentak terhadap kemampuannya untuk mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu (Soejanto, 2009). Untuk mencapai hal tersebut secara efektif, faktor dan level faktor dibuat bervariasi kemudian hasil dari kombinasi pengujian tertentu diamati sehingga kumpulan hasil selengkapnya dapat dianalisis. Hasil analisis ini kemudian digunakan untuk menentukan faktor-faktor yang berpengaruh dan tindakan yang dapat membuat perbaikan lebih lanjut.

2.4 Desain Eksperimantal Taguchi

Desain eksperimen adalah proses melakukan evaluasi dua faktor atau lebih secara serentak terhadap kemampuannya untuk mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu. Secara umum, desain eksperimen Taguchi dibagi menjadi tiga tahap utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen (Soejanto, 2009). Ketiga tahap tersebut adalah sebagai berikut:

2.4.1. Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan merupakan tahap paling penting. Pada tahap ini seseorang peneliti dituntut untuk mempelajari eksperimen-eksperimen yang pernah dilakukan sebelumnya. Kecermatan pada tahap ini akan menghasilkan eksperimen yang memberikan informasi positif atau negatif. Informasi positif terjadi apabila hasil eksperimen memberikan indikasi tentang faktor dan level yang mengarah pada peningkatan performansi produk. Informasi negatif terjadi apabila hasil eksperimen gagal memberikan indikasi tentang faktor-faktor yang mempengaruhi respon. Tahap ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut (Soejanto, 2009):

a. Perumusan masalah

Rumusan masalah harus didefinisikan secara spesifik. Perumusan masalah harus jelas secara teknis sehingga dapat dituangkan ke dalam eksperimen yang akan dilakukan.

b. Penentuan tujuan eksperimen

Tujuan yang melandasi eksperimen harus dapat menjawab masalah yang telah dirumuskan.

c. Penentuan respon

Respon memiliki nilai yang tergantung pada faktor-faktor lain yang disebut variabel bebas.

d. Pengidentifikasian faktor

Faktor adalah parameter yang perubahannya tidak tergantung pada parameter lain. Pada langkah ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap respon yang bersangkutan. Dalam suatu eksperimen, tidak semua faktor yang diperkirakan mempengaruhi respon harus diselidiki. Dengan demikian, eksperimen dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.

e. Pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan

Faktor-faktor yang diamati dapat dibagi menjadi faktor kontrol dan faktor gangguan. Dalam desain eksperimen Taguchi, keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat dikendalikan sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak dapat dikendalikan.

f. Penentuan jumlah dan nilai level faktor

Pemilihan jumlah level akan mempengaruhi ketelitian hasil dan biaya pelaksanaan eksperimen. Semakin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen yang diperoleh akan semakin akurat, tetapi biaya yang harus dikeluarkan akan semakin banyak.

g. Perhitungan derajat kebebasan

Derajat kebebasan adalah sebuah konsep untuk mendeskripsikan seberapa besar eksperimen harus dilakukan dan seberapa banyak informasi yang dapat diberikan oleh eksperimen tersebut. Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menentukan jumlah eksperimen yang akan dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Derajat kebebasan dari matriks ortogonal (v_{mo}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.1).

$$v_{mo} = \text{jumlah eksperimen} - 1 \quad (2.1)$$

Derajat kebebasan dari faktor dan level (v_{fl}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.2).

$$v_{fl} = \text{jumlah level faktor} - 1 \quad (2.2)$$

h. Pemilihan matriks orthogonal

Pemilihan matriks ortogonal yang sesuai ditentukan oleh jumlah derajat kebebasan dari jumlah faktor dan jumlah level faktor. Matriks ortogonal memiliki kemampuan untuk mengevaluasi sejumlah faktor dengan jumlah eksperimen yang minimum. Suatu matriks ortogonal dilambangkan dalam bentuk:

$$L_a (b^c) \quad (2.3)$$

Dengan:

L = rancangan bujursangkar latin.

a = banyaknya eksperimen.

b = banyaknya level faktor.

c = banyaknya faktor.

Jenis matriks ortogonal yang tersedia secara standar dapat dilihat pada Tabel 2.1. Matriks ortogonal $L_4 (2^3)$ berarti jumlah eksperimen yang akan dilakukan adalah empat, jumlah derajat kebebasan dari matriks ortogonal (v_{mo}) maksimal adalah

tiga, serta matriks tersebut dapat digunakan untuk jumlah faktor maksimal 3 dengan masing-masing memiliki 2 level.

Tabel 2.1 Jenis-Jenis Matriks Ortogonal

2 level	3 level	4 level	5 level	Level Gabungan
L ₄ (2 ³)	L ₉ (3 ⁴)	L ₁₆ (4 ³)	L ₂₅ (5 ⁶)	L ₁₈ (2 ¹ × 3 ⁷)
L ₈ (2 ⁷)	L ₂₇ (3 ¹³)	L ₆₄ (4 ²¹)		L ₃₂ (2 ¹ × 4 ⁹)
L ₁₂ (2 ¹¹)	L ₈₁ (3 ⁴⁰)			L ₃₆ (2 ¹¹ × 3 ¹²)
L ₁₆ (2 ¹³)				L ₃₆ (2 ³ × 3 ¹³)
L ₃₂ (2 ³¹)				L ₅₄ (2 ¹ × 3 ²⁵)
L ₅₄ (2 ⁶³)				L ₅₀ (2 ¹ × 5 ¹¹)

2.4.2. Tahap Pelaksanaan

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

a. Jumlah replikasi

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama pada kondisi yang sama dalam sebuah percobaan untuk mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi, mengurangi tingkat kesalahan serta memperoleh harga taksiran dari kesalahan.

b. Randomisasi

Pengaruh faktor-faktor lain yang tidak diinginkan atau tidak dapat dikendalikan selalu ada dalam sebuah eksperimen. Pengaruh itu dapat diperkecil dengan menyebarkan faktor-faktor tersebut melalui randomisasi (pengacakan) urutan percobaan. Randomisasi dilakukan bertujuan untuk menyebarkan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit eksperimen serta memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk menerima suatu perlakuan sehingga ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama. Selain itu, randomisasi juga

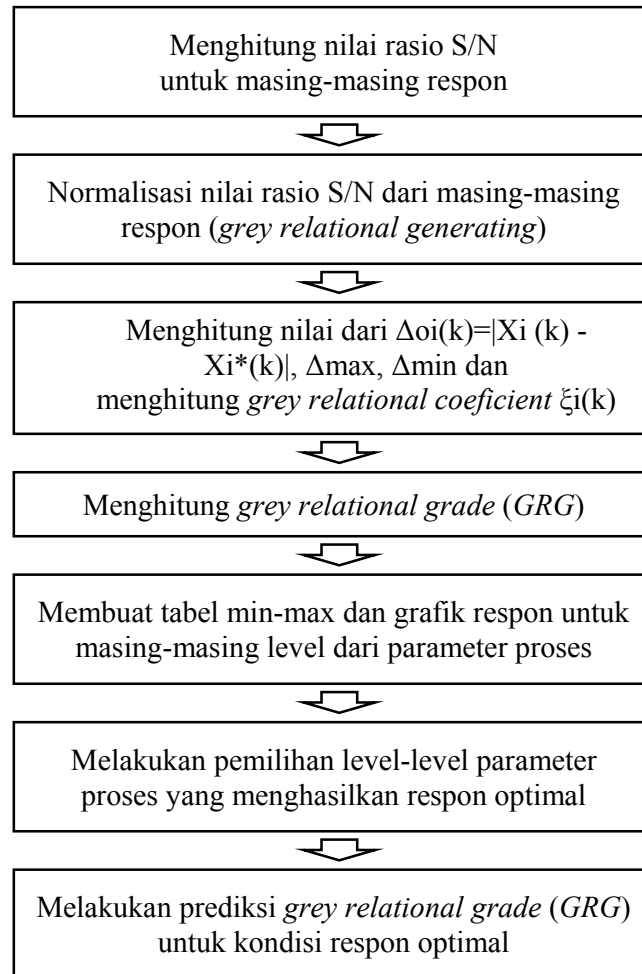
bertujuan mendapatkan hasil eksperimen yang bebas satu sama lain. Apabila replikasi bertujuan untuk memungkinkan dilakukannya uji signifikansi, maka randomisasi bertujuan untuk memberikan validasi terhadap uji signifikansi tersebut dengan menghilangkan sifat bias.

2.4.3. Tahap Analisis

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan dan pengolahan data. Tahap ini meliputi proses pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu tampilan tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih (Soejanto, 2009). Tahap ini juga dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik pada data hasil eksperimen.

2.5 Metode Taguchi-Grey Relational Analysis (GRA)

Metode Taguchi biasanya hanya dapat melakukan optimasi untuk satu respon saja. Pada penelitian ini dilakukan optimasi beberapa respon secara serentak. Untuk melakukan optimasi beberapa respon secara serentak dapat digunakan gabungan dari metode Taguchi dan *grey relational analysis (GRA)*. Optimasi dengan *GRA* diawali dengan teori *grey system* yang dikembangkan oleh Dr. Julong Deng pada tahun 1982, yang merupakan dasar dari suatu metode baru yang difokuskan pada studi tentang permasalahan yang memiliki data dan informasi yang minimum. Metode ini digunakan untuk membangun model hubungan dan melakukan analisis hubungan antar respon dan parameter, serta sebagai dasar dalam melakukan prediksi maupun pengambilan keputusan. *GRA* merupakan salah satu metode yang dibangun berdasarkan teori *grey*. Pada dasarnya *GRA* digunakan dalam optimasi untuk mengubah beberapa respon menjadi satu respon. Langkah-langkah untuk proses optimasi dengan *GRA* dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.8 Langkah-langkah optimasi metode Taguchi-GRA

Rincian dari langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menghitung nilai rasio S/N untuk masing-masing respon

Rasio S/N (*Signal to Noise*) digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu respon. Rasio S/N merupakan rancangan untuk transformasi pengulangan data ke dalam suatu nilai yang merupakan ukuran variasi yang timbul. Rasio S/N tergantung dari jenis karakteristik kualitas (Lin dan Lin, 2002), yaitu:

a) Semakin kecil semakin baik

Adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 dan non-negatif sehingga nilai yang semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \quad (2.4)$$

b) Tertuju pada nilai tertentu

Adalah karakteristik kualitas dengan nilai target tidak nol dan terbatas sehingga nilai yang semakin mendekati target tersebut adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right] \quad (2.5)$$

c) Semakin besar semakin baik

Adalah karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non-negatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{1/y_i^2}{n} \right] \quad (2.6)$$

2. Normalisasi data untuk masing-masing respon

Perhitungan yang digunakan untuk normalisasi tergantung dari karakteristik respon yang akan dipilih. Karakteristik-karakteristik tersebut adalah lebih besar lebih baik (*larger is better*), lebih kecil lebih baik (*smaller is better*) dan tertuju pada nilai tertentu (*nominal is bes*). Normalisasi untuk karakteristik “lebih besar lebih baik” dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.4) (Datta dan Mahapatra, 2010).

$$X_i^*(k) = \frac{X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)}{\max_{\forall k} X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)} \quad (2.7)$$

Normalisasi untuk karakteristik “lebih kecil lebih baik” dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.5) (Datta dan Mahapatra, 2010).

$$X_i^*(k) = \frac{\max_{\forall k} X_i(k) - X_i(k)}{\max_{\forall k} X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)} \quad (2.8)$$

Normalisasi untuk karakteristik “tertuju pada nilai tertentu” dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.6) (Huang dan Liao, 2003).

$$X_i^*(k) = 1 - \frac{|X_i(k) - X_{ob}(k)|}{\max_{\forall k} X_i(k) - X_{ob}(k)} \quad (2.9)$$

Dengan:

$$\max_{\forall k} X_i(k) = \text{nilai terbesar dari } X_i(k)$$

$$\min_{\forall k} X_i(k) = \text{nilai terkecil dari } X_i(k)$$

$$X_{ob}(k) = \text{nilai target dari } X_i(k)$$

Pada penelitian ini, normalisasi dilakukan pada data hasil eksperimen yang memiliki karakteristik kualitas lebih besar lebih baik (*larger is better*).

3. Menentukan *deviation sequence* ($\Delta_{0,i}(k)$)

Deviation sequence ($\Delta_{0,i}(k)$) adalah selisih nilai secara absolut antara nilai 1 dengan data yang telah dinormalisasi. Nilai $\Delta_{0,i}(k)$ dihitung dengan menggunakan persamaan (2.7) (Datta dan Mahapatra, 2010).

$$\Delta_{0,i}(k) = |X_0(k) - X_i^*(k)| \quad (2.10)$$

4. Menentukan *Grey Relational Coefficient* atau $GRC(\xi_i(k))$

Grey relational coefficient (GRC) menunjukkan hubungan antara kondisi yang ideal (terbaik) dengan kondisi aktual dari respon yang telah dinormalisasi. GRC akan bernilai 1 (satu) apabila respon yang dinormalisasikan tersebut sama dengan kondisi yang terbaik. Nilai GRC dihitung dengan menggunakan persamaan (2.11) (Datta dan Mahapatra, 2010).

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{0,i}(k) + \zeta \Delta_{max}} \quad (2.11)$$

Dengan:

$$\Delta_{min} = \min_i \min_k \Delta_{0,i}(k)$$

$$\Delta_{max} = \max_i \max_k \Delta_{0,i}(k)$$

$$\zeta = \text{distinguished coefficient} \quad .$$

Nilai *distinguished coefficient* yang digunakan pada umumnya adalah 0,5 (Tosun, 2003). Nilai *GRC* ($\xi_i(k)$) yang tinggi menunjukkan bahwa hasil eksperimen memiliki hubungan yang dekat dengan nilai normalisasi yang terbaik pada respon tersebut.

5. Menghitung nilai *Grey Relational Grade (GRG)* untuk respon optimal

Nilai *GRG* yang dapat menghasilkan respon yang optimal dihitung dengan menggunakan persamaan (2.9) (Datta dan Mahapatra, 2010).

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \tag{2.12}$$

Dengan:

n = nilai rata-rata dari keseluruhan *GRG*

γ_i = rata-rata *GRG* pada level optimal

6. Menentukan kombinasi parameter proses untuk respon optimal

Semakin besar nilai *GRG*, semakin baik pula respon dari proses pada kombinasi parameter proses tersebut. Penentuan kombinasi parameter proses untuk respon optimal diawali dengan membuat tabel respon dari *GRG* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Respon *GRG*

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
Faktor 1	Y ₁₁	Y ₁₃
Faktor 2	Y ₂₁	Y ₂₃
....
Faktor i	Y _{i1}	Y _{i3}
Max-Min	Q ₁	Q ₃

Y_{ij} adalah rata-rata nilai *GRG* yang dikelompokkan berdasarkan faktor i dan level j. Grafik respon dibuat berdasarkan tabel respon untuk memudahkan pemilihan level dari parameter proses yang menghasilkan respon yang optimal.

