



**ANALISIS PARAMETER KENDALI FABRIKASI PRODUK PIPA  
KOMPOSIT TERHADAP KEKUATAN TARIK MENGGUNAKAN  
METODE TAGUCHI**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:  
**Novis Adrianto Wahab**  
151910101016

**PROGRAM STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**ANALISIS PARAMETER KENDALI FABRIKASI PRODUK PIPA  
KOMPOSIT TERHADAP KEKUATAN TARIK MENGGUNAKAN  
METODE TAGUCHI**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

**Novis Adrianto Wahab**

151910101016

**PROGRAM STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## PERSEMBAHAN

Segala puji syukur kepada Allah SWT dengan ikhlas dan kerendahan hati, saya persembahkan skripsi ini kepada :

1. Keluarga saya, Bapak Mochammad Wahab S, Ibu Suwan Hariyati, Kakak Silvia Ariani, dan Kakak Tantra Adrianto Wahab. Terimakasih saya ajukan dari segala bentuk dukungan kasih sayang, do'a, semangat, motivasi dan bimbingan.
2. Teman yang selalu membantu saya dalam menyelesaikan skripsi saudari Lailatul Fitriyah
3. Seluruh dosen yang ada pada fakultas teknik mesin Universitas Jember. Terima kasih saya ajukan kepada Bapak Robertus Sidartawan S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama, Ibu Intan Hardiatama S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Danang Yudistiro S.T., M.T. selaku dosen penguji utama, dan Ibu Rika Dwi Hidayatul Qoryah S.T., M.T. selaku dosen penguji anggota.
4. Teman – teman Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember

## MOTTO

Seseorang akan dikatakan belajar apabila orang tersebut mampu untuk mengembangkan sesuatu yang ada menjadi tidak ada.

Barangsiapa ingin Mutiara maka harus berani terjun ke dalam lautan yang paling dalam

(Ir Soerkarno)

Saat allah mendorongmu ke tebing, Percayalah kalau hanya ada dua hal yang mungkin terjadi. Mungkin allah akan menangkapmu, atau allah ingin kau belajar bagaimana caranya untuk terbang

(Muhammad saw)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Novis Adrianto Wahab

NIM : 151910101016

Menyatakan dengan sesungguhnya Bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Parameter Kendali Fabrikasi Produk Pipa Komposit Terhadap Kekuatan Tarik Menggunakan Metode Taguchi” adalah benar – benar karya sendiri kecuali dalam pengutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah ada pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas kebenaran dari isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada paksaan dan tekanan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 13 Agustus 2019

Yang menyatakan,

Novis Adrianto Wahab

151910101016

**SKRIPSI**

**ANALISIS PARAMETER KENDALI FABRIKASI PRODUK PIPA  
KOMPOSIT TERHADAP KEKUATAN TARIK MENGGUNAKAN METODE  
TAGUCHI**

Oleh :

Novis Adrianto Wahab

151910101016

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Robertus Sidartawan S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Intan Hardiatama S.T., M.T.

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Parameter Kendali Fabrikasi Produk Pipa Komposit Terhadap Kekuatan Tarik Menggunakan Metode Taguchi” karya Novis telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Selasa, 13 Agustus 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

### Tim Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Robertus Sidartawan, S.T., M.T.

Intan Hardiatama, S.T., M.T.

NIP 197003101997021001

NIP 198904282019032021

### Tim Penguji:

Penguji I,

Penguji II,

Danang Yudistiro, S.T., M.T.

Rika Dwi Hidayatul Q, S.T., M.T.

197902072015041001

NIP 760014642

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.

NIP 196612151995032001

## RINGKASAN

**Analisis Parameter Kendali Fabrikasi Produk Pipa Komposit Terhadap Kekuatan Tarik Menggunakan Metode Taguchi;**Novis Adrianto W; 151910101016; 2019: 97 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Komposit merupakan material baru yang dapat menggantikan logam karena sifat mekanisnya yang lebih baik. Alasan komposit lebih baik daripada logam adalah karena sifat ringan dan kekuatannya hampir sama dengan logam. Selain itu komposit juga akan membuat biaya produksi yang lebih rendah daripada logam. Aplikasi bahan komposit adalah untuk peralatan rumah tangga, bodi mobil dan, pesawat terbang. Komposit sendiri merupakan gabungan 2 material atau lebih yang akan menghasilkan sifat mekanis yang berbeda.

Benang katun berasal dari serat alami yang dapat digunakan untuk membuat komposit karena keunggulannya yang ramah lingkungan, biaya rendah dan kekuatan sebanding dengan serat sintetis. Selain itu Indonesia mempunyai lahan yang cukup luas untuk serat kapas di area Jawa Timur yang berada di Banyuwangi, Situbondo, Probolinggo, Lamongan, dan Pasuruan.

Proses fabrikasi komposit dapat dilakukan dengan cara metode *filament winding*. *Filament winding* sendiri merupakan proses pembuatan komposit dengan cara melilitkan serat ke mandrel yang telah dibasahi oleh resin yang berada di bak resin. Dalam hal ini banyak faktor-faktor yang akan mempengaruhi dari kekuatan komposit dengan proses *filament winding*. Salah satunya yaitu suhu curing, jarak roller dan, kecepatan *feeding*, dalam hal ini maka faktor faktor tersebut akan dibutuhkan proses fabrikasi yang optimal untuk pipa komposit. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kombinasi yang paling optimal dari proses fabrikasi pipa komposit dengan variasi variabel bebas suhu curing, jarak roller dan kecepatan



*feeding* untuk menghasilkan kekuatan tarik yang tertinggi untuk diaplikasikan pada produk pipa komposit.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboraturium Teknologi Terapan, jurusan teknik mesin, fakultas teknik, universitas Jember. Pada bulan Januari hingga Agustus 2019. Penelitian ini mengambil data kekuatan tarik yang dihasilkan dengan metode taguchi berdasarkan matriks orthogonal L9 ( $3^3$ ) dengan pengulangan sebanyak 3 kali untuk tiap kombinasinya.

Kontribusi variabel bebas dalam meningkatkan kekuatan tarik yang signifikan dipengaruhi oleh variabel bebas yaitu suhu curing sebesar 91,26% pada kecepatan *feeding* 5,454% dan jarak roller 1,026% tidak memiliki pengaruh yang signifikan. kondisi yang paling optimal didapatkan pada suhu curing level 3 ( $80^{\circ}\text{C}$ ), kecepatan *feeding* level 1 (4 m/menit) dan jarak roller level 2 (4 mm). Kombinasi optimal tersebut menghasilkan kekuatan tarik sebesar 66,05 Mpa.

Hasil pada penelitian ini secara umum memperlihatkan bahwa dengan bertambahnya suhu curing akan menghasilkan kekuatan tarik yang makin tinggi. Hal ini disebabkan karena kristalisasi komposit sempurna sehingga ikata-ikatan polimer menjadi lebih baik. Kecepatan *feeding* semakin kecil juga akan meningkatkan kekuatan tarik hal ini disebabkan karena pembasahan pada benang katun sempurna. Selain itu, Jarak roller semakin kecil pada batas tertentu akan meningkatkan kekuatan tarik karena pada jarak roller paling kecil pada batas tertentu maka kerataan pada komposit didapatkan

## SUMMARY

*Full Parameters Analysis of Fabrication of Composite Pipe Products on Tensile Strength Using the Taguchi Method; Adrianto W Novices; 151910101016; 2019: 107 pages; Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Jember.*

*Composite is a new material that can replace metals because of their better mechanical properties. Composite reason is better than metal because its properties are light and the strength is almost the same as metal. In addition composites will also make production costs lower than metals. The application of composite materials is for household appliances, car bodies and aircraft. Composite itself is a combination of 2 or more materials which will produce different mechanical properties.*

*Cotton yarn comes from natural fibers that can be used to make composites because of its environmental friendly advantages, low cost and strength comparable to synthetic fibers. In addition, Indonesia has sufficient land for cotton fibers in the East Java area in Banyuwangi, Situbondo, Probolinggo, Lamongan and Pasuruan.*

*Composite fabrication process can be done by filament winding method. Filament winding itself is a composite manufacturing process by wrapping fibers into the mandrel which has been moistened by resin in the resin bath. In this case there are many factors that will influence the strength of the composite with the filament winding process. One of them is the curing temperature, roller distance and, feeding speed, in this case the optimal factor will be needed for the fabrication process for composite pipes. The purpose of this study was to determine the most optimal combination of composite pipe fabrication processes with variations in curing temperature control, roller distance and feeding speed to produce the highest tensile strength to be applied to composite pipe products.*

*This research was conducted in the Applied Technology Laboratory, mechanical engineering department, faculty of engineering, Jember University. From October to August 2019. This study retrieves tensile strength data generated by the Taguchi method based on the L9 orthogonal matrix ( $3^3$ ) with repetitions of 3 times for each combination.*

*The contribution of the control factor in increasing the tensile strength is significantly affected by the control factor, namely curing temperature 91,26% feeding speed 5,454% and roller distance 1,026%. the most optimal conditions are obtained at curing level 3 (80°C), feeding level 1 ( 4 m / min) and roller level 2 ( 4 mm). This optimal combination produces a tensile strength of 66,05 Mpa.*

*The results of this study generally show that the increase in curing temperature will produce higher tensile strength. This is because the composite crystallization is perfect so that the polymer bonds are better. The smaller feeding speed will also increase the tensile strength due to wetting on perfect cotton yarn. In addition, the distance of the roller the higher the smaller will increase the tensile strength because at the smallest distance of the roller the flatness of the composite is obtained*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul: Pengendalian Kualitas Ampas Kopi Terhadap Optimasi Parameter *Filament Winding* Menggunakan Metode Taguchi. Ini untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Teknik Strata Satu pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

terima kasih kepada Ayahanda Wahab dan Ibunda yang kusayangi Suwan yang telah mencurahkan segenap cinta dan kasih sayang. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan Rahmat, Kesehatan, dan Karunia. terima kasih penulis berikan kepada Bapak selaku Pembimbing I dan selaku Pembimbing II yang telah membantu penulisan skripsi ini. Serta ucapan terima kasih kepada :

1. Seluruh teman-teman Teknik Mesin (Persahabatan dan kebersamaan kita tak akan kulupakan)

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Amiin

Jember, 13 Agustus 2019

Penulis

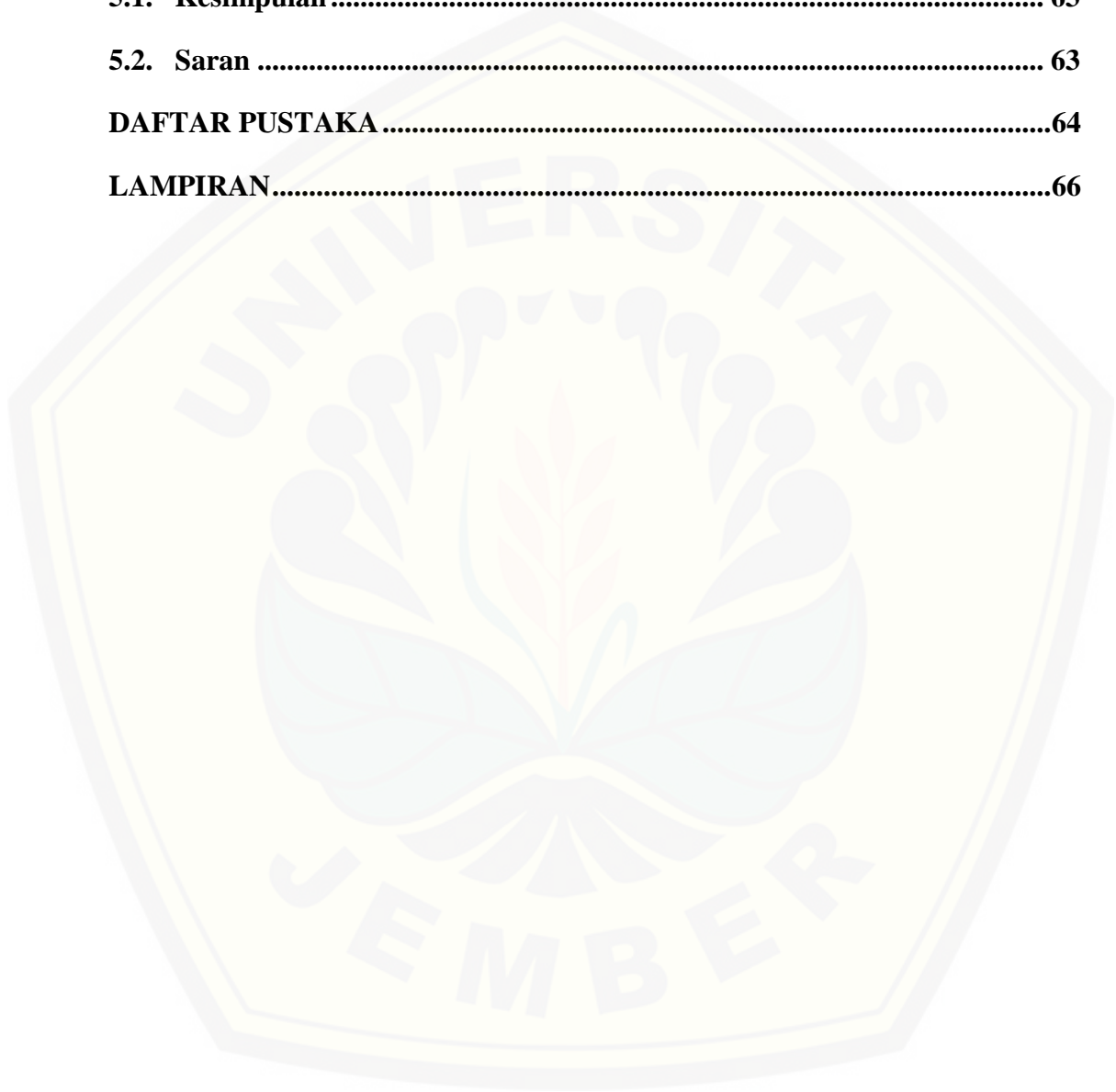
## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL .....	vi
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL .....	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO .....	iii
PERNYATAAN.....	iv
SKRIPSI.....	v
PENGESAHAN .....	vi
RINGKASAN .....	vii
<i>SUMMARY</i> .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN .....	ix
BAB 1. PENDAHULUAN .....	1
2.1 Latar Belakang.....	1

2.2	Rumusan Masalah.....	2
2.3	Batasan Masalah .....	3
2.4	Tujuan .....	3
2.5	Manfaat .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>		<b>4</b>
2.1	<b>Komposit .....</b>	<b>4</b>
2.1.1	Definisi Komposit.....	4
2.1.2	Matrik .....	6
2.1.3	Serat ( <i>Reinforcement</i> ) .....	7
2.1.4	Klasifikasi Komposit .....	8
2.2	<b>Resin <i>Polyester</i> .....</b>	<b>10</b>
2.3	<b>Serat Katun.....</b>	<b>11</b>
2.4	<b><i>Filament Winding</i> .....</b>	<b>12</b>
2.4.1	Keuntungan Mesin <i>Filament Winding</i> .....	14
2.4.2	Kekurangan Mesin <i>Filament Winding</i> .....	14
2.4.3	Bagian-bagian Mesin <i>Filament Winding</i> .....	14
2.4.4	Pola Pada <i>Filament Winding</i> .....	16
2.5	<b><i>Consolidation Roller</i> .....</b>	<b>17</b>
2.6	<b>ASTM D-2290 .....</b>	<b>18</b>
2.7	<b>Metode Taguchi.....</b>	<b>19</b>
2.7.1	Konsep Metode Taguchi.....	20
2.7.2	Analisis dalam Metode Taguchi .....	21
2.8	<b>Uji F .....</b>	<b>24</b>
2.9	<b>Interpretasi Hasil Eksperimen.....</b>	<b>24</b>
2.10	<b><i>Orthogonal Array (OA)</i> .....</b>	<b>26</b>

