



TESIS - TM 142501

**OPTIMASI PARAMETER PROSES CETAKAN INJEKSI  
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI-*GREY-FUZZY*  
UNTUK MENINGKATKAN KEKUATAN TARIK DAN IMPAK  
MATERIAL BIODKOMPOSIT**

SUFIYANTO  
NRP 2114201009

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA DAN SISTEM MANUFAKTUR  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016



THESIS - TM 142501

**OPTIMIZATION OF INJECTION MOLDING PARAMETERS  
USING TAGUCHI-GREY-FUZZY METHOD TO INCREASE  
BIOCOMPOSITE MATERIALS TENSILE AND IMPACT  
STRENGTH**

SUFIYANTO  
NRP. 2114201009

SUPERVISOR  
Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng

MASTER PROGRAM  
FIELD STUDY OF MANUFACTURING SYSTEM ENGINEERING  
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016

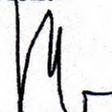
**LEMBAR PENGESAHAN  
TESIS**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

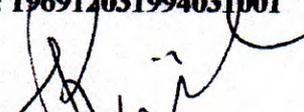
**Oleh:  
Sufiyanto  
NRP. 2114201009**

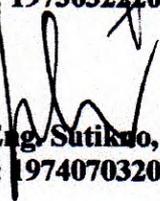
**Tanggal Ujian : Selasa, 26 Juli 2016  
Periode Wisuda : Semester Genap 2015/2016**

**Disetujui Oleh:**

  
1. **Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng (Pembimbing)**  
**NIP: 195811061986011002**

  
2. **Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng, Ph.D (Penguji)**  
**NIP: 196912031994031001**

  
3. **Arif Wahyudi, ST, MT, Ph.D (Penguji)**  
**NIP: 197303222001221001**

  
4. **Dr. Eng. Sutikno, ST, MT (Penguji)**  
**NIP: 197407032000031001**



**Direktur Program Pascasarjana,**

  
**Prof. Ir. Djaubar Manfaat, M.Sc, Ph.D**  
**NIP: 196012021987011001**

**OPTIMASI PARAMETER PROSES CETAKAN INJEKSI  
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI-GREY-FUZZY UNTUK  
MENINGKATKAN KEKUATAN TARIK DAN IMPAK  
MATERIAL BIOKOMPOSIT**

Nama Mahasiswa : Sufiyanto  
NRP : 2114201009  
Pembimbing : Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng

**ABSTRAK**

Saat ini, *polymer matrix composite* (PMC) umumnya dibuat dengan menggunakan bahan penguat serat sintesis. Namun, bahan tersebut berdampak pada pencemaran lingkungan dan harganya cukup mahal. Oleh karena itu, diperlukan serat pengganti seperti serat alami dari tanaman untuk mengurangi dampak tersebut. Serat alami yang digunakan adalah sekam padi (RH) yang memiliki ukuran partikel 500  $\mu\text{m}$  (35 mesh). Sekam padi ini dicampur dengan *polypropylene* (PP) dan *maleic anhydride polypropylene* (MAPP), sehingga memiliki bentuk butiran atau pelet. PMC berpenguat serat alam tersebut dinamakan dengan biokomposit. Komposisi biokomposit yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10 wt% RH, 85 wt% PP dan 5 wt% MAPP.

Proses pembuatan biokomposit dilakukan dengan menggunakan mesin cetakan injeksi. Untuk mendapatkan kekuatan tarik dan dampak maksimum serta kualitas yang baik dari produk cetakan injeksi, maka dilakukan optimalisasi pada proses cetakan injeksi. Desain eksperimen ditetapkan dengan pemilihan matriks ortogonal  $L_{27}(3^4)$  yang terdiri dari 4 parameter, dimana masing-masing parameter proses memiliki 3 level. Penggabungan beberapa respon dilakukan dengan menggunakan *fuzzy logic*. Pengubahan *input* menjadi bilangan *fuzzy* dengan *grey relational analysis* merupakan pendekatan untuk mengubah optimasi kedalam bentuk *grey fuzzy*. Dari hasil perhitungan *grey fuzzy reasoning grade* (GFRG) diperoleh level dari masing-masing parameter proses yang menghasilkan respon optimum, yaitu *barrel temperature* sebesar 210 °C, *injection pressure* 55 bar, *holding pressure* 40 bar dan *injection velocity* 75 mm/det.

Kata kunci : parameter proses cetakan injeksi , Taguchi-grey-fuzzy, kekuatan tarik, kekuatan dampak.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# OPTIMIZATION OF INJECTION MOLDING PARAMETERS USING TAGUCHI-GREY-FUZZY METHOD TO INCREASE BIOCOMPOSITE MATERIALS TENSILE AND IMPACT STRENGTH

Name of Student : Sufiyanto  
Student ID : 2114201009  
Supervisor Lecture : Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng

## ABSTRACT

Nowadays, *polymer matrix composite* (PMC) generally is manufactured by using synthetic fibers reinforcement materials. However, these materials cause environmental pollution and are quite expensive. Therefore, it is necessary of substitute fibers such as natural fibers from plants to reduce these impacts. The natural fiber used is rice husk (RH) that has particle size of 500  $\mu\text{m}$  (35 mesh). This rice husk is mixed with polypropylene (PP) and maleic anhydride polypropylene (MAPP), so that so that its form is granule or pellet. This natural fiber reinforced PMC is called biocomposite. Composition of biocomposite used in this research is 10 wt% RH, 85 wt% PP, and 5 wt% MAPP.

Manufacturing process of biocomposite is carried out by using injection molding machine. To attain maximum tensile and impact strength as well as high quality of injection molding product, optimization of the injection molding is conducted. Optimization method used is Taguchi-grey-fuzzy. Design experiment is determined through selection of orthogonal matrix  $L_{27}$  ( $3^4$ ) consisting of 4 process parameters, each parameter has 3 levels. Merging of multiple responses is carried out by using fuzzy logic. Conversion of inputs into fuzzy numbers with grey relational analysis is an approach to transform optimization in the grey fuzzy form. Based on the result of calculation of gray fuzzy reasoning grade (GRFG) be obtained level of each parameter process that is produced optimal responses, barrel temperature of 210°C, injection pressure of 55 bar. holding pressure of 40 bar, and injection velocity of 75 mm/sec.

**Keywords:** Injection molding parameters process, Taguchi-grey-fuzzy, tensile strength, impact strength.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul “**Optimasi Parameter Proses Cetakan Injeksi Menggunakan Metode Taguchi-Grey-Fuzzy Untuk Meningkatkan Kekuatan Tarik dan Impak Material Biokomposit**”.

Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2016.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penyusunan tesis ini, diantaranya kepada:

1. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng, Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan jajarannya.
2. Bapak Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang senang tiasa memberi nasehat, bimbingan dan motivasi.
3. Bapak Arif Wahyudi, ST, MT, Ph.D, Bapak Dr.Eng. Sutikno, ST, MT selaku dosen penguji yang telah memberi saran yang bermanfaat kepada penulis.
4. Pihak Pascasarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan kesempatan penulis dalam mengenyam pendidikan Magister di Teknik Mesin lewat pemberian program beasiswa *Pra S2-S2 Saintek 3T* di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2013.
5. Orang tua penulis, Ayahanda Supar dan Ibunda Yurnidar yang telah memberikan curahan kasih sayang, dukungan, semangat dan motivasi kepada penulis.
6. Istri tercinta Sri Wahyu Pancawati dan Ananda Rify Ramadhan belahan hatiku yang selalu memberi dukungan, semangat dan do'a.
7. Teman-teman Teknik Mesin, khususnya Bidang Rekayasa dan Sistem Manufaktur, Moh. Muzaki, Balkhaya, Ali Sai'in, Theny, Benedictus, Firman,

Anhar, Abid, Jariyanti dan Hiding yang telah sama berjuang dalam menuntut ilmu.

8. Teman-teman Teknik Mesin Bidang Rekayasa Konversi Energi, Alfi, Arifin, Indarto, Luthfi, Izhari dan romy atas kebersamaannya.
9. Teman-teman Teknik Material dan Metalurgi, Fahriadi, Saddam, Mustofa, Yuli dan Nia yang selalu memberikan semangat dan dukungan.
10. Seluruh karyawan Jurusan Teknik Mesin yang banyak membantu dalam penyelesaian pengerjaan tesis ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah banyak memberi dorongan dan bantuan dalam menyelesaikan tesis ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Menyadari atas keterbatasan pengetahuan dan penelitian sehingga dimungkinkan ada kekeliruan dan kesalahan yang tidak sengaja. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan guna perbaikan dan pengembangan lebih lanjut. Semoga tesis dapat bermanfaat dan memenuhi apa yang diharapkan.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Asumsi Penelitian .....	3
1.5. Tujuan Penelitian.....	3
1.6. Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Material Biokomposit .....	8
2.2.1 Sekam Padi.....	9
2.2.2 <i>Polypropylene</i> (PP).....	10
2.3 Pengolahan Polimer Biokomposit .....	11
2.4 Cetakan Injeksi ( <i>Injection Molding</i> ).....	13
2.5 Pengujian Material Biokomposit .....	17
2.6 Desain Eksperimen Metode Taguchi.....	19
2.7 <i>Grey Relational Analysis</i> (GRA).....	22
2.8 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi .....	27
2.9 Interval Keyakinan.....	28
2.10 Percobaan Konfirmasi .....	29
<b>BAB 3. METODA PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Tahapan Penelitian.....	32
3.2.1 Studi Literatur dan Lapangan.....	32
3.2.2 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian .....	32
3.2.3 Perancangan Eksperimen .....	32
3.2.4 Persiapan Bahan dan Mesin .....	38
3.2.4.1 Persiapan Bahan.....	38
3.2.4.2 Persiapan Mesin.....	39
3.2.5 Proses Pembuatan Biokomposit.....	43
3.2.6 Proses Pencetakan Biokomposit .....	45
3.2.7 Pengujian Spesimen .....	46
3.2.8 Pengambilan Data Eksperimen .....	47
3.2.9 Optimasi Metode Taguchi- <i>Grey-Fuzzy</i> .....	48

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Penelitian .....	51
4.1.1 Hasil Proses Ekstrusi .....	51
4.1.2 Hasil Pengukuran DSC dan TGA.....	51
4.1.3 Hasil Proses Cetakan Injeksi ( <i>Injection Molding</i> ).....	53
4.2 Pengolahan Data Penelitian.....	53
4.2.1 Data Respon Percobaan.....	53
4.2.2 Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N .....	55
4.2.3 <i>Deviation Sequence</i> dan <i>Grey Relational Coefficient (GRC)</i> .....	57
4.2.4 <i>Fuzzification</i> .....	59
4.2.5 Pengelompokan <i>Fuzzy Rules</i> .....	59
4.2.6 <i>Grey Fuzzy Reasoning Grade (GFRG)</i> .....	60
4.2.7 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi .....	63
4.2.8 Pengujian Asumsi Residual.....	65
4.2.9 Prediksi Multi Respon Optimum.....	68
4.3 Percobaan Konfirmasi.....	69
4.4 Perbandingan Respon Kombinasi Optimum.....	70

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan .....	73
5.2 Saran.....	73

DAFTAR PUSTAKA  
LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Kurva berat yang hilang pada biokomposit.....	7
Gambar 2.2 Komponen mesin ekstruder.....	12
Gambar 2.3 Produk ekstrusi.....	12
Gambar 2.4 Bagian umum mesin cetakan injeksi.....	13
Gambar 2.5 Komponen unit injeksi.....	14
Gambar 2.6 Zona <i>barrel</i> .....	17
Gambar 2.7 Skema dasar pengujian tarik.....	18
Gambar 2.8 Skema pengujian impak.....	18
Gambar 2.9 Model taguchi kerugian terhadap target.....	19
Gambar 2.10 Fungsi keanggotaan respon sebagai variabel <i>input</i> .....	25
Gambar 2.11 Fungsi keanggotaan sebagai variabel <i>output</i> .....	26
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 3.2 Sekam padi (RH).....	38
Gambar 3.3 <i>Polypropylene</i> (PP).....	38
Gambar 3.4 <i>Maleic anhydride polypropylene</i> (MAPP).....	39
Gambar 3.5 Mesin <i>bond ball mill</i> .....	39
Gambar 3.6 <i>Oven</i> dilengkapi dengan <i>temperature control</i> .....	40
Gambar 3.7 Mesin <i>screw extruder</i> .....	40
Gambar 3.8 <i>Differential scanning calorimetry</i> (DSC).....	41
Gambar 3.9 Mesin <i>injection molding</i> HAITIAN-MA900/260e.....	41
Gambar 3.10 Spesifikasi mesin <i>injection molding</i> HAITIAN.....	42
Gambar 3.11 Mesin uji tarik AUTOGRAPH AG-10TE.....	42
Gambar 3.12 Mesin <i>mini impact tester</i> jenis <i>charpy</i> .....	43
Gambar 3.13 Proses pengeringan menggunakan <i>oven</i> .....	44
Gambar 3.14 Pencampuran material.....	44
Gambar 3.15 Pengukuran Densitas.....	45
Gambar 3.16 Spesimen uji tarik ASTM D 638-03 tipe V.....	46
Gambar 3.17 Spesimen uji impak ASTM D256-04.....	47
Gambar 4.1 Pelet Biokomposit.....	51
Gambar 4.2 kurva <i>differential scanning calorimetry</i> (DSC).....	52
Gambar 4.3 Kurva <i>thermogravimetric analysis</i> (TGA).....	52
Gambar 4.4 Spesimen pengujian tarik ASTM D 638-03 tipe V.....	53
Gambar 4.5 Spesimen pengujian impak ASTM D256-04.....	53
Gambar 4.6 Grafik nilai rata-rata GFRG multi respon.....	62
Gambar 4.7 Grafik uji distribusi normal.....	66
Gambar 4.8 Grafik uji independen <i>auto correlation function</i> (ACF).....	67
Gambar 4.9 Grafik uji identik <i>versus observation fits</i> .....	77

## DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Temperatur zona <i>barrel</i> mesin cetakan injeksi .....	6
Tabel 2.2 Komposisi kimia sekam padi .....	9
Tabel 2.3 Karakteristik sekam padi .....	10
Tabel 2.4 Karakteristik <i>polypropylene</i> (PP) .....	11
Tabel 2.5 Pemilihan matriks ortogonal .....	20
Tabel 3.1 Variabel proses dan jumlah level .....	33
Tabel 3.2 Derajat kebebasan variabel proses dan level .....	34
Tabel 3.3 Rancangan eksperimen pertama $L_{27}(3^4)$ .....	35
Tabel 3.4 Rancangan eksperimen kedua $L_{27}(3^4)$ .....	36
Tabel 3.5 Rancangan eksperimen ketiga $L_{27}(3^4)$ .....	37
Tabel 3.6 Data respon eksperimen .....	47
Tabel 3.7 Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N .....	48
Tabel 3.8 Analisis variansi dan persentase kontribusi .....	50
Tabel 4.1 Respon kekuatan tarik dan impact .....	54
Tabel 4.2 Data rasio S/N dan normalisasi rasio S/N .....	56
Tabel 4.3 Data <i>grey relational coefficient</i> (GRC) .....	58
Tabel 4.4 Fungsi keanggotaan <i>Fuzzy-Rule</i> .....	59
Tabel 4.5 Pengelompokkan <i>Fuzzy Rule</i> .....	60
Tabel 4.6 Data multi respon <i>grey fuzzy reasoning grade</i> (GFRG) .....	60
Tabel 4.7 Rata-rata multi respon GFRG pada level faktor .....	61
Tabel 4.8 Kombinasi variabel proses respon optimum .....	62
Tabel 4.9 Analisis variansi dan persen kontribusi .....	64
Tabel 4.10 Data respon percobaan konfirmasi .....	69
Tabel 4.11 Hasil pengolahan data percobaan konfirmasi .....	70
Tabel 4.12 Perbandingan $\hat{\gamma}$ GFRG <sub>k</sub> terhadap kombinasi awal .....	71
Tabel 4.13 Perbandingan $\hat{\gamma}$ GFRG <sub>k</sub> terhadap level tengah .....	72

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan material polimer pada saat ini semakin banyak digunakan, baik pada industri besar maupun industri kecil. Polimer termasuk material yang mudah diolah dan dapat digabungkan dengan material lain dalam bentuk komposit yang disebut dengan *polymer matrix composite* (PMC). Pembuatan PMC masih banyak kita temukan menggunakan bahan berpenguat serat sintetis yang kurang ramah lingkungan dan harga cukup mahal. Untuk itu perlu adanya serat pengganti yang ramah lingkungan dengan harga murah, seperti dengan memanfaatkan serat alam yang berasal dari tumbuh-tumbuhan. Kombinasi PMC menggunakan penguat serat alam disebut dengan polimer biokomposit.

Berdasarkan tinjauan lapangan yang telah dilakukan pada industri kecil di Jawa Timur, khususnya di kabupaten Mojokerto. Industri tersebut memproduksi helm dengan cara pencetakan manual (*hand lay up*) dan masih belum memenuhi SNI. Selain itu waktu proses produksi sangat jauh kalah dibandingkan dengan perusahaan helm yang menggunakan proses cetakan injeksi. Hal ini disebabkan oleh mahalnya harga material sebagai bahan baku dan kualitas helm yang belum memenuhi syarat. Menurut Dyah (2015) sebagai staf ahli menteri perindustrian mengatakan bahwa pengembangan industri plastik saat ini masih banyak tergantung dari bahan baku plastik impor. Oleh karena itu, diharapkan produsen bahan baku plastik dalam negeri bisa mencari solusinya, sehingga mampu mencukupi baik dari segi kuantitas maupun spesifikasi produk.

Indonesia merupakan negara agraris yang menghasilkan produk pertanian diantaranya adalah padi. Sekam padi merupakan sisa pengolahan padi yang masih belum dimanfaatkan secara efisien agar bernilai ekonomis. Sekam padi merupakan material alami yang cukup murah dan dapat dijadikan sebagai biokomposit memperkuat polimer *polypropylene* (Jearanaisilawong dkk, 2015). Serat yang dikandung oleh sekam padi dapat digunakan sebagai *filler* pada PMC natural sehingga menjadi produk bernilai tinggi (Yeh dkk, 2014). Untuk mencetak biokomposit dapat dilakukan dengan proses cetakan terbuka ataupun cetakan

tertutup. Proses pencetakan tertutup dapat dilakukan dengan menggunakan mesin injeksi molding. Sebelum bahan baku atau material biokomposit yang akan dicetak pada mesin injeksi molding, terlebih dahulu harus dibuat dalam bentuk potongan kecil atau pelet.

Beberapa penelitian terdahulu telah melakukan proses cetakan injeksi untuk pencetakan biokomposit. KC dkk (2015) melakukan cetakan injeksi dengan menggunakan bahan pelet yang berasal dari serat sisal dan *polypropylene*, Subasinghe dkk (2015) melakukan PIM dengan menggunakan bahan pelet yang berasal dari serat kenaf dan *polypropylene*, Srebrenkoska dkk (2009) melakukan pengolahan dari polimer daur ulang dicampur dengan serat kenaf dan sekam padi lalu dicetak menggunakan mesin injeksi molding.

Pengaturan parameter proses pada mesin cetakan injeksi dapat mempengaruhi kualitas hasil pencetakan seperti pada sifat mekanik material. Untuk mengoptimalkan parameter proses tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan metode *taguchi*. Kuram dkk (2013) melakukan optimasi proses injeksi molding dengan menggunakan metode *taguchi* untuk meningkatkan respon pada hasil uji tarik dan dampak. Penggabungan beberapa respon dapat dilakukan dengan menggunakan *fuzzy logic*. Perubahan *input* menjadi bilangan *fuzzy* dengan analisis *grey relational* yang merupakan pendekatan untuk mengubah optimasi kedalam bentuk *grey fuzzy* (Das dkk, 2015). Setelah ditemukan parameter yang optimal, maka dilakukan *analysis of variance* (ANOVA) untuk mengetahui persentase kontribusi dari parameter proses tersebut.

Berdasarkan uraian diatas, perlu adanya penelitian tentang pengaturan parameter proses cetakan injeksi yang menggunakan bahan biokomposit dari sekam padi dan *polypropylene*. Hasil dari pencetakan biokomposit tersebut akan dilakukan pengujian sifat mekanis. Adapun sifat mekanis tersebut terdiri dari kekuatan tarik dan dampak yang merupakan respon dari hasil penelitian. Untuk memperoleh hasil yang optimum terhadap beberapa respon, maka perlu dilakukan optimasi parameter proses cetakan injeksi dengan menggunakan metode *Taguchi-grey-fuzzy*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat ditetapkan perumusan masalah sebagai berikut:

- a) Berapa besar kontribusi variabel proses cetakan injeksi terhadap kekuatan tarik dan impak material biokomposit yang dibuat dari sekam padi, *polypropylene* dan *maleic anhydride polypropylene*.
- b) Bagaimana pengaturan parameter proses cetakan injeksi yang tepat agar meningkatkan kekuatan tarik dan impak material biokomposit.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberlakukan pada penelitian ini agar dapat mencapai tujuan yang diinginkan adalah sebagai berikut:

- a) Cacat spesimen hanya diperiksa secara visual.
- b) Pengaturan parameter yang tepat hanya dapat digunakan untuk memperoleh kekuatan tarik dan impak maksimum pada material biokomposit.