7. Analisis hasil optimasi

a. Analisis variansi (ANAVA)

Analisis variansi (ANAVA) adalah sebuah teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam desain secara statistic (Soejanto, 2009). Pada tahap ini akan dilakukan pengklasifikasian hasil eksperimen secara statistik sesuai dengan sumber variansi sehingga dapat mengidentifikasi kontribusi faktor. Dengan demikian akurasi perkiraan model dapat ditentukan. ANAVA pada matriks ortogonal dilakukan berdasarkan perhitungan jumlah kuadrat untuk masing-masing kolom. ANAVA dua arah digunakan untuk melakukan analisis data percobaan yang terdiri dari dua faktor atau lebih dengan dua level atau lebih. Tabel ANAVA dua arah terdiri dari perhitungan derajat kebebasan (db), jumlah kuadrat (*sum of square*, SS), kuadrat tengah (*mean of square*, MS) dan F_{hitung} seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Analisis Variansi Dua Arah

Sumber Variasi	db	SS	MS	F_{hitung}
Faktor A	v_A	SS_A	MS_A	F_A
Faktor B	v_B	SS_B	MS_B	F_B
Error	v_E	SS_E	MS_E	
Total	v_T	SS_T		

Dengan:

$$\begin{aligned} v_T &= \text{derajat bebas total} \\ &= N-1 \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} N &= \text{banyaknya total percobaan} \\ v_A &= \text{derajat bebas faktor A} \\ &= k_A - 1 \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} k_A &= \text{banyaknya level faktor A} \\ v_B &= \text{derajat bebas faktor B} \\ &= k_B - 1 \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} k_B &= \text{banyaknya level faktor B} \\ &= (k_A-1) \times (k_B-1) \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$v_E = \text{derajat bebas error}$$

$$= \nu_T - \nu_A - \nu_B - \nu_{AB} \quad (2.14)$$

T = jumlah keseluruhan

$$= \sum_{i=1}^N y_i \quad (2.15)$$

CF = faktor koreksi

$$= \frac{T^2}{N} \quad (2.16)$$

SS_T = jumlah kuadrat total

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^N Y_i - CF \\ &= \sum_{i=y}^N (Y_i - T)^2 \end{aligned} \quad (2.17)$$

SS_A = jumlah kuadrat faktor A

$$= \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - CF \quad (2.18)$$

n_{Ai} = banyaknya pengamatan faktor A

SS_B = jumlah kuadrat faktor B

$$= \left[\sum_{i=1}^{k_B} \left(\frac{B_i^2}{n_{B_i}} \right) \right] - CF \quad (2.19)$$

n_{Bi} = banyaknya pengamatan faktor B

SS_E = jumlah kuadrat *error*

$$= SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \quad (2.20)$$

MS_A = kuadrat tengah faktor A

$$= SS_A / \nu_A \quad (2.21)$$

ν_{AB} = derajat bebas interaksi

MS_B = kuadrat tengah faktor B

$$= SS_B / \nu_B \quad (2.22)$$

ν_B = derajat bebas faktor B

MS_E = kuadrat tengah *error*

$$= SS_E / \nu_E \quad (2.23)$$

b. Uji distribusi F

Uji distribusi F digunakan dengan tujuan untuk menunjukkan bukti adanya perbedaan pengaruh masing-masing faktor dalam eksperimen (Soejanto, 2009). Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan oleh masing-masing faktor dan variansi *error*. Variansi *error* adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini untuk faktor yang tidak diambil secara random adalah:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$$

H_1 : sedikitnya ada satu pasangan μ yang tidak sama

Penolakan H_0 mengindikasikan adanya perbedaan rata-rata dari nilai respon tersebut. Bila H_0 gagal ditolak, maka hal ini mengindikasikan tidak adanya perbedaan rata-rata dari nilai respon yang dihasilkan pada perlakuan yang berbeda. Bila faktor A dinotasikan dengan τ , dan faktor B dinotasikan dengan β , maka respon pada setiap eksperimen dapat dimodelkan dengan menggunakan persamaan (2.24) (Montgomery, 2009).

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (2.24)$$

maka hipotesis yang juga dapat digunakan dalam pengujian ini adalah:

Untuk taraf faktor A $\rightarrow H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \dots = \tau_k = 0$

H_1 : salah satu τ tidak sama dengan 0

Untuk taraf faktor B $\rightarrow H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_k = 0$

H_1 : salah satu β tidak sama dengan 0

Penolakan H_0 mengindikasikan adanya pengaruh faktor A dan faktor B terhadap respon serta adanya interaksi antara faktor A dengan faktor B. Bila H_0 gagal ditolak, maka hal ini mengindikasikan tidak adanya pengaruh faktor A dan faktor B terhadap respon serta tidak ada interaksi antara faktor A dengan faktor B. Penolakan H_0 didasarkan pada nilai F_{hitung} yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2.25) dan persamaan (2.26) (Soejanto, 2009).

Untuk taraf faktor A $\rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_A}{MS_E} \quad (2.25)$

$$\text{Untuk taraf faktor B} \quad \rightarrow F_{\text{hitung}} = \frac{MS_B}{MS_E} \quad (2.26)$$

Penolakan H_0 pada masing-masing kasus dilakukan jika mengalami kondisi berikut:

$$\text{Untuk taraf faktor A} \quad \rightarrow F_{\text{hitung}} > F_{\alpha, v_A, v_E} \quad (2.27)$$

$$\text{Untuk taraf faktor B} \quad \rightarrow F_{\text{hitung}} > F_{\alpha, v_B, v_E} \quad (2.28)$$

Bila menggunakan piranti lunak statistic Minitab 17, penolakan H_0 dilakukan jika p -value lebih kecil daripada α (taraf signifikansi). Penolakan H_0 juga dilakukan apabila nilai F_{hitung} lebih besar dari dua (Park, 1996).

c. Analisis pemeriksaan asumsi residual

Residual didefinisikan sebagai selisih antara nilai pengamatan dan nilai dugaannya $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$. Dalam analisis variansi terdapat asumsi bahwa residual bersifat bebas satu sama lain (independen), mempunyai mean nol dan varians yang konstan σ^2 (identik), serta berdistribusi normal atau $\varepsilon_i \sim IIDN(0, \sigma^2)$. Oleh karena itu, dalam setiap pendugaan model harus dilakukan pemeriksaan asumsi tersebut apakah terpenuhi atau tidak (Montgomery, 2009).

a. Pengujian independen

Uji independen digunakan untuk menjamin bahwa pengamatan telah dilakukan secara acak, yang berarti antar pengamatan tidak ada korelasi (independen). Pemeriksaan asumsi ini dilakukan dengan menggunakan plot *ACF* (*Auto Correlation Function*). Residual bersifat independen jika nilai korelasi berada dalam interval $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$.

b. Pengujian identik

Pengujian varian identik bertujuan untuk memenuhi apakah residual mempunyai penyebaran yang sama. Hal ini dilakukan dengan memeriksa plot e_i terhadap \hat{Y}_i (secara visual). Jika penyebaran datanya acak (menyebar disekitar garis nol) dan tidak menunjukkan pola-pola tertentu, maka asumsi identik terpenuhi.

c. Pengujian distribusi normal

Normal probability plot pada perangkat lunak komputasi statistik dapat digunakan untuk menyatakan residual suatu respon berdistribusi normal atau tidak. *Kolmogorov-Smirnov normality test* digunakan dalam pengujian kenormalan residual. Hipotesa yang digunakan adalah:

H_0 :residual berdistribusi normal.

H_1 :residual tidak berdistribusi normal.

Gagal tolak H_0 apabila $p_{value} > \alpha$.

8. Memprediksi nilai *GRG* hasil optimasi

Nilai prediksi *GRG* berdasarkan kombinasi level parameter proses untuk menghasilkan respon yang optimal dapat dihitung menggunakan persamaan (2.29) (Lin dan Lin, 2002).

$$\hat{y} = \gamma_m + \sum_{i=1}^q (\bar{y}_i - \gamma_m) \quad (2.29)$$

Dengan:

γ_m = nilai rata-rata dari keseluruhan *GRG*

\bar{y}_i = *GRG* pada level optimal

q = jumlah parameter yang mempengaruhi respon secara serentak

2.6 Interpretasi Hasil Eksperimen

Interpretasi yang dilakukan pada hasil eksperimen dengan menggunakan desain eksperimen Taguchi adalah sebagai berikut:

1. Persen kontribusi

Persen kontribusi digunakan untuk mengindikasikan kekuatan relatif sebuah faktor dan/atau interaksi untuk mengurangi variansi yang terjadi. Perhitungan persen kontribusi pada dasarnya adalah fungsi dari jumlah kuadrat dari masing-masing parameter proses yang signifikan. Komponen-komponen yang dihitung dalam persen kontribusi adalah parameter proses dan *error*. Jika persen kontribusi *error* kurang dari lima belas persen, maka berarti tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Tetapi jika persen kontribusi *error* lebih dari lima belas persen, maka

ada faktor yang berpengaruh terabaikan, sehingga *error* yang terjadi terlalu besar. Persen kontribusi suatu faktor dihitung dengan menggunakan persamaan (2.30) dan persamaan (2.31) (Ross, 1989).

$$\text{Persen kontribusi} = \frac{SS'_{PARAMETER}}{SS_{TOTAL}} \times 100\% \quad (2.30)$$

Dengan:

$$SS'_{PARAMETER} = SS_{PARAMETER} - (dof \times MSE) \quad (2.31)$$

$SS_{PARAMETER}$ = jumlah kuadrat dari faktor yang dihitung persen kontribusinya

SS_{TOTAL} = jumlah kuadrat total

dof = derajat kebebasan faktor yang dihitung persen kontribusinya

MSE = rata-rata kuadrat dari faktor *error*

2. Interval keyakinan

Interval keyakinan $(1-\alpha)$ 100% untuk kondisi optimal pada analisis hasil eksperimen dengan menggunakan metode Taguchi dihitung dengan menggunakan persamaan (2.32) dan persamaan (2.33) (Ross, 1989).

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;\nu_E} \cdot MS_E}{n_{eff}}} \quad (2.32)$$

$$\hat{\mu}_{prediksi} - CI_1 \leq \mu_{prediksi} \leq \hat{\mu}_{prediksi} + CI_1 \quad (2.33)$$

Dengan:

$\hat{\mu}_{prediksi}$ = dugaan *GRG* pada kombinasi optimal

n_{eff} = banyaknya pengamatan efektif (2.34)

$$= \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan faktor-faktor untuk menduga rata-rata}}$$

2.7 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan langkah terakhir yang harus dilakukan pada penelitian tentang optimasi proses. Eksperimen ini dilaksanakan dengan melakukan percobaan yang menggunakan kombinasi level parameter proses hasil optimasi. Jumlah sampel untuk eksperimen konfirmasi harus lebih besar dari jumlah sampel

pada saat eksperimen. Tujuan eksperimen konfirmasi adalah untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diambil pada tahap analisis, serta untuk mencocokkan hasil prediksi dengan hasil secara aktual (Ross, 1989).

Langkah-langkah dalam eksperimen konfirmasi dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Melakukan percobaan berdasarkan kombinasi level-level dari parameter proses untuk respon optimum.
- b. Membandingkan rata-rata hasil percobaan konfirmasi dengan rata-rata hasil prediksi.

Eksperimen konfirmasi dinyatakan berhasil apabila:

- a. Rata-rata hasil eksperimen konfirmasi mendekati rata-rata hasil prediksi.
- b. Interval keyakinan dari rata-rata respon eksperimen konfirmasi berhimpit atau beririsan dengan interval keyakinan dari rata-rata respon. Interval keyakinan eksperimen konfirmasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.35) dan (2.36) (Ross, 1989).

$$CI_2 = \sqrt{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \quad (2.35)$$

$$\hat{\mu}_{konfirmasi} - CI_2 \leq \hat{\mu}_{konfirmasi} \leq \hat{\mu}_{konfirmasi} + CI_2 \quad (2.36)$$

Dengan:

r = jumlah pengulangan dalam eksperimen konfirmasi

2.8 Penurunan Biaya Kerugian

Suatu komponen penting dari filosofi Taguchi adalah pengurangan variabilitas. Taguchi memodelkan penyimpangan yang mungkin terjadi dari nilai target ini dengan suatu fungsi kerugian. Perhitungan nilai penurunan biaya kerugian didasarkan pada selisih nilai kerugian antara produksi sol karet yang menggunakan pengaturan lama dengan yang menggunakan pengaturan yang optimal. Perhitungan penurunan biaya kerugian ini menggunakan persamaan pada Tabel 2.4 .

Tabel 2.4 Rumus *Taguchi Loss Function*

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

Dengan:

L = biaya kerugian yang harus dibayar oleh CV. XYZ untuk penyimpangan *CTQ* produk

m = nilai nominal (target)

k = koefisien fungsi kerugian

y = pengukuran karakter kualitas aktual

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

s^2 = variasi

Untuk menghitung nilai koefisien fungsi kerugian (k) digunakan persamaan (2.38) (Yang dan El-Halik, 2003),.

$$k = A_0 \cdot \Delta_0^2 \quad (2.38)$$

Dengan:

A_0 = biaya pengganti

Δ_0 = rentang spesifikasi

Penurunan Biaya Kerugian (PBK) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$PBK = L_0 - L_1 \quad (2.39)$$

Dengan:

L_0 = Biaya kerugian pengaturan parameter awal

L_1 = Biaya kerugian pengaturan parameter optimal

2.9 Posisi Penelitian

Beberapa penelitian yang menggunakan metode Taguchi dan *grey relational analysis (GRA)* sudah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Penelitian-penelitian yang menggunakan desain eksperimen dengan metode Taguchi dan *GRA* dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Penelitian Yang Menggunakan Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi dan GRA

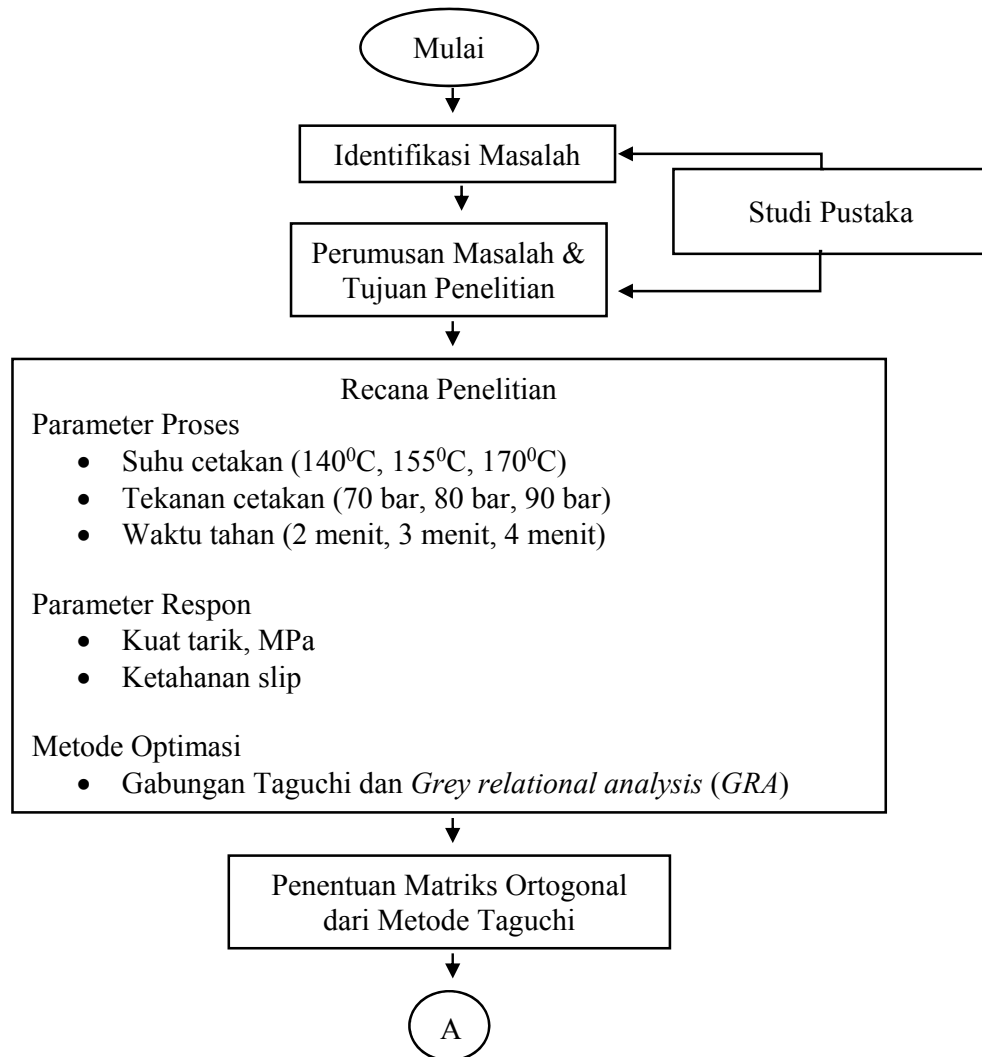
No.	Nama Peneliti	Metode Penelitian	Proses	Parameter Proses	Parameter Respon	Tahun
1	Rachmadi Norcahyo Bobby O. P. Soepangkat Bobby O. P. Soepangkat	Metode Taguchi & Grey <i>Relational Analysis</i>	<i>End Milling</i>	4	3	2017
2	Suhardjono Bambang Pramujati	Metode Taguchi & Grey	<i>Drilling</i>	4	4	2017
3	Datta, S. Mahapatra, S.	Metode Taguchi dengan <i>Logic & Grey Relational Analysis</i>	<i>Wire -EDM (Electrical Discharge Machine)</i>	6	3	2010
4	Hsiang, S. H. Lin, Y. W.	Metode Taguchi dengan <i>Logic & Grey Relational Analysis</i>	<i>Wire -EDM (Electrical Discharge Machine)</i>	4	4	2009