<b>2.11 Rasio Signal to Noise (S/N)</b> .....	<b>28</b>
<b>2.12 Hipotesa</b> .....	<b>29</b>
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1 Metodologi Penelitian</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2 Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	<b>30</b>
3.1.1 Bahan .....	30
3.1.2 Alat .....	32
<b>3.4 Variabel Penelitian</b> .....	<b>36</b>
3.4.1 Variabel Bebas.....	36
3.4.2 Variabel Terikat .....	37
3.4.3 Variabel Kontrol .....	37
<b>3.5 Metode Penelitian</b> .....	<b>37</b>
<b>3.6 Pengambilan Data</b> .....	<b>38</b>
<b>3.7 Metode Analisis</b> .....	<b>41</b>
<b>3.8 Diagram Alir Penelitian</b> .....	<b>42</b>
<b>BAB 4 PEMBAHASAN</b> .....	<b>44</b>
<b>4.1 Data Hasil Eksperimen</b> .....	<b>44</b>
<b>4.2 Perhitungan Rasio S/N</b> .....	<b>44</b>
<b>4.3 Pengujian Asumsi Residual</b> .....	<b>46</b>
4.3.2 Uji Homogenitas .....	47
4.3.3 Uji Kenormalan .....	48
<b>4.4 Kombinasi Variasi Optimal</b> .....	<b>49</b>
<b>4.5 Analisa Varian, Persen Kontribusi dan Uji F</b> .....	<b>51</b>
<b>4.6 Prediksi Respon Optimal</b> .....	<b>56</b>
<b>4.7 Eksperimen Konfirmasi</b> .....	<b>57</b>

<b>4.8 Pembahasan</b> .....	<b>58</b>
4.8.1 Pengaruh Variabel Bebas Terhadap Kekuatan Tarik .....	58
<b>BAB 5 PENUTUP</b> .....	<b>63</b>
<b>5.1. Kesimpulan</b> .....	<b>63</b>
<b>5.2. Saran</b> .....	<b>63</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>64</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>66</b>

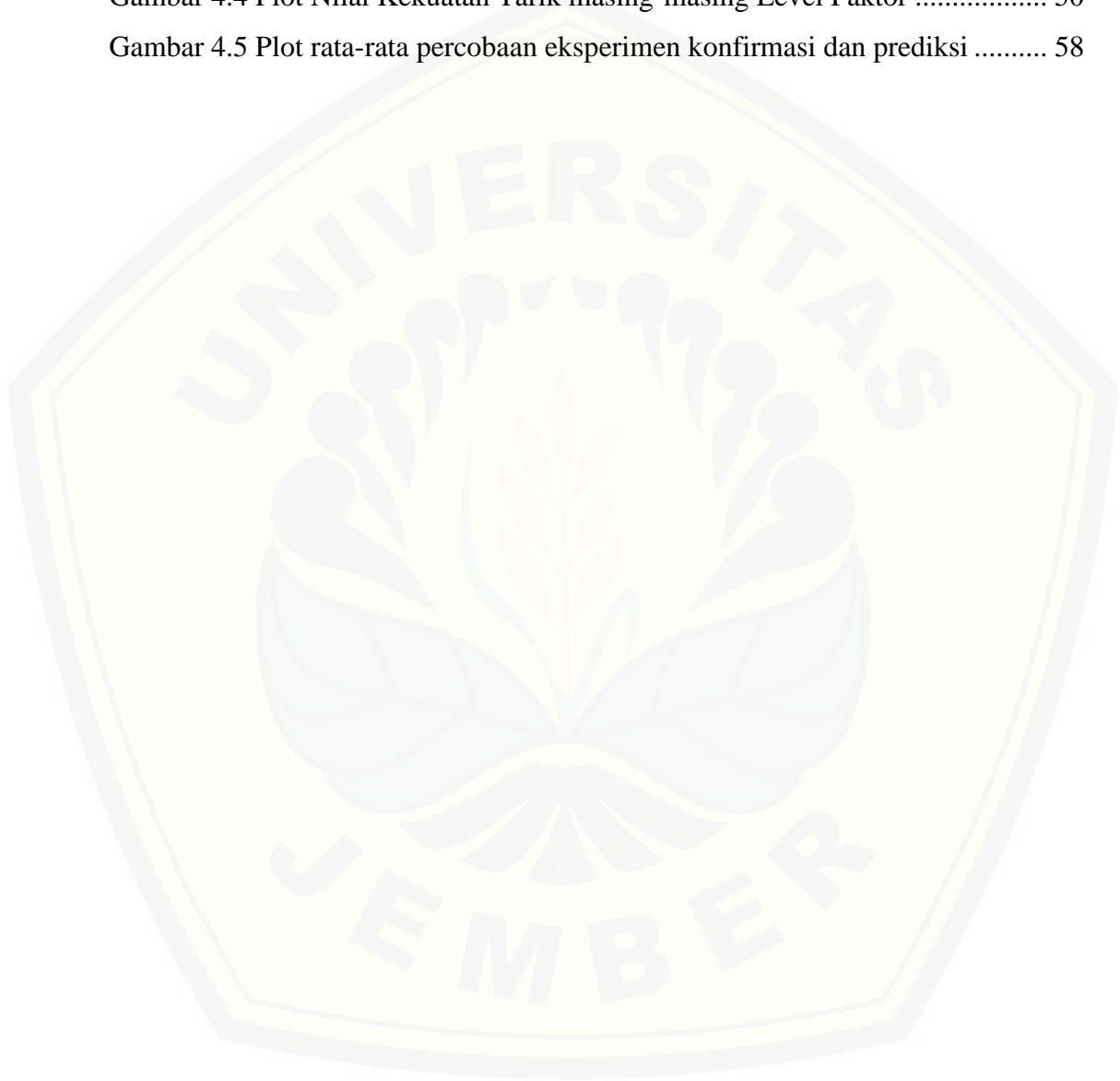




## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aplikasi Komposit (Sumber: Muhammad dan Reza Putra, 2014).....	4
Gambar 2.2 Komposisi Komposit (Sumber: Jones, 1999).....	5
Gambar 2.3 Skematik <i>Interface</i> (Sumber :Jones, 1999) .....	6
Gambar 2.4 Orientasi Arah Serat (Sumber: Muhammad dan Reza Putra, 2014) ...	8
Gambar 2.5 Resin <i>Polyester</i> ETERSET 2504 APT .....	11
Gambar 2.6 Hasil Material dari <i>Filament Winding</i> (Sumber :Huang dkk., 2001) 13	
Gambar 2.7 <i>Filament Winding</i> (Sumber : Harry, 2012) .....	13
Gambar 2.8 Pola <i>Hoop</i> (Sumber: Wollner, 2011).....	16
Gambar 2.9 Pola <i>Heliks</i> (Sumber: Wollner, 2011) .....	17
Gambar 2.10 Pola Polar (Sumber Wollner, 2011) .....	17
Gambar 2.11 Skema <i>Consolidation Roller</i> (Sumber: Stefanovska dan Risteska, 2014) .....	18
Gambar 2.12 Alat Bantu Pengujian tarik pipa komposit ASTM D2290 (Sumber: 2290, 2000).....	18
Gambar 2.13 Bentuk Spesimen Uji Tarik (Sumber: ASTM D 2290, 2000).....	19
Gambar 3.1 Resin eterset 2504 APT .....	30
Gambar 3.2 Katalis MEPOXE (Saputra dkk., 2017) .....	31
Gambar 3.3 Benang Katun.....	32
Gambar 3.4 Mesin <i>Filament Winding</i> .....	32
Gambar 3.5 Dimensi Mesin <i>Filament Winding</i> .....	34
Gambar 3.6 <i>Consolidation Roller</i> .....	34
Gambar 3.7 Suntikan.....	34
Gambar 3.8 Wadah.....	35
Gambar 3.9 Timbangan Digital .....	35
Gambar 3.10 Oven .....	36
Gambar 3.11 Termometer Digital .....	36
Gambar 3.12 Dimensi Spesimen Uji Tarik (Sumber: 2290, 2000).....	39

Gambar 3.13 Diagram Alir Penelitian .....	42
Gambar 4.1 Plot <i>Auto Correlation Fuction (ACF)</i> .....	47
Gambar 4.2 Plot Uji Identik .....	47
Gambar 4.3 Plot Uji Distribusi Normal .....	48
Gambar 4.4 Plot Nilai Kekuatan Tarik masing-masing Level Faktor .....	50
Gambar 4.5 Plot rata-rata percobaan eksperimen konfirmasi dan prediksi .....	58

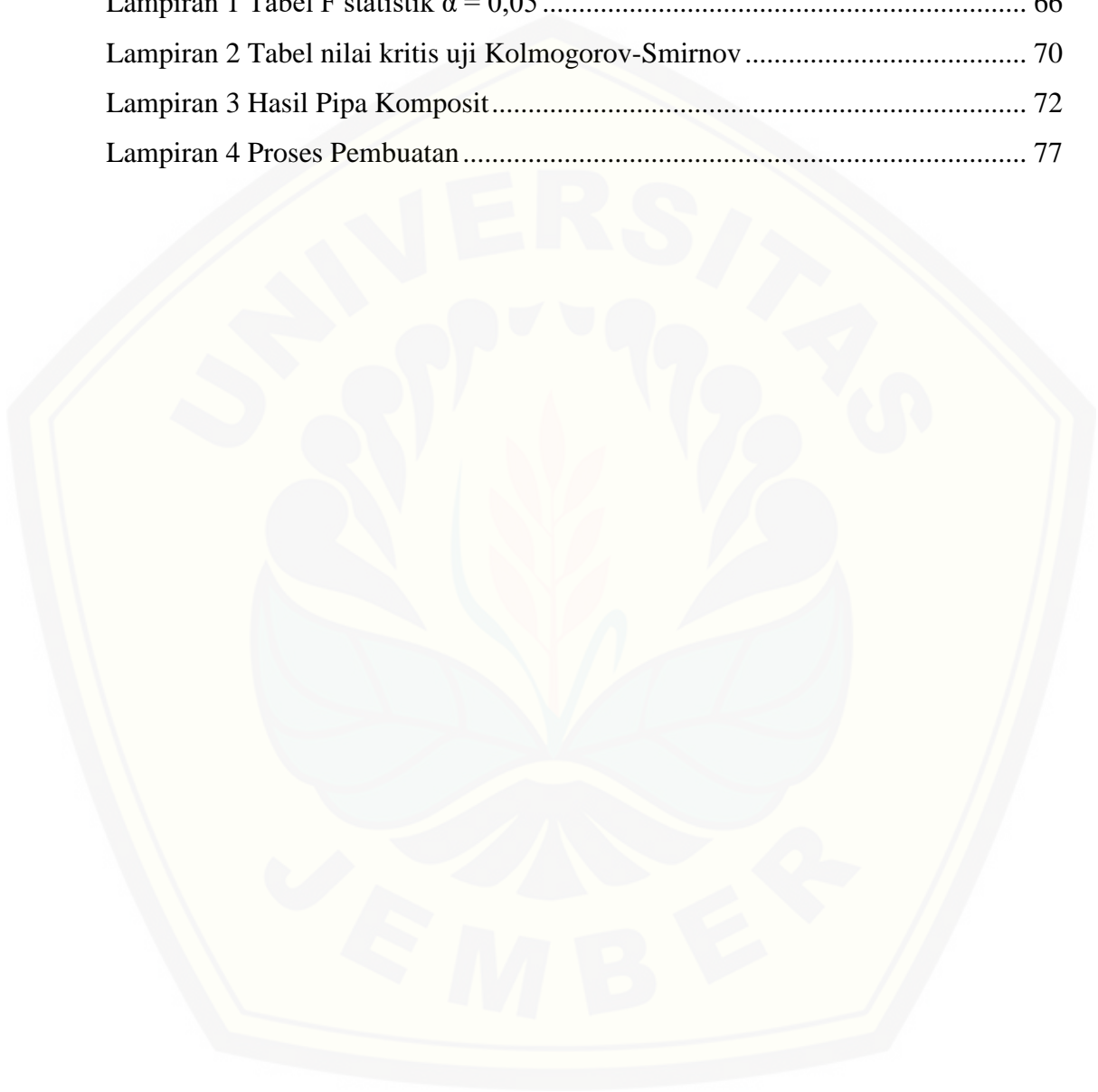


## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi berdasarkan panjang serat kapas (Sumber : Amri, dkk. 2005).	12
Tabel 2.2 <i>Mechanical properties of natural and man-made fibres</i> Sumber : (Amri, dkk. 2005).	12
Tabel 2.3 ANOVA dengan 3 Arah (Sumber: Ermawati dan Hartati, 2014)	24
Tabel 2.4 <i>Orthogonal Array <math>L_9(3^3)</math></i> (Sumber : Soejanto, 2009)	27
Tabel 3.1 Spesifikasi Resin 2504 APT (Saputra dkk., 2017)	31
Tabel 3.2 Spesifikasi katalis MEPOXE	31
Tabel 3.3 Spesifikasi Termometer digital IR60	36
Tabel 3.4 Variabel Bebas	37
Tabel 3.5 Variabel Tetap	37
Tabel 3.6 Kode Sampel	38
Tabel 3.7 Hasil ANOVA dan Kontribusi Parameter yang Berpengaruh	39
Tabel 3.8 Data Hasil Pengujian Kekuatan tarik Komposit Benang Katun	40
Tabel 3.9 Jadwal Penelitian	43
Tabel 4.1 Data Hasil Eksperimen	44
Tabel 4.2 Data Rasio S/N Kekuatan Tarik	46
Tabel 4.3 Respon Rata-rata Kekuatan Tarik untuk Setiap Variabel Bebas	50
Tabel 4.4 Variasi Kombinasi Optimal pada Fabrikasi Pipa Komposit	51
Tabel 4.5 Hasil ANOVA Fabrikasi Pipa Komposit	53
Tabel 4.6 Kondisi Hipotesa $H_0$	54
Tabel 4.7 Persen Kontribusi Tiap Variabel Bebas	56
Tabel 4.8 Hasil Kekuatan Tarik Eksperimen Konfirmasi	57
Tabel 4.9 Persen Kontribusi Tiap Variabel Bebas	59

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel F statistik $\alpha = 0,05$ .....	66
Lampiran 2 Tabel nilai kritis uji Kolmogorov-Smirnov .....	70
Lampiran 3 Hasil Pipa Komposit .....	72
Lampiran 4 Proses Pembuatan .....	77



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 2.1 Latar Belakang

Komposit saat ini berkembang sangat cepat di berbagai negara. Berkembangnya komposit ini, maka dengan berjalannya waktu logam akan tergantikan akibat dari keunggulan dari material komposit. Salah satu keunggulan material komposit adalah lebih ringan dibandingkan dengan material logam. Hal ini disebabkan material komposit yang murah dan mudah pembuatannya. Sehingga dijadikan pertimbangan dalam memilih kualitas yang dihasilkan. Komposit berpotensi memberikan sifat yang berbeda-beda pada penggunaan yang tidak diperoleh dari logam, polimer, dan keramik. Hal ini, khususnya sifat kekuatan spesifik (Muhammad dan Reza Putra, 2014). Saat ini material komposit digunakan di berbagai bidang. Pengaplikasian material komposit antara lain, peralatan rumah tangga, peralatan elektronik, sepeda gunung dan pipa komposit. Material komposit terdiri atas *reinforcement* dan matriks. *Reinforcement* pada komposit berupa serat.