## 1.4 Asumsi Penelitian

Asumsi-asumsi yang diberlakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Bahan yang digunakan sebagai biokomposit berasal dari daerah yang sama.
- b) Variabel proses cetakan injeksi yang tidak diteliti dianggap selalu konstan dan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap hasil penelitian.
- c) Mesin bekerja dalam kondisi yang baik.
- d) Alat ukur yang digunakan dalam keadaan layak dan terkalibrasi.

## 1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, adalah sebagai berikut:

- a) Menentukan besar kontribusi variabel proses cetakan injeksi yang terdiri dari *barrel temperature*, *injection pressure*, *holding pressure* dan *injection velocity* terhadap kekuatan tarik dan impak material biokomposit yang dibuat dari sekam padi, *polypropylene* dan *maleic anhydride polypropylene*.

- b) Menentukan pengaturan parameter proses cetakan injeksi yang tepat agar meningkatkan kekuatan tarik dan impak material biokomposit yang dibuat dari sekam padi, *polypropylene* dan *maleic anhydride polypropylene*.

## **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Menambah *database* tentang pengaturan variabel pada proses cetakan injeksi untuk mengoptimalkan kekuatan tarik dan impak pada material biokomposit.
- b) Sebagai bahan referensi bagi penelitian sejenisnya dalam rangka pengembangan pengetahuan tentang optimasi proses cetakan injeksi.
- c) Digunakan sebagai masukan kepada industri helm untuk memanfaatkan biokomposit sebagai bahan alternatif yang dapat dilakukan dengan mesin cetakan injeksi.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan tinjauan pustaka, jurnal dan literatur pendukung, diuraikan tentang pembuatan biokomposit dari serat alam dan polimer. Pencampuran biokomposit dapat dilakukan dengan proses ekstrusi, sedangkan pencetakan biokomposit dapat dilakukan dengan proses cetakan injeksi (PCI). Parameter PCI perlu divariasikan untuk memperoleh parameter yang optimal dengan menggunakan metode Taguchi.

Yeh dkk (2014) membuat material biokomposit dengan menggunakan sekam padi ukuran 35-40 mesh (500-400  $\mu\text{m}$ ), *polypropylene* (PP) dan *maleic anhydride* PP-g-MA. Material tersebut dikeringkan dalam oven vakum pada temperatur 80°C selama 12 jam. Pencampuran menggunakan *brabender plasticorder* (PLE-331) *internal mixer* dengan kecepatan putaran 50 rpm pada temperatur 180°C. Pencetakan biokomposit menggunakan cetakan injeksi dengan temperatur injeksi 180°C dan tekanan injeksi sebesar 750 bar (75 MPa). Hasil pencetakan yang diperoleh adalah spesimen uji tarik ASTM D638 tipe IV dan spesimen uji impak ASTM D256. Penelitian tersebut merekomendasikan bahwa untuk meningkatkan ikatan antar muka dari serat sekam padi dan PP perlu adanya *coupling agents*, diantaranya adalah PP-g-MA.

Srebrenkoska dkk (2009) membuat material biokomposit dari beberapa material berdasarkan persentase berat. Material tersebut yaitu: PP sebesar 65%, sekam padi sebesar 30% dan *maleic anhydride grafted polypropylene* (MAPP) sebesar 5%. Sebelum dilakukan pencampuran, sekam padi dihaluskan hingga ukuran 21  $\mu\text{m}$  lalu dikeringkan menggunakan *oven* selama 24 jam untuk mengurangi kandungan air hingga 1-2 % berat. Untuk proses pencampuran menggunakan *melt mixing* secara bertahap. Sebagai tahapan awal, PP dan MAPP dicampur selama 3 menit pada temperatur 185°C, setelah itu baru dicampur lagi dengan serat sekam padi selama 10 menit dengan temperatur yang sama. Kecepatan putaran dari *melt mixing* juga dilakukan secara bertahap berdasarkan

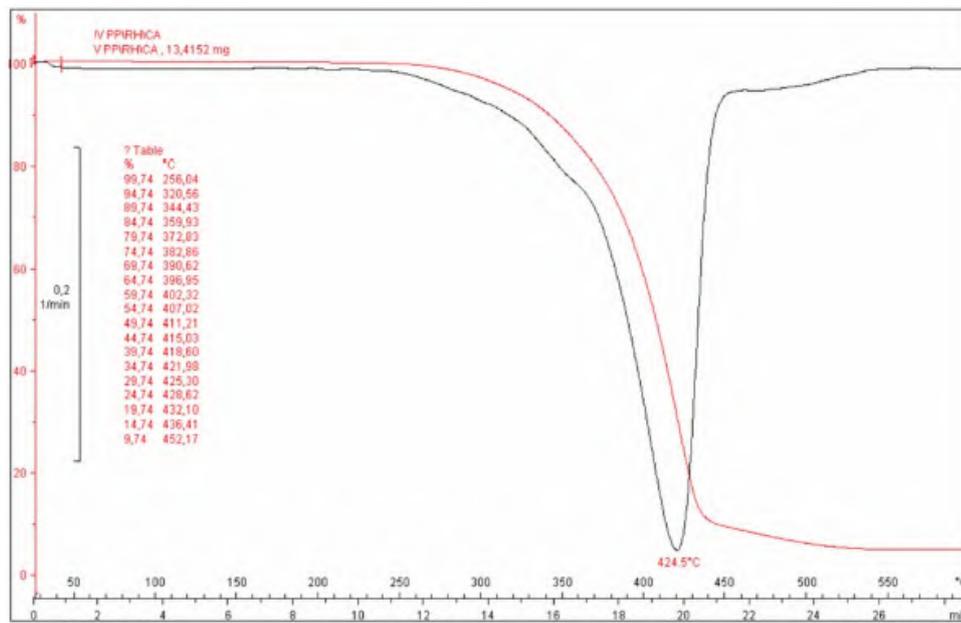
waktu, yaitu mulai dari 8 rpm selama 3 menit, 38 rpm selama 4 menit, lalu dilanjutkan dengan 64 rpm selama 3 menit. Produk yang keluar dari proses pencampuran tersebut adalah berbentuk pelet. Adapun pelet tersebut adalah sebagai material biokomposit yang akan dicetak dengan menggunakan mesin cetakan injeksi (*injection molding*). Pengaturan parameter proses injeksi molding yang digunakan dari penelitian tersebut adalah temperatur pada zona *barrel* seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Temperatur Zona *Barrel* Mesin Cetakan Injeksi

No.	Zona <i>Barrel</i>	Temperatur
1.	<i>Hopper</i>	35 – 40 °C
2.	<i>Feeding zone</i>	120 – 150 °C
3.	<i>Compressing zone</i>	150 – 180 °C
4.	<i>Metering zone</i>	185 – 195 °C
5.	<i>Nozzle</i>	190 – 200 °C

Sumber: Srebrenkoska dkk, 2009

Hasil dari *thermogravimetric analysis (TGA)* dan *derivate thermograms (DTG)* dari biokomposit yang terdiri dari PP, sekam padi dan MAPP tersebut diperoleh temperatur degradasi termal. Adapun temperatur degradasi terhadap persentase sisa berat biokomposit tersebut adalah 344,4 °C pada 90% berat, 411,2 °C pada 50% berat dan 452,2 °C pada 10% berat, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kurva Berat yang Hilang dan Laju Berat yang Hilang Biokomposit PP, Sekam Padi dan MAPP (Srebrenkoska dkk, 2009)

Subasinghe dkk (2015) membuat material biokomposit dari *polypropylene* (PP), *maleic anhydride grafted polypropylene* (MAPP) dan serat kenaf. Proses pengolahan material dilakukan dengan cara pengeringan PP dan MAPP pada temperatur 80°C selama 12 jam. Sedangkan kenaf dikeringkan pada temperatur 70°C selama 40 jam. Pada penelitian tersebut menyatakan bahwa hasil pengujian tarik dan dampak dipengaruhi oleh komposisi biokomposit yang homogen. Untuk memperoleh kehomogenan tersebut, biokomposit harus dicampur menggunakan mesin *Twin-Screw Extruder*. Kecepatan putaran yang digunakan untuk mesin tersebut sebesar 150 rpm, hasil yang diperoleh adalah campuran biokomposit dalam bentuk pelet. Biokomposit yang berbentuk pelet dicetak dengan menggunakan mesin cetakan injeksi. Hasil cetakan adalah spesimen uji tarik ASTM D638 dan uji dampak ASTM D6110.

Berdasarkan tinjauan yang telah diuraikan tersebut, para peneliti tidak melakukan variasi terhadap parameter PCI, peneliti hanya melakukan variasi terhadap pencampuran biokomposit. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian menggunakan biokomposit dari sekam padi, PP dan MAPP dengan melakukan variasi terhadap parameter PCI. Sedangkan langkah-langkah proses pembuatan biokomposit dapat dilakukan sesuai rekomendasi dari penelitian tersebut.

Berbagai referensi tentang optimasi parameter PCI juga diperoleh dari beberapa penelitian sebelumnya. KC dkk (2015) melakukan optimasi parameter PCI dengan metode *taguchi*. Parameter proses dari faktor (level) yang divariasikan adalah *injection pressure* (80 dan 90 Bar), *melt temperature* (190, 200 dan 210<sup>0</sup>C), *mold temperature* (40, 50 dan 60<sup>0</sup>C), *holding pressure* (50, 60 dan 70 Bar), *cooling time* (35, 40 dan 45 detik) serta *hold time* (4, 6 dan 8 detik). Rancangan eksperimen menggunakan *orthogonal array* L18, dengan respon yang diambil adalah cacat *shrinkage*. Bahan yang digunakan pada penelitian tersebut adalah pelet biokomposit yang berasal dari serat sisal, serat kaca dan PP. Pelet biokomposit dicetak menjadi produk plakat berbentuk persegi panjang. Sewaktu melakukan PCI, setiap pengaturan kondisi proses tersebut dilakukan penstabilan suhu selama 5 menit untuk pencetakan selanjutnya. Sampel cetakan pertama dan kedua dibuang, lalu sampel ke 3 yaitu sampel terakhir yang digunakan untuk pengukuran cacat *shrinkage*. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengurangi terjadinya cacat *shrinkage* dari produk yang dicetak. Hasil penelitian tersebut dapat diaplikasikan sebagai bahan pengganti untuk *interior* dan *eksterior* dibidang otomotif.

Kuram dkk (2013) melakukan optimasi parameter PCI dan daur ulang *polyamide (nylon 6)* terhadap sifat mekanis menggunakan metode Taguchi. Parameter PCI yang divariasikan adalah *number of recycling*, *melt temperature*, *mold temperature*, *injection pressure* dan *holding pressure*. Adapun respon dari penelitian tersebut adalah sifat mekanis yang meliputi kekuatan tarik dan kekuatan impak.

## **2.2 Material Biokomposit**

Biokomposit adalah material *polymer matrix composite* (PMC) yang dibentuk dari polimer atau resin sebagai matriks dengan serat alam sebagai penguat. Biokomposit merupakan material alami yang dapat disesuaikan berdasarkan komposisi desain selektif dan pengolahan. Tahap matriks dibentuk oleh polimer yang berasal dari sumber daya terbarukan dan tak terbarukan. Matriks berfungsi untuk melindungi serat dari kerusakan lingkungan dan kerusakan mekanis, selain itu juga dapat menahan serat untuk mentransfer beban

yang diterima. Serat alam merupakan *filler* dari biokomposit yang berasal dari tumbuh- tumbuhan misalnya serat dari tanaman kapas, sekam, rami, kayu daur ulang, limbah kertas dan serat selulosa (Joshi, 2003; Pilla, 2011).

### 2.2.1 Sekam Padi

Sekam padi adalah bagian terluar dari bulir padi berbentuk lembaran yang kering yang melindungi bagian dalam bulir. Sekam padi merupakan bahan alami yang banyak mengandung *lignoselulosa* dan komposisi kimia lainnya seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.2. Bahan *selulosa* terdiri dari serat- serat selulosa yang diselaputi oleh matrik yang disebut *lignin*, bahan *lignoselulosa* yang menyebabkan timbulnya sifat kuat dan kaku. Dari sifat kaku dan kuat ini yang dimiliki sekam padi maka dapat digunakan menjadi bahan komposit (Defonseka, 2014).

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Sekam Padi

<b>Komposisi</b>	<b>Persentase (%)</b>
Selulosa	31,12
Hemiselulosa	22,48
Lignin	22,34
Abu mineral	13,87
Air	7,86
Analisis kimia dari abu mineral	
SiO <sub>2</sub>	93,13
K <sub>2</sub> O	3,84
MgO	0,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,78
CaO	0,74
FeO <sub>3</sub>	0,58

Sumber: Kumar dkk, 2010

Sekam padi memiliki kandungan *silika* yang tinggi serta menunjukkan bahwa lapisan luar dari sekam menghasilkan kekerasan  $\pm$  5,5- 6,5 skala mohs. Sehingga sekam padi dapat dijadikan sebagai bahan pengisi (*filler*) dari campuran (Luh, 1991). Karakteristik yang dimiliki oleh sekam padi sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Karakteristik Sekam Padi

<b>Komposisi</b>	<b>Persentase (%)</b>
<i>Bulk density (g/ml)</i>	0,79
<i>Solid density (g/ml)</i>	1,48
<i>Moisture content (%)</i>	5,98
<i>Ash content (%)</i>	48,81
<i>Surface area (m<sup>2</sup>/g)</i>	320,90
<i>Surface acidity (meq/g)</i>	0,15
<i>Surface basicity (meq/g)</i>	0,53

Sumber: Kumar dkk, 2010

### 2.2.2 Polypropylene (PP)

Beberapa komposit diproduksi secara komersial menggunakan bahan matriks polimer. Banyak polimer yang dimodifikasi untuk dimanfaatkan sesuai dengan komposit yang direncanakan. Pemilihan polimer sangat tergantung pada kompatibilitas bahan penguat yang akan digunakan. Beberapa polimer yang paling umum digunakan adalah *polyester, vinylester, epoxy, phenols, polymide, polyethylene (PE), high-density polyethylene (HDPE), polyvinyl chloride (PVC) dan polypropylene (PP)* (Defonseka, 2014; Salit, 2015).

*Polypropylene (PP)* adalah polimer termoplastik terbuat dari monomer *propylene* yang banyak digunakan terutama untuk proses injeksi molding. Polimer ini mulai diperkenalkan sejak tahun 1950 dan digunakan dalam berbagai aplikasi seperti kemasan, tali, tekstil, plastik, label, komponen otomotif dll (Groover, 2010; Defonseka, 2014).

PP dapat disintesis dalam struktur isotaktik, sindiotaktik atau struktur ataktik yang merupakan pilihan utama karena memiliki karakteristik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4, selain itu juga memiliki nilai kekerasan sebesar 7 HB. PP merupakan material polimer yang paling ringan dari polimer lainnya dan memiliki rasio yang tinggi antara kekuatan dan berat. PP sering dibandingkan dengan HDPE karena memiliki harga yang cukup murah serta sifat yang hampir sama, namun titik leleh PP lebih tinggi dari pada HDPE yaitu sebesar 176<sup>0</sup>C (Groover, 2010). Sedangkan indeks aliran leleh (*melt flow index*) sebesar 25 g/10 menit pada temperatur 230<sup>0</sup>C dengan massa 2,16 kg (Yeh dkk, 2014).

Tabel 2.4 Karakteristik *Polypropylene* (PP)

<i>Specific gravity</i>	0,90 - 0,91
<i>Tensile modulus</i>	1,14 - 1,55 GPa (165 – 225 ksi)
<i>Tensile strength</i>	31 - 41,4 MPa (4,5 - 6,0 ksi)
<i>Yield strength</i>	31 - 37,2 MPa (4,5 -5,4 ksi)
<i>Elongation at break</i>	100 - 600 %

Sumber: Callister (2007)

### 2.3 Pengolahan Polimer Biokomposit

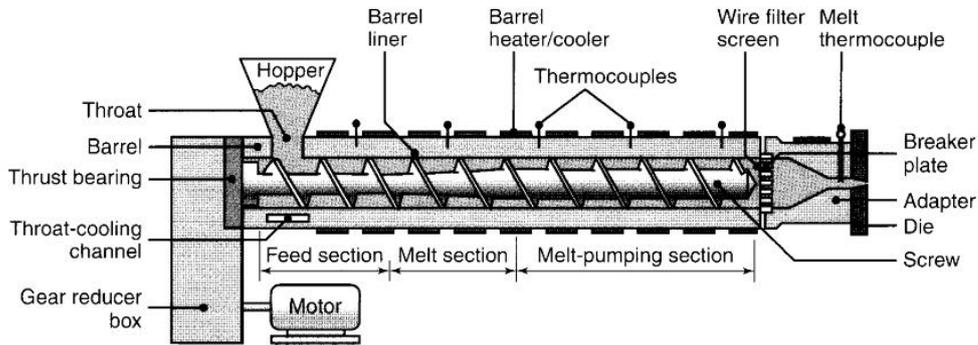
Secara umum pengolahan polimer biokomposit dimulai dengan proses pencampuran, setelah itu dilakukan proses pencetakan dan *finishing* (Pilla, 2011).

#### a) Pencampuran Biokomposit

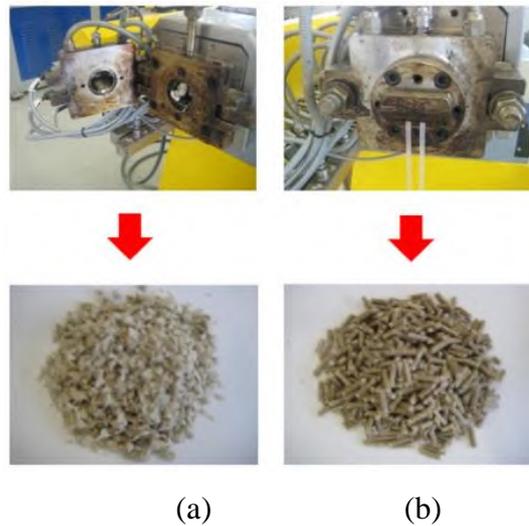
Untuk melakukan proses pencampuran material biokomposit, terlebih dahulu dilakukan persiapan dengan cara peracikan, penghalusan dan pengeringan. Proses pengeringan dapat dilakukan menggunakan oven dengan temperatur dan waktu yang ditentukan. Kadar air yang terjebak dalam partikel serat atau pelet polimer dapat menyebabkan ikatan antar muka yang lemah antara kedua permukaan. Setelah material dipersiapkan, maka dilanjutkan dengan proses pencampuran. Beberapa peralatan yang banyak digunakan untuk proses pencampuran adalah:

- 1) *Blenders*
- 2) *Extruders (single-screw or twin-screw)*
- 3) *Pulverizers*
- 4) *Mills (open/two-roll)*
- 5) *Mixers*

Dari beberapa peralatan tersebut, *extruders* adalah peralatan utama yang sering digunakan untuk produksi massal pada industri (Pilla, 2011). Adapun komponen dari mesin ekstruder sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.2, sedangkan produk dari proses ekstrusi ada yang berbentuk pelet dan ada juga yang tidak berbentuk pelet seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Komponen Mesin Ekstruder (Kalpakjian, 2009)



Gambar 2.3 Produk Ekstrusi a) Tidak Berbentuk Pelet, b) Berbentuk Pelet (Subasinghe dkk, 2015)

b) Pencetakan Biokomposit

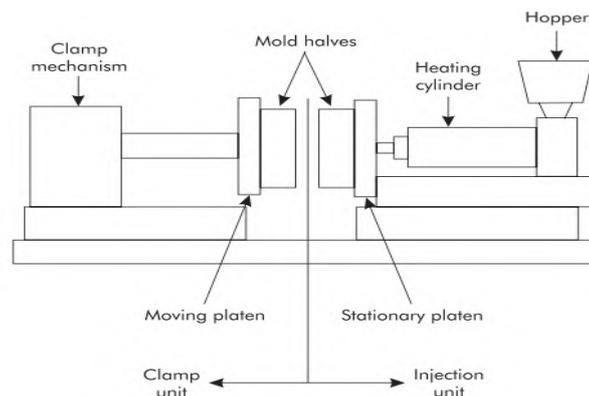
Pencetakan biokomposit dari serat alam dan polimer dapat dilakukan dengan proses cetakan terbuka (*open mold process*) dan proses cetakan tertutup (*closed mold processes*). Proses cetakan terbuka dengan cetakan berongga tunggal dapat menghasilkan produk tanpa atau dengan tekanan yang rendah, seperti proses *hand lay-up*, *spray-up*, dan *centrifugal casting*. Pada proses cetakan tertutup, cetakan yang digunakan terdiri dari dua bagian yang umumnya dibuat dari logam. Hal ini menyebabkan permukaan produk yang dicetak lebih halus dari pada produk hasil cetakan terbuka. Proses cetakan tertutup seperti *compression molding*, *transfer molding* dan *injection molding*.

## 2.4 Cetakan Injeksi (*Injection Molding*)

Proses cetakan injeksi adalah suatu proses pencetakan atau pembentukan material termoplastik dengan cara memanaskan material dalam keadaan yang sangat plastik hingga meleleh. Material dipaksa mengalir dengan tekanan tinggi kedalam rongga cetakan sampai membeku. Setelah dilakukan pendinginan, hasil cetakan dikeluarkan dari rongga cetakan (Groover, 2010).

