



TUGAS AKHIR - TM141576

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH KOMPOSISI
MATERIAL BIOKOMPOSIT DAN VARIABEL PROSES
INJEKSI TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN
IMPAK**

**ANTONIUS DANNY NUGROHO
NRP. 2113.106.039**

**Pembimbing:
Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - TM141576

**EXPERIMENTAL STUDY IN BIOCOMPOSITE
MATERIAL COMPOSITION EFFECT AND
INJECTION PROCESS VARIABLE FOR TENSILE
AND IMPACT STRENGTH**

**ANTONIUS DANNY NUGROHO
NRP. 2113.106.039**

**Academic Advisor:
Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng.**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH KOMPOSISI
MATERIAL BIOKOMPOSIT DAN VARIABEL PROSES
INJEKSI TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN IMPAK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ANTONIUS DANNY NUGROHO
NRP. 2113 106 039

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ing.Ir. I Made Londen Batan, M.Eng. (Pembimbing)
(NIP. 195811061986011001)
2. Dinny Harnany, ST., M.Sc. (Penguji I)
(NIP. 2100201405001)
3. Indra Sidharta, ST., M.Sc. (Penguji II)
(NIP. 198006192006041004)

SURABAYA
JULI, 2016

Studi Eksperimen Pengaruh Komposisi Material Biokomposit dan Variabel Proses Injeksi Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak

Nama Mahasiswa : Antonius Danny Nugroho
NRP : 2113.106.039
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr.Ing. I Made Londen B, M.Eng

ABSTRAK

Pemakaian plastik sangatlah mendominasi pada industri kecil maupun besar, hal ini dikarenakan sudah banyak produk yang berbahan baku plastik, diantaranya adalah helm, bodykit motor maupun mobil, peralatan rumah tangga, dll. Bahan baku plastik yang mahal serta harus import dari luar negeri memancing kita untuk memutar otak mencari material terbarukan yang lebih murah serta ramah lingkungan, salah satunya adalah material biokomposit. Sekam padi yang dapat digunakan sebagai material penguat dari biokomposit sangat banyak dijumpai di Indonesia. Sehingga alangkah baiknya digunakan sebagai campuran dari material biokomposit daripada tidak terpakai. Pencetakan material biokomposit menjadi produk jadi tidak lepas dari proses injeksi molding. Untuk itu dilakukan studi eksperimen penentuan parameter proses injeksi material biokomposit. Sehingga dengan parameter yang sesuai dapat meminimalisir cacat serta meningkatkan sifat mekanis dari material biokomposit.

Pada tugas akhir ini material biokomposit yang digunakan adalah campuran dari *polypropylene* (PP), sekam padi dan *Maleic Anhydride Polypropylene* (MAPP). Dengan perbandingan komposisi PP : sekam padi : MAPP berturut-turut adalah 90% wt PP : 5% wt sekam padi : 5% wt MAPP, 85% wt PP : 10% wt sekam padi : 5% wt MAPP, 80% wt PP : 15% wt sekam padi : 5% wt MAPP, 75% wt PP : 20% wt sekam padi : 5% wt MAPP. Keempat komposisi

bahan tersebut disimulasikan dengan *software Moldflow adviser 2015*, agar dapat diketahui parameter proses injeksi yang paling sesuai dengan mesin injeksi Haitian MA 900/260e. Dengan setting parameter proses yang didapat dari simulasi, material biokomposit diinjeksikan untuk menghasilkan spesimen uji tarik ASTM D638-03 dan dampak ASTM D256-04. Spesimen tersebut selanjutnya dilakukan pengujian tarik dan dampak, untuk mengetahui sifat mekanik dari material biokomposit tersebut. Serta dilakukan uji SEM (Scanning Electron Microscopy) untuk mengetahui struktur mikroskopis dari material biokomposit.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah seluruh komposisi material biokomposit dapat dilakukan proses injeksi. Material biokomposit dengan komposisi 5%wt sekam padi ; 5%wt MAPP dan komposisi 10%wt sekam padi ; 5%wt MAPP dapat digunakan sebagai material alternatif pengganti PP murni. Dikarenakan memiliki kekuatan tarik dan kekuatan dampak berturut-turut 29.52 (MPa) ; 28.32 (MPa) dan 3981 (j/m²) ; 3097 (j/m²) yang mendekati PP murni. Sedangkan material biokomposit dengan komposisi 15%wt sekam padi ; 5%wt MAPP dan komposisi 20%wt sekam padi ; 5%wt MAPP tidak dapat dijadikan material alternatif karena sifatnya yang cenderung getas dan tidak tangguh.

Kata kunci: Biokomposit, *Maleic Anhydride Polypropylene (MAPP)*, , Parameter Proses Injeksi, *Polypropylene*, Sekam Padi, Simulasi

Experimental Study in Biocomposite Material Composition Effect and Injection Process Variable for Tensile and Impact Strength

Name of student : Antonius Danny Nugroho
Registration No. : 2113.106.039
Department : Teknik Mesin FTI – ITS
Academic Advisor : Prof. Dr.Ing. I Made Londen B, M.Eng

ABSTRACT

Plastic usages are currently dominating in minor and major industries, because there are many products which made from plastic material, such as helmet, motorbike and car's bodykits, household appliances, etc. The high-priced imported plastic material makes us to find a new way to get renewable material with affordable price and eco-friendly , for example biocomposite material. Rice husk used as a reinforced material for biocomposite, which can be easily found in Indonesia. So, it would be good if used be as a mixture of biocomposite material. Molding process on biocomposite material into product, are strongly related with injection molding process. Therefore should be performed experimental study for determine injection molding parameter biocomposite material. So, with the best process setting parameter can minimize the defect found in the product and increase biocomposite material mechanical properties.

In this final task polypropylene (PP), rice husk and Maleic Anhydride Polipropylene (MAPP) are used to form biocomposite material. The formulations are (90%wt PP : 5%wt rice husk : 5%wt MAPP) ; (85%wt PP : 10%wt rice husk : 5%wt MAPP) ; (80%wt PP : 15%wt rice husk : 5%wt MAPP) and (75%wt PP : 20%wt rice husk : 5%wt MAPP). These four formulations are simulated with Moldflow adviser 2015 software to get the injection parameter that fit best with Haitian MA 900/260e injection

machine. These setting parameter to get ASTM D638-03 and ASTM D256-04 specimens. Biocomposite material specimens are test with tensile and impact methods to evaluate biocomposite material mechanical properties. And SEM (Scanning Electron Microscopy) test to know microscopic structure from biocomposite material.

In this final task, the result have shown that every biocomposite material composition can be to process injection molding. Biocomposite material with (90%wt PP : 5%wt rice husk : 5%wt MAPP) and (85%wt PP : 10%wt rice husk : 5%wt MAPP) compositions can be used as an alternative material to alenate pure PP. Because these material have a tensile and impact strength sequent are 29.52 (MPa) ; 28.32 (MPa) dan 3981 (j/m²) ; 3097 (j/m²) close enough from pure PP. Whereas biocomposite material with (80%wt PP : 15%wt rice husk : 5%wt MAPP) and (75%wt PP : 20%wt rice husk : 5%wt MAPP) compositions can not be used as an alternative material, because have a brittle and not strong material properties.