Serat yang sering digunakan pada pembuatan komposit berupa serat katun. Serat katun berasal dari serat alami yang dapat digunakan untuk membuat komposit. Hal ini karena keunggulannya yang ramah lingkungan, biaya rendah dan kekuatan sebanding dengan serat sintetis (Daniel, 2009). Selain itu, Indonesia mempunyai lahan yang cukup luas untuk serat katun Jawa Timur. Lahan serat katun antara lain terletak di Banyuwangi, Situbondo, Probolinggo, dan Pasuruan (Sastrosupadi, 2006). Serat katun banyak digunakan untuk membuat komposit dengan metode *filament winding*.

Metode *filament winding* saat ini dikembangkan di berbagai negara. Metode ini dapat digunakan untuk membuat pipa komposit. Sehingga dibandingkan dengan logam akan mengurangi biaya manufaktur. Dalam hal ini parameter pada metode *filament winding* berperan penting dalam kekuatan material (Colton dan Leach, 1992). Penelitian dengan metode *filament winding* dilakukan di berbagai

negara untuk memperbaiki kualitas produk. Parameter dari metode *filament winding* akan mempengaruhi kualitas produk. Temperatur curing, kecepatan *feeding*, dan jarak roller merupakan parameter yang dimaksud.

Parameter temperatur curing harus diperhatikan karena dengan temperatur curing yang sesuai maka ikatan-ikatan komposit akan sempurna. Faktor lain yang berpengaruh terhadap kualitas produk adalah kecepatan *feeding*. Kecepatan *feeding* berpengaruh karena pembasahan dari pipa komposit. Pembasahan yang sempurna akan memperbaiki sifat mekanis pipa komposit. Selain itu, faktor jarak roller juga berpengaruh terhadap kualitas produk. Jarak roller berpengaruh terhadap kerataan permukaan pipa komposit. Kerataan akan memperbaiki kualitas dari produk pipa komposit. Parameter tersebut akan mudah dievaluasi menggunakan metode statistik. Salah satu metode statistik yaitu metode Taguchi.

Metode taguchi digunakan dalam bidang teknik. Tujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan. Selain itu, untuk menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin (Soejanto, 2009). Metode statistik khususnya metode taguchi banyak digunakan di bidang optimasi. Pelaksanaan metode ini dengan cara melakukan percobaan untuk menghasilkan kombinasi faktor atau level yang dapat dikendalikan. Salah satu penerapan metode ini adalah pembuatan komposit (Soejanto, 2009).

Berdasarkan latar belakang di atas maka penelitian ini akan mengkaji nilai kekuatan tarik paling optimal. Penggunaan metode taguchi akan mempermudah mengevaluasi parameter temperatur curing, jarak roller, dan kecepatan *feeding*. Diharapkan penelitian ini dapat mengetahui parameter paling optimal terhadap kekuatan tarik.

## 2.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang maka rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh temperature curing, jarak roller, dan kecepatan *feeding* terhadap kekuatan tarik pipa komposit dari produk *filament winding*?

2. Bagaimana menentukan variasi parameter proses yang optimal untuk menghasilkan kekuatan tarik yang maksimal pada produk *filament winding* dengan penguat benang katun dan menggunakan perhitungan Taguchi?

### 2.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Katalis yang digunakan jenis MEPOXE dan diberikan dengan takaran 1,4 ml
2. Material yang digunakan yaitu benang katun dan resin eterset 2504 APT
3. Parameter yang digunakan temperatur, kecepatan *feeding*, dan jarak roller
4. Tidak membahas struktur mikro dari komposit

### 2.4 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh parameter dari kecepatan *feeding*, jarak roller, dan temperature curing terhadap kekuatan tarik yang dihasilkan dari mesin *filament winding*.
2. Mengetahui variasi parameter proses yang optimal untuk menghasilkan tingkat kekuatan tarik pada mesin *filament winding*.

### 2.5 Manfaat

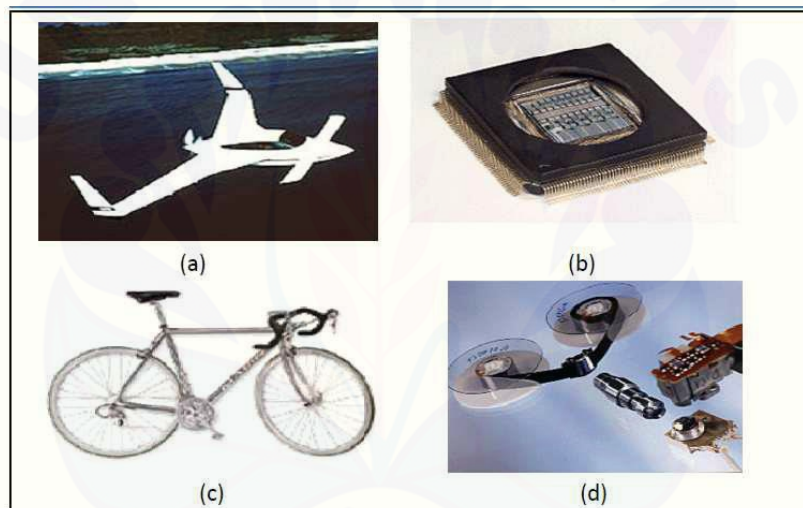
Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui pengaruh parameter dari kecepatan *feeding*, jarak roller, dan temperature curing terhadap kekuatan tarik yang dihasilkan dari produk *filament winding*.
2. Dapat mengetahui variasi parameter proses yang optimal untuk menghasilkan tingkat kekuatan tarik pada produk *filament winding*

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Komposit

Komposit sekarang ini telah banyak digunakan untuk menggantikan logam karena sifat mekaniknya yang lebih baik dan lebih ringan. Aplikasi dari komposit antara lain sebagai pesawat dengan kecepatan tinggi, sepeda gunung, dan mikroelektrik lihat gambar 2.1. Struktur dari komposit terdiri dari *reinforcement* dan matrik yang menyatu.



Gambar 2.1 Aplikasi Komposit (Sumber: Muhammad dan Reza Putra, 2014)

#### 2.1.1 Definisi Komposit

Komposit didefinisikan gabungan dari 2 material atau lebih yang terdiri dari matrik dan *reinforcement* yang memiliki sifat mekanik yang berbeda. Matrik dari komposit dapat berupa polimer, logam ataupun keramik. Sifat-sifat dari komposit tergantung pada fasa-fasa pembentuknya. Berikut gambar 2.2 komposisi komposit. Tujuan dibentuknya komposit antara lain:



A. Memperbaiki sifat mekanis

Komposit akan memperbaiki sifat mekanis dari bentuk mentahnya. Saat matriks dan serat di gabungkan, maka kekuatan dari komposit akan meningkat. Kekuatan komposit akan hampir sama dengan logam.

B. Menjadikan material lebih ringan daripada logam

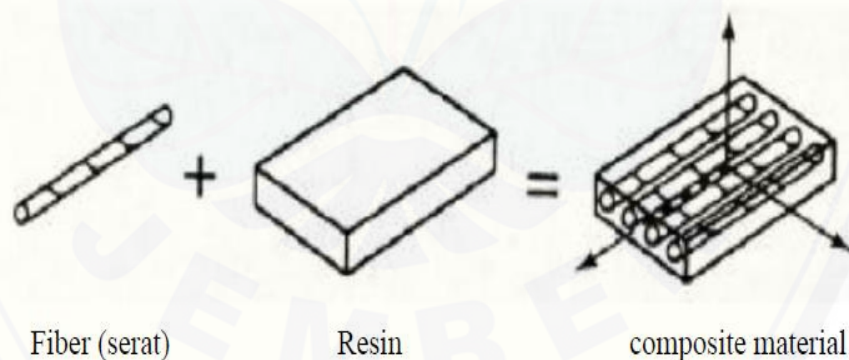
Dibandingkan dengan logam komposit akan lebih ringan. Hal ini disebabkan karena densitas dari komposit lebih rendah dibandingkan dengan logam.

C. Bahan pengganti logam

Bahan komposit akan dengan cepat dapat menggantikan logam. Karena kekuatan yang hampir sama dengan logam dan material yang lebih ringan. Hal ini akan menyebabkan efisiensi dalam bahan bakar mobil.

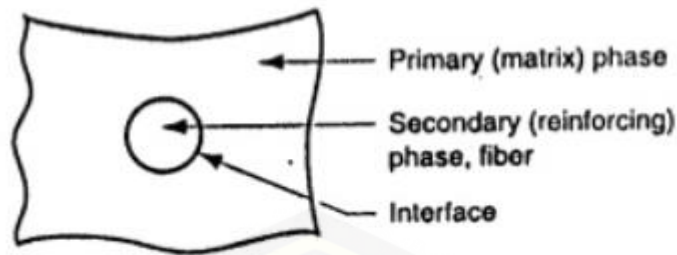
D. Murah

Dibandingkan dengan logam komposit akan lebih murah karena bahan-bahannya merupakan bahan alami. Selain itu bahan-bahan dari komposit mudah untuk didapatkan dibandingkan dengan logam.



Gambar 2.2 Komposisi Komposit (Sumber: Jones, 1999)

Adanya gabungan dari material ini komposit ini menimbulkan beberapa daerah yang istilah dalam penyebutannya Matrik (pelindung dari serat), *reinforcement* (penanggung beban utama), *Interphase* (Pelekat antara 2 penyusun), *Interface* (Permukaan yang berbatasan). Skematik *Interface* terlihat pada gambar 2.3. Matriks sendiri merupakan bagian dari komposit.



Gambar 2.3 Skematik *Interface* (Sumber :Jones, 1999)

### 2.1.2 Matrik

Matrik merupakan fasa kedua dari material komposit. Material Penguat (*reinforcement*) dicampur dengan matrik sewaktu proses pembuatan komposit. Umumnya penguat ini tidak digunakan dengan tujuan untuk meningkatkan sifat mekanik bahan dari komposit yang akan dibuat. Tetapi dengan tujuan untuk merubah sifat karakteristik bahan. Seperti butiran kaca untuk mengurangi berat, karbon hitam digunakan untuk perlindungan pada radiasi ultraviolet, tanah liat / mika untuk menurunkan biaya dan alumina *trihydrate* untuk menekan nyala dan asap (Muhammad dan Reza Putra, 2014). Fungsi dari matriks ini antara lain :

#### A. Melindungi serat

Matrik terletak pada bagian permukaan pada komposit. Sehingga serat akan terlindungi dari dampak faktor lingkungan. Hal ini, karena serat berada pada bagian dalam matrik.

#### B. Mentransfer tegangan ke serat

Saat diberikan beban matrik akan mentransfer tegangan ke serat dan serat akan mengembalikan tegangan ke matriks. Sehingga Matrik akan mempengaruhi kekuatan dari komposit. Hal ini, karena apabila terdapat void maka tegangan akan terletak pada satu titik.

Dalam pemilihan material matriks ada berbagai hal yang harus diperhatikan. Hal ini, karena matrik akan berada pada permukaan dari komposit sehingga harus memiliki sifat tahan terhadap cuaca, tahan panas dan tahan terhadap guncangan. Matriks umumnya terbuat dari polimer yaitu antara lain termoset dan termoplastik. Selain itu, serat juga merupakan fasa dari komposit.

### 2.1.3 Serat (*Reinforcement*)

Serat merupakan fasa penguat dari komposit. Ukuran dari serat akan mempengaruhi kekuatan dari komposit yang akan dibuat. Gabungan yang paling sering digunakan yaitu serat yang mempunyai sifat keras dan kuat. Semakin panjang ukuran pada serat, maka kemungkinan untuk menghilangkan retak sepanjang batas pertemuan (antar muka) serat dan matrik semakin baik. Sehingga serat mencegah cacat permukaan (Muhammad dan Reza Putra, 2014).

Serat akan menerima tegangan dari matriks. Pada ujung serat, tegangan akan dikembalikan ke matriks dan akan didistribusikan ke serat-serat yang lain. Namun sifat dari komposit juga tergantung pada arah serat yang diberikan terhadap tegangan. Fungsi dari serat ini antara lain :

#### A. Sebagai penanggung beban utama

Dibandingkan dengan matrik serat akan paling mempengaruhi kekuatan dari komposit. Sehingga serat akan digunakan sebagai penanggung beban utama.

#### B. Sebagai penguat

Serat akan menjadi penguat karena arah dari serat akan mempengaruhi kekuatan dari komposit. Saat komposit diberi beban kekuatan terbaik akan didapatkan pada pembebanan yang searah dengan orientasi serat.

Orientasi arah serat terdapat 4 macam yaitu serat parallel, satu arah, dan serat arah *random*. Orientasi arah serat dapat dilihat pada gambar 2.4. Kekuatan dari komposit tergantung pada arah serat yang diberikan. Kekuatan serat akan baik jika menerima beban sesuai dengan arah orientasi pada serat. Sedangkan apabila serat menerima beban tegak lurus dengan arah orientasi serat kekuatan dari komposit akan berkurang. Adanya ini akan menjadikan komposit mempunyai keunggulan yang lebih. Ada beberapa macam model dari orientasi arah serat :

#### a. Kontinyu dan searah

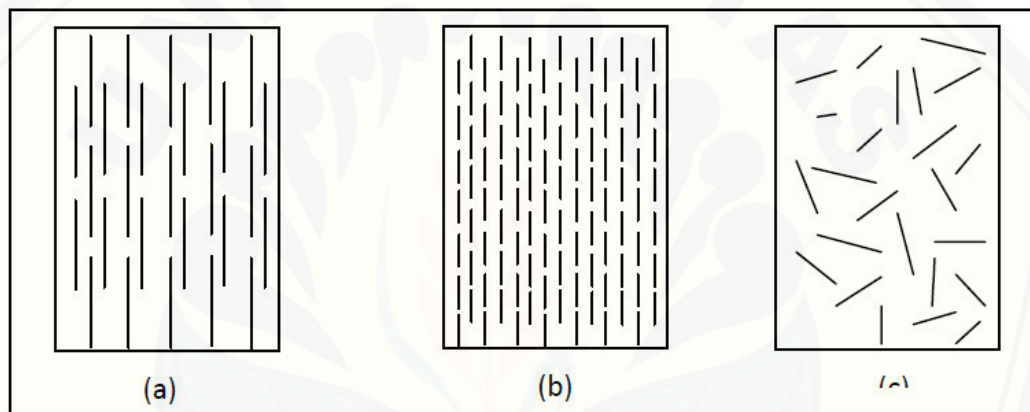
Gambar 2.4 (a) menunjukkan serat dengan serat yang searah dan kontinyu. Kekuatan paling tinggi akan didapatkan pada serat yang kontinyu dan searah.

b. Tidak kontinyu dan searah

Gambar 2.4 (b) menunjukkan serat yang searah namun tidak kontinyu. Hal ini serat terlihat lebih pendek sehingga kekuatan akan buruk dibandingkan dengan serat kontinyu dan searah.

c. Tidak kontinyu dan acak

Gambar 2.4 (c) menunjukkan serat yang acak dan tidak kontinyu. Serat ini akan memiliki kekuatan paling rendah karena apabila diberi beban serat tidak menanggung beban seutuhnya. Karena kekuatan serat tergantung pada arah orientasi serat.



