



TESIS - BM185407

**PENINGKATAN KUALITAS TALI KARET DENGAN  
OPTIMASI *TENSILE STRENGTH* DAN *TIME CURING*  
MENGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY***

**JEFRI ERWANTO**

**09211 7500 13020**

**Dosen Pembimbing:  
Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc (Eng)**

**Departemen Manajemen Teknologi  
Fakultas Bisnis Dan Manajemen Teknologi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2019**

## LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Manajemen Teknologi (M.MT)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Jefri Erwanto**

**NRP: 09211750013020**

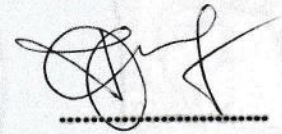
**Tanggal Ujian: 29 Juni 2019**

**Periode Wisuda: September 2019**

Disetujui oleh:

**Pembimbing:**

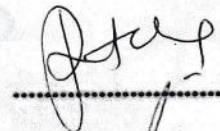
1. **Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc(Eng)**  
**NIP: 196506301990031002**



.....

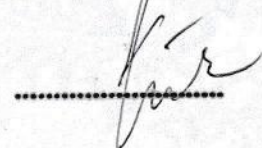
**Penguji:**

1. **Putu Dana Karningsih, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D**  
**NIP: 197405081999032001**



.....

2. **Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D**  
**NIP: 198407062009122007**



.....

**Kepala Departemen Manajemen Teknologi**  
**Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi**



**Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D, CSCP**  
**NIP: 196912311994121076**

# PENINGKATAN KUALITAS TALI KARET DENGAN OPTIMASI TENSILE STRENGTH DAN TIME CURING MENGGUNAKAN RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

Nama Mahasiswa : Jefri Erwanto  
Mahasiswa ID : 09211 7500 13020  
Dosem Pembimbing : Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc (Eng)

## ABSTRAK

Semakin ketatnya persaingan industri alas kaki, membuat setiap perusahaan manufaktur sandal jepit harus menjaga kualitas, harga dan ketersediaan barang dengan baik, Salah satu cara yang bisa dipilih dalam memenangkan persaingan tersebut adalah dengan meminimalkan barang cacat produksi. Dalam proses pembuatannya tali sandal jepit dibedakan menjadi 2 kategori bahan baku utama, yaitu *PVC base* dan *Rubber base*. *Rubber base* memiliki sifat fisik yang terpenting dalam proses produksinya yaitu *Tensile strength* dan *Time curing 90* ( waktu masak 90 ). Permasalahan yang selalu muncul dalam proses produksi tali karet adalah masih ditemukannya nilai uji tarik yang dibawah standart yang ditetapkan, hal ini mengakibatkan terjadinya putus tali karet pada saat proses *assembling* dan itu terjadi di kisaran 2% dari jumlah produksi keseluruhan. Hal ini mengakibatkan kerugian dari segi material, waktu dan tenaga kerja.

Kombinasi respon *Tensile strength* (kekuatan Tarik) dan *Time curing 90* (waktu masak 90) yang optimum didapatkan dengan mengkombinasikan *elastomer*, *filler* dan *co-accelerator* yang paling tepat, sehingga permasalahan tali karet yang berada di bawah standart terselesaikan. Data dari penelitian ini didapatkan dari percobaan secara langsung sebanyak 15 kali berdasarkan rancangan percobaan *box-behnken*. Data hasil percobaan kemudian diolah dan dianalisa dengan menggunakan metode *multiple surface response* dari *software minitab*. Kemudian dilakukan optimasi respon untuk mendapatkan kombinasi nilai respon yang optimal dari target respon yang diharapkan. selanjutnya hasil optimasi diverifikasi ulang dengan percobaan verifikasi sebanyak 3 kali pada respon optimum.

Semua faktor meliputi *elastomer*, *filler* dan *co-accelerator* berpengaruh signifikan terhadap respon *tensile strength* dan *time curing*. Dengan komposisi *elastomer* = 70 *PHR*, *filler* = 30 *PHR*, dan *co-accelerator* = 1.47 *PHR*. Nilai optimum untuk respon *tensile strength* adalah 15 kg/cm<sup>2</sup> dan *time curing* adalah 3.5 menit. Hasil optimasi tersebut memberikan kenaikan kapasitas produksi sebesar 12,5%. Namun berdasarkan pada serapan pasar pada 1 tahun sebelumnya, perusahaan tidak mengambil langkah untuk menaikkan kapasitas produksi melainkan melakukan pengembangan produk pada basis *polimer polyurethane* dan targer pasar *modern market*.

**Kata kunci** : alas kaki, *tensile strength*, *time curing*, optimasi respon, *surface response*, Analisis Regresi

# **OPTIMIZATION OF TENSILE STRENGTH AND TIME CURING IN PRODUCTION PROCESS OF RUBBER STRAP BY USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY**

**Name : Jefri Erwanto**  
**Student Identity Number : 09211 7500 13020**  
**Supervisor : Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc (Eng)**

## **ABSTRACT**

The tight competition in the footwear industry, especially for flip-flops product makes every manufacturer of flip flops have to maintain the quality, price and availability of goods well. One way that can be chosen in winning the competition is to minimize production defects, so will not effect other costs that add to the expenses included in the cost of goods sold. In the process of making strap of sandals, the categories are divided into 2 main raw materials, namely PVC base and Rubber base. The rubber base has the most important physical properties in the production process, namely Tensile strength and curing time 90. The problem that always arises in the rubber strap production process is the fact that the tensile test value is below the standard set, this implies the breaking of the rubber strap during the assembling process with the footprint and it occurs in the range of 9 - 11% of the total production. This results in material, time and labor losses.

The combination of the optimum response for Tensile strength and Time curing 90 is obtained by combining the elastomer, filler and co-accelerator that are most appropriate at certain level factors is the best way to overcome the tensile test value which is below the standard set . Data from this study have been obtained from 15 direct experiments based on Response Surface Methodology by using box-behknen experimental design. The experimental data processed and analyzed using the Minitab 18 and response optimization was performed to get the optimal response value combination from the expected target response, then the optimization results were re-verified with 3 times the verification experiment in the optimum response.

The analysis shows that all factors including elastomer, filler and co-accelerator have a significant effect on tensile strength and time curing responses. The best composition composition of the material to get the optimal combination of responses from certain response limits is the elastomeric composition = 70 PHR, filler = 30 PHR, and co-accelerator = 1.47 PHR. The optimum value for tensile strength response is 15 kg / cm<sup>2</sup> and time curing is 3.5 minutes. The results of the optimization provide an increase of 12,5% in production capacity. However, based on market absorption in the previous 1 year, the company did not take steps to increase production capacity but the company will develop products on a polyurethane polymer base and change the target to modern market.

**Key words :** flip flop, tensile strength, time curing, response optimization, Response Surface Methodology, Regression analysis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	5
1.3. Tujuan Penelitian .....	5
1.4. Batasan dan Asumsi Penelitian .....	6
1.5. Manfaat Penelitian .....	7
1.6. Sistematika Penulisan .....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>9</b>
2.1. Desain kompon tali karet .....	9
2.2. Proses pembuatan tali karet .....	14
2.3. Kualitas uji tali karet .....	18
2.3.1 <i>Time Curing</i> .....	19
2.3.2 <i>Tensile Strength</i> .....	22
2.4. Desain Eksperimen .....	23
2.4.1 Mengenali permasalahan yang diteliti .....	23
2.4.2 Menyeleksi Variabel Respon .....	24
2.4.3 Menentukan faktor dan level faktor .....	24
2.4.4 Memilih rancangan percobaan .....	24
2.4.5 Melaksanakan percobaan .....	26
2.4.6 Analisis Statistik dari Hasil Percobaan .....	27
2.4.7 Koefisien Korelasi .....	28
2.4.8 Koefisien Determinasi.....	28

2.4.9 Pengujian Model Regresi.....	28
2.4.10 Grafik ( <i>plot</i> ) Permukaan Respon.....	30
2.4.11 Optimasi Respon.....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1. Langkah – langkah penelitian.....	33
3.2. Variabel respon.....	34
3.3. Penentuan faktor dan Level faktor.....	34
3.4. Rancangan Percobaan.....	35
3.5. Pelaksanaan Percobaan .....	36
3.6. Skala percobaan kompon tali karet.....	36
3.7. Pengolahan data .....	37
3.8. Pembuatan dan pengujian model.....	38
3.9. Optimasi respon.....	38
3.10. Validasi dan Perhitungan Harga Kompon .....	38
3.11. <i>Run Test</i> skala produksi luaran optimasi .....	39
3.12. Evaluasi hasil <i>Run Test</i> .....	39
3.13. Rekomendasi hasil <i>Run Test</i> .....	40
<b>BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA .....</b>	<b>41</b>
4.1 Pelaksanaan Percobaan.....	41
4.2 Hasil Percobaan dan Analisis Data.....	43
4.2.1 Analisis Regresi untuk Respon <i>Tensile strength</i> .....	45
4.2.2 Analisis Regresi untuk Respon <i>Time Curing 90</i> .....	47
4.2.3 Pengujian Asumsi Residual Tentang Persamaan Regresi....	49
4.2.4 Optimisasi Respon .....	54
4.2.5 Verifikasi Hasil Optimisasi Respon.....	56
4.2.6 <i>Surface Plot</i> dan <i>Contour Plot</i> dari Respon.....	60
4.2.7 Perhitungan biaya (harga) Kompon .....	59
4.2.8 Perhitungan kapasitas produksi.....	60
4.2.9 <i>Run Test</i> skala produksi luaran optimasi.....	61
4.2.10 Evaluasi hasil <i>Run Test</i> .....	61

4.2.11 Rekomendasi hasil <i>Run Test</i> .....	62
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>64</b>
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>68</b>
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	<b>74</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Bagian – bagian utama sandal .....	3
Gambar 2.1	Bentuk fisik Karet alam (RSS) .....	9
Gambar 2.2	Bentuk fisik bahan pengisi ( $\text{CaCO}_3$ ).....	10
Gambar 2.3	Bentuk fisik bahan pemvulkanisasi (Sulfur).....	10
Gambar 2.4	Bentuk fisik bahan pencepat Vulknasasi (TMTD) .....	11
Gambar 2.5	Bentuk fisik bahan antidegradan (BHT).....	12
Gambar 2.6	Bentuk fisik bahan <i>Processing Aid</i> (DEG).....	12
Gambar 2.7	Bentuk fisik bahan penggiat (Steric Acid & ZnO) .....	13
Gambar 2.8	Bentuk fisik bahan pencegah vulakniasi dini .....	13
Gambar 2.9	Proses Mastikasi Karet .....	14
Gambar 2.10	<i>Operation Process Chart</i> pembuatan tali karet .....	15
Gambar 2.11	Proses mixing kompon tali karet .....	16
Gambar 2.12	Proses Calendering kompon tali karet .....	17
Gambar 2.13	Proses <i>Cutting and layering</i> kompon tali karet .....	17
Gambar 2.14	Proses <i>Calendering</i> kompon tali karet.....	18
Gambar 2.15	Produk jadi tali karet.....	18
Gambar 2.16	3 Fase <i>Curing time</i> .....	19
Gambar 2.17	Instrumen MDR 20.0.....	20
Gambar 2.18	Dimensi bentuk standar dari sampel karet.....	21
Gambar 2.19	grafik permukaan respon .....	30
Gambar 3.1	diagram alir langkah Penelitian .....	33
Gambar 4.1	Uji Normal Residual Tensile Strenght.....	50
Gambar 4.2	Uji Normal Residual Time Curing 90 .....	51
Gambar 4.3	Grafik Autocorrelation untuk residual Tensile Strength .....	52
Gambar 4.4	Grafik Autocorrelation untuk residual Time Curing 90 .....	52
Gambar 4.5	Grafik Residual versus Fitted Value untuk Tensile Strenght ....	53
Gambar 4.6	Grafik Residual versus Fitted Value untuk Time Curing 90 .....	54



Gambar 4.7	Grafik optimasi respon.....	55
Gambar 4.8	Gambar permukaan (surface plot) untuk respon Time Curing .	58
Gambar 4.9	Gambar kontur (contour plot) untuk respon Time Curing 90...	58
Gambar 4.10	Grafik target penjualan vs permintaan pasar.....	62

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Distibusi data hasil uji kekuatan Tarik ( <i>Tensile Strenght</i> ).....	1
Tabel 1.2	Distribusi jumlah tali karet putus akibat uji kekuatan Tarik yang nilainya di bawah standart .....	2
Tabel 2.1	<i>Analysis Of Variance</i> .....	29
Tabel 3.1	Faktor dan level faktor yang digunakan dalam penelitian .....	35
Tabel 3.2	Rancangan percobaan box-behnken .....	36
Tabel 4.1	Hasil percobaan dengan menggunakan desain box-behnken...	44
Tabel 4.2	Hasil Analisis Regresi untuk respon <i>Tensile Strenght</i> .....	45
Tabel 4.3	Hasil <i>Analysis of Variance</i> untuk respon <i>Tensile Strenght</i> .....	46
Tabel 4.4	Hasil Analisis Regresi untuk respon <i>Time Curing 90</i> .....	47
Tabel 4.5	Hasil <i>Analysis of Variance</i> untuk respon <i>Time Curing 90</i> .....	48
Tabel 4.6	Nilai batasan optimasi respon .....	55
Tabel 4.7	Hasil Optimasi .....	56
Tabel 4.8	Hasil verifikasi respon .....	57
Tabel 4.9	Perhitungan Harga Kompon .....	59
Tabel 4.10	Total rata – rata biaya produksi bulanan produk .....	60
Tabel 4.11	Perhitungan kapasitas produksi .....	60

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Semakin ketatnya persaingan industri alas kaki khususnya sandal jepit, membuat setiap perusahaan manufaktur sandal jepit harus menjaga kualitas, harga dan ketersediaan barang dengan baik, sehingga mampu bersaing dengan kompetitor di pasar sandal jepit. Salah satu cara yang bisa dipilih dalam memenangkan persaingan tersebut adalah dengan meminimalkan barang cacat produksi. Dengan minimnya barang cacat produksi tersebut membuat efisiensi produksi tinggi sehingga tidak menimbulkan biaya – biaya lain yang menambah beban yang termasuk dalam harga pokok penjualan produk

Permasalahan dalam industri saat ini adalah ditemukannya beberapa produk yang memiliki *tensile strength* rendah (  $< 12 \text{ kg/cm}^2$  ) sehingga pada proses *assembling* dengan bagian tapak sandal, tali karet tersebut putus dengan tarikan beban rendah. Data distribusi pengamatan *tensile strength* dalam proses produksi tali karet dapat dilihat pada tabel 1.1

**Tabel 1.1** Distribusi data hasil uji kekuatan Tarik ( *Tensile strength* )

Periode	Hasil Uji Kekuatan Tarik ( <i>Tensile strength</i> – $\text{kg/cm}^2$ )		
	$< 12$	12 – 14	$> 14$
Oktober 2018	1.7%	67.3%	31%
Nopember 2018	1.5%	61%	37.5%
Desember 2018	1.9%	55.1%	43%

Tabel di atas menunjukkan bahwa setiap nilai uji  $< 12 \text{ kg/cm}^2$  akan sangat menghambat proses *assembling* antara bagian tapak sandal dan bagian tali karet sandal.

Hambatan tersebut diperinci pada tabel 1.2 sebagai berikut :

**Tabel 1.2** Distribusi jumlah tali karet putus akibat uji kekuatan Tarik yang nilainya di bawah standart

target produksi harian	5000	lusin
target produksi bulanan ( 25 hari )	125000	lusin

jumlah tali karet dengan uji kekuatan tarik dibaawah standart	
Oktober 2018	1.7%
Nopember 2018	1.5%
Desember 2018	1.9%

jumlah tali karet putus pada saat proses <i>assembly</i> dengan tapak		
Oktober 2018	1063	lusin
Nopember 2018	938	lusin
Desember 2018	1188	lusin

Akibat adanya kekuatan tarik dari karet yang berada di bawah standart maka kemungkinan untuk putusnya tali karet pada saat proses *assembling* dengan tapak juga akan semakin besar. barang jadi sandal japit lengkap dengan tali karet putus akan menjadi barang yang ditolak karena di luar spesifikasi produk. kerugian yang disebabkan oleh hal ini berkisar Rp. 8.000.000 untuk jumlah tali karet yang putus selama proses *assembling*. Sehingga apabila berkelanjutan hal ini akan merugikan perusahaan baik dari segi bahan baku karena harus ada proses pembuatan ulang tali karet dan juga proses pelepasan tali karet yang putus tersebut dari tapaknya yang membutuhkan waktu yang lama.

Dengan diselesaikannya permasalahan ini nantinya akan mengurangi biaya akibat putusnya tali karet yang berdampak pada turunnya harga pokok penjualan (HPP) sehingga mampu menaikkan daya saing perusahaan. Selain capaian mutu tali karet, optimasi juga mampu memberikan kenaikan efisiensi produksi sehingga hal tersebut akan meningkatkan daya saing perusahaan karena berdampak langsung pada turunnya harga pokok penjualan (HPP).

Secara umum sandal jepit terdiri dari 2 penyusun utama yaitu tapak dan tali. Bagian tapak adalah bagian dimana kaki kita berpijak sedangkan tali adalah bagian untuk menjaga bagian tapak dan kaki kita selalu berkaitan erat. Gambar bagian – bagian utama sandal ditunjukkan pada gambar 1.1



**Gambar 1.1** bagian – bagian utama sandal

Dalam proses pembuatannya tali sandal jepit dibedakan menjadi 2 kategori bahan baku utama, yaitu *PVC base* dan *Rubber base*.

1. *PVC base*

Pada bahan baku utama ini digunakan *Polyvinyl Chloride*. Proses pembuatannya dimulai dari proses pencampuran antara PVC, *Plasticizer*, *Stabilizer* dan pigment sampai dengan injeksi ke dalam cetakan yang diinginkan.

2. *Rubber base*

Pada bahan baku utama ini digunakan karet alam. Proses pembuatannya dimulai dari proses mastikasi karet sampai dengan proses vulkanisasi yang dilakukan di *hot press* dengan suhu operasi, tekanan dan waktu tertentu sehingga menjadi lembaran tali karet yang memiliki sifat – sifat fisik tertentu yang dikehendaki, sifat – sifat yang terpenting dalam proses produksi tali karet adalah sebagai berikut :

1. *Tensile strength* ( kekuatan Tarik )

2. *Time curing 90* ( waktu masak 90 )

Kedua bahan baku utama dalam proses pembuatan tali sandal jipit yang berbeda, membuat *properties* tali yang dihasilkan nantinya juga berbeda, apabila tali karet memiliki standart kekuatan Tarik sebesar 12 – 14 kg/cm<sup>2</sup>, maka pada tali PVC kekuatan tariknya > 20 kg/cm<sup>2</sup>. Sehingga pada proses lanjutan permasalahan kekuatan Tarik hanya akan terjadi pada tali karet.

Bahan dalam penelitian ini yang akan dilakukan optimasi untuk membuktikan adanya hubungan faktor dari respon diatas adalah jenis karet yang digunakan jenis SIR (*Standart Indonesia Rubber*) 20 , BROWN 2X & RSS (*Ribbed Smoked Sheet*) 2 sebagai bahan baku utama dan dominan, bahan pengisi jenis reinforced *filler* CaCO<sub>3</sub> sebagai bahan yang paling dominan setelah karet dan juga *Co-accelerator Titanium Dioxide* ( TiO<sub>2</sub> ) sebagai bahan pencepat vulkanisasi. Bahan – bahan lainnya dalam proses produksi tali karet tidak memberikan efek yang besar terhadap *Tensile strength* ( kekuatan Tarik ) & *Time curing 90* ( waktu masak 90 ) karena bahan – bahan lainnya ditambahkan guna mempermudah proses produksi, memberikan warna pada tali karet dan memberikan ketahanan pakai pada produk jadi. Sehingga untuk dapat menghasilkan luaran sifat tali karet yang memenuhi faktor *Tensile strength* & *Time curing 90* dibutuhkan kombinasi penggunaan jenis *elastomer*, *filler* serta *co-accelerator* yang tepat.