BAB 3

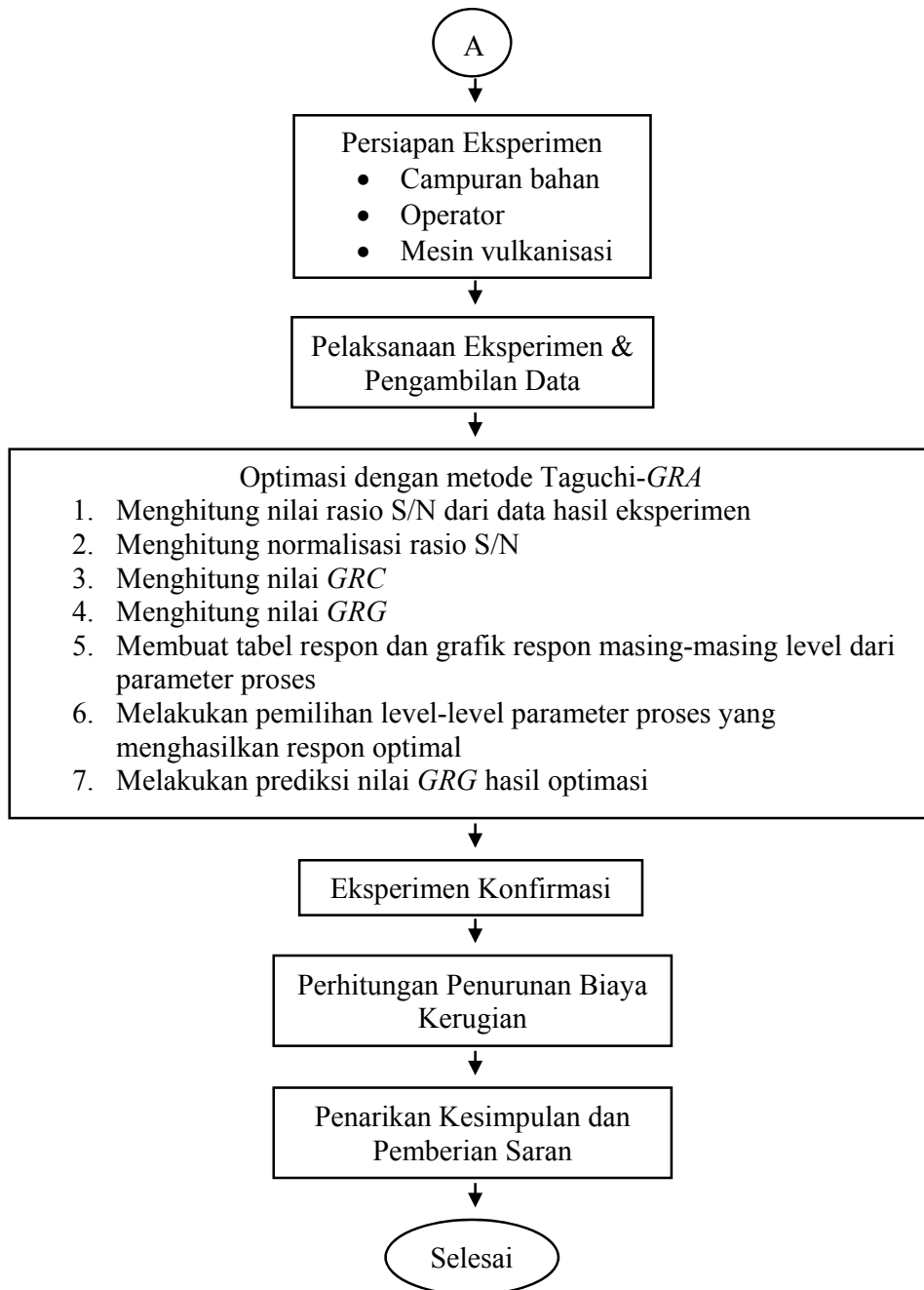
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan pada pelaksanaan tesis ini mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian (lanjutan)

3.2 Parameter-parameter dalam penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh dari hasil eksperimen. Banyak parameter yang mempengaruhi variansi kuat

tarik dan ketahanan slip pada sol karet cetak, yaitu parameter konstan, parameter proses dan parameter *noise*.

3.2.1 Parameter konstan

Parameter konstan merupakan parameter yang tidak diteliti dalam penelitian yang dijaga selalu konstan agar tidak berubah selama eksperimen. Penentuan parameter konstan didasarkan pada kondisi yang ada pada lokasi eksperimen. Parameter konstan pada penelitian ini adalah:

- a. Dimensi cetakan.
- b. Jenis campuran yang digunakan.
- c. Mesin yang digunakan.

3.2.2 Parameter proses

Parameter proses merupakan parameter yang dapat dikendalikan dan nilainya dapat ditentukan berdasarkan tujuan dari penelitian yang dilakukan dan pertimbangan yang lain. Penentuan parameter proses ini didasarkan pada parameter-parameter mana saja yang masih belum ditemukannya pengaturan yang tepat untuk menghasilkan tegangan putus dan ketahanan slip terbaik. Parameter proses yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- a. Suhu cetakan
- b. Tekanan cetakan
- c. Waktu tahan

3.2.3 Parameter *noise*

Parameter *noise* adalah parameter gangguan yang memiliki pengaruh terhadap respon, tetapi sangat sulit untuk dikendalikan. Parameter-parameter yang menjadi *noise* dalam penelitian ini adalah tingkat kematangan sampel antara bagian luar dalam yang bisa saja ada sedikit perbedaan, sehingga karena hal ini diperlukan replikasi 3 kali untuk mengatasi parameter *noise* hasil penelitian.

3.3 Bahan dan Peralatan

Bahan dan peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

3.3.1. Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran sol karet.

3.3.2. Peralatan penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin vulkanisasi (*hotpress*) nomor 1 stasiun 1 bagian atas. Mesin vulkanisasi yang digunakan di CV. XYZ ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Mesin vulkanisasi

Selain peralatan mesin vulkanisasi, juga digunakan peralatan pengujian kualitas sol karet seperti:

a. Mesin pemotong (*Splitting machine*)

Mesin ini digunakan untuk penipiskan/memotong sol karet, sehingga sesuai dengan tebal yang diinginkan tanpa menimbulkan panas yang berlebihan. Gambar 3.3 menunjukkan mesin pemotong yang digunakan di laboratorium.



Gambar 3.3 Mesin pemotong

b. Mesin potong tekan (*swing arm cutting machine*)

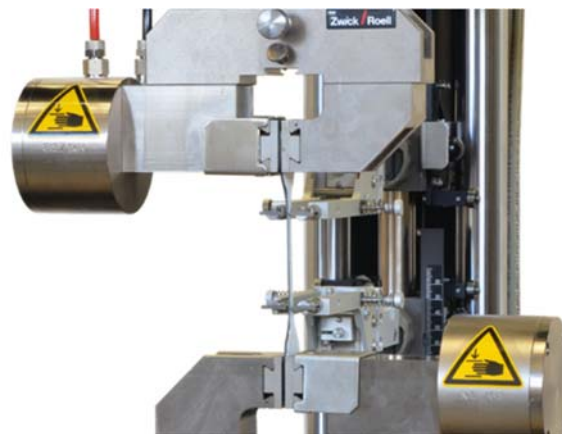
Peralatan potong ini digunakan untuk memotong sesuai dengan bentuk yang diinginkan dengan bantuan pisau pons (*cutting dies*) dengan tenaga hidrolis. Mesin potong tekan yang digunakan di laboratorium ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Mesin potong tekan

c. Mesin uji tarik (*universal testing machine*)

Peralatan pengujian uji tarik yang digunakan adalah Zwick/roel Z005 dengan *load cell* berkapasitas 5kN yang dilengkapi dengan *extensometer* dengan sistem komputerisasi, sehingga meminimalkan kesalahan saat pengujian. Gambar 3.5, menunjukkan contoh mesin uji tarik.



Gambar 3.5 Mesin uji tarik

d. Mesin uji ketahanan slip

Peralatan yang digunakan adalah SATRA STM 603 *Slip Resistance Tester* yang sudah termasuk dengan *EN ceramic* yang menjadi kelengkapan sesuai metode pengujian yang digunakan. Mesin uji ketahanan slip yang digunakan di laboratorium ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Mesin uji ketahanan slip

e. Pengukur tebal (*thickness gauge*)

Peralatan pengukur tebal menggunakan SATRA *Thickness Gauge* dengan ketelitian 0.01 mm. Gambar 3.7 menunjukkan peralatan pengukur tebal.



Gambar 3.7 Pengukur tebal

3.4 Rancangan Percobaan

Sebelum melakukan percobaan pada penelitian ini, terlebih dahulu ditetapkan rancangan penelitian terhadap pengaturan dari parameter-parameter yang terdapat di proses vulkanisasi.

3.4.1 Pengaturan parameter konstan dan parameter proses

Penentuan pengaturan parameter konstan pada mesin vulkanisasi dilakukan dengan merujuk rekomendasi pengaturan faktor konstan yang digunakan sehari-hari dalam proses produksi sol karet cetak. Selama ini belum pernah ditetapkan pengaturan parameter proses dengan metode yang tepat, karena lebih sering digunakan cara coba-coba (*trial and error*). Hal ini mengakibatkan banyaknya waktu dan material yang dikorbankan pada penentuan interval level dari parameter proses berdasarkan pada pengaturan yang digunakan sehari-hari.

Pada penelitian ini penentuan level-level parameter proses dilakukan dengan melakukan percobaan pendahuluan. Pada percobaan pendahuluan telah dicoba beberapa level dari yang terendah sampai yang tertinggi dengan batasan bentuk visual sol karet. Kemampuan pengaturan mesin juga diperhatikan dalam menentukan perubahan pengaturan tersebut. Selain itu juga dilakukan penghitungan awal sampai didapatkan respon maksimal pada parameter respon.

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal maka setiap parameter proses diberikan batas atas dan bawah. Untuk mensesederhanakan maka dibuat 3 level parameter proses seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Pengaturan Mesin Untuk Parameter Proses

No	Parameter Proses	Level 1	Level 2	Level 3
1	Suhu cetakan (°C)	140	155	170
2	Tekanan cetakan (bar)	70	80	90
3	Waktu tahan (menit)	2	3	4

3.4.2 Pemilihan matriks ortogonal

Matriks ortogonal yang digunakan memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih besar dari pada total derajat kebebasan faktor dan level yang telah

ditetapkan. Derajat kebebasan faktor dan level tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan (2.2) dan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Total Derajat Kebebasan Faktor dan Level

No	Faktor	Jml Level	$v_{ff} = (k-1)$
1	Suhu cetakan	3	2
2	Tekanan cetakan	3	2
3	Waktu tahan	3	2
Total derajat kebebasan			6

Tabel 3.2 menunjukkan bahwa total derajat kebebasan faktor dan level yang digunakan adalah enam. Hal ini mengakibatkan derajat kebebasan minimum yang harus dimiliki oleh matriks ortogonal yang akan digunakan adalah enam. Sesuai dengan pilihan yang tersedia maka digunakan matriks ortogonal L_9 (3^3) untuk dijadikan sebagai rancangan percobaan. Rancangan percobaan matriks ortogonal L_9 ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Rancangan Percobaan Taguchi

No	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Dengan:

A = suhu cetakan

B = tekanan cetakan

C = waktu tahan

3.5 Rancangan Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan secara acak dengan mengacu pada rancangan percobaan pada Tabel 3.3. Pengacakan ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak

komputasi statistik. Masing-masing percobaan akan dilakukan dengan replikasi sebanyak tiga kali untuk mengatasi faktor gangguan (*noise*) yang terjadi selama proses vulkanisasi berlangsung. Bila data hasil percobaan dikumpulkan sesuai dengan kombinasi pengaturan parameter yang sejenis, maka tampilan data yang akan diperoleh ditunjukkan pada Tabel 3.4 sebagai berikut:

Tabel 3.4 Tampilan Data Hasil Eksperimen

Pengaturan parameter kombinasi ke	Level			Kuat tarik (Mpa)			Ketahanan slip		
	Suhu Cetakan (°C)	Tekanan Cetakan (bar)	Waktu Tahan (menit)	1	2	3	1	2	3
1	140	70	2	T_{11}	T_{12}	T_{13}	S_{11}	S_{12}	S_{13}
2	140	80	3	T_{21}	T_{22}	T_{23}	S_{21}	S_{22}	S_{23}
3	140	90	4	-	-	-	-	-	-
4	155	70	3	-	-	-	-	-	-
5	155	80	4	-	-	-	-	-	-
6	155	90	2	-	-	-	-	-	-
7	170	70	4	-	-	-	-	-	-
8	170	80	2	-	-	-	-	-	-
9	170	90	3	T_{91}	T_{92}	T_{93}	S_{91}	S_{92}	S_{93}

Dengan:

T_{ij} adalah data kuat tarik untuk pengaturan parameter kombinasi ke- i dan replikasi ke- j , demikian juga dengan S_{ij} adalah data ketahanan slip untuk pengaturan parameter kombinasi ke- i dan replikasi ke- j .

3.6 Prosedur Percobaan

Percobaan yang dilakukan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut ini:

1. Menyiapkan campuran sol karet cetak.
2. Melakukan *set-up* mesin vulkanisasi yaitu mengatur level masing-masing parameter proses sesuai dengan level yang ditentukan kemudian proses dimulai.
3. Menunggu proses setiap pergantian level sampai kondisi stabil sesuai parameter yang ditentukan setiap pada levelnya kira-kira kurang lebih 10 menit.
4. Setelah proses stabil, dilakukan proses vulkanisasi dengan bahan *compound* yang sama.