Gambar 2.4 Orientasi Arah Serat (Sumber: Muhammad dan Reza Putra, 2014)

Dari ketiga orientasi serat yang ditunjukkan pada gambar 2.4. arah kontinyu dan searah paling memberikan kekuatan paling tinggi apabila ditarik sesuai dengan arah seratnya. Pada komposit mempunyai sifat yang berbeda pada arah yang melintang dan tegak lurus (Muhammad dan Reza Putra, 2014). Selain itu, terdapat klasifikasi pada komposit.

#### 2.1.4 Klasifikasi Komposit

Komposit dapat diklasifikasikan menjadi 3 kelompok berdasarkan pada matriks yang digunakan antara lain adalah (Muhammad dan Reza Putra, 2014):

A. *Metal Matrix Composite (MMC)*

MMC merupakan komposit dengan matriks logam. Komposit MMC mempunyai densitas yang rendah, titik lebur yang rendah dan mempunyai

keuletan yang tinggi. Komposit MMC biasanya menggunakan aluminium paduan, titanium paduan, dan Magnesium paduan pada matriksnya. Komposit MMC dikembangkan pada tahun 1996. Keuntungan dan kerugian dari MMC ini adalah sebagai berikut:

1. Keuntungan dari komposit MMC

a. Tahan terhadap panas

Logam sendiri mempunyai sifat tahan terhadap panas. Karena *matriks* yang terbuat dari logam maka MMC akan tahan terhadap panas.

b. Lebih kuat

Dibandingkan dengan PMC komposit MMC akan lebih kuat karena sifat dari polimer sendiri tidak sekuat logam.

2. Kekurangan dari komposit MMC

a. Korosi

Sifat dari logam sendiri mudah untuk korosi. Hal ini yang menyebabkan komposit dengan *Matriks* MMC akan mudah berkarat.

B. *Ceramic Matrix Composite* (CMC)

CMC merupakan komposit dengan matriks keramik. Matriks yang paling sering digunakan pada komposit CMC yaitu alumina dan silikon nitrida. Keuntungan dan kerugian dari komposit CMC adalah :

1. Keuntungan komposit CMC

a. Tahan terhadap panas

Sifat dari keramik sendiri tahan terhadap panas yang cukup tinggi. Sehingga komposit dengan *Matriks* CMC akan tahan terhadap panas

b. Tahan korosi

Tidak seperti logam keramik akan tahan terhadap korosi. Hal ini karena keramik tidak teroksidasi dengan oksigen.

2. Kerugian komposit CMC

1. Mahal

Karena memiliki keuntungan yang lebih baik dibandingkan logam maka keramik akan lebih mahal.

### C. *Polymer Matrix Composite* (PMC)

Komposit PMC merupakan komposit dengan matriks polymer. Polymer yang sering digunakan yaitu thermoset dan termoplastik. Keuntungan dan kerugian dari komposit PMC ini adalah:

#### 1. Keuntungan komposit PMC

##### a. Ringan

Densitas dari polimer akan lebih ringan dibandingkan dengan keramik dan logam. Sehingga komposit dengan polimer akan lebih ringan.

##### b. Murah

Polimer lebih mudah didapatkan dibandingkan dengan keramik dan logam. Oleh sebab itu polimer lebih murah dibandingkan dengan keramik dan logam.

#### 2. Kerugian komposit PMC

##### a. Kekuatan rendah

PMC akan memiliki kekuatan paling rendah dibandingkan dengan MMC dan CMC. Hal ini akibat dari sifat dari polimer yang memiliki densitas yang lebih rendah.

Penelitian ini akan menggunakan matriks polimer. Hal ini karena polimer yang lebih murah dan mudah untuk dicari. Polimer yang digunakan yaitu jenis *Polyester*

## 2.2 Resin *Polyester*

Resin *polyester* ini merupakan resin berbentuk cairan yang dapat mengeras apabila ditambahkan katalis. Resin *polyester* yang akan digunakan dalam proses pembuatan komposit dengan metode *filament winding* adalah resin *unsaturated eterset 2504*. Resin ini merupakan resin dengan viskositas rendah. Dalam pembuatan komposit resin ini digunakan sebagai matriks dengan sifat dari densitas 1,215 g/cm<sup>3</sup>, titik leleh 170°C, serapan air 0,118 % tensile strength 5,5

kg/mm<sup>2</sup> dan perpanjangan putus 1,6% (Statistianto, 2016). Gambar 2.5 merupakan resin *polyester*



Gambar 2.5 Resin *Polyester* ETERSET 2504 APT

Jenis katalis yang digunakan untuk mengeraskan resin ini adalah *Metyl Etyl Keton Peroksida* (MEKPO). Katalis ini digunakan untuk mempercepat reaksi kimia. Katalis yang digunakan dibatasi hanya 1% sampai 2% dari berat resin (Wibowo, 2014). Selain itu, serat yang sering digunakan adalah serat katun.

### 2.3 Serat Katun

Serat katun adalah serat tekstil alami yang paling banyak digunakan di dunia saat ini. Penggunaan serat katun antara lain pakaian dan perabotan di rumah. Serat katun nyaman dipakai, mudah untuk merawat, dan tahan lama. Serat katun menyebar ke lebih dari 80 negara. Salah satunya Amerika Serikat. AS sendiri memproduksi 3,8 juta ton serat katun per tahun dan mengkonsumsi 1,7 juta ton per tahun. Serat katun dapat diidentifikasi dengan pemeriksaan visual, uji bakar, Uji Kelarutan dan Mikroskop (Amri dkk., 2005). Berikut adalah sifat fisik dari serat kapas:

#### a. Panjang serat

Panjang serat adalah yang paling penting dari serat kapas. Panjang serat dijelaskan sebagai panjang rata-rata satu setengah dari serat. Berikut adalah klasifikasi serat kapas pada tabel 2.1 dan sifat mekanik serat kapas pada tabel 2.2.

Tabel 2.1 Klasifikasi berdasarkan panjang serat kapas (Sumber : Amri, dkk. 2005).

Panjang rata-rata (inchi)	Kualitas
Dibawah 0,99	Rendah
0,99-1.26	Sedang
Diatas 1,26	Tinggi

#### b. Kekuatan Serat

Tabel 2.2 *Mechanical properties of natural and man-made fibres* Sumber : (Amri, dkk. 2005).

Property	Benang Katun
Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.5–1.6
Tensile strength (MPa)	287–597
Young modulus	5.5–12.6
Elongation (%)	7-8

Serat katun dapat digunakan untuk membuat komposit. Salah satu metode pembuatan komposit dengan serat katun yaitu metode *filament winding*.

## 2.4 *Filament Winding*

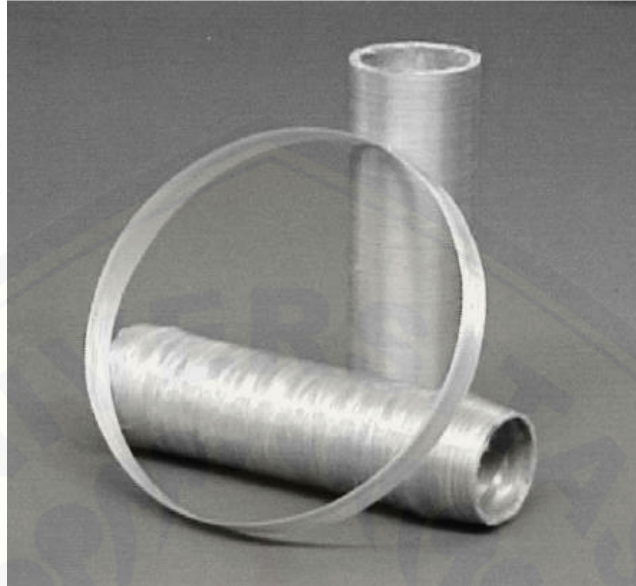
*Filament winding* merupakan teknik pembuatan komposit dengan cara melewatkan serat ke dalam resin bath. Dalam *resin bath* serat diserapi oleh resin sehingga resin dan serat dalam keadaan tercampur. Kemudian serat yang telah tercampur dililitkan ke mandrel yang berputar, Serat ini berputar sehingga membentuk orientasi pola tertentu. Pola ini melilit mandrel hingga menutupi permukaan mandrel akibat dari lilitan yang berulang-ulang lihat gambar 2.7 (Harry, 2012). Parameter yang mempengaruhi pada mesin *filament winding* adalah sebagai berikut:

- A. Suhu curing : Proses pengeringan komposit setelah jadi dengan suhu tertentu.
- B. Sudut serat : Arah sudut dari serat saat proses penggulungan dalam mandrel.
- C. Kecepatan *feeding* : Kecepatan dari mandrel yang akan mempengaruhi



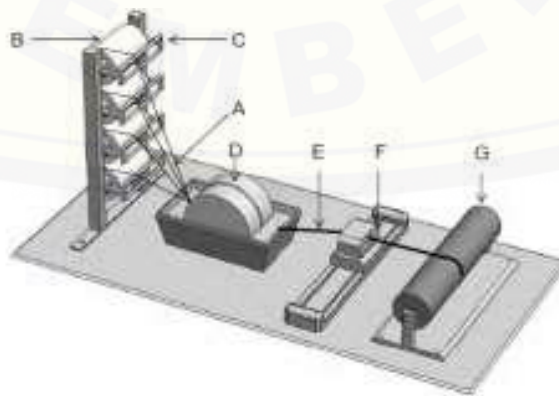
pembasahan komposit.

D. Jarak roller : Jarak dari roller pada mandrel untuk meratakan komposit.



Gambar 2.6 Hasil Material dari *Filament Winding* (Sumber :Huang dkk., 2001)

Bentuk pada komposit *filament winding* berupa lingkaran yang ditunjukkan gambar 2.6. Aplikasi dari mesin *filament winding* dapat digunakan sebagai tabung gas, pipa komposit, pembuatan tangki, bejana bertekanan, dan *drive shaft*. Komposit-komposit ini digunakan untuk menggantikan logam karena komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam. Pembuatan komposit dengan metode *filament winding* mempunyai keuntungan yang baik.



Gambar 2.7 *Filament Winding* (Sumber : Harry, 2012)

#### 2.4.1 Keuntungan Mesin *Filament Winding*

Berikut adalah keuntungan dari penggunaan mesin *filament winding* adalah sebagai berikut :

A. Dapat digunakan untuk produksi massal.

Karena proses dari metode *filament winding* yang cukup mudah dan otomatis, maka metode ini berpotensi untuk digunakan produksi massal

B. Dapat digunakan untuk ukuran besar.

Cetakan mandrel akan mempengaruhi ukuran dari bahan komposit dengan metode *filament winding*. Mandrel semakin besar maka komposit juga akan semakin besar.

C. Proses otomatis

Pembuatan komposit dengan metode *filament winding* akan otomatis. Sehingga akan melibatkan tenaga kerja yang sedikit.

#### 2.4.2 Kekurangan Mesin *Filament Winding*

Berikut adalah kekurangan dari penggunaan mesin *filament winding* adalah sebagai berikut :

A. Biaya investasi modal mahal.

Karena pembuatannya yang cukup rumit dan merupakan proses otomatis, maka metode *filament winding* cukup mahal.

Terdapat bagian-bagian pada mesin *filament winding*. Setiap bagian memiliki kegunaan tersendiri.

#### 2.4.3 Bagian-bagian Mesin *Filament Winding*

Berikut adalah bagian-bagian utama pada mesin *filament winding* yang ditunjukkan pada gambar 2.7 :

A. *Reinforcing Fibre*

Serat atau penguat dapat terdiri dari berbagai macam material antara lain *fiber glass*, aramid, dan *polyethylene*. Penggunaan dari jenis serat atau penguat ini mempengaruhi hasil akhir dari komposit yang akan dibuat. Serat yang biasa

digunakan dalam filament winding biasanya serat karbon karena mempunyai sifat akhir yang ringan dan berkekuatan tinggi. Adanya resin dalam serat berfungsi sebagai pengikat atau matriks. Adanya matriks ini dapat menjadi faktor penting dalam proses *filament winding*. Fungsi pengikat ini antara lain melumasi serat untuk meminimalkan abrasi selama produksi. Selain itu mempengaruhi pembasahan terhadap penguat.

B. *Bobbins*

*Roller* dimana serat akan dijalankan menuju *resin bath*. Kemudian serat akan menuju *Tensioning and guiding system*.

C. *Tensioning and guiding system*

Merupakan sistem yang digunakan untuk mengontrol tegangan pada serat selama produksi. Dengan mengontrol tegangan pada serat memungkinkan untuk mengatur akurasi dari pola serat saat melilit mandrel. Meningkatkan tegangan dapat meningkatkan kekuatan dari komposit akibat dari berkurangnya porositas (Roychowdhury dan Advani, 1991).

D. *Resin bath*

Umumnya digunakan untuk mencampur serat dan resin atau biasa disebut dengan impregnasi.

E. Serat yang telah diresapi resin

Setelah diresapi resin, serat disalurkan menuju *transversing carriage*.

F. *Transversing Carriage*

Merupakan alat yang digunakan untuk menyalurkan serat yang telah diresapi ke mandrel untuk dilakukan proses pembentukan pola. *Transversing Carriage* ini bergerak secara horizontal sehingga serat akan membentuk sudut dan membentuk pola. Pola yang terbentuk dapat berupa *hoop, polar* dan sudut (heliks). Saputra dkk., 2017 menyimpulkan bahwa pada sudut orientasi benang yang semakin besar atau tinggi, kekuatan tarik bertambah.

## G. Mandrel

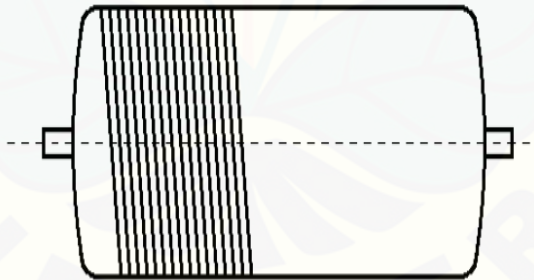
Tempat dimana serat yang telah diresapi diputar untuk membentuk pola. Setelah kering maka komposit diambil dengan melepas mandrel. Mandrel akan membentuk pola yang akan mempengaruhi kekuatan mekanis dari komposit.