Semakin besar nilai *tensile strength* maka kekuatan tarik tali karet tersebut semakin baik yang berakibat pada masa pakai tali karet tersebut. Semakin cepat *Time curing 90* maka semakin baik yang berakibat pada efisiensi waktu *hot press* produksi tali karet. Namun hal tersebut tidak mutlak untuk selalu dicapai yang paling tinggi dan paling cepat, sebab pada *tensile strength* terdapat faktor lain dimana *tensile strength* dibuat dari *range* tertentu untuk menghasilkan masa pakai waktu tertentu. Pada *Time curing 90* semakin cepatnya waktu juga tidak sepenuhnya mutlak harus dicapai karena apabila *Time curing 90* terlalu cepat maka yang terjadi adalah vulkanisasi dini sehingga *Time curing 90* harus tetap dijaga lebih besar dari *Time Scorching* (waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi cetakan tali karet).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, masalah pada penelitian ini adalah untuk mendapatkan *tensile strength* dan *time curing 90* yang optimum, agar permasalahan dapat terselesaikan dan memberikan gambaran kepada industri manufaktur alas kaki secara lebih rinci, dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menyelesaikan permasalahan terhadap produk jadi tali karet yang memiliki kualitas di luar standart yang telah ditetapkan ?
2. Berapa harga kompon pada komposisi dan karakteristik optimum dan perbandingannya apabila dibandingkan dengan harga kompon yang sedang digunakan untuk proses produksi tali karet ?
3. Berapa jumlah penghematan yang bisa dilakukan dengan peningkatan kualitas uji tarik tali karet dengan optimasi formulasi yang telah dilakukan ?
4. Bagaimana respon perusahaan terhadap luaran hasil optimasi berupa *Time curing 90* dan *tensile strength* yang telah didapatkan ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyelesaikan permasalahan terhadap produk jadi tali karet yang memiliki kualitas di luar standart yang telah ditetapkan
2. Mengetahui harga kompon pada komposisi dan karakteristik optimum dan perbandingannya apabila dibandingkan dengan harga kompon yang sedang digunakan untuk proses produksi tali karet
3. Mengetahui jumlah penghematan yang bisa dilakukan dengan peningkatan kualitas uji tarik tali karet dengan optimasi formulasi yang telah dilakukan.
4. Mengetahui respon perusahaan terhadap luaran hasil optimasi berupa *Time curing 90* dan *tensile strength* yang telah didapatkan

#### 1.4 Batasan dan Asumsi Penelitian

Agar dalam penulisan dan pelaksanaan penelitian ini bisa terfokus maka ditentukan batasan – batasan masalah sebagai berikut :

1. Proses *mixing* untuk mendapatkan kompon yang digunakan untuk kebutuhan penelitian ini dilakukan pada alat *kneader close mixer* dan *open roll mill 8"* dengan kapasitas satu kali proses 4 kg kompon yang dihasilkan
2. Proses *vulcanizing* menggunakan alat *hot press* dengan temperatur operasi 160<sup>0</sup>C dan tekanan 150 kg/cm<sup>2</sup> yang nantinya digunakan untuk membuat cuplikan dalam uji *tensile strength*
3. Proses penentuan *Time Curing 90* dilakukan dengan menggunakan alat Rheometer jenis *Moving Disk Rheometer* dari Alpha Technologies

Asumsi yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Keseluruhan alat laboratorium yang digunakan baik itu untuk kebutuhan proses pembuatan sample uji dan yang digunakan untuk pengujian sample yaitu *tensile tester* dan *rheometer* beroperasi dengan baik karena melalui proses tera dan verifikasi berkala.
2. Bahan yang melalui proses *mixing* dan *calendaring* telah homogen karena dilakukan berdasarkan pada T1, T2 dan T3 yang masing – masing T tersebut berarti lama waktu pada periode 1,2 dan 3, sehingga perlakuan proses di setiap uji nantinya adalah sama.
3. Kemampuan / keahlian operator pada mesin *kneader close mixer*, *open roll mill* dan *hot press* adalah sama, karena operator telah melalui proses pelatihan dan tertempek instruksi kerja alat yang jelas di setiap mesin.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Luaran dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan masukan pada industri sandal tentang pengaruh kandungan bahan *elastomer*, *filler* dan *co-accelerator* terhadap *Time curing 90* dan *tensile*



*strength* sehingga dapat digunakan untuk memperoleh komposisi yang tepat dan menghasilkan kulit tali karet yang optimum sehingga mampu mengurangi kerugian yang diakibatkan oleh kualitas produk yang di luar spesifikasi dan menghasilkan efisiensi produksi yang lebih tinggi.

2. Memberikan Nilai tambah bagi produsen karena peningkatan kualitas produk tali karet dengan *tensile strength* yang optimum akan menambah daya saing produk perusahaan dan efisiensi proses bisa dicapai dengan pencapaian *time curing* yang optimum.
3. Memberikan Nilai tambah bagi konsumen sandal karena adanya peningkatan kualitas produk.
4. Memberikan wawasan tambahan mengenai proses pembuatan tali karet pada sandal dan penerapan statistic metode *Response surface methodology* untuk optimasi sifat fisik tali karet.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai penelitian yang dilakukan, maka disusunlah suatu sistematika penulisan. Adapun sistematika penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut :

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan dan asumsi penelitian, manfaat penelitian serta sistematika penulisan.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini memberikan landasan teori yang digunakan dalam penelitian, hal tersebut terkait *box-behnken design*, eksperimen factorial 3f, optimasi respon dan *response surface methodology* agar rumusan masalah yang telah tertulis di BAB I bisa diselesaikan

### **BAB III: METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas tentang metode – metode yang digunakan dalam penelitian dan juga langkah – langkah yang dilakukan dalam rangkan mencapai respon optimum yang diharapkan.

#### **BAB IV: PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA**

Pembahasan pelaksanaan percobaan dan juga pengolahan data dengan menggunakan software minitab untuk mendapatkan solution yang dikehendaki ssrta verifikasi hasil optimasi.

#### **BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini memberikan kesimpulan atas apa yang telah dilakukan sesuai dengan rancangan percobaan dan memberikan saran atas apa yang disimpulkan dari percobaan yang telah dilakukan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Desain kompon tali karet**

Dalam menyusun formula atau merancang kompon yang spesifikasi teknisnya ditentukan oleh konsumen, selain harus memperhatikan sifat – sifat vulkanisat yang harus memenuhi persyaratan juga perlu memperhatikan biaya kompon dan tahap pengolahannya (Suharto, 2000).

Umumnya kompom tali karet terdiri dari beberapa campuran bahan, diantaranya polimer sebagai bahan baku dan bahan kimia lainnya yang ditambahkan untuk membentuk sifat fisik dari tali karet yang dikehendaki, bahan – bahan tersebut diabtaranya sebagai berikut :

1. Bahan karet mentah (*elastomer*), yaitu bahan dasar yang digunakan untuk membuat karet. Pemilihan jenis karet mentah yang digunakan dalam pengolahan kompon karet akan menentukan sifat-sifat barang jadi karet yang dihasilkan dan juga mempengaruhi harga dari barang jadinya. Contoh dari jenis *elastomer* adalah SBR, BR, NBR, EPDM dan *Natural Rubber*. Bahan *elastomer* NR (*Natural Rubber*) mempunyai Struktur molekul karet alam adalah *cis-1,4-polyisoprene*, karet alam mempunyai kelemahan diantaranya bersifat tidak tahan terhadap ozon, minyak dan suhu tinggi (Kahar, 2003) sedangkan keunggulannya yaitu mempunyai sifat ketahanan kikis dan ketahanan sobek yang sangat baik, daya pantul tinggi dan vulkanisatnya kuat dan tahan lama.. (Arizal, 2000). Gambar fisik *natural rubber* bisa dilihat pada gambar 2.1 berikut :



**Gambar 2.1** Bentuk fisik Karet alam (RSS)

2. Bahan pengisi (*filler*), adalah bahan yang digunakan sebagai bahan pengisi dari *elastomer* yang berfungsi untuk meningkatkan sifat fisik dari karet. Bahan pengisi dibagi atas dua golongan yaitu, yaitu golongan bahan pengisi tidak aktif dan golongan pengisi aktif. Bahan pengisi aktif akan meningkatkan kekerasan, ketahanan sobek, ketahanan kikis dan tegangan putus, sedangkan penambahan bahan pengisi tidak aktif hanya akan menambah kekerasan dan kekakuan pada vulkanisat. Jenis bahan pengisi diantaranya adalah white carbon, carbon black, dan kaolin. (Arizal, 2000). Gambar fisik bahan pengisi bisa dilihat pada gambar 2.2 berikut :



**Gambar 2.2** Bentuk fisik bahan pengisi ( $\text{CaCO}_3$ )

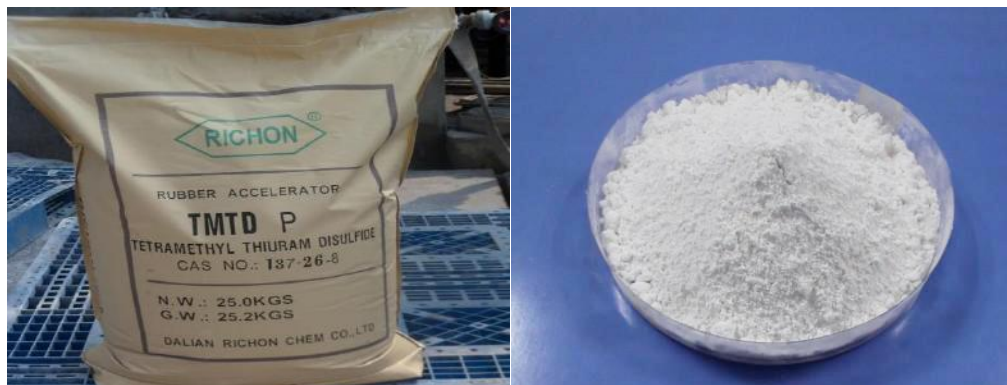
3. Bahan pemvulkanisasi (*vulcanizing agent*), adalah bahan kimia yang berfungsi sebagai bahan pem-vulkanisasi untuk mengkonversi molekul – molekul karet yang bebas menjadi satu jaringan tiga dimensi melalui pembentukan ikatan silang. Melalui vulkanisasi molekul karet diubah dari bersifat termoplastik menjadi elastic. Beberapa jenis *vulcanizing agent* misalnya Sulfur & DCP. (Suharto, 2000). Gambar fisik bahan pemvulkanisasi bisa dilihat pada gambar 2.3 berikut :



**Gambar 2.3** Bentuk fisik bahan pemvulkanisasi (Sulfur)

4. Bahan pencepat vulkanisasi (*accelerator*), adalah bahan kimia yang berfungsi untuk mempercepat reaksi vulkanisasi karet (kematangan karet) karena komposisi yang hanya mengandung bahan vulkanisasi saja pematangan karetnya masih berlangsung sangat lambat dan membutuhkan bahan pemvulkanisasi dalam jumlah banyak, temperature yang tinggi, waktu vulkanisasi yang lama dan nantinya akan menghasilkan efisiensi vulkanisasi yang rendah, *tensile strength* yang rendah dan aging yang buruk. Jenis *accelerator* misalnya TMTD, MBTS. (Arizal, 2000).

Penggunaan dua atau lebih akselerator secara simultan lebih menguntungkan untuk aplikasi teknologi karena sistem kombinasi akselerator menunjukkan aktivitas vulkanisasi yang lebih tinggi (sinergisme) daripada akselerator tunggal secara terpisah. Interaksi antara akselerator pada sistem biner menghasilkan senyawa reaktif yang akan terdekomposisi menjadi radikal bebas atau ion-ion. Senyawa tersebut dapat menginisiasi reaksi antara sulfur dengan karet dan pada akhirnya proses pembentukan ikatan silang. Gambar fisik bahan pencepat vulkanisasi bisa dilihat pada gambar 2.4 berikut :



**Gambar 2.4** Bentuk fisik bahan pencepat Vulkanisasi (TMTD)

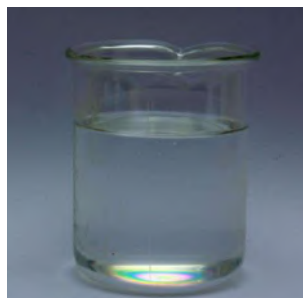
5. Bahan antidegradan, yaitu bahan kimia yang berfungsi sebagai bahan pelindung karet dari pengaruh luar yang dapat menyebabkan degradasi. Karet yang molekulnya mempunyai ikatan rangkap mudah diserah oleh oksigen dan ozon. (Nabil et al, 2012 ).

Tipe ikatan silang dan jumlah serta jenis bahan pengisi juga berpengaruh terhadap ketahanan vulkanisat terhadap pengaruh yang dapat menyebabkan karet terdegradasi. Untuk melindungi barang karet dari kerusakan yang disebabkan oksigen dan ozon dari udara, maka kedalam kompon karet perlu ditambahkan *anti-oksidan dan anti-ozonan*. Contoh dari bahan antidegradan misalnya Flectol H & BHT. (Arizal, 2000). Gambar fisik bahan antidegradan bisa dilihat pada gambar 2.5 berikut :



**Gambar 2.5** Bentuk fisik bahan antidegradan (BHT)

6. *Processing Aid*, yaitu bahan kimia yang digunakan untuk memudahkan proses pengolahan kompon karet, misalnya DEG. Gambar fisik bahan *Processing Aid* bisa dilihat pada gambar 2.6 berikut :



**Gambar 2.6** Bentuk fisik bahan *Processing Aid* (DEG)

7. Bahan penggiat (*Aktivator*), yaitu bahan yang digunakan untuk menggiatkan kerja dari bahan pencepat. Pada umumnya bahan pencepat organik tidak akan berfungsi secara efisien tanpa bahan penggiat. Bahan penggiat yang umum dipakai adalah kombinasi dari ZnO dan Asam Stearat. (Arizal, 2000). Gambar fisik bahan antidegradan bisa dilihat pada gambar 2.7 berikut :



**Gambar 2.7** Bentuk fisik bahan penggiat (Steric Acid & ZnO)

8. Bahan pencegah vulkanisasi dini (*Prevulcanisation Inhibitor*), yaitu bahan yang mencegah vulkanisasi dini pada proses vulkanisasi. Bila waktu vulkanisasi terlalu pendek atau temperature terlalu tinggi, produk mungkin belum sempurna ketika vulkanisasi sudah selesai sehingga mengganggu *flow* di dalam bahan cetakan. Pencegahan vulkanisasi dini sebenarnya masih dapat dilakukan dengan cara kombinasi bahan pencepat primer dan sekunder. Jenis bahan pencegah vulkanisasi dini yaitu Asam benzoate & Asam Salisilat. (Arizal, 2000). Gambar fisik bahan antidegradan bisa dilihat pada gambar 2.8 berikut :



**Gambar 2.8** Bentuk fisik bahan pencegah vulkanisasi dini

9. Bahan pewarna (pigment), yaitu bahan yang ditambahkan dalam kompon karet yang berfungsi sebagai pewarna. Pewarna yang digunakan dalam pengolahan karet harus memiliki syarat diantaranya adalah mudah terdispersi, tahan panas dan tidak sensitive terhadap bahan kimia karet yang ada di dalam kompon karet. (Arizal, 2000).

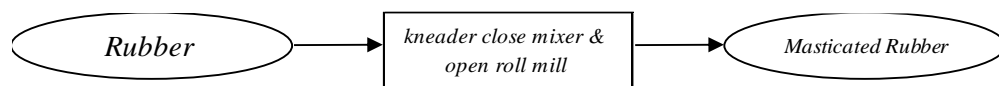
## 2.2 Proses pembuatan tali karet

Dalam pembuatan kompon tali karet yang sudah dijelaskan pada penjelasan dengan menggunakan banyak komposisi bahan maka dalam proses karet alam yang berbentuk padat mempunyai keterbatasan untuk bercampur dengan material lain sehingga perlu perlakuan pendahuluan terhadap karet tersebut. Rangkaian proses dalam perlakuan dan pembuatan kompon tali karet dapat dilihat pada gambar 2.15 dan dengan rincian sebagai berikut :

### 1. *Mastication*

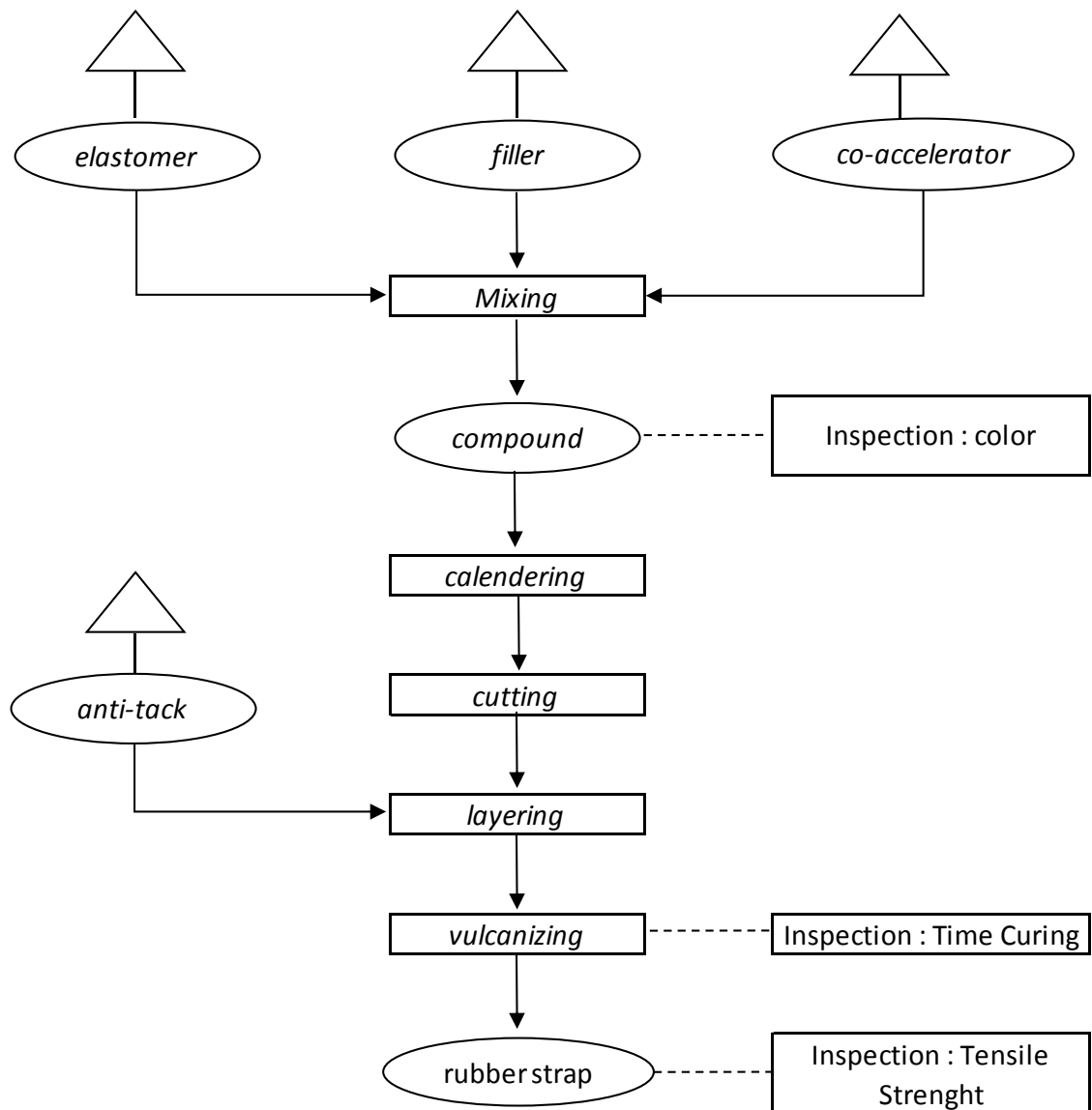
Proses *mastication* (mastikasi) yaitu proses perlakuan pendahuluan karet guna menurunkan viskositas atau berat molekul karet. Gaya geser yang ditimbulkan dari dua uah rotor yang berputar memutuskan ikatan (rantai) molekul karet sehingga dengan putusnya ikatan molekul tersebut memungkinkan karbon dan bahan kimia lainnya dapat berikatan dengan karet. (Maurits, 2000)