5. Ulangi langkah 1 sampai 4 untuk kombinasi proses yang lain hingga percobaan untuk masing-masing rancangan eksperimen selesai dilakukan.
6. Semua hasil dari berbagai level dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian sesuai metode uji yang dipilih.
7. Pengolahan data
Pada tahap ini dilakukan pengolahan data dengan prosedur berikut:
 - a. Melakukan normalisasi data hasil eksperimen.
 - b. Menghitung *grey relational coefficient (GRC)*.
 - c. Menghitung *grey relational grade (GRG)* untuk kondisi respon optimal
 - d. Membuat tabel respon dan grafik respon untuk masing-masing level dari parameter proses.
 - e. Menentukan kombinasi parameter proses yang menghasilkan respon optimal.
 - f. Melakukan analisis hasil optimasi untuk masing-masing parameter proses.
 - g. Melakukan prediksi nilai *GRG* hasil optimasi.
8. Eksperimen konfirmasi
Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan kombinasi parameter proses yang didapat berdasarkan hasil percobaan dengan metode Taguchi. Apabila hasil eksperimen konfirmasi lebih jelek dari kondisi awal, maka perlu dilakukan percobaan lagi.

3.7 Perhitungan Nilai Penurunan Biaya Kerugian

Perhitungan nilai penurunan biaya kerugian dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.37). Sebelum menghitung nilai penurunan biaya kerugian, terlebih dahulu dicari nilai koefisien fungsi kerugian (k) dengan menggunakan persamaan (2.38). Biaya pengganti kerugian (A_0) dihitung dengan menggunakan persamaan (2.38) dan ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.5 Perhitungan Biaya Pengganti Kerugian (A_0) Sol Karet

No	Keterangan	Rincian	Harga per pasang
1	Harga pokok produksi (HPP)		Rp 15.000
2	Harga produk bagus	= HPP + 15% HPP	Rp 17.250
3	Harga produk cacat	= 65% Harga produk bagus	Rp 8.625
4	Biaya pengganti kerugian (A_0)	= HPP-Harga produk cacat = Rp. 15.000-Rp. 8.625	Rp 6.375

Tabel 3.4 menunjukkan biaya pengganti kerugian (A_0) karena memproduksi sol karet yang cacat adalah Rp. 6.375,- perpasangnya. Biaya pengganti tersebut akan digunakan untuk menghitung koefisien fungsi kerugian. Penurunan biaya kerugian merupakan selisih antara nilai kerugian dengan pengaturan parameter proses awal dan nilai kerugian yang dihasilkan dengan pengaturan parameter proses optimal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

OPTIMASI MULTI RESPON DAN PERHITUNGAN PENURUNAN BIAYA KERUGIAN

4.1 Data Hasil Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen dilakukan dengan memvariasikan parameter-parameter proses yang terdapat pada proses vulkanisasi, yaitu suhu cetakan, tekanan cetakan, dan waktu tahan. Variasi pengaturan level parameter-parameter proses tersebut sesuai dengan rancangan percobaan Taguchi pada Tabel 3.4. Data hasil eksperimen yang diambil pada penelitian ini adalah kuat tarik dan ketahanan slip sol karet. Data yang diambil pertama kali adalah data tentang kuat tarik yang dilanjutkan dengan pengambilan data tentang ketahanan slip. Semua data yang diperoleh selama eksperimen ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Eksperimen

Pengaturan Parameter Kombinasi ke	Kuat tarik (MPa)			Ketahanan slip		
	1	2	3	1	2	3
1	5,585	5,583	5,585	0,139	0,134	0,155
2	5,352	5,352	5,351	0,115	0,119	0,110
3	5,714	5,717	5,714	0,141	0,150	0,156
4	5,151	5,150	5,151	0,180	0,167	0,165
5	5,226	5,227	5,226	0,145	0,142	0,151
6	5,442	5,443	5,442	0,199	0,203	0,181
7	4,546	4,547	4,547	0,152	0,165	0,149
8	4,749	4,749	4,750	0,138	0,138	0,137
9	4,957	4,955	4,957	0,166	0,172	0,167

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa pengaturan parameter kombinasi ke-7 menghasilkan *CTQ* kuat tarik yang paling rendah dan pengaturan ke 2 menghasilkan *CTQ* ketahanan slip paling rendah. Untuk pengaturan parameter yang menghasilkan *CTQ* kuat tarik yang paling tinggi adalah pengaturan parameter ke-3. Untuk pengaturan parameter yang menghasilkan *CTQ* ketahanan slip yang paling tinggi adalah pengaturan parameter kombinasi ke-6. Karena yang diharapkan adalah memaksimalkan kedua *CTQ* secara serentak, maka kesimpulan sementara yang

didapatkan dari Tabel 4.1 tidak bisa digunakan secara langsung dan memerlukan perhitungan lebih lanjut sesuai urutan dalam metode Taguchi.

4.2 Nilai Rasio S/N Data Hasil Eksperimen

Penghitungan nilai rasio S/N tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari masing-masing respon. Respon kuat tarik dan ketahanan slip memiliki kesamaan karakteristik kualitas, yaitu semakin besar semakin baik (*larger is better*) dan rasio S/N tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan (2.6). Contoh penghitungan rasio S/N dari kuat tarik untuk kombinasi parameter proses pertama adalah:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{1/y_i^2}{n} \right] \quad (4.1)$$

$$S/N = -10 \log \frac{\frac{1}{5,585^2} + \frac{1}{5,583^2} + \frac{1}{5,585^2}}{3}$$

$$S/N = 14,9394$$

Perhitungan nilai rasio S/N masing-masing respon pada setiap kombinasi parameter proses ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai Rasio S/N Masing-masing Respon.

Pengaturan Parameter Kombinasi Ke	Kuat tarik S/N	K Slip S/N
1	14,9394	-16,9849
2	14,5698	-18,8248
3	15,1399	-16,5612
4	14,2370	-15,3836
5	14,3639	-16,7214
6	14,7151	-14,2682
7	13,1534	-16,1944
8	13,5327	-17,2236
9	13,9036	-15,4731
Max.	15,1399	-14,2682
Min.	13,1534	-18,8248

Semakin besar nilai rasio S/N menunjukkan bahwa semakin besar pula pengaruh parameter proses pada kombinasi tersebut terhadap peningkatan parameter respon. Pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa kombinasi parameter proses ke-3 memberikan pengaruh paling besar untuk parameter respon kuat tarik, sedangkan kombinasi parameter proses ke-6 memberikan pengaruh paling besar untuk parameter respon ketahanan slip.

4.3 Normalisasi Data

Proses normalisasi data hasil eksperimen adalah proses mengubah nilai hasil eksperimen menjadi nilai yang besarnya antara 0 dan 1. Pada penelitian ini, normalisasi data hasil eksperimen menggunakan karakteristik lebih besar lebih baik (*larger is better*). Karakteristik kualitas ini berlaku untuk semua parameter respon, yaitu untuk kuat tarik dan ketahanan slip. Contoh perhitungan normalisasi nilai parameter respon kuat tarik untuk kombinasi pengaturan parameter proses yang pertama dengan menggunakan persamaan (2.7) adalah sebagai berikut:

$$X_i^*(k) = \frac{X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)}{\max_{\forall k} X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)}$$

Nilai maksimum dan minimum untuk masing-masing respon bisa dilihat pada Tabel 4.2.

$$X_i^*(k) = \frac{14,9394 - 13,1534}{15,1399 - 13,1534}$$

$$X_1^*(t) = 0,8991$$

Hasil perhitungan normalisasi rasio S/N masing-masing respon untuk setiap kombinasi parameter proses dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Normalisasi Rasio S/N Pada Masing-masing Respon

Pengaturan Parameter Kombinasi Ke	Normalisasi Kuat tarik	Normalisasi Ketahanan slip
1	0,8991	0,4038
2	0,7130	0
3	1	0,4968
4	0,5455	0,7552
5	0,6094	0,4616
6	0,7861	1
7	0	0,5773
8	0,1909	0,3514
9	0,3777	0,7356

Dengan rentang nilai 0 – 1 maka dari Tabel 4.3 bisa dilihat bahwa parameter proses yang memberikan kontribusi terhadap parameter respon paling tinggi bernilai 1 dan parameter proses yang paling sedikit mempengaruhi parameter respon bernilai 0.

4.4 Menentukan *Deviation Sequence* ($\Delta_{0,i}(k)$)

Sebelum penghitungan nilai *GRC* dilakukan, nilai *deviation sequence* $\Delta_{0,i}(k)$ dari masing-masing respon dihitung terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan 2.10. Contoh penghitungan *deviation sequence* kuat tarik untuk pengaturan parameter kombinasi ke-1 adalah:

$$\Delta_{0,i}(k) = |X_i(k) - X_i^*(k)|$$

$$\Delta_{0,1}(t) = |1 - 0.8991|$$

$$\Delta_{0,1}(t) = 0.1009$$

Hasil perhitungan *deviation sequence* $\Delta_{0,i}(k)$ dari masing-masing respon untuk setiap kombinasi parameter proses ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 *Deviation Sequence* pada Masing-masing Respon

Pengaturan Parameter Kombinasi Ke	Kuat tarik	Ketahanan slip
1	0,1009	0,5962
2	0,2870	1
3	0	0,5032
4	0,4545	0,2448
5	0,3906	0,5384
6	0,2139	0
7	1	0,4227
8	0,8091	0,6486
9	0,6223	0,2644
MAX	1	1
MIN	0	0

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa selisih masing-masing nilai hasil normalisasi terhadap nilai 1 pada setiap parameter respon yang diamati. Semakin besar nilai *deviation sequence* menunjukkan semakin jauh nilai tersebut dari 1.

4.5 Menentukan *Grey Relational Coefficient* atau $GRC(\xi_i(k))$

Setelah melakukan perhitungan *deviation sequence*, langkah selanjutnya adalah melakukan penghitungan *GRC* dengan menggunakan persamaan (2.11) yang didasarkan pada nilai *deviation sequence* $\Delta_{0,i}(k)$.

Contoh penghitungan *GRC* kuat tarik untuk pengaturan parameter kombinasi ke-1 adalah:

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{0,i}(k) + \zeta \Delta_{\max}}$$

$$\xi_i(t) = \frac{0 + (0,5 \times 1)}{0,1009 + (0,5 \times 1)}$$

$$\xi_i(t) = 0,8320$$

Hasil perhitungan *GRC* masing-masing respon untuk setiap kombinasi parameter proses ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 *GRC* untuk Masing-masing Respon

Pengaturan Parameter Kombinasi Ke	Kuat tarik	Ketahanan slip
1	0,8320	0,4561
2	0,6353	0,3333
3	1	0,4984
4	0,5238	0,6713
5	0,5614	0,4815
6	0,7004	1
7	0,3333	0,5419
8	0,3819	0,4353
9	0,4455	0,6541

Tabel 4.5 menunjukkan hubungan antara kondisi ideal (terbaik) dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasi. *GRC* akan bernilai 1 apabila respon yang dinormalisasi tersebut sesuai dengan kondisi ideal, sehingga bisa dilihat bahwa respon kuat tarik maksimal pada kombinasi parameter proses ke 3 dan respon ketahanan slip maksimal pada kombinasi parameter proses ke 6.

4.6 Perhitungan Nilai *Grey Relational Grade (GRG)* Untuk Respon Optimal

Penghitungan *GRG* dilakukan dengan merata-ratakan nilai *GRC* pada masing-masing respon dengan menggunakan persamaan (2.12).

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$$

$$\gamma_i = \frac{1}{2} (0,8320 + 0,4561)$$

$$\gamma_1 = 0,6441$$

Hasil perhitungan *GRG* masing-masing respon untuk setiap pengaturan parameter proses ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Nilai *GRG*

Pengaturan parameter kombinasi ke	Suhu cetakan	Tekanan cetakan	Waktu tahan	GRG
1	1	1	1	0,6441
2	1	2	2	0,4843
3	1	3	3	0,7492
4	2	1	2	0,5976
5	2	2	3	0,5215
6	2	3	1	0,8502
7	3	1	3	0,4376
8	3	2	1	0,4086
9	3	3	2	0,5498

Semakin besar nilai *GRG*, semakin baik pula respon dari kombinasi parameter proses tersebut. Tetapi karena pada matriks ortogonal L_9 yang digunakan tidak langsung mewakili semua kemungkinan kombinasi parameter proses yang ada, maka masih harus dilakukan penentuan kombinasi parameter proses untuk respon optimal pada langkah selanjutnya.

4.7 Menentukan Kombinasi Parameter Proses Untuk Respon Optimal

Penghitungan nilai rata-rata *GRG* digunakan untuk menentukan kombinasi level dari parameter proses. Kombinasi level dari parameter proses dapat mengoptimalkan respon kuat tarik dan ketahanan slip. Dari Tabel 4.6 dikelompokkan nilai *GRG* dari masing-masing level dari masing-masing respon, kemudian diambil nilai rata-rata pada masing-masing level, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Kombinasi Rata-rata *GRG* Pada Masing-masing Level

Suhu cetakan			Tekanan cetakan			Waktu tahan		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
0,6441	0,5976	0,4376	0,6441	0,4843	0,7492	0,6441	0,4843	0,7492
0,4843	0,5215	0,4086	0,5976	0,5215	0,8502	0,8502	0,5976	0,5215
0,7492	0,8502	0,5498	0,4376	0,4086	0,5498	0,4086	0,5498	0,4376
Rata-rata								
0,6259	0,6564	0,4653	0,5597	0,4715	0,7164	0,6343	0,5439	0,5694

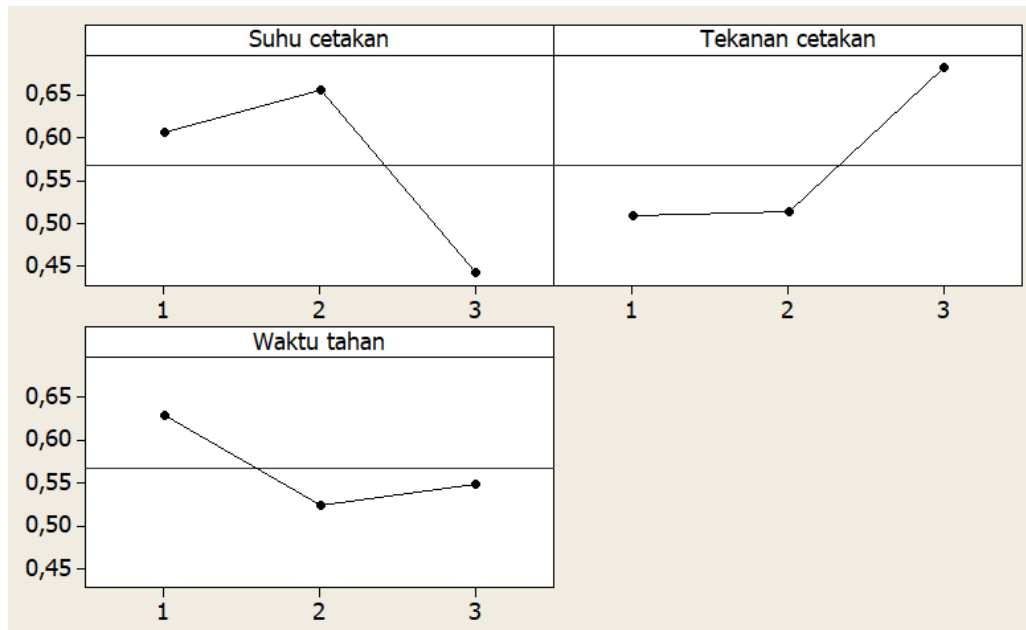
Nilai rata-rata dari masing-masing parameter proses pada masing-masing level pada Tabel 4.7 selanjutnya dikelompokkan dan ditulis seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 menunjukkan hasil perhitungan nilai rata-rata *GRG* dan berfungsi untuk memudahkan penentuan kombinasi parameter proses yang terbaik.