### 2.4.4 Pola Pada *Filament Winding*

Saat melakukan pelilitan pada mandrel terdapat bentuk pola yang terbentuk pada mandrel. Pola ini mempengaruhi kekuatan dari komposit yang akan dibuat. Pola ini terdapat berbagai macam-macam antara lain adalah (Skjaerholt, 2012):

#### A. *Hoop*

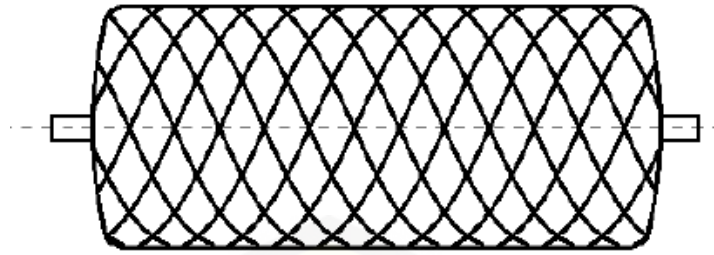
Pola lingkaran (*hoop*) sering disebut dengan pola putaran radial. Ini adalah istilah karena mendekati sudut lengkung  $90^\circ$ . Untuk setiap rotasi mandrel serat memajukan 1 bandwitch. Pola ini merupakan pola yang paling sering digunakan untuk menghasilkan struktur pola yang seimbang (Skjaerholt, 2012). Pola *hoop* terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Pola *Hoop* (Sumber: Wollner, 2011)

#### B. *Heliks*

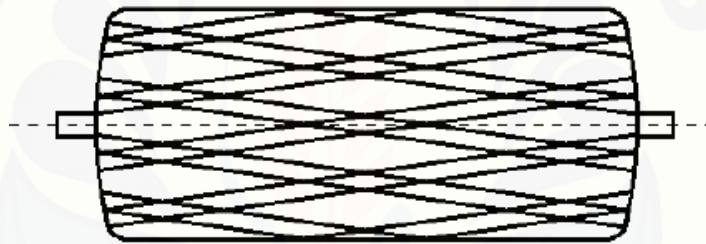
Merupakan pola multi sirkuit dengan sudut orientasi  $5^\circ$  sampai  $80^\circ$ . Pola yang dihasilkan berupa pola yang bergantian atau bersilangan sehingga membentuk 2 *layer* dalam 1 lapisan. Pola *heliks* terlihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pola *Heliks* (Sumber: Wollner, 2011)

### C. Polar

Ciri-ciri dari pola serat polar adalah membentuk sudut tangensial di ujung mandrel. Lay-up yang dihasilkan memiliki serat miring sekitar  $0^\circ$  sampai  $5^\circ$ . Saat satu pola melintasi seluruh lingkaran pada mandrel *bandwitch* akan ada jarak antar *layer*. Pola polar terlihat pada gambar 2.10.



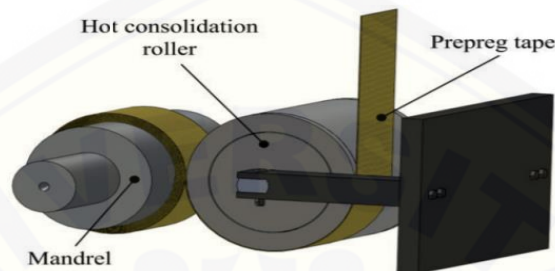
Gambar 2.10 Pola Polar (Sumber Wollner, 2011)

Pola pada akan diresapi oleh resin yang terdapat dalam *resin bath*. Sehingga resin akan terdapat pada permukaan komposit. Resin ini saat mengering tidak akan rata. Oleh sebab itu, maka *consolidation roller* akan berperan untuk meratakan permukaan dari komposit

### 2.5 Consolidation Roller

*Consolidation roller* merupakan perangkat tambahan dari mesin *filament winding*. *Consolidation roller* ini digunakan untuk meratakan permukaan dari komposit sekaligus dapat mengurangi porositas dari komposit yang telah dibuat. Konsolidasi merupakan langkah pemrosesan dimana jarak diterapkan pada komposit. Kegunaan untuk meratakan komposit dan menghilangkan udara yang

terperangkap dalam komposit, dengan demikian mengikat laminasi komposit menjadi bebas porositas. Konsolidasi yang tidak benar dapat mengakibatkan tegangan sisa dan porositas. Fungsi dari konsolidasi ini merupakan untuk menyeragamkan serat dan matrik (Carpenter dan Colton, 1994). Berikut adalah skema *consolidation roller* pada gambar 2.11.

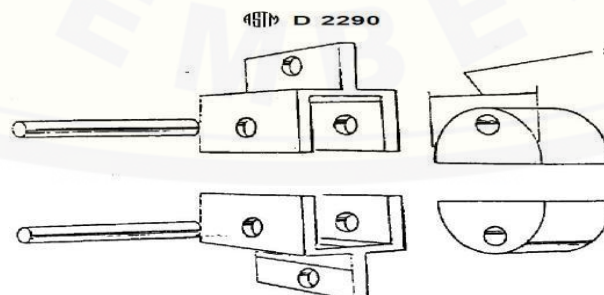


Gambar 2.11 Skema *Consolidation Roller* (Sumber: Stefanovska dan Risteska, 2014)

*Consolidation roller* akan mempengaruhi kekuatan mekanis. Salah satu kekuatan mekanis yaitu kekuatan tarik. Terdapat standar khusus untuk menghitung nilai kekuatan tarik. Salah satu standar yaitu kekuatan tarik yaitu ASTM D-2290.

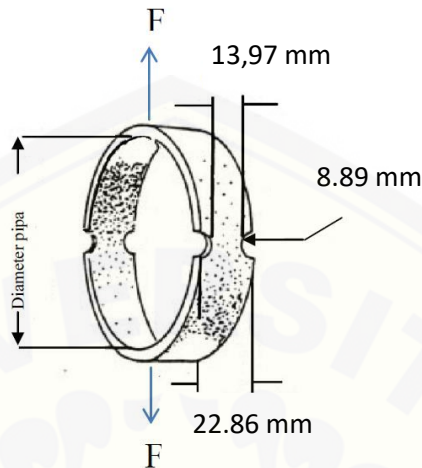
## 2.6 ASTM D-2290

ASTM D-2290 merupakan standar perhitungan kekuatan tarik komposit dengan metode *filament winding*. Pengujian tarik ini membutuhkan alat bantu untuk melakukan pengujian yang ditunjukkan oleh gambar 2.12.



Gambar 2.12 Alat Bantu Pengujian tarik pipa komposit ASTM D2290 (Sumber: 2290, 2000)

Bentuk dan dimensi spesimen menurut Standar ASTM D 2290 di tunjukkan oleh gambar 2.13.



Gambar 2.13 Bentuk Spesimen Uji Tarik (Sumber: ASTM D 2290, 2000)

Perhitungan kekuatan tarik menurut Standar ASTM D-2290 menggunakan rumus 2.1 :

$$\sigma_t = F_b / 2 A_m \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

$\sigma_T$  = Tegangan Tarik Maksimum (Mpa)

$F_b$  = Beban Maksimum ( N )

$A_m$  = Luas Area Minimum (mm<sup>2</sup>)

Perhitungan nilai kekuatan tarik dengan ASTM D-2290 juga dapat dievaluasi dengan metode statistik. Salah satu metode statistik yaitu metode Taguchi.

## 2.7 Metode Taguchi

Salah satu metode statistik adalah metode taguchi penulisnya adalah Genichi Taguchi. Saat melakukan penelitian Genichi Taguchi melakukan percobaan dengan mendesain percobaan yaitu rancangan fraksional faktorial. Taguchi menggunakan *Orthogonal Array (OA)*. Tabel ini dapat digunakan dalam menentukan faktor yang berpengaruh pada kualitas produksi sehingga dapat

diketahui tingkat faktor yang memberikan hasil yang paling optimal (Ermawati dan Hartati, 2014). Keunggulan dari Metode Taguchi adalah sebagai berikut :

1. Desain eksperimen yang dilakukan Taguchi lebih efisien karena dapat menjelaskan penelitian yang lebih banyak faktor dan jumlah.
2. Desain eksperimen menggunakan metode Taguchi dapat menghasilkan produk yang konsisten dan kokoh terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol.
3. Metode Taguchi menghasilkan kesimpulan mengenai respon faktor-faktor dan level dari faktor-faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.

#### 2.7.1 Konsep Metode Taguchi

Metode taguchi digunakan guna untuk meningkatkan kualitas dari produk dan proses dalam waktu bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode taguchi berupaya terhadap faktor seperti pelengkapan, material, kondisi-kondisi operasional, dan tenaga kerja manusia. Metode taguchi juga dapat disebut sebagai perancangan kokoh (*robust design*).

Taguchi mengemukakan bahwa produk yang hanya memenuhi spesifikasi tidak cukup sebagai hasil yang sesuai. Tetapi produk yang memiliki kualitas yang tepat sesuai dengan target adalah yang terbaik. Taguchi mengartikan terdapat 3 konsep yang dapat membuat kualitas dari produk Tangguh (*robust performance*) (Ermawati dan Hartati, 2014).

1. *Quality robustness*  
Kualitas dari produk sebaiknya tidak dimasukkan ke dalam produk tersebut. Produk yang akan dibuat sebaiknya tahan terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikendalikan.
2. *Target Oriented Quality*  
Kualitas sebaiknya didapatkan dengan cara meminimalkan penyimpangan (deviasi) dari target.
3. *Quality Loss Fuction*  
Biaya sebaiknya diukur dalam nilai penyimpangan dari nilai standar dan kerugian sebaiknya dapat meliputi seluruh sistem yang ada.



Terdapat 2 analisa yang dituliskan oleh taguchi. Antara lain adalah ANOM (*Analysis of Mean*) dan ANOVA (*Analysis of Variant*).

### 2.7.2 Analisis dalam Metode Taguchi

#### 1. ANOM (*Analysis of Mean*)

Analisis ini digunakan untuk mencari kombinasi dari parameter kendali sehingga dapat didapatkan hasil yang optimum. Dilakukan dengan membandingkan nilai rata-rata S/N ratio pada pada setiap level dan masing-masing parameter kendali dengan grafik. Dengan dilakukannya perbandingan tersebut maka didapatkan apakah akan berpengaruh dari parameter kendali.

#### 2. ANOVA (*Analysis of Variant*)

Analisis ini digunakan untuk mencari besarnya pengaruh parameter kendali terhadap proses. Dilakukan dengan cara membandingkan nilai *Sum of Square* dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali. Tabel 2.3 menunjukkan ANOVA dengan 3 arah. Langkah perhitungan adalah:

##### A. Jumlah Kuadrat Faktor A ( $SS_A$ )

$$SS_A = \left[ \sum_{i=1}^{K_A} \left( \frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$SS_A$  = Jumlah Kuadrat Faktor A (Suhu Curing)

$A_i$  = Level ke i dari faktor A

$K_A$  = Jumlah level faktor A

$n_{A_i}$  = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor A

T = Jumlah data keseluruhan

N = Jumlah total eksperimen

##### B. Jumlah Kuadrat Faktor B ( $SS_B$ )

$$SS_B = \left[ \sum_{i=1}^{K_B} \left( \frac{B_i^2}{n_{B_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

$SS_B$  = Jumlah Kuadrat Faktor B (Kecepatan *feeding*)

$B_i$  = Level ke i dari faktor B

- $K_B$  = Jumlah level faktor B  
 $n_{Bi}$  = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor B  
 $T$  = Jumlah data keseluruhan  
 $N$  = Jumlah total eksperimen

C. Jumlah Kuadrat Faktor C ( $SS_C$ )

$$SS_C = \left[ \sum_{i=1}^{K_C} \left( \frac{C_i^2}{n_{Ci}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

- $SS_C$  = Jumlah Kuadrat Faktor C (Jarak roller)  
 $C_i$  = Level ke i dari faktor C  
 $K_C$  = Jumlah level faktor C  
 $n_{Ci}$  = Jumlah eksperimen level ke i dari faktor C  
 $T$  = Jumlah data keseluruhan  
 $N$  = Jumlah total eksperimen

D. Derajat Kebebasan (DK)

$$DK = (b - 1) \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

- $DK$  = Derajat Kebebasan  
 $b$  = Banyak level yang diteliti

E. Rata-rata Kuadrat Faktor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{DK_A} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

- $MS_A$  = Rata-rata kuadrat faktor A  
 $SS_A$  = Jumlah kuadrat faktor A  
 $DK_A$  = Derajat Kebebasan faktor A

F. Rata-rata Kuadrat Faktor B

$$MS_B = \frac{SS_B}{DK_B} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

- $MS_B$  = Rata-rata kuadrat faktor B

$SS_B$  = Jumlah kuadrat faktor B

$DK_B$  = Derajat Kebebasan faktor B

G. Rata-rata Kuadrat Faktor C

$$MS_C = \frac{SS_C}{DK_C} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

$MS_C$  = Rata-rata kuadrat faktor C

$SS_C$  = Jumlah kuadrat faktor C

$DK_C$  = Derajat Kebebasan faktor C

H. Jumlah Kuadrat Total ( $SS_T$ )

$$SST = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

$SS_T$  = Jumlah kuadrat total

$N$  = Jumlah total eksperimen

$y_i$  = Rata-rata data yang diperoleh dari eksperimen ke i

$\bar{y}$  = Rata-rata total seluruh eksperimen

I. Jumlah kuadrat karena rata –rata ( $SS_m$ )

$$SS_m = N \cdot Y'^2 \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

$SS_m$  = Jumlah kuadrat karena rata-rata

$N$  = Jumlah total eksperimen

$Y'$  = rata rata total dari seluruh eksperimen

J. Jumlah Kuadrat Error ( $SS_e$ )

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + SS_C \dots \dots \dots (2.11)$$

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

Dimana :

$SS_{faktor}$  = Jumlah kuadrat seluruh faktor

$SS_e$  = Jumlah kuadrat error

Tabel 2.3 ANOVA dengan 3 Arah (Sumber: Ermawati dan Hartati, 2014)

Parameter	(DK)	SS	MS	F
Faktor A	$DK_a = b_a - 1$	$SS_A = \left[ \sum_{i=1}^{KA} \left( \frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$	$MS_A = \frac{SS_A}{DK_A}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
Faktor B	$DK_b = b_b - 1$	$SS_b = \left[ \sum_{i=1}^{KB} \left( \frac{B_i^2}{n_{Bi}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$	$MS_B = \frac{SS_B}{DK_B}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
Faktor C	$DK_c = b_c - 1$	$SS_c = \left[ \sum_{i=1}^{KC} \left( \frac{C_i^2}{n_{Ci}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$	$MS_C = \frac{SS_C}{DK_C}$	$\frac{MS_C}{MS_E}$
Residual	$DK_e = DK_t - DK_a - DK_b - DK_c$	$SS_e = SS_T - SS_m - SS_{faktor}$	$MS_e = \frac{SS_e}{DK_e}$	
Total	$DK_t = DK_{faktor} - DK_e$	$SST = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$		

Setelah melakukan perhitungan ANOVA maka didapatkan nilai uji hipotesa F. Uji F ini akan mengetahui parameter yang akan berpengaruh.

### 2.8 Uji F

Uji hipotesa F membuktikan adanya perbedaan perlakuan dan Pengaruh faktor dari percobaan. Uji ini dilakukan dengan cara variasi yang disebabkan dari tiap faktor dan variansi error.

$$F_{sumber} = \frac{MS}{MSe} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

MS: Rata-rata kuadrat faktor

MSe: Rata-rata kuadrat faktor lain

Nilai  $F_{sumber}$  yang diperoleh dibandingkan dengan nilai  $F_{tabel}$  pada harga  $\alpha$  tertentu. Setelah mendapatkan nilai F maka dapat dilakukan interpretasi hasil eksperimen.

