



**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN PADUAN  
*POLYPROPYLENE* DENGAN SERBUK ARANG KAYU TERHADAP  
KEKUATAN *IMPACT* PADA PROSES *INJECTION MOULDING***

**SKRIPSI**

Oleh

**Hanry Febryanto**

**NIM 091910101001**

**PROGRAM STRATA I TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2013**



**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN PADUAN  
*POLYPROPYLENE* DENGAN SERBUK ARANG KAYU TERHADAP  
KEKUATAN *IMPACT* PADA PROSES *INJECTION MOULDING***

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Harry Febryanto**

**NIM 091910101001**

**PROGRAM STRATA I TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2013**

## MOTTO

“Jangan lihat masa lalu lampau dengan penyesalan, jangan pula lihat masa depan dengan ketakutan, tapi lihatlah sekitar anda dengan penuh kesadaran.”

(James Thurber)

“Sesuatu yang belum dikerjakan sering kali tampak mustahil, kita baru yakin kalau kita telah berhasil melakukannya dengan baik.”

(Evelyn Underhill)

” Religion without science is blind. Science without religion is paralyzed. “

Agama tanpa ilmu adalah buta. Ilmu tanpa agama adalah lumpuh.

(Albert Einstein)

## PERSEMBAHAN

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran ALLAH SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Temperatur dan Paduan *Polypropylene* Dengan Serbuk Arang Kayu Terhadap Kekuatan *Impact* Pada Proses *Injection Moulding*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada terhingga kepada:

1. Allah S.W.T. yang telah memberikan kesehatan jasmani maupun kesehatan rohani kepada saya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Rasulullah Muhammad SAW, Suri Tauladan Umat Manusia;
3. Bapak dan Ibu saya yang sudah mendoakan dan memberi suport selama ini sehingga skripsi ini bisa terselesaikan.
4. Terimakasih kepada saudara-saudara saya yang sudah memberikan support dan mendoakan saya selama ini sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Semua Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu terutama Bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T., dan Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T., yang telah meluangkan waktu dan pikiran guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya skripsi ini.
6. Semua guru-guru saya mulai dari Sekolah Dasar (SD), Sekolah Menengah Pertama (SMP) dan Sekolah Menengah Atas (SMA), yang telah mengajar saya dengan begitu sabar menjelaskan semua pelajaran.
7. Seluruh warga teknik mesin khususnya angkatan ‘09’ yang sudah banyak membantu dalam melaksanakan penelitian dan mengajarkan apa arti teman yang sebenarnya ”**Solidarity Forever**”.

8. Semua pihak yang telah membantu dalam kelancaran penulisan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Henry Febryanto**

NIM : **091910101001**

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “Pengaruh Variasi Temperatur dan Paduan *Polypropylene* Dengan Serbuk Arang Kayu Terhadap Kekuatan *Impact* Pada Proses *Injection Moulding*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 11 Juli 2013

Yang menyatakan,

Henry Febryanto

NIM. 091910101001

**SKRIPSI**

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN PADUAN *POLYPROPYLENE*  
DENGAN SERBUK ARANG KAYU TERHADAP KEKUATAN *IMPACT*  
PADA PROSES *INJECTION MOULDING***

Oleh :

Harry Febryanto

091910101001

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Temperatur dan Paduan *Polypropylene* Dengan Serbuk Arang Kayu Terhadap Kekuatan *Impact* Pada Proses *Injection Moulding*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Kamis, 11 Juli 2013

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T.  
NIP. 19691201 199602 1 001

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.  
NIP. 19600812 199802 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.  
NIP. 19670123 199702 1 001

Hari Arbiantara Basuki S.T.,M.T.  
NIP. 19670924 199412 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Ir. Widyono Hadi, M.T.

NIP. 19610414 198902 1 001

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam semoga Allah SWT limpahkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai sumber inspirasi dan membuat penulis lebih kuat dan menatap setiap hal yang penuh optimis dan berfikir positif, dalam menunjang kemampuan penulis dalam menajalani persaingan globalisasi kerja nantinya.

Skripsi ini berjudul “Pengaruh Variasi Temperatur dan Paduan *Polypropylene* Dengan Serbuk Arang Kayu Terhadap Kekuatan *Impact* Pada Proses *Injection Moulding*”. Penyusunan skripsi ini digunakan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan arahan kepada penulis selama penyusunan laporan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Ayahanda tercinta Eko Widiyono dan Ibunda tercinta Aristina atas segala do'a, dukungan semangat dan materil. Adikku tersayang Debby Dwi Astridina yang tak henti-hentinya memberi semangat, serta saudara-saudaraku semua yang telah memberikan doa dan motivasi kepada saya.
2. Bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan ide, saran, dan motivasi, serta meluangkan waktunya untuk membimbing saya selama proses penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T., selaku dosen penguji I, dan Bapak Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T., selaku dosen penguji II yang memberikan saran dan kritikan bersifat konstruktif untuk penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh staf pengajar dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan membimbing saya selama saya duduk di bangku perkuliahan.
5. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Jember.

6. Bapak Rafiq, selaku teknisi di laboratorium uji bahan dan bengkel produksi, jurusan teknik mesin, Politeknik Negeri Malang yang telah membantu dan memberikan saran-saran pada saat penelitian berlangsung.
7. Seluruh teman-teman angkatan 2009 (Nine-Gine) yang telah memberikan banyak dukungan Dana, Alvin, Hefa (Cak ji), Resha, Wape, Uwik (Bogang), Heru (Paimo), Jrenk, Tower, Gendut, Adit, Viktor, Ucup, Sandi (Tompel), Dimas, Lukman, Dedi, Manda, Memed, Ifan, Febri, Dimas Sugiono, Bob, Antok, Beta, Rio, Sugeng, Riyan, Tuwek, Ade, Erfani, Teguh, Jayeng, Yudi, Deri, Febri Cengel, Justin, Beslin, Poncol, Firman Kenyeh, Firman Wahyu, Erik, Arif, Faqih, dan teman-teman yang lain yang telah banyak membantu selama 4 tahun perkuliahan dan selalu menjunjung tinggi solidaritas.
8. Seluruh sahabat-sahabat saya di rumah yang telah memberikan banyak dukungan Destian (P.Penk), Rosi, Aulia, Galih, Dayat (Dalmat).
9. Semua pihak yang telah membantu proses penelitian dan penyusunan skripsi ini dari awal hingga akhir.

Penulis menyadari sebagai manusia yang tak lepas dari kekhilafan dan kekurangan, oleh karena itu diharapkan adanya kritik, saran, dan ide yang bersifat konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini dan penelitian berikutnya yang berkaitan dengan skripsi ini. Semoga hasil dari penelitian pada skripsi ini dapat memberikan manfaat khususnya bagi penulis dan peneliti-peneliti berikutnya.

Jember, Juli 2013

Penulis

## RINGKASAN

**Pengaruh Variasi Temperatur dan Paduan Polypropylene Dengan Serbuk Arang Kayu Terhadap Kekuatan Impact Pada Proses Injection Moulding;** Hanry Febryanto, 091910101001: 101 Halaman; Program Studi Strata Satu Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Proses injection moulding adalah proses pembentukan suatu benda atau produk dari material plastik dengan bentuk dan ukuran tertentu yang mendapat perlakuan panas dan pemberian tekanan dengan cara diinjeksikan pada cetakan atau mold. Proses produksi injection moulding merupakan proses yang kompleks karena melibatkan beberapa langkah proses yang diawali dengan langkah pengisian material (mold filling) yaitu bahan plastik leleh akan mengalir dari unit injeksi melalui sprue, runner, gate dan masuk ke dalam cavity. Penelitian ini memfokuskan tentang temperatur barrel dan campuran polypropylene dengan serbuk arang kayu dengan perbandingan campuran polypropylene dengan serbuk arang kayu yaitu: 80%:20%; 70%:30%; 60%:40%.

Penelitian ini dilakukan di laboratorium uji bahan dan bengkel produksi, jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang. Dari hasil penelitian didapat bahwa semakin tinggi temperatur barrel maka semakin rendah nilai kekuatan impaknya. Hal ini disebabkan pada saat temperatur barrel mencapai 200<sup>0</sup>C, viskositas yang dihasilkan lebih rendah sehingga udara yang masuk ke dalam barrel ikut terdorong ke dalam rongga cetakan dan terjebak yang mengakibatkan timbul void pada spesimen uji impact. Selain itu, semakin tinggi komposisi serbuk arang kayu semakin rendah nilai kekuatan impaknya. Hal ini disebabkan pada saat komposisi serbuk arang kayu 40%, polypropylene sebagai pengikat tidak dapat mengikat keseluruhan serbuk arang kayunya, sehingga spesimen menjadi rapuh.

## SUMMARY

*Influence of Temperature Variation and Polypropylene Blend with Charcoal Powder towards Impact Strength on Injection Moulding Process; Hanry Febryanto, 091910101001: 101 pages; Bachelor of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.*

*Injection moulding process is a formation of an object or products from plastic material with shape and certain size that are subjected to heat and giving injected by pressure on the mold. Injection molding production process is a complex process because it involves several step process that begins beginning with step mold filling that is molten plastic material will flow of the injection unit through sprue, runner, gate and go into the cavity. This study focuses on barrel temperature and polypropylene with wood charcoal powder mixture by comparison polypropylene with wood charcoal powder mixture that is 80%:20%; 70%:30%; 60%:40%.*

*This research have been done in material test laboratory and production workshop, Mechanical Engineering, Malang Negeri Polytechnic. From the results obtained that the higher the temperature of barrel the lower the value of impact strength. This is due to the barrel when the temperature reaches 200<sup>0</sup>C, the resulting lower viscosity so the air that goes into the barrel participate pushed into a mold cavity and stuck arise resulting void the impact test specimens. Moreover, the higher the charcoal powder composition the lower the value of impact strength. This is at the time of the composition of powder wood charcoal 40%, polypropylene as the binder can't bind the whole wood charcoal powder, so that specimens become brittle.*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAM AN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>PRAKATA</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan dan Manfaat .....	4
1.4.1 Tujuan.....	4
1.4.2 Manfaat.....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1 Plastic Injection Moulding .....	6
2.2 Parameter Proses Injection Molding .....	10
2.3 Pengenalan Plastik.....	12
2.4 Sifat Mekanik Polimer .....	15
2.4.1 Kekuatan (Stenght).....	15
2.4.2 Elongation .....	16
2.4.3 Modulus .....	16
2.4.4 Ketangguhan .....	16
2.5 Komposit.....	16
2.5.1 Serat .....	18

2.5.2 Matrik.....	19
2.6 Bahan Baku.....	19
2.6.1 Polypropylene (PP) .....	19
2.6.2 Arang Kayu.....	22
2.7 Pencampuran.....	24
2.7.1 Teori Pencampuran .....	24
2.7.2 Metode Pencampuran.....	24
2.7.3 Faktor yang Mempengaruhi Campuran .....	25
2.8 Uji Impact .....	26
2.9 Pengolahan Data dengan Regresi.....	29
2.5.1 Uji Distribusi Normalitas.....	30
2.5.2 Uji Homogenitas .....	32
2.5.3 Uji Multikolinieritas .....	33
2.5.4 Uji Autokorelasi.....	34
2.5.5 Uji Linieritas .....	36
2.5.6 Analisis Regresi .....	37
2.10 Hipotesa .....	42
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>43</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	43
3.2 Alat dan Bahan.....	43
3.2.1 Bahan .....	43
3.2.2 Alat.....	43
3.3 Persiapan Serbuk Arang Kayu .....	44
3.4 Pelaksanaan Penelitian .....	46
3.4.1 Penetapan Variabel Terikat dan Variabel Bebas.....	46
3.4.2 Pemilihan Parameter .....	46
3.4.3 Prosedur Penelitian.....	47
3.5 Pengukuran Parameter .....	48
3.5.1 Kekuatan Impact .....	48
3.5.2 Bentuk Patahan.....	49
3.6 Penyajian Hasil Penelitian .....	50

3.7 Skema Alat Uji.....	51
3.8 Flow Chart Penelitian .....	52
3.9 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	53
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>54</b>
4.1 Data Percobaan .....	54
4.2 Analisis Kekuatan Impak.....	55
4.2.1 Uji Distribusi Normalitas.....	55
4.2.2 Uji Homogenitas .....	56
4.2.3 Uji Multikolinieritas.....	57
4.2.4 Uji Linieritas .....	58
4.2.5 Uji Autokolerasi.....	59
4.2.6 Uji Heterokedastisitas .....	60
4.2.7 Uji Kesesuaian Model (Uji F).....	61
4.2.8 Uji Individual (Uji T).....	61
4.2.9 Pemodelan Regresi ( $R^2$ ).....	63
4.3 PEMBAHASAN .....	64
4.3.1 Pembahasan Regresi Linear Berganda pada PP dan Komposisi Serbuk Arang Kayu 20%, 30%, 40% .....	64
4.3.2 Perbandingan Nilai Optimal Kekuatan Impak .....	66
4.3.3 Bentuk Patahan.....	67
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	<b>75</b>
5.1 Kesimpulan .....	75
5.2 Saran.....	76
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>79</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Perbandingan <i>Spesific Gravity</i> dari Berbagai Material Plastik .....	20
2.2 Sifat-sifat <i>Polypropylene</i> .....	21
3.1 Penyajian Hasil Penelitian .....	50
4.1 Hasil Pengujian Impak .....	54
4.2 Hasil Log dari Tabel Hasil Pengujian Impak .....	54
4.3 Hasil Uji Kolgomorov Smirnov .....	55
4.4 Hasil Uji Homogenitas .....	57
4.5 Hasil Output VIF .....	58
4.6 Hasil Uji Linearitas .....	58
4.7 Statistik Durbin-Watson .....	59
4.8 Hasil F Hitung .....	61
4.9 Hasil t Hitung .....	62
4.10 Analisis koefisien determinasi ( $R^2$ ) .....	63
4.11 Koefisien dalam Persamaan Regresi Linier Berganda .....	63

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Kelebihan Proses PIM Dibandingkan Dengan Proses – Proses Yang Lain..7	
2.2 Keistimewaan Proses <i>Plastic Injection Molding</i> ( <i>PIM</i> ) .....	7
2.3 Unit Mesin <i>Injction Moulding</i> .....	8
2.4 Skema Proses <i>Injection Moulding</i> .....	9
2.5 Klasifikasi Polimer.....	13
2.6 Arang Kayu .....	23
2.7 (a) Spesimen yang digunakan untuk pengujian impak .....	28
(b) Skematik peralatan uji impak .....	28
2.8 Skema Uji Impak .....	28
3.1 Mesin <i>Injection Molding</i> .....	43
3.2 Mesin Uji Impact.....	44
3.3 Diagram Alir Pembuatan Serbuk Arang Kayu .....	45
3.4 Dimensi <i>Impact ASTM D 5942-96</i> .....	47
3.5 Skema Alat Uji.....	51
3.6 Diagram Alir Penelitian .....	52
4.1 Grafik <i>normal P-P of regression standardized residual</i> .....	56
4.2 Grafik <i>scatterplot</i> .....	60
4.3 Grafik pengaruh temperatur <i>barrel</i> terhadap harga impak (HI) pada komposisi PP dengan <i>filler</i> serbuk arang kayu .....	65
4.4 Grafik pengaruh komposisi arang kayu terhadap harga impak (HI) pada komposisi PP dengan serbuk arang kayu .....	66
4.5 Grafik pengaruh temperatur <i>barrel</i> terhadap harga impak (HI) pada komposisi PP dengan serbuk arang kayu dan PP murni .....	67
4.6 Foto makro bentuk patahan uji impak pada pengerjaan 180 <sup>0</sup> C – 20% .....	68
4.7 Foto makro bentuk patahan uji impak pada pengerjaan 180 <sup>0</sup> C – 30% .....	68
4.8 Foto makro bentuk patahan uji impak pada pengerjaan 180 <sup>0</sup> C – 40% .....	69
4.9 Foto makro bentuk patahan uji impak pada pengerjaan 190 <sup>0</sup> C – 20% .....	69
4.10 Foto makro bentuk patahan uji impak pada pengerjaan 190 <sup>0</sup> C – 30% ....	70

4.11 Foto makro bentuk patahan uji impak pada pengerjaan 190 <sup>0</sup> C – 40% ....	70
4.12 Foto makro bentuk patahan uji impak pada pengerjaan 200 <sup>0</sup> C – 20% ....	71
4.13 Foto makro bentuk patahan uji impak pada pengerjaan 200 <sup>0</sup> C – 30% ....	71
4.14 Foto makro bentuk patahan uji impak pada pengerjaan 200 <sup>0</sup> C – 40% ...	72
4.15 Foto makro bentuk patahan uji impak pada PP murni dengan pengerjaan 180 <sup>0</sup> C.....	73
4.16 Foto makro bentuk patahan uji impak pada PP murni dengan pengerjaan 190 <sup>0</sup> C.....	73
4.17 Foto makro bentuk patahan uji impak pada PP murni dengan pengerjaan 200 <sup>0</sup> C.....	74

## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pencetakan plastik adalah proses pembentukan suatu benda atau produk dari material plastik dengan bentuk dan ukuran tertentu yang mendapat perlakuan panas dan pemberian tekanan dengan cara diinjeksikan pada cetakan atau *mold*. Pada masa sekarang, pemakaian barang-barang yang terbuat dari bahan baku plastik semakin meningkat dan mulai banyak diminati masyarakat. Hal ini dikarenakan plastik mempunyai banyak kelebihan-kelebihan yang mulai diperhitungkan oleh masyarakat. Selain disebabkan factor kebutuhan yang makin menuntut efisiensi dimana-mana, juga karena adanya kemajuan teknologi, baik kemajuan teknologi dalam bidang rekayasa material maupun teknologi manufaktur dari material itu sendiri.

Produk plastik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari banyak diproses dengan mesin *injection moulding*. Proses produksi *injection moulding* merupakan proses yang kompleks karena melibatkan beberapa langkah proses yang diawali dengan langkah pengisian material (*mold filling*) yaitu bahan plastik leleh akan mengalir dari unit injeksi melalui *sprue*, *runner*, *gate* dan masuk ke dalam *cavity*. Cetakan plastik pada prinsipnya adalah suatu alat yang digunakan untuk membuat dan membentuk komponen-komponen dari material plastik dengan bantuan mesin pencetakan plastik. Dalam proses pencetakan plastik sangat memperhatikan beberapa parameter yaitu temperatur, tekanan dan masih banyak lagi parameter-parameter yang digunakan untuk menghasilkan kualitas plastik yang diinginkan.

Menurut (Kittinaovarat, 2010), banyak penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa dengan penambahan *filler* (termasuk *filler* organik maupun anorganik) merupakan cara yang efektif untuk meningkatkan struktur morfologi dan sifat-sifat mekanik pada komposit polimer. Pada tahun-tahun belakangan ini, penambahan *filler* yang sering dilakukan pada polimer adalah dengan menggunakan karbon. Oleh karena itu, beliau menggunakan penambahan *filler* berbasis arang pada penelitiannya

yang berjudul “*Physical Properties of Polyolefin / Bamboo charcoal Composite*”, beliau membandingkan sifat fisik dari dua jenis polimer PP (Polipropilena) dan LDPE dengan komposisi persentase *filler* arang bambu yang berbeda - beda yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dengan ukuran mesh 325 pada temperatur 180 °C dan tekanan 1300 psi pada proses *compression moulding*. Kemudian beliau melakukan pengujian tarik pada spesimen tersebut dan mendapatkan hasil pada persentase *filler* 20 % menunjukkan bahwa kekuatan tarik yang dihasilkan lebih tinggi sebesar 15% daripada PP murni. Lalu beliau berpendapat bahwa arang bambu menimbulkan gaya tarik-menarik antar permukaan / *interfacial adhesion* dengan PP, sehingga dapat ditambahkan pada matriks PP dan menambah kekuatan dari komposit PP – arang bambu. Maka dapat disimpulkan bahwa penambahan *filler* arang efektif untuk meningkatkan kekuatan mekanik pada komposit.

Selain itu, pernah dilakukan penelitian oleh Hery Prabowo Pamungkas (2010) tentang pengaruh temperatur dan tekanan terhadap proses pembuatan plastik dengan menggunakan penguat sekam padi dan dilanjutkan dengan mengukur kekuatan impact yang dihasilkan pada komposit yang dibuat. Pada penelitiannya, dia menggunakan matriks paduan PP (Polipropilena) dan LDPE serta *filler* serbuk sekam padi dengan persentase campuran yaitu (42,5% : 42,5% : 15%) pada ukuran mesh 150-200. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa kekuatan *impact* yang paling tinggi yaitu 33,402 Joule/mm<sup>2</sup> pada tekanan pengerjaan 7 bar dan temperatur 185 °C serta kekuatan *impact* terendah yaitu 12,409 Joule/mm<sup>2</sup> pada tekanan pengerjaan 6 bar dan temperatur 175 °C. Sehingga variasi tekanan dan temperatur sangat berpengaruh terhadap kekuatan *impact* pada komposit, yaitu semakin tinggi tekanan dan temperatur maka harga *impact* semakin besar pula.

Pada penelitian kali ini, penulis ingin melanjutkan dari kedua penelitian tersebut, yaitu menggunakan variasi *filler* berbasis karbon dari arang kayu sebagai *filler* pada komposit yang dibuat dengan maksud untuk mengetahui fenomena penambahan variasi arang kayu sebagai *filler* terhadap kekuatan impact pada komposit dan kemudian memberi informasi sejauh mana pengaruh impactnya.

Digunakan arang kayu sebagai *filler* pada komposit pada penelitian ini karena arang kayu mudah diperoleh. Pada penelitian yang dilakukan, penulis juga menggunakan parameter dari segi manufaktur, yaitu temperatur *barrel* dan variasi *filler* arang kayu pada mesin *injection moulding*. Kemudian, penulis juga membandingkan kekuatan *impact* tertinggi yang dihasilkan dengan menggunakan arang kayu sebagai *filler* pada komposit serta tanpa menggunakan *filler* apapun / PP murni. Selain itu prosentase paduan arang kayu juga memiliki pengaruh kekuatan yang berbeda-beda, ini diasumsikan dari salah satu sifat material baja carbon, yang dimana semakin besar kandungan karbon dalam campuran material akan semakin keras pula sifat logam tersebut, karena itu penulis mengacu teori tersebut.