Tabel 4.8 Tabel Nilai Rata-rata *GRG* Pada Masing-masing Level Parameter Proses

	Level 1	Level 2	Level 3	Selisih
Suhu cetakan	0,6259	0,6564	0,4653	0,1911
Tekanan cetakan	0,5597	0,4715	0,7164	0,2449
Waktu tahan	0,6343	0,5439	0,5694	0,0904
Rata-rata	0,5825			

Grafik yang digunakan untuk menunjukkan nilai rata-rata *GRG* pada masing-masing level dari parameter proses, yaitu kuat tarik dan ketahanan slip ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 *Plotting* rata-rata nilai *GRG* pada masing-masing level parameter proses

Berdasarkan nilai *GRG* dan *plotting* nilai pada masing-masing level parameter proses tersebut, dapat ditentukan nilai level untuk kombinasi parameter proses yang menghasilkan respon yang maksimum. Kombinasi parameter proses tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Kombinasi Level Parameter Proses Untuk Respon Optimum

Parameter proses	Level	Nilai Level
Suhu cetakan	2	155 °C
Tekanan cetakan	3	90 bar
Waktu tahan	1	2 menit

4.8 Analisis Variansi

Analisis variansi (ANAVA) digunakan untuk mengetahui parameter proses yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap respon dan besarnya kontribusi parameter proses terhadap respon. Pada penelitian ini, analisis variansi dilakukan untuk *GRG* yang mewakili keseluruhan respon. Perhitungan jumlah kuadrat total pada ANAVA *GRG* dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.17) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 SS_T &= \sum_{i=y}^N (Y_i - T)^2 \\
 &= (0,6441-0,5825)^2 + (0,4843-0,5825)^2 + (0,7492-0,5825)^2 + (0,5976-0,5825)^2 \\
 &\quad + (0,5215-0,5825)^2 + (0,8502-0,5825)^2 + (0,4376-0,5825)^2 + (0,4086- \\
 &\quad 0,5825)^2 + (0,5498-0,5825)^2
 \end{aligned}$$

$$SS_T = 0,1691$$

Contoh perhitungan untuk jumlah kuadrat total parameter proses suhu cetakan dengan menggunakan persamaan (2.18) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 SS_{\text{suhu}} &= [(0,6259-0,5825)^2 + (0,6564-0,5825)^2 + (0,4653-0,5825)^2] \times 3 \\
 &= 0,06321
 \end{aligned}$$

$$SS_{\text{tek}} = 0,09232$$

$$SS_{\text{wkt}} = 0,01304$$

Perhitungan rata-rata kuadrat tengah parameter proses suhu cetakan menggunakan persamaan (2.21) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 MS_{\text{suhu}} &= \text{kuadrat tengah faktor suhu} \\
 &= SS_{\text{suhu}}/v_{\text{suhu}} \\
 &= \frac{0,063214}{2} \\
 &= 0,031607
 \end{aligned}$$

$$MS_{\text{tekan}} = 0,046159$$

$$MS_{\text{wkt}} = 0,006518$$

$$MS_{\text{error}} = 0,000284$$

Perhitungan nilai F_{hitung} parameter proses menggunakan persamaan (2.25) adalah sebagai berikut:

$$F_{\text{hitung}} = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_{\text{hit.suhu}} = \frac{MS_{\text{suhu}}}{MS_{\text{error}}}$$

$$= \frac{0,031607}{0,000284}$$

$$= 111,202$$

$$F_{\text{hit.tekan}} = 162,4$$

$$F_{\text{hit.wkt}} = 22,932$$

Tabel ANAVA untuk nilai *GRG* yang disusun berdasarkan perhitungan tersebut diatas ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.10 ANAVA untuk *GRG* Hasil Perhitungan

Sumber Variasi	db	SS	MS	F_{hitung}
Faktor T.suhu	2	0,063214	0,031607	111,202
Faktor p.tekan	2	0,092319	0,046159	162,400
Faktor t.wkt	2	0,013036	0,006518	22,932
Error	2	0,000568	0,000284	
Total	8	0,169137		

Parameter proses yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap respon dapat diuji dengan menggunakan uji distribusi F. Parameter proses suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan dipilih secara *fixed*, sehingga pengujian hipotesis yang digunakan adalah:

1. Parameter proses suhu cetakan

$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0$ (parameter proses suhu cetakan (T) tidak memiliki pengaruh terhadap *GRG*)

H_1 : Paling sedikit ada satu $\alpha_i \neq 0$, $i = 1, 2, 3, \dots, a$ (parameter proses suhu cetakan memiliki pengaruh terhadap *GRG*)

Kesimpulan: $F_{hitung} = 111,202$ dan $F_{tabel} = F_{\alpha, v_{TM}, v_E} = F_{0,05,2,2} = 19,00$, sehingga H_0 ditolak, karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, yang berarti bahwa parameter proses suhu cetakan memiliki pengaruh terhadap *GRG*.

2. Parameter proses tekanan cetakan

H_0 : $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ (parameter proses tekanan cetakan tidak memiliki pengaruh terhadap *GRG*)

H_1 : Paling sedikit ada satu $\beta_i \neq 0$, $i = 1, 2, 3, \dots, a$ (parameter proses tekanan cetakan memiliki pengaruh terhadap *GRG*)

Kesimpulan: $F_{hitung} = 162,400$ dan $F_{tabel} = F_{\alpha, v_{PA}, v_E} = F_{0,05,2,2} = 19,00$, sehingga H_0 ditolak, karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, yang berarti bahwa parameter proses tekanan cetakan memiliki pengaruh terhadap *GRG*.

3. Parameter proses waktu tahan

H_0 : $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0$ (parameter proses waktu tahan tidak memiliki pengaruh terhadap *GRG*)

H_1 : Paling sedikit ada satu $\tau_i \neq 0$, $i = 1, 2, 3, \dots, a$ (parameter proses waktu tahan (*t*) memiliki pengaruh terhadap *GRG*)

Kesimpulan: $F_{hitung} = 22,932$ dan $F_{tabel} = F_{\alpha, v_N, v_E} = F_{0,05,2,2} = 19,00$, sehingga H_0 ditolak, karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, yang berarti bahwa parameter proses waktu tahan memiliki pengaruh terhadap *GRG*.

Dari ANAVA untuk *GRG* dapat disimpulkan bahwa parameter proses suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap *GRG*.

Persen kontribusi mengindikasikan kekuatan relatif/porsi dari masing-masing parameter proses dalam mengurangi variansi total repon yang diamati. Jika besar kontribusi *error* kurang dari lima belas persen, maka tidak ada parameter proses yang berpengaruh terabaikan. Jika besarnya kontribusi *error* lebih dari lima belas persen, maka hal tersebut mengindikasikan adanya parameter proses yang berpengaruh terabaikan.

Persen kontribusi dihitung dengan menggunakan persamaan (2.30) dan (2.31). Perhitungan persen kontribusi dilakukan dari hasil analisis variansi yang ditunjukkan pada Tabel 4.9. Hasil perhitungan persen kontribusi ditunjukkan pada tabel 4.10. Contoh perhitungan persen kontribusi pada parameter proses suhu cetakan adalah:

$$\begin{aligned}
 SS'_{\text{suhu}} &= SS_{\text{suhu}} - (dof \times MSE) \\
 &= 0,063214 - (2 \times 0,000284) \\
 &= 0,62646
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{suhu}} &= \frac{0,62646}{0,169137} \times 100\% \\
 &= 37,04 \%
 \end{aligned}$$

Tabel 4.11 ANAVA dan Persen Kontribusi Untuk *GRG*

Sumber Variasi	db	SS	SS'	MS	Fhitung	P-value	ρ
Faktor T.suhu	2	0,063214	0,062646	0,031607	111,202	0,009	37,04%
Faktor p.tekan	2	0,092319	0,091750	0,046159	162,400	0,006	54,25%
Faktor t.wkt	2	0,013036	0,012468	0,006518	22,932	0,042	7,37%
Error	2	0,000568		0,000284			
Total	8	0,169137					

Hasil perhitungan persen kontribusi menunjukkan bahwa parameter proses suhu cetakan memberikan kontribusi terhadap total variansi sebesar 37,04%, parameter proses tekanan cetakan sebesar 54,25% dan parameter proses waktu tahan sebesar 7,37%.

4.9 Prediksi Nilai *GRG* Hasil Optimasi dan Interval Keyakinan

Berdasarkan kombinasi faktor untuk respon yang optimum seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7, maka dapat ditentukan prediksi dari nilai *GRG* optimal. Penentuan prediksi nilai *GRG* yang optimal dilakukan berdasarkan nilai *GRG* masing-masing level faktor dari kombinasi faktor yang menghasilkan respon optimum. Nilai *GRG* prediksi tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan (2.29) yang dijabarkan sebagai berikut:

$$\hat{\gamma} = \gamma_m + \sum_{i=1}^q (\bar{Y}_i - \gamma_m)$$

$$\hat{\gamma} = 0,5828 + (0,6343 - 0,5828) + (0,6545 - 0,5828) + (0,7164 - 0,5828)$$

$$\hat{\gamma} = 0,84204$$

Dengan demikian nilai *GRG* prediksi untuk kombinasi faktor yang menghasilkan respon optimum adalah 0,84204.

Perhitungan banyaknya pengamatan efektif (n_{eff}) dilakukan terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan (2.34) kemudian interval keyakinan untuk kondisi optimum dilakukan dengan persamaan (2.35) dan (2.36). Perhitungan pengamatan efektif adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} n_{eff} &= \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan faktor-faktor untuk menduga rata-rata}} \\ &= \frac{9 \times 3}{1 + (2+2+2)} \\ &= 3,857143 \end{aligned}$$

Perhitungan interval keyakinan untuk kondisi optimum memerlukan nilai *F* dan *MS_E*. Nilai *F* adalah $F_{(0,05;1;2)} = 18,51$ dan nilai *MS_E* berdasarkan pada Tabel 4.10 yaitu 0,000284. Perhitungan interval keyakinan untuk kondisi optimum adalah sebagai berikut:

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;v_E} \cdot MS_E}{n_{eff}}}$$

$$CI_1 = \sqrt{\frac{18,51 \times 0,000284}{3,857143}}$$

$$CI_1 = 0,03693$$

Dengan demikian, interval keyakinan untuk nilai *GRG* prediksi pada tingkat keyakinan 95% adalah sebagai berikut:

$$0,84204 - 0,03693 \leq \mu_{prediksi} \leq 0,84204 + 0,03693$$

$$0,80511 \leq \mu_{prediksi} \leq 0,87897$$

4.10 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk memeriksa respon yang dihasilkan berdasarkan kombinasi parameter proses dari hasil optimasi. Parameter respon yang dihasilkan dari eksperimen konfirmasi dibandingkan dengan parameter respon pada kondisi awal dan prediksi. Kombinasi parameter proses awal dan kombinasi hasil optimasi pada eksperimen konfirmasi ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.12 Kombinasi Parameter Proses untuk Kondisi Awal dan Kondisi Optimum

Parameter proses	Kombinasi Awal	Kombinasi Optimum
Suhu cetakan	155 °C	155 °C
Tekanan cetakan	80 bar	90 bar
Waktu tahan	3 menit	2 menit

Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan melakukan replikasi sebanyak enam kali, hasil dari replikasi tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.13 Data yang Diperoleh pada Eksperimen Konfirmasi

Respon	1	2	3	4	5	6	Rata-rata
Kuat tarik (MPa)	5,400	5,582	5,708	5,590	5,519	5,530	5,5547
Ketahanan slip	0,168	0,179	0,174	0,170	0,184	0,189	0,1774

Sumber: Hasil pengukuran

Penghitungan rasio S/N dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.6) yang didasarkan pada nilai-nilai respon yang didapatkan dari eksperimen konfirmasi. Normalisasi dilakukan pada rasio S/N dari masing-masing respon dengan menggunakan persamaan (2.7). Hasil perhitungan proses normalisasi ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.14 Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N Eksperimen Konfirmasi

Parameter Respon		Rasio S/N		Norm. Rasio S/N	
K. Tarik	Slip	K. Tarik	Slip	K. Tarik	Slip
5,55470	0,17738	14,89320	-15,02169	0,87581	0,83463

Penghitungan *deviation sequence* $\Delta_{0,i}(k)$ dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.10). Penghitungan *GRG* dilakukan pada langkah akhir yang sebelumnya didahului dengan perhitungan *GRC* menggunakan persamaan (2.11). Tabel 4.15 menunjukkan nilai *GRC* dan *GRG* hasil dari eksperimen konfirmasi. Nilai *GRG* didapatkan dari penghitungan rata-rata nilai *GRC* pada respon.

Tabel 4.15 Nilai *Deviation Sequence*, *GRC* dan *GRG* Eksperimen Konfirmasi

Dev.Seq		GRC		GRG
K. Tarik	Slip	K. Tarik	Slip	
0,12419	0,16537	0,80104	0,75146	0,77625

Penghitungan interval keyakinan rata-rata *GRG* eksperimen konfirmasi memerlukan nilai *F*, *MSE*, dan *r*. Nilai *F* adalah $F_{(0.05;1;2)} = 18,51$, nilai *MSE* diperoleh dari ANAVA *GRG* dari Tabel 4.10 dan nilai *r* adalah jumlah pengulangan yang dilakukan pada eksperimen konfirmasi (6 pengulangan). Penghitungan interval keyakinan rata-rata *GRG* eksperimen konfirmasi dijabarkan sebagai berikut:

$$CI_2 = \sqrt{F_{\alpha;1;vE} \cdot MSE \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

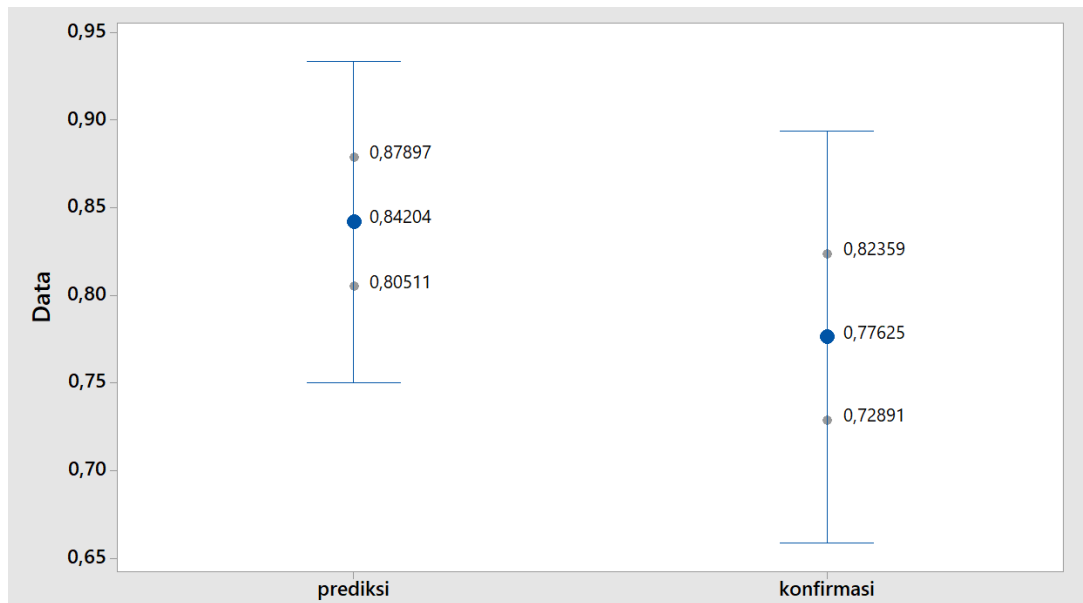
$$CI_2 = \sqrt{18,51 \times 0,000284 \left[\frac{1}{3,857143} + \frac{1}{6} \right]}$$

$$CI_2 = \sqrt{0,00224}$$

$$CI_2 = 0,4734$$

Dengan demikian, interval keyakinan 95% untuk rata-rata *GRG* eksperimen konfirmasi adalah $0,77625 \pm 0,4732$ atau $0,72891 \leq GRG_{konfirmasi} \leq 0,82359$.