Key words: Biocomposite, Polypropylene, Rice Husk, Maleic Anhydride Polypropylene (MAPP), Simulation, Injection Process Parameter

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Biokomposit	7
2.2.1 Polypropylene	8
2.2.2 Sekam padi	9
2.2.3 Maleic Anhydride Grafted Polypropylene	11
2.3 Injection Molding	11
2.4 Uji Tarik	13
2.5 Uji Impak	16
2.6 Scanning Electron Microscope (SEM)	19
2.7 Software Autodesk Moldflow Adviser	20
BAB III	23
METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Diagram Alir Penelitian	23
3.2 Tahap-Tahap Penelitian	24
3.2.1 Studi Literatur dan Lapangan	24
3.2.2 Material Alternatif Biokomposit	25

3.2.3	Simulasi Proses Injeksi	25
3.2.4	Identifikasi Parameter Proses Injeksi	25
3.2.5	Eksperimen Proses Injeksi	26
3.2.6	Pengujian Tarik dan Impak Spesimen	29
3.2.7	Pengujian SEM (Scanning Electron Microscopy)	31
3.2.8	Analisa Hasil Eksperimen	31
BAB IV		33
SIMULASI DAN IDENTIFIKASI PARAMETER PROSES INJEKSI		33
4.1	Simulasi Proses Injeksi Spesimen	33
4.1.1	Langkah-Langkah Simulasi Proses Injeksi Spesimen	33
4.1.2	Hasil Simulasi Proses Injeksi Spesimen	36
4.2	Analisa Hasil Simulasi Proses Injeksi Spesimen	47
4.3	Identifikasi Parameter Proses Injeksi Spesimen	48
BAB V		51
EKSPERIMEN PROSES INJEKSI SPESIMEN		51
5.1	Pengamatan Hasil Eksperimen Proses Injeksi Material Biokomposit	51
5.2	Pengujian Mekanik Material Biokomposit	52
5.2.1	Uji Tarik	52
5.2.2	Uji Impak	56
5.3	Analisa Hasil Pengujian Mekanik Material Biokomposit	60
5.4	Analisa Hasil Uji SEM (Scanning Electron Microscopy)	61
BAB VI		65
PENUTUP		65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA		xvii
LAMPIRAN		xviii
BIODATA PENULIS		xxiv

DAFTAR GAMBAR

BAB II

Gambar 2.1 Hasil penelitian (a) flextural & tensile strength, (b) flextural & impact modulus dan (c) impact strength (Nanang:2012: 48,50,54)	5
Gambar 2.2 Material <i>Polypropylene</i>	8
Gambar 2.3 Sekam Padi	9
Gambar 2.4 MAPP	11
Gambar 2.5 Sistem Injeksi Molding	12
Gambar 2.6 Grafik deformasi tegangan–regangan (Sumaryono: “Perilaku Pengujian Tarik pada Polistiren dan Polipropilen”: 2012: 69)	13
Gambar 2. 7 Diagram tegangan-regangan uji tarik bahan ulet (Sumaryono: “Perilaku Pengujian Tarik pada Polistiren dan Polipropilen”: 2012: 70)	15
Gambar 2. 8 Metode dalam pengujian impak, (a) metode Izod dan (b) metode charpy	17
Gambar 2. 9 Skema perhitungan uji impak	18
Gambar 2. 10 Hasil SEM dari proses Hot Press PP dan RH (a) tanpa MAPP; (b) dengan MAPP. (Simone Maria Leal Rosa: “ <i>Studies on The Properties of Rice Husk Filled PP Composites – Effect of MAPP</i> ”: 2009)	20
Gambar 2. 11 Tampilan jendela Moldflow	21

BAB III

Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	23
Gambar 3. 2 Mesin injeksi molding yang berada di workshop Teknik Mesin ITS	27
Gambar 3. 3 Spesimen uji tarik ASTM D638-03 Tipe V	27
Gambar 3. 4 Spesimen uji impak ASTM D256-04	28
Gambar 3. 5 Mesin uji tarik AUTOGRAPH AG-10TE	29
Gambar 3. 6 Mesin <i>Mini Impact Tester</i> tipe <i>Charpy</i>	30
Gambar 3. 7 Mesin uji SEM Phenom ProX	31

BAB IV

Gambar 4. 1 Tampilan tabulasi *Thermoplastics Material* 34

BAB V

- Gambar 5. 1 Hasil proses injeksi spesimen biokomposit uji tarik ASTM D638 (1) biokomposit A, (2) biokomposit B, (3) biokomposit C dan (4) biokomposit D 51
- Gambar 5. 2 Hasil proses injeksi spesimen biokomposit uji impak ASTM D6110 (1) biokomposit A, (2) biokomposit B, (3) biokomposit C dan (4) biokomposit D 51
- Gambar 5. 3 Hasil pengujian tarik spesimen biokomposit ASTM D638-03 Tipe V (1) biokomposit A, (2) biokomposit B, (3) biokomposit C dan (4) biokomposit D 54
- Gambar 5. 4 Grafik hasil uji tarik spesimen biokomposit (kekuatan tarik) 54
- Gambar 5. 5 Grafik hasil uji tarik spesimen biokomposit (perpanjangan) 55
- Gambar 5. 6 Hasil pengujian impak spesimen biokomposit ASTM D256-04 (1) biokomposit A, (2) biokomposit B, (3) biokomposit C dan (4) biokomposit D 56
- Gambar 5. 7 Grafik hasil uji impak spesimen biokomposit 58
- Gambar 5. 8 Penampakan patahan dari permukaan spesimen hasil uji impak *charpy* (1) biokomposit A, (2) biokomposit B, (3) biokomposit C dan (4) biokomposit D 59
- Gambar 5. 9 Efek penambahan MAPP pada komposit PP dan *Rice Husk* 60
- Gambar 5. 10 Hasil uji SEM (1) biokomposit A (2) biokomposit B 61
- Gambar 5. 11 Hasil uji SEM (3) biokomposit C (4) biokomposit D 62
- Gambar 5. 12 Hasil uji SEM PP murni 62

DAFTAR TABEL

BAB II

Tabel 2. 1 Hasil pengujian tensile dan impact strength dari penelitian Burgstaller	7
Tabel 2. 2 Properties dari <i>Polypropylene</i>	9
Tabel 2. 3 Menunjukkan komponen-komponen <i>physical properties</i> dari sekam padi atau <i>Rice Husk</i> (RH).	10

BAB III

Tabel 3. 1 Komposisi material biokomposit	25
Tabel 3. 2 Spesifikasi mesin injection molding HAITIAN MA type 900/260 e	26

BAB IV

Tabel 4. 1 Data masukan karakteristik material simulasi	33
Tabel 4. 2 Parameter simulasi <i>Moldflow</i>	35
Tabel 4. 3 Hasil simulasi <i>filltime</i>	37
Tabel 4. 4 Hasil simulasi <i>injection pressure</i>	39
Tabel 4. 5 Hasil simulasi <i>average temperature</i>	42
Tabel 4. 6 Hasil simulasi <i>volumetric shrinkage</i>	44
Tabel 4. 7 Hasil simulasi <i>cooling time</i>	46
Tabel 4. 8 Parameter proses injeksi hasil simulasi	47
Tabel 4. 9 Parameter proses injeksi aktual	48

BAB V

Tabel 5. 1 Data hasil pengujian tarik	53
Tabel 5. 2 Data hasil pengujian impak	57

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemakaian plastik dalam kehidupan sekitar kita sangatlah besar, mulai dari industri kecil hingga industri besar. Salah satu industri yang kerap hubungannya dengan plastik adalah industri helm. Helm sendiri merupakan perangkat keselamatan standar yang wajib digunakan oleh pengguna kendaraan bermotor roda dua. Oleh karena itu kualitas dari helm sangatlah penting, dibuat kuat dan cukup ringan sehingga pengguna helm dapat merasa aman dan nyaman.

Permasalahan ditemukan ketika berkunjung ke industri kecil di kabupaten Mojokerto. Produsen pembuat helm memproduksi helm nya dengan cara pencetakan manual yaitu pelapisan/laminasi serat sintesis dan masih belum memenuhi SNI, selain itu harga material resin juga sangat mahal. Berbeda dengan industri lain yang sudah menggunakan proses *injection molding*, dilihat dari waktu produksinya jelas proses injection molding memiliki waktu produksi yang lebih pendek ketimbang pencetakan manual. Hal ini menunjukkan kebutuhan akan bahan baku plastik di Indonesia sangatlah besar, akan tetapi kebutuhan yang besar tersebut tidak ditunjang oleh sumber daya alam dalam negeri, melainkan dipenuhi dengan impor.