Dengan dasar itulah penulis ingin melakukan sebuah penelitian, yaitu penelitian tentang “Pengaruh Variasi Temperatur dan Paduan *Polypropylene* dan Serbuk Arang Kayu terhadap Kekuatan *Impact* Pada Proses *Injection Moulding*”. Dalam penelitian ini diharapkan didapatkan hasil pengujian kekuatan *impact* yang optimal dari komposisi plastik PP dalam bentuk biji plastik dan serbuk arang sebagai *filler*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dirumuskan suatu permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur pada proses *injection moulding* pada paduan biji plastik PP (*polypropylene*) dengan penambahan serbuk arang kayu terhadap kekuatan *impact*.
2. Bagaimana pengaruh variasi paduan biji plastik PP (*polypropylene*), dengan penambahan serbuk arang kayu terhadap kekuatan *impact*.

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan yang diinginkan dan menghindari meluasnya permasalahan yang ada, maka dalam penelitian ini akan diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Bahan dasar yang digunakan untuk pembuatan plastik menggunakan biji plastik murni jenis PP (*Polypropylene*). Komposisi pencampuran yang digunakan antara PP (*Polypropylene*) dan serbuk arang kayu yaitu dengan perbandingan 60% :40%, 70%:30%, 80%:20%;
2. Plastik dicetak dengan mesin *injection molding* dalam bentuk spesimen uji *impact*;
3. Tekanan silinder yang digunakan pada mesin adalah tetap 8 bar;
4. Temperatur *barrel* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 180°C, 190°C dan 200°C;
5. Tidak membahas cetakan atau *mould*;
6. Tidak membahas tentang aliran fluida di dalam injektor;
7. Tidak membahas ikatan kimia plastik;
8. Tidak membahas analisis sifat kimia serbuk arang kayu;
9. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian *impact*.

### 1.4 Tujuan dan Manfaat

#### 1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi pengaruh variasi temperatur pemanasan plastik dan paduan pada proses *injection molding* terhadap produk akhir sehingga bisa mengetahui kekuatan produk hasil pengujian dengan perbandingan berbagai sample produk yang dihasilkan dari variasi temperatur pemanasan dan paduan yang berbeda-beda.

2. Mengetahui sifat-sifat mekanik dan sifat-sifat fisik dari spesimen yang telah dicetak dengan pengujian impact.
3. Memperoleh hasil berupa nilai/tingkat kekuatan dari pengujian yang dimiliki dari spesimen tersebut.

#### 1.4.2 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dihasilkan suatu produk dari hasil proses *injection moulding* dengan variasi temperatur pemanasan dan paduan dengan bentuk mold yang sederhana yaitu berupa spesimen uji impact (skala kecil) dan bisa untuk bidang industri plastik (skala besar).
2. Mampu memproduksi plastik dengan mengetahui jenis-jenisnya dan proses pengerjaan yang cocok dengan jenis plastik dan produk yang diinginkan. Dan disumbangkan kekalangan industri skala kecil/skala besar.
3. Mengetahui proses pembuatan berbagai produk dari plastik (*thermoplastic*) dan kesalahan-kesalahan yang sering terjadi pada realita di lapangan.
4. Sumbangan bagi kalangan akademisi dalam bidang manufaktur tentang proses pembuatan berbagai produk dari plastik (*thermoplastic*).

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Plastic Injection Moulding

Menurut (Boses, 1995) *Plastic Injection Molding ( PIM )* merupakan metode proses produksi yang cenderung menjadi pilihan untuk digunakan dalam menghasilkan atau memproses komponen-komponen yang kecil dan berbentuk rumit, dimana biayanya lebih murah jika dibandingkan dengan menggunakan metode-metode lain yang biasa digunakan.

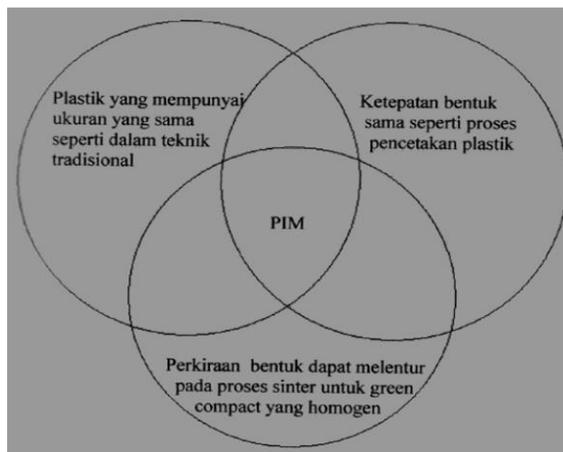
Teknik *Plastic Injection Moulding* pertama kali dikenalkan oleh John Wesley Hyatt pada tahun 1868, dengan melakukan injeksi celluloid panas ke dalam mold, untuk membuat bola billiar. Bersama saudara perempuannya Isaiiah, dia mematenkan mesin *injection mold* untuk penyedot debu tahun 1872. Tahun 1946 James Hendri untuk pertama kalinya membuat mesin *screw injection mold*, sehingga terjadi perubahan besar pada industri plastik. Dan 95 % mesin molding saat ini mengikuti teknik ini, untuk menghasilkan efisiensi panas, efisiensi campuran dan injeksi plastik ke molding. (Anif Jamaludin, 2007)

Ditunjukkan pada gambar 2.1 memperlihatkan kemampuan pemrosesan dan tingkat ketelitian komponen yang dihasilkan dengan PIM dibandingkan dengan proses-proses lain. Pada proses tersebut mampu menghasilkan bentuk rumit dalam jumlah besar maupun kecil sekalipun. Salah satu keunggulan proses PIM adalah kemampuannya dalam menggabungkan dan menggunakan kelebihan-kelebihan teknologi seperti kemampuan pembentukan bahan plastik, ketepatan dalam proses pencetakan dan kebebasan memilih bahan. Hal ini digambarkan pada gambar 2.2. Komponen yang dihasilkan dengan teknologi PIM kini banyak digunakan dalam industri misalnya otomotif, listrik, computer, peralatan rumah tangga dan masih banyak lagi.

Komponen yang dihasilkan dengan teknologi *Plastic Injection Moulding* kini banyak digunakan dalam industri otomotif, kimia, penerbangan, listrik, komputer, kedokteran dan peralatan militer. Misalnya spakbor, pesawat telepon, *keyboard*, *mouse*, rumah lampu mobil, *dashboard*, reflektor, helm, sisir, roda furnitur, *casing* telepon seluler, dan lainnya.



Gambar 2.1 Kelebihan Proses PIM Dibandingkan Dengan Proses – Proses Yang Lain (Cremer dalam Prandananta, 1994)



Gambar 2.2 Keistimewaan Proses *Plastic Injection Molding* ( *PIM* ) (Moller dalam Prandananta, 1994)

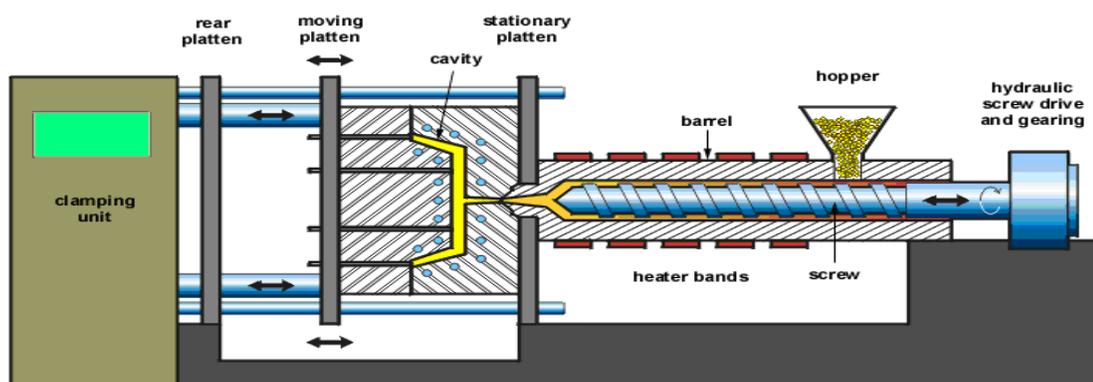
Pada gambar 2.3 menunjukkan serangkaian langkah kerja, dimulai dari pemasukan *plastic granule* kedalam *hopper*, setelah itu menuju *barrel* yang didalamnya terdapat *screw* yang berfungsi untuk mengalirkan material leleh yang telah dipanasi oleh *barrel* menuju *nozzle*. Material yang sudah dipanasi dan berubah menjadi lunak ini akan terus didorong/ ditekan melalui *nozzle* dengan injektor dan melewati *sprue* ke dalam rongga cetak (*cavity*) dari cetakan yang sudah tertutup.

Umumnya siklus proses *injection moulding* adalah sebagai berikut:

1. Cetakan menutup (*Mould Closing*);
2. Injeksi material ke dalam cetakan (*injection*);
3. Menekan material dalam waktu tertentu (*holding pressure*);
4. Pendinginan material plastik di dalam cetakan (*cooling*);

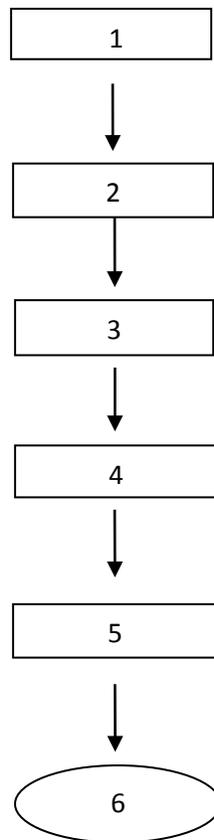
Bersamaan dengan pendinginan, terjadi pengisian material plastik dalam barel (*plasticizing*), screw mundur (dekompresi), kemudian barel mundur;

5. Cetakan membuka (*Mould Opening*);
6. Ejector mendorong mould;
7. Ejector mundur (produk turun), setelah itu kembali lagi ke langkah awal.



Gambar 2.3. Unit Mesin *Injction Moulding* (Gutowski dalam Jamaludin, 2002)

Langkah kerja pada proses *injection molding* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4 Skema proses *injection molding*

Keterangan skema Gambar 2.4:

1. Material yang berupa biji plastik dimasukkan kedalam *hopper*. Karena akibat dari gaya gravitasi maka biji plastik akan turun dengan sendirinya masuk ke dalam rongga ulir pada *screw*.
2. *Screw* tersebut bergerak mundur dan berputar berlawanan arah jarum jam membawa butiran-butiran biji plastik ke *barrel* untuk dipanasi hingga biji plastik meleleh.
3. Bila *screw* mundur hingga mencapai batas yang telah ditentukan, maka *screw* akan berhenti berputar dan bergerak maju untuk mendorong biji

plastik yang sudah meleleh masuk ke dalam mould melalui *nozzle* (proses injeksi).

4. Setelah melakukan penginjeksian, *screw* akan berhenti untuk melakukan *holding pressure* dan setelah itu terjadi proses pendinginan pada cetakan.
5. Setelah proses pendinginan pada cetakan selesai, *screw* akan mundur untuk melakukan pengisian *barrel*. Pada saat itu *clamping unit* akan bergerak untuk membuka mould dan produk dikeluarkan oleh *ejector* yang telah terpakai di dalam *mould (full automatic)*. Bila sistem *ejector semiautomatic* maka *ejector* mendorong produk tetapi tidak sampai keluar dari *mould*, diperlukan tenaga operator untuk mengeluarkan produk.
6. Setelah produk keluar dari mould, maka *clamping unit* akan menutup cetakan dan *screw* melakukan penginjeksian lagi seperti pada langkah awal.

## 2.2 Parameter Proses Injection Molding

Untuk memperoleh produk cetak dengan kualitas hasil yang optimal, perlu mengatur beberapa parameter yang mempengaruhi jalannya proses produksi tersebut. Parameter-parameter suatu proses tentu saja ada yang berperan sedikit dan adapula yang mempunyai peran yang signifikan dalam mempengaruhi hasil produksi yang diinginkan. Biasanya orang perlu melakukan beberapa kali percobaan hingga ditemukan parameter-parameter apa saja yang cukup berpengaruh terhadap produk akhir benda cetak. (Firdaus, 2002)

Adapun parameter-parameter yang berpengaruh terhadap proses produksi plastik melalui metoda injection molding adalah:

- Temperatur leleh (melt temperature)

Adalah batas temperatur dimana bahan plastik mulai meleleh kalau diberikan energi panas.

- **Batas tekanan (pressure limit)**  
Adalah batas tekanan udara yang perlu diberikan untuk menggerakkan piston guna menekan bahan plastik yang telah dilelehkan. Terlalu rendah tekanan, maka bahan plastik kemungkinan tidak akan keluar atau terinjeksi ke dalam cetakan. Akan tetapi jika tekanan udara terlalu tinggi dapat mengakibatkan tersemburnya bahan plastik dari dalam cetakan dan hal ini akan berakibat proses produksi menjadi tidak efisien.
- **Waktu tahan (holding time)**  
Adalah waktu yang diukur dari saat temperatur leleh yang di-set telah tercapai hingga keseluruhan bahan plastik yang ada dalam tabung pemanas benar-benar telah meleleh semuanya. Hal ini dikarenakan sifat rambatan panas yang memerlukan waktu untuk merambat ke seluruh bagian yang ingin dipanaskan. Dikhawatirkan jika waktu tahan ini terlalu cepat maka sebagian bahan plastik dalam tabung pemanas belum meleleh semuanya, sehingga akan mempersulit jalannya aliran bahan plastik dari dalam nozzle.
- **Waktu penekanan (holding pressure)**  
Adalah durasi atau lamanya waktu yang diperlukan untuk memberikan tekanan pada piston yang mendorong plastik yang telah leleh. Pengaturan waktu penekanan bertujuan untuk meyakinkan bahwa bahan plastik telah benar-benar mengisi ke seluruh rongga cetak. Oleh karenanya waktu penekanan ini sangat tergantung dengan besar kecilnya dimensi cetakan (mold). Makin besar ukuran cetakan makin lama waktu penekan yang diperlukan.
- **Temperatur cetakan (mould temperature)**  
Yaitu temperatur pemanasan awal cetakan sebelum dituangi bahan plastik yang meleleh.
- **Kecepatan injeksi (injection rate)**  
Yaitu kecepatan lajunya bahan plastik yang telah meleleh keluar dari nozzle untuk mengisi rongga cetak. Untuk mesin-mesin injeksi tertentu kecepatan ini

dapat terukur, tetapi untuk mesin-mesin injeksi sederhana kadang-kadang tidak dilengkapi dengan pengukur kecepatan ini.

- Ketebalan dinding cetakan (wall thickness )  
Menyangkut desain secara keseluruhan dari cetakan (moulding). Semakin tebal dinding cetakan, semakin besar kemungkinan untuk terjadinya cacat shrinkage.

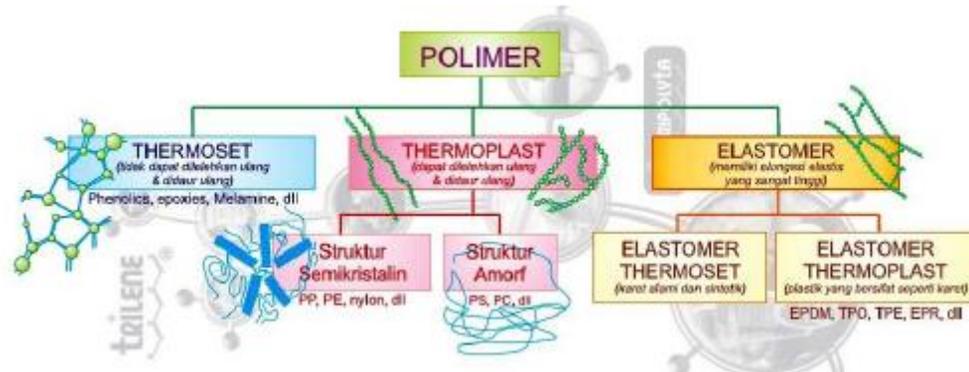
### 2.3 Pengenalan Plastik

Secara umum plastik diartikan sebagai material bukan logam yang dapat dicetak untuk didapatkan suatu bentuk yang diinginkan. Selain itu plastik merupakan kelompok dari resin sintesis dan alami beserta campurannya yang dapat dicetak, dituang, diekstrusi, ataupun digunakan sebagai pelapis atau bentuk lapisan. Sumber bahan bakunya adalah batu bara, minyak bumi, atau hasil bumi (nabati) (Fahrizal, 2009).

Pada dasarnya plastik secara umum digolongkan ke dalam 3 (tiga) macam dilihat dari temperturnya (Ilham, 2007), yakni :

1. Bahan Thermoplastik (*Thermoplastic*) yaitu akan melunak bila dipanaskan dan setelah didinginkan akan dapat mengeras. Contoh bahan thermoplastik adalah : Polistiren, Polietilen, Polipropilen, Nilon, Plastik fleksiglass dan Teflon.
2. Bahan Thermoseting (*Thermosetting*) yaitu plastik dalam bentuk cair dan dapat dicetak sesuai yang diinginkan serta akan mengeras jika dipanaskan dan tetap tidak dapat dibuat menjadi plastik lagi. Contoh bahan thermosetting adalah : Bakelit, Silikon dan Epoksi.
3. Bahan Elastis (*Elastomer*) yaitu bahan yang sangat elastis. Contoh bahan elastis adalah : karet sintesis.

Berikut pembagian polymer secara umum:



Gambar 2.5 Klasifikasi Polimer

( sumber : Pengetahuan Dasar Plastik, penerbit : PT. Tri Polyta Indonesia, tbk )

Polimer memiliki beberapa karakteristik untuk menggambarkan sifat fisik dan sifat kimianya. Sifat-sifat tersebut akan mempengaruhi aplikasi penggunaan polimer tersebut. Karakteristik polimer antara lain :

#### 1. *Crystallinity* (kristalinitas)

Struktur polimer yang tidak tersusun secara teratur umumnya memiliki warna transparan. Karakteristik ini membuat polimer dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti pembungkus makanan, kontak lensa dan sebagainya. Semakin tinggi derajat kristalinasinya, semakin sedikit cahaya yang dapat melewati polimer tersebut.

#### 2. *Thermosetting* dan *Thermoplastic* (Daya tahan terhadap panas)

Berdasarkan ketahanannya terhadap panas, polimer dibedakan menjadi polimer *thermoplastic* dan *thermosetting*. Polimer *thermoplastic* dapat melunak bila dipanaskan, sehingga jenis polimer ini dapat dibentuk ulang. Sedangkan polimer *thermosetting* setelah dipanaskan tidak dapat dibentuk ulang. Ketahanan polimer terhadap panas ini membuatnya dapat digunakan

pada berbagai aplikasi antara lain untuk insulasi listrik, insulasi panas, penyimpanan bahan kimia dan sebagainya.

### 3. *Branching* (percabangan)

Semakin banyak cabang pada rantai polimer maka densitasnya akan semakin kecil. Hal ini akan membuat titik leleh polimer berkurang dan elastisitasnya bertambah karena gaya ikatan intermolekularnya semakin lemah.

### 4. *Tacticity* (taktisitas)

Taktisitas menggambarkan susunan isomerik gugus fungsional dari rantai karbon. Ada tiga jenis taktisitas yaitu isotaktik dimana gugus-gugus substituenya terletak pada satu sisi yang sama, sindiotaktik dimana gugus-gugus substituenya lebih teratur, dan ataktik dimana gugus-gugus substituenya terletak pada sisi yang acak.

Beberapa keuntungan plastik (Ilham, 2007) adalah:

1. Massa jenis rendah (0,9 - 2,2 [g/cm<sup>3</sup>])
2. Tahan terhadap arus listrik dan panas, memiliki sedikit elektron bebas untuk mengalirkan panas dan arus listrik.
3. Tahan terhadap korosi kimia karena tidak terionisasi untuk membentuk elektron kimia. Pada umumnya tahan terhadap larutan kimia, dan logam juga sangat sukar untuk larut.
4. Mempunyai permukaan dan penampakan yang sangat baik dan mudah diwarnai.

Beberapa kerugian plastik (Ilham, 2007) adalah:

1. Modulus elastisnya rendah.
2. Mudah mulur (*Creep*) pada suhu kamar.

3. Maksimum temperatur nominalnya rendah.
4. Mudah patah pada sudut bagian yang tajam.

## **2.4 Sifat Mekanik Polimer**

### **2.4.1 Kekuatan (Strength)**

Menurut Rahmat (2007) Kekuatan merupakan salah satu sifat mekanik dari polimer. Ada beberapa macam kekuatan dalam polimer, diantaranya yaitu:

#### **A. Kekuatan Tarik (Tensile Strength) (Rahmat, 2007)**

Kekuatan tarik adalah tegangan yang dibutuhkan untuk mematahkan suatu sampel. Kekuatan tarik penting untuk polymer yang akan ditarik, contohnya fiber, harus mempunyai kekuatan tarik yang baik.

#### **B. Compressive strength (Rahmat, 2007)**

Adalah ketahanan terhadap tekanan. Beton merupakan contoh material yang memiliki kekuatan tekan yang bagus. Segala sesuatu yang harus menahan berat dari bawah harus mempunyai kekuatan tekan yang bagus.

#### **C. Flexural strength (Rahmat, 2007)**

Adalah ketahanan pada bending (flexing). Polimer mempunyai flexural strength jika dia kuat saat dibengkokkan.

#### **D. Impact strength (Rahmat, 2007)**

Adalah ketahanan terhadap tegangan yang datang secara tiba-tiba. Polimer mempunyai kekuatan impak jika dia kuat saat dipukul dengan keras secara tiba-tiba seperti dengan palu.