### a) Bagian Umum Mesin Cetakan Injeksi

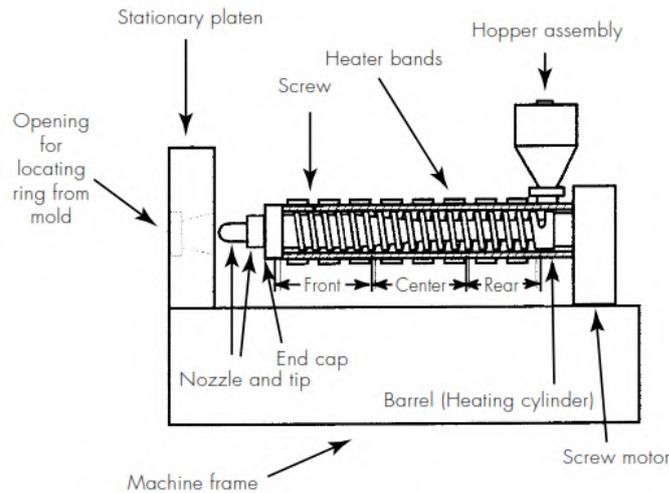
Secara umum mesin cetakan injeksi terdiri dari 2 bagian seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.4, yaitu *injection unit* dan *clamping unit*. Adapun masing-masing unit terdiri dari beberapa komponen (Douglas, 1999; Wijaya, 2010).



Gambar 2.4 Bagian Umum Mesin Cetakan Injeksi (Douglas, 1999)

#### 1) Unit injeksi (*Injection unit*)

Unit Injeksi terdiri dari *nozzle*, *barrel*, *screw*, *heater bands* dan *hopper*, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.5. Unit Injeksi adalah bagian yang berfungsi sebagai unit pengolahan polimer yang dimulai dengan masuknya material melalui *hopper*, kemudian dipanaskan didalam *barrel* dengan suhu lumer plastik yang bersangkutan sambil diperlakukan adukan (*mixing*) oleh *screw*. Setelah itu di injeksikan atau disuntikkan ke dalam cetakan (*mold*).



Gambar 2.5 Komponen Unit Injeksi (Douglas, 1999)

## 2) Unit Pencekam (*Clamping unit*)

Unit pencekam adalah unit yang berfungsi sebagai pencekam cetakan (*mold*), selain itu juga dapat menggerakkan *mold* dengan gerakan menutup dan gerakan membuka, lalu dilanjutkan dengan gerakan *ejector* untuk mendorong produk keluar dari *mold*.

### b) Siklus Proses Cetakan Injeksi

Pada umumnya, untuk melakukan satu siklus proses cetakan injeksi terdiri dari lima langkah (Wijaya, 2010), yaitu:

- 1) Menutup Cetakan (*Mold Close*). Dalam 1 siklus kerja proses injeksi diawali oleh proses *mold close* yang terdiri dari 2 bagian besar yaitu sisi “*Core*” dan sisi “*Cavity*”. Sebelum cetakan menutup dengan rapat, maka cetakan harus bergerak perlahan dengan tekanan yang rendah untuk menghindari tumbukan. Hal ini bertujuan untuk menjaga kondisi cetakan dan juga kondisi mesin agar selalu dalam performa yang baik dan dapat berproduksi dengan lancar.
- 2) Injeksi Pengisian (*Fill Injection*). Siklus injeksi pengisian dimulai dari Bergeraknya unit injeksi mendekati *mold* hingga *nozzle* bersentuhan dengan *mold*, kemudian dilakukan penginjeksian plastik cair ke dalam *mold*.

- 3) Injeksi Menahan (*Holding Injection*). Pada proses ini tidak lagi melibatkan kecepatan di dalam setting parameter, hanya besaran tekanan yang kita atur beserta waktu yang kita butuhkan.
- 4) Pengisian dan Pendinginan (*Charging & Cooling*). Proses pengisian adalah proses dimana pelet plastik masuk kedalam *barrel*, kemudian digiling/ diputar dalam keadaan cair oleh *screw* hingga sampai di depan *nozzle* lalu diinjeksikan kedalam *mold*. Setelah pengisian, maka dilanjutkan dengan pendinginan. Waktu Pendinginan (*cooling time*) harus lebih lama dari waktu pengisian (*charging time*). Bila waktu pengisian yang lebih lama, maka terjadi tumpahan material plastik dari *nozzle* ketika *mold* terbuka untuk proses berikutnya.
- 5) Membuka Cetakan (*Mold Open*). Gerakan membuka cetakan diikuti dengan gerakan *ejector* mendorong produk yang menempel pada sisi *core*. Dengan ini, 1 siklus atau disebut juga 1 *shot* proses injeksi telah selesai dan dimulai lagi keproses 2 hingga seterusnya berulang-ulang.

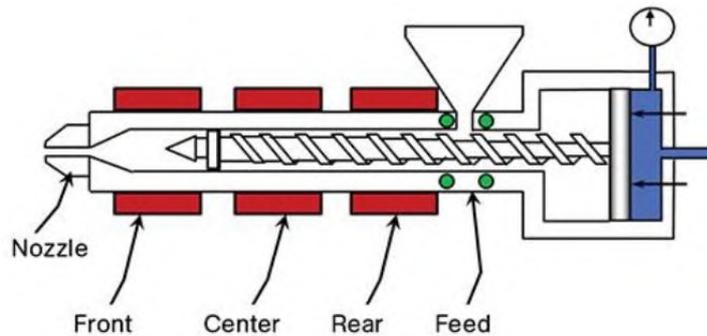
c) Parameter Proses Cetakan Injeksi

Kualitas produk yang diperoleh dari proses cetakan injeksi sangat dipengaruhi oleh penentuan parameter proses yang tepat. Meskipun terdapat banyak parameter untuk mengontrol, secara umum parameter tersebut dapat dibagi dalam 4 kategori utama yaitu temperatur, tekanan, waktu dan jarak/langkah (Douglas, 1999).

1) Temperatur

Parameter temperatur terdiri dari *barrel temperature*, *mold temperature* dan *hydraulic system temperature control*. Pengaturan temperatur pada bagian *barrel* bertujuan untuk memanaskan polimer yang masih berada pada unit injeksi sebelum memasuki cetakan agar sesuai dengan temperatur leleh polimer. *Barrel temperature* adalah temperatur yang berasal dari elemen pemanas yang dilengkapi dengan *thermocouple* pada bagian *barrel*. Elemen pemanas pada *barrel* terdiri dari empat zona atau lebih. Secara umum terdiri

dari bagian depan, tengah, belakang dan *hopper (feed)*, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Zona Barrel (Bozzelli, 2014)

## 2) Tekanan

Pengaturan tekanan terbagi atas pengaturan unit injeksi dan unit *clamp*. Unit injeksi terdiri dari *initial injection pressure*, *holding pressure* yang meliputi *secondary pressure* dan *back pressure*, sedangkan pengaturan *clamp* terdiri dari *hydraulic clamp system* dan *mechanical clamp system*. *Injection pressure* merupakan parameter utama yang perlu dipertimbangkan pada proses cetakan injeksi. *Injection pressure* adalah jumlah tekanan yang dibutuhkan untuk mengisi cairan material kedalam rongga cetakan (*mold cavity*) untuk menghasilkan produk. Jumlah tekanan yang berkisar antara 500 psi (3 MPa) sampai 20.000 psi (138 MPa) tergantung dari laju aliran material yang diinjeksikan (Douglas, 1999). Tahapan selanjutnya adalah *holding pressure* yaitu tekanan yang diperlukan agar piston dapat mendorong plastik yang telah meleleh. Pengaturan *holding pressure* bertujuan untuk meyakinkan bahwa material polimer dipastikan telah mengisi pada seluruh rongga cetak, tergantung dengan besar kecilnya dimensi cetakan (*mold*).

## 3) Waktu

Pengaturan waktu terdiri dari pengaturan *gate to gate cycle time*, *gate close time*, *mold close time*, *initial injection time*, *cooling time*, *screw return time*, *mold open time*, *ejection time*, *part removal time* dan *mold inspection time* dan *injection hold time* (Douglas, 1999).

#### 4) Jarak/langkah

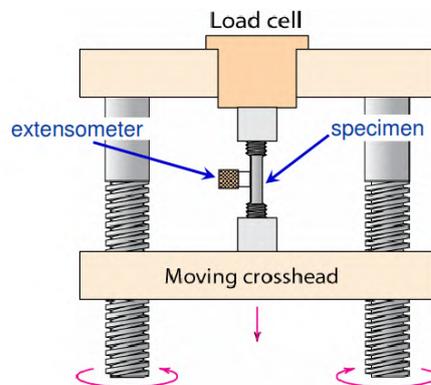
Pengaturan jarak/ langkah terdiri dari pengaturan *injection stroke* dan *holding stroke*. *Injection stroke* adalah variabel yang mengatur panjang langkah dari *screw*. Pada saat langkah *injection stroke* berakhir, akan dilanjutkan dengan langkah *holding stroke*. Variabel ini berguna untuk memperkecil kemungkinan tidak terisinya cairan plastik pada *cavity*.

### 2.5 Pengujian Material Biokomposit

Pengujian dilakukan untuk memperoleh karakteristik sifat mekanis yang dimiliki oleh material biokomposit. Beberapa pengujian karakteristik sifat mekanis diantaranya adalah pengujian tarik dan pengujian impak.

#### a) Pengujian Tarik

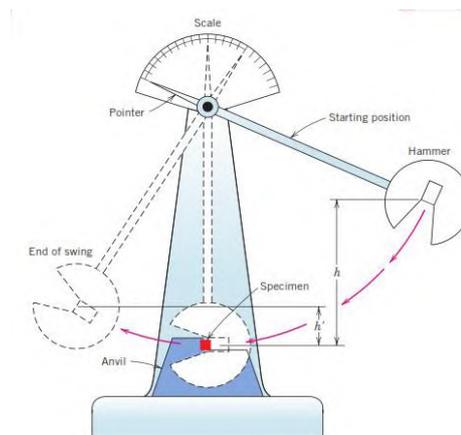
Salah satu pengujian kekuatan- regangan yang paling umum digunakan adalah pengujian tarik. Hasil yang diperoleh adalah hubungan antara gaya penarikan ( $F$ ) dan perubahan panjang spesimen ( $\Delta L$ ). Besarnya perubahan gaya tarik ini diukur oleh *loadcells* dan  $\Delta L$  diukur oleh *extensometer* seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.7. Pengujian kekuatan digunakan untuk memastikan beberapa sifat mekanis suatu bahan. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberi gaya tarik kepada spesimen secara bertahap sepanjang sumbu spesimen tersebut. Spesimen tersebut biasanya memiliki penampang bulat atau juga ada yang memiliki penampang persegi (Calister, 2007).



Gambar 2.7 Skema Dasar Pengujian Tarik (Calister, 2007)

## b) Pengujian Impak

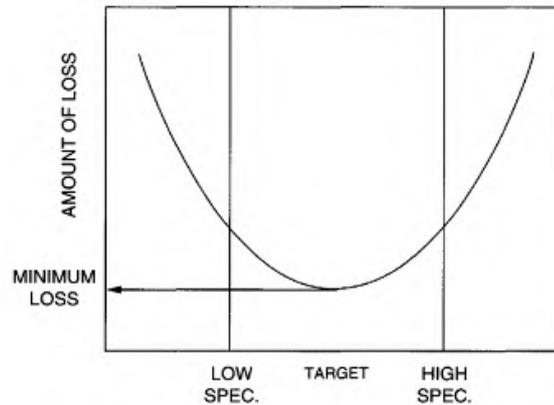
Prinsip kerja dari uji impak adalah adanya energi yang diserap oleh spesimen hingga patah berdasarkan tumbukan dari pendulum. Energi tersebut diperoleh dari perbedaan ketinggian pendulum sebelum menumbuk spesimen ( $h$ ) dan setelah menumbuk spesimen ( $h'$ ). Adapun skema dari pengujian impak seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Skema Pengujian Impak (Calister, 2007)

## 2.6 Desain Eksperimen Metode Taguchi

Pada tahun 1924, Dr. Genichi Taguchi mencetuskan penggabungan teknik dan statistik untuk mengoptimalkan desain produk dan proses manufaktur. Metode ini bertujuan untuk memperbaiki proses dan kualitas produk yang optimal serta dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin (Kalpakjian, 2009). Adapun sasaran dari metode ini adalah menjadikan produk kokoh (*robust*) terhadap faktor gangguan (*noise*) atau disebut juga dengan *robust design*. Taguchi menganjurkan bahwa kualitas terbaik dapat dicapai dengan meminimalkan variabilitas proses sekitar nilai target, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.9 (Pyzdek, 2003).



Gambar 2.9 Model Taguchi Kerugian Terhadap Target (Pyzdek, 2003)

a) Derajat Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk memperoleh jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan dalam menyelidiki faktor yang diamati, sehingga dapat membantu menentukan dan mendesain matriks ortogonal. Bentuk persamaan umum derajat kebebasan adalah sebagai berikut (Soejanto, 2009):

- 1) Derajat kebebasan *orthogonal array* ( $V_{OA}$ ) untuk menentukan jumlah eksperimen yang diamati adalah:

$$V_{OA} = \text{banyaknya eksperimen} - 1 \quad (2.1)$$

- 2) Derajat kebebasan faktor dan level ( $V_{fl}$ ) untuk menghitung jumlah level yang harus diuji atau diadakan pengamatan pada sebuah faktor adalah sebagai berikut:

$$V_{fl} = \text{banyaknya level} - 1 \quad (2.2)$$

- 3) Untuk mengetahui derajat kebebasan dari sebuah matriks eksperimen atau total derajat kebebasan adalah:

$$\text{Total } V_{fl} = (\text{banyaknya faktor}) \cdot (V_{fl}) \quad (2.3)$$

b) Matriks Ortogonal

Taguchi merekomendasikan penggunaan matriks ortogonal untuk membuat desain parameter seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.5. Pemilihan

matriks ortogonal tergantung dari nilai faktor dan interaksi yang diharapkan dari nilai level pada tiap faktor (Ross, 2008). Matriks ortogonal memiliki kemampuan untuk mengevaluasi sejumlah variabel dengan jumlah eksperimen yang minimum yang dilambangkan dengan bentuk persamaan sebagai berikut (Soejanto, 2009).

$$L_{a(b^c)} \quad (2.4)$$

dengan:

L = rancangan bujur sangkar latin

a = jumlah baris eksperimen

b = jumlah level

c = jumlah faktor/ variabel proses

Tabel 2.5 Pemilihan Matriks Ortogonal

<b>2 level</b>	<b>3 level</b>	<b>4 level</b>	<b>5 level</b>	<b>Mixed level</b>
L <sub>4</sub> (2 <sup>3</sup> )	L <sub>9</sub> (3 <sup>4</sup> )	L <sub>16</sub> (4 <sup>5</sup> )	L <sub>25</sub> (5 <sup>6</sup> )	L <sub>18</sub> (2 <sup>1</sup> × 3 <sup>7</sup> )
L <sub>8</sub> (2 <sup>7</sup> )	L <sub>27</sub> (3 <sup>13</sup> )	L <sub>64</sub> (4 <sup>21</sup> )	-	L <sub>32</sub> (2 <sup>1</sup> × 4 <sup>9</sup> )
L <sub>12</sub> (2 <sup>11</sup> )	L <sub>81</sub> (3 <sup>40</sup> )	-	-	L <sub>36</sub> (2 <sup>11</sup> × 3 <sup>12</sup> )
L <sub>16</sub> (2 <sup>15</sup> )	-	-	-	L <sub>36</sub> (2 <sup>3</sup> × 3 <sup>13</sup> )
L <sub>32</sub> (2 <sup>31</sup> )	-	-	-	L <sub>54</sub> (2 <sup>1</sup> × 3 <sup>25</sup> )
L <sub>64</sub> (2 <sup>63</sup> )	-	-	-	L <sub>50</sub> (2 <sup>1</sup> × 5 <sup>11</sup> )

Sumber: Soejanto, 2009

Untuk memperoleh hasil penelitian yang lebih teliti, maka eksperimen harus dilakukan secara berulang kali. Pengulangan tersebut dengan cara membuat replikasi dan randomisasi berdasarkan rancangan matriks ortogonal yang sudah dipilih.

#### c) Replikasi

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Fungsi dari replikasi antara lain: mengurangi tingkat kesalahan percobaan, menambah ketelitian data percobaan dan mendapatkan harga estimasi kesalahan percobaan. Hal ini bertujuan memungkinkan untuk diadakan uji signifikansi hasil eksperimen.

#### d) Randomisasi

Randomisasi adalah pengacakan urutan percobaan tetapi dilakukan dengan perlakuan yang sama. Adapun tujuan dari randomisasi adalah untuk

meratakan pengaruh dari faktor- faktor yang tidak dapat dikendalikan, seperti kelelahan operator dan naik turunnya daya mesin. Selain itu juga dapat memberikan kesempatan yang sama pada semua unit percobaan untuk menerima suatu perlakuan, sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh pada setiap perlakuan yang sama.

e) Rasio S/N

Respon yang diperoleh dari eksperimen sangat dipengaruhi oleh beberapa variabel proses, baik itu variabel yang dapat dikendalikan/ diubah-ubah maupun variabel proses yang tidak dapat dikendalikan. Metode Taguchi telah membuat suatu konsep rasio S/N (*Signal-to-Noise*) untuk eksperimen yang menggunakan banyak faktor atau faktor ganda. Tujuan eksperimen faktor ganda adalah untuk meminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan yang dapat diprediksi ( $V_g$ ) dan gangguan yang tidak dapat diprediksi ( $V_e$ ) dengan definisi sebagai berikut (Soejanto, 2009):

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{keragaman bagian yang dapat diprediksi}}{\text{keragaman bagian yang tidak dapat diprediksi}} = \frac{V_g}{V_e} \quad (2.5)$$

Jika faktor signal konstan maka permasalahan menjadi fungsi statis, sehingga rasio S/N dapat didefinisikan sebagai berikut (Roy, 2010):

$$S/N = -10 \log (\text{MSD}) \quad (2.6)$$

*Mean Squared Deviation* (MSD) adalah simpangan kuadrat rata-rata dari nilai target. Walaupun nilai target dirubah, kondisi optimal yang diperoleh dengan memaksimalkan rasio S/N akan tetap valid. Karakteristik dari masing-masing variabel respon tidak selalu sama, rasio S/N digunakan untuk memilih nilai level variabel proses terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari setiap respon pada eksperimen. Penggunaan Rasio S/N dilakukan untuk meminimalkan karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan. Perhitungan MSD untuk rasio S/N berdasarkan jenis karakteristik kualitas (Roy, 2010), yaitu:

- 1) Semakin kecil semakin baik (*smaller is better*).

Karakteristik kualitas dari *smaller is better* adalah nilai yang semakin kecil adalah nilai target, nilai yang diinginkan tersebut hingga nol dan tidak negatif. MSD untuk rasio S/N dengan karakteristik *smaller is better* dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$MSD = \frac{(Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_N^2)}{N} \quad (2.7)$$

- 2) Tertuju pada nilai tertentu (*nominal is best*).

Karakteristik kualitas dari *nominal is best* adalah nilai yang targetnya menuju pada nilai tertentu. Dengan kata lain, nilai targetnya tidak nol dan terbatas sehingga nilai yang semakin mendekati target tersebut adalah nilai yang diinginkan. MSD untuk rasio S/N dengan karakteristik *nominal is best* dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$MSD = \frac{(Y_1 - Y_0)^2 + (Y_2 - Y_0)^2 + \dots + (Y_N - Y_0)^2}{N} \quad (2.8)$$

- 3) Semakin besar semakin baik (*larger is better*).

Karakteristik kualitas dari *larger is better* adalah nilai yang targetnya tidak nol, idealnya nilai target adalah yang paling besar. MSD untuk rasio S/N dengan karakteristik *larger is better* dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$MSD = \frac{\left(\frac{1}{Y_1^2} + \frac{1}{Y_2^2} + \dots + \frac{1}{Y_N^2}\right)}{N} \quad (2.9)$$

## 2.7 Grey Relational Analysis (GRA)

*Grey relation analysis* adalah suatu metode yang digunakan dalam melakukan optimasi multi respon. Hal ini dilakukan dengan cara penggabungan beberapa respon menjadi satu respon. Penggabungan beberapa respon dapat

dilakukan dengan menggunakan *fuzzy logic*. Perubahan *input* menjadi bilangan *fuzzy* dengan analisis *grey relational* yang merupakan pendekatan untuk mengubah optimasi kedalam bentuk *grey-fuzzy* (Das dkk, 2015).

Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan optimasi dengan metode *grey-fuzzy* antara lain adalah normalisasi data respon, menentukan GRA, menggunakan fungsi keanggotaan (*fuzzification*), mengaplikasikan *fuzzy rules*, *defuzzification* dan menentukan kombinasi parameter yang optimum.

a) Normalisasi Data Respon

Proses normalisasi dilakukan berdasarkan karakteristik kualitas respon rasio S/N. Karakteristik respon tersebut meliputi: lebih besar lebih baik (*larger is better*), lebih kecil lebih baik (*smaller is better*) dan tertuju pada nilai tertentu (*nominal is best*). Persamaan yang digunakan dalam proses normalisasi adalah sebagai berikut (Bhattacharya, 2014):

Persamaan untuk respon normalisasi dengan karakteristik “lebih besar lebih baik” adalah:

$$x_i^*(k) = \frac{x_i^o(k) - \min x_i^o(k)}{\max x_i^o(k) - \min x_i^o(k)} \quad (2.10)$$

Persamaan untuk respon normalisasi dengan karakteristik “lebih kecil lebih baik” adalah:

$$x_i^*(k) = \frac{\max x_i^o(k) - x_i^o(k)}{\max x_i^o(k) - \min x_i^o(k)} \quad (2.11)$$

Persamaan untuk respon normalisasi dengan karakteristik “tertuju pada nilai tertentu” adalah:

$$x_i^*(k) = 1 - \frac{|x_i^o(k) - x_i^o|}{\max x_i^o(k) - x_i^o} \quad (2.12)$$

dengan:

$x_i^*(k)$  = nilai normalisasi rasio S/N ke-  $i$  pada respon eksperimen ke-  $k$

$x_i^o(k)$  = nilai rasio S/N ke-  $i$  pada respon eksperimen ke-  $k$

$\max x_i^o(k)$  = nilai terbesar dari rasio S/N

$\min x_i^o(k)$  = nilai terkecil dari rasio S/N

$x_i^o$  = nilai target dari  $x_i^o(k)$

b) *Grey Relational Coefficient* (GRC)

*Grey relational coefficient* (GRC) adalah suatu hubungan antara kondisi yang ideal (terbaik) dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasikan. GRC akan bernilai satu apabila respon yang dinormalisasikan tersebut cocok dengan kondisi yang ideal. Nilai GRC yang tinggi menunjukkan bahwa hasil eksperimen memiliki hubungan yang dekat dengan nilai normalisasi yang terbaik pada respon tersebut. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai GRC (Bhattacharya, 2014; Das 2015) adalah:

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{0,i}(k) + \zeta \Delta_{max}} \quad (2.13)$$

$$\Delta_{0,i}(k) = |x_0^*(k) - x_i^*(k)| \quad (2.14)$$

dengan:

$\xi_i(k)$  = nilai *grey relational coefficient* ke-  $i$  pada respon eksperimen ke-  $k$

$\Delta_{0,i}(k)$  = nilai *deviation sequence*, yang merupakan nilai mutlak dari perbedaan antara nilai  $x_0^*$  dan  $x_i^*$  pada respon eksperimen ke-  $k$

$x_0^*(k)$  = nilai terbesar dari normalisasi rasio S/N yang dikonversikan sebesar 1

$\Delta_{min}$  = nilai minimum dari  $\Delta_{0,i}(k)$

$\Delta_{max}$  = nilai maksimum dari  $\Delta_{0,i}(k)$

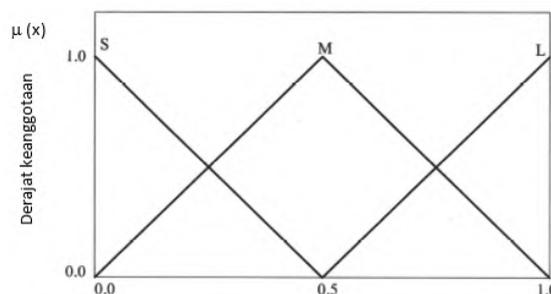
$\zeta$  = identifikasi koefisien atau perbedaan koefisien yang bernilai antara 0 hingga 1. Nilai ini ditentukan oleh pengambil keputusan terhadap harapannya, pada umumnya nilai  $\zeta$  digunakan sebesar 0,5.

c) Logika *Fuzzy*

Teori himpunan *fuzzy* diusulkan oleh Prof. Lotfi Zaedah pada tahun 1960 untuk menghitung derajat yang tak terbatas jumlahnya antara benar dan salah. Teori ini merupakan metode dalam menganalisis sistem yang kompleks untuk memperoleh keputusan dari pola yang tidak tentu. Pola tersebut disebabkan oleh variabilitas kabur (kefuzian) dari keacakan (random). Variabel yang bersifat kabur dalam logika *fuzzy* direpresentasikan sebagai sebuah himpunan yang anggotanya adalah suatu nilai *crisp* (tegas) dan derajat keanggotaan atau disebut dengan *membership function* (Pal, 1989; Setiadji, 2009).

d) *Fuzzification*

*Fuzzification* adalah suatu proses pengubahan *input* menjadi bilangan *fuzzy* dengan menggunakan fungsi keanggotaan (*membership function*). Fungsi keanggotaan tersebut merupakan suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik dari data *input* menjadi derajat keanggotaan. Interval nilai keanggotaan yang digunakan adalah antara 0 sampai 1 (Tamang, 2014; Das, 2015). Pendekatan fungsi digunakan sebagai salah satu cara untuk mendapatkan nilai keanggotaan. Ada dua fungsi keanggotaan yang umum digunakan dalam penelitian, yaitu fungsi keanggotaan kurva segitiga dan kurva trapesium. Bentuk fungsi keanggotaan kurva segitiga seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.10. Fungsi keanggotaan dari masing-masing respon sebagai variabel *input* dikelompokkan kedalam tiga kelas *fuzzy subsets*, yaitu *small* (S), *medium* (M) dan *large* (L) secara *uniform* (Chen, 2008).



Gambar 2.10 Fungsi Keanggotaan Respon Sebagai Variabel *Input* (Chen, 2008)

e) *Fuzzy Rules*

*Fuzzy rules* merupakan suatu aturan yang menyatakan tentang hubungan antara masing- masing variabel *input* menjadi variabel *output* (Tamang, 2014). *Fuzzy rules* dibuat berdasarkan pengelompokkan data dengan bentuk aturan *if-then* (jika-maka) seperti yang dicontohkan sebagai berikut (Das, 2015).

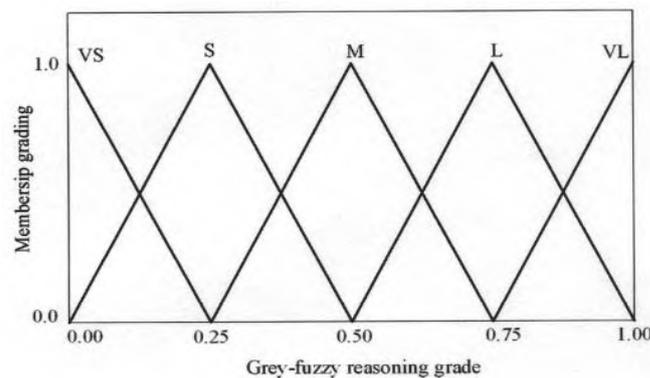
Rule ke-1: Jika  $\xi_1$  adalah  $A_1$ ,  $\xi_2$  adalah  $B_1$  dan  $\xi_3$  adalah  $C_1$ , maka  $\eta$  adalah  $D_1$ .

Rule ke-2: Jika  $\xi_1$  adalah  $A_2$ ,  $\xi_2$  adalah  $B_2$  dan  $\xi_3$  adalah  $C_2$ , maka  $\eta$  adalah  $D_2$ .

dan seterusnya hingga

Rule ke-n: Jika  $\xi_1$  adalah  $A_n$ ,  $\xi_2$  adalah  $B_n$  dan  $\xi_3$  adalah  $C_n$ , maka  $\eta$  adalah  $D_n$ .

Notasi  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  dan  $\xi_3$  adalah derajat keanggotaan atau himpunan keanggotaan dari *grey relational coefficient*. Nilai A, B dan C akan menghasilkan  $\eta$  yang merupakan himpunan *fuzzy* berdasarkan ketetapan himpunan keanggotaan. Adapun  $D_n$  adalah *Grey-fuzzy reasoning grade* yang merupakan *output* dari himpunan *fuzzy*. Variabel output dapat didefinisikan sebagai *very small* (VS), *small* (S), *medium* (M), *large* (L) dan *very large* (VL) seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Fungsi Keanggotaan Sebagai Variabel *Output* (Chen, 2008)

f) *Kombinasi Parameter dan Nilai GFRG*

Makin besar nilai GFRG atau MRPI, semakin baik pula respon dari proses pada kombinasi parameter tersebut. Nilai prediksi GFRG berdasarkan

kombinasi level parameter untuk menghasilkan respon yang optimal dapat dirumuskan sebagai berikut (Soepangkat dan Pramujati, 2013):

$$\hat{\gamma} = \gamma_m + \sum_{i=1}^q (\bar{\gamma}_i - \gamma_m) \quad (2.15)$$

dengan:

$\gamma_m$  = nilai rata-rata dari keseluruhan GFRG

$\bar{\gamma}_i$  = rata-rata GFRG pada level optimal

$q$  = jumlah parameter yang mempengaruhi respon secara signifikan

## 2.8 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

Analisis varians adalah suatu teknik statistik yang digunakan untuk memprediksi data hasil eksperimen. Teknik ini tidak secara langsung menganalisis data, melainkan menentukan variabilitas (varians) dari faktor terkendali dan faktor yang tidak terkendali (*noise*) dari data. Walaupun demikian, analisis varians dapat digunakan untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan (Roy, 2010).

Persen kontribusi dilakukan untuk mengindikasikan kekuatan relatif dari faktor dan interaksi untuk mengurangi variasi yang timbul. Persen kontribusi dapat dihitung dari jumlah kuadrat variabel proses yang signifikan. Variabel yang dihitung pada persen kontribusi adalah variabel proses, interaksi variabel proses, dan *error*. Jika persen kontribusi *error* kurang dari 15%, maka berarti tidak ada variabel proses yang berpengaruh terabaikan. Tetapi jika persen kontribusi *error* lebih dari 15% mengindikasikan ada variabel proses yang berpengaruh terabaikan sehingga *error* yang terjadi terlalu besar. Persen kontribusi suatu variabel proses dirumuskan dengan menggunakan persamaan (Ross, 2008) sebagai berikut:

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100 \% \quad (2.16)$$

$$SS'_A = SS_A - \nu_A \cdot MS_E \quad (2.17)$$

dengan:

$SS_A$  = jumlah kuadrat dari faktor yang dihitung persen kontribusinya

$SS_T$  = jumlah kuadrat total

$\nu_A$  = derajat kebebasan dari faktor yang dihitung persen kontribusinya

$MS_E$  = rata-rata kuadrat dari faktor *error*

## 2.9 Interval Keyakinan

Untuk menyatakan bahwa hasil percobaan benar-benar valid, maka perlu diberi batasan interval keyakinan.

a) Interval keyakinan untuk prediksi kondisi optimum menggunakan persamaan sebagai berikut (Ross, 2008):

$$CI_p = \sqrt{\frac{F_{(\alpha; \nu_1; \nu_2)} MS_E}{n_{eff}}} \quad (2.18)$$

$$\hat{\mu} - CI_p \leq \hat{\mu} \leq \hat{\mu} + CI_p \quad (2.19)$$

$$n_{eff} = \frac{\text{Total percobaan}}{1 + \text{Jumlah derajat kebebasan variabel untuk menduga rata-rata}} \quad (2.20)$$

dengan:

$F_{(\alpha, 1, df_E)}$  = Nilai F-ratio dari tabel

$\alpha$  = Resiko, level kepercayaan = 0.05

$\nu_1$  = Derajat kebebasan untuk pembilang yang berhubungan dengan rata-rata

(selalu bernilai 1 untuk suatu interval keyakinan)

$\nu_2$  = *Degrees of freedom error* (derajat kebebasan dari variansi *pooled error*)

$MS_E$  = *Mean square error* (nilai error kuadrat rata-rata)

$n_{eff}$  = Banyaknya pengamatan efektif

$\hat{\mu}$  = Rata-rata GFRG prediksi pada kondisi optimum

b) Interval keyakinan untuk memprediksi percobaan konfirmasi menggunakan persamaan sebagai berikut (Ross, 2008):

$$CI_C = \sqrt{F_{(\alpha; \nu_1; \nu_2)} MS_E \left[ \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \quad (2.21)$$

dengan:

$r$  = Jumlah sampel dalam percobaan konfirmasi

$$\hat{\mu} - CI_c \leq \mu \leq \hat{\mu} + CI_c \quad (2.22)$$

## 2.10 Percobaan Konfirmasi

Percobaan konfirmasi adalah suatu percobaan yang menggunakan kombinasi level variabel proses hasil optimasi. Tujuan dari percobaan konfirmasi adalah untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diambil pada tahap analisa. Percobaan konfirmasi dilakukan untuk menyesuaikan hasil respon prediksi dengan hasil respon secara aktual (Ross, 2008). Selain itu, percobaan konfirmasi dilakukan untuk membandingkan respon pada kondisi awal dengan respon setelah dilakukan proses optimasi.

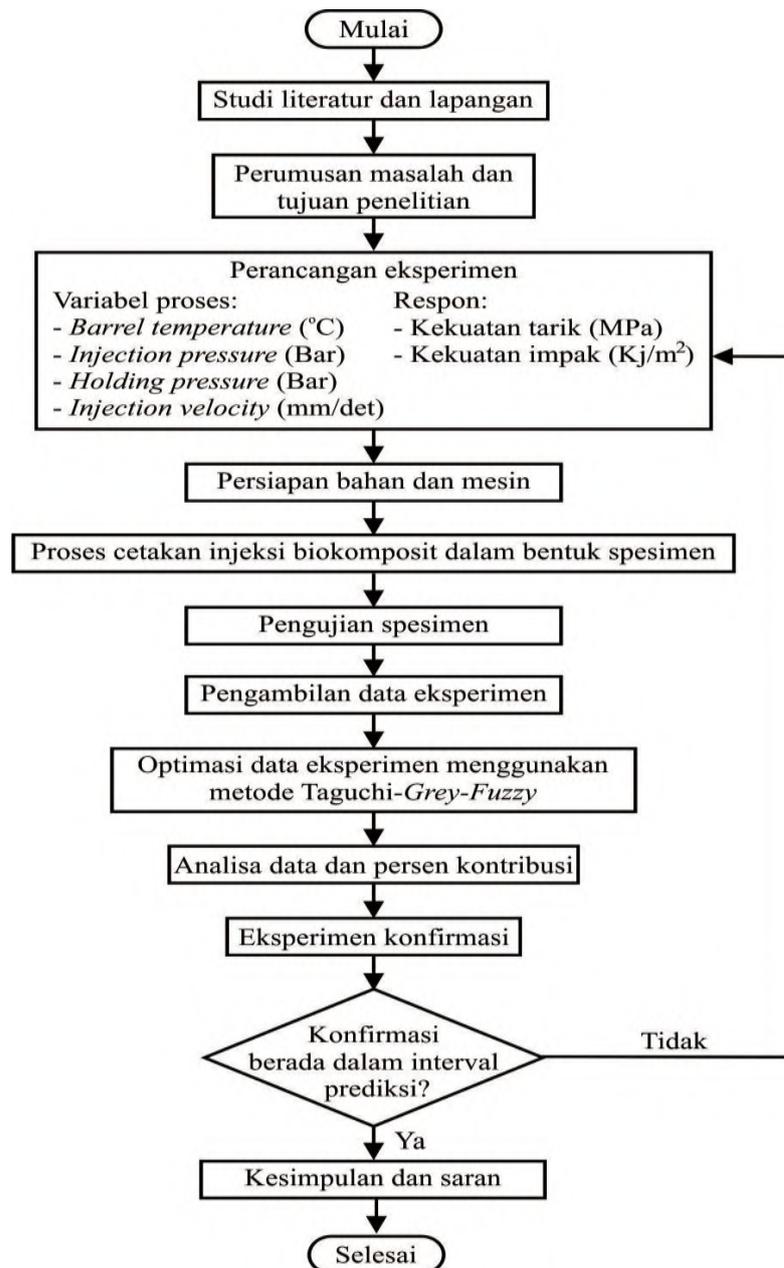
*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir ditetapkan sebagai pedoman dalam melakukan tahapan proses penelitian. Adapun diagram alir pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## **3.2 Tahapan Penelitian**

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan diagram alir sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.1. Adapun tahapannya adalah sebagai berikut:

### **3.2.1 Studi Literatur dan Lapangan**

Studi literatur diperoleh dari beberapa sumber buku dan jurnal para peneliti terdahulu sebagai referensi penelitian yang akan dikembangkan. Sumber tersebut tentang biokomposit, proses cetakan injeksi, optimasi dengan metode *Taguchi-grey-fuzzy* dan literatur lainnya yang relevan. Studi lapangan dilakukan melalui percobaan pendahuluan, yaitu membuat biokomposit menggunakan sekam padi. Untuk menentukan parameter proses cetakan injeksi dilakukan percobaan secara berulang-ulang agar menghasilkan spesimen tanpa cacat secara visual. Selain itu, informasi parameter proses juga diperoleh dari berbagai jurnal dan hasil simulasi *Moldflow*.

### **3.2.2 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian**

Rumusan masalah ditetapkan untuk mengidentifikasi langkah yang harus dilakukan agar mencapai tujuan penelitian. Rumusan masalah ini diperoleh dari studi literatur dan lapangan yang telah dilakukan dengan beberapa kendala yang diperoleh sebagaimana yang ditampilkan pada BAB 1.

### **3.2.3 Perancangan Eksperimen**

Perancangan eksperimen disusun sebagai pedoman untuk melakukan optimasi pada proses cetakan injeksi. Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada perancangan eksperimen ini adalah sebagai berikut:

#### **a) Menentukan Variabel Penelitian**

Variabel yang divariasikan pada penelitian ini adalah parameter proses cetakan injeksi (PCI). Pengaturan variabel PCI ini akan berpengaruh terhadap respon dalam penelitian. Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Variabel proses

Variabel proses disebut juga dengan variabel bebas yaitu variabel yang dapat dikendalikan dan nilainya dapat ditentukan oleh peneliti. Pemilihan variabel dan besar level diperoleh dari percobaan pendahuluan. Variabel proses cetakan injeksi pada penelitian ini terdiri dari 4 faktor yang masing-masing faktor divariasikan sebanyak 3 level sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variabel Proses dan Jumlah Level

No.	Faktor variabel proses	Level 1	Level 2	Level 3
1	<i>Barrel temperature</i> (°C)	210	215	220
2	<i>Injection pressure</i> (Bar)	50	55	60
3	<i>Holding pressure</i> (Bar)	35	40	45
4	<i>Injection velocity</i> (mm/det)	55	65	75

2) Variabel konstan

Variabel konstan merupakan variabel yang tidak divariasikan dalam penelitian. Nilai variabel ini dijaga konstan agar tidak berubah selama percobaan, sehingga tidak mempengaruhi variabel respon. Adapun variabel konstan pada penelitian ini adalah:

- a) *Hopper temperature* : 190 °C
- b) *Nozzle temperature* : 200 °C
- c) *Holding time* : 0.75 detik
- d) *Injection time* : 0.65 detik
- e) *Cooling time* : 7.63 detik

3) Variabel respon

Variabel respon adalah nilai yang diperoleh dari hasil pengamatan dan dipengaruhi oleh variabel proses yang telah ditentukan sebelumnya. Variabel respon yang diambil dari penelitian ini adalah:

- a) Kekuatan tarik (MPa)
- b) Kekuatan impak (kJ/m<sup>2</sup>)

b) Menentukan Derajat Kebebasan

Berdasarkan banyaknya variabel proses dan jumlah level yang telah ditentukan, maka dilakukan perhitungan total derajat kebebasan ( $V_{fl}$ ) dengan menggunakan persamaan 2.2 dan 2.3 sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Derajat Kebebasan Variabel Proses dan Level

No	Faktor variabel proses	Jumlah Level (k)	( $V_{fl}$ )= (k-1)
1	<i>Barrel temperature</i> (°C)	3	2
2	<i>Injection pressure</i> (Bar)	3	2
3	<i>Holding pressure</i> (Bar)	3	2
4	<i>Injection velocity</i> (mm/det)	3	2
Total derajat kebebasan ( $V_{fl}$ )			8

c) Pemilihan Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal yang akan digunakan harus memiliki derajat kebebasan lebih besar dari pada total derajat kebebasan variabel proses/faktor penelitian. Berdasarkan jumlah masing-masing faktor yang terdiri dari 3 level, maka rancangan matriks ortogonal yang dipilih adalah  $L_{27}(3^{13})$ . Matriks ortogonal  $L_{27}(3^{13})$  terdiri dari 27 rancangan percobaan dan 13 kolom faktor, namun pada penelitian ini hanya 4 kolom yang digunakan sesuai jumlah faktor yang diteliti yaitu kolom ke- 9, 10, 12 dan 13 sesuai rekomendasi pada lampiran 2. Oleh karena itu, matriks ortogonal yang dirancang pada penelitian ini sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Rancangan Eksperimen Pertama Berdasarkan Matriks Ortogonal  $L_{27}(3^4)$

No. urut Eksperimen	Kombinasi parameter ke-	Variabel Proses			
		<i>Barrel temperature</i> (°C)	<i>Injection pressure</i> (Bar)	<i>Holding pressure</i> (Bar)	<i>Injection velocity</i> (mm/det)
1	1	210	50	35	55
2	2	215	55	40	65
3	3	220	60	45	75
4	4	215	55	45	75
5	5	220	60	35	55
6	6	210	50	40	65
7	7	220	60	40	65
8	8	210	50	45	75
9	9	215	55	35	55
10	10	215	60	40	75
11	11	220	50	45	55
12	12	210	55	35	65
13	13	220	50	35	65
14	14	210	55	40	75
15	15	215	60	45	55
16	16	210	55	45	55
17	17	215	60	35	65
18	18	220	50	40	75
19	19	220	55	45	65
20	20	210	60	35	75
21	21	215	50	40	55
22	22	210	60	40	55
23	23	215	50	45	65
24	24	220	55	35	75
25	25	215	50	35	75
26	26	220	55	40	55
27	27	210	60	45	65

Berdasarkan rancangan eksperimen matriks ortogonal pada Tabel 3.3, selanjutnya dilakukan replikasi untuk pengulangan percobaan seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5. Rancangan replikasi ini disusun dengan cara merandomisasi urutan kombinasi parameter, hal ini bertujuan untuk mengatasi faktor gangguan (*noise*) yang terjadi selama proses cetakan injeksi.