### 2.9 Interpretasi Hasil Eksperimen

Interpretasi yang dilakukan untuk menganalisa hasil eksperimen menggunakan analisis varians adalah sebagai berikut :

## 1) Persen Kontribusi

Porsi tiap-tiap faktor terhadap total variansi yang diteliti yang merupakan fungsi dari jumlah kuadrat (SS) dari masing-masing faktor yang signifikan. Alat ini digunakan untuk mengindikasikan seberapa besar pengaruh dari tiap faktor. Jika persentase kontribusi faktor lain (<15%) maka tidak ada variabel bebas yang terabaikan, sedangkan jika persentase kontribusi faktor lain (>15%) maka terdapat variabel bebas yang berpengaruh terabaikan sehingga faktor lain terlalu besar Soejanto, 2009. Berikut adalah rumus mencari persen kontribusi :

$$SS'_A = SS_A - MS_e(DK_A) \dots\dots\dots(2.14)$$

$$SS'_B = SS_B - MS_e(DK_B) \dots\dots\dots(2.15)$$

$$SS'_C = SS_C - MS_e(DK_C) \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(2.17)$$

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

$$\rho_C = \frac{SS'_C}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

$\rho$  = Persen kontribusi

$\rho_A$  = Persen kontribusi pada faktor A

$\rho_B$  = Persen kontribusi pada faktor B

$\rho_C$  = Persen kontribusi pada faktor C

$SS_A$  = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor A

$SS_B$  = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor B

$SS_C$  = Jumlah kuadrat deviasi pada faktor C

$SS'_A$  = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor A

$SS'_B$  = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor B

$SS'_C$  = Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor C

## 2) Interval Kepercayaan (CI)

Pada metode taguchi, Interval kepercayaan dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Interval Kepercayaan untuk perlakuan diprediksi (CI<sub>1</sub>)

$$N_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan}} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;V_e}MS_e}{N_{eff}}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana :

$F_{\alpha;1;V_e}$  = Rasio F

$\alpha$  = Resiko

$V_1$  = 1

$V_e$  = Derajat kebebasan *error*

$MS_e$  = Rata-rata kuadrat *error*

$N_{eff}$  = Jumlah yang diuji pada kondisi tertentu

## 2. Interval Kepercayaan untuk Memprediksi Eksperimen Konfirmasi ( $CI_3$ )

Interval kepercayaan ini digunakan untuk pembuktian dari level faktor optimal yang sudah didapatkan.

$$CI_3 = \sqrt{F_{\alpha;1;V_e}MS_e \left[ \left( \frac{1}{n} \right) + \left( \frac{1}{r} \right) \right]} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana :

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

$V_2$  = Derajat bebas varian kesalahan *pooling*

### A. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan sebuah eksperimen yang digunakan untuk menguji kesimpulan yang di dapat. Tujuan dilakukannya eksperimen konfirmasi adalah membuat parameter faktor yang optimal sesuai hasil analisis eksperimen.

Sebelum menggunakan metode Taguchi terdapat syarat yang harus dilakukan salah satunya menentukan *Orthogonal array* dan S/N rasio.

#### 2.10 *Orthogonal Array (OA)*

Disebut dengan *Orthogonal Array* karena setiap level dari faktor, jumlah levelnya sama. Dengan begitu akan membuat eksperimen dan pengaruh dari suatu faktor akan terpisah dengan pengaruh faktor lain. Sehingga dapat dilakukan pemilihan faktor mana saja yang sangat berpengaruh pada produk. *Orthogonal Array (OA)* merupakan desain eksperimen dengan desain faktorial. Dimaksud

orthogonal karena pengaruh dari tiap-tiap faktor secara matematis yang dilakukan secara independent dari pengaruh faktor lain (Ermawati dan Hartati, 2014). Tabel Orthogonal Array ini memiliki kolom dan baris dimana jumlah dari baris menentukan dari jumlah eksperimen yang dilakukan sedangkan jumlah kolom menentukan jumlah dari faktor yang diamati. Dengan menggunakan Orthogonal Array ini maka dapat dihubungkan antar faktor. Tabel 2.4 merupakan tabel *orthogonal array*  $L_9$

Tabel 2.4 *Orthogonal Array*  $L_9(3^3)$  (Sumber : Soejanto, 2009)

Tes	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

*Orthogonal Array* digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Berikut adalah maksud dari *orthogonal array* :

$$L_9(3^3)$$

1. Notasi L menyatakan informasi *Orthogonal Array*
2. Nomor baris 9 menyatakan jumlah percobaan yang dibutuhkan
3. Nomor kolom 3 menyatakan jumlah faktor yang diamati

#### 4. Nomor level 3 menyatakan jumlah level faktor

Untuk dua level, table (OA) terdiri dari L<sub>4</sub>, L<sub>8</sub>, L<sub>12</sub>, L<sub>16</sub>, L<sub>32</sub>, sedangkan untuk tiga level terdiri dari L<sub>9</sub>, L<sub>18</sub>, L<sub>27</sub>. Setelah menentukan OA maka syarat taguchi ke dua yaitu menentukan S/N rasio.

#### 2.11 Rasio Signal to Noise (S/N)

*Rasio signal to noise (S/N)* dilakukan untuk mengidentifikasi dari faktor yang mempengaruhi variasi dari suatu respon. Perhitungan dari *Rasio Signal to Noise (S/N)* yang dilakukan tergantung pada karakteristik mutu yang akan dituju atau output (Ermawati dan Hartati, 2014). Taguchi membagi menjadi 3 karakteristik dari kualitas, yaitu (Ermawati dan Hartati, 2014):

##### 1. *Nominal the better*

Produk dikatakan bagus apabila pada karakteristik tertentu, nilainya mendekati dari target yang telah ditentukan. Nilainya ditentukan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right) \dots \dots \dots (2.23)$$

Dimana :

n = Jumlah pengulangan dari suatu trial.

##### 2. *Larger the better*

Produk akan memiliki kualitas yang bagus apabila nilai semakin tinggi. Nilainya ditentukan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots \dots \dots (2.24)$$

##### 3. *Smaller the better*

Produk akan dikatakan baik apabila nilainya semakin rendah. Nilainya ditentukan sebagai berikut:

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

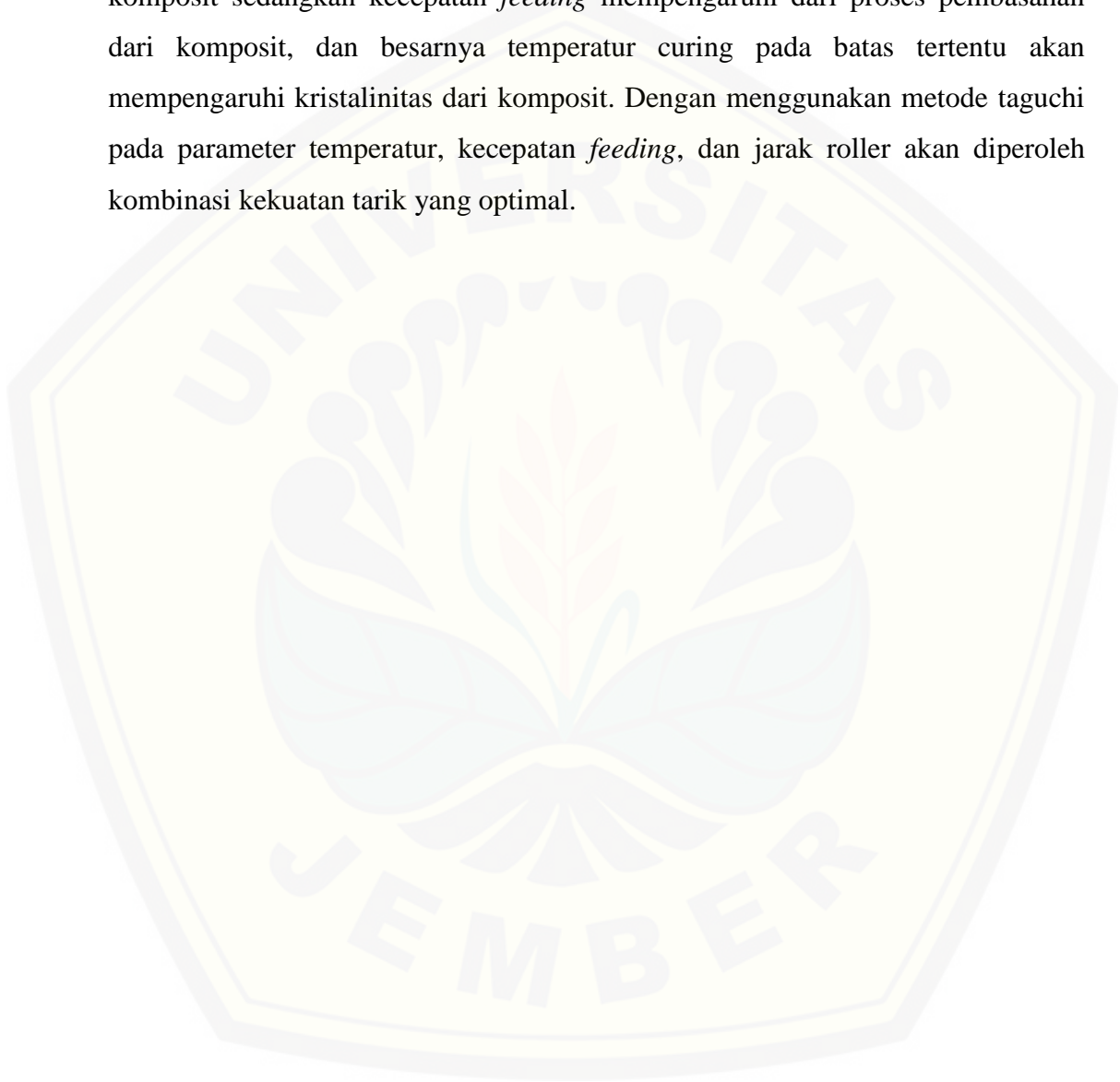
$$S/N = -10 \log \left( \frac{V_m - V_e}{n V_e} \right) \dots \dots \dots (2.25)$$

Setelah mendapatkan nilai S/N rasio dan OA maka dapat ditentukan hipotesis pada penelitian yang akan diteliti. Penelitian ini menggunakan variasi temperatur curing, kecepatan *feeding*, dan jarak roller.



## 2.12 Hipotesa

Semakin kecil jarak roller maka kekuatan tarik akan meningkat. Sedangkan untuk temperatur dan kecepatan *feeding* pada batas tertentu maka kekuatan tarik akan meningkat. Jarak roller akan mempengaruhi dari kerataan permukaan dari komposit sedangkan kecepatan *feeding* mempengaruhi dari proses pembasahan dari komposit, dan besarnya temperatur curing pada batas tertentu akan mempengaruhi kristalinitas dari komposit. Dengan menggunakan metode taguchi pada parameter temperatur, kecepatan *feeding*, dan jarak roller akan diperoleh kombinasi kekuatan tarik yang optimal.



## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan adalah metode eksperimental, yaitu metode percobaan untuk menganalisis kekuatan tarik pada proses pembuatan komposit dengan benang katun menggunakan metode *filament winding* dengan parameter suhu, kecepatan *feeding*, dan jarak roller dengan metode Taguchi.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Jember. Tanggal penelitian 6 januari sampai 29 Juni

### 3.3 Bahan dan Alat Penelitian

#### 3.1.1 Bahan

##### a. Resin eterset 2504 APT

Resin eterset 2504 APT merupakan resin yang digunakan sebagai matriks pada pipa komposit dengan metode *filament winding*. Gambar 3.1 merupakan gambar resin 2504 APT dan tabel 3.1 merupakan spesifikasi dari resin eterset 2504 APT.



Gambar 3.1 Resin eterset 2504 APT

Tabel 3.1 Spesifikasi Resin 2504 APT (Saputra dkk., 2017)

Termoset, Unsaturated Polyester (UP)				
Sifat	Nilai dalam Satuan Metrik		Nilai dalam Satuan US	
Densitas	1,12 x 10 <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	70,0	lb/ft <sup>3</sup>
Modulus Elastisitas	3,4	Gpa	493	Ksi
Kekuatan Tarik	60	MPa	8700	Psi
Penguluran	2	%	2	%
Kekuatan Lendut	113	MPa	16400	Psi
Ekspansi Termal	31 x 10 <sup>-6</sup>	<sup>0</sup> C <sup>-1</sup>	17 x 10 <sup>-6</sup>	in/(in. <sup>0</sup> F)
Konduktivitas Termal	0,17	W/(m.K)	1,18	BTU.in/(hr.ft <sup>2</sup> . <sup>0</sup> F)
Temperatur Kerja Maksimum	170	<sup>0</sup> C	325	<sup>0</sup> F

## b. Katalis MEPOXE

Katalis MEPOXE digunakan sebagai perekat antara serat dan *matriks*. Gambar 3.2 merupakan gambar dari katalis MEPOXE dan tabel 3.2 adalah spesifikasi dari katalis MEPOXE.



Gambar 3.2 Katalis MEPOXE (Saputra dkk., 2017)

Tabel 3.2 Spesifikasi katalis MEPOXE

Warna	Bening
Oksigen aktif	9,5 ± 5 %
Berat jenis	1,13 (pada 20°C)
Komposisi	Air, Glycerine, Petroleum
Larut	Esters, Alcohols, Ketones, Ethers

## c. Benang katun

Benang katun digunakan sebagai penguat (*reinforcement*) pada pipa komposit. Gambar 3.3 merupakan gambar dari benang katun.