#### 2.4.2 Elongation

Menurut Rahmat (2007) semua jenis kekuatan memberitahu kita berapa tegangan yang dibutuhkan untuk mematahkan sesuatu, tetapi tidak memberitahu kita tentang apa yang terjadi pada sampel kita saat kita mencoba untuk mematahkannya, itulah kenapa kita mempelajari elongation dari polimer. Elongasi merupakan salah satu jenis deformasi. Deformasi merupakan perubahan ukuran yang terjadi saat material di beri gaya. % Elongasi adalah panjang polimer setelah di beri gaya (L) dibagi dengan panjang sampel sebelum diberi gaya ( $L_0$ ) kemudian dikalikan 100%. Elongation-to-break (ultimate elongation) adalah regangan pada sampel pada saat sampel patah. Elastomer memiliki ultimate elongation yang tinggi.

#### 2.4.3 Modulus

Modulus diukur dengan menghitung tegangan dibagi dengan elongasi. Satuan modulus sama dengan satuan kekuatan (N/cm<sup>2</sup>) (Rahmat, 2007).

#### 2.4.4 Ketangguhan (Toughness)

Ketangguhan adalah pengukuran sebenarnya dari energi yang dapat diserap oleh suatu material sebelum material tersebut patah (Rahmat, 2007).

### 2.5 Komposit

Kata komposit berasal dari kata “*to compose*” yang berarti menyusun atau menggabung. Secara sederhana bahan komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan. Jadi komposit adalah suatu bahan yang merupakan gabungan atau campuran dari dua material atau lebih pada skala makroskopis untuk membentuk material ketiga yang lebih bermanfaat. Komposit dan *alloy* memiliki perbedaan dari cara penggabungannya yaitu apabila komposit digabung secara makroskopis sehingga masih kelihatan serat maupun matriknya (komposit serat)

sedangkan pada *alloy* / paduan digabung secara mikroskopis sehingga tidak kelihatan lagi unsur-unsur pendukungnya ( Jones, 1975).

Sesungguhnya ribuan tahun lalu material komposit telah dipergunakan dengan memanfaatkannya serat alam sebagai penguat. Dinding bangunan tua di Mesir yang telah berumur lebih dari 3000 tahun ternyata terbuat dari tanah liat yang diperkuat jerami (Jamasri, 2008). Seorang petani memperkuat tanah liat dengan jerami, para pengrajin besi membuat pedang secara berlapis dan beton bertulang merupakan beberapa jenis komposit yang sudah lama kita kenal. Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu:

1. Penguat (*reinforcement*), yang mempunyai sifat kurang *ductile* tetapi lebih *rigid* serta lebih kuat.
2. Matrik, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah.

Pada material komposit sifat unsur pendukungnya masih terlihat dengan jelas, sedangkan pada *alloy* / paduan sudah tidak kelihatan lagi unsur-unsur pendukungnya. Salah satu keunggulan dari material komposit bila dibandingkan dengan material lainnya adalah penggabungan unsur-unsur yang unggul dari masing-masing unsur pembentuknya tersebut. Sifat material hasil penggabungan ini diharapkan dapat saling melengkapi kelemahan-kelemahan yang ada pada masing-masing material penyusunnya. Sifat-sifat yang dapat diperbaharui (Jones, 1975) antara lain :

Sifat-sifat yang dapat diperbaiki antara lain:

- a. kekuatan (*Strength*)
- b. kekakuan (*Stiffness*)
- c. ketahanan korosi (*Corrosion resistance*)
- d. ketahanan gesek/aus (*Wear resistance*)
- e. berat (*Weight*)

f. ketahanan lelah (*Fatigue life*)

g. meningkatkan konduktivitas panas

h. tahan lama

Secara alami kemampuan tersebut diatas tidak ada semua pada waktu yang bersamaan (Jones, 1975). Sekarang ini perkembangan teknologi komposit mulai berkembang dengan pesat. Komposit sekarang ini digunakan dalam berbagai variasi komponen antara lain untuk otomotif, pesawat terbang, pesawat luar angkasa, kapal dan alat - alat olah raga seperti ski, golf, raket tenis dan lain-lain.

### 2.5.1 Serat

Serat atau fiber dalam bahan komposit berperan sebagai bagian utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan (diameter serat mendekati ukuran kristal) maka semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material (Triyono & Diharjo , 2000). Selain itu serat (fiber) juga merupakan unsur yang terpenting, karena seratlh nantinya yang akan menentukan

sifat mekanik komposit tersebut seperti kekakuan, keuletan, kekuatan dan sebagainya. Fungsi utama dari serat adalah:

- Sebagai pembawa beban. Dalam struktur komposit 70% - 90% beban dibawa oleh serat.
- Memberikan sifat kekakuan, kekuatan, stabilitas panas dan sifat-sifat lain dalam komposit.
- Memberikan insulasi kelistrikan (konduktivitas) pada komposit, tetapi ini tergantung dari serat yang digunakan.

### 2.5.2 Matrik

Bahan pengikat (matriks) merupakan suatu bahan penyusun material komposit yang fungsinya untuk mengikat bahan pengikat secara bersama-sama membentuk suatu unit struktur atau elemen material komposit yang mampu menerima beban (Hery, 2010).

Bahan yang mampu digunakan sebagai matriks adalah berupa bahan metal atau polimer. Untuk saat ini polimer cenderung digunakan karena lebih ringan dan lebih tahan terhadap abrasi, sedangkan fungsi matriks dalam material komposit adalah menjaga agar *filler* (pengisi) tetap dalam struktur kompositnya, membantu mendistribusikan beban yang diterima oleh komposit, melindungi *filler* dari kerusakan yang ditimbulkan lingkungan sekitarnya (Hery, 2010). Salah satu bahan polimer yang dapat dijadikan matrik dalam komposit adalah polipropilena.

## 2.6 Bahan Baku

### 2.6.1 *Polypropylene (PP)*

*Polypropylene* (PP) adalah sebuah polimer termoplastik yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi, di antaranya pengemasan, tekstil (contohnya tali, pakaian dalam termal, dan karpet), alat tulis, berbagai tipe wadah terpakaikan ulang serta bagian plastik, perlengkapan laboratorium, pengeras suara, komponen otomotif, dan uang kertas polimer (Hartono, 2012).

*Polypropylene* merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena. Polipropilena mempunyai *specific gravity* rendah dibandingkan dengan jenis plastik lain. Sebagai perbandingan terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan specific gravity dari berbagai material plastik (Imam, 2005).

Resin	Specific Gravity
PP	0,85 - 0,90
LDPE	0,91 - 0,93
HDPE	0,93 – 0,96
Polistirena	1,05 – 1,08
ABS	0,99 – 1,10
PVC	1,15 – 1,65
Asetil Selulosa	1,23 – 1,34
Nylon	1,09 – 1,14
Poli Karbonat	1,20
Poli Asetat	1,38

*Polypropylene* mempunyai titik leleh yang cukup tinggi (190 - 200 °C), sedangkan titik kristalisasinya antara 130 – 135 °C. Untuk temperatur proses polipropilena rata-rata 200 °C – 300 °C. Polipropilena mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia (*Chemical Resistance*) yang tinggi, tetapi ketahanan pukul (*impact strength*) nya rendah (Imam, 2005). Sifat-sifat yang lain dari propilena antara lain sebagai berikut:

- a. lebih tahan panas
- b. keras, flexible, dapat tembus cahaya
- c. ketahanan kimianya bagus

Polipropelena dapat diproses dengan berbagai macam metode, antara lain *injection moulding*, *ekstrusi* dan *blow moulding*. *Injection moulding* menghasilkan produk-produk dalam bentuk profil, seperti *cap*, tutup botol dan *cup of ice cream*. *Blow moulding* menghasilkan produk berlubang seperti botol dan galon air minum.

Tabel 2.2 Sifat-sifat *Polypropylene*

Sifat-sifat	Polypropylene
Kristalinitas	60%
Massa jenis [ $10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ ]	0,90
Tg [ $^{\circ}\text{C}$ ]	10
Tm [ $^{\circ}\text{C}$ ]	176
Tegangan Tarik [ $\text{N.mm}^{-2}$ ]	30 sampai 40
Modulus Tarik [ $\text{N.mm}^{-2}$ ]	1,1 sampai 1,6
Perpanjangan [%]	50 sampai 600

Sumber : Hadi Syamsul, Ir. 1995 , "Teknologi Bahan 3", Hal 36

Catatan:

Tg = Temperatur tansisi kaca yaitu temperatur dimana polimer berubah dari keadaan beku (rigid) ke suatu bahan yang liat (*fleksible*)

Tm = Tempertur leleh yaitu pada saat kritanilitas tidak tampak

### 2.6.2 Arang Kayu

Secara umum, arang merupakan suatu benda padat berpori yang mengandung 85-95% karbon, dan dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Ketika pemanasan

berlangsung, diusahakan agar tidak terjadi kebocoran udara didalam ruangan pemanasan sehingga bahan yang mengandung karbon tersebut hanya terkarbonisasi dan tidak teroksidasi. Dalam artian zat karbonnya tidak terkotori oleh udara atau  $O_2$ . Arang selain digunakan sebagai bahan bakar, juga dapat digunakan sebagai adsorben (penyerap) (Move Indonesia, 2007).

Arang kayu adalah arang yang terbuat dari bahan dasar kayu. Arang kayu paling banyak digunakan untuk keperluan memasak. Sedangkan penggunaan arang kayu yang lainnya adalah sebagai penjernih air, penggunaan dalam bidang kesehatan, dan masih banyak lagi. Bahan kayu yang digunakan untuk dibuat arang kayu adalah kayu yang masih sehat, dalam hal ini kayu belun membusuk.

Ikatan karbon-karbon (C-C) merupakan ikatan atom yang sangat kuat. Potensi kekuatan karbon dapat disimpulkan dari kenyataan bahwa intan yang juga terdiri dari karbon adalah material terkeras yang pernah ada. Dengan perkembangan teknologi material, sampai pada saat ditemukannya material komposit, kekuatan ikatan C-C ini tetap diperhitungkan. Ketika diperlukan material untuk penguat untuk komposit yang berupa serat, maka serat karbon menjadi salah satu alternatif penguat komposit (Farid & Sulistijono, 1999).

Dari beberapa jenis serat selain dari serat karbon, yaitu serat kaca (*glassfibre*), serat boron dan beberapa material lainnya seperti silikon karbida dan aluminium oksida, masing-masing mempunyai kekurangan dan kelebihan. Perbandingan biasanya dilakukan untuk serat panjang (kontinu) bukan pada serat pendek. Dari segi kekakuan, serat karbon dan boron lebih *rigid* dari serat kaca. Dari segi ketahanan terhadap temperatur, serat karbon dan boron jauh lebih tahan terhadap temperatur tinggi daripada serat kaca. Selanjutnya, perlu diketahui bahwa karbon adalah satu-satunya material yang bertambah kuat pada saat temperaturnya meningkat (Farid & Sulistijono, 1999).



Gambar 2.6 Arang Kayu (Move Indonesia, 2007)

## 2.7 Pencampuran

### 2.7.1 Teori Pencampuran

Pencampuran adalah tahap pertama pada proses PIM dan proses ini sangat penting untuk menentukan keberhasilan proses. Pencampuran ini dimaksudkan untuk membuat sifat bahan campuran menjadi lebih seragam dan juga menjaga batas keseragaman yang diinginkan pada keadaan yang optimal sejak proses pencampuran hingga proses pensinteran. Tujuan pencampuran adalah untuk melapisi partikel dengan bahan pengikat, memecah gumpalan-gumpalan dan untuk memperoleh butiran ukuran partikel yang homogen pada proses injection molding (Ilham, 2007).

Dalam proses pencampuran suatu bahan selalu dilakukan pada suhu tertentu bergantung pada jenis bahan yang digunakan. Pencampuran dilakukan pada suhu rata-rata yaitu sekitar 190°C. dimana tegangan shear stress lebih dominan, untuk bahan pengikat termoplastik. Diperlukan pemanasan ini untuk menurunkan viskositas campuran.

### 2.7.2 Metode Pencampuran

Proses pencampuran memungkinkan bahan pengikat akan menyatu diantara permukaan partikel bahan campuran untuk mencapai keseragaman. Tingkat keseragaman diperoleh berdasarkan sifat alami (dasar) dari setiap komponen campuran dan tehnik pencampurannya serta pengaruh kondisi.

Beberapa tehnik dalam proses pencampuran dapat diuraikan sebagai berikut :

#### 1. Pencampuran secara Mekanik

Pencampuran antara dua atau lebih bahan plastik pada titik cairnya merupakan praktek proses pemecahan secara langsung. Komposisi campuran sudah ditemukan dan ditentukan dengan jelas. Pencampuran mekanik molekul plastik pada titik cairnya diperkirakan akan berjalan lambat dan tidak utuh. Suhu pencampuran harus diatas suhu transisi bahan kaca,  $T_g$ , dari unsur plastik yang menjadi komponen dalam campuran dan diatas suhu cair,  $T_m$ , dari unsur campuran plastik semikristalin. Untuk alasan ekonomi, pencampuran secara mekanik lebih mendominasi. Ukuran partikel pada fase pemisahan sangat perlu dipertimbangkan untuk mengoptimalkan kinerja campuran. Biasanya pencampuran mekanik hanya memproduksi campuran kasar. Sifat campuran sangat dipengaruhi oleh kecepatan dan suhu pencampuran (Ilham, 2007).

#### 2. Solusi Pencampuran (*Solution Mixer*)

Pada metode ini, bahan plastik yang dicampur akan menyatu bersama dengan pelarut. Hal ini akan menghilangkan atau paling tidak meminimalisir permasalahan kinetik yang terjadi selama proses pencampuran yang tidak sempurna dan perubahan struktur kimia yang disebabkan oleh panas dan shear stress (Ilham, 2007).

#### 3. Polimerisasi

Metode polimerisasi digunakan untuk mempersiapkan campuran bahan plastik, terutama pada polimerisasi emulsi. Bahan-bahan plastik dibutuhkan dalam bentuk latek atau emulsi. Proses pencampuran bahan latek yang ukurannya sangat kecil,

akan berkurang dalam skala satu mikron atau lebih, saat pemisahan yang sempurna oleh air. Tidak ada pengaruh panas, tegangan dan bahan pengikat, jika latek diuapkan atau dibekukan. Campuran bahan plastik yang padat biasanya dapat diperoleh dengan proses pemisahan antara kedua komponen (Ilham, 2007).

#### 4. Pencampuran Reaksi

Metode pencampuran reaksi merupakan satu metode yang begitu inovatif. Penggunaan metode ini memudahkan dalam penyamarataan sifat dan karakteristik bila terdapat material baru yang memiliki ketidaksesuaian yang tinggi. Proses ini seringkali melibatkan penambahan bahan reaktif ketiga, seperti bahan multifungsional co-polimer atau katalis trans-reactive (Ilham, 2007).

Peningkatan kemampuan campuran reaktif untuk memperlihatkan efek emulsi rantai plastik atau bahan co-polimer tambahan yang terbentuk selama proses pencampuran. Campuran yang lebih sempurna dengan tingkat produktif yang tinggi dapat diperoleh dengan metode ini, tetapi harus melalui pengendalian proses produksi yang lebih intensif (Prandananta, 2010)

#### 2.7.3 Faktor yang Mempengaruhi Sifat Campuran

Menurut Ilham (2007) pada umumnya pencampuran diproses dengan mesin penggulung, mesin penekan, mesin injeksi molding, atau mesin pencampur yang intensif. Pengembangan mikrostruktur diawali sejak komponen pencampuran mengalami kontak fisik ketika struktur mengalami pendinginan selama proses. Dengan kata lain, proses ini mengalami pelelehan campuran, pembentukan dan pemadatan. Kebanyakan teknik konvensional pelelehan campuran menghasilkan campuran yang berbeda fase. Biasanya komponen minor fase ini dipisahkan dalam bentuk komponen fase yang kontiniu. Jika campuran dipisahkan pada beberapa temperatur maka domain dari komponen minor akan mengalami pertambahan ukuran. Dengan pencampuran mekanik, beberapa molekul komponen yang terpisah secara pemanasan terbuka akan bergabung dan menjadi domain. Oleh sebab itu campuran mengalami pemisahan fase.

## 2.8 Uji Impact

Pengujian impact bertujuan untuk mengukur berapa energi yang dapat diserap suatu material sampai material tersebut patah. Pengujian impact merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba (beban impact) (Calliester, 2007). Dalam pengujian impact terdiri dari dua teknik pengujian standar yaitu *Charpy* dan *Izod*. Pada pengujian standar *Charpy* dan *Izod*, dirancang dan masih digunakan untuk mengukur energy impact yang juga dikenal dengan ketangguhan takik (Calliester, 2007).

Spesimen *Charpy* berbentuk batang dengan penampang lintang bujur sangkar dengan takikan V oleh proses permesinan (gambar 2.5.a). Mesin pengujian impact diperlihatkan secara skematik dengan (gambar 2.5.b). Beban didapatkan dari tumbukan oleh palu pendulum yang dilepas dari posisi ketinggian  $h$ . Spesimen diposisikan pada dasar seperti pada (gambar 2.5.b) tersebut. Ketika dilepas, ujung pisau pada palu pendulum akan menabrak dan mematahkan spesimen di takikannya yang bekerja sebagai titik konsentrasi tegangan untuk pukulan impact kecepatan tinggi. Palu pendulum akan melanjutkan ayunan untuk mencapai ketinggian maksimum  $h'$  yang lebih rendah dari  $h$ . Energi yang diserap dihitung dari perbedaan  $h'$  dan  $h$  ( $mgh - mgh'$ ), adalah ukuran dari energi impact. Posisi simpangan lengan pendulum terhadap garis vertikal sebelum dibenturkan adalah  $\alpha$  dan posisi lengan pendulum terhadap garis vertikal setelah membentur spesimen adalah  $\beta$ . Dengan mengetahui besarnya energi potensial yang diserap oleh material maka kekuatan impact benda uji dapat dihitung (Standar ASTM D256-00).

$$E_{\text{serap}} = \text{energi awal} - \text{energi yang tersisa}$$

$$= m.g.h - m.g.h'$$

$$= m.g.(R-R\cos \alpha) - m.g.(R- R.\cos \beta)$$

$$E_{\text{srp}} = mg.R.(\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots[2.1]$$

dimana :

$E_{srp}$  : energi serap (J)

$m$  : berat pendulum (kg)

$g$  : percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$R$  : panjang lengan (m)

$\alpha$  : sudut pendulum sebelum diayunkan

$\beta$  : sudut ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen

Harga impact dapat dihitung dengan:

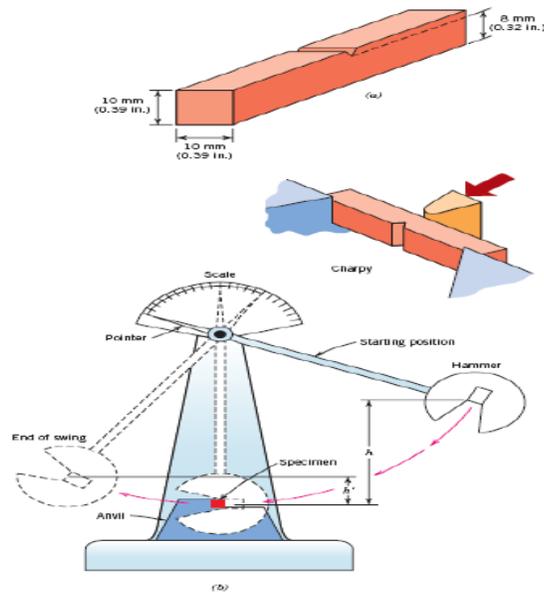
$$HI = E_{srp} / A_0 \dots\dots\dots[2.2]$$

dimana :

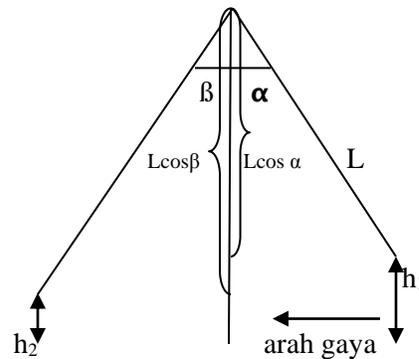
$HI$  : Harga Impact ( $J/mm^2$ )

$E_{srp}$  : energi serap (J)

$A_0$  : Luas penampang ( $mm^2$ )



Gambar 2.7. (a) Spesimen yang digunakan untuk pengujian impak. (b) Skematik peralatan uji impak. (Callister, 2007).



Gambar 2.8. Skema uji impak

Pengujian *impak* dapat diidentifikasi sebagai berikut :

1. Material yang getas, bentuk patahannya akan bermukaan merata, hal ini menunjukkan bahwa material yang getas akan cenderung patah akibat tegangan normal.
2. Material yang ulet akan terlihat meruncing, hal ini menunjukkan bahwa material yang ulet akan patah akibat tegangan geser.

3. Semakin besar posisi sudut  $\beta$  akan semakin getas, demikian sebaliknya. Artinya pada material getas, energi untuk mematahkan material cenderung semakin kecil, demikian sebaliknya.