Badan Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) melalui FAO pada tanggal 20 Oktober 2008 merencanakan tahun 2009 sebagai *International Year of Fiber*. Dimana kegiatan itu adalah pemanfaatan berbagai serat alam menjadi sumber bahan baku dalam industri. Indonesia yang sebagian besar penduduknya mengkonsumsi beras tidak lepas dari sekam padi yang merupakan limbah dari proses penggilingan padi menjadi beras. Oleh karena itu alangkah baiknya sekam padi yang merupakan serat alam ini dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku industri. Sekam padi merupakan material alami yang cukup murah dan dapat dijadikan

sebagai biokomposit memperkuat polimer *polypropylene* (Jearanaisilawong dkk, 2015)

Beberapa penelitian terdahulu berkaitan dengan material terbarukan seperti Nanang Masruchin (2012) telah melakukan pencetakan biokomposit dengan proses *injection molding*. Pada penelitian tersebut *polypropylene* dicampur dengan penguat serat sisal dan serat serabut kelapa yang sebelumnya sudah dibuat dalam bentuk pelet. Subasinghe dkk (2015) membuat material biokomposit dari *polypropylene* (PP), *maleic anhydride grafted polypropylene* (MAPP) dan serat kenaf yang kemudian dicetak dengan proses *injection molding*.

Untuk menjaga kualitas hasil pencetakan yang dapat mempengaruhi sifat mekanik dari material, maka perlu pengaturan parameter proses pada mesin *injection molding* yang tepat. Resha Sigid (2013) melakukan variasi temperatur dan waktu tahan untuk material campuran *polypropylene* dan *polyethylene* terhadap respon cacat penyusutan (*shrinkage*) dan kekuatan tarik. Sbrnkokska dkk (2009) melakukan pengolahan polimer daur yang dicampur serat kenaf dan sekam padi dengan setting parameter proses injeksi molding yaitu temperatur barel.

Untuk mencari material alternatif plastik yang murah dan ramah lingkungan saudara Mutawafiqin (2016), melakukan penelitian yaitu mencampurkan antara PP dengan sekam padi ditambah MAPP sebagai perekat. Material tersebut nantinya disebut dengan biokomposit. Berbagai komposisi campuran PP dan sekam padi dicoba untuk dicampurkan dengan mesin ekstruder. Untuk mengetahui apakah material biokomposit tersebut dapat digunakan sebagai material pada proses injeksi dengan mesin *injection molding*, maka dilakukan pengukuran temperatur leleh biokomposit.

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan tersebut, perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang pengaturan parameter proses *injection molding* dengan menggunakan material biokomposit campuran *polypropylene* dengan sekam padi. Dari penelitian ini dengan memadukan analisis software simulasi dan aktual proses

injection molding diharapkan dapat menentukan setting parameter proses yang tepat dari mesin *injection molding* HAITIAN MA 900/260e untuk material campuran *polypropylene* dan sekam padi untuk mendapatkan kekuatan tarik dan kekuatan impak dari material biokomposit.

1.2 Perumusan masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka perumusan masalah untuk penelitian ini:

1. Apakah material biokomposit dapat digunakan sebagai material proses *injection molding*?
2. Bagaimana setting yang tepat dari parameter proses *injection molding* material biokomposit untuk mendapatkan kekuatan tarik dan impak yang mendekati *polypropylene*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberlakukan agar penelitian dapat berjalan secara fokus dan terarah serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan, adalah sebagai berikut:

1. Material alternatif berupa campuran antara *polypropylene* (PP), sekam padi dan *maleic anhydride polypropylene* (MAPP).
2. Spesimen uji tarik dan uji impak sesuai dengan standar, benda uji tarik ASTM D638-03 Tipe V dan uji impak ASTM D256-04.
3. Mesin *injection molding* yang digunakan HAITIAN MA 900/260e.
4. Mesin uji beban kejut (*impact*) yang digunakan adalah Mesin *Mini Impact Tester* jenis *charpy* dengan kemampuan menyalurkan energi sebesar 0.5-22 J.
5. Mesin uji tarik yang digunakan adalah AUTOGRAPH AG-10TE dengan kapasitas 100 kN.
6. Pengamatan hanya dilakukan secara visual.
7. Setting parameter hanya dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan tarik dan impak.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan perumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui apakah material biokomposit dapat digunakan sebagai material *injection molding*.
2. Mengetahui setting yang tepat dari parameter proses *injection molding* material biokomposit untuk mendapatkan kekuatan tarik dan dampak yang mendekati *polypropylene*.

1.5 Manfaat Penelitian

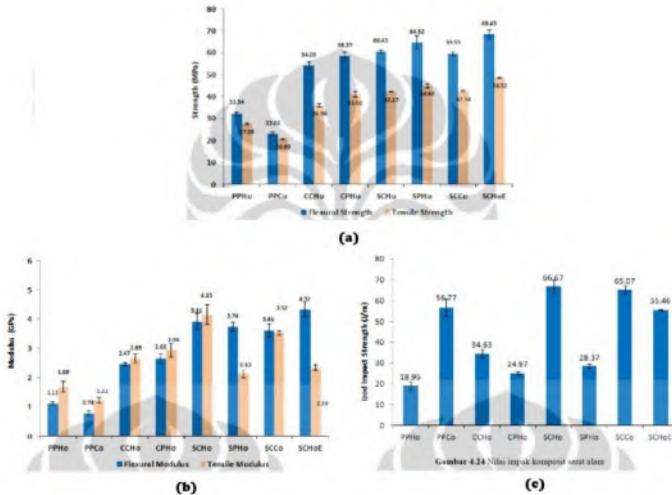
Manfaat yang diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai material alternatif pengganti polypropylene yang dapat digunakan.
2. Meningkatkan pengetahuan dibidang perancangan simulasi *moldflow* dan proses injeksi molding plastik.
3. Sebagai referensi bagi pembaca dan penelitian-penelitian sejenisnya dalam rangka pengembangan tentang pengaruh parameter proses terhadap kekuatan tarik dan dampak dari material biokomposit.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Nanang (2012) membuat material komposit berbasis polimer polypropylene (PP) dengan penguat serat alam yaitu serat sisal dan serat serabut kelapa. Dengan komposisi campuran serat alam 40%, 5% *coupling agent* jenis PP-g-MA dan polypropylene sisanya. Ketiganya dicampur dengan mesin *kneader twin-screw* dengan kondisi operasi suhu 180°C, kecepatan 60 rpm selama 15 menit. Hasil pencampuran dihancurkan dengan *crusher* untuk selanjutnya dibuat spesimen dengan menggunakan mesin injection molding *AIC Auckland Industrial* dengan kondisi operasi Temperatur screw 220°C, 210°C, 200°C. Injection dan holding pressure sebesar 50 MPa dan 30 Mpa serta cooling time selama 20-30 detik. Lalu selanjutnya dilakukan pengujian DSC, SEM serta uji tarik dan impak



Gambar 2. 1 Hasil penelitian (a) flextural & tensile strength, (b) flextural & impact modulus dan (c) impact strength (Nanang:2012: 48,50,54)

Dari penelitian ini didapat bahwa sifat mekanik polimer PP dapat ditingkatkan dengan penambahan serat alam. Serat sisal memiliki sifat mekanis yang lebih baik dibanding serat serabut kelapa yang dibuktikan dari nilai kuat tarik, struktur mikro, drajat kristalinitas dan stabilitas terhadap panas.

Mutawafiqin (2016) membuat pellet biokomposit dengan variasi campuran antara sekam padi, PP dan MAPP. Komposisi yang digunakan untuk sekam padi, PP dan MAPP secara berturut-turut adalah biokomposit A (5%:90%:5%), biokomposit B (10%:85%:5%), biokomposit C (15%:80%:5%) dan biokomposit D (20%:75%:5%). Dicampur menggunakan mesin Labo Plastomill 4C150 dengan parameter proses yang digunakan 185°C pada elemen pemanas, kecepatan 40 RPM dan tekanan 50 MPa. Dari hasil uji DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) dan pengamatan cacat void secara mikroskopi, didapatkan bahwa material biokomposit B memiliki kualitas pellet yang baik dibanding dengan material lainnya. Hal ini dikarenakan material biokomposit B memiliki temperatur leleh tertinggi yaitu sebesar 164,2°C dan memiliki cacat void terdikit yaitu 5.875%.