Interval keyakinan 95% rata-rata *GRG* optimasi dengan interval keyakinan 95% rata-rata *GRG* eksperimen konfirmasi diplotkan secara bersamaan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Plot interval keyakinan *GRG* prediksi dan *GRG* eksperimen konfirmasi

Gambar 4.2 menunjukkan ada bagian dari interval keyakinan nilai *GRG* eksperimen konfirmasi yang beririsan dengan interval keyakinan nilai *GRG* prediksi, maka dapat disimpulkan bahwa optimasi multi respon telah berhasil. Dengan demikian kombinasi pengaturan parameter proses untuk prediksi juga merupakan pengaturan parameter proses yang menghasilkan respon yang optimum.

4.11 Perbandingan Antara Respon Hasil Kombinasi Awal Dengan Respon Hasil Kombinasi Optimum

Pada penelitian ini juga dilakukan perbandingan eksperimen menggunakan kombinasi optimum dengan eksperimen menggunakan kombinasi awal. Kombinasi awal merupakan kombinasi parameter proses yang diatur pada level tengah, dalam hal ini parameter proses diatur pada level 2. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mengetahui *improvement* dari respon secara serentak maupun secara individu. Hal ini dilakukan dengan membandingkan hasil respon pada kombinasi awal dengan hasil respon pada kombinasi optimum. Level dari parameter proses-parameter proses untuk kombinasi awal ditunjukkan oleh Tabel 4.11.

Eksperimen dengan kombinasi awal dilakukan sebanyak tiga kali replikasi, dan hasil dari masing-masing respon dari eksperimen tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Hasil Respon dengan Menggunakan Kombinasi Awal

Respon	1	2	3	Rata-rata
Kuat tarik (MPa)	4,869	4,943	4,911	4,9078
Ketahanan slip	0,140	0,150	0,146	0,1453

Sumber: Hasil pengukuran

Penghitungan rasio S/N dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.6) yang didasarkan pada nilai-nilai respon yang didapatkan dari eksperimen kombinasi awal. Normalisasi dilakukan pada rasio S/N dari masing-masing respon dengan menggunakan persamaan (2.7). Hasil perhitungan rasio S/N dan normalisasi ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.17 Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N Kombinasi Awal

Parameter Respon		Rasio S/N		Norm. Rasio S/N	
K. Tarik	Slip	K. Tarik	Slip	K. Tarik	Slip
4,9078	0,1453	13,8177	-16,7542	0,3344	0,4544

Penghitungan *deviation sequence* $\Delta_{0,i}(k)$ dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.10). Penghitungan *GRG* dilakukan pada langkah akhir yang sebelumnya didahului dengan perhitungan *GRC* menggunakan persamaan (2.11). Tabel 4.18 menunjukkan nilai *deviation sequence* $\Delta_{0,i}(k)$, *GRC* dan *GRG* kombinasi awal. Nilai *GRG* didapatkan dari penghitungan rata-rata nilai *GRC* pada respon.

Tabel 4.18 *Deviation Sequence*, *GRC* dan *GRG* Kombinasi Awal

Dev.Seq		<i>GRC</i>		<i>GRG</i>
K. Tarik	Slip	K. Tarik	Slip	
0,6656	0,5456	0,4290	0,4782	0,4536

Tabel 4.19 menunjukkan perbandingan antara *GRG* pada kombinasi awal dengan kombinasi optimum. Nilai *GRG* berdasarkan eksperimen konfirmasi adalah

sebesar 0,7763 dan nilai *GRG* pada kombinasi awal adalah sebesar 0,4536. Dengan demikian, nilai *GRG* berdasarkan eksperimen konfirmasi mengalami peningkatan sebesar 71,14% dibandingkan dengan nilai *GRG* kombinasi awal.

Tabel 4.19 Perbandingan *GRG* Kombinasi Awal dengan Kombinasi Optimum

Kombinasi	<i>GRG</i>
Kombinasi awal	0,4536
Kombinasi optimum	0,7763
Peningkatan	71,14%

4.12 Perbandingan Antara Respon Hasil Kombinasi Awal dan Hasil Kombinasi Optimum

Nilai respon hasil kombinasi awal dan nilai repon hasil kombinasi optimum perlu diuji secara statistik untuk mengetahui apakah nilai-nilai tersebut sama atau berbeda. Adapun uji statistik yang digunakan adalah uji kesamaan rata-rata:

- Hipotesis untuk uji kesamaan rata-rata adalah sebagai berikut:
 $H_0 : \mu_1 = \mu_2$
 $H_1 : \mu_1 < \mu_2$
 Dengan:
 μ_1 = rata-rata respon hasil eksperimen kombinasi awal
 μ_2 = rata-rata respon hasil eksperimen kombinasi optimum
- Kriteria penolakan adalah:
 H_0 ditolak jika $p_{value} < \alpha = 5\% = 0,05$
- Kesimpulan
 Berdasarkan kriteria penolakan, hasil dari uji kesamaan rata-rata ditunjukkan pada tabel

Tabel 4.20 Hasil Uji Kesamaan Rata-rata

Respon	p-value	Kondisi H_0	Kesimpulan
Kuat tarik (MPa)	0,000	Ditolak	Berbeda dan $\mu_1 < \mu_2$
Ketahanan slip	0,000	Ditolak	Berbeda dan $\mu_1 < \mu_2$

Hasil uji kesamaan rata-rata menunjukkan bahwa rata-rata dari respon kuat tarik dan ketahanan slip pada kombinasi optimum berbeda dan lebih besar jika dibandingkan dengan rata-rata pada kombinasi awal.

Perbandingan dari masing-masing respon secara individu antara kombinasi awal dengan kombinasi optimum ditunjukkan pada Tabel (4.19). Karakteristik kualitas semakin besar semakin baik dari semua respon terpenuhi. Hal ini ditunjukkan dengan adanya peningkatan nilai dari semua respon tersebut pada kombinasi optimum. Besarnya peningkatan respon kuat tarik adalah sebesar 13,18% dan ketahanan slip sebesar 22,07%.

Tabel 4.21 Perbandingan Respon dengan Menggunakan Kombinasi Awal dengan Kombinasi Optimum

Respon	Kombinasi Awal	Kombinasi Optimum	Keterangan	
Kuat tarik (MPa)	4,9078	5,5547	13,18%	Naik
Ketahanan slip	0,1453	0,1774	22,07%	Naik

4.13 Penurunan Biaya Kerugian

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk mencari berapa besar penurunan kerugian untuk *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip dengan menggunakan pengaturan yang optimal. Data yang digunakan dalam perhitungan nilai penurunan kerugian ini didasarkan pada selisih nilai kerugian yang ditanggung oleh CV. XYZ antara produksi sol karet yang menggunakan pengaturan awal dengan menggunakan pengaturan yang optimal. Langkah pertama dalam tahap ini adalah menghitung nilai koefisien penurunan biaya kerugian dengan menggunakan persamaan (2.42). Biaya pengganti kerugian (A_0) karena memproduksi sol karet sesuai Tabel 3.4 adalah Rp. 6.375 perpasangnya. Spesifikasi untuk *CTQ* kuat tarik adalah 4,9 MPa dan untuk *CTQ* ketahanan slip adalah 0,14. Dengan demikian koefisien penurunan biaya kerugian untuk *CTQ* kuat tarik adalah:

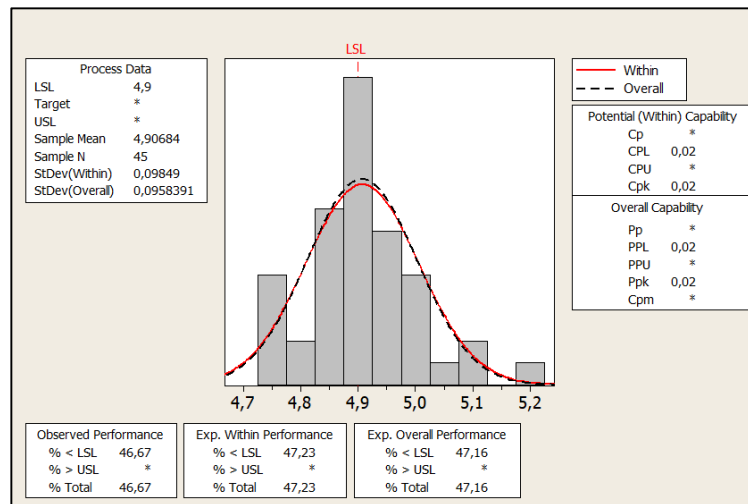
$$k = A_0 \cdot \Delta_0^2$$

$$\Delta_0 = \text{target} - \text{nilai minimal}$$

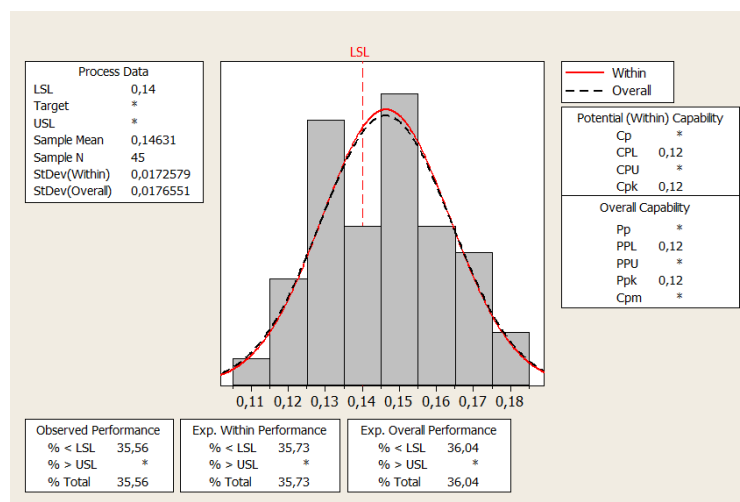
$$\begin{aligned} k_{\text{tarik}} &= 6375 (5,5 - 4,9)^2 \\ &= 2295 \end{aligned}$$

$$k_{\text{slip}} = 22,95$$

Untuk mendapatkan nilai biaya kerugian yang harus dibayar oleh CV. XYZ untuk tiap pasang produksi sol karet dalam distribusi dengan menggunakan pengaturan yang lama, perlu dicari nilai deviasi standar untuk *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip yang menggunakan pengaturan awal terlebih dahulu. Hasil analisis kemampuan proses dengan menggunakan pengaturan awal yang didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan bantuan piranti lunak statistik *Minitab 17* dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Analisa kemampuan proses sol karet dengan pengaturan awal untuk kuat tarik



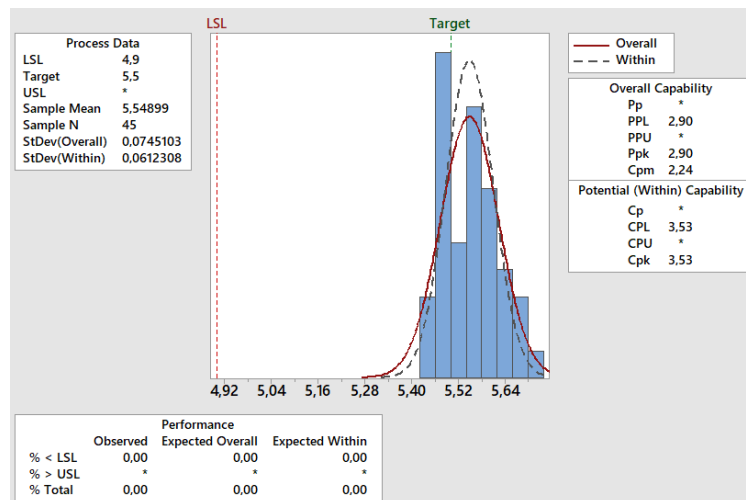
Gambar 4.4 Analisa kemampuan proses sol karet dengan pengaturan awal untuk ketahanan slip

Gambar 4.3 menunjukkan nilai deviasi standard (s) untuk *CTQ* kuat tarik yang menggunakan pengaturan awal, yaitu sebesar 0,09849 dan Gambar 4.4 menunjukkan nilai deviasi standard (s) untuk *CTQ* ketahanan slip adalah 0,0172579. Dengan menggunakan persamaan pada Tabel (2.4) biaya kerugian yang harus dibayar oleh CV. XYZ untuk tiap pasang sol karet dengan menggunakan pengaturan awal untuk *CTQ* kuat tarik didapatkan:

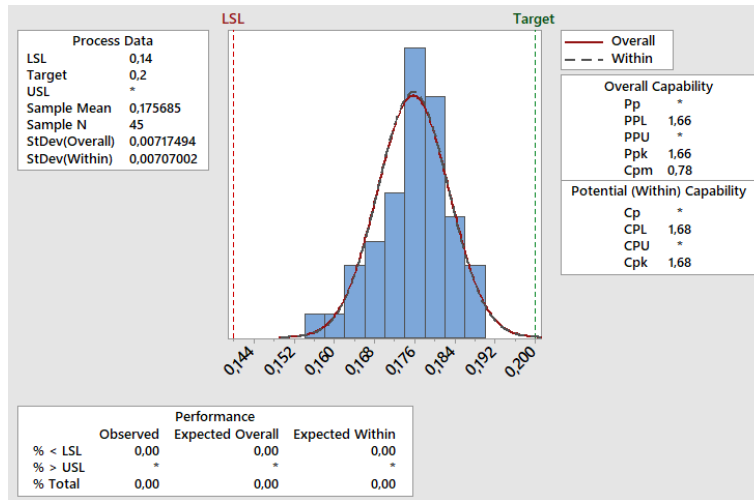
$$\begin{aligned}
 L_{\text{tarik.lama}} &= k \left(\frac{1}{\bar{y}^2} \right) \left[1 + \frac{3s^2}{\bar{y}^2} \right] \\
 &= 2295 \left(\frac{1}{4,907^2} \right) \left[1 + \frac{3(0,0984)^2}{4,907^2} \right] \\
 &= 95,4276
 \end{aligned}$$

$$L_{\text{slip.lama}} = 1075,062$$

Demikian pula untuk mendapatkan nilai biaya kerugian yang harus dibayar oleh CV. XYZ untuk tiap pasang sol karet dengan menggunakan pengaturan yang optimal, perlu dicari nilai deviasi standar untuk *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip dengan menggunakan pengaturan yang optimal terlebih dahulu. Untuk masing-masing kuat tarik dan ketahanan slip diambil sampel sebanyak 15 buah dan tiap sampel tersebut terdiri dari tiga observasi. Hasil analisis kemampuan proses dengan menggunakan pengaturan yang optimal yang didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan bantuan piranti lunak statistik *Minitab 17* dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4.5 Analisis kemampuan proses menggunakan pengaturan optimal untuk *CTQ* kuat tarik



Gambar 4.6 Analisis kemampuan proses menggunakan pengaturan optimal untuk *CTQ* ketahanan slip

Gambar 4.5 dan 4.6 menunjukkan nilai deviasi standar dengan menggunakan pengaturan optimal adalah sebesar 0,0745 untuk *CTQ* kuat tarik, serta 0,007175 untuk *CTQ* ketahanan slip. Dengan demikian, biaya kerugian yang harus dibayar oleh CV. XYZ untuk tiap pasang sol karet dengan menggunakan pengaturan yang optimal untuk *CTQ* kuat tarik didapatkan:

$$\begin{aligned}
 L_{\text{tarik.optimal}} &= k \left(\frac{1}{\bar{y}^2} \right) \left[1 + \frac{3s^2}{\bar{y}^2} \right] \\
 &= 2295 \left(\frac{1}{5,5489^2} \right) \left[1 + \frac{3(0,0745)^2}{5,5489^2} \right] \\
 &= 74,5743
 \end{aligned}$$

$$L_{\text{slip.optimal}} = 747,273$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama, maka biaya kerugian dengan menggunakan pengaturan awal dan pengaturan hasil optimasi untuk tiap-tiap *CTQ* kuat tarik dan ketahanan slip ditunjukkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.22 Perhitungan Penurunan Biaya Kerugian

<i>CTQ</i>	Biaya kerugian perpasang (Rp.)			Keterangan
	Pengaturan awal	Pengaturan optimal	Selisih	
Kuat tarik	95,42	74,57	20,85	Menurun 21,85%
Ketahanan slip	1075,06	747,27	327,78	Menurun 30,49%
Total	1170,49	821,84	348,64	Menurun 29,79%

Tabel 4.22 menunjukkan bahwa biaya kerugian per pasang sol karet mengalami penurunan sebesar 21,85% untuk *CTQ* kuat tarik dan sebesar 30,49% untuk *CTQ* ketahanan slip. Dengan demikian total penurunan biaya kerugian per pasang sol karet adalah 29,79% apabila menggunakan pengaturan yang optimal.