## 2.9 Pengolahan Data dengan Regresi

Analisis dan pengujian data yang diperoleh pada saat penelitian akan diuji menggunakan metode analisis regresi linier berganda. Untuk mengetahui pengaruh antara temperatur *barrel* dan tekanan silinder terhadap kekuatan *impact* yang dihasilkan melalui proses *injection moulding* serta untuk memudahkan menganalisis dan menarik kesimpulan dari hasil percobaan, maka digunakan asumsi bahwa kekuatan *impact* ( $HI$ ) merupakan fungsi dari temperatur *barrel* ( $Tb$ ), dan tekanan silinder ( $Pc$ ) dengan demikian dapat dituliskan fungsi sebagai berikut:

$$HI = \beta (Tb.Ka) \dots \dots \dots [2.4]$$

Dimana:

$HI$  = kekuatan *impact*

$\beta$  = pernyataan fungsi

$Tb$  = temperatur *barrel*

$Ka$  = komposisi arang

dari fungsi di atas dapat diubah menjadi bentuk persamaan matematis sebagai berikut:

$$HI = \beta_0 \cdot Tb^{\beta_1} \cdot Ka^{\beta_2} \dots \dots \dots [2.5]$$

Untuk merubah ke dalam bentuk linier maka bentuk tersebut di atas perlu ditransformasikan ke dalam bentuk logaritma, sehingga menjadi:

$$\log HI = \log \beta_0 + \beta_1 \log Tb + \beta_2 \log Ka \dots \dots \dots [2.6]$$

Persamaan di atas masih perlu ditransformasikan menjadi bentuk/model persamaan regresi linier multiple menjadi:

$$y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots \dots \dots [2.7]$$

Dengan transformasi

$$y = \log HI, X_1 = \log Tb, X_2 = \log Ka \dots \dots \dots [2.8]$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan hubungan atau korelasi antara  $y$  terhadap variabel  $X_1, X_2$  dengan menentukan nilai atau harga konstanta  $\beta_i$ , harga koefisien  $X_1, X_2$  berupa  $\beta_1, \beta_2$ . Untuk menentukan konstanta dan koefisien-koefisien tersebut dilakukan dengan bantuan perangkat lunak atau *software* SPSS 16. Dari hasil pengolahan data didapatkan persamaan regresi, analisa varians dan hubungan antara variabel bebas dan variabel respon satu per satu.

### 2.9.1 Uji Distribusi Normalitas

Uji normalitas adalah untuk melihat apakah nilai residual terdistribusi normal atau tidak. Model regresi yang baik adalah memiliki nilai residual yang terdistribusi normal. Jadi uji normalitas bukan dilakukan pada masing-masing variabel tetapi pada nilai residualnya.

Pengertian normal secara sederhana dapat dianalogikan dengan sebuah kelas. Dalam kelas siswa yang bodoh sekali dan pandai sekali jumlahnya hanya sedikit dan sebagian besar berada pada kategori sedang atau rata-rata. Jika kelas tersebut bodoh semua maka tidak normal, atau sekolah luar biasa. Dan sebaliknya jika suatu kelas banyak yang pandai maka kelas tersebut tidak normal atau merupakan kelas unggulan.

Uji normalitas yang umum digunakan adalah dengan uji Kolmogorov Smirnov.

Perumusan hipotesa untuk uji normalitas, yaitu :

$H_0$  : data normal

$H_a$  : data tidak normal

Dasar pengambilan keputusan untuk uji normalitas :

Signifikansi  $> 0,05$  ( $H_0$  diterima : data normal)

Signifikansi  $< 0,05$  ( $H_0$  ditolak : artinya data tidak normal)

Signifikansi pengujian ini dapat dicari dengan rumus:

$$KS = |S(z_i) - P(z_i)|$$

$$z_i : \frac{(e_i - e)}{s}$$

Dengan:

$z_i$ : transformasi dari nilai  $e_i$

$e_i$  : nilai galat,  $e_i = Y_i - y_i$

$Y_i$ : variabel terikat diperoleh dari percobaan

$y_i$ : variabel terikat diperoleh dari dugaan rumus

$e$  : rata – rata nilai galat

$s$  : simpangan baku nilai galat

$S(z_i)$ : peluang  $z_i$

$P(z_i)$  : peluang proporsional  $z_i$

Jika residual tidak normal tetapi dekat dengan nilai kritis (misalnya signifikansi Kolmogorov Smirnov sebesar 0,049) maka dapat dicoba dengan metode lain yang mungkin memberikan justifikasi normal. Tetapi jika jauh dari nilai normal, maka dapat dilakukan beberapa langkah yaitu: melakukan transformasi data, melakukan trimming data outliers atau menambah data observasi.

### 2.9.2 Uji Homogenitas

Menurut (Sudarmanto, 2005) Uji homogenitas ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah data sampel diperoleh dari populasi yang bervariasi homogen atau tidak. Apabila asumsi data sampel berasal dari populasi yang homogen ini tidak terpenuhi, maka kondisi ini menunjukkan bahwa ragam ( $\mathcal{E}_i$ ) dari masing-masing sampel tidak sama. Apabila terjadi kecenderungan ragam nilai penelitian yang makin besar akibat dari nilai penelitian yang makin besar pula, maka menunjukkan bahwa populasi tersebut tidak bersifat homogen. Oleh karena itu, sebaiknya masing-masing pengamatan mempunyai ragam yang sama, tidak ada kecenderungan ragam makin besar. Untuk melakukan pengujian homogenitas populasi penelitian diperlukan hipotesis sebagai berikut:

- $H_0$  : Data populasi bervariasi homogen
- $H_1$  : Data populasi tidak bervariasi homogen

Uji Homogenitas yang umum digunakan adalah uji Levene Statistic. Untuk menyatakan apakah data berasal dari populasi yang bervariasi homogen atau tidak homogen, Alternatif ukuran yang dapat digunakan untuk menerima atau menolak  $H_0$ .

Menggunakan nilai koefisien F Levene. Apabila ukuran ini digunakan, maka nilai koefisien F Levene tersebut harus dibandingkan dengan nilai kritis F pada tabel. Kriteria pengujian yang digunakan yaitu:

- $H_0$  ditolak bila harga koefisien F Levene  $>$  nilai kritis F tabel pada df1 dan df2 yang sesuai.
- $H_0$  diterima bila harga koefisien F Levene  $\leq$  nilai kritis F tabel pada df1 dan df2 yang sesuai.

### 2.9.3 Uji Multikolinieritas

Uji multikolinieritas adalah untuk melihat ada atau tidaknya korelasi yang tinggi antara variabel-variabel bebas dalam suatu model regresi linear berganda. Jika ada korelasi yang tinggi di antara variabel-variabel bebasnya, maka hubungan antara variabel bebas terhadap variabel terikatnya menjadi terganggu.

Metode yang sering dipergunakan untuk menguji gangguan multikolinieritas adalah dengan variance inflation factor (VIF), dengan asumsi variabel bebas  $X_i$  tidak terjadi multikolinieritas jika nilai VIF kurang dari 10.

Perumusan hipotesa untuk uji multikolinieritas adalah :

$H_0$  : tidak ada multikolinieritas

$H_a$  : terjadi multikolinieritas

Pengambilan keputusan :

Jika  $VIF > 10$  ( $H_0$  ditolak: terjadi multikolinieritas)

Jika  $VIF < 10$  ( $H_0$  diterima: tidak ada multikolinieritas)

Cara lain untuk mendeteksi ada tidaknya multikolinearitas yaitu dengan mengkorelasikan seluruh variabel bebas. Apabila nilai koefisien korelasi  $r \geq 0,8$  maka diindikasikan adanya multikolinearitas.

Dengan rumus:

$$r = \frac{n\Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{\sqrt{n\Sigma X^2 - (n\Sigma X)^2} \sqrt{n\Sigma Y^2 - (n\Sigma Y)^2}}$$

Indikator lainnya yang menunjukkan adanya multikolinearitas adalah nilai F yang sangat tinggi (signifikan), tetapi nilai t pada setiap variabel bebas X tidak ada yang signifikan.

Beberapa alternatif cara untuk mengatasi masalah multikolinearitas adalah sebagai berikut:

- a. Mengganti atau mengeluarkan variabel yang mempunyai korelasi yang tinggi.
- b. Menambah jumlah observasi.

Mentransformasikan data ke dalam bentuk lain, misalnya logaritma natural, akar kuadrat atau bentuk first difference delta.

#### 2.9.4 Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi adalah untuk melihat apakah terjadi korelasi antara suatu periode  $t$  dengan periode sebelumnya ( $t - 1$ ). Secara sederhana adalah bahwa analisis regresi adalah untuk melihat pengaruh antara variabel bebas terhadap variabel terikat, jadi tidak boleh ada korelasi antara observasi dengan data observasi sebelumnya.

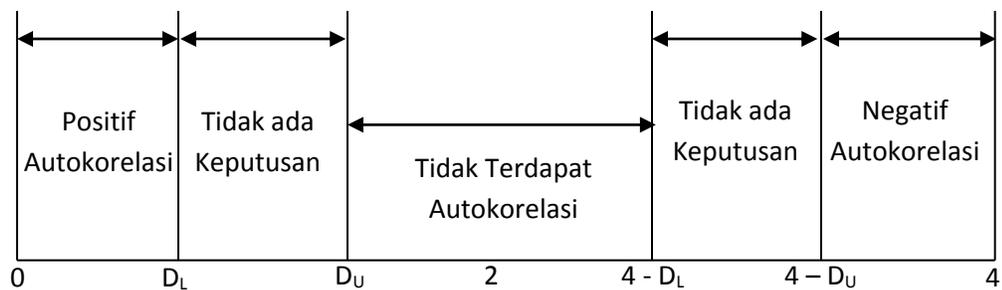
Uji autokorelasi hanya dilakukan pada data time series (runtut waktu) dan tidak perlu dilakukan pada data cross section seperti pada kuesioner di mana pengukuran semua variabel dilakukan secara serempak pada saat yang

bersamaan. Sebagaimana dalam uji linearitas dan uji multikolinear, untuk mengetahui ada tidaknya autokorelasi perlu juga dikemukakan hipotesis dengan bentuk sebagai berikut.

$H_0$  : Tidak terjadi autokorelasi diantara data pengamatan

$H_a$  : Terjadi adanya autokorelasi diantara data pengamatan

Ada tidaknya autokorelasi dalam penelitian ini dideteksi dengan menggunakan uji Durbin-Watson (DW). Dasar pengambilan keputusan uji autokorelasi DW sebagai berikut:



Jika  $0 < DW < D_L$ , maka terdapat positif autokorelasi

Jika  $D_L \leq DW \leq D_U$ , maka tidak ada keputusan

Jika  $D_U < DW < 4 - D_U$ , maka tidak terdapat autokorelasi

Jika  $4 - D_U \leq DW \leq 4 - D_L$ , maka tidak ada keputusan

Jika  $4 - D_L < DW < 4$ , maka terdapat negatif autokorelasi

Nilai  $D_L$  dan  $D_U$  dapat diketahui dari Tabel Durbin Watson dengan menentukan taraf signifikansi 0,05 dan n jumlah data serta k jumlah variabel bebas.

Sedangkan nilai DW dapat dicari dengan rumus berikut:

$$DW = \frac{\sum(e_i - e_{i-1})^2}{\sum e_i^2}$$

Dengan:

$e_i$  : nilai galat,  $e_i = Y_i - y_i$

$Y_i$ : variabel terikat diperoleh dari percobaan

$y_i$ : variabel terikat diperoleh dari dugaan rumus

Beberapa cara untuk menanggulangi masalah autokorelasi adalah dengan mentransformasikan data atau bisa juga dengan mengubah model regresi ke dalam bentuk persamaan beda umum (generalized difference equation). Selain itu juga dapat dilakukan dengan memasukkan variabel lagi dari variabel terikatnya menjadi salah satu variabel bebas, sehingga data observasi menjadi berkurang 1.

#### 2.9.5 Uji Linieritas

Uji linearitas dipergunakan untuk melihat apakah model yang dibangun mempunyai hubungan linear atau tidak. Uji ini jarang digunakan pada berbagai penelitian, karena biasanya model dibentuk berdasarkan telaah teoretis bahwa hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikatnya adalah linear. Hubungan antar variabel yang secara teori bukan merupakan hubungan linear sebenarnya sudah tidak dapat dianalisis dengan regresi linear, misalnya masalah elastisitas.

Jika ada hubungan antara dua variabel yang belum diketahui apakah linear atau tidak, uji linearitas tidak dapat digunakan untuk memberikan adjustment bahwa hubungan tersebut bersifat linear atau tidak. Uji linearitas

digunakan untuk mengkonfirmasi apakah sifat linear antara dua variabel yang diidentifikasi secara teori sesuai atau tidak dengan hasil observasi yang ada. Uji linearitas dapat menggunakan uji Durbin-Watson, Ramsey Test atau uji Lagrange Multiplier.

Perumusan hipotesa untuk uji linearitas, yaitu:

$H_0$  : variabel bebas dan terikat berhubungan linear

$H_a$  : variabel bebas dan terikat tidak berhubungan linear.

#### 2.9.6 Analisis Regresi

Analisis regresi pada dasarnya dilakukan dengan tujuan untuk mengestimasi dan atau memprediksi rata-rata populasi atau nilai rata-rata variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen yang diketahui. Analisis regresi dalam penelitian ini akan dilakukan dengan uji kesesuaian model, pemodelan regresi dan uji parameter individual (uji statistik t).

Untuk syarat dalam penggunaan statistik parametrik yaitu uji normalitas data populasi, uji homogenitas data populasi dan uji independen. Sedangkan persyaratan untuk analisis regresi linier berganda antara lain terdiri dari uji linier garis regresi, tidak terdapat saling berhubungan antara variabel bebas satu dengan variabel lainnya (uji multikolonieritas), tidak terdapat autokorelasi antar data pengamatan dan tidak terjadi adanya heteroskedasitas. Oleh karena itu, sebelum melakukan uji hipotesis terlebih dahulu dilakukan uji persyaratan untuk menggunakan regresi linier berganda (Sudarmanto, 2005).

#### Pengujian Persamaan Regresi

Persamaan regresi yang telah ditemukan harus diuji keabsahannya. Cara pengujiannya yaitu:

1. Uji Kesesuaian Model
2. Uji Individual
3. Pemodelan Regresi

#### 1. Uji Kesesuaian Model (Uji F)

Uji F dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas secara bersama-sama terhadap variabel terikat.

Langkah-langkah/ urutan menguji hipotesa dengan distribusi F:

##### a. Merumuskan hipotesa

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ , berarti secara bersama-sama tidak ada pengaruh variabel  $X_1, X_2$  terhadap variabel terikat.

$H_a : \beta_1 \neq \beta_2 \neq 0$ , berarti secara bersama-sama ada pengaruh variabel  $X_1, X_2$  terhadap variabel terikat.

##### b. Menentukan taraf nyata/ level of significance = $\alpha$

Taraf nyata / derajat keyakinan yang digunakan sebesar  $\alpha = 5\%$ .

Derajat bebas (df) dalam distribusi F yaitu :

$$df = n - k - 1$$

$$Df_1 = k - 1$$

$$Df_2 = n - k - 1$$

Dengan:

$df = \text{degree of freedom}$ / derajat kebebasan

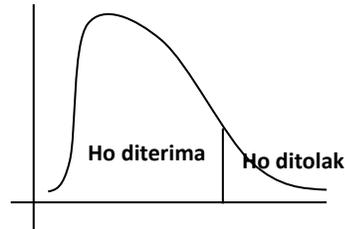
$n = \text{Jumlah sampel}$

$k$  = banyaknya koefisien regresi

c. Menentukan daerah keputusan

$H_0$  diterima apabila  $F$  hitung  $\leq F$  tabel, artinya semua variabel bebas secara bersama-sama bukan merupakan variabel penjelas yang signifikan terhadap variabel terikat.

$H_0$  ditolak apabila  $F$  hitung  $> F$  tabel, artinya semua variabel bebas secara bersama-sama merupakan penjelas yang signifikan terhadap variabel terikat.



d. Mengambil keputusan

Keputusan bisa menerima  $H_0$  atau menolak  $H_0$ .

e. Koefisien Determinasi ( $R^2$ )

Koefisien Determinasi ( $R^2$ ) digunakan untuk mengukur kontribusi variasi variabel bebas  $X_i$  terhadap variasi variabel terikat  $Y$  dalam kaitannya dengan persamaan  $Y = \beta + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$ . Selain itu, digunakan untuk menentukan apakah persamaan regresi berganda  $Y$  terhadap  $X_1, X_2$  sudah cocok untuk digunakan sebagai pendekatan atas hubungan antar variabel berdasarkan hasil observasi.

Makin besar nilai  $R^2$ , berarti makin tepat persamaan regresi digunakan sebagai suatu pendekatan. Apabila nilai  $R^2=1$ , maka pendekatan itu betul-betul tepat. Sebagai hasil analisis suatu penelitian, persamaan

regresi selalu disertai dengan nilai  $R^2$  sebagai ukuran kecocokan (*goodness of fit*).

$R^2$  dinyatakan dengan rumus:

$$R^2 = \frac{\beta_1 \Sigma x_1 y + \beta_2 \Sigma x_2 y}{\Sigma y^2}$$

dengan:

$\beta_i$  : koefisien  $X_i$

$$\Sigma x_i y : \Sigma X_i Y - \frac{\Sigma X_i \Sigma Y}{n}$$

$$\Sigma y^2 : \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{n}$$

maka:

$$F_{hitung} = \frac{R^2 \cdot df}{k(1 - R^2)}$$

$$F_{tabel} = F_{\alpha(k-1, n-k-1)}$$

## 2. Uji Individual (Uji T)

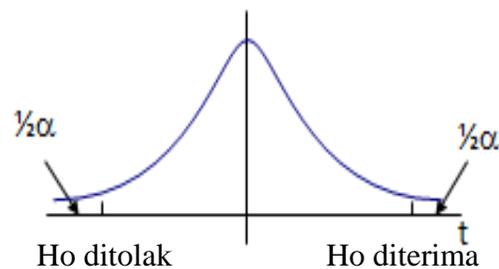
Untuk menguji bisa atau tidaknya model regresi tersebut digunakan, serta untuk menguji kebenaran dari hipotesis yang ada, maka dilakukan pengujian statistik menggunakan uji t. uji statistik t pada dasarnya menunjukkan seberapa jauh pengaruh satu variabel independen secara individual dalam menerangkan variabel independen *significance level* 0,05 dengan hipotesis sebagai berikut:

$H_0 = \beta_i = 0$  tidak terdapat pengaruh signifikan antara variabel independen terhadap dependen.

$H_1 = \beta_i \neq 0$  terdapat pengaruh yang signifikan antara variabel independen terhadap dependen.

$H_0$  ditolak : terdapat pengaruh yang signifikan antara variabel independen terhadap variabel dependen

$H_1$  diterima : terdapat pengaruh signifikan antara variabel independen terhadap variabel dependen.



Kriteria:

Jika  $t_{\text{hitung}} > t_{\text{tabel}}$ , maka  $H_0$  ditolak

### 3. Pemodelan Regresi

$R^2$  sangat berguna untuk mengukur kedekatan antara nilai prediksi dan nilai sesungguhnya dari variabel terikat, semakin besar  $R^2$  maka semakin besar pula hubungan antara variabel terikat dengan satu atau banyak variabel bebas. Untuk membandingkan regresi dengan variabel terikat yang sama, maka digunakan  $R^2$ .

Rumus untuk  $R^2$  adalah:

$$R^2 : 1 - \frac{SSE}{SS_{yy}}$$

Dimana :

$$SSE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$SS_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$\hat{y}_i$  = Nilai taksiran variabel respon ( $y_i$ ) pada suatu model regresi

## 2.10 Hipotesa

Hipotesa yang dibuat pada penelitian ini sebagai berikut:

- Variasi temperatur *barrel* pada paduan PP (*Polypropylene*) dan serbuk arang kayu sangat berpengaruh terhadap kekuatan *impact*. Jadi semakin tinggi temperatur *barrel* maka harga *impact* semakin besar pula.
- Variasi paduan PP (*Polypropylene*) dan serbuk arang kayu sangat berpengaruh terhadap kekuatan *impact*.

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium uji bahan dan bengkel produksi, jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang.

Penelitian ini berlangsung dari bulan April sampai dengan bulan Juni 2013.

### 3.2 Bahan dan Alat

#### 3.2.1 Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan dasar plastik jenis PP (*Polypropylene*) berupa biji plastik dan serbuk arang kayu sebagai *filler*. Serta menggunakan cetakan dari baja ST 37 yang dibentuk sesuai dengan desain spesimen uji *impact*.

#### 3.2.2 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi :

1. Mesin *Injection Molding* Burkert standar penelitian



Gambar 3.1 Mesin *Injection molding*

(Sumber : Lab. Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang)

Keterangan mesin :

- Merk : Burkert
- Model : RN 350
- Tegangan listrik : 220 volt/50 hz/600 watt
- Tekanan mekanis : 10 bar
- Suhu : 1. max : 450°C  
2. min : 20°C

## 2. Mesin uji *impact charpy* standar penelitian



Gambar 3.2 Mesin Uji *Impact*

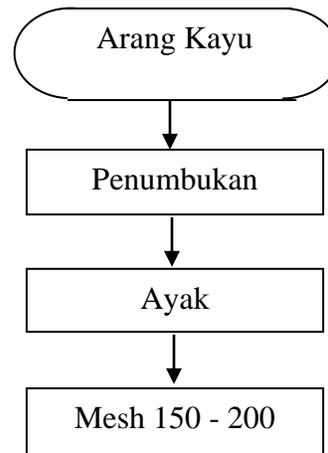
(Sumber : Lab. Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang)

## 3. Timbangan Digital

## 4. Mesin Ayak

### 3.3 Persiapan Serbuk Arang Kayu

Persiapan ini dilakukan untuk mendapatkan serbuk arang kayu dengan ukuran yang seragam. Pengayaan yang dilakukan dengan mesh ukuran 150 – 200.



Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan Serbuk Arang Kayu

#### Keterangan Diagram

1. Arang Kayu

Bahan arang kayu yang digunakan adalah dari sisa-sisa atau limbah kayu yang tidak berguna, kemudian limbah kayu-kayu tersebut dibakar dan selanjutnya disimpan.

2. Penumbukan

Proses penumbukan dilakukan untuk menumbuk(menghaluskan) bahan arang kayu yang nantinya akan diteruskan dengan proses ayak untuk mendapatkan ukuran partikel yang lebih halus.

3. Ayak

Setelah melalui proses pemblenderan, kemudian dilanjutkan dengan proses pengayakan yang bertujuan mendapatkan ukuran partikel yang lebih kecil (halus) lagi yaitu sekitar mesh 150 – 200.

4. Mesh (150 – 200)

Setelah melalui proses pengayakan dan mendapatkan ukuran partikel mesh 150 – 200, serbuk arang kayu sudah siap untuk digunakan.