Tabel 3.4 Rancangan Eksperimen Kedua Berdasarkan Matriks Ortogonal  $L_{27}(3^4)$

No. urut Eksperimen	Kombinasi parameter ke-	Variabel Proses			
		<i>Barrel temperature</i> ( $^{\circ}\text{C}$ )	<i>Injection pressure</i> (Bar)	<i>Holding pressure</i> (Bar)	<i>Injection velocity</i> ( $\text{mm}/\text{det}$ )
1	16	210	55	45	55
2	25	215	50	35	75
3	14	210	55	40	75
4	1	210	50	35	55
5	8	210	50	45	75
6	6	210	50	40	65
7	21	215	50	40	55
8	23	215	50	45	65
9	11	220	50	45	55
10	10	215	60	40	75
11	17	215	60	35	65
12	19	220	55	45	65
13	12	210	55	35	65
14	15	215	60	45	55
15	2	215	55	40	65
16	7	220	60	40	65
17	26	220	55	40	55
18	27	210	60	45	65
19	22	210	60	40	55
20	3	220	60	45	75
21	13	220	50	35	65
22	24	220	55	35	75
23	18	220	50	40	75
24	4	215	55	45	75
25	5	220	60	35	55
26	9	215	55	35	55
27	20	210	60	35	75

Tabel 3.5 Rancangan Eksperimen Ketiga Berdasarkan Matriks Ortogonal L<sub>27</sub> (3<sup>4</sup>)

No. urut Eksperimen	Kombinasi parameter ke-	Variabel Proses			
		<i>Barrel temperature</i> (°C)	<i>Injection pressure</i> (Bar)	<i>Holding pressure</i> (Bar)	<i>Injection velocity</i> ( <sup>mm</sup> /det)
1	6	210	50	40	65
2	13	220	50	35	65
3	22	210	60	40	55
4	1	210	50	35	55
5	18	220	50	40	75
6	14	210	55	40	75
7	25	215	50	35	75
8	23	215	50	45	65
9	5	220	60	35	55
10	16	210	55	45	55
11	2	215	55	40	65
12	27	210	60	45	65
13	15	215	60	45	55
14	8	210	50	45	75
15	7	220	60	40	65
16	21	215	50	40	55
17	19	220	55	45	65
18	17	215	60	35	65
19	12	210	55	35	65
20	10	215	60	40	75
21	20	210	60	35	75
22	11	220	50	45	55
23	26	220	55	40	55
24	4	215	55	45	75
25	3	220	60	45	75
26	9	215	55	35	55
27	24	220	55	35	75

### 3.2.4 Persiapan Bahan dan Mesin

#### 3.2.4.1 Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sekam padi, *polypropylene* dan *maleic anhydride polypropylene* yang akan dicampur hingga berbentuk butiran/pelet.

##### a) Sekam padi (RH)

Sekam padi merupakan serat alam yang berfungsi sebagai *filler* pada *polymer matrix composite* (PMC). Sekam padi diperoleh dari limbah penggilingan padi yang berasal dari Kabupaten Bojonegoro, Propinsi Jawa Timur sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 3.2. Nilai densitas sekam padi yang digunakan pada penelitian ini sebesar 1,3128 g/ml.



Gambar 3.2 Sekam Padi

##### b) *Polypropylene* (PP)

*Polypropylene* berfungsi sebagai *matrix* pada *polymer matrix composite* (PMC). PP yang digunakan pada penelitian ini dalam bentuk pelet seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.3 yang memiliki densitas sebesar 0,9857 g/ml.



Gambar 3.3 *Polypropylene* (PP)

c) *Maleic anhydride polypropylene* (MAPP)

MAPP adalah material *coupling agent* yang berfungsi sebagai pengikat antara *filler* dan matriks pada ikatan PMC. MAPP adalah gabungan dari *maleic anhydride* yang di-*grafting* terhadap PP dengan ikatan kovalen. MAPP yang digunakan pada penelitian ini adalah seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.4 yang memiliki densitas sebesar 0,9879 g/ml.



Gambar 3.4 *Maleic Anhydride Polypropylene* (MAPP)

### 3.2.4.2 Persiapan Mesin

Mesin yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari mesin untuk pembuatan biokomposit, mesin cetakan injeksi dan mesin pengujian.

a) *Ball mill*

Mesin *ball mill* digunakan untuk menggiling atau menghancurkan sekam padi menjadi partikel yang lebih kecil hingga berbentuk serbuk. Komponen utama mesin ini terdiri dari bola baja, tabung dan motor listrik sebagai penggerak awal untuk menghasilkan putaran. Mesin *ball mill* yang digunakan adalah merk *bond ball mill* yang berada di *Laboratorium Concrete and Building Materials* Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Mesin *Bond Ball Mill*

b) *Oven*

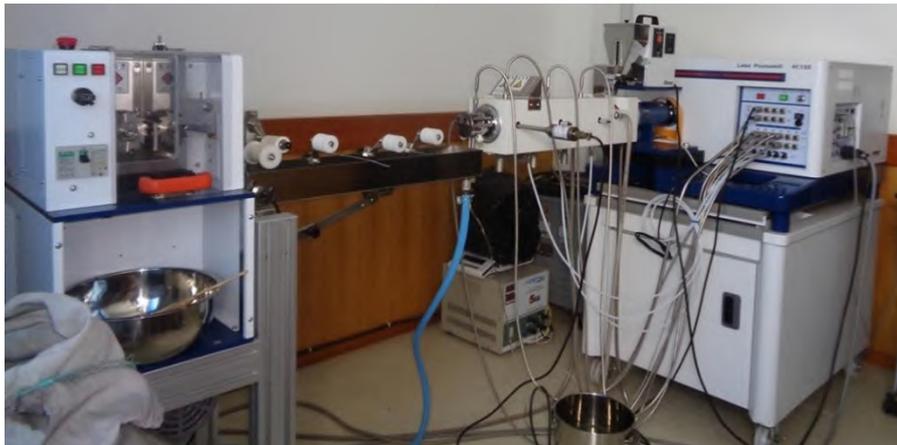
*Oven* yang digunakan pada penelitian ini dilengkapi dengan *temperature control* dan *thermocouple* yang ada di labor Teknik Material dan Metalurgi ITS. Adapun peralatan tersebut sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Oven* dilengkapi *Temperature Control*

c) *Screw extruder*

Mesin *screw extruder* digunakan untuk mencampur antara PP, sekam padi dan MAPP yang akan dijadikan bentuk akhir berupa pelet. Mesin *screw extruder* yang digunakan adalah merk *Labo Plastomill 4C150* yang ada di labor Teknik Material dan Metalurgi ITS seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Mesin *Screw Extruder*

d) *Differential scanning calorimetry (DSC)*

DSC digunakan untuk mengukur temperatur leleh dari pelet biokomposit yang akan diinjeksikan. DSC dilakukan di laboratorium energy LPPM ITS seperti yang ditampilkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Differential Scanning Calorimetry (DSC)* Merk *Mettler Toledo*

e) *Mesin cetakan injeksi (injection molding)*

Mesin *injection molding* digunakan untuk menginjeksikan biokomposit menjadi produk sesuai dengan bentuk cetakan. Adapun merk mesin tersebut adalah HAITIAN-MA900/260e, yang berada di *workshop* proses manufaktur Teknik Mesin FTI-ITS seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.9. Kemampuan tekanan maksimal mesin tersebut sebesar 218 MPa dengan daya tampung material 25 kg. Adapun spesifikasi dari mesin *injection molding* berdasarkan dari katalog mesin HAITIAN MARS series ditampilkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.9 *Mesin Injection Molding* HAITIAN-MA900/260e

		MA900 II /260e		
		A	B	C
<b>INJECTION UNIT</b>				
Screw diameter	mm	32	36	40
Screw L /D ratio	L/D	22.5	20	18
Shot size (theoretical)	cm <sup>3</sup>	121	153	188
Injection weight (PS)	g	110	139	171
Injection rate (PS)	g/s	77	98	121
Injection pressure	MPa	218	173	140
Plasticizing rate (PS)	g/s	10.1	13.3	16.1
Screw speed	rpm	0-230		
<b>CLAMPING UNIT</b>				
Clamp tonnage	kN	900		
Toggle stroke	mm	320		
Space between tie bars	mm	360×360		
Max. mold height	mm	380		
Min. mold height	mm	150		
Ejector stroke	mm	100		
Ejector force	kN	33		
<b>OTHERS</b>				
Max. pump pressure	MPa	16		
Pump motor power	kW	11		
Heater power	kW	6.3		
Machine dimension (l x w x h)	m	4.4×1.13×1.91		
Machine weight	t	3.5		
Hopper capacity	kg	25		
Oil tank capacity	l	190		

Gambar 3.10 Spesifikasi Mesin *Injection Molding* HAITIAN- MA tipe 900/260 e

f) Mesin uji tarik

Mesin uji tarik digunakan untuk menguji kemampuan maksimum dan karakteristik sifat mekanik material terhadap perubahan panjang dalam bentuk Grafik kekuatan dan regangan. Pada penelitian ini menggunakan mesin uji tarik merk AUTOGRAPH AG-10TE yang berada dilaboratorium Farmasi UNAIR, seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Mesin Uji Tarik AUTOGRAPH AG-10TE

g) Mesin uji impact

Mesin uji impact digunakan untuk mengukur kekuatan bahan terhadap beban kejut. Pada pengujian impact ini, jumlah energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impact atau ketangguhan bahan tersebut. Penelitian ini menggunakan mesin *mini impact tester* jenis *charpy* memiliki spesifikasi berat pendulum 750 gram dengan panjang lengan 0.3362 m seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Mesin *Mini Impact Tester* jenis *charpy*

### 3.2.5 Proses Pembuatan Biokomposit

Proses pembuatan pelet biokomposit ini melalui beberapa tahapan yang dapat diuraikan sebagai berikut:

a) Proses penggilingan sekam padi

Proses penggilingan bertujuan untuk menghaluskan sekam padi menjadi bentuk butiran partikel kecil atau serbuk. Merujuk dari penelitian yang dilakukan Eswaraiah (2013), bahwa untuk menghaluskan sekam padi dapat dilakukan dengan menggunakan mesin *ball mill*. Pada penelitian ini, mesin *ball mill* yang digunakan seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.5 dengan menggunakan putaran motor sebesar 56 RPM selama 2 jam. Setelah proses penggilingan, maka serbuk sekam padi disaring dengan menggunakan ayakan hingga diperoleh ukuran 500  $\mu\text{m}$  (35 *mesh*).

b) Proses pengeringan

Serbuk sekam padi (RH), *polypropylene* (PP) dan *maleic anhydride polypropylene* (MAPP) dikeringakan menggunakan *oven* pada temperatur 80°C selama 12 jam, seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.13. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kadar air yang dikandung oleh serbuk sekam padi agar tidak mempengaruhi ikatan antar muka pada material campuran lainnya.



Gambar 3.13 Proses Pengeringan Menggunakan *Oven*

c) Proses Pencampuran

Proses pencampuran serbuk sekam padi (RH), *polypropylene* (PP) dan *maleic anhydride polypropylene* (MAPP) menggunakan mesin *screw extruder* menjadi bentuk pelet melalui proses ekstrusi seperti yang ditampilkan pada gambar 3.14. Komposisi material yang digunakan adalah 10 wt% RH, 85 wt% PP dan 5 wt% MAPP. Pengaturan kecepatan putaran mesin sebesar 150 rpm pada temperatur 180°C.



Gambar 3.14 Proses Ekstrusi

d) Pengukuran densitas material

Pengukuran densitas/massa jenis biokomposit dilakukan dengan melakukan perbandingan massa material terhadap volume. Material diukur menggunakan piknometer 50 ml yang diberi cairan aseton dan ditimbang seperti yang ditampilkan pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Pengukuran Densitas

e) Pengukuran temperatur leleh biokomposit

Pengukuran temperatur titik leleh (*melting point*) dilakukan dengan menggunakan DSC seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.8. Hasil yang diperoleh dari pengukuran tersebut dijadikan sebagai referensi pengaturan temperatur pada mesin injeksi.

### 3.2.6 Proses Pencetakan Biokomposit

Pencetakan biokomposit dilakukan dengan menggunakan mesin *injection molding* seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.9. Material yang digunakan adalah biokomposit berbentuk pelet. Proses injeksi biokomposit dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Melakukan persiapan dengan memastikan mesin dan komponennya dalam kondisi normal.
- 2) Melakukan eksperimen pertama dengan mengatur parameter proses injeksi sesuai rancangan eksperimen yang ditampilkan pada tabel 3.3.
- 3) Melakukan eksperimen kedua dengan mengatur parameter proses injeksi sesuai rancangan eksperimen yang ditampilkan pada tabel 3.4.

- 4) Melakukan eksperimen ketiga dengan mengatur parameter proses injeksi sesuai rancangan eksperimen yang ditampilkan pada tabel 3.5.

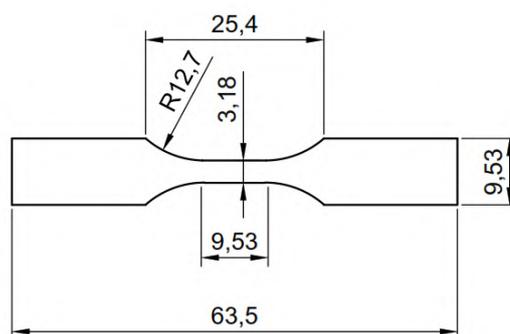
Setiap mengubah parameter proses, dilakukan penginjeksian sebanyak 3 kali, spesimen yang diambil adalah hasil penginjeksian yang ketiga sambil memeriksa bentuk hasil cetakan secara visual. Spesimen yang diambil pada masing-masing rancangan eksperimen sebanyak 27 spesimen uji tarik dan 27 spesimen uji impact. Total spesimen yang diperoleh dari 3 rancangan eksperimen tersebut sebanyak 81 spesimen uji tarik dan 81 spesimen uji impact.

### 3.2.7 Pengujian Spesimen

Pengujian terhadap spesimen biokomposit ini meliputi uji tarik dan uji impact. Alat yang digunakan untuk pengujian tersebut sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.11 dan Gambar 3.12.

#### a) Pengujian tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D 638-03 tipe V dengan tebal spesimen  $3,2 \pm 0,4$  mm seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.16 . Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik material biokomposit yang sudah dicetak dari hasil *injection molding*. Pada pengujian ini spesimen diberi beban gaya tarik sesumbu secara kontinyu hingga putus, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami spesimen.

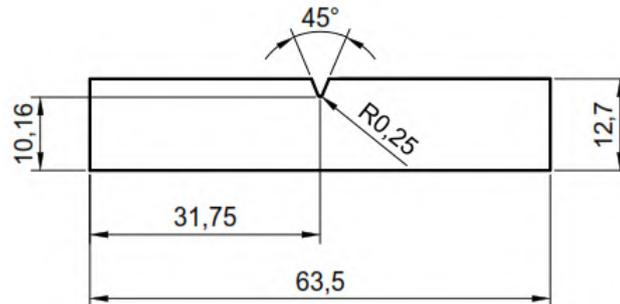


Gambar 3.16 Spesimen Berdasarkan Standar Uji Tarik ASTM D 638-03 Tipe V

#### b) Pengujian impact

Pengujian impact dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D256-04 dengan tebal spesimen 3,2 seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.17.

Pengujian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi patahan material yang sulit dilakukan pada uji tarik, khususnya material yang memiliki transisi deformasi yang sangat kecil. Kegetasan atau keuletan spesimen terhadap pembebanan tiba-tiba atau beban tumbukan diukur dari besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen. Ada tiga macam bentuk takikan pada pengujian impak yakni takikan V, U dan *key hole*. Pada penelitian ini, takikan spesimen yang digunakan berbentuk V.



Gambar 3.17 Spesimen Berdasarkan Standar Uji Impak ASTM D256-04

### 3.2.8 Pengambilan Data Eksperimen

Data yang diperoleh dari hasil pengujian tarik dan pengujian impak merupakan data respon/hasil percobaan. Berdasarkan rancangan eksperimen yang dilakukan sebanyak 3 kali, maka akan diperoleh data respon seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Data Respon Eksperimen

Kombinasi parameter ke-	Respon					
	Kekuatan tarik (MPa)			Kekuatan impak (Kj/m <sup>2</sup> )		
1	$y_{111}$	$y_{112}$	$y_{113}$	$y_{121}$	$y_{122}$	$y_{123}$
2	$y_{211}$	$y_{212}$	$y_{213}$	$y_{221}$	$y_{222}$	$y_{223}$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
27	$y_{27\ 11}$	$x_{27\ 12}$	$y_{27\ 13}$	$y_{27\ 21}$	$y_{27\ 22}$	$y_{27\ 23}$

Keterangan:

$y_{ijk}$  adalah data kombinasi parameter ke-i pada respon ke-j dengan replikasi ke-k.

$i = 1, \dots, 27$  ;  $j = 1, 2$  ;  $k = 1, 2, 3$

### 3.2.9 Optimasi Metode Taguchi-Grey-Fuzzy

Optimasi eksperimen ini dilakukan menggunakan metode Taguchi, dengan tujuan untuk memperoleh level optimum dari faktor yang dapat memberi kontribusi terhadap satu respon. Pada penelitian ini respon yang digunakan adalah hasil uji tarik dan uji impact, sehingga dilakukan logika fuzzy untuk menggabungkan 2 respon. Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Perhitungan rasio S/N untuk tiap respon

Karakteristik respon rasio S/N yang digunakan pada penelitian ini adalah semakin besar semakin baik (*larger is better*), dengan menggunakan persamaan 2.9. Rencana data hasil rasio S/N seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.7.

- 2) Perhitungan normalisasi rasio S/N

Normalisasi dilakukan untuk mentransformasi nilai rasio S/N menjadi nilai yang besarnya antara nol sampai satu. Proses normalisasi dilakukan berdasarkan karakteristik kualitas respon rasio S/N. Untuk normalisasi respon dengan karakteristik semakin besar semakin baik (*larger is better*) dapat digunakan persamaan 2.10. Data dari normalisasi rasio S/N untuk kekuatan tarik dan impact seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Nilai Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N

Kombinasi parameter ke-	Rasio S/N		Normalisasi Rasio S/N	
	Kekuatan tarik	Kekuatan impact	Kekuatan tarik	Kekuatan impact
1	$x_{11}$	$x_{12}$	$y_{11}$	$y_{12}$
2	$x_{21}$	$x_{22}$	$y_{21}$	$y_{22}$
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
27	$x_{27\ 1}$	$x_{27\ 2}$	$y_{27\ 1}$	$y_{27\ 2}$

Keterangan:

$x_{ij}$  adalah rasio S/N untuk kombinasi parameter ke-i pada respon ke-j

$y_{ij}$  adalah normalisasi rasio S/N untuk kombinasi parameter ke-i pada respon ke-j

$i = 1, \dots, 27 ; j = 1, 2$

- 3) Perhitungan nilai *deviation sequence*  
Nilai *deviation sequence*  $\Delta_{0,i}(k)$  adalah selisih absolut antara nilai maksimum hasil normalisasi dari masing-masing respon.
- 4) Perhitungan *grey relational coefficient* (GRC)  
GRC merupakan hubungan antara kondisi yang ideal dengan kondisi aktual respon dari nilai *deviation sequence* yang telah diperoleh. Nilai GRC dihitung berdasarkan nilai *deviation sequence* pada masing-masing responnya.
- 5) *Fuzzification*  
*Fuzzification* merupakan proses perubahan *input* menjadi bilangan *fuzzy* dengan menggunakan fungsi keanggotaan. Pada penelitian ini, variabel input dari sistem logika *fuzzy* diambil berdasarkan nilai GRC kekuatan tarik dan GRC kekuatan impact, sedangkan *outputnya* adalah *grey fuzzy reasoning grade* (GFRG). Fungsi keanggotaan dari masing-masing respon dikelompokkan secara *uniform* kedalam tiga kelas *fuzzy subsets*, yaitu *small* (S), *medium* (M) dan *large* (L).
- 6) Penentuan *fuzzy rules*  
Dasar aturan *fuzzy* adalah sekelompok aturan dengan menggunakan pengontrolan jika-maka (*if-then control*) yang menyatakan hubungan antara variabel *input* dan variabel *output*.
- 7) *Defuzzification*  
Berdasarkan komposisi *fuzzy rules* yang telah ditetapkan untuk menghasilkan output GFRG. Maka dilakukan *defuzzification*, yaitu suatu proses pemetaan himpunan *fuzzy* ke dalam himpunan tegas. Hasil proses *defuzzification* berupa nilai GFRG tersebut merupakan gabungan dari respon kekuatan tarik dan impact secara serentak.
- 8) Menghitung hasil optimasi  
Untuk memperoleh hasil optimasi, maka dilakukan penghitungan rata-rata dari nilai GFRG pada masing-masing level faktor. Dengan demikian dapat ditentukan nilai level untuk kombinasi faktor yang menghasilkan respon optimum.

9) Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

Analisis variansi (ANOVA) digunakan untuk mengetahui variabel proses yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap respon dan besarnya kontribusi faktor terhadap respon. Pada penelitian ini, analisis variansi dilakukan pada GFRG dengan menggunakan persamaan 2.15. Untuk hasil perhitungan dapat ditampilkan seperti Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

<i>Source</i>	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<i>Contribution (%)</i>
<i>Barrel temperature</i>	....	....	....	....	....	....
<i>Injection pressure</i>	....	....	....	....	....	....
<i>Holding pressure</i>	....	....	....	....	....	....
<i>Injection velocity</i>	....	....	....	....	....	....
<i>Error</i>	....	....	....			....
<i>Total</i>	....					100%

Untuk mengetahui variabel proses berpengaruh terhadap respon GFRG, dapat dibandingkan dari nilai *p-value*, sedangkan seberapa besar pengaruhnya dapat dibandingkan dari persen kontribusi.