Burgstaller (2014) membuat material komposit dari *polypropylene* (PP) dengan *rice husks*, *wood flour* dan *sisal fibres* dengan level serat alam yang berbeda yaitu (0, 10, 20, 30, 40, 50 %wt) dan ditambahkan compatibilizer sebesar 3 %wt. Proses pencampuran material menggunakan *co-rotating twin screw extruder Thermoprism TSE24HC* dengan kecepatan dijaga konstan sebesar 400 rpm dan maksimum temperature barrel sebesar 210°C. Hasil campuran tersebut dipotong dengan panjang 4 mm dan dikeringkan pada suhu 80°C selama 4 jam. Komposit yang berbentuk pelet dicetak dengan menggunakan proses injeksi molding dengan maksimum temperatur barrel 210°C dan temperature mold 40°C. Pada penelitian dilakukan pengujian tarik dan impak dan didapatkan hasil bahwa seiring dengan penambahan serat alam nilai dari kuat tarik dan kuat impak juga ikut meningkat untuk campuran *wood flour* dan *sisal fibres*. Untuk *rice husk* tetap

naik untuk nilai kuat tarik dan impaknya tetapi masih dibawah dari nilai PP murni. Sedangkan untuk nilai modulus elastisitas semakin bertambah, seiring dengan bertambahnya campuran dari serat alam. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa serat alam dapat meningkatkan nilai dari sifat mekaniknya yaitu kuat tarik dan dampak dengan campuran serat alam terbaik ada pada *sisal fibres* dengan komposisi 50 % wt.

Tabel 2. 1 Hasil pengujian tensile dan impact strength dari penelitian Burgstaller

Elastic modulus (E), tensile strength (σ_{Max}) and notched Charpy impact strength (a_{ChC}) and according standard deviations (s) vs. weight fraction W_f of the reinforcements for the investigated composites.

Reinforcement	W_f (wt%)	E (MPa)	s (MPa)	σ_{Max} (MPa)	s (MPa)	a_{ChC} (kJ/m ²)	s (kJ/m ²)
Polypropylene	0	1600	19	33.00	0.31	1.93	0.03
Rice husks	10	1944	5	32.50	0.04	1.11	0.06
	20	2209	8	31.78	0.10	1.14	0.07
	30	2540	20	31.42	0.11	1.31	0.25
	40	2816	19	31.42	0.04	1.82	0.16
	50	3233	32	32.48	0.15	2.01	0.11
Wood particles	10	2337	13	32.31	0.12	1.68	0.05
	20	2557	5	36.49	0.05	2.25	0.04
	30	3424	14	39.45	0.08	2.41	0.11
	40	4371	12	45.34	0.03	2.83	0.37
	50	5253	38	49.80	0.07	2.61	0.03
Sisal fibres	10	2375	36	34.60	0.15	3.01	0.26
	20	3186	51	40.52	0.49	4.27	0.32
	30	4118	60	48.75	0.04	5.10	0.31
	40	5054	48	54.00	1.14	5.40	0.36
	50	5948	87	58.87	0.62	5.31	0.29

(Sumber: Burgstaller,2014. “A Comparison Of Processing and Performance for Lignicellulosic Reinforced Polypropylene for Injection Molding Applications”: 4)

2.2 Biokomposit

Biokomposit merupakan terjemahan dari kata bahasa inggris, *biocomposite* terdiri atas dua kata yang digabungkan yaitu bio yang berarti bahan yang berasal dari organisme atau makhluk hidup (bahan tumbuhan: hutan, pertanian, kebun, binatang dan organisme lain atau bahan daur ulangnya).

Komposit diterjemahkan sebagai suatu bahan yang terdiri atas lebih dari dua bahan yang digabungkan yang membentuk suatu bahan yang mempunyai sifat yang berbeda dengan bahan aslinya.

Komposit didefinisikan sebagai dua atau lebih bahan yang digabungkan menjadi satu oleh suatu matrik (Berglund dan Rowell, 2005).

Material Biokomposit terbuat dari bahan yang dapat diperbaharui sehingga pembuatannya dapat mengurangi konsumsi energi dan biaya produksi. Selain itu biokomposit juga memiliki kemampuan terdegradasi yang baik. Perkembangan penelitian biokomposit sudah sangat beragam, tidak hanya mencakup produk-produk untuk kebutuhan bahan bangunan, seperti papan partikel, kayu lapis atau papan semen dan lainnya, tapi juga telah berkembang dengan pesat ilmu dan produk bio-plastik atau plastik yang diperkuat dengan bahan-bahan selulosa, baik berupa produk wood plastic composite (wpc) atau injection molded natural fiber polimer. Produk-produk plastik ini berperan penting dalam pengembangan industri otomotif yang ramah lingkungan.

2.2.1 Polypropylene

Polypropylene (PP) gambar 2.2 adalah polimer termoplastik terbuat dari monomer *propylene* yang banyak digunakan terutama untuk proses injeksi molding. Polimer ini mulai diperkenalkan sejak tahun 1950 dan digunakan dalam berbagai aplikasi seperti kemasan, tali, tekstil, plastik, label, komponen otomotif dll (Groover, 2010; Defonseka, 2014).



Gambar 2. 2 Material *Polypropylene*

Berikut ini adalah kelebihan dari PP: (1) Ringan karena densitasnya yang rendah yaitu 0.90 g/cm^3 , (2) mempunyai temperature leleh yang tinggi, (3) tahan terhadap zat kimia seperti alcohol, hidrokarbon, (3) mempunyai ketahanan fatig yang baik dan (5) dapat diproses dengan berbagai macam metode termoplastik. Tetapi PP juga memiliki kekurangan yaitu: (1) dapat terdegradasi oleh UV, (2) mudah terbakar.

Tabel 2. 2 Properties dari *Polypropylene*

General Properties of Generic Unfilled PP Homopolimer	
Specific gravity	0.9
Tensile modulus (GPa)	1.172
Tensile strength (MPa)	27.58
Shrinkage (%)	0.5-2
T _m (°C)	165-170
Process temp. (°C)	199-274
Mold temp. (°C)	30-80
Drying temp. (°C)	80
Drying time (h)	2-5

(Sumber : E. Alfredo Campo, 2006. “Complete Part Design Handbook For Injection Molding of Thermoplastics”: 46)

2.2.2 Sekam padi



Gambar 2. 3 Sekam Padi

Dalam proses penggilingan padi menjadi beras diperoleh hasil samping berupa: (1) Sekam padi (15-20%) yaitu bagian

pembungkus atau kulit luar biji gambar 2.2, (2) Dedak (8-12%) yaitu kulit ari yang dihasilkan dari proses penyosohan dan (3) Menir ($\pm 5\%$) yaitu bagian beras yang hancur.

Sekam padi merupakan salah satu dari serat alam yang banyak mengandung selulosa. Serat-serat selulosa inilah yang nantinya dapat membuat sifat kuat dan kaku apabila digunakan sebagai bahan komposit, sifat fisik dari sekam padi dapat dilihat pada tabel 2.2 . Serat alam mempunyai banyak keuntungan apabila dipergunakan sebagai penguat dalam matrik polimer yaitu: (1) Dengan berat jenis yang lebih rendah jika dibandingkan antara serat gelas (2.5 g/cm^3) dan serat alam ($\pm 1.5 \text{ g/cm}^3$) maka komposit yang dihasilkan akan jauh lebih ringan dan kompetitif dari sifat mekanisnya, (2) *Renewable* dalam jumlah yang melimpah, (3) Investasi yang lebih murah, (4) Proses produksi ramah lingkungan, (5) Tidak abrasive pada mesin, (6) Tidak membuat iritasi, (7) Dapat didaur ulang, (8) *Biodegradeable*, (9) Isolasi panas yang baik, *Non food grade* serta (11) jika dibakar sempurna membentuk gas CO_2 dan H_2O (Nanang 2012).

Tabel 2. 3 Menunjukkan komponen-komponen *physical properties* dari sekam padi atau *Rice Husk* (RH).

Property	RH
(a) Components (%)	
Cellulose	25–35
Hemicellulose	18–21
Lignin	26–31
SiO_2 (silica)	15–17
Solubles	2–5
Moisture content	5–10
(b) Physical properties	
Particle size (μm)	26.64
Surface area (m^2/g)	0.92
Density (g/cm^3)	1.00

Sumber: <http://www.hindawi.com/journals/ijps/2015/501471/>

2.2.3 Maleic Anhydride Grafted Polypropylene

Maleic Anhydride (Anhidrida Maleat) adalah bahan kimia intermediasi, diproduksi dari oksidasi benzene menggunakan katalis khusus. Bahan ini banyak digunakan dalam industri kimia, seperti fiber glass, lubrication additives, fumaric acid, alkyl resin, agricultur chemical, plastic, lubricant additive.