### 3.4 Pelaksanaan Penelitian

#### 3.4.1 Penetapan Variabel Terikat dan Variabel Bebas

Terdapat banyak variabel proses atau faktor yang berpengaruh terhadap proses *injection molding*. Dalam hal ini terdapat dua jenis variabel yaitu meliputi:

1) Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel prediktor, peneliti tidak dapat mengendalikan besar kecilnya variabel terikat. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel terikat adalah kekuatan *impact*.

2) Variabel Bebas

Merupakan variabel yang besarnya dapat ditentukan dan dikendalikan berdasarkan pertimbangan tertentu dan tujuan dari penelitian itu sendiri. Terdapat banyak variabel yang dapat dikendalikan dalam proses *injection molding*. Akan tetapi dalam penelitian ini dipilih dua faktor kendali yang diduga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan *impact*. Faktor-faktor tersebut adalah temperatur *barrel* paduan PP (*Polypropylene*) dengan serbuk arang kayu.

#### 3.4.2 Pemilihan Parameter

a. Tekanan Silinder

Tekanan silinder yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan tekanan tetap sebesar 8 bar. Pemilihan nilai parameter ini berdasarkan hasil dari penelitian sebelumnya (Hery, 2010) yang telah menggunakan tekanan silinder sebesar 6 bar, 7 bar dan 8 bar.

b. Temperatur Barrel

Temperatur *barrel* yang digunakan pada penelitian ini sebesar 180°C, 190°C dan 200°C. Pemilihan nilai parameter ini berdasarkan atas temperatur ideal dari PP (*Polypropylene*) sebesar 190 °C.

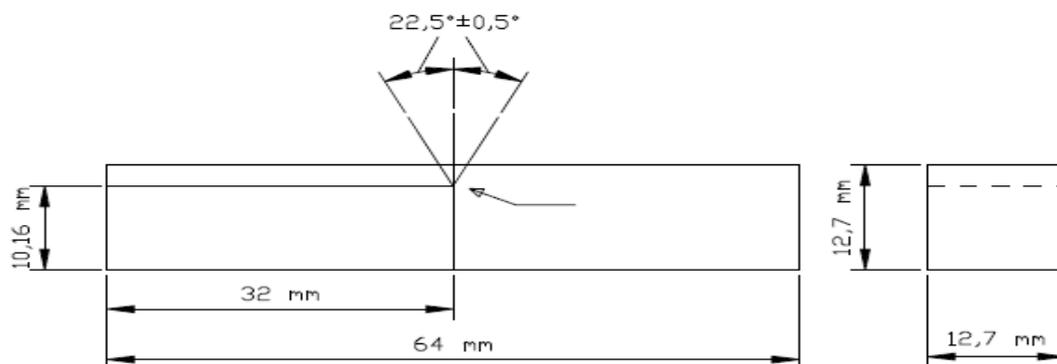
c. Komposisi

Komposisi yang digunakan setiap percobaan pada penelitian ini dengan perbandingan antara PP (*Polypropylene*) dan serbuk arang kayu adalah 60% :40%, 70%:30%, 80%:20%. Pemilihan komposisi perbandingan antara PP (*Polypropylene*) dan serbuk arang kayu 60% :40%, 70%:30%, 80%:20% diambil dari penelitian sebelumnya (Kittinaovarat, 2010) yang telah menggunakan komposisi dari PP dan arang bambu dengan persentase *filler* arang bambu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap kekuatan tarik pada proses *compression moulding*.

### 3.4.3 Prosedur Penelitian

Pengerjaan penelitian ini dilakukan beberapa tahap antara lain :

1. Persiapan mold, *mold* atau cetakan yang akan digunakan dibuat dari bahan besi ST 37. Dengan bentuk benda spesimen uji *impact*;



Gambar 3.4 Dimensi *impact* ASTM D 5942-96

2. Menimbang dan mencampur bahan yang akan di injeksi dengan komposisi perbandingan PP dan serbuk arang kayu sebesar 60%:40%, 70%:30%, 80%:20%;
3. Menyalakan mesin *injection molding*;
4. Mengatur temperatur *barrel* sesuai pada kondisi pertama yang diinginkan pada mesin;

5. Menunggu hingga mesin mencapai kondisi yang maksimum, yaitu mesin dalam kondisi panas;
6. Memasukkan campuran ke dalam *hopper* untuk dilakukan pemanasan dalam *barrel*;
7. Mengatur temperatur *barrel* sesuai dengan ketentuan yaitu 180 °C, 190 °C dan 200 °C. Mengatur tekanan silinder 8 bar;
8. Melakukan percobaan dengan merubah parameter temperatur *barrel* dan komposisi paduan PP (*Polypropylene*) dan serbuk arang kayu dengan level yang diinginkan;
9. Menekan tombol *start* pada panel kontrol agar terjadi proses injeksi dan membuka katup tekanan angin secara bersamaan;
10. Mengulangi percobaan dengan level parameter yang berbeda;
11. Cetakan dibiarkan dingin kemudian dilakukan pengambilan spesimen;
12. Melakukan uji *impact charpy* pada spesimen yang telah dibuat dan melakukan pengambilan data di lapangan.
13. Metode pengambilan dan pengolahan data menggunakan metode regresi linier berganda dengan bantuan *software* SPSS 16.0 .
14. Menganalisa data yang dihasilkan dari output data percobaan yang ada.
15. Menarik kesimpulan dari percobaan yang dilakukan.

### 3.5 Pengukuran Parameter

#### 3.5.1 Kekuatan Impact

Plastik yang dibentuk  *mold* kemudian dilakukan pengujian  *impact* dengan mesin uji  *impact*.

Kekuatan  *impact* ditentukan dari perbandingan kekuatan pada beban maksimum dengan luas area spesimen plastik (mm<sup>2</sup>). Kekuatan  *impact* tersebut dapat dirumuskan:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{serap}} &= \text{energi awal} - \text{energi yang tersisa} \\
 &= m.g.h - m.g.h'
 \end{aligned}$$

$$= m.g.(R-R\cos \alpha) - m.g.(R- R.\cos \beta)$$

$$E_{srp} = mg.R.(\cos \beta - \cos \alpha)$$

Dimana :

$E_{srp}$  : energi serap (J)

$m$  : berat pendulum (kg)

$g$  : percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$R$  : panjang lengan (m)

$\alpha$  : sudut pendulum sebelum diayunkan

$\beta$  : sudut ayunan pendulum setelah mematahkan specimen

Harga impact dapat dihitung dengan:

$$HI = E_{srp} / A_0$$

dimana :

HI : harga impact ( $J/mm^2$ )

$E_{srp}$  : energi serap (J)

$A_0$  : luas penampang ( $mm^2$ )

### 3.5.2 Bentuk Patahan

Bentuk patahan dari pengujian *impak* dapat diidentifikasi sebagai berikut :

#### 1. Patahan Getas

Permukaan patahan terlihat rata dan mengkilap, kalau potongan-potongannya kita sambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan. Patahan jenis ini mempunyai harga *impak* yang rendah.

#### 2. Patahan Ulet

Permukaan patahan ini tidak rata, nampak seperti buram dan berserat, tipe ini mempunyai harga *impak* yang tinggi.

### 3. Patahan Campuran

Patahan yang terjadi merupakan campuran dari patahan getas dan patahan liat.

Patahan ini paling banyak terjadi.

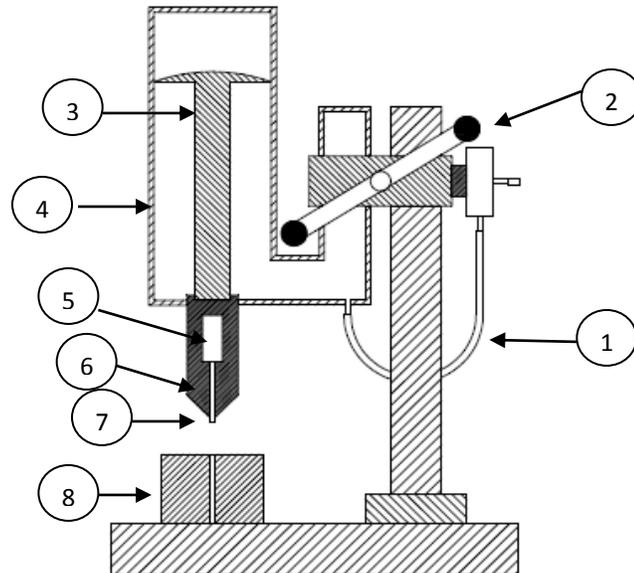
## 3.6 Penyajian Hasil Penelitian

Tabel 3.1 Penyajian Hasil Penelitian

No.	Temperatur Barrel (Tb) ( $^{\circ}\text{C}$ )	Komposisi Serbuk Arang Kayu (%)	Kekuatan Impact (HI) ( $\text{J}/\text{mm}^2$ )	Bentuk Patahan
1	180	20		
2	180	30		
3	180	40		
4	190	20		
5	190	30		
6	190	40		
7	200	20		
8	200	30		
9	200	40		

### 3.7 Skema Alat Uji

Skema dari alat penelitian ini, yaitu *Injection Moulding* disajikan pada gambar 3.5 sebagai berikut:



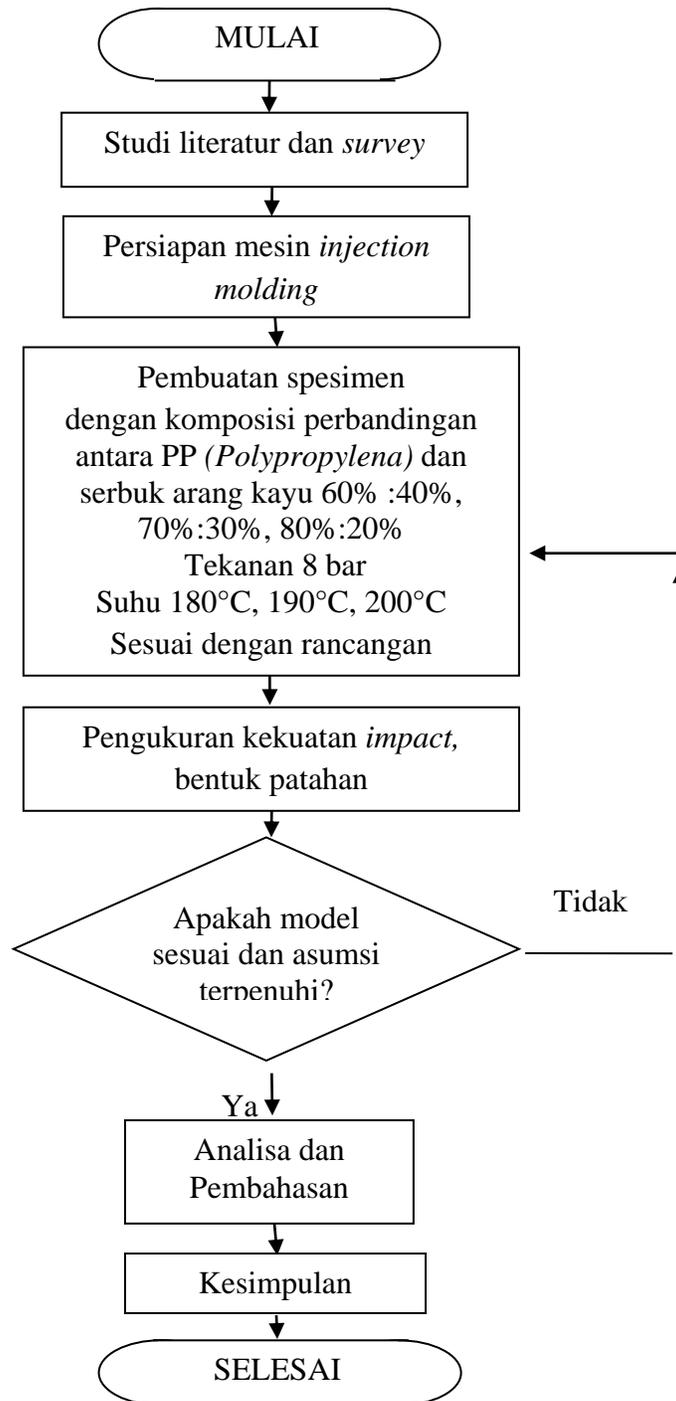
Gambar 3.5 Skema alat uji

Keterangan:

1. Selang *pneumatic*
2. Tuas penurun/penaik
3. Silinder
4. Tabung Silinder
5. *Hopper*
6. *Barrel*
7. *Nozzel*
8. Cetakan

### 3.8 Diagram Alir Penelitian

Untuk prosedur penelitian disajikan dalam bentuk *flow chart* sebagai berikut:



Gambar 3.6 Diagram alir penelitian



## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Percobaan

Dari hasil pengujian impact dan bentuk patahan yang telah dilakukan, didapat data seperti yang terlihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Impact

No.	Temperatur Barrel (Tb) (°C)	Komposisi Serbuk Arang Kayu (%)	Kekuatan Impact (HI) (J/mm <sup>2</sup> )	Bentuk Patahan
1	180	20	5.342	Patah Getas
2	180	30	4.808	Patah Getas
3	180	40	2.671	Patah Getas
4	190	20	6.411	Patah Getas
5	190	30	5.343	Patah Getas
6	190	40	3.205	Patah Getas
7	200	20	4.808	Patah Getas
8	200	30	3.740	Patah Getas
9	200	40	1.602	Patah Getas

Untuk melakukan analisa regresi linier berganda maka angka yang muncul pada tabel harus dirubah menjadi log. Berikut adalah log dari tabel hasil kekuatan impact.

Tabel 4.2 Hasil Log dari Tabel Hasil Pengujian Impact

No.	log Temperatur Barrel (X1)	log Komposisi Serbuk Arang Kayu (X2)	log Kekuatan Impact (Y)
1	2.2552	1.3010	0.7277
2	2.2552	1.4771	0.6819
3	2.2552	1.6020	0.4266
4	2.2787	1.3010	0.8069
5	2.2787	1.4771	0.7277
6	2.2787	1.6020	0.5058
7	2.3010	1.3010	0.6819
8	2.3010	1.4771	0.5058
9	2.3010	1.6020	0.2046

## 4.2 Analisis Kekuatan Impact

Dari data di atas maka persamaan regresi untuk meramalkan hubungan antar variabel dapat dicari menggunakan analisis regresi linier berganda. Sebelum melakukan analisis regresi linier berganda, terlebih dahulu dilakukan uji asumsi klasik sebagai persyaratan statistik yang harus dipenuhi pada analisis regresi linear berganda. Uji asumsi klasik tersebut diantaranya uji normalitas, uji homogenitas, uji multikolinearitas, uji linearitas dan uji autokorelasi. Untuk mendapatkan persamaan regresi maka selanjutnya dilakukan uji kesesuaian model (Uji T), uji individual (Uji F) dan pemodelan regresi  $R^2$ .

### Uji Asumsi Klasik

#### 4.2.1 Uji Distribusi Normalitas

Uji normalitas adalah untuk melihat apakah data berdistribusi normal atau tidak. Model regresi yang baik adalah memiliki nilai data yang berdistribusi normal.

Uji normalitas yang umum digunakan adalah dengan uji Kolmogorov Smirnov. Perumusan hipotesa untuk uji normalitas, yaitu :

$H_0$  : data berdistribusi normal

$H_a$  : data berdistribusi tidak normal

Dasar pengambilan keputusan untuk uji normalitas pada uji kenormalan ini menggunakan level toleransi ( $\alpha$ ) sebesar 5% atau 0,05:

Signifikansi  $> 0,05$  ( $H_0$  diterima)

Signifikansi  $< 0,05$  ( $H_0$  ditolak)

Setelah dilakukan uji normalitas dengan menggunakan software SPSS 16.0 maka didapat hasil uji kolmogrov-smirnov, seperti disajikan pada Tabel 4.3:

Tabel 4.3 Hasil Uji Kolgomorov Smirnov

	Y	X1	X2
Kolmogorov-Smirnov Z	0.747	0.634	0.663
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.632	0.817	0.772

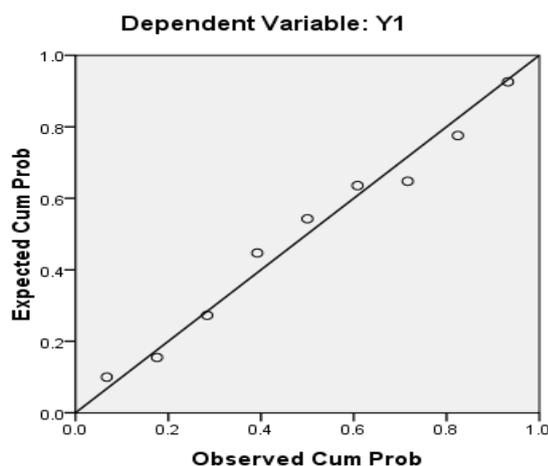
merujuk pada lampiran

Dari output di atas dapat diketahui bahwa (*Asym. Sig 2-tailed*) nilai signifikansi  $y$  sebesar 0,632, nilai signifikansi  $X_1$  0,817, nilai signifikansi  $X_2$  0,772. Sehingga signifikansi  $> 0,05$  ( $H_0$  diterima : data normal).

Selain itu uji normalitas juga didapat dengan metode grafik P-P plot, yaitu dengan melihat penyebaran data pada sumbu diagonal pada grafik *Normal P-P of Regression Standardized Residual* sebagai dasar pengambilan keputusannya. Jika menyebar sekitar garis dan mengikuti garis diagonal maka residual pada model regresi tersebut terdistribusi secara normal.

Setelah melakukan pengujian statistik, maka pada Gambar 4.1 didapat grafik plot hasil pengujian sebagai berikut:

**Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual**



Gambar 4.1 Grafik *normal P-P of regression standardized residual*

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa titik-titik menyebar sekitar garis dan mengikuti garis diagonal maka residual pada model regresi tersebut terdistribusi secara normal.

#### 4.2.2 Uji Homogenitas

Uji homogenitas ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah data sampel diperoleh dari populasi yang bervariasi homogen atau tidak seperti pada Tabel 4.4.

Perumusan hipotesa untuk uji homogenitas, yaitu :

$H_0$  : Data populasi bervariasi homogen

$H_a$  : Data populasi tidak bervariasi homogen

Dasar pengambilan keputusan untuk uji homogenitas :

Signifikansi  $> 0,05$  ( $H_0$  diterima)

Signifikansi  $< 0,05$  ( $H_0$  ditolak)

Dari pengujian statistik didapat:

Tabel 4.4 Hasil Uji Homogenitas

	Sig.
Y by X1	0.680
Y by X2	0.270

merujuk pada lampiran

Dari output di atas dapat diketahui bahwa nilai signifikansi lebih besar dari 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa data homogenitas atau memiliki varian yang sama.

#### 4.2.3 Uji Multikolinieritas

Uji multikolinieritas adalah untuk melihat ada atau tidaknya korelasi yang tinggi antara variabel-variabel bebas dalam suatu model regresi linear berganda. Jika ada korelasi yang tinggi di antara variabel-variabel bebasnya, maka hubungan antara variabel bebas terhadap variabel terikatnya menjadi terganggu.

Metode yang sering dipergunakan untuk menguji gangguan multikolinieritas adalah dengan *variance inflation factor* (VIF), dengan asumsi variabel bebas  $X_i$  tidak terjadi multikolinieritas jika nilai VIF kurang dari 10.

Perumusan hipotesa untuk uji multikolinieritas adalah :

$H_0$  : tidak ada multikolinieritas

$H_a$  : terjadi multikolinieritas

Pengambilan keputusan :

Jika  $VIF > 10$  ( $H_0$  ditolak)

Jika  $VIF < 10$  ( $H_0$  diterima)

Setelah melakukan pengujian statistik maka didapat hasil output VIF pada Tabel 4.5 sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil Output VIF

Model	Collinearity Statistics	
	Tolerance	VIF
X1	1.000	1.000
X2	1.000	1.000

merujuk pada lampiran

Dari output di atas dapat diketahui bahwa nilai VIF kurang dari 10 dan nilai toleransi lebih dari 0,1 untuk kedua variabel maka  $H_0$  diterima: tidak ada multikolinearitas.

#### 4.2.4 Uji Linieritas

Uji linearitas merupakan uji prasyarat yang biasanya dilakukan jika akan melakukan analisis korelasi. Uji linearitas dipergunakan untuk melihat apakah model yang dibangun mempunyai hubungan linear atau tidak.

Perumusan hipotesa untuk uji linearitas, yaitu :

$H_0$  : variabel bebas dan terikat berhubungan linier

$H_a$  : variabel bebas dan terikat tidak berhubungan linier

Dasar pengambilan keputusan untuk uji linearitas :

Signifikansi  $< 0,05$  ( $H_0$  ditolak)

Signifikansi  $> 0,05$  ( $H_0$  diterima)

Seperti pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.6 Hasil Uji Linearitas

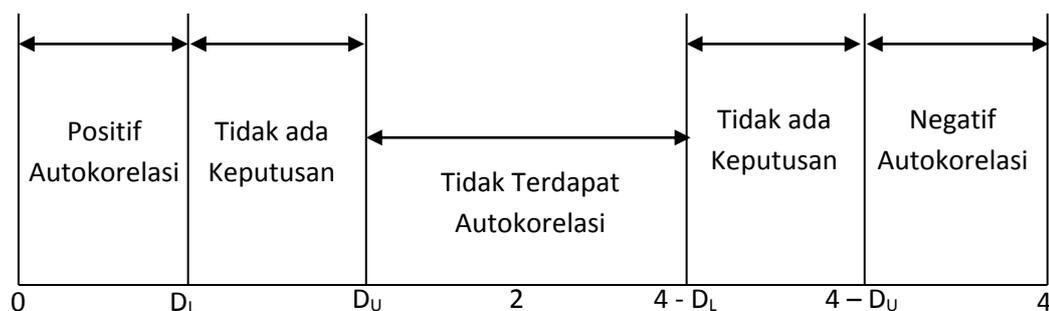
	Sig.
Y1 by X1	0,386
Y1 by X2	0,011

merujuk pada lampiran

Dari hasil output Anova Y1 terhadap X1 menghasilkan Sig 0,386, berarti asumsi linearitas tidak terpenuhi (Signifikansi  $> 0,05$  ( $H_0$  diterima : tidak berhubungan linear)). Dan dari hasil output Anova Y1 terhadap X2 menghasilkan Sig 0,011, berarti asumsi linearitas terpenuhi (Signifikansi  $< 0,05$  ( $H_0$  ditolak : berhubungan linier)).