Proses *mastication* dilakukan pada alat *kneader close mixer* selama 8 menit dan *open roll mill* sebanyak 4x turunan. Gambaran proses *mastication* bisa dilihat pada gambar 2.9 berikut :

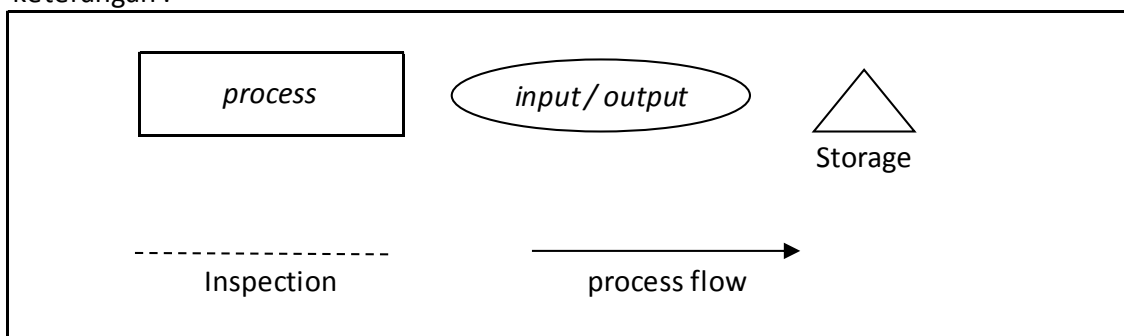


**Gambar 2.9** Proses Mastikasi Karet





keterangan :



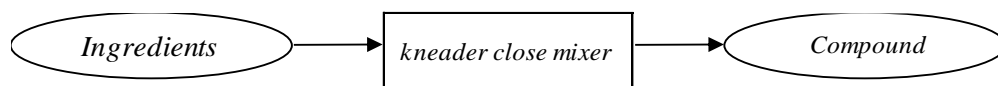
**Gambar 2.10** Flow Chart proses pembuatan tali karet

## 2. *Mixing*

proses pencampuran (*mixing*) antara bahan baku *elastomer*, bahan pengisi (*filler*) dan bahan kimia additive yang lain pada mesin mixer sehingga menjadi kompon karet. Proses *mixing* disegemntasi menjadi beberapa bagian proses, dimulai dari pengisian ke dalam mesin *mixer* untuk bahan dengan kekerasan tinggi dan berukuran besar sampai dengan bahan yang tidak tahan dengan panas pada tahap terakhir.

Mesin yang digunakan dalam proses pencampuran ini bersifat tertutup dan non – kontinyu. Penggolongannya dibagi menjadi 2 tipe menurut design rotor atau cara pencampuran di dalam ruang pencampuran, yaitu tipe *non-intermeshing* dan *intermeshing*. Kelompok yang termasuk tipe *non-intermeshing* adalah mesin banburry, bolling dan warner-pfleiderer dan tipe *intermeshing* adalah intermix fraancais shaw.

Pada tipe *intermeshing*, aksi geser gumpalan kompon tali karet terjadi di dalam celah antara rotor dengan ruang pencampuran, sedangkan pada tipe *intermeshing* aksi geser gumpalan kompon terjadi di dalam celah antara kedua rotor (Maurits, 2000). Gambaran proses *Mixing* bisa dilihat pada gambar 2.10 berikut :

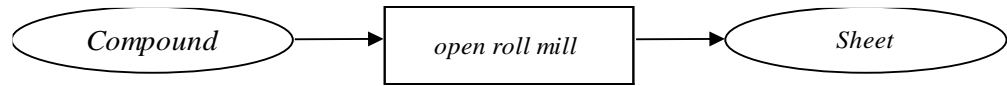


**Gambar 2.11** Proses mixing kompon tali karet

## 3. *Calendering*

Proses *calendering* adalah proses yang dilakukan untuk homogenisasi kembali kompon hasil *mixing* dan membuat kompon hasil *mixing* menjadi *sheet* tipis pada mesin calender sesuai dengan ketebalan yang diinginkan pada proses selanjutnya.

Ketebalan tersebut nantinya akan dikonversikan menjadi berat dengan dimensi panjang dan lebar dilakukan pengaturan pada proses *cutting*. Gambaran proses *Calendering* bisa dilihat pada gambar 2.11 berikut :

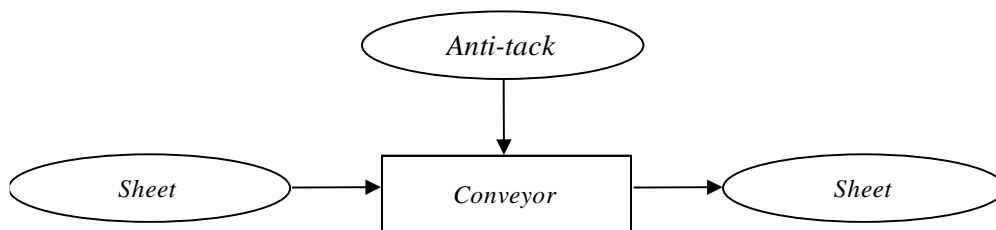


**Gambar 2.12** Proses *Calendering* kompon tali karet

#### 4. *Cutting and layering*

Proses *cutting* dilakukan untuk mendapatkan dimensi yang diinginkan pada setiap jenis tali karet sandal yang dikehendaki, semakin besar dimensi panjang dan lebar sheet maka semakin besar pula nomor tali karet sanda yang akan dihasilkan dan juga sebaliknya.

Proses *layering* adalah proses pelapisan kompon yang telah terbentuk dengan menggunakan zat *anti-tack* yang bertujuan untuk mencegah lengket antara bahan pada saat proses penyimpanan. Gambaran proses *Cutting and layering* bisa dilihat pada gambar 2.12 berikut :



**Gambar 2.13** Proses *Cutting and layering* kompon tali karet

#### 5. *Vulcanization*

*Vulcanization* (vulkanisasi) disebut juga “*cure*” adalah suatu proses mengaplikasikan tekanan dan panas kepada campuran *elastomer* dan bahan kimia untuk menurunkan plastisitas dan meningkatkan elastisitas dengan cara mengkonversi molekul – molekul karet yang bebas menjadi satu jaringan tiga

dimensi melalui pembentukan ikatan silang (Suharto, 2000). Gambaran proses *Vulcanization* bisa dilihat pada gambar 2.13 berikut :



**Gambar 2.14** Proses *Calendering* kompon tali karet

Desain kompon tali karet dan proses produksi tali karet pada halaman sebelumnya merupakan kesatuan bahan dan proses yang tidak bisa dikurangi dalam proses pembuatan tali karet. Gambaran produk jadi tali karet bisa dilihat pada gambar 2.14 berikut :



**Gambar 2.15** Produk jadi tali karet

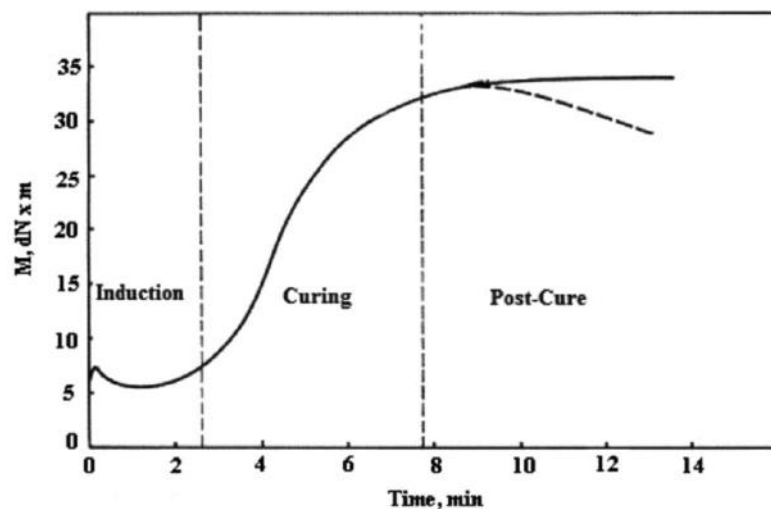
### 2. 3 Kualitas Uji Tali Karet

Pada *Operation Process Chart* pembuatan tali karet dilakukan 3 inspeksi terkait kualitas tali karet. Inspeksi pertama yaitu inspeksi warna kompon tali karet hasil dari proses mixing, hal ini dilakukan secara visual dan sangat sering terjadi perbedaan warna pada kompon karet yang dihasilkan karena pemilihan / penggolongan jenis karet yang digunakan telah dilakukan pada proses mastikasi. Inspeksi selanjutnya yaitu *Time curing* dan *Tensile strength*, inspeksi *Time curing*

dilakukan untuk menjamin waktu matang dari kompon yang dihasilkan telah sesuai dengan waktu operasi hot press yang beroperasi secara otomatis. Sedangkan inspeksi *Tensile strength* dilakukan untuk menjamin uji Tarik dari tali karet yang dihasilkan memenuhi standart kualitas produk untuk menjamin kepuasan pelanggan.

### 2. 3. 1 Time curing

Time *Curing* merupakan waktu yang diperlukan sejak awal pemanasan untuk mematangkan kompon sampai kematangan optimum (Wicaksono et al, 2004). Proses *Curing* pada kompon karet dibagi menjadi 3 fase berbasis waktu yaitu : waktu *Induction*, *Curing* dan *Post – cure*. 3 fase berbasis waktu tersebut ditunjukkan pada gambar 2.16 berikut :



Gambar 2.16 3 Fase *Curing time*

Tiga fase berbasis waktu pada proses *Curing* yaitu :

1. *Induction*

Pada tahap tahap ini sampel karet dimasukkan ke dalam rongga yang dipanaskan dari rheomer dan modulus gesernya turun karena pelunakan senyawa, namun cross-link belum terbentuk (Karaagac et al, 2012)

## 2. *Curing*

Pada tahap ini ikatan silang terjadi dalam senyawa karet. Sebagai hasil dari pembentukan jaringan ikatan silang tiga dimensi, elastisitas dan kekuatan tarik dari karet maka kurva torsi pada karet juga akan meningkat.

## 3. post-cure

pada tahap ini nilai torsi akan berkurang atau tetap konstan tergantung pada jenis *curing agent* yang digunakan (Zhang et al, 2010).

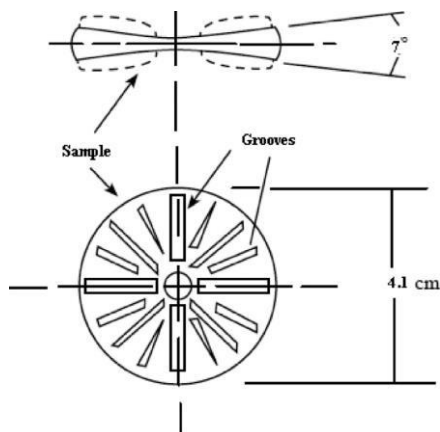
Karena langkah post-cure biasanya memiliki efek yang tidak diinginkan pada kualitas dan sifat fisik produk akhir, hal ini menjadi perlu untuk mengoptimalkan proses *curing* (Javadi et al, 2011).

*Moving Die Rheometer* (MDR) adalah alat eksperimental yang banyak digunakan untuk menentukan kurva kematangan suatu kompon karet. MDR diakui sebagai standar dunia untuk teknologi kematangan karet. MDR 20.0 mampu mengukur perubahan *stiffness* sampel karet. Instrumen MDR 20.0 yang dibuat oleh Alpha Technologies, ditunjukkan pada Gambar. 2.17



**Gambar 2.17** Instrumen MDR 20.0

Dimensi bentuk standar dari sampel karet diberikan pada Gambar. 2.18 berikut :



**Gambar 2.18** Dimensi bentuk standar dari sampel karet

Sampel terletak di antara dua pelat yang dipanaskan di mana yang lebih rendah beresilasi secara *sinusoidally*. Instrumen MDR mengukur respons torsi sampel karet selama proses uji kematangan berdasarkan ASTM D5289 (Mohammad et al, 2016)

Keluaran data MDR meliputi torsi elastisitas maksimum ( $S'_{MH}$ ) dan minimum ( $S'_{ML}$ ), torsi viskos pada elastisitas maksimum ( $S''_{MH}$ ), waktu *scorch* (TS2) dan waktu optimum vulkanisasi (TC90). *Cure rate index* (CRI) merupakan pengukuran indeks kecepatan reaksi berdasarkan perbedaan TC90 dan TS2 yang dihitung dengan persamaan ( 2.1 ) berikut : (Ihda et all, 2014)

$$CRI = \frac{(TC\ 90 - TS2)}{100} \quad ( 2.1 )$$

*Setup goal* untuk *Time Curing 90*, dipilih *target is best*. Untuk pilihan ini ditetapkan nilai target (*target value*), batas bawah (*lower bound*) dan batas atas (*upper bound*). Penentuan nilai *upper bound* mengacu pada standard perusahaan.

- Nilai target (*target value*) = 3.5 menit
- Nilai batas bawah (*lower bound*) = 3 menit
- Nilai batas atas (*upper bound*) = 4 menit

### 2.3.2 Tensile strength

Kekuatan tarik merupakan salah satu sifat dasar dari bahan polimer yang terpenting dan sering digunakan untuk karakteristik suatu bahan polimer. Kekuatan tarik suatu bahan didefinisikan sebagai besarnya beban maksimum ( $F_{maks}$ ) yang digunakan untuk memutuskan spesimennya bahan dibagi dengan luas penampang awal ( $A_0$ ) yang dihitung dengan persamaan ( 2.2 ) berikut :

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0} \quad (2.2)$$

Dimana :

$\sigma$  = kekuatan tarik (kgf / mm<sup>2</sup> )

$F_{maks}$  = beban maximum (kgf)

$A_0$  = luas penampang awal (mm<sup>2</sup> )

Bila suatu bahan dikenakan beban tarik yang disebut tegangan maka bahan akan mengalami perpanjangan (regangan). Kurva tegangan terhadap regangan merupakan gambaran karakteristik dan sifat mekanik suatu bahan. Pertambahan panjang ( $\Delta l$ ) yang terjadi akibat gaya tarikan yang di berikan pada sampel uji disebut deformasi. Dan regangan merupakan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang mula – mula yang dinyatakan dalam persamaan ( 2.3 ) berikut :

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dengan :

$l_0$  = panjang mula – mula

$l$  = panjang akhir

$\varepsilon$  = nilai kemuluran

*Setup goal* untuk *Tensile strength*, dipilih *target is best*. Untuk pilihan ini ditetapkan nilai target (*target value*) dan batas bawah (*upper bound*). Penentuan nilai *lower bound* mengacu pada standard perusahaan.



- Nilai target (*target value*) = 15 kg/cm<sup>2</sup>
- Nilai batas bawah (*normal value*) = 14 kg/cm<sup>2</sup>
- Nilai batas bawah (*lower bound*) = 18 kg/cm<sup>2</sup>

## 2. 5 Desain Eksperimen

Desain eksperimen merupakan suatu rancangan percobaan yang digunakan dalam upaya untuk menemukan sesuatu tentang proses atau sistem. Suatu sistem memiliki *input* dan faktor yang mempengaruhi proses dalam menghasilkan *output*. Setiap langkah eksperimen telah diidentifikasi sehingga data yang diperlukan dapat dikumpulkan dengan lengkap untuk menghasilkan suatu analisis yang obyektif dan lengkap dalam mendukung suatu kesimpulan. (Montgomery et al, 2009)

Rancangan percobaan dibuat untuk memahami bagaimana mengoptimalkan *setting* variabel-variabel faktor yang mempengaruhi respon, dalam hal ini berupa sifat karet antara lain *tensile strength* dan *Time Curing 90* dari karet yang dihasilkan untuk mendapatkan kombinasi nilai respon yang terbaik.

Secara garis besar, langkah-langkah penting dalam perancangan suatu desain eksperimen adalah:

1. Mengenali masalah yang akan diteliti
2. Menentukan variabel faktor dan level faktornya
3. Menentukan variabel respon
4. Memilih rancangan percobaan
5. Melaksanakan percobaan
6. Melakukan analisis statistik dari hasil percobaan.

### 2.5.1 Mengenali permasalahan yang diteliti

Untuk mengenali permasalahan yang akan diteliti dalam masalah karet, diperlukan pengetahuan tentang desain kompon karet (*science*), pengalaman (*experience*) dan kreatifitas (*art*) dalam mendesain kompon. Hal ini disebabkan kualitas karet yang dihasilkan dipengaruhi oleh komposisi kompon karet (formula), proses pembuatan dan sistem *curingnya* (*curing system*).

### **2.5.2 Menyeleksi Variabel Respon**

Respon adalah suatu nilai yang diperoleh dari hasil percobaan dari variabel inputnya (faktor). Dalam menyeleksi variabel respon, peneliti harus mempertimbangkan dari pengalaman riset desain yang lalu (*history*), dari hasil percobaan dan dari literatur tentang pembuatan karet. Analisa hasil percobaan dapat digunakan untuk memilih respon yang dipengaruhi signifikan oleh perubahan nilai faktornya. Nilai variabel respon yang diperoleh dari percobaan merupakan dugaan dari nilai sebenarnya. Penyimpangan ini disebabkan karena adanya kesalahan eksperimen (*experiment error*), kesalahan ini dapat ditimbulkan karena faktor lingkungan (alam), keterbatasan alat ukur, keterbatasan mesin dan kesalahan karena faktor manusia.

### **2.5.3 Menentukan faktor dan level faktor**

Faktor adalah variabel bebas yang perubahan nilai-nya akan mempengaruhi hasil respon-nya. Untuk menentukan faktor, diperlukan pengetahuan dan data desain yang lalu (*data history*) tentang masalah yang akan diteliti. Dalam hal ini yaitu pembuatan kompon tali karet. Hal ini sangat diperlukan, agar dalam penentuan faktor dan *level factor* benar-benar merupakan variabel yang mempengaruhi respon yang akan diteliti. Pertimbangan dalam penentuan level faktor berdasarkan data *history* desain kompon sejenis yang ada dari berbagai referensi literatur dan dari percobaan pendahuluan (*pre-experiment*) untuk mengetahui apakah faktor yang dipilih berpengaruh cukup signifikan terhadap respon yang dihasilkan.