Penurunan total biaya kerugian sebesar Rp. 348,64 per pasang. Bila diasumsikan hari kerja adalah 25 hari/bulan dan kapasitas produksi sebesar 720 pasang/hari, maka total penurunan biaya kerugian adalah sebesar $25 \times 720 \times \text{Rp.}348,64 = \text{Rp.} 6.275.570/\text{bulan}$.

Tabel 4.23 Perbandingan Peningkatan dari Deviasi Standar dan Persentase Cacat

Kriteria	Kombinasi Pengaturan		Keterangan
	Awal	Optimal	
Deviasi standar kuat tarik	0,0984	0,0745	Menurun 24,28%
Deviasi standar ketahanan slip	0,0172	0,0072	Menurun 58,29%
% cacat kuat tarik	47,23	0,00	Menurun 47,23%
% cacat ketahanan slip	35,73	0,00	Menurun 35,73%

Tabel 4.23 menunjukkan bahwa deviasi standard *CTQ* kuat tarik menurun sebesar 24,28% apabila dilakukan perbandingan antara penggunaan pengaturan awal dan pengaturan yang optimal. Deviasi standard *CTQ* ketahanan slip menurun sebesar 58,29% apabila dilakukan perbandingan antara penggunaan pengaturan awal dan pengaturan yang optimal. Jumlah produk cacat *CTQ* kuat tarik menurun sebesar 47,23% dan jumlah produk cacat *CTQ* ketahanan slip juga menurun sebesar 35,73%.

Hal ini menunjukkan tercapainya target dalam mengurangi kerugian sol karet apabila menggunakan pengaturan yang optimal.

Tabel 4.24 Perbandingan Kapasitas Produksi Parameter Proses Pengaturan Awal dan Pengaturan Optimal

	Seting awal	Seting optimal	Peningkatan
Kapasitas produksi	720 psg/hari	920 psg/hari	27,78%

Tabel 4.23 menunjukkan adanya peningkatan kapasitas produksi dari 720 pasang/hari menjadi 920 pasang/hari. Hal ini disebabkan oleh menurunnya waktu tahan dari 3 ke 2 menit, sehingga kapasitas produksi juga ikut meningkat.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kontribusi dari parameter-parameter proses yang mengurangi variansi total dari respon yang diamati, yaitu kuat tarik dan ketahanan slip secara serentak adalah:
 - Suhu cetakan sebesar 37,04%.
 - Tekanan setakan sebesar 54,25%.
 - Waktu tahan sebesar 7,37 %.
2. Pengaturan yang tepat dari level-level parameter-parameter proses untuk mengurangi variansi total dari respon yang diamati, yaitu kuat tarik dan ketahanan slip secara serentak adalah:
 - Suhu cetakan pada level 2 (155⁰C).
 - Tekanan cetakan pada level 3 (90 bar).
 - Waktu tahan pada level 1 (2 menit).
3. Penurunan biaya kerugian sol karet yang didapatkan apabila menggunakan pengaturan parameter proses vulkanisasi hasil optimasi adalah sebesar 29,18%.

5.2 Saran

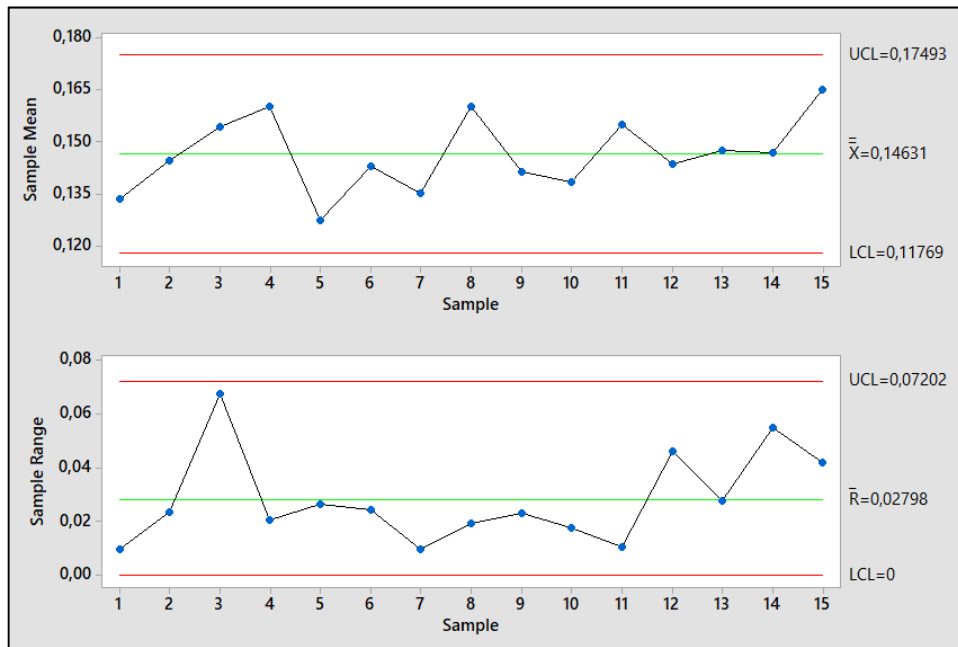
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan keseluruhan karakteristik kualitas dari sol karet sehingga kualitas produk dapat ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

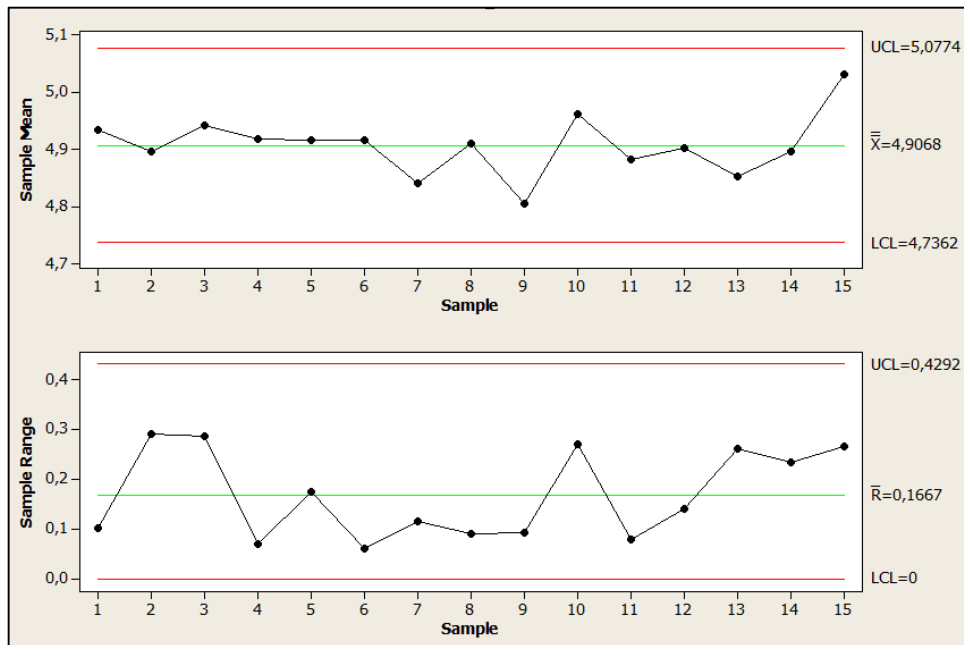
- Bingham, J. A., J. J. Locke, S. Morgan, A.C. Simmons, M. P. Wilson, dan A.W. Wykes (2013), *Basic Shoemaking*, 1st edition, SATRA Technology Centre, Ltd., Kettering.
- Datta, S. dan Mahapatra, S., (2010), “Modelling, Simulation and Parametric of Wire EDM Process Using Response Surface Methodology Couple with Grey-Taguchi Technique,” *International Journal of Engineering, Science and Technology*, Vol. 2, No. 5, hal. 162-183.
- Gallih Bagus,W., B. O. P. Soepangkat, dan I. Krisnanto., (2016), “Multiple-Performance Optimization Of Drilling Parameters And Tool Geometries In Drilling GFRP Composite Stacks Using Taguchi And Grey Relational Analysis (GRA) Method,” *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 11, No. 2, hal. 992-999.
- Groover, M.P., (2010), *Fundamentals of Modern Manufacturing (Materials, Processes, and Systems)*, 4th edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Huang, J.T. dan Liao, Y.S., (2003), “Optimization of Machining Parameter of Wire-EDM Based on Grey Lerational and Statistical Analysis,” *International Journal of Production Research*, Vol. 41, No. 8, hal. 1707-1720.
- Kazancoglu, Y., Esme, U., Bayramoglu, M., Guven, O., dan Ozgun, S., (2011), “Multi-Objective Optimization of the Cutting Forces in Turning Operation Using the Grey-Based Taguchi Methode,” *Journal of Materials and Technology*, Vol. 45, hal. 105-110.
- Kolarik,W.J., (1995), *Creating Quality: Concepts, Systems, Strategies, and Tools*, International edition, McGraw-Hill, New York.
- Lin, C.L. dan Lin, J.L., (2002), “The Use of The Ortoogonal Array With Grey Relational Analysis to Optimize The Electrical Discharge Machining Process With Multiple Performance Characteristic,” *The International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 42, No. 2, hal. 234-244.
- Montgomery, D.C., (2009), *Introduction to Statistical Quality Control*, 6th edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.

- Norcahyo, R. Dan Soepangkat, B. O. P., (2017), "Optimization of Multi Response in End Milling Process of ASSAB XW-42 Tool Steel with Liquid Nitrogen Cooling Using Taguchi-Grey Relational Analysis," *AIP Conference Proceeding 1855*.
- Ross, P.J., (1989), *Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design*, International edition, McGraw-Hill, New York.
- Soejanto, I., (2009), *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Soepangkat, B. O. P., Suhardjono, dan Bambang Pramujati (2017), "Application of Taguchi-Grey Method to Optimize Drilling of EMS 45 Steel Using Minimum Quantity Lubrication (MQL) with Multiple Performance Characteristics," *AIP Conference Proceedings, 1855*.
- Tosun, N. dan Cogun, C., (2003), "An Investigation on Wire Wear in WEDM," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 134, No. 3, hal. 273-278.
- Yang, K. dan El-Halik, B., (2003), *Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development*, McGraw-Hill Companies, Inc., New York.