#### 4.2.5 Uji Autokorelasi

Uji statistik yang sering digunakan adalah uji Durbin-Watson (DW). Dasar pengambilan keputusan uji autokorelasi DW sebagai berikut:



Jika  $0 < DW < DL$ , maka terdapat positif autokorelasi

Jika  $DL \leq DW \leq DU$ , maka tidak ada keputusan

Jika  $DU < DW < 4 - DU$ , maka tidak terdapat autokorelasi

Jika  $4 - DU \leq DW \leq 4 - DL$ , maka tidak ada keputusan

Jika  $4 - DL < DW < 4$ , maka terdapat negatif autokorelasi

Nilai  $DL$  dan  $DU$  dapat diketahui dari Tabel Durbin Watson dengan menentukan taraf signifikansi 0,05 dan  $n$  jumlah data serta  $k$  jumlah variabel bebas.

Diketahui jumlah data  $n = 9$ , jumlah variabel  $k = 2$ , serta taraf signifikansi  $\alpha = 0,05$  maka dari tabel Durbin Watson didapat nilai  $DL = 0,629$  dan  $DU = 1,699$ . Dari uji autokorelasi didapat hasil statistik Durbin-Watson seperti pada Tabel 4.7:

Tabel 4.7 Statistik Durbin-Watson

Model Summary <sup>b</sup>					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.859 <sup>a</sup>	.737	.650	.1129183	1.380

a. Predictors: (Constant), X2, X1

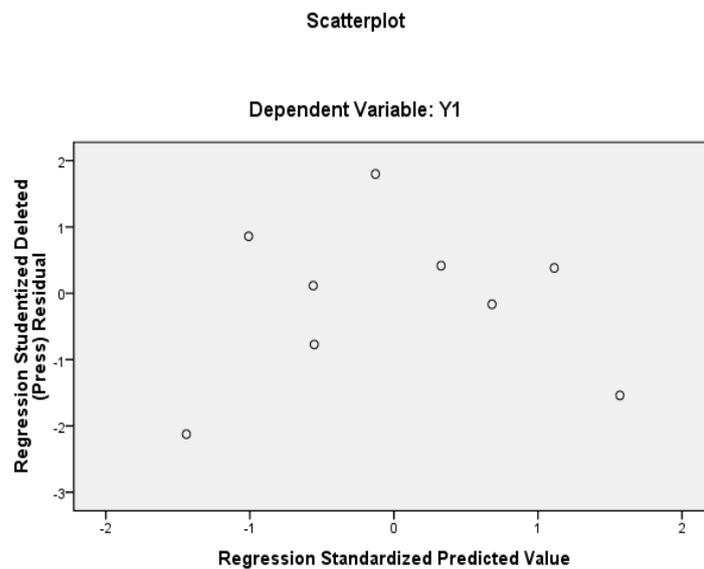
b. Dependent Variable: Y1  
merujuk pada lampiran

Dengan ini maka  $4 - DU = 4 - 1,699 = 2,301$  dan  $4 - DL = 4 - 0,629 = 3,371$ . Karena nilai  $DW = 1,380$  maka  $DL \leq DW \leq DU$  ( $0,629 < 1,380 < 1,699$ ) maka tidak ada keputusan pada model regresi.

#### 4.2.6 Uji Heterokedastisitas

Heterosedastisitas adalah varian residual yang tidak sama pada semua pengamatan dalam model regresi. Regresi yang baik seharusnya tidak terjadi heteroskedastisitas. Kriterianya yaitu:

- Jika ada pola tertentu, seperti titik-titik yang membentuk suatu pola tertentu yang teratur (bergelombang, melebar kemudian menyempit), maka terjadi heteroskedastisitas.
- Jika tidak ada pola yang jelas, seperti titik-titik menyebar di atas dan di bawah angka 0 pada sumbu Y, maka tidak terjadi heteroskedastisitas.



Gambar 4.2 Grafik *scatterplot*

Dari output pada Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa titik-titik tidak membentuk pola yang jelas (titik-titik menyebar di atas dan di bawah angka 0 pada sumbu Y), jadi dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi heteroskedastisitas dalam model regresi.

### Analisis Regresi Berganda

Tujuan dari analisis regresi ini adalah untuk mendapatkan konstanta dan koefisien regresi dari variabel-variabel bebas ( $\log v$  dan  $\log v_f$ ).  $Y = \text{Log } R_a$ ,  $X_1 = \text{Log } v$ ,  $X_2 = \text{Log } v_f$ .

#### 4.2.7 Uji Kesesuaian Model (Uji F)

Uji F dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas secara bersama-sama terhadap variabel terikat seperti pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil F hitung

Model	F
Regression	8.414

merujuk pada lampiran

Dengan hipotesa awal:

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ , berarti secara bersama-sama tidak ada pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat.

$H_a : \beta_1 \neq \beta_2 \neq 0$ , berarti secara bersama-sama ada pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat

Hipotesa lanjutan:

$H_0$  diterima bila  $F \text{ hitung} \leq F \text{ tabel}$

$H_0$  ditolak bila  $F \text{ hitung} > F \text{ tabel}$

Dari output di atas diperoleh F hitung sebesar 8,414. Dengan menggunakan tingkat keyakinan 95%,  $\alpha = 5\%$  maka:

$$Df_1 = k - 1 = 2 - 1 = 1$$

$$Df_2 = n - k - 1 = 9 - 2 - 1 = 6$$

Maka hasil diperoleh untuk F tabel sebesar 5,987.

Karena nilai F hitung  $>$  F tabel ( $8,414 > 5,987$ ), maka  $H_0$  di tolak. Berarti secara bersama-sama ada pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat.

#### 4.2.8 Uji Individual (Uji T)

Uji t digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independen secara parsial terhadap variabel dependen seperti pada Tabel 4.9.

Hipotesa awal:

$H_0 : \beta_1 = 0; \beta_2 = 0$ , berarti masing – masing variabel bebas tidak berpengaruh terhadap variabel terikat.

$H_a : \beta_1 \neq 0; \beta_2 \neq 0$ , berarti masing – masing variabel bebas berpengaruh terhadap variabel terikat.

Hipotesa lanjutan:

$H_0$  diterima bila  $-t \text{ tabel} < t \text{ hitung} < t \text{ tabel}$

$H_0$  ditolak bila  $t \text{ hitung} \geq t \text{ tabel}$  atau  $-t \text{ hitung} \leq -t \text{ tabel}$

Tabel 4.9 Hasil t hitung

Model	t hitung
(Constant)	2.063
X1	-1.578
X2	-3.787

merujuk pada lampiran

Dari output di atas diperoleh t hitung:

Untuk,  $X_1 = -1,578$  ;  $X_2 = -3,787$ .

Tabel distribusi t dicari pada  $\alpha = 5\% = 0,05/2 = 0,025$ . Dengan derajat kebebasan  $df = n - k - 1 = 9 - 2 - 1 = 6$ . Maka hasil yang diperoleh untuk t tabel adalah 2,447.

Maka untuk :

- $X_1$  :  $-t \text{ hitung} > -t \text{ tabel}$  ( $-1,578 > -2,447$ ), maka  $H_0$  diterima. Artinya bahwa temperatur *barrel* secara parsial tidak berpengaruh terhadap kekuatan impak. Nilai t hitung negatif, artinya pengaruh yang terjadi adalah negatif, bahwa semakin tinggi temperatur *barrel* maka semakin rendah nilai kekuatan impaknya.
- $X_2$  :  $-t \text{ hitung} < -t \text{ tabel}$  ( $-3,787 < -2,447$ ), maka  $H_0$  ditolak. Artinya bahwa komposisi arang secara parsial berpengaruh terhadap kekuatan impak. Nilai t hitung negatif, artinya pengaruh yang terjadi adalah negatif, bahwa semakin tinggi komposisi arang maka semakin rendah nilai kekuatan impaknya.

#### 4.2.9 Pemodelan Regresi ( $R^2$ )

Tabel 4.10 Analisis koefisien determinasi ( $R^2$ )

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.859 <sup>a</sup>	.737	.650	.1129183

a. Predictors: (Constant), X2, X1

b. Dependent Variable: Y1

merujuk pada lampiran

Hasil analisis determinasi dapat dilihat pada Tabel. 4.10 berupa output *Model Summary* dari hasil analisis regresi linier berganda di atas. Berdasarkan output diperoleh angka *R Square* sebesar 0.737 atau 73,7%. Hal ini menunjukkan bahwa persentase pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat sebesar 73,7%. Sedangkan sisanya 26,3% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam model penelitian ini.

Tabel 4.11 Koefisien dalam persamaan regresi linier berganda

Model	Unstandardized Coefficients	
	B	Std. Error
1 (Constant)	9.512	4.612
2	-3.178	2.015
3	-1.154	.305

a. Dependent Variable: Y

merujuk pada lampiran

Dari hasil analisis regresi linier berganda pada Tabel 4.11, maka persamaan regresi linier bergandanya adalah:

$$Y = 9,512 - 3,178 X_1 - 1,154 X_2$$

Penjelasan untuk persamaan di atas adalah sebagai berikut:

- konstanta sebesar 9,512; artinya jika logaritma *temperatur barrel* dan komposisi arang nilainya 0, maka nilai log. kekuatan impaknya sebesar 9,512.

- b. Koefisien regresi variabel logaritma temperatur *barrel* sebesar  $-3,178$ ; artinya jika log temperatur *barrel* mengalami kenaikan satu satuan, maka log. kekuatan impak akan mengalami penurunan sebesar  $3,178$  satuan dengan asumsi variabel bebas lainnya bernilai tetap.
- c. Koefisien regresi variabel logaritma komposisi arang sebesar  $-1,154$ ; artinya jika log komposisi arang mengalami kenaikan satu satuan, maka log kekuatan impak akan mengalami penurunan sebesar  $1,154$  satuan dengan asumsi variabel bebas lainnya bernilai tetap.

Dengan transformasi:

$$Y = \log HI, X_1 = \text{Log } Tb, X_2 = \text{Log } Ka$$

Dengan HI : Kekuatan impak

Tb : Temperatur *barrel*

Ka : Komposisi arang

Persamaan di atas menjadi:

$$HI = 10^{9,512} \cdot (Tb)^{-3,178} \cdot (Ka)^{-1,154}$$

### 4.3 Pembahasan

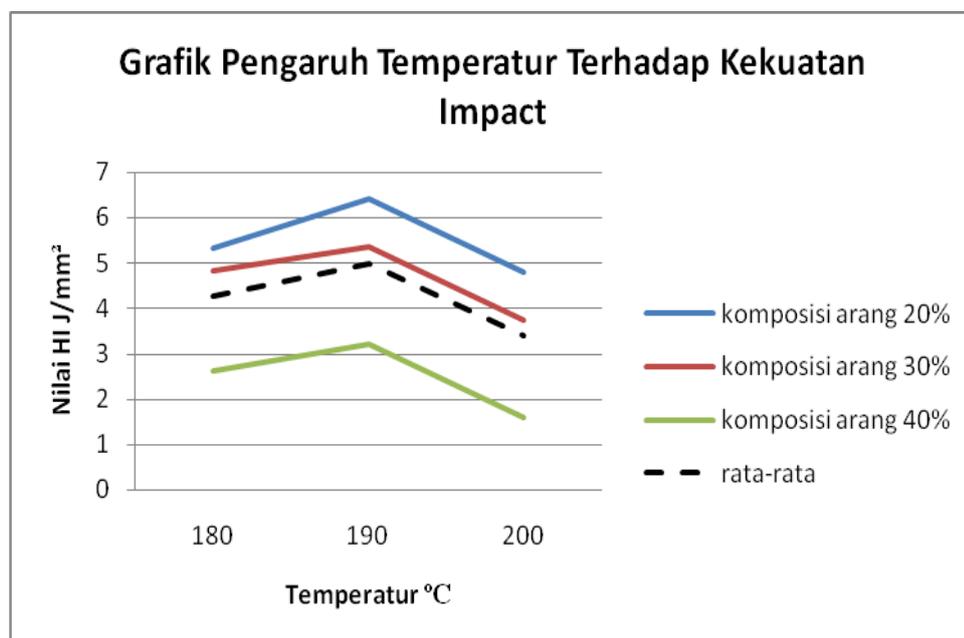
#### 4.3.1 Pembahasan Regresi Linear Berganda pada PP dan Komposisi Serbuk Arang Kayu 20%, 30%, 40%.

Pada penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan komposisi PP dan komposisi serbuk arang kayu 20%, 30%, 40%, dapat dilihat variabel bebas yang paling tepat untuk mendapatkan kekuatan impak tertinggi adalah pada variabel temperatur *barrel* 190 °C dan komposisi serbuk arang 20% dengan nilai kekuatan impak 6,411 J/m<sup>2</sup>. Sedangkan nilai terendah terjadi pada variabel temperatur *barrel* 200 °C dan komposisi arang kayu 40% dengan nilai kekuatan impak sebesar 1,602 J/m<sup>2</sup>.

Dari persamaan regresi di atas, maka dapat diketahui pernyataan sebagai berikut:

- a. Pengaruh temperatur *barrel* terhadap kekuatan impak pada mesin *injection moulding*.

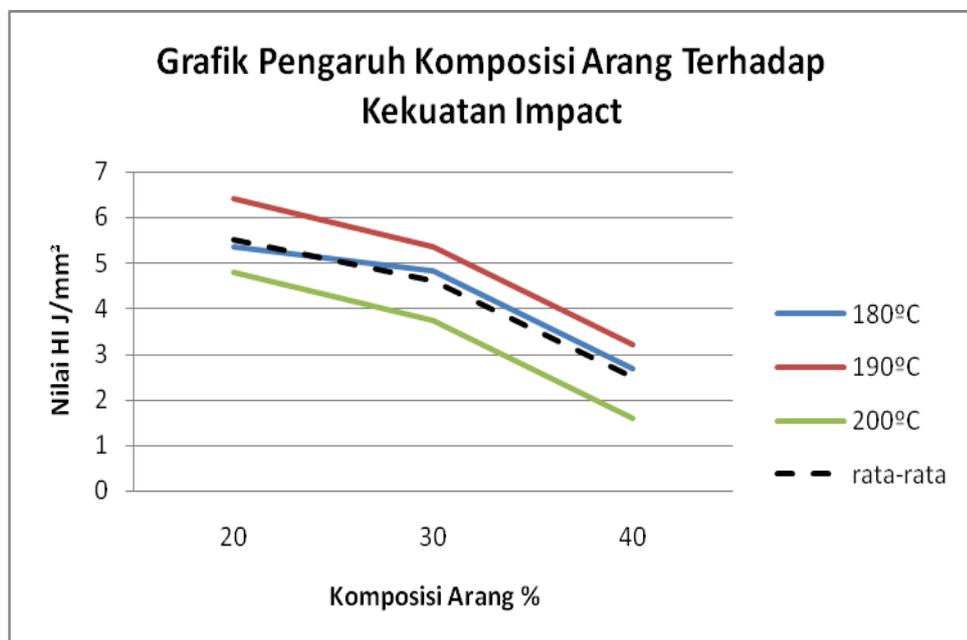
Temperatur *barrel* adalah temperatur leleh plastik saat akan diinjeksikan ke dalam cetakan melalui *nozzle*. Dari hasil analisa regresi linear berganda, maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur *barrel* maka semakin rendah nilai kekuatan impaknya. Namun, pada penggunaan temperatur *barrel* dari 180°C–190°C, kekuatan impak yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini disebabkan pada saat temperatur *barrel* mencapai 200°C, semakin mudah udara yang terjebak dalam cetakan. Pada temperatur *barrel* mencapai 200°C, viskositas dari lelehan material yang dihasilkan lebih rendah sehingga menyebabkan udara yang masuk ke dalam *barrel* lebih mudah untuk ikut terdorong ke dalam rongga cetakan yang mengakibatkan timbulnya *void* pada spesimen uji impak. Alasan tersebut menunjukkan bahwa pada temperatur *barrel* 200°C, tingkat kekuatan impaknya lebih kecil daripada penggunaan temperatur *barrel* pada 180°C dan 190°C dilihat dari persentase komposisi serbuk arang yang sama. Grafik pengaruh temperatur *barrel* terhadap harga impak (HI) digambarkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik pengaruh temperatur *barrel* terhadap kekuatan *impact* (HI) pada komposisi PP dengan serbuk arang kayu

- b. Pengaruh komposisi serbuk arang kayu terhadap kekuatan impak pada mesin *injection moulding*.

Dari hasil analisa regresi linear berganda, maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi komposisi serbuk arang kayu maka semakin rendah juga nilai kekuatan impaknya. Karena kandungan PP didalam campuran material tidak mampu mengikat keseluruhan serbuk arang kayu sehingga akan mempengaruhi ikatan antar atom pada sepimen tersebut, sehingga dapat menyebabkan timbulnya sifat material yang berbeda-beda. Spesimen juga memiliki sifat yang hampir sama dengan arang kayu yang memiliki sifat getas dan rapuh. Grafik pengaruh tekanan injeksi terhadap harga impact (HI) digambarkan pada Gambar 4.4.



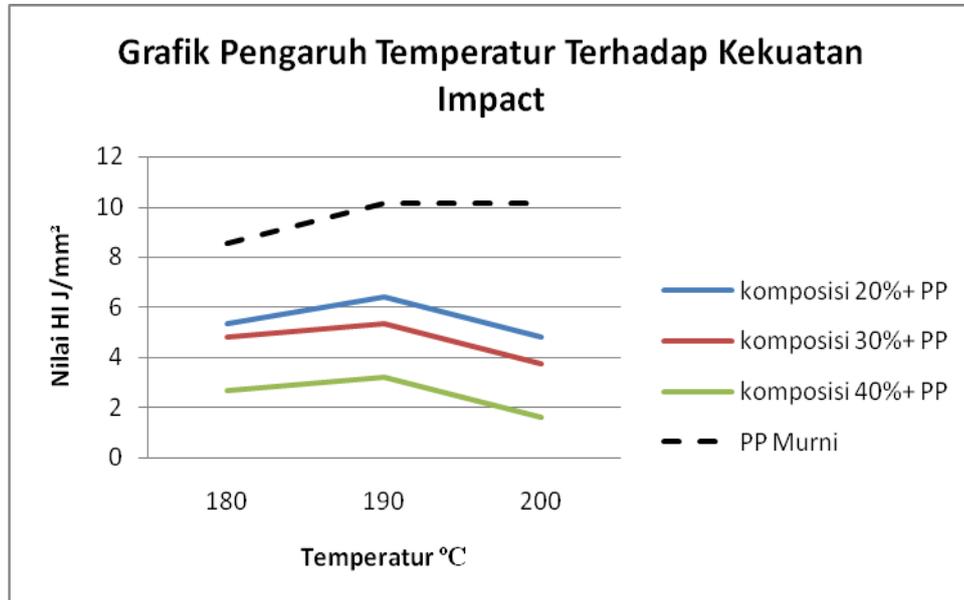
Gambar 4.4. Grafik pengaruh komposisi serbuk arang terhadap kekuatan *impact* (HI) pada komposisi PP dengan serbuk arang kayu

#### 4.3.2 Perbandingan Nilai Optimal Kekuatan Impact

Perbandingan kekuatan impact ini bertujuan untuk memberikan suatu informasi terutama kepada perusahaan pembuat spakbor dan kalangan akademisi pada penggunaan komposisi yang berbeda. Dari penelitian yang telah dilakukan, nilai optimal kekuatan impact adalah sebagai berikut:

- a. Nilai optimal kekuatan impact yang dihasilkan dengan menggunakan komposisi PP tanpa *filler* sebesar 10,151 J/mm<sup>2</sup> dengan variabel temperatur

*barrel* 190°C dan 200°C (merujuk pada lampiran). Hubungan pengaruh temperatur terhadap kekuatan impak disajikan pada grafik sebagai berikut:



Gambar 4.5. Grafik pengaruh temperatur *barrel* terhadap kekuatan impak (HI) pada komposisi PP dengan serbuk arang kayu dan PP murni

Dari data tersebut, nilai optimal kekuatan impak yang dihasilkan dengan menggunakan komposisi PP dengan serbuk arang kayu lebih rendah daripada menggunakan komposisi PP murni.

#### 4.3.3 Bentuk Patahan

- Pada komposisi PP dan komposisi serbuk arang kayu 20%

Pengamatan foto makro dilakukan pada bentuk patahan benda uji pada komposisi PP dan komposisi serbuk arang kayu 20%. Berikut ini adalah gambar-gambar foto patahan makro dari tiap-tiap pengerjaan pada penelitian ini, seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4.6. Foto makro bentuk patahan uji impak pada pengerjaan  $180^{\circ}\text{C} - 20\%$

Pada spesimen dengan pengerjaan  $180^{\circ}\text{C} - 20\%$ , kekuatan impaknya sebesar  $5,342 \text{ J/mm}^2$ . Bentuk patahan yang terjadi adalah patahan getas dikarenakan menghasilkan permukaan patahan yang relatif rata. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan. Dari foto tersebut juga tampak adanya *void*.



Gambar 4.7. Foto makro bentuk patahan uji impak pada pengerjaan  $180^{\circ}\text{C} - 30\%$

Selanjutnya pada spesimen dengan pengerjaan  $180^{\circ}\text{C} - 30\%$ , kekuatan impaknya sebesar  $4,808 \text{ J/mm}^2$ . Kekuatan impak pada spesimen ini mengalami penurunan daripada spesimen sebelumnya. Bentuk patahan yang terjadi adalah patahan getas dikarenakan menghasilkan permukaan patahan yang relatif rata. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan. Dari foto tersebut juga tampak adanya *void*.