10) Prediksi Respon Optimum

Untuk menghitung interval keyakinan pada kondisi optimum dapat diprediksi dari banyaknya pengamatan dan nilai rata-rata GFRG dengan menggunakan persamaan 2.18. Adapun interval keyakinan untuk memprediksi eksperimen konfirmasi menggunakan persamaan 2.21.

11) Eksperimen Konfirmasi

Agar hasil percobaan yang telah dilakukan dapat dipercaya/ validitas, maka perlu dilakukan percobaan konfirmasi dengan menggunakan parameter yang optimum. Percobaan konfirmasi akan dilakukan sebanyak 4 kali, selanjutnya dilakukan perbandingan antara nilai rata-rata GFRG hasil percobaan konfirmasi dengan interval keyakinan rata-rata GFRG prediksi.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Penelitian

Hasil dari penelitian ini adalah material biokomposit yang dicampur melalui proses ekstrusi hingga menjadi bentuk pelet. Pelet tersebut dicetak menjadi spesimen uji tarik dan impak dengan dengan mengoptimasikan parameter proses cetakan injeksi (*injection molding*).

##### 4.1.1 Hasil Proses Ekstrusi

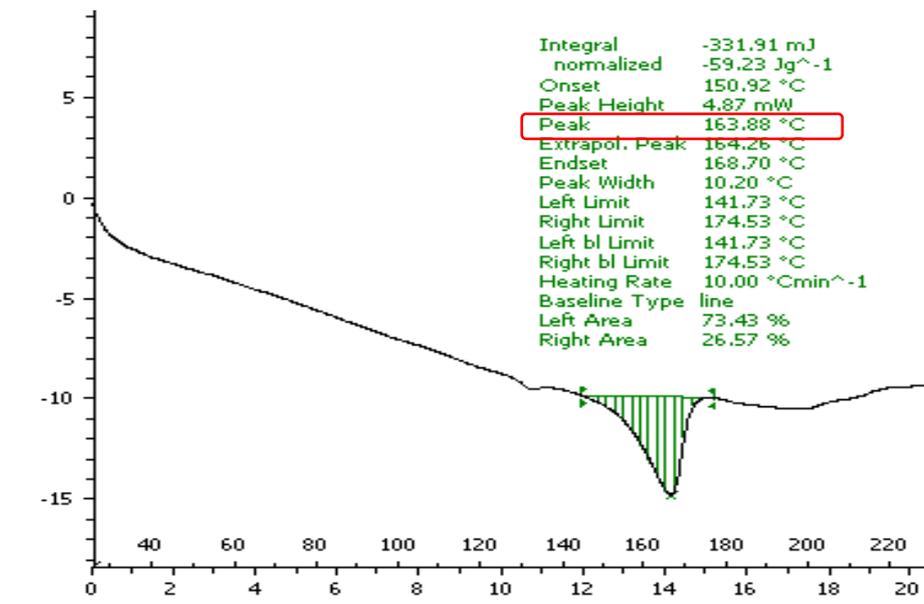
Hasil dari proses ekstrusi adalah pelet biokomposit berdiameter  $\pm 3$  mm dengan panjang  $\pm 5$  mm seperti yang ditampilkan pada gambar 4.1. Pelet biokomposit tersebut terdiri dari serbuk sekam padi (RH), *polypropylene* (PP) dan *maleic anhydride polypropylene* (MAPP), dengan komposisi 10 wt% RH, 85 wt% PP dan 5 wt% MAPP.



Gambar 4.1 Pelet Biokomposit

##### 4.1.2 Hasil Pengukuran DSC dan TGA

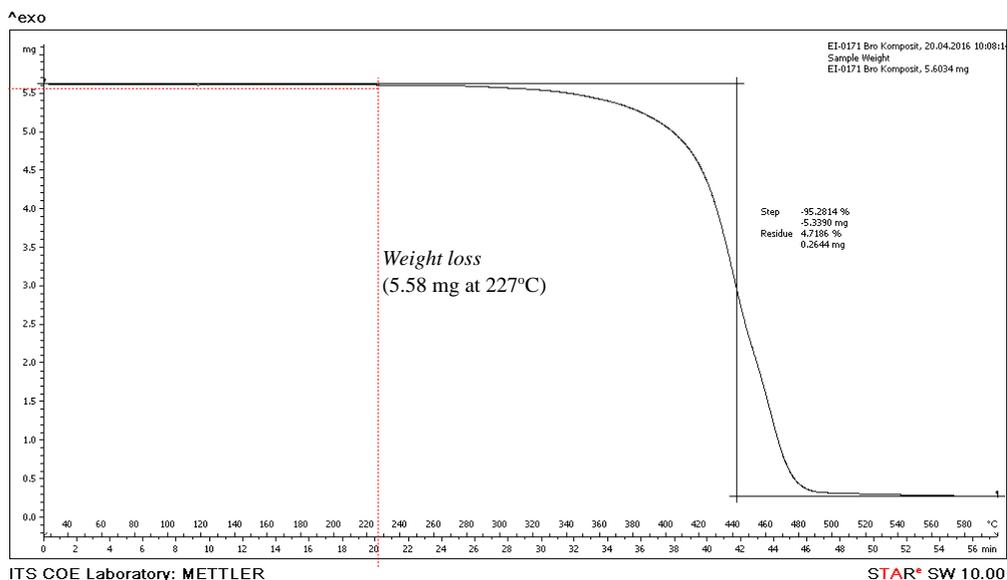
Hasil pengukuran *differential scanning calorimetry* (DSC) dan *thermogravimetric analysis* (TGA) digunakan sebagai rekomendasi untuk menentukan temperatur pada proses cetakan injeksi. Berdasarkan kurva DSC seperti yang ditampilkan pada gambar 4.2, bahwa biokomposit mulai meleleh dan berubah dari fase padat menjadi cair pada temperatur *melting point* 163,88°C. Sehingga pengaturan temperatur untuk proses cetakan injeksi harus lebih dari 163,88°C.



ITS COE Laboratory: METTLER

Gambar 4.2 Kurva *Differential Scanning Calorimetry* (DSC)

Berdasarkan kurva *thermogravimetric analysis* (TGA) seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.3, bahwa material mengalami kehilangan berat mulai temperatur 227°C hingga terdegradasi pada temperatur 440°C. Oleh karena itu, pengaturan temperatur pada injeksi molding tidak lebih dari 227°C.



ITS COE Laboratory: METTLER

STAR<sup>®</sup> SW 10.00

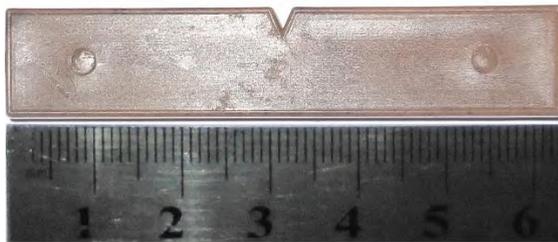
Gambar 4.3 Kurva *Thermogravimetric Analysis* (TGA)

### 4.1.3 Hasil Proses Cetakan Injeksi (*Injection Molding*)

Hasil dari proses cetakan injeksi adalah spesimen uji tarik dan impak berdasarkan standar pengujian ASTM D 638-03 tipe V (Gambar 4.4) dan ASTM D256-04 (Gambar 4.5).



Gambar 4.4 Spesimen Pengujian Tarik ASTM D 638-03 tipe V



Gambar 4.5 Spesimen Pengujian Impak ASTM D256-04

## 4.2. Pengolahan Data Penelitian

Data penelitian ini diolah berdasarkan metode Taguchi- *grey-fuzzy* untuk memperoleh kombinasi parameter proses yang dapat memaksimalkan kekuatan tarik dan impak.

### 4.2.1 Data Respon Percobaan

Respon dari penelitian ini adalah hasil uji tarik dan impak material biokomposit sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.1. Kombinasi parameter proses divariasikan sebanyak 27 kali percobaan dengan 3 kali pengulangan/replikasi yaitu  $R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_3$ . Replikasi ini berdasarkan rancangan matriks ortogonal  $L_{27} (3^4)$  sebagaimana yang telah ditampilkan pada Tabel 3.3, Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.

Tabel 4.1 Respon Kekuatan Tarik dan Impak

Percobaan Kombinasi parameter ke-	Respon					
	Kekuatan Tarik (MPa)			Kekuatan Impak (Kj/m <sup>2</sup> )		
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
1	30.46	30.19	30.21	5.33	4.48	4.48
2	31.7	26.04	28.84	4.48	3.62	3.62
3	28.62	29.48	29.06	5.33	3.62	3.62
4	31.07	29.2	29.68	4.48	4.48	4.48
5	28.18	28.28	28.24	3.62	3.62	3.62
6	30.32	30.96	29.98	4.48	4.48	4.48
7	26.93	30.88	28.88	3.62	4.48	3.62
8	30.58	30.48	30.38	4.48	4.48	5.33
9	27.94	29.82	31.17	5.33	5.33	5.33
10	28.7	29.24	28.86	3.62	3.62	4.48
11	28.86	28.44	28.62	2.74	4.48	4.48
12	29.97	30.28	30.38	5.33	4.48	4.48
13	29.77	29.3	29.52	5.33	5.33	3.62
14	30.58	30.16	30.38	4.48	5.30	5.30
15	28.41	27.52	27.98	2.74	2.74	2.74
16	30.58	30.3	30.38	4.48	4.48	5.33
17	28.81	28.76	28.77	4.48	3.62	3.62
18	30.54	29.63	31.03	5.33	5.33	4.48
19	28.28	27.65	27.98	3.62	3.62	3.62
20	30.58	30.32	30.38	4.48	4.48	5.33
21	31.03	30	30.24	5.33	4.48	4.48
22	30.58	30.58	30.38	4.48	4.48	3.62
23	28.34	27.45	28.12	2.74	2.74	2.74
24	30.03	30.74	30.5	5.33	4.48	4.48
25	28.17	29.63	28.77	4.48	4.48	4.48
26	30.88	29.58	30.18	5.33	6.16	4.48
27	28.28	27.65	27.98	3.62	3.62	3.62

Sumber: Hasil percobaan

#### 4.2.2 Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N

Perhitungan masing-masing nilai rasio S/N dan normalisasi rasio S/N dari hasil pengujian tarik dan impact sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.2.

##### a) Rasio S/N

Nilai rasio S/N diperoleh dari *mean squared deviation* (MSD), yaitu simpangan kuadrat rata-rata dari nilai target berdasarkan tujuan atau karakteristik kualitas respon. Rasio S/N untuk kekuatan tarik dan impact memiliki karakteristik semakin besar semakin baik (*larger is better*) dengan menggunakan persamaan 2.6 dan 2.9. Adapun contoh perhitungan rasio S/N untuk kekuatan tarik pada kombinasi parameter ke-1 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{S/N} &= -10 \log (\text{MSD}) \\ &= -10 \log \left( \frac{(1/y_1^2) + (1/y_2^2) + (1/y_n^2)}{n} \right) \\ &= -10 \log \left( \frac{(1/30.46^2) + (1/30.19^2) + (1/30.21^2)}{3} \right) \end{aligned}$$

$$\text{S/N} = \mathbf{29.6248}$$

Sehingga hasil perhitungan rasio S/N untuk kekuatan tarik dan impact pada masing-masing kombinasi parameter dapat dilihat pada Tabel 4.2.

##### b) Normalisasi rasio S/N

Perhitungan normalisasi rasio S/N bertujuan untuk mentransformasikan angka rasio S/N agar bernilai antara 0 hingga 1. Adapun contoh perhitungan normalisasi rasio S/N untuk kekuatan tarik pada kombinasi parameter ke-1 menggunakan persamaan 2.12, yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} x_i^*(k) &= \frac{x_i^o(k) - \min x_i^o(k)}{\max x_i^o(k) - \min x_i^o(k)} \\ &= \frac{29.6248 - 28.9314}{29.6897 - 28.9314} \end{aligned}$$

$$x_i^*(k) = \mathbf{0.9145}$$

Sehingga hasil perhitungan normalisasi rasio S/N untuk kekuatan tarik dan impak pada masing-masing kombinasi parameter dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Rasio S/N dan Normalisasi Rasio S/N

Kombinasi parameter ke-	Rasio S/N		Normalisasi Rasio S/N	
	Kekuatan tarik	Kekuatan impak	Kekuatan tarik	Kekuatan impak
1	<b>29.6248</b>	13.4727	<b>0.9145</b>	0.8163
2	29.1220	11.7081	0.2513	0.5110
3	29.2620	12.0338	0.4360	0.5673
4	29.5286	13.0256	0.7876	0.7389
5	29.0152	11.1742	0.1105	0.4186
6	29.6609	13.0256	0.9620	0.7389
7	29.1763	11.7081	0.3229	0.5110
8	29.6802	13.4727	0.9875	0.8163
9	29.4122	14.5345	0.6340	1.0000
10	29.2272	11.7081	0.3900	0.5110
11	29.1390	11.1005	0.2737	0.4058
12	29.6026	13.4727	0.8851	0.8163
13	29.4047	13.1066	0.6242	0.7529
14	29.6494	13.9425	0.9469	0.8976
15	28.9316	8.7550	0.0003	0.0000
16	29.6630	13.4727	0.9648	0.8163
17	29.1818	11.7081	0.3302	0.5110
18	29.6527	13.9713	0.9512	0.9025
19	28.9327	11.1742	0.0017	0.4186
20	29.6649	13.4727	0.9674	0.8163
21	29.6614	13.4727	0.9628	0.8163
22	29.6897	12.3171	1.0000	0.6163
23	28.9314	8.7550	0.0000	0.0000
24	29.6629	13.4727	0.9647	0.8163
25	29.1993	13.0256	0.3533	0.7389
26	29.6000	14.3032	0.8817	0.9600
27	28.9327	11.1742	0.0017	0.4186
Max	29.6897	14.5345	1	1
Min	28.9314	8.7550	0	0

### 4.2.3 Deviation Sequence dan Grey Relational Coefficient (GRC)

Nilai *deviation sequence*  $\Delta_{0,i}(k)$  diperoleh dari selisih absolut antara nilai maksimum hasil normalisasi masing-masing respon dengan menggunakan persamaan 2.14. Adapun nilai *deviation sequence* untuk kekuatan tarik pada kombinasi parameter ke-1 dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta_{0,i}(k) &= |x_0^*(k) - x_i^*(k)| \\ &= 1 - 0.9145 \\ \Delta_{0,i}(k) &= \mathbf{0.0855}\end{aligned}$$

Sehingga hasil perhitungan *deviation sequence*  $\Delta_{0,i}(k)$  untuk kekuatan tarik dan dampak pada masing-masing kombinasi parameter dapat dilihat pada Tabel 4.3.

*Grey relational coefficient* (GRC) merupakan hubungan antara kondisi yang ideal (terbaik) dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasikan menggunakan persamaan 2.13. Adapun nilai GRC kekuatan tarik pada kombinasi parameter ke-1 dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\xi_i(k) &= \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{0,i}(k) + \zeta \Delta_{max}} \\ &= \frac{0 + 0,5 (1)}{0.0855 + 0,5 (1)} \\ \xi_i(k) &= \mathbf{0,8539}\end{aligned}$$

Sehingga hasil perhitungan GRC untuk kekuatan tarik dan dampak pada masing-masing kombinasi parameter dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data *Grey Relational Coefficient* (GRC)

Kombinasi parameter ke-	<i>Deviation sequence</i>		<i>Grey Relational Coefficient</i> (GRC)	
	Kekuatan tarik	Kekuatan dampak	Kekuatan tarik	Kekuatan dampak
1	<b>0.0855</b>	0.1837	<b>0.8539</b>	0.7313
2	0.7487	0.4890	0.4004	0.5055
3	0.5640	0.4327	0.4699	0.5361
4	0.2124	0.2611	0.7019	0.6570
5	0.8895	0.5814	0.3598	0.4624
6	0.0380	0.2611	0.9294	0.6570
7	0.6771	0.4890	0.4248	0.5055
8	0.0125	0.1837	0.9756	0.7313
9	0.3660	0.0000	0.5774	1.0000
10	0.6100	0.4890	0.4505	0.5055
11	0.7263	0.5942	0.4077	0.4570
12	0.1149	0.1837	0.8132	0.7313
13	0.3758	0.2471	0.5709	0.6693
14	0.0531	0.1024	0.9041	0.8300
15	0.9997	1.0000	0.3334	0.3333
16	0.0352	0.1837	0.9343	0.7313
17	0.6698	0.4890	0.4274	0.5055
18	0.0488	0.0975	0.9111	0.8369
19	0.9983	0.5814	0.3337	0.4624
20	0.0326	0.1837	0.9387	0.7313
21	0.0372	0.1837	0.9307	0.7313
22	0.0000	0.3837	1.0000	0.5658
23	1.0000	1.0000	0.3333	0.3333
24	0.0353	0.1837	0.9341	0.7313
25	0.6467	0.2611	0.4360	0.6570
26	0.1183	0.0400	0.8086	0.9259
27	0.9983	0.5814	0.3337	0.4624
Max	1	1		
Min	0	0		
Selisih	0.5	0,5		

Sumber: Hasil perhitungan

#### 4.2.4 Fuzzification

Nilai *fuzzification* diperoleh dengan cara menggunakan fungsi keanggotaan untuk merubah nilai respon menjadi *input*. Nilai respon tersebut adalah GRC kekuatan tarik dan GRC kekuatan dampak yang dijadikan bilangan *fuzzy* sebagai variabel *input*, agar diperoleh nilai *grey fuzzy reasoning grade* (GFRG) sebagai variabel *output*.

Jika *linguistic fuzzy* dari kekuatan tarik dan dampak didefinisikan dengan *Small* (S), *Medium* (M) dan *Large* (L), maka variabel output harus mempunyai definisi sebagai *Very Small* (VS), *Small* (S), *Medium* (M), *Large* (L) dan *Very Large* (VL), sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Fungsi Keanggotaan *Fuzzy Rule*

		GRC Kekuatan Tarik		
		S	M	L
GRC Kekuatan Dampak	S	VS	S	M
	M	S	M	L
	L	M	L	VL

#### 4.2.5 Pengelompokan *Fuzzy Rules*

Data perolehan dari *grey relational coefficient* (GRC) adalah input dan *grey fuzzy reasoning grade* (GFRG) adalah output, sehingga penentuan *fuzzy rules* dapat didefinisikan sebagai berikut:

Rule ke-1: Jika GRC kekuatan tarik adalah S dan GRC kekuatan dampak adalah S, maka GFRG adalah VS.