Gambar 3.3 Benang Katun

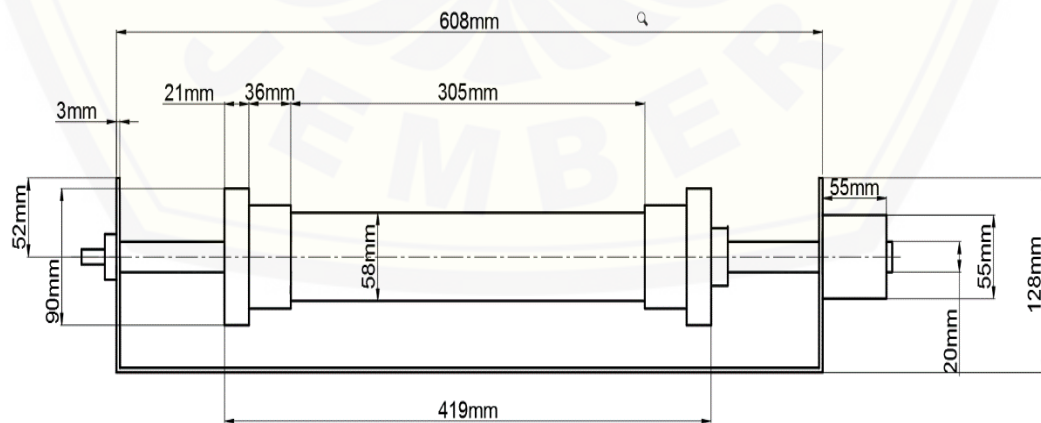
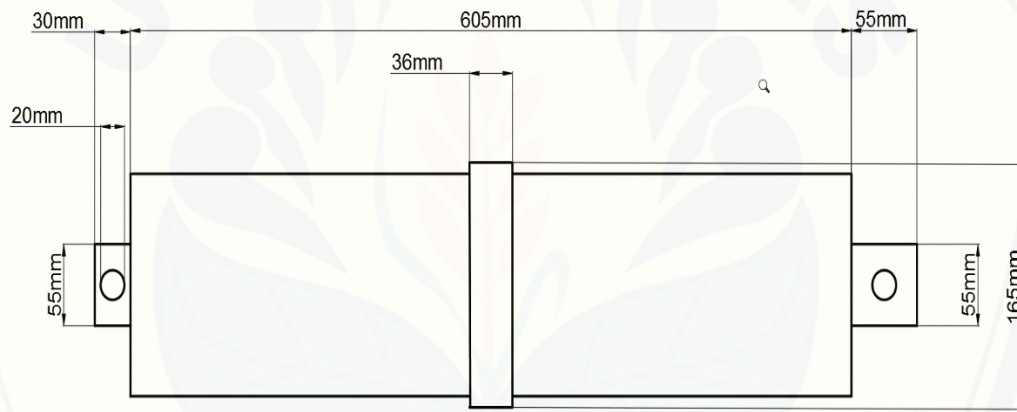
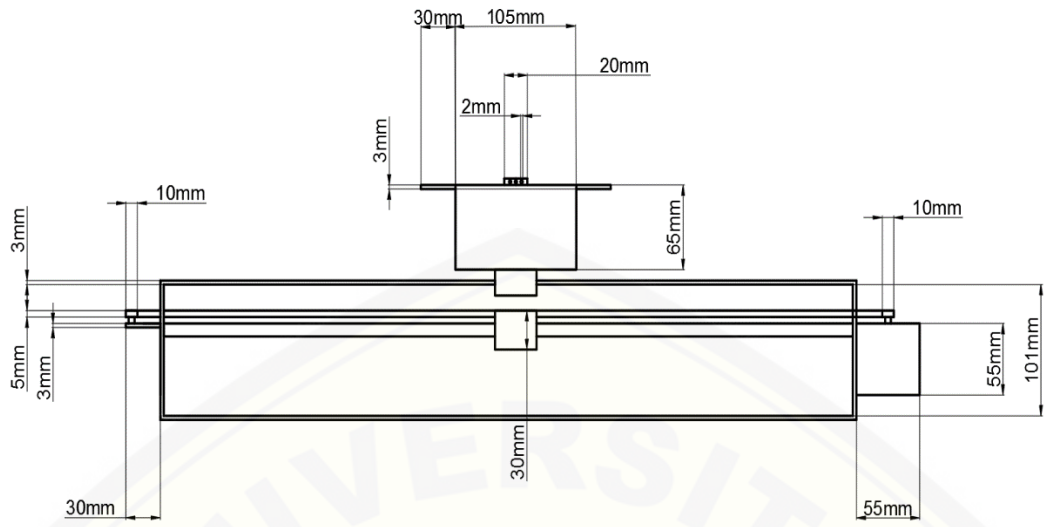
### 3.1.2 Alat

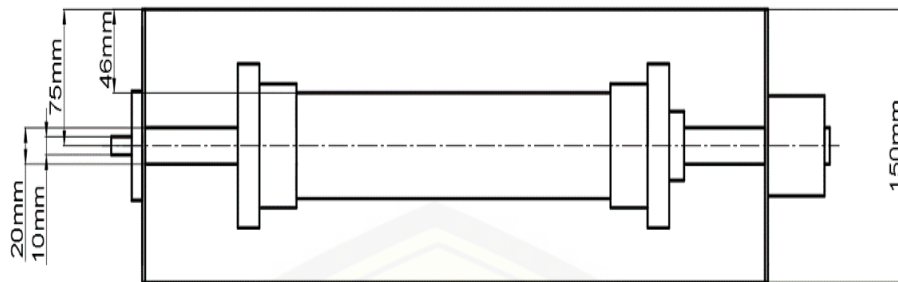
#### a. *Filament winding*

Gambar 3.4 merupakan mesin *filament winding*. Alat ini digerakkan oleh motor dan menggunakan kontrol arduino. Terdapat 2 motor yang pertama digunakan untuk menggerakkan mandrel dan yang ke dua untuk menggerakkan bak resin yang bergerak secara translasi. Gambar 3.5 merupakan dimensi dari mesin *filament winding*.



Gambar 3.4 Mesin *Filament Winding*





Gambar 3.5 Dimensi Mesin *Filament Winding*

b. *Consolidation roller*

Gambar 3.6 merupakan consolidation roller yang digunakan untuk meratakan bagian permukaan dari komposit.



Gambar 3.6 *Consolidation Roller*

c. Suntikan (5mL)

Gambar 3.7 merupakan suntikan 5 mL. Suntikan digunakan untuk mengukur katalis yang digunakan. Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah 1,4 mL



Gambar 3.7 Suntikan

d. Wadah

Gambar 3.8 merupakan wadah yang digunakan untuk mencampur resin dan katalis saat akan dilakukan pembuatan.



Gambar 3.8 Wadah

e. Timbangan digital

Timbangan digital ditunjukkan gambar 3.9. Timbangan ini digunakan untuk mengukur berat resin. Spesifikasi sebagai berikut :

1. Kapasitas: Akurasi 500 g / 0,01g
2. Satuan: gr, oz, ozt, ct, gn, dwt
3. Layar LCD Biru : Fungsi memunculkan penghitungan Pcs
4. Ukuran Pan Besar: 100 x 100 mm
5. Ukuran produk: 125 x 74 x 20 mm
6. Ukuran LCD: 36 x 17,5 mm
7. Fungsi tare : Fungsi lampu latar Indikator kelebihan
8. Indikator baterai rendah: AAA x 2 pc



Gambar 3.9 Timbangan Digital

## f. Oven

Gambar 3.10 merupakan oven yang digunakan untuk perlakuan curing pada komposit. Oven ini adalah oven dengan kompor sebagai pemanasnya.



Gambar 3.10 Oven

## g. Termometer digital

Gambar 3.11 merupakan thermometer digital yang digunakan untuk mengukur besar panas pada oven. Komposit akan dilakukan perlakuan curing dalam oven yang panasnya diukur menggunakan termometer. Tabel 3.3 merupakan spesifikasi dari Termometer IR60.



Gambar 3.11 Termometer Digital

Tabel 3.3 Spesifikasi Termometer digital IR60

Temperatur <i>range</i>	-50 - 600°C
Accuracy	±1°C for 10-100°C
Spectral response	8-14 um
Distance spot ratio	8:1

### 3.4 Variabel Penelitian

#### 3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel terikat (Sugiyono, 2009). Variabel bebas



yang akan digunakan adalah variasi jarak roller, suhu, dan kecepatan *feeding* pada pembuatan pipa komposit dengan metode *filament winding*. Variabel bebas pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Variabel Bebas

Kode	Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
A	Suhu curing (°C)	Suhu ruang	60	80
B	Kecepatan <i>feeding</i> (m/menit)	4	5	6
C	Jarak roller (mm)	3	4	5

### 3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2009). Variabel terikat pada penelitian ini adalah kekuatan tarik dari komposit produk *filament winding*.

### 3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel control adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang diteliti (Sugiyono, 2009). Variabel kontrol merupakan variabel yang tidak divariasikan, variabel kontrol dalam penelitian ini adalah bahan dan metode pembuatan. Variabel tetap pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Variabel Tetap

No	Variabel Kontrol	Kondisi
1.	Massa resin (gram)	250
2.	Sudut (°)	45
3.	Jumlah layer (PP)	20
4.	Volume katalis (mL)	1,4
5.	Sudut finishing (°)	1

## 3.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Siapkan alat dan bahan
2. Campurkan resin dan katalis lalu diaduk sampai merata

3. Tuangkan campuran resin dan katalis ke dalam *resin bath*
4. Masukkan benang katun ke dalam *resin bath* dan ikat pada cetakan pipa yang telah terpasang di mandrel dan lapisi dengan plastik astralon
5. Nyalakan mesin *filament winding*
6. Lakukan dengan 20 layer (20 kali gerak bolak-balik)
7. Pasang bagian roller untuk meratakan permukaan
8. Diamkan material komposit selama 1 hari
9. Lepas komposit dari mandrel
10. Panaskan dalam oven hingga 1 jam ( Sumber : Suwanto, 2015)
11. Hitung nilai uji tarik pada sampel
12. Ulangi langkah 1 sampai 9 dengan mengubah level variabel yaitu suhu, kecepatan *feeding*, dan jarak roller
13. Pengambilan data menggunakan 3 kali pengulangan pada tiap sampel. Tabel 3.6 merupakan kode sampel penelitian ini :

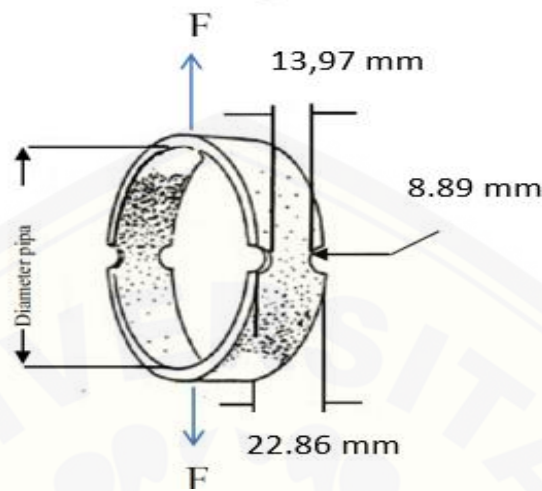
Tabel 3.6 Kode Sampel

No	Variabel Bebas		
	Level A (°C)	Level B (m/min)	Level C (mm)
1.	Suhu ruang	4	3
2.	Suhu ruang	5	4
3.	Suhu ruang	6	5
4.	60	4	4
5.	60	5	5
6.	60	6	3
7.	80	4	5
8.	80	5	3
9.	80	6	4

### 3.6 Pengambilan Data

Data kekuatan tarik diambil dari pengujian Mesin uji tarik standar penelitian *universal machine testing* merk ESSOM TM 113 kapasitas 30 kN di laboratorium Uji Bahan teknik Mesin Universitas Jember. Jumlah sampel yang akan diambil adalah 3 buah sampel. Dimensi spesimen terlihat pada gambar 3.2. dan hasil

perhitungan ANOVA dilakukan dengan minitab 9. Tabel 3.7 merupakan hasil perhitungan ANOVA.



Gambar 3.12 Dimensi Spesimen Uji Tarik (Sumber: 2290, 2000)

Tabel 3.7 Hasil ANOVA dan Kontribusi Parameter yang Berpengaruh

Sumber Variasi	DK	SS	MS	$F_{hitung}$	Persen kontribusi (%)
Suhu curing ( $^{\circ}C$ )	$V_A$	$SS_A$	$MS_A$	$MS_A/MS_E$	$SS'_A/SS_T$
Kecepatan <i>feeding</i> (m/menit)	$V_B$	$SS_B$	$MS_B$	$MS_B/MS_E$	$SS'_B/SS_T$
Jarak roller (mm)	$V_C$	$SS_C$	$MS_C$	$MS_C/MS_E$	$SS_C/SS_T$
Faktor lain	$V_E$	$SS_E$	$MS_E$		$SSE/MST$
Total	$V_T$	$SS_T$	$MS_T$		100%

Tabel 3.8 Data Hasil Pengujian Kekuatan tarik Komposit Benang Katun

No	Variabel Bebas			Replikasi	Hasil Uji Kekuatan tarik (MPa)
	Suhu (°C)	Kecepatan feeding (m/menit)	Jarak roller (mm)		
1.	Suhu ruang	4	3	I II III	
2.	Suhu ruang	5	4	I II III	
3.	Suhu ruang	6	5	I II III	
4.	60	4	4	I II III	
5.	60	5	5	I II III	
6.	60	6	3	I II III	
7.	80	4	5	I II III	
8.	80	5	3	I II III	
9.	80	6	4	I II III	

### 3.7 Metode Analisis

Penelitian yang akan dilakukan menggunakan beberapa metode, antara lain:

#### 1. Studi Literatur

Jurnal dan penelitian sebelumnya digunakan untuk produk akan diterima atau tidak. Untuk diterima atau tidaknya tergantung pada nilai kekuatan tarik yang dihasilkan saat pengujian.

#### 2. Pengambilan Data

Data diolah dengan metode *orthogonal array (OA)*.

#### 3. Analisa Data dengan Perhitungan:

- a. ANOVA
- b. Uji F
- c. Strategi pooling up
- d. Rasio S/N

#### 4. Interpretasi Hasil Eksperimen

- a. Persen kontribusi
- b. Interval kepercayaan

#### 5. Eksperimen Konfirmasi

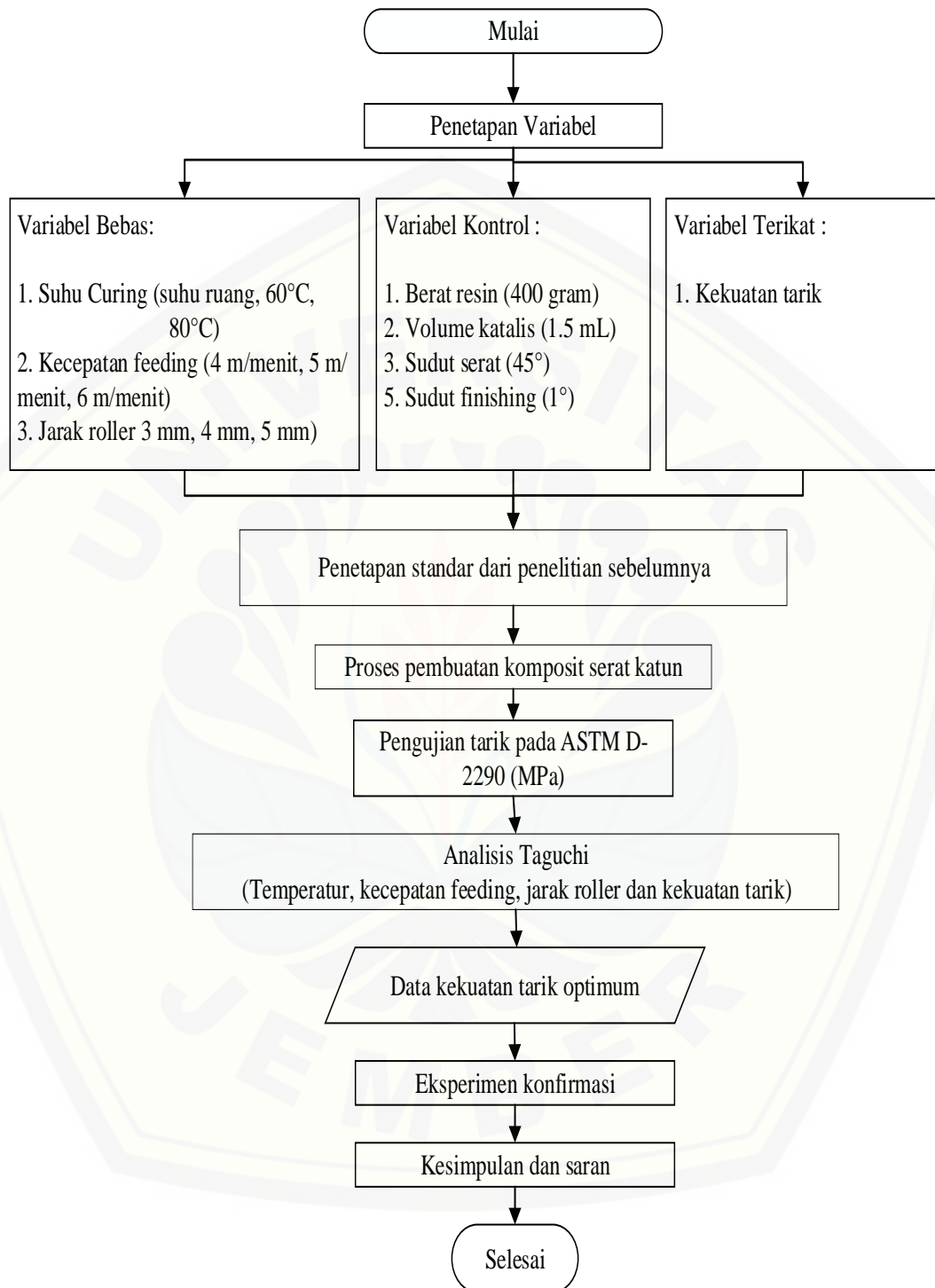
Nilai  $F_{hitung}$  yang lebih besar daripada  $F_{tabel}$  menunjukkan bahwa faktor-faktor yang digunakan memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik komposit benang katun. Dimana pada penelitian ini menggunakan taraf signifikansi  $\alpha$  sebesar 5%. Hipotesa awal ( $H_0$ ) dan Hipotesa alternatif ( $H_1$ ) yang digunakan sebagai uji hipotesis menggunakan distribusi F :