Gambar 4.8. Foto makro bentuk patahan uji impak pada pengerjaan 180<sup>0</sup>C – 40%

Kemudian pada spesimen dengan pengerjaan 180<sup>0</sup>C – 40%, kekuatan impaknya sebesar 2,671 J/mm<sup>2</sup>. Kekuatan impak pada spesimen ini mengalami penurunan daripada spesimen sebelumnya. Bentuk patahan yang terjadi adalah patahan getas dikarenakan menghasilkan permukaan patahan yang relatif rata. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan. Dari foto tersebut juga tampak adanya *void*.



Gambar 4.9. Foto makro bentuk patahan uji impak pada pengerjaan 190<sup>0</sup>C – 20%

Selanjutnya pada spesimen dengan pengerjaan 190<sup>0</sup>C – 20%, kekuatan impaknya sebesar 6,411 J/mm<sup>2</sup>. Pada pengerjaan ini kekuatan impak yang dihasilkan mengalami kenaikan daripada kekuatan impak dengan pengerjaan sebelumnya dan merupakan nilai kekuatan impak yang optimal pada penelitian ini. Bentuk patahan yang terjadi adalah patahan getas dikarenakan menghasilkan permukaan patahan yang relatif rata. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan. Dari foto tersebut juga tampak adanya *void*.



Gambar 4.10. Foto makro bentuk patahan uji impact pada pengerjaan 190<sup>0</sup>C – 30%

Pada spesimen dengan pengerjaan 190<sup>0</sup>C – 30%, kekuatan impactnya sebesar 5,343 J/mm<sup>2</sup>. Kekuatan impact pada spesimen ini mengalami penurunan daripada spesimen sebelumnya. Bentuk patahan yang terjadi adalah patahan getas dikarenakan menghasilkan permukaan patahan yang relatif rata. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan. Dari foto tersebut juga tampak adanya *void*.



Gambar 4.11. Foto makro bentuk patahan uji impact pada pengerjaan 190<sup>0</sup>C – 40%

Lalu pada spesimen dengan pengerjaan 190<sup>0</sup>C – 40%, kekuatan impactnya sebesar 3,205 J/mm<sup>2</sup>. Kekuatan impact pada spesimen ini mengalami penurunan daripada spesimen sebelumnya. Bentuk patahan yang terjadi adalah patahan getas dikarenakan menghasilkan permukaan patahan yang relatif rata. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan. Dari foto tersebut juga tampak adanya *void*.



Gambar 4.12. Foto makro bentuk patahan uji impact pada pengerjaan 200<sup>0</sup>C – 20%

Kemudian pada spesimen dengan pengerjaan 200<sup>0</sup>C – 20%, kekuatan impactnya sebesar 4,808 J/mm<sup>2</sup>. Pada pengerjaan ini kekuatan impact yang dihasilkan mengalami penurunan daripada kekuatan impact dengan pengerjaan sebelumnya. Bentuk patahan yang terjadi adalah patahan getas dikarenakan menghasilkan permukaan patahan yang relatif rata. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan. Dari foto tersebut juga tampak adanya *void*.



Gambar 4.13. Foto makro bentuk patahan uji impact pada pengerjaan 200<sup>0</sup>C – 30%

Selanjutnya pada spesimen dengan pengerjaan 200<sup>0</sup>C – 30%, kekuatan impactnya sebesar 3,740 J/mm<sup>2</sup>. Kekuatan impact pada spesimen ini mengalami penurunan daripada spesimen sebelumnya. Bentuk patahan yang terjadi adalah patahan getas dikarenakan menghasilkan permukaan patahan yang relatif rata. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan. Dari foto tersebut juga tampak adanya *void*.



Gambar 4.14. Foto makro bentuk patahan uji impact pada pengerjaan 200°C – 40%

Kemudian pada spesimen dengan pengerjaan 200°C – 40%, kekuatan impactnya sebesar 1,602 J/mm<sup>2</sup>. Ini merupakan nilai kekuatan impact yang terendah pada penelitian ini. Bentuk patahan yang terjadi adalah patahan getas dikarenakan menghasilkan permukaan patahan yang relatif rata. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan. Dari foto tersebut juga tampak adanya *void*.

Dari foto-foto bentuk patahan tersebut, tampak adanya guratan-guratan pada masing-masing bentuk patahan spesimen. Adanya guratan-guratan menandakan bahwa spesimen tersebut mempunyai sifat yang lebih ulet. Jadi, semakin banyak guratan yang terjadi, maka sifat yang dihasilkan akan lebih ulet sehingga menandakan spesimen tersebut mempunyai kekuatan impact yang lebih besar. Namun pada penelitian ini, tampak juga adanya *void* pada bentuk patahan. *Void* merupakan salah satu faktor yang menyebabkan kekuatan impact menurun. Jadi semakin besar void yang timbul, maka kekuatan impact akan semakin rendah.

- Pada komposisi PP murni

Pengamatan foto makro dilakukan pada bentuk patahan benda uji pada komposisi PP murni. Berikut ini adalah gambar-gambar foto patahan makro, seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4.15. Foto makro bentuk patahan uji impak pada PP murni dengan pengerjaan 180<sup>0</sup>C

Pada spesimen dengan pengerjaan 180<sup>0</sup>C, kekuatan impaknya sebesar 8,548 J/mm<sup>2</sup>. Bentuk patahan yang terjadi adalah patahan getas dikarenakan menghasilkan permukaan patahan yang relatif rata. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan. Dari foto tersebut juga tampak adanya *void*.



Gambar 4.16. Foto makro bentuk patahan uji impak pada PP murni dengan pengerjaan 190<sup>0</sup>C

Pada spesimen dengan pengerjaan 190<sup>0</sup>C, kekuatan impaknya sebesar 10,151 J/mm<sup>2</sup>. Merupakan nilai kekuatan impak yang optimal pada penelitian ini. Bentuk patahan yang terjadi adalah patahan getas dikarenakan menghasilkan permukaan patahan yang relatif rata. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan.



Gambar 4.17. Foto makro bentuk patahan uji impact pada PP murni dengan pengerjaan 200°C

Pada spesimen dengan pengerjaan 200°C, kekuatan impactnya sebesar 10,151 J/mm<sup>2</sup>. Ini juga merupakan nilai kekuatan impact yang optimal pada penelitian ini, sama dengan spesimen sebelumnya. Bentuk patahan yang terjadi adalah patahan getas. Bentuk patahan yang terjadi adalah patahan getas dikarenakan menghasilkan permukaan patahan yang relatif rata. Selain itu, bila potongan-potongannya disambungkan lagi, ternyata keretakannya tidak disertai dengan deformasinya bahan.

Dari foto-foto bentuk patahan tersebut, tampak adanya guratan-guratan pada masing-masing bentuk patahan spesimen. Adanya guratan-guratan menandakan bahwa spesimen tersebut mempunyai sifat yang lebih ulet. Jadi, semakin banyak guratan yang terjadi, maka sifat yang dihasilkan akan lebih ulet sehingga menandakan spesimen tersebut mempunyai kekuatan impact yang lebih besar. Sama dengan bentuk patahan pada spesimen dengan komposisi PP dan komposisi serbuk arang kayu 20%, 30%, 40%. Pada spesimen dengan komposisi PP murni ini tampak juga adanya *void* pada bentuk patahan dengan pengerjaan temperatur 180°C. *Void* merupakan salah satu faktor yang menyebabkan kekuatan impact menurun. Jadi semakin besar *void* yang timbul, maka kekuatan impact akan semakin rendah.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisis pembahasan pada bab sebelumnya dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisa regresi linear berganda, maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur *barrel* maka semakin rendah nilai kekuatan impaknya. Hal ini disebabkan pada saat temperatur *barrel* mencapai 200°C, viskositas yang dihasilkan lebih rendah sehingga udara yang masuk kedalam *barrel* ikut terdorong kedalam rongga cetakan yang mengakibatkan timbul *void* pada spesimen uji impak. Namun, pada penggunaan temperatur *barrel* dari 180°C–190°C, kekuatan impak yang dihasilkan semakin meningkat meskipun masih adanya *void* pada spesimen.
2. Dari hasil analisa regresi linear berganda, maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi komposisi serbuk arang kayu maka semakin rendah nilai kekuatan impaknya. Hal ini disebabkan pada saat komposisi serbuk arang kayu 40%, *polypropylene* sebagai pengikat tidak dapat mengikat keseluruhan serbuk arang kayunya, sehingga spesimen menjadi rapuh.
3. Model yang diperoleh untuk pemodelan regresi kekuatan *impact* adalah:

Dengan transformasi:

$$y = \log HI, X_1 = \log Tb, X_2 = \log Ka$$

Persamaan di atas menjadi:

$$HI = 10^{9,512} \cdot (Tb)^{-3,178} \cdot (Ka)^{-1,154}$$

Nilai R *Square* sebesar 0.737 atau 73,7%. Hal ini menunjukkan bahwa persentase pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat sebesar 73,7%. Sedangkan sisanya 26,3% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam model penelitian ini.

4. Pada penelitian dengan menggunakan komposisi PP dan *filler* serbuk arang kayu, variabel bebas yang paling tepat untuk mendapatkan kekuatan impak tertinggi adalah pada variabel temperatur *barrel* 190 °C dengan komposisi serbuk arang kayu 20% dengan nilai kekuatan impak 6,411 J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan nilai terendah yang terjadi pada variabel temperatur *barrel* 200 °C dengan komposisi serbuk arang kayu 40% dengan nilai kekuatan impak sebesar 1.602 J/mm<sup>2</sup>.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat penulis sampaikan adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya supaya menggunakan variabel dengan ukuran mesh lebih besar, agar diketahui nilai variabel yang lebih optimal. Dan dapat pula menggunakan nilai *variable*\_variabel lainnya. Misalnya, pendingin pada cetakan, jenis matriks dan *filler*, persentase *filler*, kecepatan injeksi, waktu injeksi dan *holding time*.
2. Pastikan suhu dalam cetakan pada suhu yang ideal, dimaksudkan untuk mempermudah laju bahan yang akan diinjeksika ke dalam cetakan.

## DAFTAR PUSTAKA

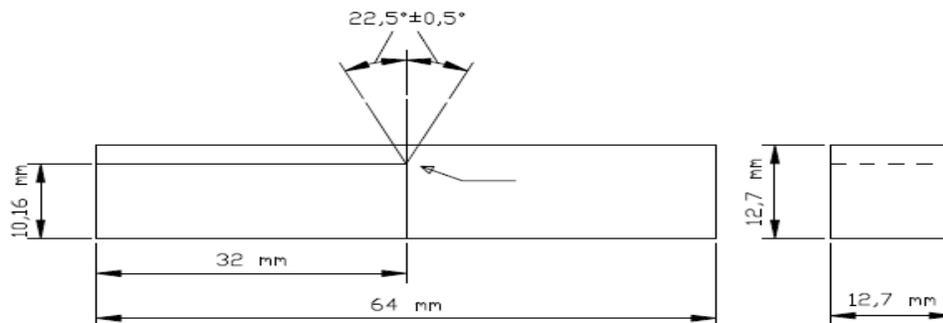
- Animesh Boses. 1995. The Technology and Commercial Status of Powder-Injection Molding. *Journal of Metallurgy*.
- ASTM. D 256 – 00 Standard test methods for determining the izod pendulum impact resistance of plastics.
- Callister, W. D., 2007, Material Science and Engineering, An Introduction 7ed, Department of Metallurgical Engineering The University of Utah, John Willey and Sons, Inc.
- Diharjo, K., dan Triyono, T., 2003, *Buku Pegangan Kuliah Material Teknik*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Fahrizal. 2009. *Prosedur Pengolahan Plastik dengan metode Injection Molding*. Jurnal APTEK Vol. 1 No. 1. Politeknik Pasir Pengaraian.
- Farid, Moch., dan Sulistijono. 1999. *Polimer & Komposit*. Diktat Kuliah. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Firdaus., dan Tjitro, Soejono. 2002. *Studi Eksperimental Pengaruh Paramater Proses Pencetakan Bahan Plastik Terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) Pada Benda Cetak Pneumatics Holder*. Jurnal Teknik Mesin Vol. 4, No. 2. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra.
- Hadi Syamsul, Ir.1995, *Teknologi Bahan 3, Hal 36*.
- Hartono, M. 2012. *Meningkatkan Mutu Produk Plastik dengan Metode Taguchi*. Politeknik Negeri Malang.
- Hazorong Zhang & German R.M. 1991. The Role of Nickel in Iron Powder Injection Molding. *American Powder Metallurgy Institute*.
- Indonesia, Move. 2007. *Kegunaan Arang*. Pusat Pendidikan Lingkungan Hidup (PPLH). Selolilman, Trawas, Mojokerto.
- Jamaludin, Anif. 2007. *Injection Molding dan Penerapannya di Industri Manufaktur*.
- Jones, M. R., 1975. *Mechanics of Composite Material*, Mc Graww Hill Kogakusha, Ltd.

- Mujiarto, Imam. 2005. *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*.
- Mullah, Ilham 2007. Kajian Rheologi Minyak Kelapa Sawit Sebagai binder untuk feedstock Pada Proses Metal Injection Molding.
- Pamungkas, Hery Prabowo. 2010. *Pengaruh Variasi Tekanan dan Temperatur Terhadap Kekuatan Impact Paduan Komposit PP dan LDPE Pada Proses Injection Moulding dengan Filler Serbuk Sekam Padi 15%*. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Malang.
- Pengetahuan Dasar Plastik, penerbit : PT. Tri Polyta Indonesia, tbk
- Saptono, Rahmat 2007. Pengetahuan Bahan. Jakarta : Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- Sembiring, Prandananta. 2010. *Pengaruh Campuran 50% Polypropylene, 3)% polyethylene, 20% Polysrtyren Terhadap Variasi Temperatur Pada Proses Injection Molding Tipe Teforema RN 350*. Teknik Mesin Universitas Sumatra Utara Medan.
- Sudarmanto, R. Gunawan. 2005. *Analisis Regresi Linear Berganda dengan SPSS*. Pendidikan Ekonomi Universitas Lampung.

## LAMPIRAN B. PERHITUNGAN

### B.1 Perhitungan Harga Impak pada Komposisi PP dengan Penambahan Filler Serbuk Arang Kayu

Untuk perhitungan harga impact adalah sebagai berikut:



Spesifikasi mesin uji *impact*:

- Massa bandul (kg) = 8,1 kg
- L (panjang lengan) = 62 cm
- Sudut awal bandul ( $\alpha$ ) =  $20^0$
- Diameter bandul = 20 cm = 0,2 m
- Tebal bandul = 4 cm =  $4 \cdot 10^{-2}$  m

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Penuh Bandul} &= \pi \cdot r^2 \cdot t \\
 &= 3,14 \cdot (0,1)^2 \times 4 \cdot 10^{-2} \\
 &= 1,256 \times 10^{-3} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Coakan Bandul} &= 30/360 \times \text{Volume Penuh Bandul} \\
 &= 1/12 (1,256 \times 10^{-3}) \\
 &= 1,046 \times 10^{-4} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Bandul} &= \text{Volume Penuh Bandul} - \text{Volume Coakan Bandul} \\
 &= (1,256 \times 10^{-3}) - (1,046 \times 10^{-4}) \\
 &= 1,1514 \times 10^{-4} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{m}{v} \\
 &= 8,1 / 1,1514 \times 10^{-4} \\
 &= 7.034,914 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Nilai Harga Impak (HI)

$$\begin{aligned}
 \text{HI} &= \frac{\Delta E m}{A} \\
 &= \frac{\left(\frac{1}{2}m.V^2 + \rho .g.h_1\right) - \left(\frac{1}{2}m.V^2 + \rho .g.h_2\right)}{A} \\
 &= \frac{(\rho .g.h_1) - (\rho .g.h_2)}{A} \\
 &= \frac{\rho . g (h_1 - h_2)}{A}
 \end{aligned}$$

❖ Nilai HI untuk pengerjaan  $180^{\circ}\text{C}$  – 20% serbuk arang kayu

Diketahui :  $\beta = 17^{\circ}$

$$\begin{aligned}
 h_1 &= L - L \cos \alpha \\
 &= 62 - 62 \cos 20^{\circ} \\
 &= 62 - 62 \cdot 0,940 \\
 &= 3,72 \text{ cm} \approx 0,037 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_2 &= L - L \cos \beta \\
 &= 62 - 62 \cos 17^{\circ} \\
 &= 62 - 62 \cdot 0,956 \\
 &= 2,709 \text{ cm} \approx 0,027 \text{ m}
 \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned} \text{HI} &= \frac{\rho \cdot g (h_1 - h_2)}{A} \\ &= \frac{7034,914 \times 9,8 \times (0,037 - 0,027)}{10,16 \times 12,7} \\ &= 5,342 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

- ❖ Nilai HI untuk pengerjaan 180°C – 30% serbuk arang kayu

Diketahui:  $\beta = 17,3^\circ$

$$\begin{aligned} h_1 &= L - L \cos \alpha \\ &= 62 - 62 \cos 20^\circ \\ &= 62 - 62 \cdot 0,940 \\ &= 3,72 \text{ cm} \approx 0,037 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= L - L \cos \beta \\ &= 62 - 62 \cos 17,3^\circ \\ &= 62 - 62 \cdot 0,954 \\ &= 2,804 \text{ cm} \approx 0,028 \text{ m} \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned} \text{HI} &= \frac{\rho \cdot g (h_1 - h_2)}{A} \\ &= \frac{7034,914 \times 9,8 \times (0,037 - 0,028)}{10,16 \times 12,7} \\ &= 4,808 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

- ❖ Nilai HI untuk pengerjaan 180°C – 40% serbuk arang kayu

Diketahui:  $\beta = 18,6^\circ$

$$\begin{aligned} h_1 &= L - L \cos \alpha \\ &= 62 - 62 \cos 20^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 62 - 62 \cdot 0,940 \\
 &= 3,72 \text{ cm} \approx 0,037 \text{ m} \\
 h_2 &= L - L \cos \beta \\
 &= 62 - 62 \cos 18,6^\circ \\
 &= 62 - 62 \cdot 0,947 \\
 &= 3,286 \text{ cm} \approx 0,032 \text{ m}
 \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned}
 HI &= \frac{\rho \cdot g (h_1 - h_2)}{A} \\
 &= \frac{7034,914 \times 9,8 \times (0,037 - 0,032)}{10,16 \times 12,7} \\
 &= 2,671 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

- ❖ Nilai HI untuk pengerjaan  $190^\circ\text{C} - 20\%$  serbuk arang kayu

Diketahui:  $\beta = 16,3^\circ$

$$\begin{aligned}
 h_1 &= L - L \cos \alpha \\
 &= 62 - 62 \cos 20^\circ \\
 &= 62 - 62 \cdot 0,940 \\
 &= 3,72 \text{ cm} \approx 0,037 \text{ m} \\
 h_2 &= L - L \cos \beta \\
 &= 62 - 62 \cos 16,3^\circ \\
 &= 62 - 62 \cdot 0,959 \\
 &= 2,542 \text{ cm} \approx 0,025 \text{ m}
 \end{aligned}$$

maka,

$$HI = \frac{\rho \cdot g (h_1 - h_2)}{A}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{7034,914 \times 9,8 \times (0,037 - 0,025)}{10,16 \times 12,7} \\
 &= 6,411 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

- ❖ Nilai HI untuk pengerjaan 190<sup>0</sup>C – 30% serbuk arang kayu

Diketahui:  $\beta = 17^0$

$$\begin{aligned}
 h_1 &= L - L \cos \alpha \\
 &= 62 - 62 \cos 20^0 \\
 &= 62 - 62 \cdot 0,940 \\
 &= 3,72 \text{ cm} \approx 0,037 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_2 &= L - L \cos \beta \\
 &= 62 - 62 \cos 17^0 \\
 &= 62 - 62 \cdot 0,956 \\
 &= 2,728 \text{ cm} \approx 0,027 \text{ m}
 \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned}
 \text{HI} &= \frac{\rho \cdot g (h_1 - h_2)}{A} \\
 &= \frac{7034,914 \times 9,8 \times (0,037 - 0,027)}{10,16 \times 12,7} \\
 &= 5,342 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

- ❖ Nilai HI untuk pengerjaan 190<sup>0</sup>C – 40% serbuk arang kayu

Diketahui:  $\beta = 18,3^0$

$$\begin{aligned}
 h_1 &= L - L \cos \alpha \\
 &= 62 - 62 \cos 20^0 \\
 &= 62 - 62 \cdot 0,940 \\
 &= 3,72 \text{ cm} \approx 0,037 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$h_2 = L - L \cos \beta$$

$$\begin{aligned}
 &= 62 - 62 \cos 18,3^\circ \\
 &= 62 - 62 \cdot 0,949 \\
 &= 3,162 \text{ cm} \approx 0,031 \text{ m}
 \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned}
 \text{HI} &= \frac{\rho \cdot g (h_1 - h_2)}{A} \\
 &= \frac{7034,914 \times 9,8 \times (0,037 - 0,031)}{10,16 \times 12,7} \\
 &= 3,205 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

- ❖ Nilai HI untuk pengerjaan 200<sup>0</sup>C – 20% serbuk arang kayu

Diketahui:  $\beta = 17,3^\circ$

$$\begin{aligned}
 h_1 &= L - L \cos \alpha \\
 &= 62 - 62 \cos 20^\circ \\
 &= 62 - 62 \cdot 0,940 \\
 &= 3,72 \text{ cm} \approx 0,037 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_2 &= L - L \cos \beta \\
 &= 62 - 62 \cos 17,3^\circ \\
 &= 62 - 62 \cdot 0,954 \\
 &= 2,804 \text{ cm} \approx 0,028 \text{ m}
 \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned}
 \text{HI} &= \frac{\rho \cdot g (h_1 - h_2)}{A} \\
 &= \frac{7034,914 \times 9,8 \times (0,037 - 0,028)}{10,16 \times 12,7} \\
 &= 4,808 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