Rule ke-2: Jika GRC kekuatan tarik adalah S dan GRC kekuatan dampak adalah M, maka GFRG adalah S.

dst ..... sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Pengelompokan *Fuzzy Rule*

No. Rules	Variabel <i>Input</i> (GRC)		Variabel <i>Output</i> (GFRG)
	Kekuatan Tarik	Kekuatan Impak	
1	S	S	VS
2	S	M	S
3	S	L	M
4	M	S	S
5	M	M	M
6	M	L	L
7	L	S	M
8	L	M	L
9	L	L	VL

#### 4.2.6 *Grey Fuzzy Reasoning Grade (GFRG)*

GFRG merupakan hasil proses *fuzzyfication* dari beberapa variabel *input* GRC menjadi satu variabel *output*, sehingga nilai GFRG tersebut dijadikan sebagai nilai multi respon dari kekuatan tarik dan dampak secara serentak. Adapun nilai multi respon GFRG masing-masing kombinasi parameter faktor dan level dapat ditampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data Multi Respon *Grey Fuzzy Reasoning Grade (GFRG)*

Kombinasi parameter ke-	GFRG	Kombinasi parameter ke-	GFRG	Kombinasi parameter ke-	GFRG
1	0.6882	10	0.4711	19	0.4078
2	0.4439	11	0.4415	20	0.7314
3	0.5038	12	0.6735	21	0.7264
4	0.6216	13	0.5962	22	0.7528
5	0.4192	14	0.7283	23	0.3904
6	0.7156	15	0.3904	24	0.7285
7	0.4566	16	0.7286	25	0.5443
8	0.7574	17	0.4580	26	0.7378
9	0.7537	18	0.7342	27	0.4078

Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan GFRG kombinasi parameter faktor dan level, maka dapat diperoleh nilai rata-rata GFRG untuk masing-masing faktor dan level seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.7. Sebagai contoh untuk memperoleh nilai rata-rata GFRG *injection pressure* pada level 2 dapat dihitung sebagai berikut:

$$\bar{\gamma}_i = \frac{0.6882 + 0.7156 + 0.7574 + 0.6735 + 0.7283 + 0.7286 + 0.7314 + 0.7528 + 0.4078}{9}$$

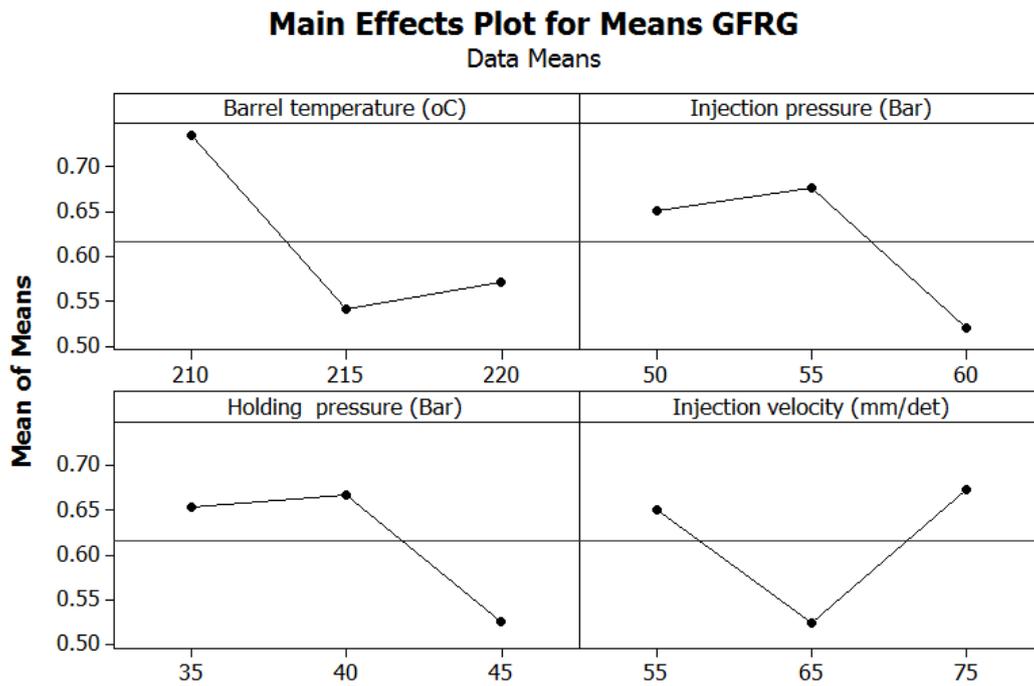
$$\bar{\gamma}_i = \mathbf{0.6871}$$

Tabel 4.7 Nilai Rata-Rata Multi Respon GFRG pada Masing-Masing Level Faktor

Level	Faktor/ variabel proses			
	Barrel temperature (°C)	Injection pressure (Bar)	Holding pressure (Bar)	Injection velocity (mm/det)
1	<b>0.6871</b>	0.6216	0.6214	0.6265
2	0.5333	<b>0.6471</b>	<b>0.6407</b>	0.5055
3	0.5584	0.5101	0.5166	<b>0.6467</b>
Selisih	0.1538	0.1370	0.1242	0.1412
Rank	1	3	4	2
Rata-rata Total ( $\gamma_m$ )	<b>0.5929</b>			

Sumber: Hasil perhitungan

Dari nilai rata-rata GFRG multi respon, maka diperoleh level maksimum yang dapat mengoptimalkan kekuatan tarik dan impak sebagaimana ditampilkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Rata-Rata GFRG Multi Respon Pada tiap level Faktor

Berdasarkan Gambar 4.6 yang menampilkan hubungan antara nilai GFRG terhadap kombinasi level faktor, maka diperoleh pemilihan kombinasi variabel level faktor yang optimum sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Kombinasi Variabel Proses Respon Optimum

No	Faktor variabel proses	Level	Nilai
1	<i>Barrel temperature</i>	1	210°C
2	<i>Injection pressure</i>	2	55 Bar
3	<i>Holding pressure</i>	2	40 Bar
4	<i>Injection velocity</i>	3	75 mm/det

Sumber: Hasil perhitungan

#### 4.2.7 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

Analisis variansi (ANOVA) diperoleh dari variansi nilai GFRG yang mewakili keseluruhan respon. Hasil dari ANOVA digunakan untuk mengetahui parameter proses/faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon dan besarnya kontribusi faktor tersebut terhadap respon. Perhitungan ANOVA terdiri dari derajat kebebasan (db), jumlah kuadrat/*sum of square* (SS), kuadrat tengah/*mean of square* (MS) dan  $F_{hitung}$ . Adapun contoh perhitungan Analisis variansi (ANOVA) dan persen kontribusi pada *barrel temperature* berdasarkan nilai GFRG adalah sebagai berikut:

a) Jumlah kuadrat/*sum of square* (SS):

$$SS = n \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \bar{y})^2$$

$$SS = 9 \times [(0.6871 - 0.5929)^2 + (0.5333 - 0.5929)^2 + (0.5584 - 0.5929)^2]$$

$$SS = \mathbf{0.12248}$$

b) Jumlah kuadrat tengah/*mean of square* (MS):

$$MS = \frac{SS}{DF}$$

$$MS = \frac{0.12248}{2}$$

$$MS = \mathbf{0.061238}$$

c) Jumlah kuadrat sesungguhnya/*sum of square* (SS'):

$$SS' = SS - DF \cdot MS_E$$

$$SS' = 0.12248 - (2 \times 0.061238)$$

$$SS' = \mathbf{0.108304}$$

d) Nilai persen kontribusi :

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

$$\rho = \frac{0.108304}{0.5308} \times 100\%$$

$$\rho = \mathbf{20.40\%}$$

Hasil perhitungan analisis variansi dan persen kontribusi dari masing-masing faktor terhadap kekuatan tarik dan dampak secara serentak dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

Parameter Proses/ Faktor	DF	SS	MS	SS'	F	P	Kontribusi( $\rho$ )
<i>Barrel temperature</i>	2	0.12248	0.061238	0.108304	8.64	0.002	20.40%
<i>Injection pressure</i>	2	0.09549	0.047744	0.081316	6.74	0.007	15.32%
<i>Holding pressure</i>	2	0.08035	0.040173	0.066173	5.67	0.012	12.47%
<i>Injection velocity</i>	2	0.10495	0.052473	0.090774	7.41	0.005	17.10%
<i>Error</i>	18	0.12754	0.007086	0.184228			34.71%
<i>Total</i>	26	0.5308					100%

Sumber: Hasil perhitungan

Untuk menduga pengaruh dari masing-masing parameter proses/faktor terhadap multi respon kekuatan tarik dan dampak secara serentak, maka dinyatakan hipotesa sebagai berikut:

$H_0$ : Faktor tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan dampak secara serentak

$H_1$ : Faktor berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan dampak secara serentak

Kriteria penolakan: Tolak  $H_0$  jika  $p\text{-value} < \alpha$ , nilai  $\alpha = 0.05$

Berdasarkan analisis variansi yang ditampilkan pada tabel 4.9, maka dapat diketahui pengaruh dari masing-masing faktor sebagai berikut:

- a) Faktor *barrel temperature* memperoleh nilai  $p\text{-value}$  lebih kecil dari  $\alpha$ , yaitu sebesar 0.002. Hipotesa menyatakan untuk menolak  $H_0$ , sehingga faktor berpengaruh secara signifikan terhadap respon kekuatan tarik dan dampak secara serentak. Adapun kontribusi yang diberikan oleh faktor *barrel temperature* lebih besar dari faktor lainnya yaitu 20.40%.
- b) Faktor *injection pressure* memperoleh nilai  $p\text{-value}$  lebih kecil dari  $\alpha$ , yaitu sebesar 0.007. Hipotesa menyatakan untuk menolak  $H_0$ , sehingga faktor berpengaruh secara signifikan terhadap respon kekuatan tarik dan dampak secara serentak. Kontribusi yang diberikan oleh faktor *injection pressure* terhadap respon adalah sebesar 15.32%.

- c) Faktor *holding pressure* memperoleh nilai *p-value* lebih kecil dari  $\alpha$ , yaitu sebesar 0.012. Hipotesa menyatakan untuk menolak  $H_0$ , sehingga faktor berpengaruh secara signifikan terhadap respon kekuatan tarik dan dampak secara serentak. Kontribusi yang diberikan oleh faktor *holding pressure* terhadap respon adalah sebesar 12.47%.
- d) Faktor *injection velocity* memperoleh nilai *p-value* lebih kecil dari  $\alpha$ , yaitu sebesar 0.005. Hipotesa menyatakan untuk menolak  $H_0$ , sehingga faktor berpengaruh secara signifikan terhadap respon kekuatan tarik dan dampak secara serentak. Kontribusi yang diberikan oleh faktor *injection velocity* terhadap respon adalah sebesar 17.10%.

Secara keseluruhan dapat dinyatakan bahwa semua faktor yang divariasikan pada percobaan ini berpengaruh signifikan terhadap respon kekuatan tarik dan dampak secara serentak. Selain itu, kontribusi yang diberikan oleh ke-empat faktor tersebut mulai dari 17.10% hingga 20.40%, sedangkan kontribusi *error* sebesar 34.71%. Hal ini mengindikasikan bahwa ada kontribusi dari beberapa faktor lain ataupun faktor *noise* yang tidak dapat diteliti.

#### 4.2.8 Pengujian Asumsi Residual

Pengujian asumsi residual dilakukan dengan uji kenormalan, uji independen dan uji identik untuk menduga kesesuaian model.

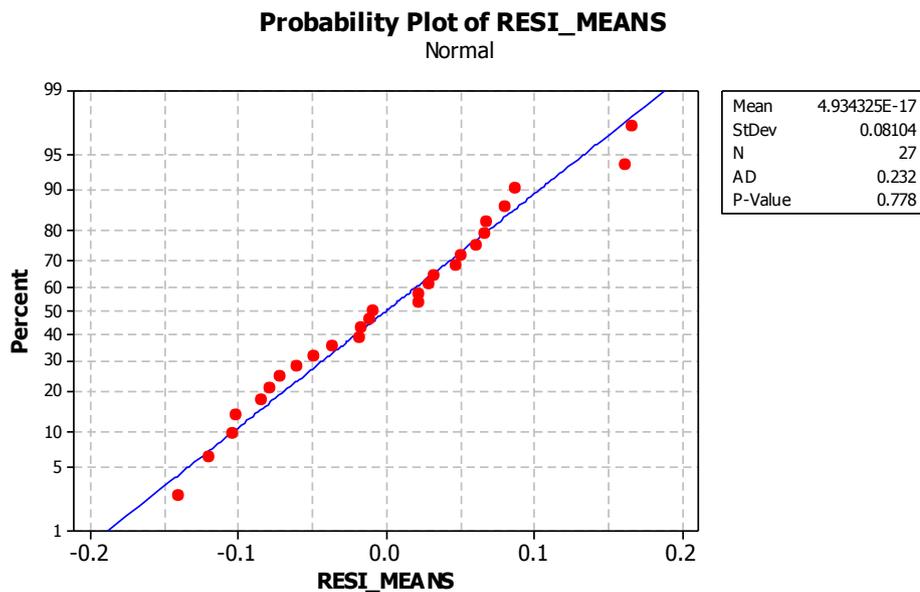
##### a) Uji Kenormalan

Pengujian asumsi residual normal  $(0, \sigma^2)$  dilakukan melalui uji Kolmogorov-Smirnov seperti yang ditampilkan pada gambar 4.7, dengan definisi sebagai berikut:

Hipotesis:  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  (residual berdistribusi normal)

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  (residual tidak berdistribusi normal)

Kriteria penolakan: Tolak  $H_0$  jika *p-value*  $< \alpha$ , nilai  $\alpha = 0.05$

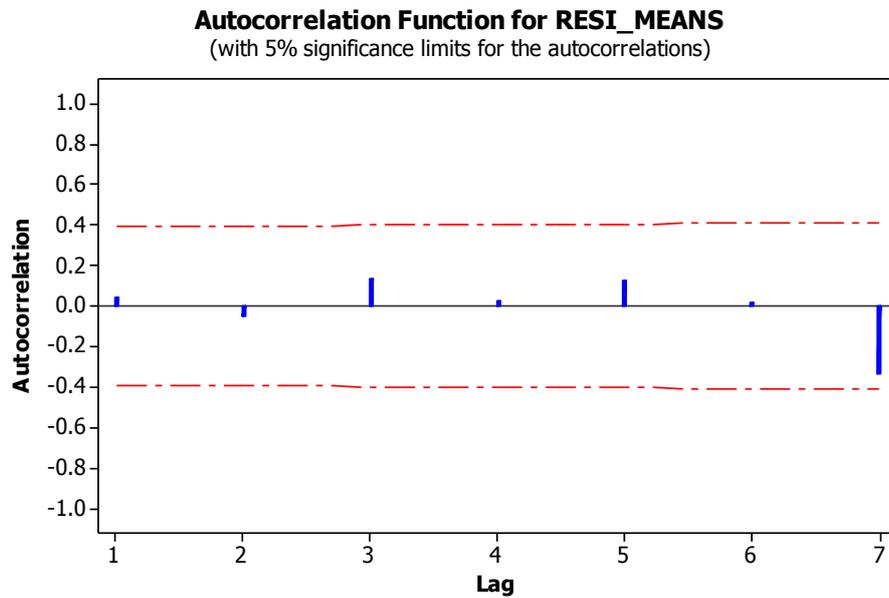


Gambar 4.7 Grafik Uji Distribusi Normal

Dari grafik uji distribusi normal diperoleh  $p\text{-value} = 0.0778$  yang nilainya lebih besar dari  $\alpha$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  gagal ditolak. Dengan kata lain bahwa residual berdistribusi normal.

#### b) Uji Independen

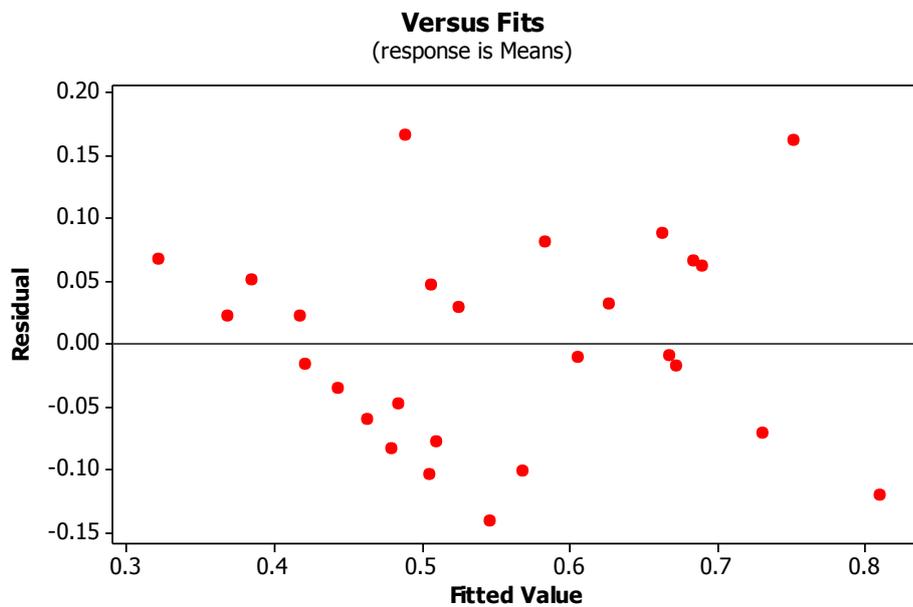
Pengujian asumsi residual independen dilakukan dengan menggunakan *Auto Correlation Function* (ACF). Berdasarkan grafik ACF yang ditampilkan pada gambar 4.8, bahwa residual bersifat independen. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada nilai yang keluar dari batas atas dan batas bawah interval ACF, sehingga membuktikan tidak ada korelasi antara residual.



Gambar 4.8 Grafik uji independen *Auto Correlation Function* (ACF)

**c) Uji Identik**

Pengujian asumsi residual bersifat identik dilakukan dengan uji residual identik *versus fits* seperti yang ditampilkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Uji Identik *Versus Observation Fits*

Dari grafik uji identik *versus observation fits* yang ditampilkan pada pada gambar 4.9, bahwa residual tersebar secara acak dan tidak membentuk pola tertentu disekitar garis tengah (*mean*) yang bernilai 0.00. Hal ini menunjukkan bahwa asumsi residual bersifat identik sudah terpenuhi.

#### 4.2.9 Prediksi Multi Respon Optimum

Untuk memperoleh rata-rata GFRG prediksi ( $\hat{\gamma}$  GFRG), dapat dihitung berdasarkan rata-rata total GFRG ( $\gamma_m$ ) dan rata-rata GFRG maksimum pada masing kombinasi ke-*i* ( $\bar{\gamma}_i$ ), sebagaimana yang telah ditampilkan pada tabel 4.7. Dengan menggunakan persamaan 2.15, dapat diperoleh nilai  $\hat{\gamma}$  GFRG sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\hat{\gamma} \text{ GFRG} &= \gamma_m + \sum_{i=1}^q (\bar{\gamma}_i - \gamma_m) \\ &= 0.5929 + (0.6871 - 0.5929) + (0.6471 - 0.5929) + (0.6407 - 0.5929) + \\ &\quad (0.6467 - 0.5929) \\ &= 0.8428\end{aligned}$$

Adapun banyaknya pengamatan efektif ( $n_{eff}$ ) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.20, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}n_{eff} &= \frac{\text{Total percobaan}}{1 + \text{Jumlah derajat kebebasan variabel untuk menduga rata-rata}} \\ n_{eff} &= \frac{27 \times 3}{1 + 8} \\ n_{eff} &= 9\end{aligned}$$

Untuk memperoleh interval keyakinan prediksi 95% berdasarkan rasio  $F_{(\alpha;v_1;v_2)}$  dengan derajat kebebasan  $v_1$  bernilai 1 terhadap  $v_2$  bernilai 18 yang diperoleh dari Tabel pada lampiran 4. Adapun interval keyakinan rata-rata GFRG prediksi hasil optimasi menggunakan persamaan 2.18 sebagai berikut:

$$CI_p = \sqrt{\frac{F_{(\alpha;v_1;v_2)} MS_E}{n_{eff}}}$$

$$CI_p = \sqrt{\frac{F_{(0.05;1;18)} \cdot 0.007086}{9}}$$

$$CI_p = \sqrt{\frac{4.41 \times 0.007086}{9}}$$

$$CI_p = \pm 0.0589$$

Sehingga interval keyakinan nilai rata-rata GFRG prediksi yang menghasilkan respon optimum dengan tingkat keyakinan 95% adalah  $0.8428 \pm 0.0589$  ( $0.7839 \leq \hat{\gamma} \text{GFRG}_p \leq 0.9018$ ).

### 4.3. Percobaan Konfirmasi

Pada percobaan konfirmasi, dilakukan kembali proses cetakan injeksi dengan menggunakan kombinasi parameter dan level prediksi yang menghasilkan respon optimum (Tabel 4.8). Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa level dari parameter tersebut *valid*. Percobaan konfirmasi dilakukan sebanyak 5 kali replikasi sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data Respon Percobaan Konfirmasi

Kombinasi parameter optimum	Replikasi ke-	Respon	
		Kekuatan tarik (Mpa)	Kekuatan impak (Kj/m <sup>2</sup> )
<i>Barrel temperature 210°C</i> <i>Injection pressure 55 Bar</i> <i>Holding pressure 40 Bar</i> <i>Injection velocity 75 mm/det</i>	1	30.38	5.3
	2	30.40	5.3
	2	30.42	5.3
	4	30.44	5.3
	5	31.00	4.48

Sumber: Hasil percobaan konfirmasi

Dari data percobaan konfirmasi, maka dilakukan pengolahan data dengan menghitung rasio S/N sampai dengan GFRG konfirmasi ( $\hat{\gamma} \text{GFRG}_k$ ). Sehingga diperoleh data seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Pengolahan Data Percobaan Konfirmasi

	Rasio S/N	Normalisasi Rasio S/N	<i>Deviation sequence</i>	<i>Grey Relational Coefficient</i>	GFRG
Kekuatan tarik	29.6932	1.0047	0.0047	0.9908	<b>0.8198</b>
Kekuatan dampak	14.1516	0.9337	0.0663	0.8830	

Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.11, diperoleh nilai GFRG konfirmasi ( $\hat{\gamma} \text{GFRG}_k$ ) sebesar 0.8198. Hal ini menyatakan bahwa nilai rata-rata GFRG konfirmasi masih berada dalam rentang interval keyakinan GFRG prediksi yaitu  $0.7839 \leq \hat{\gamma} \text{GFRG}_k \leq 0.9018$ .

#### 4.4. Perbandingan Respon kombinasi optimum

Respon kombinasi optimum adalah nilai GFRG yang diperoleh dari rata-rata percobaan konfirmasi ( $\hat{\gamma} \text{GFRG}_k$ ) yang bernilai 0.8198. Nilai  $\hat{\gamma} \text{GFRG}_k$  ini dapat dibandingkan terhadap masing-masing kombinasi awal dan terhadap nilai tengah level faktor.