### **2.5.4 Memilih rancangan percobaan**

Dalam memilih rancangan percobaan, peneliti harus memilih jenis rancangan percobaan, dengan pertimbangan antara lain: jumlah sampel, randomisasi percobaan (*run order*) dan jumlah replikasi percobaan.

Jumlah replikasi adalah suatu komposisi variabel faktor yang sama atau pengulangan percobaan. Tujuannya untuk memaksimalkan keragaman antar kelompok dan meminimumkan keragaman dalam kelompok yang lebih homogen.

Randomisasi adalah suatu perlakuan percobaan dimana masing-masing percobaan dikenai perlakuan yang sama, tujuannya adalah untuk menghilangkan bias dan menjamin keabsahan data percobaan.

*Blocking* adalah kelompok dari beberapa kelompok, dimana setiap kelompok terdiri dari beberapa unit kelompok yang lebih kecil, jumlah elemen dari beberapa masing-masing kelompok bisa sama atau berbeda. (Box et al, 2005)

#### **2.5.4.1 Metode permukaan respon**

Response Surface Methodology (RSM) merupakan kumpulan teknik matematik dan statistik yang digunakan untuk modeling dan analisis permasalahan pada respon yang dipengaruhi oleh beberapa variabel dan bertujuan memperoleh optimasi respon (Montgomery, 2009).

Metode ini digunakan untuk menganalisa hubungan antara satu atau lebih variabel respon (*output*) dengan sejumlah variabel faktor (*input*), serta bertujuan mengoptimumkan respon tersebut.

Tujuan metode permukaan respon adalah untuk:

- Mendapatkan *setting* variabel bahan (*input*) yang tepat untuk menghasilkan respon (*output*) yang optimal.
- Mendapatkan *setting* variabel bahan yang memenuhi spesifikasi proses operasional.
- Mengidentifikasi kondisi *setting* faktor yang baru untuk memperbaiki kualitas dari kondisi saat ini.
- Memberikan suatu model hubungan antara faktor dan respon.

Dalam penggunaan metode permukaan respon, terdapat dua jenis pilihan desain yaitu:

- a. *Central Composite Design*, yang direkomendasikan untuk desain eksperimen yang sekuensial (*sequential experimentation*).
- b. *Box-Behnken Design* merupakan perencanaan desain yang digunakan untuk desain eksperimen yang tidak sekuensial (*non*

*sequential experimentation*), dimana hanya direncanakan untuk satu kali eksperimen. Untuk desain dengan jumlah faktor yang sama, jumlah eksperimen yang dilakukan lebih sedikit dibandingkan dengan *Central Composite Design*.

Salah satu perbedaan box-behnken design dengan central composite design adalah pada box-behnken adalah tidak ada axial/star runs pada rancangannya. Tidak adanya axial/star runs ini menyebabkan box-behnken lebih efisien dalam rancangan, karena melibatkan lebih sedikit unit percobaan.

### **2.5.5 Melaksanakan percobaan**

Dalam pelaksanaan percobaan, peneliti harus benar-benar memperhatikan faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses percobaan yang dapat menyebabkan data yang dihasilkan menjadi kurang akurat. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil percobaan antara lain:

- Proses keakuratan penimbangan bahan-bahan yang dipakai.
- Faktor kondisi mesin *mixer* dan mixer selama masa penggunaan yang berulang (suhu ruang aduk & silinder).
- Faktor supply steam yang harus stabil sesuai dengan suhu dan tekanan yang dikehendaki

### **2.5.6 Analisis Statistik dari Hasil Percobaan**

Analisis statistik yang tepat sangat diperlukan untuk pengambilan keputusan atau kesimpulan dari hasil percobaan. Semakin akurat data percobaan, maka hasil analisa akan semakin akurat. Untuk analisa statistik dapat dilakukan dengan menggunakan *tools* dengan program komputer, misalnya *Software Minitab*

#### **a. Analisis Regresi**

Analisis regresi menghasilkan penaksiran suatu model matematis yang digunakan untuk memprediksi nilai-nilai dari variabel respon (Y) dengan dasar nilai dari variabel faktor (X) dari hasil desain eksperimen. Hubungan antara variabel

faktor dan responnya digambarkan dalam bentuk regresi. Model matematisnya digambarkan sebagai berikut : (Kutner, 2005)

- Persamaan regresi orde satu:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \varepsilon$$

- Persamaan regresi orde dua:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$$

Dimana:

- $y$  = variabel tidak bebas
- $\beta_0$  = titik potong kurva (*intercept*)
- $\beta_0, \beta_1, \beta_2 \dots \beta_k$  = koefisien regresi
- $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$  = variabel bebas
- $\varepsilon$  = error

### 2.5.7 Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi menunjukkan kedekatan hubungan antara nilai X dan nilai Y. Semakin besar koefisien korelasi, maka semakin besar pengaruh X terhadap Y.

Koefisien korelasi dilambangkan dengan R dan nilainya terletak antara  $-1 < R < +1$ . Jika  $R < 0$  maka semakin besar nilai X akan menyebabkan nilai Y semakin kecil. Jika  $R > 0$  maka semakin besar nilai X akan menyebabkan nilai Y semakin besar (Kutner, 2005)

### 2.8.8 Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi ( $R^2$ ) adalah salah satu nilai statistik yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah ada hubungan pengaruh antara dua variabel (variabel X dan Y). Nilai koefisien determinasi menunjukkan persentase total variasi nilai variabel dependen (Y) yang dapat dijelaskan oleh persamaan regresi yang dihasilkan. Koefisien determinasi nilainya terletak antara  $0 \leq R^2 \leq 1$ . Semakin

besar  $R^2$ , maka semakin besar pula pengaruh semua variabel X terhadap variabel Y. Misalnya  $R^2$  dari perhitungan 0.85, maka berarti bahwa total variasi nilai Y yang dapat dijelaskan oleh model persamaan regresi adalah 85% dan sisanya yaitu 15% adalah variasi nilai variabel Y yang dipengaruhi oleh variabel lain yang berada diluar model

## **2.5.9 Pengujian Model Regresi**

### **2.5.9.1 ANOVA**

*Analysis of variance* adalah teknik perhitungan yang secara kuantitatif memungkinkan dapat mengestimasi kontribusi pengaruh dari setiap faktor pada respon.

**Tabel 2.1 Analysis Of Variance**

Sumber Variasi	Sum Of Square	df	Mean Square	F
A	$SSA = \sum_{j=1}^a \frac{y^2_{i.}}{bcn} - \frac{y^2_{..}}{abcn}$	a-1	$MSA = \frac{SSA}{a-1}$	$\frac{MSA}{MSE}$
B	$SSB = \sum_{j=1}^b \frac{y^2_{.i}}{acn} - \frac{y^2_{..}}{abcn}$	b-1	$MSB = \frac{SSB}{b-1}$	$\frac{MSB}{MSE}$
C	$SSC = \sum_{k=1}^c \frac{y^2_{..i}}{acn} - \frac{y^2_{..}}{abcn}$	c-1	$MSC = \frac{SSC}{c-1}$	$\frac{MSC}{MSE}$
AB	$SSAB = \sum_{\alpha=1}^a \sum_{k=1}^b \frac{y^2_{kj.}}{cn} - \frac{y^2_{..}}{abcn} - SSA - SSB$	(a-1)(b-1)	$MSAB = \frac{SSAB}{(a-1)(b-1)}$	$\frac{MSAB}{MSE}$
AC	$SSAC = \sum_{\alpha=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{y^2_{l.k.}}{bn} - \frac{y^2_{..}}{abcn} - SSA - SSC$	(a-1)(c-1)	$MSAC = \frac{SSAC}{(a-1)(c-1)}$	$\frac{MSAC}{MSE}$
BC	$SSBC = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{y^2_{.jk}}{an} - \frac{y^2_{..}}{abcn} - SSB - SSC$	(b-1)(c-1)	$MSBC = \frac{SSBC}{(b-1)(c-1)}$	$\frac{MSBC}{MSE}$
ABC	$SSABC = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{y^2_{.ijk.}}{an} - \frac{y^2_{..}}{abcn} + (-SSA - SSB - SSC - SSAB - SSAC - SSBC)$	(a-1)(b-1)(c-1)	$MSABC = \frac{SSABC}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	$\frac{MSABC}{MSE}$
Error	$SSE = SSr - SS_{xxx} (ABC)$	abc(n-1)	$MSE = \frac{SSE}{abc(n-1)}$	
Total	$SSR = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^r y^2_{ikl} - \frac{y^2_{..}}{abcn}$	abcn-1		

**b. Pengujian Persamaan Regresi**

Pengujian persamaan regresi dilakukan dengan menguji hipotesa untuk menentukan kesignifikan persamaan regresi.

### c. Pengujian Simpangan Model (*lack of fit*)

Uji simpangan model dilakukan untuk melihat ada tidaknya *lack of fit* dalam model. Hipotesa yang digunakan adalah:

$H_0$  = tidak ada *lack of fit*,  $H_1$  = ada *lack of fit*

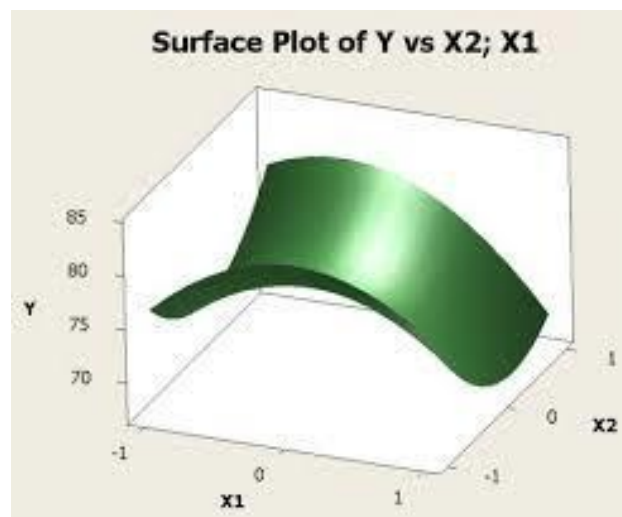
Tolak  $H_0$  : jika  $F_{\text{lack of fit}} > F_{(\alpha, m-k, n-m)}$

atau tolak  $H_0$ , jika  $P_{\text{value}} < \alpha$  berarti ada *lack of fit*

atau terima  $H_0$ , jika  $P_{\text{value}} > \alpha$  berarti tidak ada *lack of fit*

### 2.5.10 Grafik (*plot*) Permukaan Respon

Plot permukaan respon adalah grafik (*plot*) dari dua variabel terhadap suatu respon untuk menganalisis besarnya kedua variabel tersebut yang memberikan respon yang diharapkan. Grafik ini merupakan grafik tiga dimensi, dimana sumbu x untuk variabel X1, sumbu y untuk variabel X2 dan sumbu z untuk respon Y. Gambar grafik permukaan respon bisa dilihat pada gambar 2.19 berikut :



**Gambar 2.19** grafik permukaan respon



### 2.5.11 Optimasi Respon

Optimasi respon akan memberikan kondisi optimal untuk kombinasi variabel input dan grafik optimasi (*optimization plot*), dengan *Software Minitab*, dapat mengubah setting variabel input pada gambar secara interaktif untuk mendapatkan solusi yang diinginkan (*desirable solutions*). Optimalisasi respon diperoleh dengan:

1. Menghitung *individual desirability* ( $d$ ) untuk masing-masing respon.
2. Mengkombinasikan *individual desirability* ( $d$ ) untuk memperoleh kombinasi *desirability* atau *composite desirability* ( $d$ ).
3. Memaksimumkan *the composite desirability* dan mengidentifikasi setting variabel input yang menghasilkan respon yang optimal.

Ada tiga tujuan yang bisa dipilih untuk mendapatkan *individual desirability* ( $d$ ), yaitu:

- **Maximize the response** (*large is better*)

Bila memilih maximize, maka harus ditentukan nilai target (target value) dan nilai batas bawah (lower bound). Rumusnya adalah :

$$d_i = (\hat{Y}_i) = \begin{cases} 0 & \left( \frac{Y_i(x)U_i}{T_i - U_i} \right)^s \text{ jika} & : \hat{Y}_i(x) < L_i \\ & & : L_i \leq \hat{Y}_i(x) \leq T_i \\ & & : \hat{Y}_i(x) > T_i \end{cases}$$

Dalam hal ini  $T_i$  menunjukkan besarnya nilai respon

- **Target the respon** (*target is best*)

Bila memilih target, maka harus ditentukan nilai batas bawah (lower bound), nilai batas atas (upper bound) dan nilai target (target value).

Rumus individual desirabilitynya adalah :

$$d_i = (Y_i) = \left( \frac{Y_i(x)U_i}{T_i - U_i} \right)^s \text{ jika } : \hat{Y}_i(x) < L_i$$

$$: L_i \leq \hat{Y}_i(x) \leq T_i$$

$$\left( \frac{Y_i(x)U_i}{T_i - U_i} \right)^t \text{ jika } : T_i(x) \hat{Y}_i(x) \leq U_i$$

$$: \hat{Y}_i(x) < L_i$$

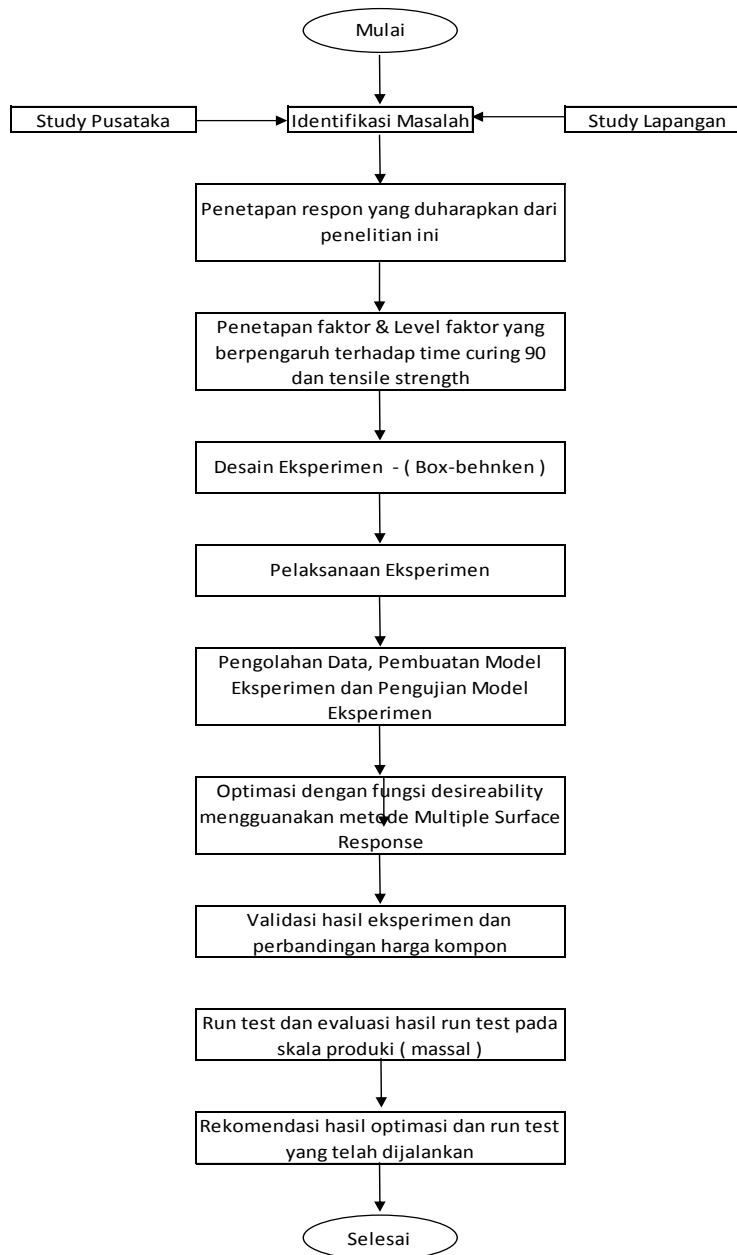
Eksponen s dan t menentukan seberapa penting keinginan untuk mencapai target. Untuk  $s = t = 1$  desirability function berbentuk linier naik sampai  $T_i$ , untuk  $s < 1, t < 1$  fungsi garisnya terbentuk cembung dan untuk  $s > 1, t > 1$  fungsi garisnya berbentuk cekung

# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Langkah – langkah penelitian :

langkah-langkah yang dilakukan dalam proses penelitian ini ditunjukkan oleh diagram alir seperti yang telah disusun pada gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 diagram alir langkah Penelitian

### 3.2 Variabel Respon

Variabel respon yang diamati dalam penelitian ini adalah sifat-sifat fisik dan juga indicator dalam proses vulkanisasi dari kompon tali karet sandal yaitu :

1. *Tensile strength* (kekuatan tarik)
2. *TC 90 (Time Curing 90 )*

### 3.3 Penentuan Faktor dan Level Faktor

Variabel faktor yang diamati dalam penelitian ini adalah variabel bahan, yaitu:

- Bahan *filler* jenis *Calcium Carbonate* merek Omya Carb
- Bahan *elastomer* jenis SIR 20, BROWN 2X dan *RSS 1*
- Bahan *co - accelerator* jenis TiO<sub>2</sub> merk Anatase

Level faktor yang dipilih seperti ditunjukkan pada tabel 3.1 berikut :

**Tabel 3.1** faktor dan level faktor yang digunakan dalam penelitian

Faktor	Level bawah	Titik tengah	Level atas
<i>Elastomer</i>	BROWN 2X 30 PHR	BROWN 2X 65 PHR	BROWN 2X 100 PHR
<i>Filler</i>	30 PHR	60 PHR	90 PHR
<i>Co - accelerator</i>	0.5 PHR	1 PHR	1.5 PHR

Pelevelan faktor di atas dijelaskan berdasarkan pertimbangan berikut :

1. *Elastomer*, penggunaan *elastomer* kompon berjalan berada di level tengah. Sehingga untuk mendapatkan pengaruh faktor *elastomer* dan karakteristik sifat fisik yang lebih baik maka digunakan pelevelan faktor *elastomer* di level bawah dan level atas
2. *Filler*, penggunaan *filler* pada kompon berjalan berada di level tengah. Sehingga untuk mendapatkan pengaruh faktor *filler* dan

karakteristik sifat fisik yang lebih baik maka digunakan pelevelan faktor *filler* di level bawah dan level atas

3. *Co – accelerator*, , penggunaan *co - accelerator* pada kompon berjalan berada di level tengah. Sehingga untuk mendapatkan pengaruh faktor *co - accelerator* karakteristik sifat fisik yang lebih baik maka digunakan pelevelan faktor *co - accelerator* di level bawah dan level atas

### **3.4 Rancangan Percobaan**

Rancangan percobaan yang dipilih untuk melakukan percobaan dalam penelitian ini adalah rancangan percobaan Box-Behnken. Model ini merupakan rancangan yang optimal untuk melihat atau mendapatkan respon dengan jumlah variabel yang banyak tanpa melakukan percobaan yang banyak. Hal ini dapat dilihat dari jumlah percobaan yang dilakukan, yaitu hanya 15 (lima belas) kali percobaan dengan perlakuan yang beda - beda.

Dengan percobaan yang jumlahnya relatif sedikit tersebut tidak menyebabkan hasil percobaan tidak absah. Hal ini disebabkan karena menurut Box-Behnken dengan 15 kali percobaan dengan perlakuan yang beda - beda yang terdiri dari 12 kali percobaan dilakukan pada level atas, tengah dan bawah ditambah tiga kali percobaan yang sama pada level tengah adalah cukup untuk mengetahui hasil respon yang diinginkan.