- ❖ Nilai HI untuk pengerjaan 200<sup>0</sup>C – 30% serbuk arang kayu

Diketahui:  $\beta = 18^0$

$$\begin{aligned} h_1 &= L - L \cos \alpha \\ &= 62 - 62 \cos 20^0 \\ &= 62 - 62 \cdot 0,940 \\ &= 3,72 \text{ cm} \approx 0,037 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= L - L \cos \beta \\ &= 62 - 62 \cos 18^0 \\ &= 62 - 62 \cdot 0,951 \\ &= 3,038 \text{ cm} \approx 0,030 \text{ m} \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned} \text{HI} &= \frac{\rho \cdot g (h_1 - h_2)}{A} \\ &= \frac{7034,914 \times 9,8 \times (0,037 - 0,030)}{10,16 \times 12,7} \\ &= 3,740 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

- ❖ Nilai HI untuk pengerjaan 200<sup>0</sup>C – 40% serbuk arang kayu

Diketahui:  $\beta = 19^0$

$$\begin{aligned} h_1 &= L - L \cos \alpha \\ &= 62 - 62 \cos 20^0 \\ &= 62 - 62 \cdot 0,940 \\ &= 3,72 \text{ cm} \approx 0,037 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= L - L \cos \beta \\ &= 62 - 62 \cos 19^0 \\ &= 62 - 62 \cdot 0,945 \\ &= 3,41 \text{ cm} \approx 0,034 \text{ m} \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned} \text{HI} &= \frac{\rho \cdot g (h_1 - h_2)}{A} \\ &= \frac{7034,914 \times 9,8 \times (0,037 - 0,034)}{10,16 \times 12,7} \\ &= 1,602 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

## B.2 Perhitungan Harga Impak pada Komposisi PP Murni

❖ Nilai HI untuk pengerjaan 180°C

Diketahui:  $\beta = 15^\circ$

$$\begin{aligned} h_1 &= L - L \cos \alpha \\ &= 62 - 62 \cos 20^\circ \\ &= 62 - 62 \cdot 0,940 \\ &= 3,72 \text{ cm} \approx 0,037 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= L - L \cos \beta \\ &= 62 - 62 \cos 15^\circ \\ &= 62 - 62 \cdot 0,965 \\ &= 2,17 \text{ cm} \approx 0,021 \text{ m} \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned} \text{HI} &= \frac{\rho \cdot g (h_1 - h_2)}{A} \\ &= \frac{7034,914 \times 9,8 \times (0,037 - 0,021)}{10,16 \times 12,7} \\ &= 8,548 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

- ❖ Nilai HI untuk pengerjaan 190<sup>0</sup>C

Diketahui:  $\beta = 14^0$

$$\begin{aligned} h_1 &= L - L \cos \alpha \\ &= 62 - 62 \cos 20^0 \\ &= 62 - 62 \cdot 0,940 \\ &= 3,72 \text{ cm} \approx 0,037 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= L - L \cos \beta \\ &= 62 - 62 \cos 14^0 \\ &= 62 - 62 \cdot 0,970 \\ &= 1,86 \text{ cm} \approx 0,018 \text{ m} \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned} HI &= \frac{\rho \cdot g (h_1 - h_2)}{A} \\ &= \frac{7034,914 \times 9,8 \times (0,037 - 0,018)}{10,16 \times 12,7} \\ &= 10.151 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

- ❖ Nilai HI untuk pengerjaan 200<sup>0</sup>C

Diketahui:  $\beta = 14^0$

$$\begin{aligned} h_1 &= L - L \cos \alpha \\ &= 62 - 62 \cos 20^0 \\ &= 62 - 62 \cdot 0,940 \\ &= 3,72 \text{ cm} \approx 0,037 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= L - L \cos \beta \\ &= 62 - 62 \cos 14^0 \\ &= 62 - 62 \cdot 0,970 \\ &= 1,86 \text{ cm} \approx 0,018 \text{ m} \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned} \text{HI} &= \frac{\rho \cdot g (h_1 - h_2)}{A} \\ &= \frac{7034,914 \times 9,8 \times (0,037 - 0,018)}{10,16 \times 12,7} \\ &= 10.151 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

## LAMPIRAN A. TABEL PENELITIAN

### A.1 Data Hasil Percobaan

#### 1. Data Hasil Pengujian Impak pada PP dengan Komposisi Serbuk Arang Kayu

Run Order	Faktor		Sudut $\beta$ ( $^{\circ}$ )	Bentuk Patahan
	Temperatur <i>Barrel</i> ( $^{\circ}$ C)	Komposisi Serbuk Arang Kayu (%)		
1	180	20	18	Getas
			17	Getas
			16	Getas
	Rata-rata : Nilai HI (Joule/mm <sup>2</sup> ) :		17 5,342	Getas
2	180	30	16	Getas
			18	Getas
			18	Getas
	Rata-rata : Nilai HI (Joule/mm <sup>2</sup> ) :		17,3 4,808	Getas
3	180	40	19	Getas
			18	Getas
			19	Getas
	Rata-rata : Nilai HI (Joule/mm <sup>2</sup> ) :		18,6 2.671	Getas
4	190	20	16	Getas
			16	Getas
			17	Getas
	Rata-rata : Nilai HI (Joule/mm <sup>2</sup> ) :		16,3 6,411	Getas
5	190	30	17	Getas
			18	Getas
			18	Getas
	Rata-rata : Nilai HI (Joule/mm <sup>2</sup> ) :		17,6 5,343	Getas
6	190	40	19	Getas
			18	Getas
			18	Getas
	Rata-rata : Nilai HI (Joule/mm <sup>2</sup> ) :		18,3 3,205	Getas
7	200	20	17	Getas
			18	Getas
			17	Getas
	Rata-rata : Nilai HI (Joule/mm <sup>2</sup> ) :		17,3 4,808	Getas

8	200	30	18	Getas
			19	Getas
			18	Getas
	Rata-rata : Nilai HI (Joule/mm <sup>2</sup> ) :		18,3 3.205	Getas
9	200	40	19	Getas
			19	Getas
			19	Getas
	Rata-rata : Nilai HI (Joule/mm <sup>2</sup> ) :		19 1,602	Getas

## 2. Hasil Pengujian Impak pada Komposisi PP Murni

Run Order	Faktor	Sudut (°)	Bentuk Patahan
	Temperatur <i>Barrel</i> (°C)		
1	180	15	Getas
		15	Getas
		15	Getas
	Rata-rata : Nilai HI (Joule/mm <sup>2</sup> ) :		15 8,548
2	190	14	Getas
		14	Getas
		14	Getas
	Rata-rata : Nilai HI (Joule/mm <sup>2</sup> ) :		14 10, 151
3	200	14	Getas
		14	Getas
		14	Getas
	Rata-rata : Nilai HI (Joule/mm <sup>2</sup> ) :		14 10,151

### A.2 Tabel Hasil Statistik dari SPSS 16.0

1. Untuk menentukan autokorelasi, maka dibutuhkan uji Durbin-Watson, dengan tabel dari SPSS sebagai berikut:

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.859 <sup>a</sup>	.737	.650	.1129183	1.380

a. Predictors: (Constant), X2, X1

b. Dependent Variable: Y1

Untuk menentukan homogenitas, maka dibutuhkan tabel dari SPSS sebagai berikut:

- Pengaruh temperature barrel terhadap kekuatan impact

**Test of Homogeneity of Variances**

Y1

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.411	2	6	.680

- Pengaruh komposisi serbuk arang terhadap kekuatan impact

**Test of Homogeneity of Variances**

Y1

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.640	2	6	.270

2. Untuk menentukan linearitas dan nilai F untuk uji F, diperlukan tabel SPSS sebagai berikut:

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.215	2	.107	8.414	.018 <sup>a</sup>
	Residual	.077	6	.013		
	Total	.291	8			

a. Predictors: (Constant), X2, X1

b. Dependent Variable: Y1

3. Untuk menentukan linearitas, diperlukan tabel SPSS sebagai berikut:

- Pengaruh temperatur barrel terhadap kekuatan impact

**ANOVA Table**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Y1 * X1	Between Groups (Combined)	.073	2	.037	1.008	.419
	Linearity	.032	1	.032	.874	.386
	Deviation from Linearity	.041	1	.041	1.142	.326
	Within Groups	.218	6	.036		
	Total	.291	8			

- Pengaruh komposisi serbuk arang terhadap kekuatan impact

**ANOVA Table**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Y1 * X2	Between Groups (Combined)	.207	2	.103	7.369	.024
	Linearity	.183	1	.183	13.027	.011
	Deviation from Linearity	.024	1	.024	1.712	.239
	Within Groups	.084	6	.014		
	Total	.291	8			

4. Untuk menentukan multikolinearitas dan nilai t untuk uji t, diperlukan tabel SPSS sebagai berikut:

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1 (Constant)	9.512	4.612		2.063	.085		
X1	-3.178	2.015	-.330	-1.578	.166	1.000	1.000
X2	-1.154	.305	-.793	-3.787	.009	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Y1

5. Untuk menentukan normalitas dari suatu data, diperlukan tabel SPSS sebagai berikut:

**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

		Y1	X1	X2
N		9	9	9
Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.585482	2.278352E0	1.460070E0
	Std. Deviation	.1907437	.0198159	.1309756
Most Extreme Differences	Absolute	.249	.211	.221
	Positive	.123	.211	.221
	Negative	-.249	-.207	-.218
Kolmogorov-Smirnov Z		.747	.634	.663
Asymp. Sig. (2-tailed)		.632	.817	.772
a. Test distribution is Normal.				

A.3 Tabel Durbin-Watson (DW),  $\alpha = 5\%$ 

n	k=1		k=2		k=3		k=4		k=5	
	dL	dU								
6	0.6102	1.4002								
7	0.6996	1.3564	0.4672	1.8964						
8	0.7629	1.3324	0.3391	1.7771	0.3674	2.2866				
9	0.8243	1.3199	0.6291	1.6993	0.4548	2.1282	0.2957	2.9881		
10	0.8791	1.3197	0.6972	1.6413	0.3253	2.0163	0.3760	2.4137	0.2427	2.8217
11	0.9273	1.3241	0.7580	1.6044	0.5948	1.9280	0.4441	2.2833	0.3155	2.6446
12	0.9708	1.3314	0.8122	1.5794	0.6377	1.8640	0.5120	2.1766	0.3796	2.5061
13	1.0097	1.3404	0.8612	1.5621	0.7147	1.8159	0.5745	2.0943	0.4445	2.3897
14	1.0450	1.3503	0.9054	1.5507	0.7667	1.7788	0.6321	2.0296	0.5052	2.2959
15	1.0770	1.3605	0.9453	1.5432	0.8140	1.7501	0.6832	1.9774	0.5620	2.2198
16	1.1062	1.3709	0.9820	1.5386	0.8572	1.7277	0.7340	1.9351	0.6150	2.1567
17	1.1330	1.3812	1.0154	1.5361	0.8968	1.7101	0.7790	1.9005	0.6640	2.1041
18	1.1576	1.3913	1.0461	1.5353	0.9331	1.6961	0.8204	1.8719	0.7098	2.0600
19	1.1804	1.4012	1.0743	1.5353	0.9666	1.6851	0.8588	1.8482	0.7523	2.0226
20	1.2015	1.4107	1.1004	1.5367	0.9978	1.6763	0.8943	1.8283	0.7918	1.9908
21	1.2212	1.4200	1.1246	1.5383	1.0262	1.6694	0.9272	1.8116	0.8286	1.9635
22	1.2395	1.4289	1.1471	1.5408	1.0529	1.6640	0.9578	1.7974	0.8629	1.9400
23	1.2567	1.4375	1.1682	1.5433	1.0778	1.6597	0.9864	1.7855	0.8949	1.9196
24	1.2728	1.4458	1.1878	1.5464	1.1010	1.6565	1.0131	1.7753	0.9249	1.9018
25	1.2879	1.4537	1.2063	1.5495	1.1228	1.6540	1.0383	1.7666	0.9530	1.8863
26	1.3022	1.4614	1.2236	1.5528	1.1432	1.6523	1.0616	1.7591	0.9794	1.8727
27	1.3157	1.4688	1.2399	1.5562	1.1624	1.6510	1.0836	1.7527	1.0042	1.8608
28	1.3284	1.4759	1.2553	1.5596	1.1805	1.6503	1.1044	1.7473	1.0276	1.8502
29	1.3405	1.4828	1.2699	1.5631	1.1978	1.6499	1.1241	1.7426	1.0497	1.8409
30	1.3520	1.4894	1.2837	1.5666	1.2138	1.6496	1.1426	1.7386	1.0706	1.8326
31	1.3630	1.4957	1.2969	1.5701	1.2282	1.6490	1.1602	1.7352	1.0904	1.8252
32	1.3734	1.5019	1.3093	1.5736	1.2417	1.6485	1.1769	1.7323	1.1092	1.8187
33	1.3834	1.5078	1.3212	1.5770	1.2536	1.6481	1.1927	1.7298	1.1270	1.8128
34	1.3929	1.5136	1.3325	1.5805	1.2657	1.6479	1.2078	1.7277	1.1439	1.8076
35	1.4019	1.5191	1.3433	1.5838	1.2763	1.6478	1.2221	1.7259	1.1601	1.8029
36	1.4107	1.5245	1.3537	1.5872	1.2853	1.6479	1.2358	1.7243	1.1755	1.7987
37	1.4190	1.5297	1.3635	1.5904	1.3068	1.6480	1.2489	1.7233	1.1901	1.7950
38	1.4270	1.5348	1.3730	1.5937	1.3177	1.6483	1.2614	1.7223	1.2042	1.7916
39	1.4347	1.5396	1.3821	1.5969	1.3283	1.6485	1.2734	1.7215	1.2176	1.7886
40	1.4421	1.5444	1.3908	1.6000	1.3384	1.6488	1.2848	1.7209	1.2305	1.7859
41	1.4493	1.5490	1.3992	1.6031	1.3480	1.6490	1.2958	1.7205	1.2428	1.7835
42	1.4562	1.5534	1.4073	1.6061	1.3573	1.6491	1.3064	1.7202	1.2546	1.7814
43	1.4628	1.5577	1.4151	1.6091	1.3663	1.6492	1.3166	1.7200	1.2660	1.7794
44	1.4692	1.5619	1.4226	1.6120	1.3749	1.6492	1.3263	1.7200	1.2769	1.7777
45	1.4754	1.5660	1.4298	1.6148	1.3832	1.6492	1.3357	1.7200	1.2874	1.7762
46	1.4814	1.5700	1.4368	1.6176	1.3912	1.6492	1.3448	1.7201	1.2976	1.7748
47	1.4872	1.5739	1.4435	1.6204	1.3989	1.6492	1.3535	1.7203	1.3075	1.7736
48	1.4928	1.5776	1.4500	1.6231	1.4064	1.6493	1.3619	1.7206	1.3167	1.7725
49	1.4982	1.5813	1.4564	1.6257	1.4136	1.6493	1.3701	1.7210	1.3256	1.7716
50	1.5035	1.5849	1.4625	1.6283	1.4206	1.6493	1.3779	1.7214	1.3346	1.7708
51	1.5086	1.5884	1.4684	1.6309	1.4273	1.6494	1.3855	1.7218	1.3430	1.7701
52	1.5135	1.5917	1.4741	1.6334	1.4339	1.6494	1.3929	1.7223	1.3512	1.7694
53	1.5183	1.5951	1.4797	1.6359	1.4402	1.6495	1.4000	1.7228	1.3592	1.7689
54	1.5230	1.5983	1.4851	1.6383	1.4464	1.6495	1.4069	1.7234	1.3669	1.7684
55	1.5276	1.6014	1.4903	1.6406	1.4523	1.6495	1.4136	1.7240	1.3743	1.7681
56	1.5320	1.6045	1.4954	1.6430	1.4581	1.6495	1.4201	1.7246	1.3815	1.7678
57	1.5363	1.6075	1.5004	1.6452	1.4637	1.6495	1.4264	1.7253	1.3885	1.7675
58	1.5405	1.6105	1.5052	1.6473	1.4692	1.6495	1.4325	1.7259	1.3953	1.7673
59	1.5446	1.6134	1.5099	1.6497	1.4745	1.6495	1.4385	1.7266	1.4019	1.7672
60	1.5485	1.6162	1.5144	1.6518	1.4797	1.6495	1.4443	1.7274	1.4080	1.7671
61	1.5524	1.6189	1.5189	1.6540	1.4847	1.6495	1.4499	1.7281	1.4146	1.7671
62	1.5562	1.6216	1.5232	1.6561	1.4896	1.6495	1.4554	1.7288	1.4206	1.7671
63	1.5599	1.6243	1.5274	1.6581	1.4943	1.6495	1.4607	1.7296	1.4263	1.7671
64	1.5635	1.6268	1.5315	1.6601	1.4990	1.6495	1.4659	1.7303	1.4322	1.7672
65	1.5670	1.6294	1.5353	1.6621	1.5035	1.6495	1.4709	1.7311	1.4378	1.7673
66	1.5704	1.6318	1.5393	1.6640	1.5079	1.6495	1.4758	1.7319	1.4433	1.7673
67	1.5738	1.6343	1.5433	1.6660	1.5122	1.6495	1.4806	1.7327	1.4486	1.7676
68	1.5771	1.6367	1.5470	1.6678	1.5164	1.7001	1.4853	1.7335	1.4537	1.7678
69	1.5803	1.6390	1.5507	1.6697	1.5205	1.7015	1.4899	1.7343	1.4588	1.7680
70	1.5834	1.6413	1.5542	1.6715	1.5245	1.7028	1.4943	1.7351	1.4637	1.7683

#### A.4 Tabel Persentase Distribusi F untuk probabilita = 0,05

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

## A.5 Tabel Uji Individual (Uji T)

t Table

cum. prob	$t_{.50}$	$t_{.75}$	$t_{.80}$	$t_{.85}$	$t_{.90}$	$t_{.95}$	$t_{.975}$	$t_{.99}$	$t_{.995}$	$t_{.999}$	$t_{.9995}$
one-tail	0.50	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
two-tails	1.00	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.002	0.001
df											
1	0.000	1.000	1.378	1.963	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66	318.31	636.62
2	0.000	0.818	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.599
3	0.000	0.765	0.978	1.260	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.924
4	0.000	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	0.000	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6	0.000	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	0.000	0.711	0.898	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8	0.000	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	0.000	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.282	2.821	3.250	4.297	4.781
10	0.000	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	0.000	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	0.000	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	0.000	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	0.000	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	0.000	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	0.000	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	0.000	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18	0.000	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19	0.000	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	0.000	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21	0.000	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22	0.000	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23	0.000	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.768
24	0.000	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25	0.000	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26	0.000	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27	0.000	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28	0.000	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29	0.000	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30	0.000	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
40	0.000	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
60	0.000	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460
80	0.000	0.678	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.195	3.416
100	0.000	0.677	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.174	3.390
1000	0.000	0.675	0.842	1.037	1.282	1.646	1.962	2.330	2.581	3.098	3.300
<b>Z</b>	0.000	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.328	2.576	3.090	3.291
	0%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99.8%	99.9%
	Confidence Level										

**LAMPIRAN C. FOTO PENELITIAN**

Gambar C.1 Mesin *Injection Moulding*



Gambar C.2 Sistem Kontrol Suhu



Gambar C.3 Hopper



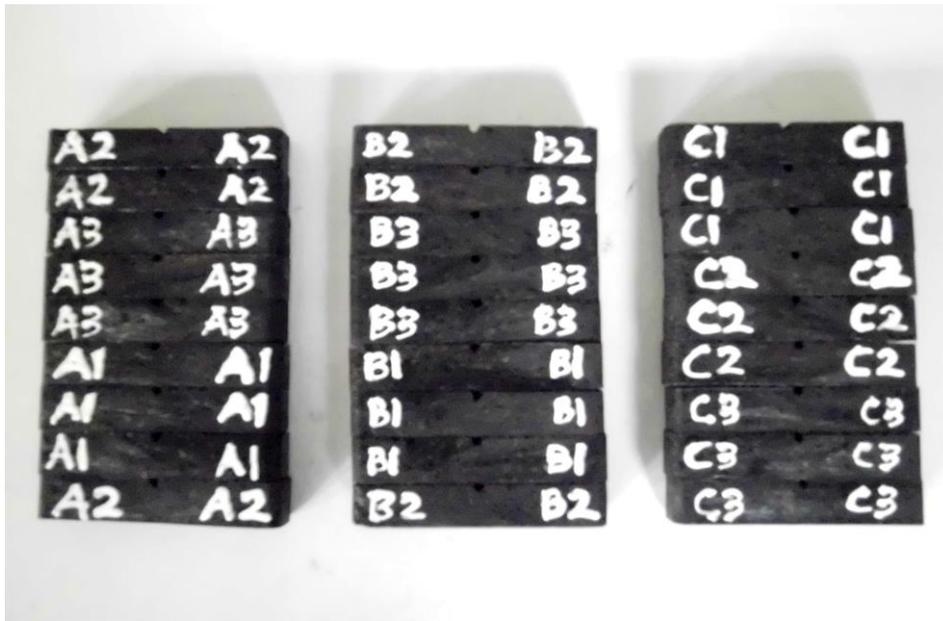
Gambar C.4 Cetakan



Gambar C.5 *Pneumatic Valve dan Pressure Gauge*



Gambar C.6 *Tuas Tekanan*



Gambar C.7 Spesimen



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
**POLITEKNIK NEGERI MALANG**  
**JURUSAN TEKNIK MESIN**

Jl. Veteran PO. Box 04 Malang 65145 Telp/Fax. (0341)550180  
<http://www.poltek-malang.ac.id>



**SURAT KETERANGAN**

Nomor : 374/PL2.TM/KM/2013

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Imam Mashudi, B.Eng (HONS), MT.  
 NIP : 19631110 199103 1 003  
 Jabatan : Ketua Jurusan T. Mesin  
 Politeknik Negeri Malang

Menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa :

Nama : Hanry Febryanto  
 NIM : 091910101001  
 Jurusan : Mesin (S1)  
 Fakultas : Teknik  
 Universitas Jember

Benar-benar telah melaksanakan praktek Injection Moulding di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang pada tanggal 30 April 2013 sampai selesai , guna keperluan penyusunan skripsi.

Demikian surat ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

16 Juni 2013  
 Mengetahui  
 Ketua Jurusan Teknik Mesin,



Imam Mashudi, B.Eng (HONS), MT.  
 NIP 19631110 199103 1 003