Maleic Anhydride yang telah dicampurkan dengan *Polypropylene* disebut *Maleic Anhydride Grafted Polypropylene* (MAPP). MAPP berfungsi untuk mengikat sekam padi sebagai material penguat dan polypropylene sebagai matriksnya.



Gambar 2. 4 MAPP

2.3 Injection Molding

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

Didalam mesin injeksi molding terdapat 3 bagian utama (gambar 2.5) yaitu:

1. Clamping unit

Merupakan tempat untuk menyatukan molding. *Clamping system* sangat kompleks, dan di dalamnya terdapat *mold* (cetakan),

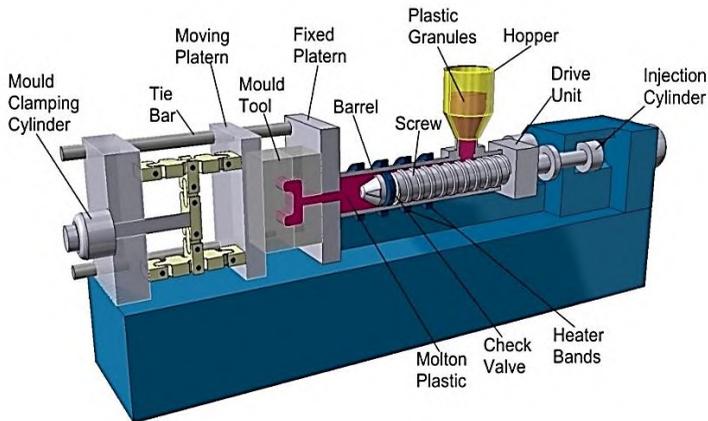
dwelling untuk memastikan *mold* terisi penuh oleh resin, *injection* untuk memasukan resin melalui *sprue* , *ejection* untuk mengeluarkan hasil cetakan plastik dari molding.

2. Plasticizing unit

Merupakan bagian untuk memasukan pellet plastik (resin) dan pemanasan. Bagian dari *Plasticizing unit* : *Hopper* (untuk memasukan resin); *Screw* (untuk mencampurkan material supaya merata); *Barrel* ; *Heater* dan *Nozzle*

3. Drive unit

Drive unit untuk melakukan kontrol kerja dari *Injection Molding* , terdiri dari Motor untuk menggerakkan *screw* ; *Injection Piston* menggunakan *Hydraulic system* (sistem pompa) untuk mengalirkan fluida dan menginjeksi resin cair ke *mold* .



Gambar 2. 5 Sistem Injeksi Molding

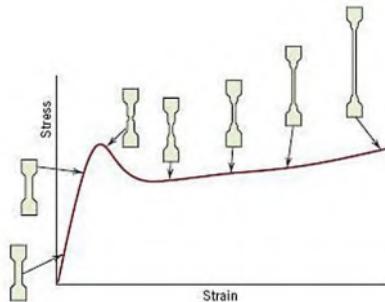
Langkah kerja utama pada proses injeksi bisa dijelaskan sebagai berikut: (1) Cetakan menutup. (2) Injeksi dimulai, unit injeksi maju sedemikian jauh hingga antara *nozzle* merapat ke cetakan. (3) *Screw* bergeser maju sehingga material plastik dengan tekanan tinggi diinjeksikan ke dalam *cavity* . (4) Fase *Holding time* , merupakan waktu tunggu sampai material plastik membeku dan kaku sehingga siap dikeluarkan. (5) Unit injeksi kembali mundur

dengan maksud agar *sprue bush* tidak terkena panas dari *nozzle*. (6) Ulir berputar dan mendorong material plastik ke dalam ruang pengumpul. Lalu ulir bergeser ke belakang. (7) Cetakan terbuka, produk serta runner dikeluarkan.

2.4 Uji Tarik

Pengujian tarik adalah salah satu metode pengujian material yang paling luas penggunaannya. Pada pengujian tarik, spesimen uji yang telah di standarisasi mengalami pembebanan satu sumbu (uniaxial loading) yang menyebabkan terjadinya deformasi baik elastis maupun plastis. Pada semua padatan, tegangan akan menimbulkan regangan elastis (deformasi elastis). Regangan elastis muncul ketika ada tegangan, tetap konstan apabila tegangannya konstan dan hilang apabila tegangannya dihilangkan.

Deformasi elastis adalah suatu regangan yang dapat kembali (reversible) seperti yang terlihat pada gambar 2.6. Jika suatu tegangan diberikan dalam bentuk tarik, material akan menjadi sedikit lebih panjang, bila beban ditiadakan material tersebut akan kembali ke dimensi semula. Sebaliknya, bila material mengalami penekanan, material menjadi sedikit lebih pendek.



Gambar 2. 6 Grafik deformasi tegangan-regangan (Sumaryono: “Perilaku Pengujian Tarik pada Polistiren dan Polipropilen”: 2012: 69)

Pada tegangan yang lebih tinggi terjadi pergeseran tetap dari atom-atom dalam suatu bahan disamping regangan elastis.

Regangan ini tidak mampu kembali pada saat regangan ditiadakan, regangan ini disebut regangan plastis. Pada pemakaian produk, kita selalu menghindari terjadinya deformasi plastis sehingga perhitungan desain dilandaskan pada tegangan-tegangan di daerah elastis (proporsional).

Pada mesin uji tarik data output yang ada adalah hubungan antara gaya penarikan (F) dan perubahan panjang spesimen (ΔL). Dari hubungan antara Gaya penarikan dan perubahan panjang ini selanjutnya diperoleh parameter lainnya seperti regangan dan tegangan. Regangan (strain) merupakan perpanjangan persatuan panjang dan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$e = \frac{l_2 - l_1}{l_1}$$

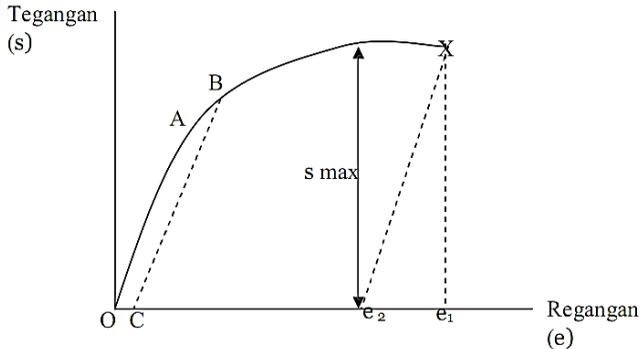
Dimana l_1 adalah panjang mula-mula dari spesimen dan l_2 adalah panjang akhir spesimen setelah penarikan. Dari regangan ini kita bisa mengetahui mampu bentuk suatu bahan. Semakin besar nilai regangan berarti bahan tersebut semakin baik mampu bentuknya. Disamping itu spesimen juga mendapatkan pembebanan (P) per satuan luas (A) yang disebut dengan tegangan, dan besarnya adalah sebagai berikut:

$$S = \frac{P}{A}$$

Pada pengujian tarik akan dihasilkan diagram hubungan antara tegangan dan regangan. Nilai perbandingan tegangan dan regangan tersebut disebut Modulus Elastisitas yang didapat dari persamaan berikut:

$$E = \frac{S}{e}$$

Bentuk diagram tegangan-regangan pada tiap bahan adalah berbeda-beda, namun yang biasanya diperoleh dari pengujian tarik bahan yang ulet bisa dilihat pada gambar 2.7 berikut:



Gambar 2. 7 Diagram tegangan-regangan uji tarik bahan ulet (Sumaryono: “Perilaku Pengujian Tarik pada Polistiren dan Polipropilen”: 2012: 70)

Bagian awal linear garis OA merupakan daerah elastis. Titik A ialah batas elastis yang didefinisikan sebagai tegangan terbesar yang dapat ditahan oleh bahan tanpa mengalami regangan permanen apabila beban diiadakan. Penentuan batas elastis cukup rumit, tergantung kepekaan instrument pengukur regangan. Itulah sebabnya mengapa batas elastis sering diganti dengan batas proporsional. Batas proporsional adalah tegangan dimana garis lengkung tegangan-regangan menyimpang dari kelinierannya. Titik B merupakan kekuatan luluh (*yield strength*) dimana tegangan yang akan menghasilkan deformasi permanen dalam jumlah kecil yang pada umumnya sama dengan regangan sebesar 0,2%. Dalam hal ini digunakan metode off set. Hal ini dilakukan dengan menarik garis sejajar dengan daerah proporsional pada jarak 0,2% atau titik C. Kemudian perpotongan antara garis off set dengan diagram ditentukan sebagai titik luluh bahan. Pada bahan yang bersifat ulet, biasanya setelah pembebanan dihilangkan, regangan total akan berkurang dari e_1 menjadi e_2 .