**Tabel 3.2** Rancangan percobaan *box-behnken*

Std Order	Run Order	Blocks	CODED			UNCODED		
			<i>Elastomer</i>	<i>Filler</i>	Co – Accelerator	<i>Elastomer</i>	<i>Filler</i>	Co - Accelerator
13	1	1	0	0	0	65	60	1
5	2	1	-1	0	-1	30	60	0.5
7	3	1	-1	0	1	30	60	1.5
11	4	1	0	-1	1	65	30	1.5
10	5	1	0	1	-1	65	90	0.5
8	6	1	1	0	1	100	60	1.5
3	7	1	-1	1	0	30	90	1
9	8	1	0	-1	-1	65	30	0.5
2	9	1	1	-1	0	100	30	1
4	10	1	1	1	0	65	90	1
14	11	1	0	0	0	30	60	1
6	12	1	1	0	-1	100	60	0.5
12	13	1	0	1	1	65	90	1.5
1	14	1	-1	-1	0	30	30	1
15	15	1	0	0	0	65	60	1

### 3.5 Pelaksanaan percobaan

Percobaan dilaksanakan di Laboratorium Formulasi di sebuah perusahaan manufaktur sandal yang berlokasi di Surabaya dengan metode *response surface methodology*, desain *box-behnken*.

### 3.6 Skala Percobaan Kompon Tali Karet

Skala percobaan kompon tali karet dalam percobaan ini adalah skala uji laboratorium, kompon tali karet dibuat dalam jumlah relatif kecil dengan proses yang serupa dengan proses pembuatan tali karet pada skala besar ( proses produksi massal ).

Dalam percobaan uji skala laboratorium ini, mesin-mesin yang digunakan antara lain :

1. Mesin *kneader close mixer* dengan kapasitas 4 kg, digunakan untuk kebutuhan proses mastikasi karet mentah dan *mixing* dengan bahan penyusun kompon tali karet lainnya. Gambar Mesin *kneader close mixer* dapat dilihat pada lampiran 3.
2. Mesin *Open Roll mill* diameter 8 inci, digunakan untuk kebutuhan proses *calendaring* dan *cutting* untuk mendapatkan cuplikan yang digunakan untuk uji tali karet. Gambar Mesin *Open Roll mill* dapat dilihat pada lampiran 3.
3. Mesin *Hot Press*, digunakan untuk kebutuhan proses *vulcanizing* cuplikan uji tali karet dengan temperatur operasi 160<sup>0</sup>C dan tekanan 150 kg/cm<sup>2</sup>. Gambar Mesin *Hot Press* dapat dilihat pada lampiran 3.
4. Mesin *Rheometer*, digunakan untuk kebutuhan proses uji *Time Curing 90*, *Scorch Time* dan torsi pada cuplikan uji tali karet dengan temperatur operasi 160<sup>0</sup>C. Gambar Mesin *Rheometer* dapat dilihat pada lampiran 3.
5. Mesin *Tensometer* untuk menguji *tensile strength*

### **3.7 Pengolahan Data**

Data respon yang diperoleh dari pelaksanaan percobaan ini adalah sebagai berikut :

1. *Tensile strength*, diperoleh dengan menggunakan *Tensometer*
2. *Time Curing 90*, diperoleh dengan menggunakan *Rheometer*

Kedua data di atas diolah dengan menggunakan software minitab 18.

### 3.8 Pembuatan dan Pengujian Model

Respon ini kemudian diolah dan dianalisa dengan metode *response surface methodology* menggunakan *Software Minitab* untuk memperoleh hasil pengujian model dan tingkat signifikansi pengaruh faktor terhadap respon.

### 3.9 Optimasi respon

Optimasi respon menghasilkan nilai respon yang optimal dengan metode *multiple response surface* dengan pendekatan fungsi *desirability* dengan menggunakan *Software Minitab 18*

- *Setup goal* untuk *Time Curing 90*, dipilih *target is best*. Untuk pilihan ini ditetapkan nilai target (*target value*), batas bawah (*lower bound*) dan batas atas (*upper bound*). Penentuan nilai *upper bound* mengacu pada standard perusahaan.

- Nilai target (*target value*) = 3.5 menit
- Nilai batas bawah (*lower bound*) = 3 menit
- Nilai batas atas (*upper bound*) = 4 menit

- *Setup goal* untuk *Tensile strength*, dipilih *target is best*. Untuk pilihan ini ditetapkan nilai target (*target value*) dan batas bawah (*upper bound*). Penentuan nilai *lower bound* mengacu pada standard perusahaan.

- Nilai target (*target value*) = 15 kg/cm<sup>2</sup>
- Nilai batas bawah (*normal value*) = 14 kg/cm<sup>2</sup>
- Nilai batas bawah (*lower bound*) = 18 kg/cm<sup>2</sup>

### 3.10 Validasi dan Perhitungan Harga Kompon

Setelah didapatkan nilai respon yang optimal, untuk mengetahui sejauh mana ketepatan hasil analisa, dilakukan percobaan konfirmasi. Percobaan konfirmasi dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali pada level faktor yang menghasilkan respon optimal, kemudian dihitung harga kompon pada komposisi optimum untuk



dibandingkan dengan harga kompon yang sedang digunakan untuk proses produksi tali karet.

### **3.11 Run Test skala produksi luaran optimasi**

*Run test* merupakan tahap validasi lanjutan dari hasil optimasi dan perhitungan harga kompon yang telah dilakukan. Pengaplikasian hasil optimasi di skala produksi bertujuan untuk menentukan *workability* dari hasil optimasi yang telah dilakukan, hal tersebut terkait dengan kemudahan proses dan sisi ergonomis pekerja.

*Run test* nantinya akan menjadi dasar menjadikan sebuah formula baru hasil optimasi menjadi sebuah formula yang telah disepakati dari semua departemen dan dinyatakan layak untuk dijalankan.

### **3.12 Evaluasi hasil Run Test**

Evaluasi hasil *run test* meliputi banyak hal, beberapa hal yang terpenting adalah :

1. Kemudahan proses, meliputi keseluruhan proses - proses produksi mulai dari proses pengadukan sampai dengan proses vulkanisasi. Dengan adanya perubahan formula apakah hal tersebut mempengaruhi lama waktu pengadukan, *calendering* dan juga vulkanisasi dan segala sesuatu yang dianggap bisa mempengaruhi proses produksi tali karet.
2. Ergonomis pekerja, meliputi kenyamanan yang mempengaruhi pekerja dalam menjalankan proses produksi. Dengan adanya perubahan formula apakah hal tersebut mempengaruhi pola kerja, susunan pekerja dan efisiensi kerja.
3. Karakteristik produk jadi, meliputi *tensile strength* dan karakteristik – karakteristik lain yang penting dalam produk jadi tali karet
4. Kapasitas gudang, meliputi kapasitas gudang bahan baku maupun kapasitas gudang barang jadi, hal tersebut terkait dengan kecukupan

bahan baku untuk kebutuhan produksi dan juga kecukupan gudang barang jadi produk akhir sandal.

5. Serapan pasar, meliputi target penjualan produk setiap bulannya.

### **3.13 Rekomendasi hasil *Run Test***

Rekomendasi diberikan berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan.

Rekomendasi tersebut meliputi 2 pokok yaitu :

1. Teknis, hal ini meliputi kemudahan proses, ergonomis dan karakteristik produk jadi.
2. Strategis, hal ini meliputi respon perusahaan yang akan dilakukan untuk merespon hasil optimasi dan *run test* yang telah dilakukan

## **BAB IV**

### **PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA**

Pada BAB IV disajikan ulasan mengenai pengolahan dan analisis data dari hasil percobaan yang telah dilakukan secara langsung (data primer) di Laboratorium Formulasi sebuah perusahaan manufaktur sandal di Surabaya sesuai dengan rancangan desain eksperimen yang telah dipilih.

#### **4.1 Pelaksanaan Percobaan**

Tahap terpenting dalam suatu penelitian yaitu pelaksanaan percobaan, yang merupakan salah satu tahap dengan tujuan untuk mengumpulkan data-data variabel respon Y (*tensile strength* dan *time curing*) dari kombinasi variabel bahan X (kandungan bahan *Filler, Elastomer dan Co - accelerator*). Berikut adalah rincian pelaksanaan percobaan yang dilakukan di Laboratorium formulasi :

1. Penimbangan bahan baku dan bahan kimia pembuatan tali karet sandal berupa :
  - karet alam
  - bahan pengisi berupa *Calcium carbonate*
  - bahan pencepat (*Co – accelerator*)
  - bahan pemvulkanisasi
  - bahan *anti-degradant*
  - bahan penggiat (*activator*)

sebanyak 15 perlakuan kebutuhan uji sesuai dengan rancangan desain *box – behnken* yang telah ditentukan.

2. Pengkodeaan 15 perlakuan kebutuhan uji sesuai dengan rangan desain *box – behnken*

3. Persiapan lembar kerja (*excel*) untuk faktor dan level faktor yang telah ditentukan dan dilakukan input data di minitab 18 untuk dilakukan randomisasi order pelaksanaan percobaan.
4. Proses pelaksanaan percobaan melalui beberapa proses sebagai berikut:
  - *Mastication*
  - *Mixing*
  - *Calendaring*
  - *Cutting and Layering*
  - *Vulcanization*
  - *Analisa Time curing 90*
  - *Analisa tensile strength*

Proses pelaksanaan pengujian dilakukan berdasarkan standart order yang telah didapatkan dari input data faktor dan level faktor yang telah dilakukan.

5. Hasil analisa *Time curing 90* dan *tensile strength* diinputkan ke lembar kerja (*excel*) sebagai hasil percobaan dan diinputkan ke software minitab 18 sebagai respon yang akan diolah.
6. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan software minitab 18 dengan penggunaan fungsi – fungsi berikut :
  - *DOE – Response surface – Create Response Surface Design* digunakan untuk menentukan desain response surface yang digunakan yaitu menggunakan desain box-behnken dengan 3 faktor yaitu *elastomer*, *filler* dan *co – accelerator*, dengan sebanyak 15 perlakuan pengujian dan penentuan batasan dari setiap faktor yang diuji berupa nilai minimum dan maksimum dari setiap level faktor..
  - *DOE – Response surface – Analyze Response Surface Design* digunakan untuk menganalisa desain untuk mendapatkan nilai – nilai yang dibutuhkan, berupa *P-Value* dan *R-Sq*.

- *DOE – Response surface – response optimizer* digunakan untuk melakukan optimasi dari hasil uji yang telah dilakukan dengan penentuan *goal* dan level faktor yang telah ditetapkan.
- Pada proses diatas didapatkan juga *solution* dari setiap faktor dan reponse yang dikehendaki.
- Melakukan 3x uji berulang dari *solution* yang telah didapatkan pada proses sebelumnya yang digunakan sebagai verifikasi hasil optimasi
- Melakukan perhitungan harga kompon sebagai tindak lanjut dari hasil hasil optimasi
- Melakukan *run – test* skala produksi untuk memastikan hasil optimasi berjalan sesuai dengan hasil percobaan
- Melakukan *monitoring* hasil dari *run – test* skala produksi yang telah dijalankan

#### **4.2 Hasil Percobaan dan Analisis Data**

Pelaksanaan percobaan didasarkan pada desain *Box-Behnken* yang dilakukan sebanyak 15 (lima belas) variable dengan perlakuan yang beda - beda dan secara acak, dengan komposisi kandungan *filler*, *elastomer* dan *Co - accelerator* yang berbeda, serta pengulangan pada nilai tengah sebanyak tiga kali. Hasil percobaan ditunjukkan pada tabel 4.1 pada halaman berikutnya,

**Tabel 4.1** Hasil percobaan dengan menggunakan desain box-behnken

Std Order	Run Order	Blocks	CODED			UNCODED			Tensile Strenght	Time Curing
			Elastomer	Filler	Co - Accelerator	Elastomer	Filler	Co - Accelerator		
13	1	1	0	0	0	65	60	1	14.5	3.5
5	2	1	-1	0	-1	30	60	0.5	12.9	3.2
7	3	1	-1	0	1	30	60	1.5	13.1	3.1
11	4	1	0	-1	1	65	30	1.5	14.4	3.3
10	5	1	0	1	-1	65	90	0.5	13.2	3.2
8	6	1	1	0	1	100	60	1.5	18	4.5
3	7	1	-1	1	0	30	90	1	12.1	3.0
9	8	1	0	-1	-1	65	30	0.5	14.9	3.7
2	9	1	1	-1	0	100	30	1	18.7	4.5
4	10	1	1	1	0	65	90	1	16.6	4.1
14	11	1	0	0	0	30	60	1	14.4	3.5
6	12	1	1	0	-1	100	60	0.5	17.4	4.3
12	13	1	0	1	1	65	90	1.5	14.1	3.3
1	14	1	-1	-1	0	30	30	1	13.2	3.2
15	15	1	0	0	0	65	60	1	14.5	3.6

#### 4.2.1 Analisis Regresi untuk Respon *Tensile strength*

Data hasil percobaan seperti yang tercantum pada tabel 4.1, kemudian diolah dengan menggunakan *Software Minitab 18*, untuk masing-masing respon. Untuk respon *Tensile strength* diperoleh hasil analisis data seperti pada tabel 4.2 berikut ini :

**Tabel 4.2** Hasil Analisis Regresi untuk respon *Tensile strength*

##### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	14.467	0.13	111.69	0.000
Elastomer	2.425	0.0793	30.57	0.000
Filler	-0.65	0.0793	-8.19	0.006
CoAccelerator	0.15	0.0793	1.89	0.002
Elastomer*Elastomer	0.942	0.117	8.07	0.002
Filler*Filler	-0.258	0.117	-2.21	0.026

##### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
0.224351	99.55%	98.73%

Nilai P pada kolom paling kanan dapat digunakan untuk menyimpulkan apakah  $H_0$  diterima atau ditolak, dengan cara membandingkan dengan nilai  $\alpha = 0.05$ . Jika nilai  $P < \alpha$  berarti variabel bahan tersebut berpengaruh signifikan terhadap respon *Tensile strength*. Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai P untuk bahan *filler* = 0.006, untuk *elastomer* = 0,000 dan untuk *Co - accelerator* = 0,002, sedangkan nilai P untuk *elastomer\*elastomer*, *filler\*filler* dan *Co-accelerator\* Co-accelerator* masing – masing adalah 0.002 ; 0.026 ; 0.039 yang berarti ketiga faktor bahan tersebut berpengaruh signifikan terhadap respon *Tensile strength*.

Nilai R-sq merupakan merupakan nilai yang menunjukkan kuat hubungan antara *filler*, *elastomer* dan *Co - accelerator* dengan variabel respon *Tensile strength*. Dari data pada tabel 4.2 dapat dilihat nilai R-sq besarnya 99.55% berarti pengaruh semua variabel bahan terhadap perubahan nilai respon adalah 99.55% dan

sisanya sebesar 0.045% dipengaruhi oleh variabel lain selain ketiga variabel bahan tersebut, dengan demikian maka persamaan regresi yang dihasilkan baik untuk mengestimasi nilai dari variabel responnya.

**Tabel 4.3** Hasil *Analysis of Variance* untuk respon *Tensile strength*

**Response Surface Regression: Tensile Strenght versus ... oAccelerator**

**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	3.61811	0.40201	52.94	0.000
Linear	3	3.19141	1.0638	140.09	0.000
Elastomer	1	3.03195	3.03195	399.27	0.000
Filler	1	0.1582	0.1582	20.83	0.006
CoAccelerator	1	0.00125	0.00125	0.16	0.002
Square	3	0.35702	0.11901	15.67	0.006
Elastomer*Elastomer	1	0.27923	0.27923	36.77	0.002
Filler*Filler	1	0.04673	0.04673	6.15	0.026
CoAccelerator*CoAccelerator	1	0.00707	0.00707	0.93	0.039
Error	5	0.03797	0.00759		
Lack-of-Fit	3	0.03672	0.01224	19.58	0.390
Pure Error	2	0.00125	0.00062		
Total	14	3.65608			

Nilai P pada tabel 4.3 digunakan dalam uji hipotesis untuk menentukan signifikansi model regresi dan untuk uji ada tidaknya lack of fit. Apabila  $P < \alpha$  ( $\alpha = 0.05$ ), maka  $H_0$  ditolak berarti model regresi signifikan untuk mengestimasi responnya. Dalam tabel 4.3 terlihat bahwa nilai P model regresi keseluruhan = 0.000, model regresi linier = 0.000 dan model square = 0.000, karena nilai  $P < 0.05$  berarti model regresi signifikan. Sedangkan untuk nilai P untuk uji *lack of fit* apabila nilai  $P < 0.05$  berarti  $H_0$  ditolak atau ada *lack of fit*, jika nilai  $P > 0.05$  berarti  $H_0$  diterima atau tidak ada *lack of fit*. Dari tabel 4.3 nilai P untuk *lack of fit* = 0.390 atau  $P > 0.05$ , berarti persamaan yang dihasilkan tidak ada *lack of fit* dan cukup memadai.



Model persamaan regresi untuk respon *Tensile strengths* terhadap faktor bahan *filler*, *elastomer* dan *Co - accelerator* dalam *coded* adalah sebagai berikut:

$$\hat{Y} = 13.79 - 0.0221x_1 + 0.0049x_2 - 1.00x_3 + 0.000769x_1^2 - 0.000287x_2^2 - 0.233x_3^2 - 0.000238x_1x_2 + 0.00571x_1x_3 + 0.02333x_2x_3$$

Dimana:

$\hat{Y}$  = respon *Tensile strength* yang diprediksi

$x_1$  = kandungan bahan *filler* dalam *coded*

$x_2$  = kandungan bahan *elastomer* dalam *coded*

$x_3$  = kandungan bahan *Co - accelerator* dalam *coded*

#### 4.2.2 Analisis Regresi untuk Respon *Time Curing 90*

Hasil analisis regresi untuk respon *Time Curing 90* seperti ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut ini.

**Tabel 4.4** Hasil Analisis Regresi untuk respon *Time Curing 90*

##### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	3.525	0.0503	70.06	0.000
Elastomer	0.6156	0.0308	19.98	0.000
Filler	-0.1406	0.0308	-4.56	0.006
CoAccelerator	-0.0125	0.0308	-0.41	0.007
Elastomer*Elastomer	0.275	0.0454	6.06	0.002
Filler*Filler	-0.1125	0.0454	-2.48	0.026
CoAccelerator*CoAccelerator	-0.0438	0.0454	-0.96	0.037

##### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
0.0871421	98.96%	97.09%

Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai P untuk bahan *filler* = 0.006, untuk *elastomer* = 0,000 dan untuk Co - accelerator = 0,072, sedangkan nilai P untuk *elastomer\*elastomer*, *filler\*filler* dan Co-accelerator\* Co-accelerator masing – masing adalah 0.002 ; 0.026 ; 0.037 yang berarti ketiga faktor bahan tersebut berpengaruh signifikan terhadap respon *Time Curing 90*.

Nilai R-sq merupakan merupakan nilai yang menunjukkan kuat hubungan antara *filler*, *elastomer* dan Co - accelerator dengan variabel respon *Time Curing 90*. Dari data pada tabel 4.4 dapat dilihat nilai R-sq besarnya 98.96% berarti pengaruh semua variabel bahan terhadap perubahan nilai respon adalah 98.96% dan sisanya sebesar 1.04% dipengaruhi oleh variabel lain selain ketiga variabel bahan tersebut, dengan demikian maka persamaan regresi yang dihasilkan baik untuk mengestimasi nilai dari variabel responnya.