##### a) Perbandingan $\hat{\gamma} \text{GFRG}_k$ terhadap masing-masing kombinasi awal

Untuk memperoleh persentase peningkatan percobaan konfirmasi terhadap masing-masing kombinasi awal, dapat dilakukan dengan membandingkan nilai  $\hat{\gamma} \text{GFRG}_k$  terhadap GFRG awal yang telah ditampilkan pada tabel 4.6. Contoh perbandingan terhadap kombinasi percobaan ke-1 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Peningkatan (\%)} &= \frac{\hat{\gamma} \text{GFRG}_k - \text{GFRG}_1}{\text{GFRG}_k} \times 100 \\
 &= \frac{0.8198 - 0.6882}{0.8198} \times 100 \\
 &= 16.05\%
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan persentase peningkatan hingga kombinasi parameter ke-27 dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Perbandingan  $\hat{\gamma}$  GFRG<sub>k</sub> terhadap masing-masing kombinasi awal

Kombinasi parameter ke-	GFRG kombinasi awal	Peningkatan (%)
1	0.6882	16.05%
2	0.4439	45.85%
3	0.5038	38.55%
4	0.6216	24.18%
5	0.4192	48.87%
6	0.7156	12.71%
7	0.4566	44.30%
8	0.7574	7.61%
9	0.7537	8.06%
10	0.4711	42.53%
11	0.4415	46.15%
12	0.6735	17.85%
13	0.5962	27.27%
14	0.7283	11.16%
15	0.3904	52.38%
16	0.7286	11.12%
17	0.4580	44.13%
18	0.7342	10.44%
19	0.4078	50.26%
20	0.7314	10.78%
21	0.7264	11.39%
22	0.7528	8.17%
23	0.3904	52.38%
24	0.7285	11.14%
25	0.5443	33.61%
26	0.7378	10.00%
27	0.4078	50.26%

Berdasarkan Tabel 4.12, diperoleh bahwa peningkatan kekuatan tarik dan dampak multi respon terhadap kombinasi awal level faktor adalah sebesar 7.61% sampai

dengan 52.38%. Nilai persentase tersebut belum bisa diperoleh sebagai rata-rata peningkatan sesungguhnya, karena setiap kombinasi menggunakan level parameter yang berbeda-beda. Oleh karena itu perlu dilakukan perbandingan terhadap kombinasi level tengah.

b) Perbandingan  $\hat{\gamma}$  GFRG<sub>k</sub> terhadap level tengah

Kombinasi level tengah adalah kombinasi variabel proses yang levelnya berada pada bagian tengah rentang level. Pada percobaan ini, masing-masing variabel proses terdiri dari 3 level, sehingga bagian level tengahnya adalah level 2. Berdasarkan rancangan eksperimen matriks ortogonal L<sub>27</sub> (3<sup>4</sup>) yang telah ditampilkan pada Tabel 3.3. Bahwa kombinasi parameter yang menggunakan level tengah berada pada urutan kombinasi ke-2. Adapun nilai GFRG percobaan awal pada urutan kombinasi ke-2 sebesar 0.4439, sehingga diperoleh persentase peningkatannya sebagaimana ditampilkan pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Perbandingan  $\hat{\gamma}$  GFRG<sub>k</sub> terhadap level tengah

Parameter Proses	Level ke-2	GFRG awal	GFRG Konfirmasi	Peningkatan (%)
<i>Barrel temperature</i>	215	0.4439	0.8198	45.85%
<i>Injection pressure</i>	55			
<i>Holding pressure</i>	40			
<i>Injection velocity</i>	65			

Berdasarkan tabel 4.13 diperoleh bahwa peningkatan kekuatan tarik dan impak dari percobaan konfirmasi terhadap percobaan awal yang menggunakan level tengah adalah sebesar 45.85%.

## Lampiran 1

**TABLE D-2 Three-Level Orthogonal Array Selection**

OA	Number of three-level factors								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
L9	4*		1	Not possible					
L18	1								
L27	4		2		1				

\*Resolution number is a measure of the amount of confounding in a column; see Table D-1.

**TABLE D-3 Two-Level Orthogonal Array Factor Assignment**

OA	Number of factors	Use column nos.	Resolution number*
L4	1-2	1,2	4 high
	3	1-3	1 low
L8	1-3	1,2,4	4 high
	4	1,2,4,7	2
	5-7	1,2,4,7,(3,5,6)†	1 low
L12	1-11	1-11	1 low
L16	1-4	1,2,4,8	4 high
	5	1,2,4,8,15	3
	6-6	1,2,4,7,8,(11,13,14)	2
	9-15	1,2,4,7,8,11,13,14,(3,5,6,9,10,12,15)	1 low
L32	1-5	1,2,4,8,16	4 high
	6	1,2,4,8,16,31	3
	7-16	1,2,4,8,16,31,(7,11,13,14,19,21,22,25,26,28)	2
	17-31	1,2,4,7,8,11,13,14,16,19,21,22,25,26,28,31,(3,5,6,9,10,12,15,17,18,20,23,24,27,29,30)	1 low

\*Resolution number is a measure of the amount of confounding in a column; see Table D-1.

†Column numbers in parentheses may be assigned in any order to achieve the indicated resolution; column numbers not in parentheses must be used first.

Sumber: Philip J. Ross, 2008

## Lampiran 2

**TABLE D-4 Three-Level Orthogonal Array Factor Assignment**

OA	Number of factors	Use column nos.	Resolution number*
L9	1-2	1,2	4 high
	3-4	(1,2,3,4)†	1 low
L18	1-8	1-8	1 low
L27	1-3	1,2,5	4 high
	4	1,2,5,(9,10,12,13)	2
	5-13	1,2,3,4,5,(6-13)	1 low

\*Resolution number is a measure of the amount of confounding in a column; see Table D-1.

†Column numbers in parentheses may be assigned in any order to achieve the indicated resolution; column numbers not in parentheses must be used first.

**TABLE D-5 Polynomial Decomposition**

Coefficient	K = 2		K = 3		K = 4			K = 5			
	L		L	Q	L	Q	C	L	Q	C	F
$W_1$	-1		-1	1	-3	1	-1	-2	2	-1	1
$W_2$	1		0	-2	-1	-1	3	-1	-1	2	-4
$W_3$			1	1	1	-1	-3	0	-2	0	6
$W_4$					3	1	1	1	-1	-2	-4
$W_5$								2	2	1	1
$W_T$	2		2	6	20	4	29	10	14	10	70

$$SS_{A \text{ polynomial}} = \frac{(W_1 \times A_1 + \dots + W_K \times A_K)^2}{W_T \times R} = \text{Sum of squares}$$

NOTE: R = number of replications within a level (must be equal); L = linear; Q = quadratic; C = cubic; F = fourth.

Sumber: Philip J. Ross, 2008

### Lampiran 3

Table A-8. Orthogonal arrays (three-level,  $L_{27}(3^{13})$ )\*

CONDITION \ COLUMN	$L_{27}(3^{13})$												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

\* Reprinted with permission of the American Supplier Institute, Inc.

Sumber: Ranjit K. Roy, 2010

## Lampiran 4

**TABLE D-6 F Values (Continued)**

	$F_{.05; \nu_1, \nu_2}$ 95% confidence <sup>††</sup>									
	Degrees of freedom for the numerator ( $\nu_1$ )									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Degrees of freedom for the denominator ( $\nu_2$ )										
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35
21	4.32	3.47	3.07	2.82	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32
22	4.30	3.44	3.05	2.84	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.16	2.11	2.06
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05
46	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.15	2.09	2.04
48	4.04	3.19	2.80	2.57	2.41	2.29	2.21	2.14	2.08	2.03
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03
55	4.02	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.06	2.01
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99
65	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97
80	3.96	3.11	2.73	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95
90	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93
125	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91
150	3.90	3.08	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89
200	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26	2.14	2.06	1.98	1.93	1.88
300	3.87	3.03	2.63	2.40	2.24	2.13	2.04	1.97	1.91	1.86
500	3.86	3.01	2.62	2.39	2.23	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85
1000	3.85	3.00	2.61	2.38	2.22	2.11	2.02	1.95	1.89	1.84
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83

Sumber: Philip J. Ross, 2008

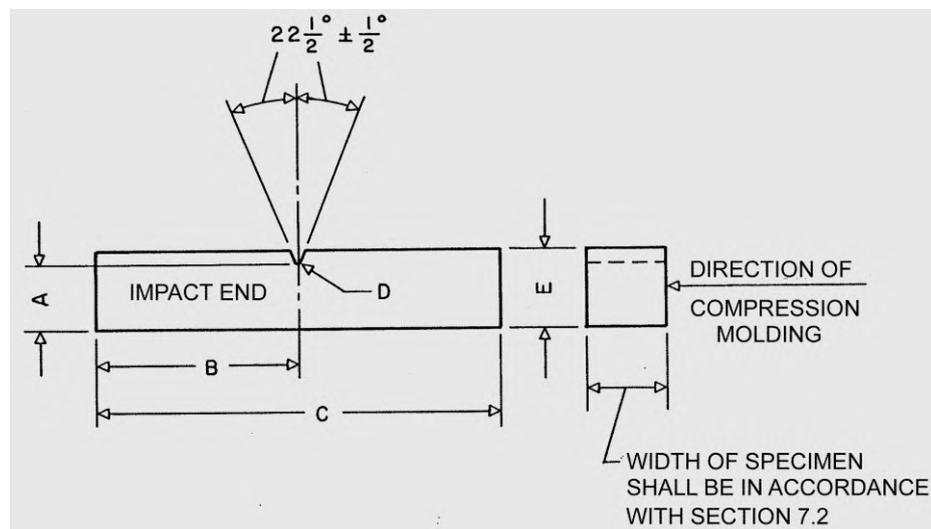
## Lampiran 5



Designation: D 256 – 04

### Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 256; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.



## Lampiran 6

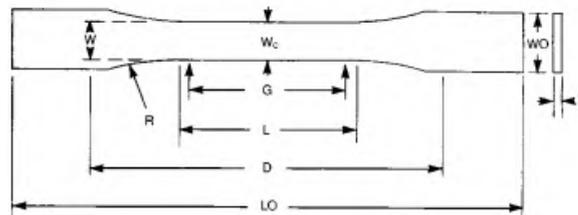


Designation: D 638 – 03

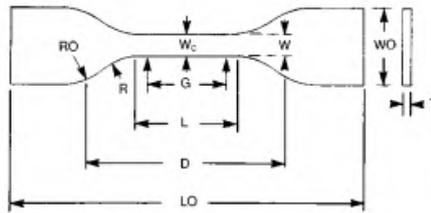
### Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 638; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

ASTM D 638 – 03



TYPES I, II, III & V



TYPE IV

Specimen Dimensions for Thickness,  $T$ , mm [in.]<sup>A</sup>

Dimensions (see drawings)	7 [0.28] or under		Over 7 to 14 [0.28 to 0.55], incl		4 [0.16] or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV <sup>B</sup>	Type V <sup>C,D</sup>		
$W$ —Width of narrow section <sup>E,F</sup>	13 [0.50]	6 [0.25]	19 [0.75]	6 [0.25]	3.18 [0.125]	$\pm 0.5$ [ $\pm 0.02$ ] <sup>G,C</sup>	
$L$ —Length of narrow section	57 [2.25]	57 [2.25]	57 [2.25]	33 [1.30]	9.53 [0.375]	$\pm 0.5$ [ $\pm 0.02$ ] <sup>C</sup>	
$WO$ —Width overall, min <sup>D</sup>	19 [0.75]	19 [0.75]	29 [1.13]	19 [0.75]	...	+ 6.4 [+ 0.25]	
$WO$ —Width overall, min <sup>D</sup>	...	...	...	...	9.53 [0.375]	+ 3.18 [+ 0.125]	
$LO$ —Length overall, min <sup>H</sup>	165 [6.5]	183 [7.2]	246 [9.7]	115 [4.5]	63.5 [2.5]	no max [no max]	
$G$ —Gage length <sup>I</sup>	50 [2.00]	50 [2.00]	50 [2.00]	...	7.62 [0.300]	$\pm 0.25$ [ $\pm 0.010$ ] <sup>C</sup>	
$G$ —Gage length <sup>I</sup>	...	...	...	25 [1.00]	...	$\pm 0.13$ [ $\pm 0.005$ ]	
$D$ —Distance between grips	115 [4.5]	135 [5.3]	115 [4.5]	65 [2.5] <sup>J</sup>	25.4 [1.0]	$\pm 5$ [ $\pm 0.2$ ]	
$R$ —Radius of fillet	76 [3.00]	76 [3.00]	76 [3.00]	14 [0.56]	12.7 [0.5]	$\pm 1$ [ $\pm 0.04$ ] <sup>C</sup>	
$RO$ —Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 [1.00]	...	$\pm 1$ [ $\pm 0.04$ ]	

<sup>A</sup> Thickness,  $T$ , shall be  $3.2 \pm 0.4$  mm [ $0.13 \pm 0.02$  in.] for all types of molded specimens, and for other Types I and II specimens where possible. If specimens are machined from sheets or plates, thickness,  $T$ , may be the thickness of the sheet or plate provided this does not exceed the range stated for the intended specimen type. For sheets of nominal thickness greater than 14 mm [0.55 in.] the specimens shall be machined to  $14 \pm 0.4$  mm [ $0.55 \pm 0.02$  in.] in thickness, for use with the Type III specimen. For sheets of nominal thickness between 14 and 51 mm [0.55 and 2 in.] approximately equal amounts shall be machined from each surface. For thicker sheets both surfaces of the specimen shall be machined, and the location of the specimen with reference to the original thickness of the sheet shall be noted. Tolerances on thickness less than 14 mm [0.55 in.] shall be those standard for the grade of material tested.

<sup>B</sup> For the Type IV specimen, the internal width of the narrow section of the die shall be  $6.00 \pm 0.05$  mm [ $0.250 \pm 0.002$  in.]. The dimensions are essentially those of Die C in Test Methods D 412.

<sup>C</sup> The Type V specimen shall be machined or die cut to the dimensions shown, or molded in a mold whose cavity has these dimensions. The dimensions shall be:

$W = 3.18 \pm 0.03$  mm [ $0.125 \pm 0.001$  in.],

$L = 9.53 \pm 0.08$  mm [ $0.375 \pm 0.003$  in.],

$G = 7.62 \pm 0.02$  mm [ $0.300 \pm 0.001$  in.], and

$R = 12.7 \pm 0.08$  mm [ $0.500 \pm 0.003$  in.].

The other tolerances are those in the table.

<sup>D</sup> Supporting data on the introduction of the L specimen of Test Method D 1822 as the Type V specimen are available from ASTM Headquarters. Request RR-D20-1038.

<sup>E</sup> The width at the center  $W_c$  shall be  $+0.00$  mm,  $-0.10$  mm [ $+0.000$  in.,  $-0.004$  in.] compared with width  $W$  at other parts of the reduced section. Any reduction in  $W$  at the center shall be gradual, equally on each side so that no abrupt changes in dimension result.

<sup>F</sup> For molded specimens, a draft of not over 0.13 mm [0.005 in.] may be allowed for either Type I or II specimens 3.2 mm [0.13 in.] in thickness, and this should be taken into account when calculating width of the specimen. Thus a typical section of a molded Type I specimen, having the maximum allowable draft, could be as follows:

<sup>G</sup> Overall widths greater than the minimum indicated may be desirable for some materials in order to avoid breaking in the grips.

<sup>H</sup> Overall lengths greater than the minimum indicated may be desirable either to avoid breaking in the grips or to satisfy special test requirements.

<sup>I</sup> Test marks or initial extensometer span.

<sup>J</sup> When self-tightening grips are used, for highly extensible polymers, the distance between grips will depend upon the types of grips used and may not be critical if maintained uniform once chosen.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dari proses pencampuran biokomposit hingga proses cetakan injeksi yang dioptimasi menggunakan metode *Taguchi-grey-fuzzy*, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a) Material biokomposit dibuat dari serbuk sekam padi (RH), *polypropylene* (PP) dan *maleic anhydride polypropylene* (MAPP), dengan komposisi 10 wt% RH, 85 wt% PP dan 5 wt% MAPP.
- b) Pencampuran material biokomposit dilakukan menggunakan proses ekstrusi hingga material berbentuk butiran/pelet berdiameter  $\pm 3$  mm dengan panjang  $\pm 5$  mm.
- c) Hasil proses cetakan injeksi adalah spesimen uji tarik dan impak berdasarkan standar pengujian ASTM D 638-03 tipe V dan ASTM D256-04.
- d) Hasil optimasi multi respon pada proses cetakan injeksi untuk memperoleh kekuatan tarik dan impak yang optimal adalah: *barrel temperature* sebesar 210°C, *injection pressure* 55 bar, *holding pressure* 40 bar dan *injection velocity* 75 mm/det.

#### **5.1 Saran**

Pemberian saran yang dapat menyempurnakan penelitian ini agar dapat dikembangkan lagi untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- a) Komposisi biokomposit serta ukuran serat sekam padi agar dapat divariasikan dan dilakukan optimasi dengan metode lain.
- b) Pada proses pembuatan biokomposit agar dipertimbangkan kehomogenan pada saat proses pencampuran, karena akan berpengaruh terhadap kekuatan material tersebut.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharya, D., Bepari, B. (2014), “Feasibility Study of Recycled Polypropylene through Multi Response Optimization of Injection Moulding Parameters Using Grey Relational Analysis”, *Procedia Engineering* 97, hal. 186–96.
- Das, B., Roy, S., Rai, R.N, Saha, S.C. (2015), “Application of Grey Fuzzy Logic for the Optimization of CNC Milling Parameters for Al–4.5%Cu–TiC MMCs with Multi-Performance Characteristics”, *Engineering Science and Technology an International Journal*.
- Defonseka., Chris. (2014), *Introduction to Polymeric Composites with Rice Hulls*, 1<sup>rd</sup> edition, Lightning Source Inc., United Kingdom.
- Eswaraiah, C. (2013), “Experimental and Simulation Studies on Milling of Rice Husk”, *Particulate Science and Technology*, Vol. 31, hal. 443–448.
- Jearanaisilawong, P., Eahkanong, S., Phungsara, B., Manonukul, A. (2015), “Determination of in-Plane Elastic Properties of Rice Husk Composite”, *Journal of Materials and Design*, Vol.76, hal. 55–63.
- Kc, B, Faruk, O., Agnelli, J.A.M., Leao, A.L., Tjong, J., Sain, M. (2015), “Sisal-Glass Fiber Hybrid Biocomposite: Optimization of Injection Molding Parameters Using Taguchi Method for Reducing Shrinkage” *Composites: Part A*, hal. 1–8.
- Khalf, A.I., Ward, A.A. (2010), “Use of Rice Husks as Potential Filler in Styrene Butadiene Rubber / Linear Low Density Polyethylene Blends in the Presence of Maleic Anhydride”, *Materials and Design*, Vol. 31, hal. 2414–2421.
- Kumar, P.S., Ramakrishnan, K., Kirupha, S.D., Sivanesan, S. (2010), “Thermodynamic and Kinetic Studies of Cadmium Adsorption from Aqueous Solution onto Rice Husk”, *Journal of Chemical Engineering*, Vol. 27, No. 02, hal. 347–355.

- Kuram, E., Tasci, E., Altan, A.I., Mear, M.M. (2013). “Materials and Design Investigating the Effects of Recycling Number and Injection Parameters on the Mechanical Properties of Glass-Fibre Reinforced Nylon 6 Using Taguchi Method”, *Materials and Design*, Vol. 49, hal. 139–150.
- Rahmadani, N.A., Sunaryo, S., Akbar, M.S. (2012), “Penerapan Pendekatan Gabungan Grey Relational Analysis (GRA) dan Principal Component Analysis (PCA) Pada Metode Taguchi Multirespon”, *Sains dan Seni ITS*, Vol. 1, No. 1, hal. 43–48.
- Soepangkat, B.O.P., Pramujati, B. (2013), “Optimization of Surface Roughness and Recast Layer Thickness in the Wire-EDM Process of AISI D2 Tool Steel Using Taguchi-Grey-Fuzzy”, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 393, hal. 21–28.
- Srebrenkoska, V., Gaceva, G.B., Dimeski, D. (2009), “Preparation and Recycling of Polymer Eco Composites I Comparison of the Conventional Molding Technique for Preparation of Polymer Eco-Composites”, *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, Vol. 28, No. 1, hal.99–109.
- Subasinghe, A.D.L., Das, R., Bhattacharyya, D. (2015), “Fiber Dispersion during Compounding / Injection Molding of PP / Kenaf Composites : Flammability and Mechanical Properties.” *JMADE*, Vol. 86, hal. 500–507.
- William, D. Callister, Jr. (2007), *Material Science Engineering: an Introduction*, 7<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons, Inch., United States of America.
- Yeh, S.K., Hsieh, C.C., Chang, H.C., Yen, .C.C, Chang, Y.C. (2015) “Synergistic Effect of Coupling Agents and Fiber Treatments on Mechanical Properties and Moisture Absorption of Polypropylene – Rice Husk Composites and Their Foam.” *Composites : Part A*, Vol. 68, hal. 313–322.

## RIWAYAT HIDUP



**Sufiyanto** - lahir di Sungai Duren, propinsi Jambi, pada 10 Januari 1979, merupakan anak ke tiga dari pasangan Ayahanda Supar dan Ibunda Yurnidar. Penulis memulai pendidikan formal pada jenjang sekolah dasar pada tahun 1985 di SDN 7/1 Sungai Duren. Kemudian melanjutkan pendidikan tingkat menengah di SMPN 1 Muaro Jambi pada tahun 1991 dan pendidikan tingkat atas pada tahun 1994 di SMKN3 Kota Jambi. Tahun 1997 penulis melanjutkan pendidikan tingkat tinggi Diploma 3 (D3) di Universitas Andalas (UNAND) Padang, lalu pada tahun 2006 melanjutkan keningkat strata satu (S1) di Sekolah Tinggi Teknologi Nasional (STITEKNAS) Jambi, Jurusan Teknik Mesin. Pada tahun 2013 penulis mengikuti beasiswa BPPDN Calon Dosen 3T dengan mengikuti program pendidikan Pra S2 Fisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) selama 1 tahun, setelah itu melanjutkan pendidikan strata dua (S2) tahun 2014 dengan bidang keahlian Rekayasa Sistem Manufaktur di Jurusan Teknik Mesin ITS. Pada jenjang S2, penulis melakukan tesis penelitian mengenai optimasi parameter proses cetakan injeksi menggunakan metode *Taguchi-Grey-Fuzzy* untuk meningkatkan kekuatan tarik dan impak material biokomposit. Penelitian ini mengantarkan penulis memperoleh gelar Magister Teknik (MT) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Email: [sufiyanto07@gmail.com](mailto:sufiyanto07@gmail.com)