Berkurangnya regangan ini disebut *recoverable elastic strain*. Maka regangan yang diambil untuk menentukan offset adalah e_2 . Kekuatan tarik suatu bahan ditunjukkan oleh harga

tegangan maksimum (σ_{max}) kurva tegangan-regangan. Sedangkan tegangan patah adalah tegangan dimana spesimen mengalami patah.

2.5 Uji Impak

Uji impak pada dasarnya adalah menguji ketangguhan, dilakukan dengan cara spesimen uji bertakik dipukul dengan energi (Joule, Kg.m atau ft.lb) tertentu secara tiba-tiba dan diukur berapa banyak energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen uji tersebut. Pengujian ini berguna untuk melihat efek-efek yang ditimbulkan oleh adanya takikan, bentuk takikan, temperatur, dan faktor-faktor lainnya. Terdapat 2 metode dalam pengujian impak yaitu:

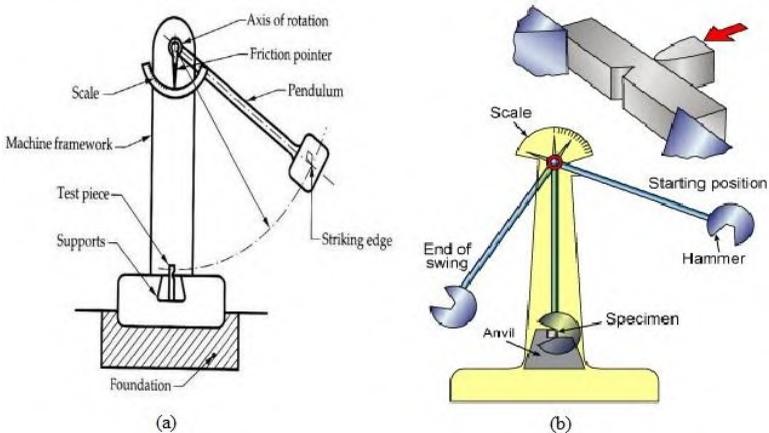
1. Metode Charpy

Merupakan cara pengujian dimana spesimen dipasang secara horizontal dengan kedua ujungnya berada pada tumpuan, sedangkan takikan pada specimen diletakkan di tengah-tengah dengan arah pembebanan tepat diatas takikan, dapat dilihat pada gambar 2.8b. Kelebihan dari metode ini adalah: (1) Pengerjaannya lebih mudah dipahami dan dilakukan, (2) Menghasilkan tegangan uniform di sepanjang penampang, (3) Harga alat lebih murah dan (4) Waktu pengujian lebih singkat. Selain itu metode charpy juga memiliki kekurangan yaitu: (1) Hanya dapat dipasang pada posisi horizontal, (2) Spesimen dapat bergeser dari tumpuannya karena tidak dicekam, (3) Pengujian hanya dapat dilakukan pada specimen yang kecil (4) Hasil pengujian kurang dapat atau tepat dimanfaatkan dalam perancangan karena level tegangan yang diberikan tidak rata.

2. Metode Izood

Merupakan cara dimana specimen berada pada posisi vertical pada tumpuan dengan salah satu ujungnya dicekam dengan arah takikan pada arah gaya tumbukan. Tumbukan pada specimen dilakukan tidak tepat pada pusat takikan melainkan pada posisi

agak diatas dari takikan seperti yang tertera pada gambar 2.8a. Kelebihan dari metode ini adalah: (1) Tumbukan tepat pada takikan karena benda kerja dicekam, (2) Dapat menggunakan specimen dengan ukuran yang lebih besar dan (3) Spesimen tidak mudah bergeser karena dicekam pada salah satu ujungnya. Selain itu metode izood juga memiliki kekurangan yaitu: (1) Biaya pengujian yang lebih mahal, (2) Pembebanan yang dilakukan hanya pada satu ujungnya, sehingga hasil yang diperoleh kurang baik dan (3) Waktu yang digunakan cukup banyak karena prosedur pengujiannya yang banyak, mulai dari menjepit benda kerja sampai tahap pengujian.



Gambar 2. 8 Metode dalam pengujian impact, (a) metode Izod dan (b) metode charpy

Besarnya energi impact (joule) dapat dilihat pada skala mesin penguji. Sedangkan besarnya energi impact dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 E_0 &= W \cdot h_0 \\
 E_1 &= W \cdot h_1 \\
 \Delta E &= E_0 - E_1 \\
 &= W (h_0 - h_1) \dots \dots \dots (2. 1)
 \end{aligned}$$

Dari gambar 2.9 didapatkan :

$$h_0 = l - l \cos \alpha$$

$$= l (1 - \cos \alpha) \dots \dots \dots (2. 2)$$

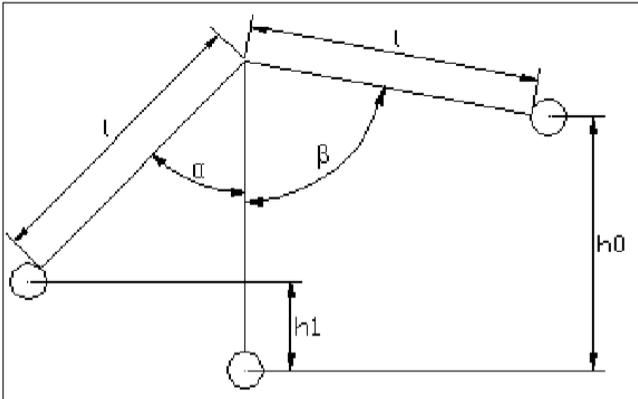
$$h_1 = l - l \cos \beta$$

$$= l (1 - \cos \beta) \dots \dots \dots (2. 3)$$

Dengan substitusi persamaan (2. 2) dan (2.3) pada (2. 1) didapatkan:

$$\Delta E = W l (\cos \beta - \cos \alpha) \dots \dots \dots (2. 4)$$

- Dengan: E_0 = Energi awal (J)
 E_1 = Energi akhir (J)
 W = Berat bandul (N)
 h_0 = Ketinggian bandul sebelum dilepas (m)
 h_1 = Ketinggian bandul setelah dilepas (m)
 l = Panjang lengan bandul (m)
 α = Sudut awal
 β = Sudut akhir



Gambar 2. 9 Skema perhitungan uji impak

Untuk mengetahui kekuatan impact /impact strength (I_s) maka energi impact tersebut harus dibagi dengan luas penampang efektif spesimen (A) sehingga :

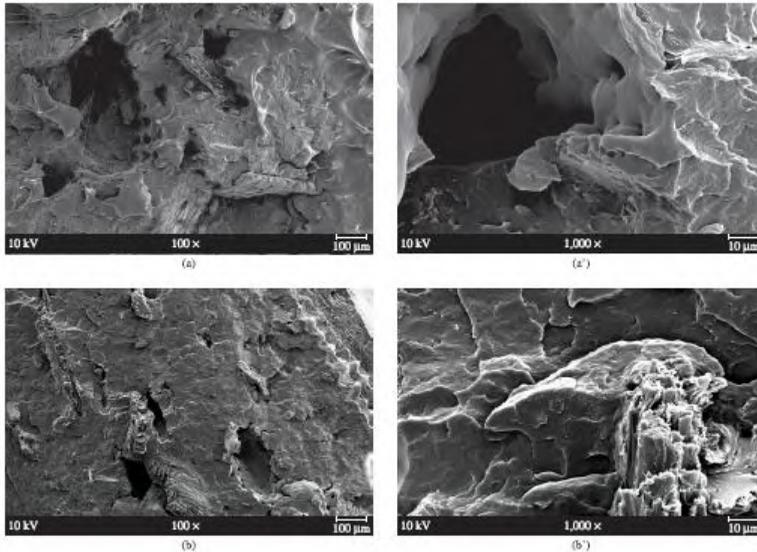
$$I_s = \frac{\Delta E}{A}$$

$$I_s = \frac{W l (\cos\beta - \cos\alpha)}{A} \dots \dots \dots (2.5)$$

2.6 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3.000.000 kali, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri (Prasetyo, 2011). Anonymous (2012) menambahkan, SEM memfokuskan sinar elektron (electron beam) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek.