**Tabel 4.5** Hasil *Analysis of Variance* untuk respon *Time Curing 90*

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	3.61811	0.40201	52.94	0.000
Linear	3	3.19141	1.0638	140.09	0.000
Elastomer	1	3.03195	3.03195	399.27	0.000
Filler	1	0.1582	0.1582	20.83	0.006
CoAccelerator	1	0.00125	0.00125	0.16	0.007
Square	3	0.35702	0.11901	15.67	0.006
Elastomer*Elastomer	1	0.27923	0.27923	36.77	0.002
Filler*Filler	1	0.04673	0.04673	6.15	0.056
CoAccelerator*CoAccelerator	1	0.00707	0.00707	0.93	0.037
Error	5	0.03797	0.00759		
Lack-of-Fit	3	0.03672	0.01224	19.58	0.094
Pure Error	2	0.00125	0.00062		
Total	14	3.65608			

Pada tabel 4.5 terlihat bahwa nilai P model regresi keseluruhan = 0.000, model regresi linier = 0.000 dan model square = 0.006, karena nilai  $P < 0.05$  berarti model regresi signifikan. Sedangkan nilai P untuk *lack of fit* = 0.094 atau  $P > 0.05$ , berarti persamaan yang dihasilkan tidak ada *lack of fit* dan cukup memadai.

Model persamaan regresi untuk respon *Time Curing 90* terhadap faktor bahan *filler*, *elastomer* dan *Co - accelerator* dalam *coded* adalah sebagai berikut:

$$\hat{Y} = 3.552 - 0.01338x_1 + 0.00555x_2 - 0.355x_3 + 0.000224x_1^2 - 0.000125x_2^2 - 0.175x_3^2 - 0.000036x_1x_2 + 0.00393x_1x_3 + 0.00708x_2x_3$$

Dimana:

$\hat{Y}$  = respon *Time Curing 90* yang diprediksi

$x_1$  = kandungan bahan *filler* dalam *coded*

$x_2$  = kandungan bahan *elastomer* dalam *coded*

$x_3$  = kandungan bahan *Co - accelerator* dalam *coded*

#### 4.2.3 Pengujian Asumsi Residual Tentang Persamaan Regresi

Pengujian asumsi ini dilakukan agar kesimpulan yang dihasilkan dari analisis regresi dan analisis variansi dapat dinyatakan absah. Pengujian asumsi residual yang dilakukan adalah:

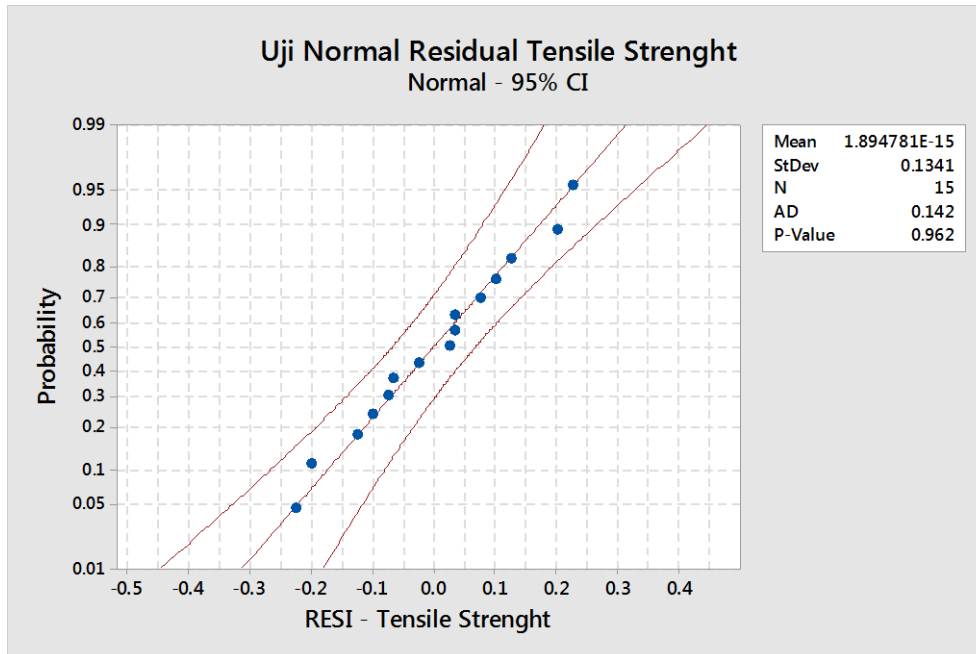
##### a. Uji Asumsi Residual Berdistribusi Normal

Pemeriksaan dan pengujian kenormalan bertujuan untuk mengetahui apakah residual berdistribusi normal atau tidak. Pengujian ini dapat dilakukan dengan uji Kosmogorov-Smirnov dan membuat grafik residual. Perumusan hipotesisnya adalah sebagai berikut:

$H_0$  = Residual berdistribusi normal

$H_1$  = Residual tidak berdistribusi normal

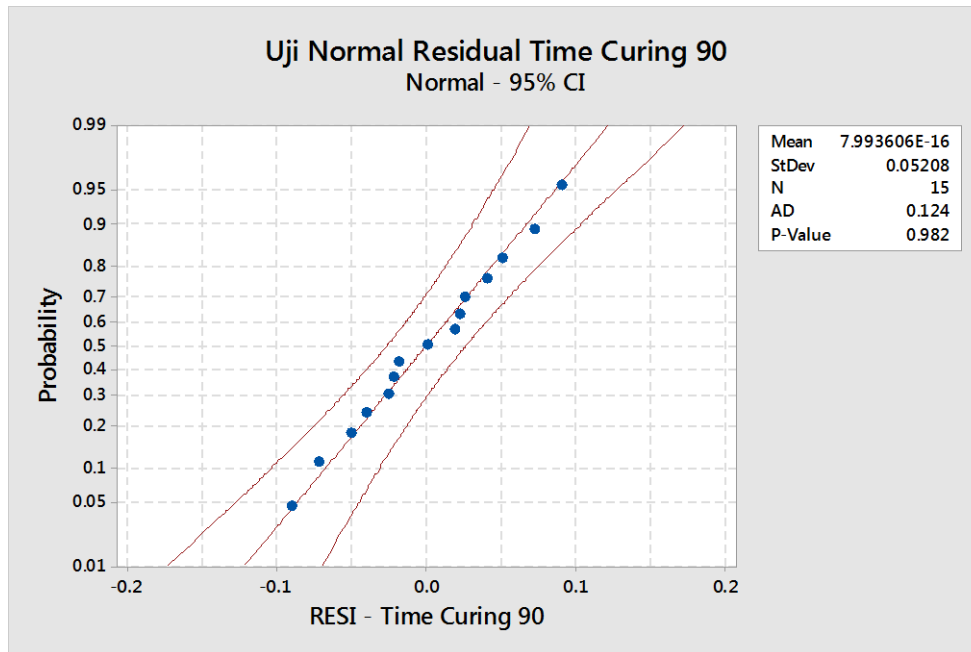
Dengan menggunakan Software Minitab, hasil uji kenormalan untuk residual *Tensile strength*, seperti pada gambar 4.1 dibawah ini :



**Gambar 4.1** Uji Normal Residual *Tensile strength*

Dari hasil pengujian tersebut terlihat bahwa  $P_{value} = 0.962$  atau nilai tersebut lebih besar dari nilai  $\alpha = 0.05$ , maka  $H_0$  diterima sehingga dapat disimpulkan bahwa residual untuk persamaan regresi *Tensile strength* berdistribusi normal.

Sedangkan Hasil pengujian kenormalan untuk *Time Curing 90* terdapat pada gambar 4.2 berikut ini :



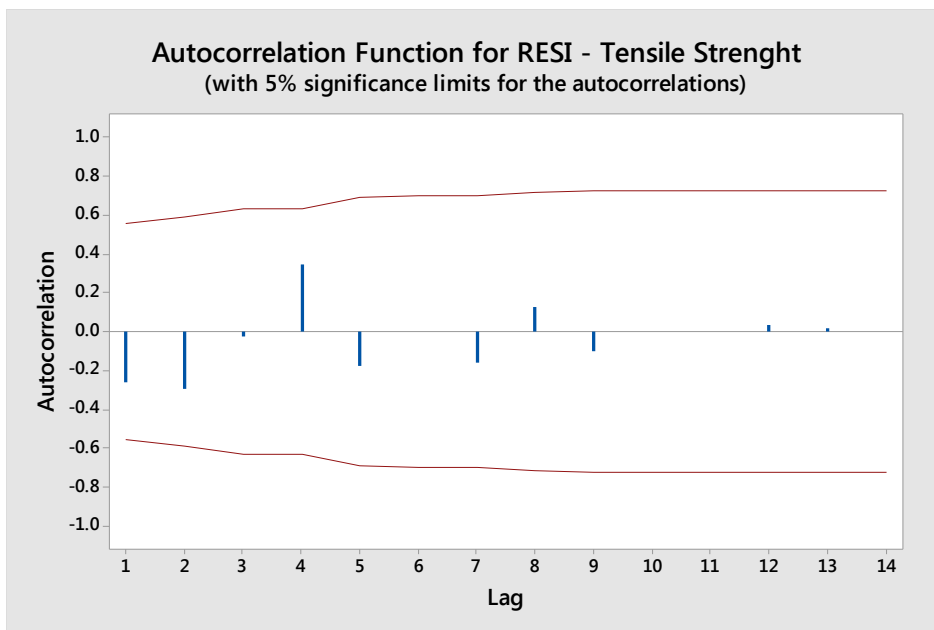
**Gambar 4.2** Uji Normal Residual *Time Curing 90*

Dari gambar diatas terlihat bahwa  $P_{value}$  untuk residual *Time Curing 90* nilainya adalah 0,082. Karena nilai tersebut lebih besar dari nilai  $\alpha = 0.05$ , maka  $H_0$  diterima sehingga dapat disimpulkan bahwa residual untuk persamaan regresi *Time Curing 90* berdistribusi normal.

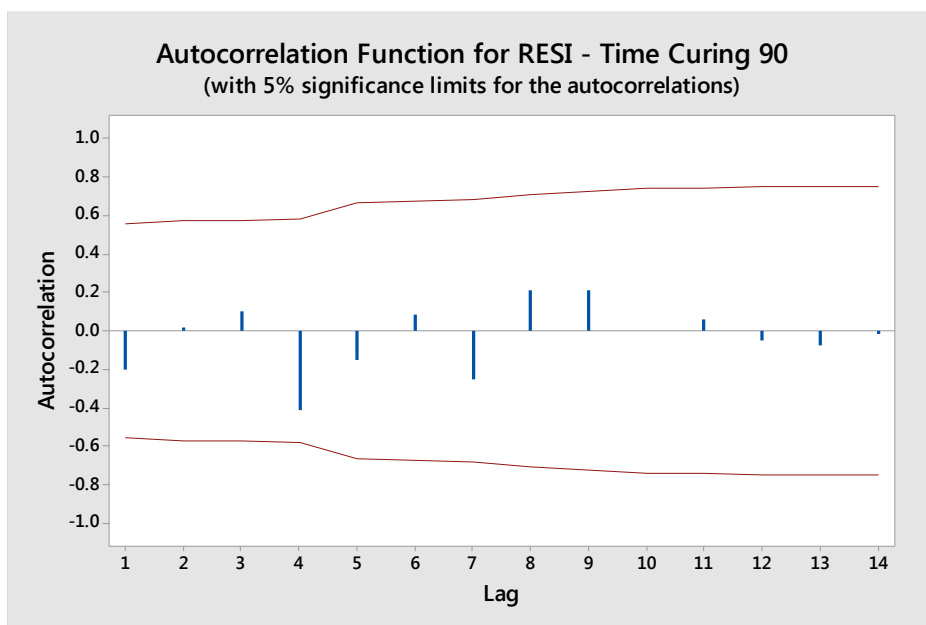
**b. Uji Asumsi Residual Independen**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui adanya sifat independen antara data yang diperoleh. Sifat independen merupakan sifat yang harus dikendalikan dalam suatu percobaan dengan tujuan agar data yang satu dengan yang lain saling bebas. Pengujian ini dilakukan dengan melihat grafik ACF (Auto Correlation Function).

Asumsi dinyatakan independen apabila nilai korelasi residual berada pada interval  $-2/\sqrt{n}$  dan  $+2/\sqrt{n}$ . Dari hasil pengujian  $n = 15$  telah memenuhi asumsi independen karena nilai ACF-nya pada interval  $-0,516$  dan  $+0,516$  seperti pada gambar 4.3 & 4.4 berikut ini :



**Gambar 4.3** Grafik *Autocorrelation* untuk residual *Tensile strength*

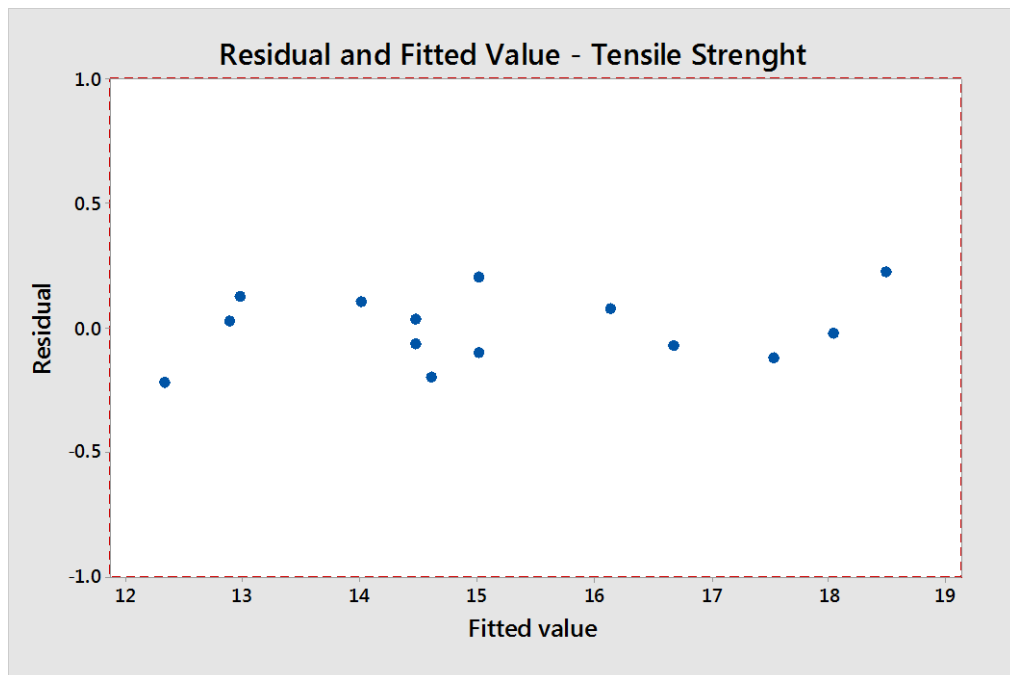


**Gambar 4.4** Grafik *Autocorrelation* untuk residual *Time Curing 90*

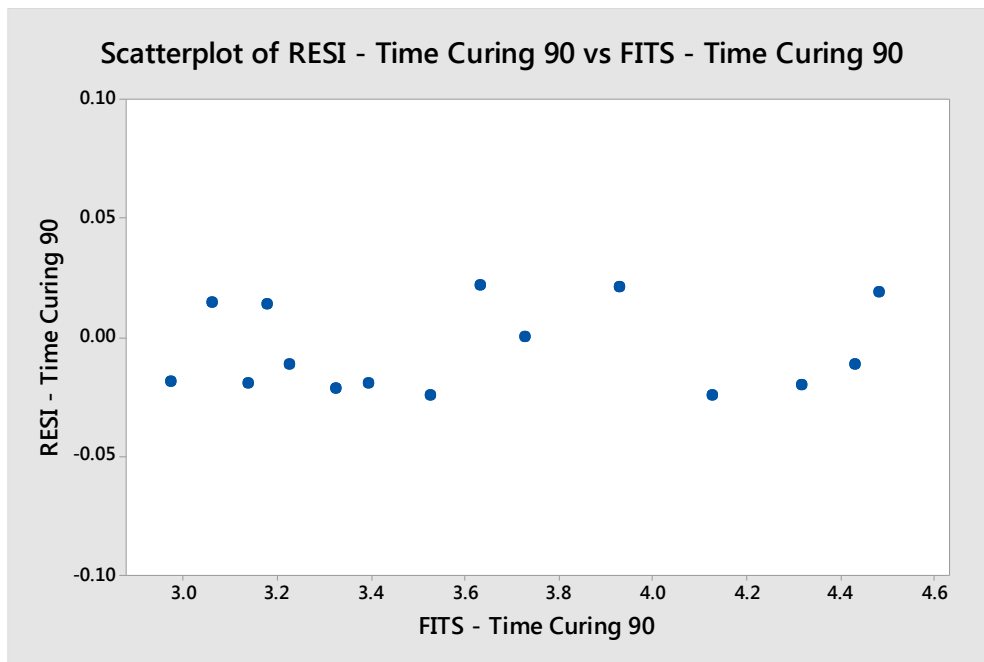
**c. Pengujian Asumsi Identik**

Pengujian asumsi identik dapat dilakukan dengan membuat plot (grafik) antara residual dan nilai taksiran (FIT). Asumsi ini terpenuhi jika data menyebar secara acak disekitar 0 dan plot tidak membentuk pola tertentu.

Dari program Minitab dapat diketahui plot pengujian asumsi identik, seperti pada gambar 4.5 berikut ini:



**Gambar 4.5** Grafik *Residual versus Fitted Value* untuk *Tensile strength*



**Gambar 4.6** Grafik *Residual versus Fitted Value* untuk *Time Curing 90*

Dari hasil pengujian pada gambar 4.5 dan 4.6 menunjukkan bahwa pola data residual *Tensile strength* dan *Time Curing 90* adalah menyebar, sehingga dapat dikatakan bahwa asumsi identik residual terpenuhi.

#### 4.2.4 Optimisasi Respon

Dalam optimisasi untuk mendapatkan prediksi respon yang paling optimal dari target respon yang ingin dicapai dibutuhkan nilai batasan yang dipilih di setiap respon yang ingin dicapai. Untuk respon *tensile strength* dan *time curing 90* menggunakan *setup target is best* karena pada *tensile strength* rendah akan membuat produk tali karet mudah putus, sedangkan pada *tensile strength* tinggi ada pertimbangan faktor ekonomi yang harus dipertimbangkan. Pada *time curing 90*, waktu yang pendek akan mengakibatkan *scorching* atau vulkanisasi dini sedangkan waktu yang panjang akan membuat efisiensi kerja menjadi rendah.