Parameter proses *filament winding*

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 = \mu_1 \neq$$

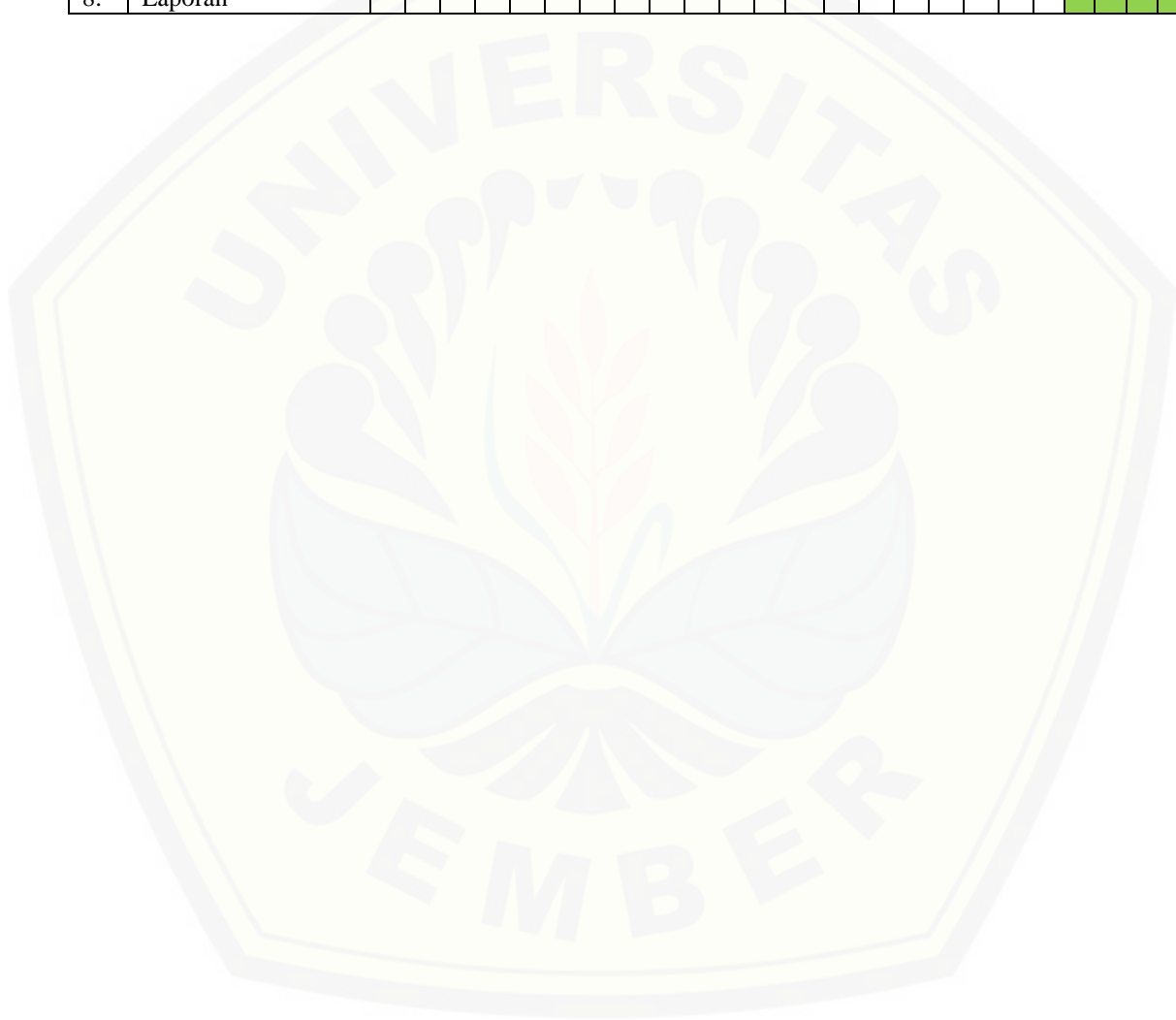
### 3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.13 Diagram Alir Penelitian

Tabel 3.9 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Studi Literatur	■	■	■	■																				
2.	Pembuatan proposal	■	■	■	■																				
3.	Pra-riset					■	■	■	■	■	■	■	■												
4.	Riset													■	■	■	■								
5.	Pengujian															■	■	■	■						
6.	Pengolahan data																	■	■	■	■	■	■	■	■
7.	Dokumentasi					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8.	Laporan																					■	■	■	■



- Saputra, A. D.dkk. 2017. Pengaruh Orientasi Sudut Lilitan Benang Katun Terhadap Kekuatan Tarik Pada Pipa Komposit *Filament Winding*. ROTOR 10.
- Sastrosupadi. 2006. *Potensi Jawa Timur Sebagai Peghasil Serat Alam Untuk Berbagai Agro Industri*. Surabaya: Sinar Tani.
- Skjaerholt, I. 2012. *Integration Tools for Design and Process Control of Filament Winding*. Trondheim: Norwegian University.
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Statistianto, I. T. 2016. fabrikasi dan pengujian tarik pipa komposit berpenguat serat wol dengan aditif partikel montmoriillonite. Jember: Universitas Jember.
- Stefanovska, M., dan S. Risteska. 2014. *Influence of Some Technological Parameters on the Content of Voids in Composite during On-line Consolidation with Filament Winding Technology*. *International Journal of Chemical, Biomolecular, Metallurgical, Materials Science and Engineering* 8: 347-351.
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suwanto, B. 2015. Pengaruh Temperatur Post - Curing Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Epoksi Resin yang Diperkuat Woven Serat Pisang. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.
- Wibowo, R. D. 2014. Sifat Fisis dan Mekanis Akibat Perubahan Temperatur pada Komposit *Polyester* Serat Batang Pisang yang di Treatment Menggunakan  $KMnO_4$ . Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Wollner, B. A. 2011. *Development of a fabric winding system for the Automated Manufacture of prefabricated wind turbine blade roots*. (Master of Science). Ames: Iowa State University.



## LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel F statistik  $\alpha = 0,05$

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
46	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.15	2.09	2.04	2.00	1.97	1.94	1.91	1.89
47	4.05	3.20	2.80	2.57	2.41	2.30	2.21	2.14	2.09	2.04	2.00	1.96	1.93	1.91	1.88
48	4.04	3.19	2.80	2.57	2.41	2.29	2.21	2.14	2.08	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90	1.88
49	4.04	3.19	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.08	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90	1.88
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.92	1.89	1.87
51	4.03	3.18	2.79	2.55	2.40	2.28	2.20	2.13	2.07	2.02	1.98	1.95	1.92	1.89	1.87
52	4.03	3.18	2.78	2.55	2.39	2.28	2.19	2.12	2.07	2.02	1.98	1.94	1.91	1.89	1.86
53	4.02	3.17	2.78	2.55	2.39	2.28	2.19	2.12	2.06	2.01	1.97	1.94	1.91	1.88	1.86
54	4.02	3.17	2.78	2.54	2.39	2.27	2.18	2.12	2.06	2.01	1.97	1.94	1.91	1.88	1.86
55	4.02	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.88	1.85
56	4.01	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.05	2.00	1.96	1.93	1.90	1.87	1.85
57	4.01	3.16	2.77	2.53	2.38	2.26	2.18	2.11	2.05	2.00	1.96	1.93	1.90	1.87	1.85
58	4.01	3.16	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.10	2.05	2.00	1.96	1.92	1.89	1.87	1.84
59	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.10	2.04	2.00	1.96	1.92	1.89	1.86	1.84
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84
61	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.16	2.09	2.04	1.99	1.95	1.91	1.88	1.86	1.83
62	4.00	3.15	2.75	2.52	2.36	2.25	2.16	2.09	2.03	1.99	1.95	1.91	1.88	1.85	1.83
63	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36	2.25	2.16	2.09	2.03	1.98	1.94	1.91	1.88	1.85	1.83
64	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36	2.24	2.16	2.09	2.03	1.98	1.94	1.91	1.88	1.85	1.83
65	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98	1.94	1.90	1.87	1.85	1.82
66	3.99	3.14	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98	1.94	1.90	1.87	1.84	1.82
67	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.98	1.93	1.90	1.87	1.84	1.82
68	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.97	1.93	1.90	1.87	1.84	1.82
69	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.15	2.08	2.02	1.97	1.93	1.90	1.86	1.84	1.81
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97	1.93	1.89	1.86	1.84	1.81
71	3.98	3.13	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.97	1.93	1.89	1.86	1.83	1.81
72	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.86	1.83	1.81
73	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.86	1.83	1.81
74	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.22	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.85	1.83	1.80
75	3.97	3.12	2.73	2.49	2.34	2.22	2.13	2.06	2.01	1.96	1.92	1.88	1.85	1.83	1.80
76	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.01	1.96	1.92	1.88	1.85	1.82	1.80
77	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.96	1.92	1.88	1.85	1.82	1.80
78	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.85	1.82	1.80
79	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.85	1.82	1.79
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79
81	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	2.00	1.95	1.91	1.87	1.84	1.82	1.79
82	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	2.00	1.95	1.91	1.87	1.84	1.81	1.79
83	3.96	3.11	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.91	1.87	1.84	1.81	1.79
84	3.95	3.11	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.90	1.87	1.84	1.81	1.79
85	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.84	1.81	1.79
86	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.84	1.81	1.78
87	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.20	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.83	1.81	1.78
88	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.20	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.81	1.78
89	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78
90	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
91	3.95	3.10	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78
92	3.94	3.10	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.94	1.89	1.86	1.83	1.80	1.78
93	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.83	1.80	1.78
94	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.83	1.80	1.77
95	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.82	1.80	1.77
96	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.19	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.80	1.77
97	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.19	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.80	1.77
98	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
99	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
101	3.94	3.09	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.88	1.85	1.82	1.79	1.77
102	3.93	3.09	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.77
103	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.76
104	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.76
105	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.81	1.79	1.76
106	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.79	1.76
107	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.18	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.79	1.76
108	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.18	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
109	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
110	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
111	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
112	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.96	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
113	3.93	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.92	1.87	1.84	1.81	1.78	1.76
114	3.92	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
115	3.92	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
116	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
117	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.80	1.78	1.75
118	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.80	1.78	1.75
119	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.78	1.75
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.78	1.75
121	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
122	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
123	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
124	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
125	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
126	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
127	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.86	1.83	1.80	1.77	1.75
128	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.86	1.83	1.80	1.77	1.75
129	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
130	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
131	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
132	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
133	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
134	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
135	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.77	1.74

**Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05**

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
136	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.77	1.74
137	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
138	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
139	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
140	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
141	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
142	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.07	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
143	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
144	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
145	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
146	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.85	1.82	1.79	1.76	1.74
147	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
148	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
149	3.90	3.06	2.67	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
150	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
151	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
152	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
153	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73
154	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73
155	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73
156	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.76	1.73
157	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.76	1.73
158	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
159	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
160	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
161	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
162	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
163	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
164	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
165	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
166	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
167	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
168	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
169	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
170	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
171	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
172	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
173	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
174	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
175	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
176	3.89	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
177	3.89	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
178	3.89	3.05	2.66	2.42	2.26	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
179	3.89	3.05	2.66	2.42	2.26	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
180	3.89	3.05	2.65	2.42	2.26	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.77	1.75	1.72

Lampiran 2 Tabel nilai kritis uji Kolmogorov-Smirnov

n	$\alpha = 0,20$	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,02$	$\alpha = 0,01$
1	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995
2	0,684	0,776	0,842	0,900	0,929
3	0,565	0,636	0,708	0,785	0,829
4	0,493	0,565	0,624	0,689	0,734
5	0,447	0,509	0,563	0,627	0,669
6	0,410	0,468	0,519	0,577	0,617
7	0,381	0,436	0,483	0,538	0,576
8	0,359	0,410	0,454	0,507	0,542
9	0,339	0,387	0,430	0,480	0,513
10	0,323	0,369	0,409	0,457	0,486
11	0,308	0,352	0,391	0,437	0,468
12	0,296	0,338	0,375	0,419	0,449
13	0,285	0,325	0,361	0,404	0,432
14	0,275	0,314	0,349	0,390	0,418
15	0,266	0,304	0,338	0,377	0,404
16	0,258	0,295	0,327	0,366	0,392
17	0,250	0,286	0,318	0,355	0,381
18	0,244	0,279	0,309	0,346	0,371
19	0,237	0,271	0,301	0,337	0,361
20	0,232	0,265	0,294	0,329	0,352
21	0,226	0,259	0,287	0,321	0,344
22	0,221	0,253	0,281	0,314	0,337
23	0,216	0,247	0,275	0,307	0,330
24	0,212	0,242	0,269	0,301	0,323

25	0,208	0,238	0,264	0,295	0,317
26	0,204	0,233	0,259	0,290	0,311
27	0,200	0,229	0,254	0,284	0,305
28	0,197	0,225	0,250	0,279	0,300
29	0,193	0,221	0,246	0,275	0,295
30	0,190	0,218	0,242	0,270	0,290
35	0,177	0,202	0,224	0,251	0,269
40	0,165	0,189	0,210	0,235	0,252
45	0,156	0,179	0,198	0,222	0,238
50	0,148	0,170	0,188	0,211	0,226
55	0,142	0,162	0,180	0,201	0,216
60	0,136	0,155	0,172	0,193	0,207
65	0,131	0,149	0,166	0,185	0,199
70	0,126	0,144	0,160	0,179	0,192
75	0,122	0,139	0,154	0,173	0,185
80	0,118	0,135	0,150	0,167	0,179
85	0,114	0,131	0,145	0,162	0,174
90	0,111	0,127	0,141	0,158	0,169
95	0,108	0,124	0,137	0,154	0,165

Pendekatan  $1,07/\sqrt{n}$   $1,22/\sqrt{n}$   $1,36/\sqrt{n}$   $1,52/\sqrt{n}$   $1,63/\sqrt{n}$

Lampiran 3 Hasil Pipa Komposit

a. Sampel 1



b. Sampel 2



c. Sampel 3



d. Sampel 4





e. Sampel 5



f. Sampel 6



g. Sampel 7



h. Sampel 8



i. Sampel 9



## Lampiran 4 Proses Pembuatan

## a. Preparasi kecepatan



## b. Penakaran resin



## c. Penakaran Katalis



d. Proses pencampuran dan penggulangan



e. Pemanasan sampel



f. Pengujian Sampel