Pada gambar 2.10 adalah penelitian dari Rosa (2009) kandungan sekam padi sebesar 20% dengan dan tanpa ditambahkan MAPP. Komposit yang tidak sejenis akan menimbulkan *presense of voids* antara partikel dan matrik polimer. Dari gambar a dan b dapat dilihat bahwa adanya MAPP mengurangi terjadinya *voids sizes* dan memperlihatkan permukaan yang homogen serta menimbulkan gaya adesi pada permukaan.

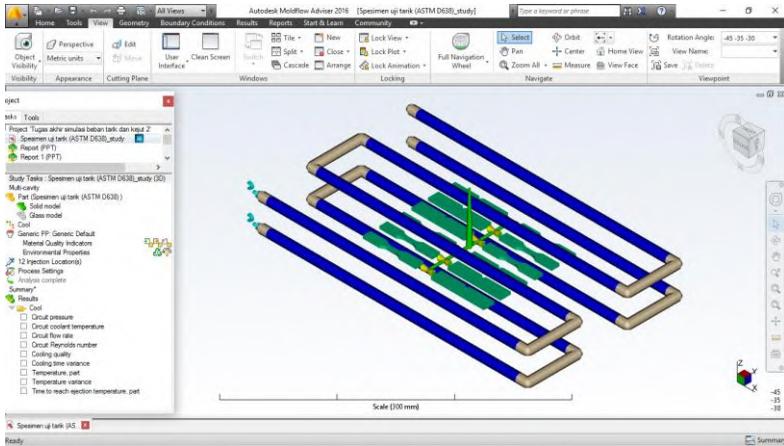


Gambar 2. 10 Hasil SEM dari proses Hot Press PP dan RH (a) tanpa MAPP; (b) dengan MAPP. (Simone Maria Leal Rosa: “*Studies on The Properties of Rice Husk Filled PP Composites – Effect of MAPP*”: 2009)

2.7 Software Autodesk Moldflow Adviser

Moldflow adalah suatu software yang digunakan untuk melakukan simulasi proses injeksi pada proses *injection molding*. *Moldflow* merupakan produk dari *Moldflow Corporation* yang merupakan salah satu cabang perusahaan dari *Autodesk Inc*.

Software simulasi ini lebih dikenal para engineer yang berkecimpung dalam bidang molding terutama injeksi plastik baik desainer ataupun user dari molding itu sendiri, dalam aplikasinya software ini cukup banyak membantu dalam memperkirakan bagaimana produk hasil injeksi berdasarkan konstruksi molding maupun parameter injeksi yang diaplikasikan.



Gambar 2. 11 Tampilan jendela Moldflow

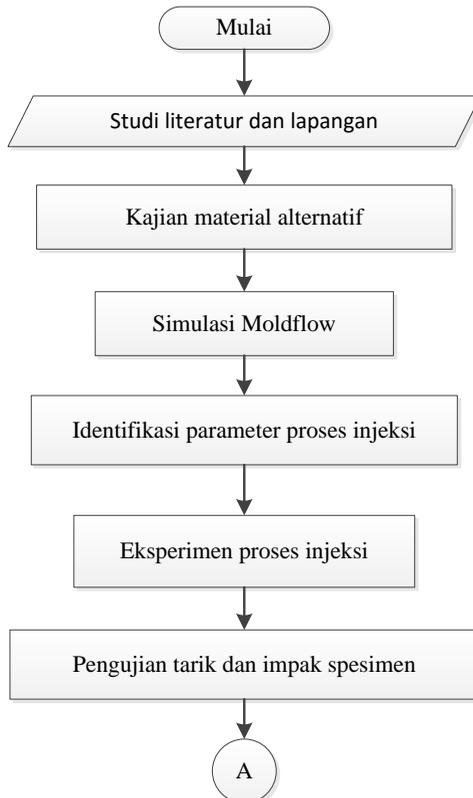
Autodesk Moldflow Adviser (AMA) memberikan analisa lengkap hasil injeksi berdasarkan struktur produk dan material yang digunakan misal untuk mengetahui area shortmold, pressure drop, filling time, dsb. Dimana informasi tersebut dapat digunakan mold desainer sebagai referensi untuk mendesain konstruksi molding begitu pula bagi seorang desainer produk plastik untuk melihat defect yang mungkin terjadi sehingga improvement dapat dilakukan dari konstruksi produk. Tampilan pada jendela software AMA dapat dilihat pada gambar 2.11.

[halaman ini sengaja dikosongkan]

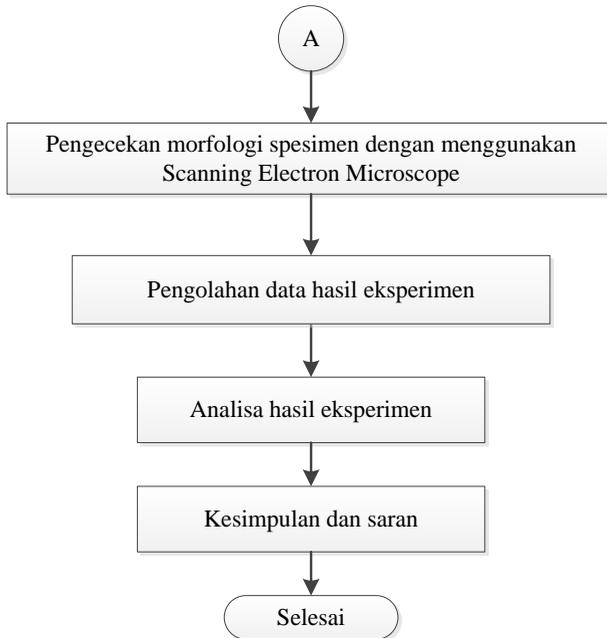
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam melakukan penelitian dan analisis pengaruh variasi komposisi material alternatif dan parameter proses mesin injeksi molding terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak, terdapat beberapa tahapan yang ditunjukkan pada diagram alir berikut ini:



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian (lanjutan)

3.2 Tahap-Tahap Penelitian

Tahapan-tahapan yang digunakan dalam penelitian dan analisis pengaruh variasi komposisi material alternatif dan parameter proses mesin injeksi molding terhadap kekuatan tarik dan kekuatan impak adalah sebagai berikut:

3.2.1 Studi Literatur dan Lapangan

Literatur yang dipelajari dalam penelitian studi eksperimental ini meliputi proses injeksi molding plastik, sifat-sifat plastik, sifat-sifat material biokomposit, pengujian tarik, pengujian impak serta simulasi *Moldflow* yang didapat dari berbagai sumber jurnal dan buku. Studi lapangan untuk mempelajari mesin injeksi yang tersedia di jurusan teknik mesin

ITS dan hal-hal lain yang berkaitan dengan pengoptimasian material alternatif biokomposit.

3.2.2 Material Alternatif Biokomposit

Material yang dipilih adalah pencampuran antara *Polypropylene* (PP), sekam padi dan *Maleic Anhydride Grafted Polypropylene* (MAPP) yang didapat dari penelitian saudara Mutawafiqin (2016). Empat komposisi material tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Komposisi material biokomposit

No	Biokomposit	PP (% Wt)	Sekam Padi (%Wt)	MAPP (% Wt)
1	A	90	5	5
2	B	85	10	5
3	C	80	15	5
4	D	75	20	5

3.2.3 Simulasi Proses Injeksi

Perancangan bentuk dan layout produk beserta saluran masuk polimer disesuaikan dengan keadaan asli *Mold Base* yang terdapat pada lab *injection molding*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software *Moldflow Plastic Adviser 2015*. Dengan material dan parameter simulasi proses injeksi dibuat sedemikian rupa agar material dapat mengisi cetakan secara sempurna.