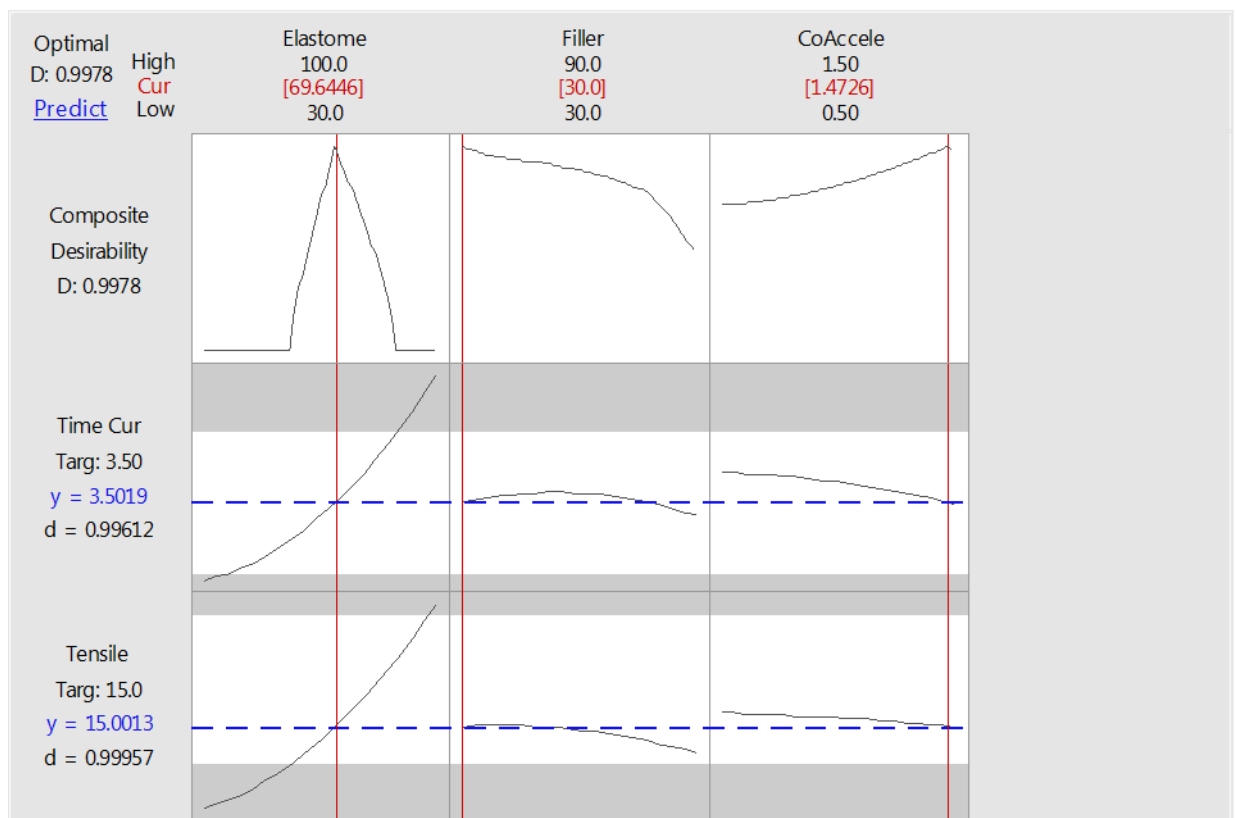
Nilai batasan yang dipilih untuk optimasi respon seperti ditunjukkan pada tabel 4.6 berikut ini :

**Tabel 4.6** Nilai batasan optimasi respon

**Parameters**

Response	Goal	Lower	Target	Upper
Time Curing	Target	3	3.5	4
Tensile Strenght	Target	14	15	18

Dari pengolahan optimasi respon dengan menggunakan *Software Minitab 18*, didapatkan prediksi nilai respon, *global solution* untuk komposisi bahan dan *desirability* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7 dan tabel 4.7 berikut ini :



**Gambar 4.7** Grafik optimasi respon

**Tabel 4.7** Hasil optimasi

**Multiple Response Prediction Solution**

Solution	Elastomer	Filler	CoAccelerator	Time Curing Fit	Tensile Strenght	Composite Desirability Fit
1	69.6446	30	1.4726	3.50194	15.0013	0.997843

Dari hasil pengolahan data yang ditunjukkan pada tabel 4.7 diatas, dapat dilihat bahwa hasil *desirability* untuk *Tensile strength* = 0.999, hal ini berarti bahwa target *Tensile strength* yang diinginkan bisa tercapai 99,9% *desirability* dan untuk *Time Curing 90* = 0.996, hal ini berarti bahwa target *Time Curing 90* yang diinginkan bisa tercapai 99.6%.

Dari hasil optimasi diperoleh *setting* variabel bahan sebagai faktor pada kondisi optimal dengan formulasi sebagai adalah sebagai berikut:

- *Elastomer* = 69.645 PHR
- *Filler* = 30 PHR
- *Co - accelerator* = 1.473 PHR

Prediksi respon dalam kondisi *setting* yang optimal, adalah sebagai berikut:

- *Tensile strength* = 15.001 kg/cm<sup>2</sup> (*desirability* = 0.999)
- *Time Curing 90* = 3.502 menit (*desirability* = 0.996)

*Composite Desirability* atau *desirability* gabungan adalah 0.997.

**4.2.5 Verifikasi Hasil Optimisasi Respon**

Verifikasi adalah tahap melakukan percobaan pada kondisi optimal sebanyak tiga kali, untuk mem-verifikasi hasil prediksi optimasi respon dengan realisasi dalam percobaan dilapangan. Kondisi variabel bahan optimal :

- *Elastomer* = 69.645 PHR
- *Filler* = 30 PHR
- *Co - accelerator* = 1.473 PHR.

Diperoleh hasil percobaan seperti ditunjukkan pada tabel 4.8 berikut ini :

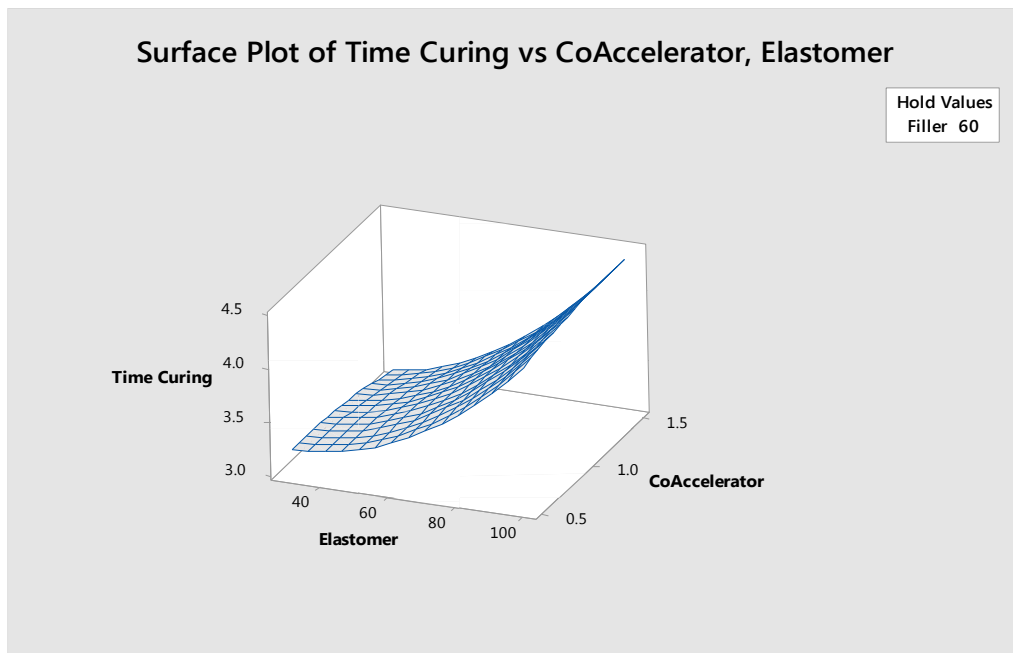
**Tabel 4.8** Hasil verifikasi respon

Respon	Hasil Optimasi	Hasil Verifikasi			Average	Penyimpangan (%)
		1	2	3		
<i>Tensile strength</i> (kg/cm <sup>2</sup> )	15.001	14.8	14.6	15.2	14.867	0.90
Time Curing 90 (menit)	3.502	3.4	3.5	3.4	3.433	1.96

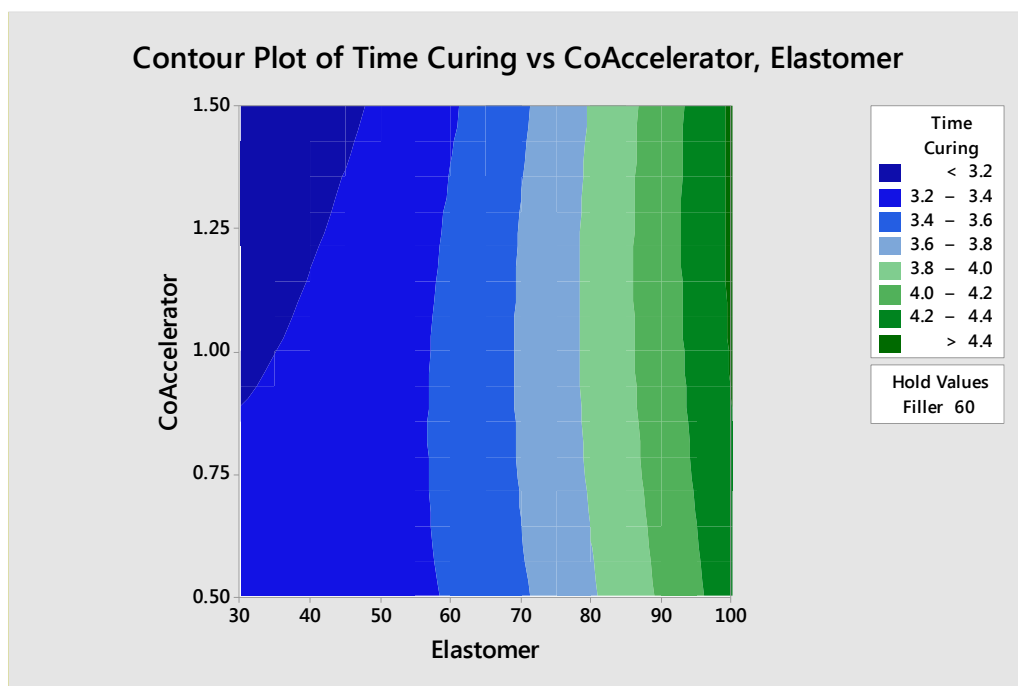
Dari hasil verifikasi rata-rata untuk respon *Tensile strength* dan *Time Curing 90* dibanding dengan prediksi respon hasil optimasi menunjukkan adanya sedikit penyimpangan yang relatif kecil berturut – turut yaitu 0.90 % dan 1.96 %, sehingga dapat disepakati bahwa model regresi yang diperoleh cukup baik / layak untuk memprediksi respon.

#### 4.2.6 *Surface Plot* dan *Contour Plot* dari Respon

Gambar permukaan (*surface plot*) dan gambar kontur (*contour plot*) dari persamaan respon *Time Curing 90* dapat dilihat dengan cara menjadikan salah satu variabel bernilai konstan, sebagai contoh *filler* = 60 PHR (konstan). Seperti ditunjukkan pada gambar 4.8 dan gambar 4.9 pada halaman selanjutnya,



**Gambar 4.8** Gambar permukaan (*surface plot*) untuk respon *Time Curing* 90



**Gambar 4.9** Gambar kontur (*contour plot*) untuk respon *Time Curing* 90

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa pada keadaan variabel *filler* konstan = 60 PHR, pengaruh perubahan kandungan *Co-accelerator* lebih berpengaruh terhadap perubahan nilai *Time Curing 90* dibandingkan dengan perubahan kandungan *elastomer*. Pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa semakin luar lapisan kontur nilai *Time Curing 90* semakin besar. Gambar permukaan dan gambar kontur untuk respon *tensile strength* dan *Time Curing 90* dapat dilihat pada lampiran 1.

#### 4.2.7 Perhitungan Biaya (harga) Kompon

Perbandingan harga kompon sebelum dan sesudah optimasi dilakukan untuk mengetahui kelayakan hasil optimasi tersebut di aplikasikan di industri atau tidak, meskipun permasalahan tidak terpenuhinya standart nilai *tensile strength* yang dikehendaki telah terselesaikan. Hal tersebut berkaitan nantinya dengan penentuan harga pokok penjualan suatu produk.

Data harga kompon sebelum dan sesudah optimasi diberikan pada tabel 4.9 berikut ini :

**Tabel 4.9** Perhitungan Harga Kompon

harga kompon ( per kilogram )	
sebelum optimasi	sesudah optimasi
Rp 15.008	Rp 17.870

Dari data di atas terjadi peningkatan harga kompon per – kilogram, dari sebelum optimasi sebesar Rp. 15.008 menjadi Rp. 17.870 setelah optimasi. Hal tersebut dikarenakan terjadi perubahan pada penggunaan bahan baku sebagai berikut :

1. Meningkatnya jumlah formulasi *elastomer* dengan kualitas lebih baik pada kompon hasil optimasi.
2. Menurunnya jumlah formulasi *filler* pada kompon hasil optimasi.
3. Meningkatnya jumlah formulasi *Co - Accelerator* pada kompon hasil optimasi.

Namun hal tersebut tidak membuat perubahan harga yang signifikan mahal terhadap biayaan produksi bulanan. Hal tersebut dikarenakan sebelum dilakukan optimasi untuk produk yang putus pada saat proses perakitan dan biaya operasional penggantiannya hampir sebanding apabila dilakukan perbandingan secara menyeluruh. data total rata – rata biaya produksi bulanan produk sebelum dan sesudah optimasi diberikan pada tabel 4.10 dan lampiran 2.

**Tabel 4.10** Total rata – rata biaya produksi bulanan produk

total rata - rata biaya produksi bulanan	
sebelum optimasi	sesudah optimasi
IDR 93,844,408.00	IDR 93,073,403.43

#### 4.2.8 Perhitungan kapasitas produksi

Perhitungan kapasitas produksi dilakukan karena dengan hasil optimasi yang telah dilakukan terjadi perubahan *Time Curing 90* yang digunakan sebagai penentuan lama waktu hot press pada proses produksi. Data kapasitas produksi sebelum dan sesudah optimasi diberikan pada tabel 4.11 berikut ini :

**Tabel 4.11** Perhitungan kapasitas produksi

lama proses hot press produk (menit)	
sebelum optimasi	sesudah optimasi
4	3.5

kapasitas produksi bulanan (lusin)	
sebelum optimasi	sesudah optimasi
125000	140625

Dari data di atas, peningkatan kapasitas produksi bulanan dari 125.000 Lusin menjadi 140.625 Lusin. Besar peningkatan kapasitas produksi tersebut adalah 12,5%.

#### 4.2.9 *Run Test* skala produksi dari luaran optimasi

*Run test* yang telah dijalankan di skala produksi dengan menggunakan luaran optimasi yaitu :

- *Elastomer* = 69.645 PHR
- *Filler* = 30 PHR
- *Co - accelerator* = 1.473 PHR

Pada kapasitas 120 kg / aduk dijalankan sesuai dengan standart operasi berupa suhu dan temperatur yang telah ditetapkan oleh perusahaan.

Kompon hasil aduk kemudian diproses sesuai dengan standart operasional produksi yang telah ditetapkan dan hasilnya dilaporkan melalui evaluasi hasil run test skala produksi dibawah ini

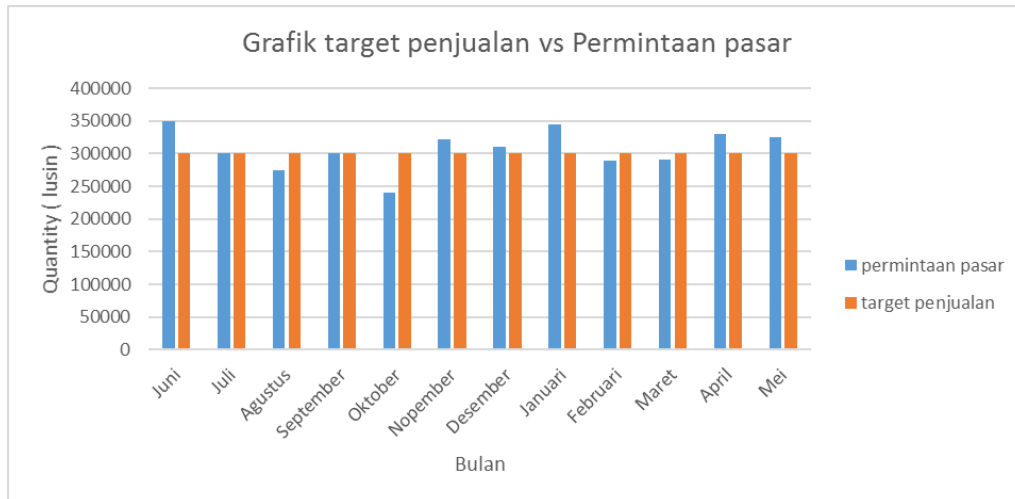
#### 4.2.10 Evaluasi hasil *Run Test*

Dari hasil *run test* skala produksi didapatkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Kemudahan proses, tidak ada proses yang berubah dari pengaplikasian luaran hasil optimasi pada skala produksi. Sehingga luaran optimasi layak dan siap untuk dijalankan skala produksi pada saat ini.
2. Ergonomis pekerja, dengan adanya perubahan lama waktu vulkanisasi (*time curing 90*), maka diperlukan penyesuaian jumlah mesin hot press per pekerja. Hal tersebut dikarenakan dengan konfigurasi 1 pekerja 4 mesin, maka terjadi *over lap* waktu vulkanisasi pada mesin ke 1 dan ke 4. Sehingga konfigurasinya berubah menjadi 1 pekerja dengan 3 mesin.
3. Karakteristik produk jadi, *tensile strength* yang dihasilkan dari komponen hasil optimasi secara keseluruhan di atas 15 kg / cm<sup>2</sup>. Hal ini sesuai dengan respon yang diharapkan, bahwasannya nilai minimum untuk *tensile strength* adalah 15 kg / cm<sup>2</sup>.
4. Kapasitas gudang, peningkatan 12,5% pada produk jadi sandal tidak memberikan suatu permasalahan dari segi gudang bahan baku dan proses pengadaan bahan yang dibutuhkan sesuai hasil optimasi. Hal yang sama

juga tidak terjadi masalah apabila terjadi peningkatan 12,5% kapasitas produksi pada gudang barang jadi sandal.

5. Serapan pasar, berdasar gambar 4.10 berikut :



**Gambar 4.10** Grafik target penjualan vs permintaan pasar

Dapat dilihat bahwasannya dalam 12 bulan kebelakang, target penjualan tercapai pada level 66,67%.

#### 4.2.11 Rekomendasi hasil *Run Test*

Secara teknis, hasil optimasi layak dijalankan di lini produksi. Namun secara strategi penjualan produk harus ada respon dari perusahaan dengan kenaikan kapasitas produksi sebesar 12,5%. Rekomendasi yang diberikan yaitu perusahaan menyesuaikan kembali lini produksi yang digunakan sehingga tidak terjadi produksi berlebih pada bulan selanjutnya. Penyesuaian dilakukan dengan pengurangan lini produksi tali karet, pengurangan lini produksi tersebut dialihkan ke produksi tali dengan basis *polyurethane*, yang merupakan bahan baku masa depan pengganti karet alam dengan beberapa keunggulan apabila dibandingkan dengan karet alam.