Lampiran 1. Peta kendali \bar{X} dan R pengaturan awal

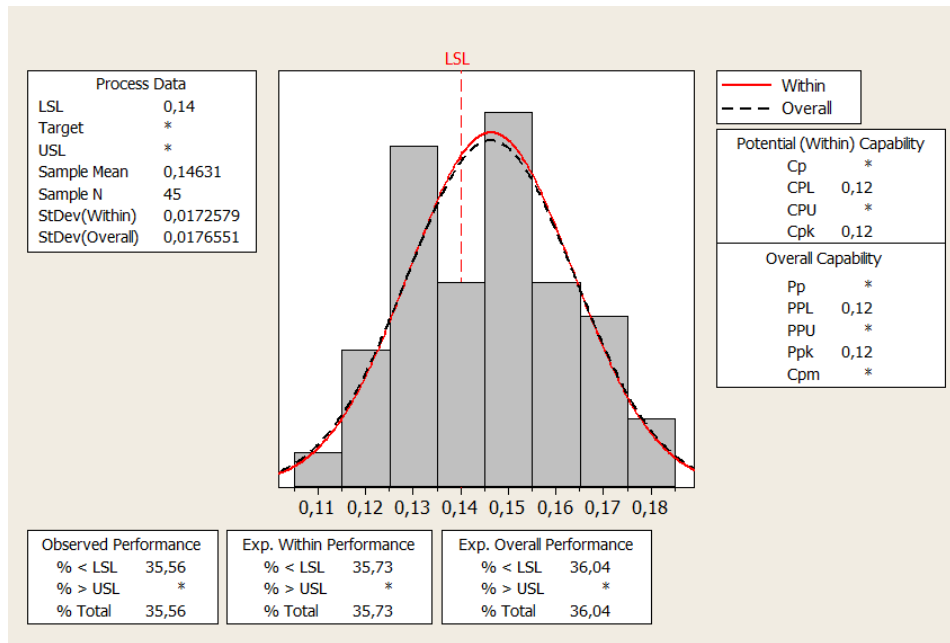


Peta Kendali \bar{X} dan R Pengaturan Awal Untuk CTQ Ketahanan Slip

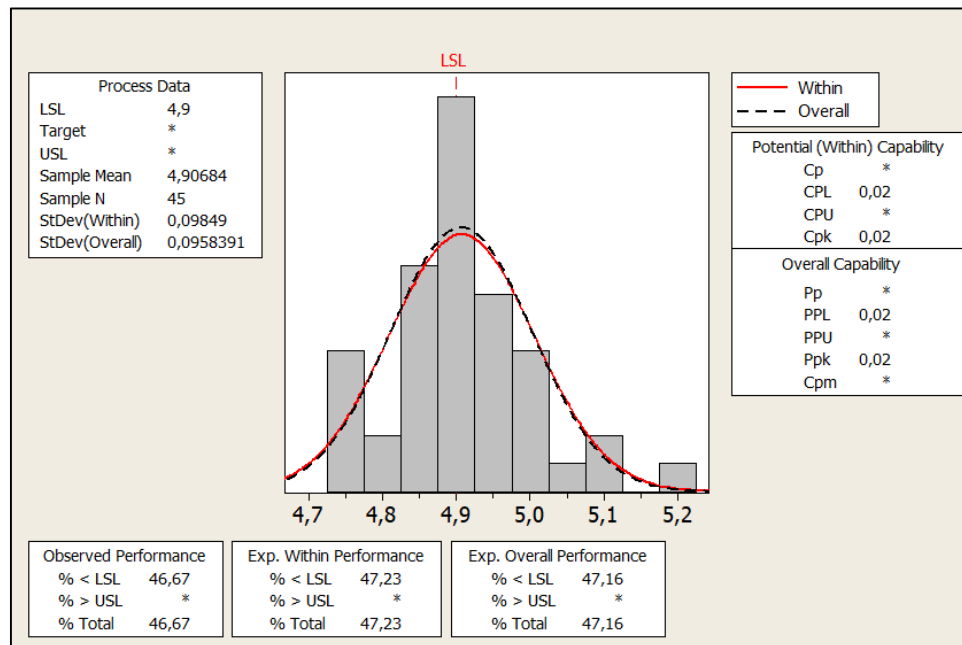


Peta Kendali \bar{X} dan R Pengaturan Awal Untuk CTQ Kuant Tarik

Lampiran 2. Analisa kemampuan proses pengaturan awal

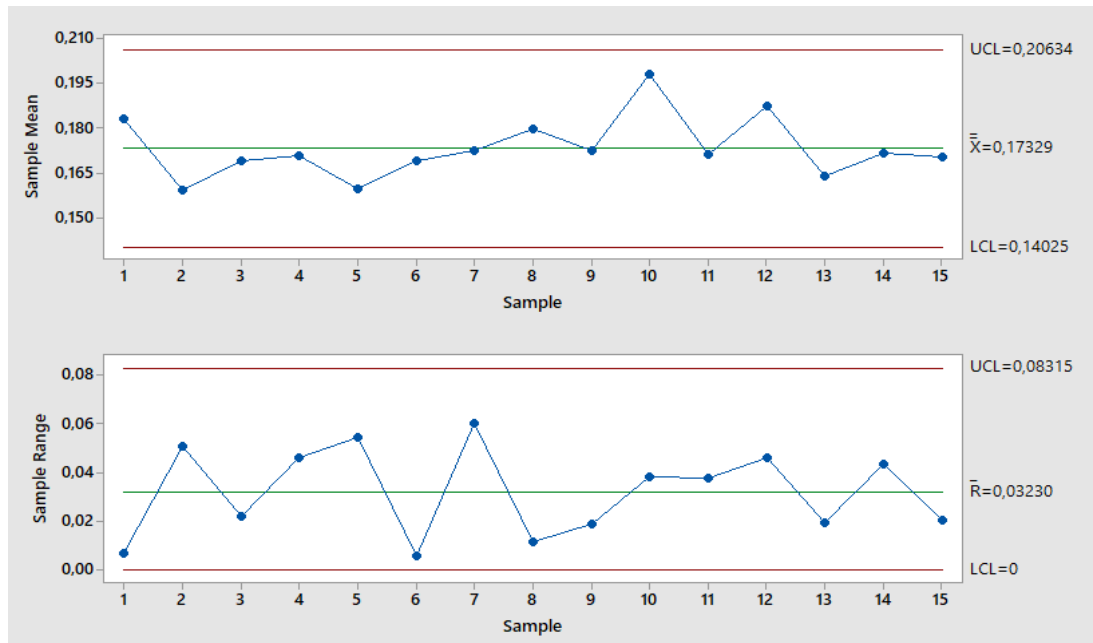


Analisa Kemampuan Proses Pengaturan Awal Untuk *CTQ* Ketahanan Slip

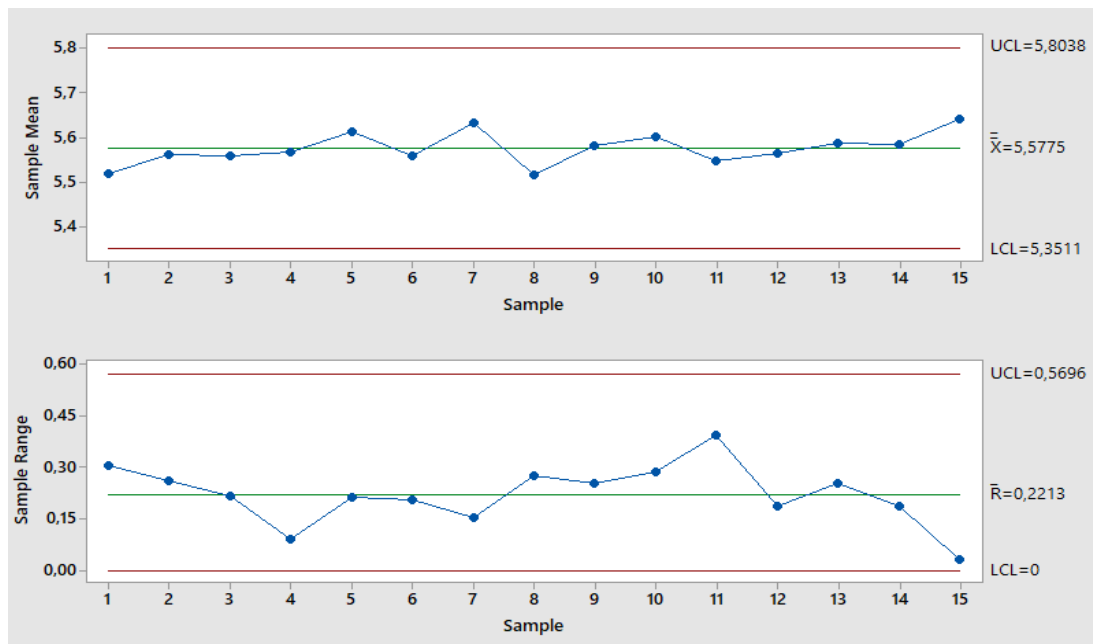


Analisa Kemampuan Proses Pengaturan Awal Untuk *CTQ* Kuat Tarik

Lampiran 3. Peta kendali \bar{X} dan R pengaturan optimal

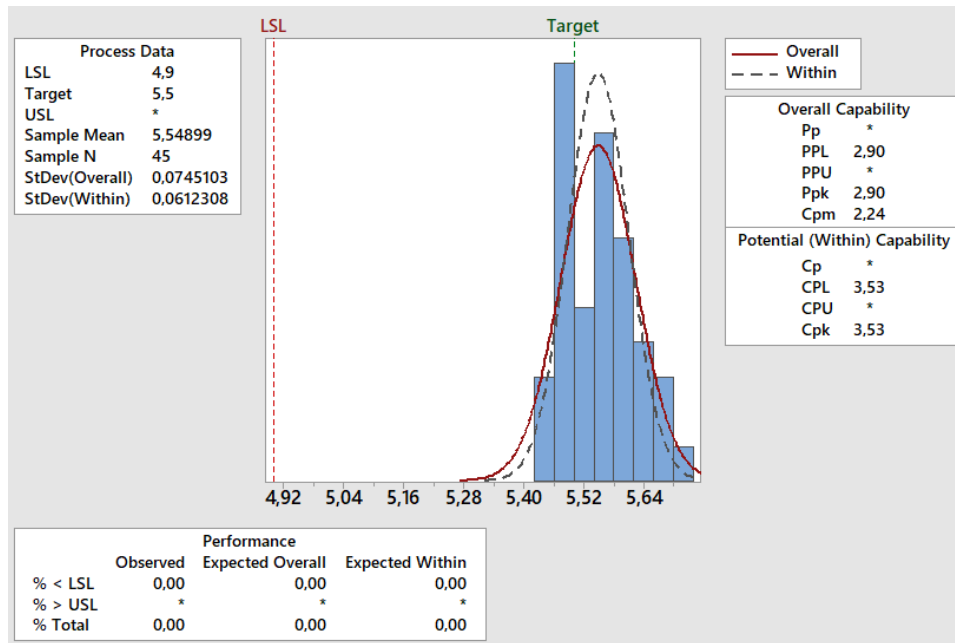


Peta Kendali \bar{X} dan R Pengaturan Optimal Untuk *CTQ* Ketahanan Slip

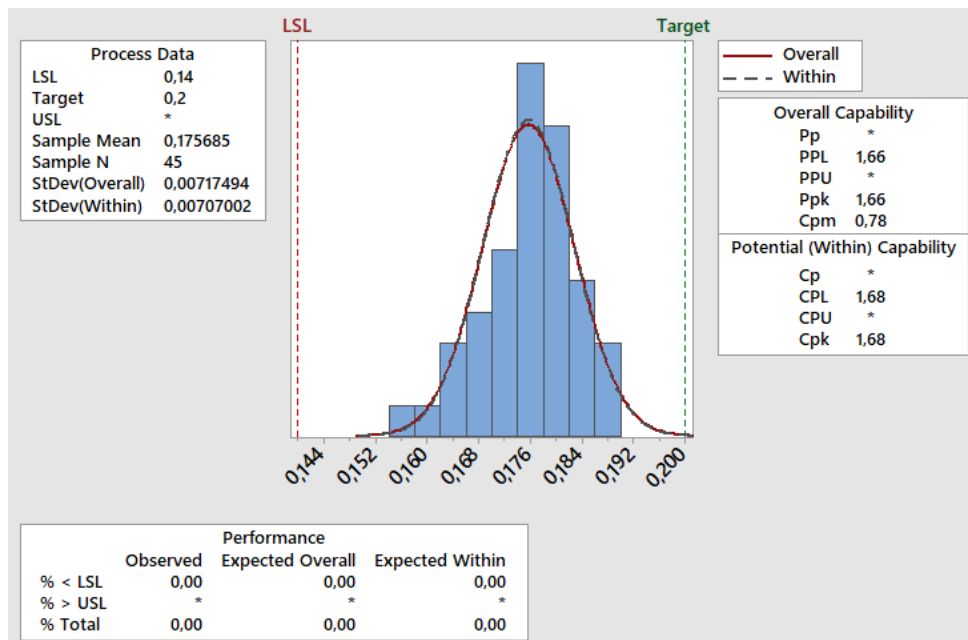


Peta Kendali \bar{X} dan R Pengaturan Optimal Untuk *CTQ* Kuat Tarik

Lampiran 4. Analisis kemampuan proses pengaturan optimal



Analisa Kemampuan Proses Pengaturan Optimal Untuk *CTQ* Kuat Tarik



Analisa Kemampuan Proses Pengaturan Optimal Untuk *CTQ* Ketahanan Slip

Lampiran 5. Analisa GRG dengan menggunakan Minitab 17

General Linear Model: GRG versus C1; C2; C3 |

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
C1	Fixed	3	1; 2; 3
C2	Fixed	3	1; 2; 3
C3	Fixed	3	1; 2; 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
C1	2	0,063214	0,031607	111,20	0,009
C2	2	0,092319	0,046159	162,40	0,006
C3	2	0,013036	0,006518	22,93	0,042
Error	2	0,000568	0,000284		
Total	8	0,169137			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0168592	99,66%	98,66%	93,19%

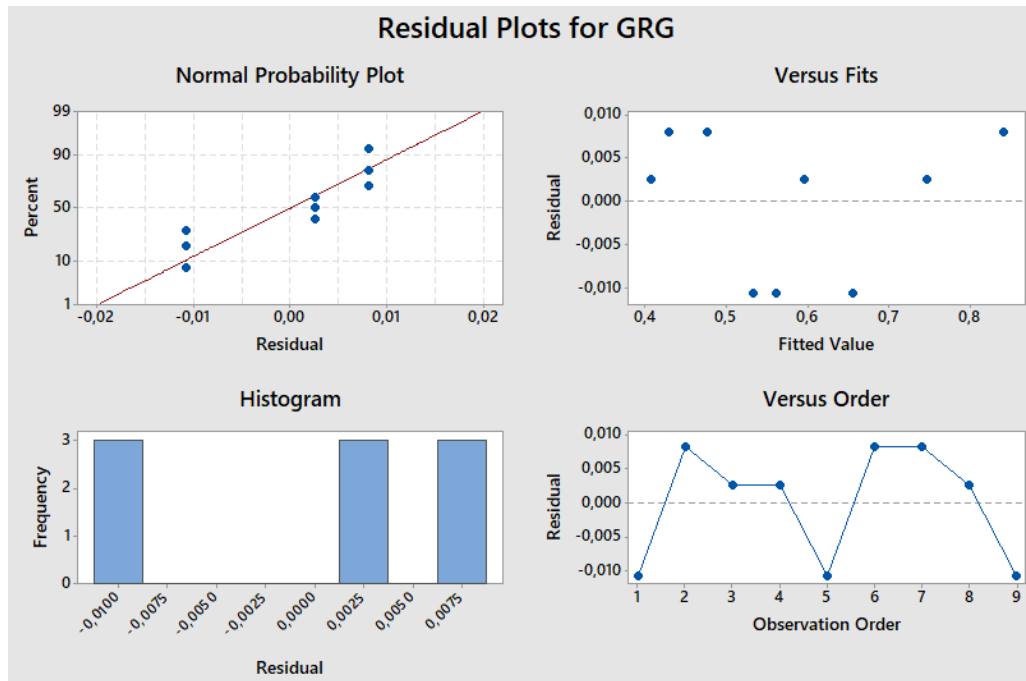
Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,58254	0,00562	103,66	0,000	
C1					
1,0000	0,04333	0,00795	5,45	0,032	1,33
2,0000	0,07388	0,00795	9,30	0,011	1,33
C2					
1	-0,02279	0,00795	-2,87	0,103	1,33
2	-0,11107	0,00795	-13,98	0,005	1,33
C3					
1	0,05177	0,00795	6,51	0,023	1,33
2	-0,03865	0,00795	-4,86	0,040	1,33

Regression Equation

$$\text{GRG} = 0,58254 + 0,04333 \text{ C1}_{1,0000} + 0,07388 \text{ C1}_{2,0000} - 0,11720 \text{ C1}_{3,0000} - 0,02279 \text{ C2}_{1} \\ - 0,11107 \text{ C2}_{2} + 0,13386 \text{ C2}_{3} + 0,05177 \text{ C3}_{1} - 0,03865 \text{ C3}_{2} - 0,01312 \text{ C3}_{3}$$

Lampiran 6. Grafik residual plot untuk GRG dan data Residual



Suhu	Tekanan	Waktu	GRG	RESI1
1	1	1	0,6441	-0,0108
1	2	2	0,4843	0,0082
1	3	3	0,7492	0,0026
2	1	2	0,5976	0,0026
2	2	3	0,5215	-0,0108
2	3	1	0,8502	0,0082
3	1	3	0,4376	0,0082
3	2	1	0,4086	0,0026
3	3	2	0,5498	-0,0108

BIODATA PENULIS



Fajar Alam Yudha, lahir di Kediri pada tanggal 4 Mei 1974, merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formalnya di SDN Pelem I Pare-Kediri, SLTPN 1 Pare-Kediri, dan SMAN 2 Kediri. Setelah lulus pada tahun 1992, penulis mengikuti UMPTN dan diterima di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang. Selama kuliah, penulis juga aktif dalam berbagai organisasi seperti Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM), Team Go-Kart (TGK) Unibraw, Dewan Pertimbangan Mahasiswa (DPM) Teknik dan Himpunan Mahasiswa Mesin Indonesia (HMMI). Penulis menyelesaikan pendidikan Strata 1 Sarjana Teknik Mesin dengan Bidang Konversi Energi pada bulan Mei 1998. Penulis kemudian diterima bekerja di PT. Perdana Karya, pada bulan Agustus 1998. Pada tahun 2003 penulis diterima bekerja di *Indonesian Footwear Service Centre (IFSC)* di Sidoarjo yang pada tahun 2010 berubah menjadi Balai Pengembangan Industri Persepatuan Indonesia (BPIPI). Penulis berkeinginan untuk terus belajar dan menimba ilmu walaupun sudah bekerja. Oleh karena itu, pada bulan Agustus 2016 penulis mengikuti ujian masuk Program Studi Magister Manajemen Teknologi ITS Surabaya dan diterima di Bidang Keahlian Manajemen Industri dengan NRP 9116201302 pada bulan Agustus 2009. Buku Tesis yang berjudul "Optimasi Kuat Tarik dan Ketahanan Slip Pada Proses Vulkanisasi Sol Karet Dengan Gabungan Metode Taguchi dan *Grey Relational Analysis* (Studi Kasus di CV. XYZ Sidoarjo)" telah diselesaikannya dalam 2 semester sebagai syarat akhir kelulusan pendidikan Strata 2.