Seiring dengan pengembangan strategi perusahaan yaitu *market development* dan *product development*. *Market development* meliputi



rencana perusahaan membuka gerai penjualan resmi perusahaan di *modern market* seperti Transmart, SuperIndo dll dari yang sebelumnya hanya memasarkan produk perusahaan melalui *traditional market*. Sedangkan untuk *product development* adalah bentuk analisa penjualan sandal yang beberapa tahun terakhir mengalami penurunan. Menurut survey yang dilakukan oleh perusahaan kejenuhan pasar terkait dengan model atau desain dari sandal yang tidak variatif dalah salah satu faktor. Sehingga pembeli hanya akan memandang sandal hanya dari segi fungsional saja. Dengan adanya faktor tersebut kemudian perusahaan melakukan pengembangan produk dengan basis *polyurethane* sebagai bahan baku pengganti karet alam dengan karakteristik produk yang dihasilkan mempunyai kemiripan dengan karet alam namun memiliki ketahanan pakai yang lebih panjang. Selain dari segi material, perusahaan juga menggandeng beberapa lisensi untuk menambah koleksi desain sandal perusahaan. Hal ini akan menjadikan serapan tenaga kerja dari pengurangan lini produksi produk tali karet.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengolahan dan analisis data, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor kandungan bahan *filler*, *elastomer* dan *Co - accelerator* berpengaruh signifikan terhadap luaran respon *Tensile strength*, dan *Time Curing 90* pada kualitas tali karet yang dihasilkan

Hasil optimasi diperoleh *setting* variabel bahan sebagai faktor pada kondisi optimal dengan formulasi adalah sebagai berikut :

- *Elastomer* = 69.645 PHR
- *Filler* = 30 PHR
- *Co - accelerator* = 1.473 PHR.

Hasil optimasi diperoleh *setting* respon yang pada kondisi optimal sebagai berikut :

- *Tensile strength* = 15.001 kg/cm<sup>2</sup> (*desirability* = 0.999)
- *Time Curing 90* = 3.502 menit (*desirability* = 0.996)

Dengan nilai *desirability* dari masing-masing respon mendekati 1, berarti bahwa target yang diinginkan sangat mungkin untuk dicapai.

2. Hasil optimasi memberikan perubahan harga sebagai berikut :
  - Harga kompon sebelum dan sesudah optimasi berturut – turut adalah Rp. 15.008 dan Rp. 17.870
  - Total rata – rata biaya produksi bulanan sebelum dan sesudah optimasi berturut – turut adalah Rp. 93.844.408 dan Rp. 93.073.403.
3. Dengan *Time Curing 90* = 3.502 , maka akan menaikkan kapasitas produksi sebesar 12,5 %. Hal ini tentunya akan mempengaruhi Harga Pokok Penjualan yang berimbas langsung pada menguatnya daya saing perusahaan.

Hasil optimasi memberikan penghematan biaya rata – rata kebutuhan produksi bulanan sebesar Rp 771,004.57 dan peningkatan kapasitas produksi sebesar 12.5% dari total kapasitas produ.ksi sebelumnya 125.000 Lusin.

4. Kenaikan 12,5% kapasitas produksi membuat perusahaan untuk memutuskan menyesuaikan kembali lini produksi yang digunakan sehingga tidak terjadi produksi berlebih pada bulan selanjutnya, hal ini berdasar pada serapan pasar pada tahun sebelumnya.

Kelebihan sumber daya akibat dari penyesuaian kembali lini produksi di alihkan ke pengembangan produk dan pasar yang saat ini sedang dilakukan oleh perusahaan.

## 5.2 Saran

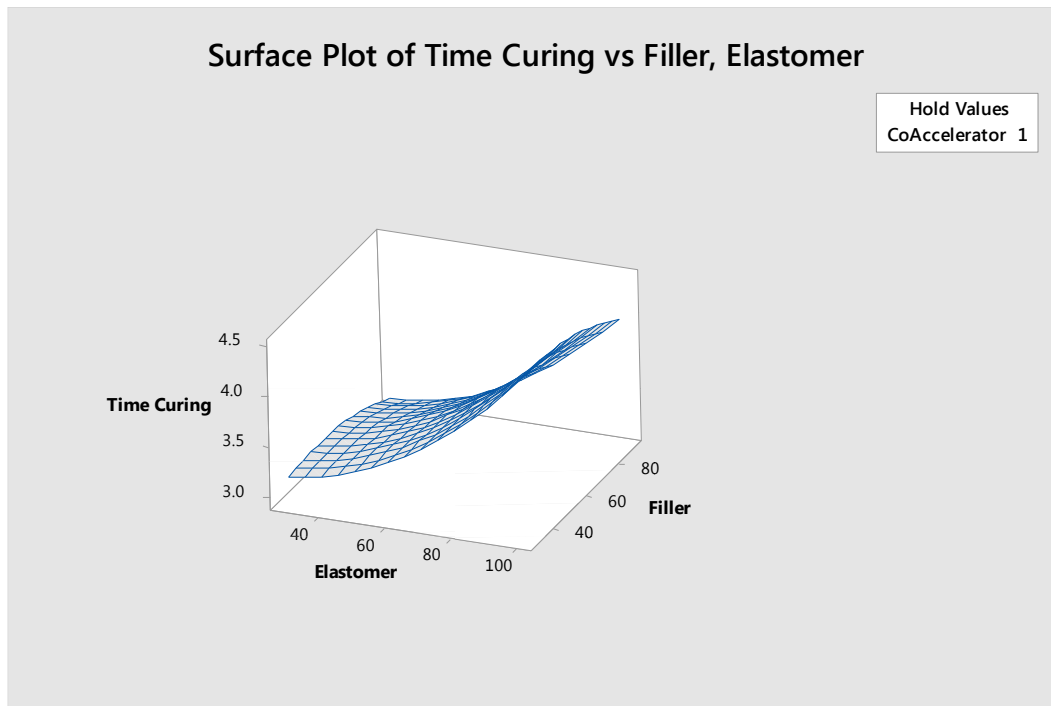
1. Dengan banyaknya variasi merek dan kualitas dari bahan *filler*, *elastomer* dan *Co - accelerator* yang beredar dipasar sehingga dapat dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh variasi dari berbagai jenis *filler*, *elastomer* dan *Co - accelerator* terhadap respon yang dikehendaki.
2. Selain meneliti sifat fisik karet *Tensile strength* dan *Time Curing 90* dapat juga diteliti sifat fisik yang lain seperti *elongation at break*, *modulus 100%*, *tear strength* dan *Time Curing 90* yang juga menentukan kualitas dari produk berbahan baku utama karet, sehingga didapatkan kualitas yang paling optimum.

## DAFTAR PUSTAKA

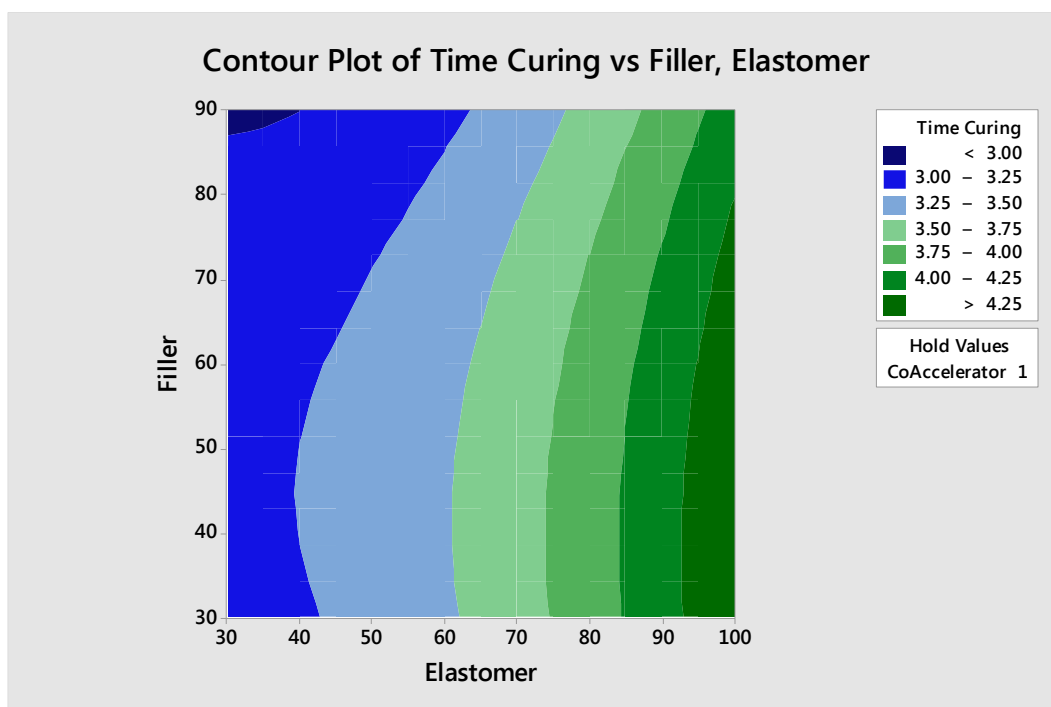
- Arizal, R., (2000), *Bahan Kimia Untuk Kompon Karet*, Teknologi Barang Jadi Karet, Balai Penelitian Teknologi karet, Bogor
- Arizal, R., (2000), *Pengetahuan Dasar Elastomer*, Teknologi Barang Jadi Karet, Balai Penelitian Teknologi karet, Bogor
- Box, G. E. P, W.G. Hunter & J.S. Hunter., (2005), "Statistics for Experiments, Design, Innovation and Discovery", John Willey & Sons, Inc, New York
- Ihda N. I, & M. Sholeh, (2014), "Pengaruh rasio MBTS/ZDEC pada campuran karet alam dan etilen propilen diena yang dibuat dengan teknik kontrol migrasi curatives", Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik Yogyakarta.
- Javadi M, M. Moghiman, M.R. Erfanian, & N. Hosseini, (2011), "Numerical investigation of curing process in reaction injection molding of rubber for quality improvements", *Engineering Material*. 462 (2011) 1206–1211 .
- Kahar, N, (2003), *Rapat Ikatan Silang pada Karet Alam yang divulkanisir*, Balai Penelitian Teknologi Karet, Bogor.
- Karaagac, M. Inal, & V. Deniz, (2012), "Predicting optimum cure time of rubber compounds by means of ANFIS", *Materials & Design*, 35 (2012) 833–838
- Kutner, M. H, (2005), *Applied linear statistical models: Regression, analysis of variance, and experimental designs*, Mc Graw Hill Irwin, Inc, New York
- Maurits S, (2000), *Mesin Pengolahan Karet & Teknologi Barang Jadi Karet*, Balai Penelitian Teknologi karet, Bogor
- Mohammad R.E, Morteza A, & M.Moghiman, (2016), "A three dimensional simulation of a rubber curing process considering variable order of reaction", *Applied Mathematical Modelling*, vol 40
- Montgomery, D.C, Myers, R.H., & Anderson-Cook, (2009), *Response Surface Methodology*, John Wiley & Sons, New Jersey

- Nabil, H., Ismail, H. & Azura, A. R, (2012), “Compounding, mechanical and morphological properties of carbon-black-*filler* natural rubber/recycled ethylene-propylene-diene-monomer blends”, *Polymer Testing*, 32: 385-393
- Suharto, H., (2000), *Desain Kompon*, Teknologi Barang Jadi Karet, Balai Penelitian Teknologi karet, Bogor
- Suharto, H., (2000), *Kimia dan Teknologi Vulkanisasi*, Teknologi Barang Jadi Karet, Balai Penelitian Teknologi karet, Bogor
- Wicaksono, R., Sutardi & Herminiwati, (2004), “Pembuatan Karet Riklim dari Ban Bekas dengan Microwave Ditinjau dari Karakteristik Vulkanisasi Kompon”, *Teknologi Barang Jadi Karet, Balai Penelitian Teknologi karet, Bogor*
- Zhang P, F. Zhao, Y. Yaun, X. Shi, & S. Zhao, (2010), “Network evolution based on general-purpose diene rubbers/sulfur/TBBS system during vulcanization (I)”, *Polymer*, vol 51 (257–263) .

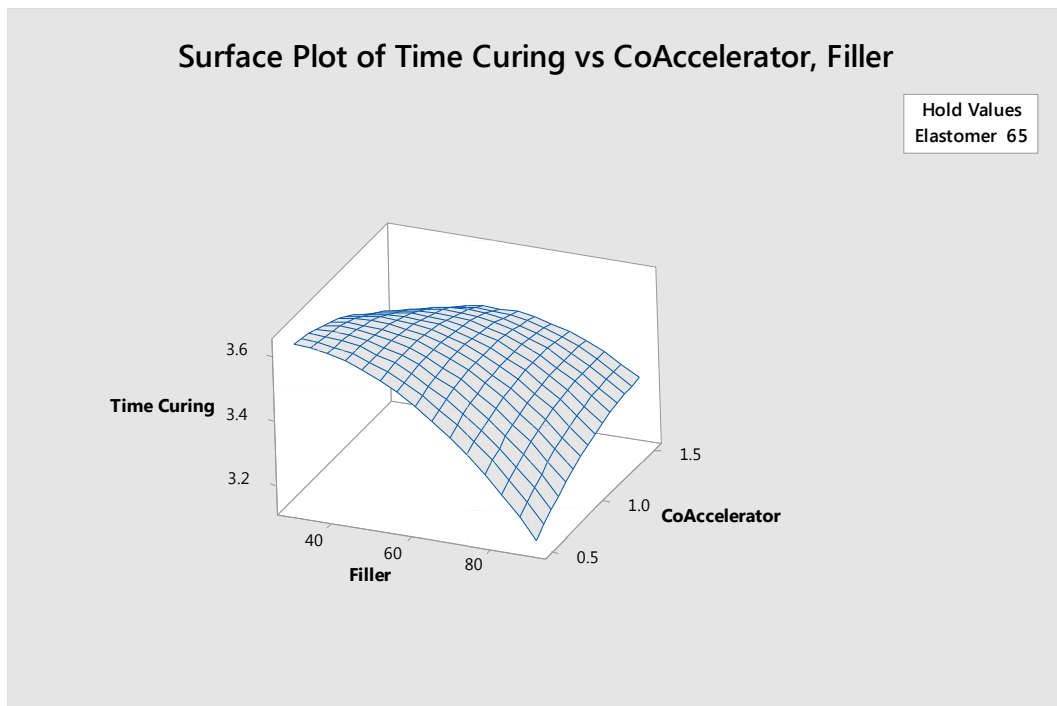
**Lampiran 1 : surface and contour plot of Time Curing 90**



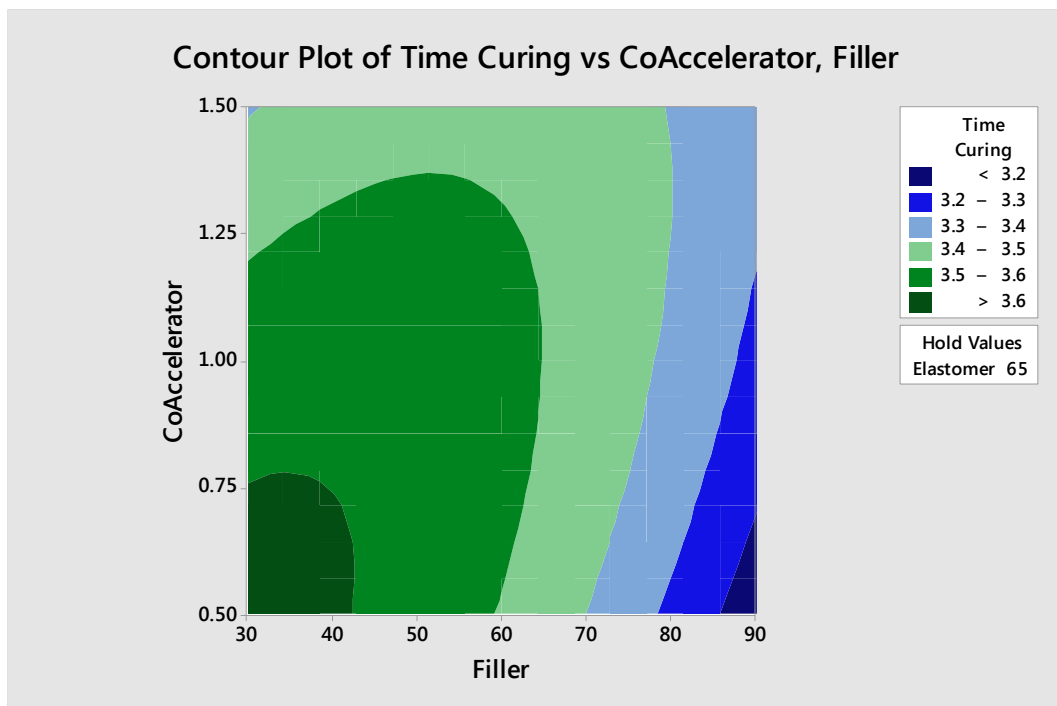
Gambar permukaan (*surface plot*) untuk respon *Time Curing 90*



Gambar kontur (*contour plot*) untuk respon *Time Curing 90*



Gambar permukaan (*surface plot*) untuk respon *Time Curing 90*



Gambar kontur (*contour plot*) untuk respon *Time Curing 90*

**Lampiran 2 : Perhitungan Harga Kompon**

Perhitungan Harga Kompon

harga kompon ( per kilogram )	
sebelum optimasi	sesudah optimasi
IDR 15,008	IDR 17,870

konversi kompon per kilogram
24 pasang

Harga produk	
sebelum optimasi	sesudah optimasi
IDR 625	IDR 745

total biaya produksi bulanan	
sebelum optimasi	sesudah optimasi
IDR 78,167,564.39	IDR 93,073,403.43

periode	jumlah produk putus pada saat assembly (lusin)	harga produk per pasang	total kerugian produk ( penggantian dengan produk baru )	total kerugian lain - lain ( tenaga kerja )	total biaya produksi bulanan sebelum optimasi
Oktober	1063	IDR 625	IDR 7,976,843.61	IDR 7,700,000.00	IDR 93,844,408.00
Nopember	938		IDR 7,038,832.84	IDR 7,700,000.00	IDR 92,906,397.23
Desember	1188		IDR 8,914,854.38	IDR 7,700,000.00	IDR 94,782,418.77

total average biaya produksi bulanan	
sebelum optimasi	sesudah optimasi
IDR 93,844,408.00	IDR 93,073,403.43



### Perhitungan Kapasitas Produksi

---

lama proses hot press produk (menit)	
sebelum optimasi	sesudah optimasi
4	3.5

kapasitas produksi bulanan (lusin)	
sebelum optimasi	sesudah optimasi
125000	140625

Peningkatan kapasitas produksi (%)	12.5
------------------------------------	------

**Lampiran 3 : Gambar alat produksi tali karet**



Gambar Mesin *kneader close mixer*



Gambar Mesin *Open Roll mill*



Gambar Mesin *Hot Press*



Gambar Mesin *Rheometer*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Jefri Erwanto, lahir di kota Sidoarjo, Jawa Timur pada tanggal 21 November 1992. Penulis telah menyelesaikan pendidikan SMA Negeri 1 Krian - Sidoarjo. Kemudian melanjutkan pendidikan strata-1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan memasuki Fakultas Teknologi Industri di Jurusan Teknik Kimia. Penulis menyelesaikan pendidikan strata-1 pada tahun 2016. Penulis memulai karir bekerja di salah satu perusahaan

manufaktur sandal di Surabaya pada tahun 2016 hingga 2019 sebagai staf *Research and Development* hingga menjadi kepala department *Research and Development*. Pada tahun 2019, penulis melanjutkan karirnya di Asia Pulp & Paper sebagai staf *Advance Technology & Materials*. Penulis melanjutkan pendidikan pada tahun 2017 dengan menempuh program Pascasarjana Magister Manajemen Teknologi di Intitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil Jurusan Manajemen Industri hingga tahun 2019. Penulis mengambil judul Perbaikan Peningkatan Kualitas Tali Karet Dengan Optimasi Tensile Strength Dan Time Curing Menggunakan Response Surface Methodology.