3.2.4 Identifikasi Parameter Proses Injeksi

Parameter proses injeksi ditetapkan atas dasar pertimbangan dari hasil simulasi dan keadaan aktual mesin injeksi yang berada pada workshop T.Mesin ITS. Dengan penetapan parameter proses injeksi yang tepat, nantinya akan mendapatkan produk yang minim akan cacat dan memiliki kekuatan mekanik yang baik.

3.2.5 Eksperimen Proses Injeksi

a. Mesin Injeksi Molding

Mesin injeksi molding yang digunakan dalam penelitian ini adalah HAITIAN-MA900/260e yang berada di workshop manufaktur Teknik Mesin FTI-ITS. Mesin tersebut memiliki kemampuan clamp tonnage sebesar 900kN serta maximum injection pressure sebesar 218 Mpa dengan daya tampung material sebanyak 25 kg. Spesifikasi dari mesin injeksi molding tersebut ditampilkan pada tabel 3.2 yang didapat berdasarkan katalog HAITIAN MARS series.

Tabel 3. 2 Spesifikasi mesin injection molding HAITIAN MA type 900/260 e

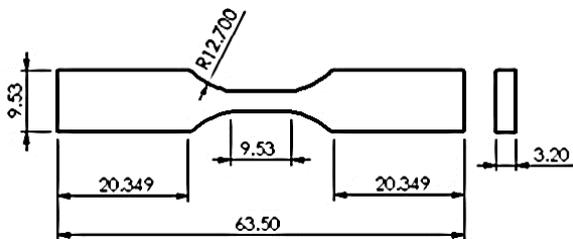
		MA900 II /260e		
		A	B	C
INJECTION UNIT				
Screw diameter	mm	32	36	40
Screw L /D ratio	L/D	22.5	20	18
Shot size (theoretical)	cm ³	121	153	188
Injection weight (PS)	g	110	139	171
Injection rate (PS)	g/s	77	98	121
Injection pressure	MPa	218	173	140
Plasticizing rate (PS)	g/s	10.1	13.3	16.1
Screw speed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



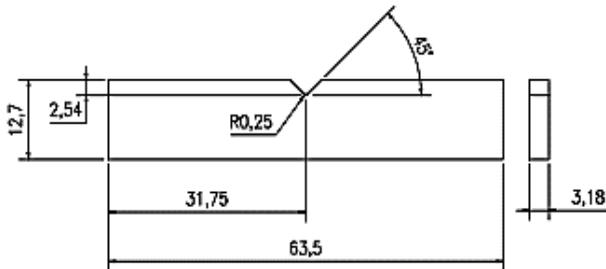
Gambar 3. 2 Mesin injeksi molding yang berada di workshop Teknik Mesin ITS

b. Pelaksanaan Eksperimen Proses Injeksi

Dalam studi eksperimen ini, bentuk dari spesimen yang akan diuji adalah spesimen uji tarik ASTM D638-03 Tipe V (gambar 3.3) dan spesimen uji impak ASTM D256-4 (gambar 3.4) dengan replikasi sebanyak 3 kali. Material biokomposit dicetak dengan menggunakan mesin injeksi molding.



Gambar 3. 3 Spesimen uji tarik ASTM D638-03 Tipe V



Gambar 3. 4 Spesimen uji impak ASTM D256-04

Dengan langkah-langkah pembuatan spesimen sebagai berikut:

1. Menyalakan saklar utama
2. Memastikan mesin dalam kondisi normal
3. Menyalakan motor dan membuka kemudian menutup safety door
4. Memastikan mold base dalam kondisi baik dan bersih
5. Memastikan reservoir pada cooling tower terisi penuh
6. Memasukan material biokomposit kedalam hopper
7. Menyalakan heater
8. Mensetting parameter proses yang dikehendaki, mulai dari temperatur nozel, waktu penahanan, waktu pendinginan dan tekanan injeksi
9. Menunggu hingga elemen pemanas pada nozel mencapai suhu yang dikehendaki
10. Mendorong unit injeksi hingga menyentuh locating ring pada mold base
11. Mensetting baut pengaman pada tempatnya serta menutup pelindung dari nozel
12. Mulai menjalankan eksperimen
13. Pengamatan bentuk fisik spesimen hasil ineksi
14. Setelah pembuatan 3 kali replikasi, mengulangi dari langkah ke 6 hingga 13 sampai keempat material biokomposit

3.2.6 Pengujian Tarik dan Impak Spesimen

a. Uji Tarik

Pada penelitian ini mesin uji tarik yang digunakan adalah AUTOGRAPH AG-10TE. Mesin tersebut berada di laboratorium Farmasi UNAIR seperti yang ditampilkan pada gambar 3.5. Mesin ini memiliki kapasitas beban sebesar 100 kN.



Gambar 3. 5 Mesin uji tarik AUTOGRAPH AG-10TE

Adapun langkah-langkah dari pengujian tarik sebagai berikut:

- a. Meletakkan *clamp* pada mesin uji tarik serta menguatkannya dengan baut mesin.
- b. Mengendurkan *clamp* mesin uji tarik.
- c. Meletakkan spesimen uji tarik ASTM D638-03 Tipe V pada *clamp* serta menguatkannya.
- d. Mengkalibrasi penunjuk beban tarik.
- e. Menekan tombol UP, sehingga *clamp* bagian atas bergerak hingga mengakibatkan spesimen uji tarik mulur dan putus.
- f. Melihat indicator penunjuk beban tarik untuk mengetahui berapa kilopound yang diberikan pada spesimen agar spesimen putus.

- g. Melihat perpanjangan dengan pengurangan posisi awal terhadap posisi akhir.
- h. Pencatatan beban tarik dan penambahan panjang yang terjadi

b. Uji Impak

Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin *Mini Impact Tester* tipe *Charpy* dengan kapasitas 0,5-22 J seperti yang ditampilkan pada gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Mesin *Mini Impact Tester* tipe *Charpy*

- Langkah-langkah pengujian impak:
- a. Pengkalibrasian mesin uji impak.
 - b. Meletakkan spesimen uji impak ASTM D6110 dengan posisi horizontal pada tempatnya sesuai dengan metode charpy serta melekatkannya dengan plastisin.
 - c. Menggerakkan pendulum mesin uji impak hingga posisi 90° (sudut α) terhadap posisi vertikal mesin, merupakan posisi awal pendulum.

- d. Melepaskan pendulum hingga akhirnya penβdulum membentur spesimen.
- e. Melihat dan mencatat indikator sudut pendulum setelah terjadi pembenturan sebagai sudut β , merupakan posisi akhir pendulum.
- f. Menghitung energi patahan dengan cara mengkalikan massa pendulum dengan perbedaan posisi pendulum akhir dengan posisi pendulu awal.

3.2.7 Pengujian SEM (Scanning Electron Microscopy)

Pengujian ini dilakukan untuk mengkarakterisasi morfologi serta bentuk partikel dari hasil patahan pengujian impak spesimen material biokomposit. SEM yang digunakan pada penelitian kali ini adalah Phenom ProX dengan spesifikasi perbesaran antara 80x-130000x dan *acceleration voltages* 4.8 kV-15kV. Mesin pengujian SEM dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Mesin uji SEM Phenom ProX

3.2.8 Analisa Hasil Eksperimen

Pengolahan data hasil eksperimen dilakukan dengan menganalisa kekuatan tarik dan impak dari material biokomposit yang terbaik. Dimana material biokomposit terbaik adalah material

yang memiliki kekuatan tarik dan impak mendekati *polypropylene* serta memiliki kandungan sekam padi yang terbanyak dan bisa dilakukan proses injeksi, namun menunjukkan sedikit cacat pada simulasi maupun aktual dari proses injeksi.

BAB IV

SIMULASI DAN IDENTIFIKASI PARAMETER PROSES INJEKSI

4.1 Simulasi Proses Injeksi Spesimen

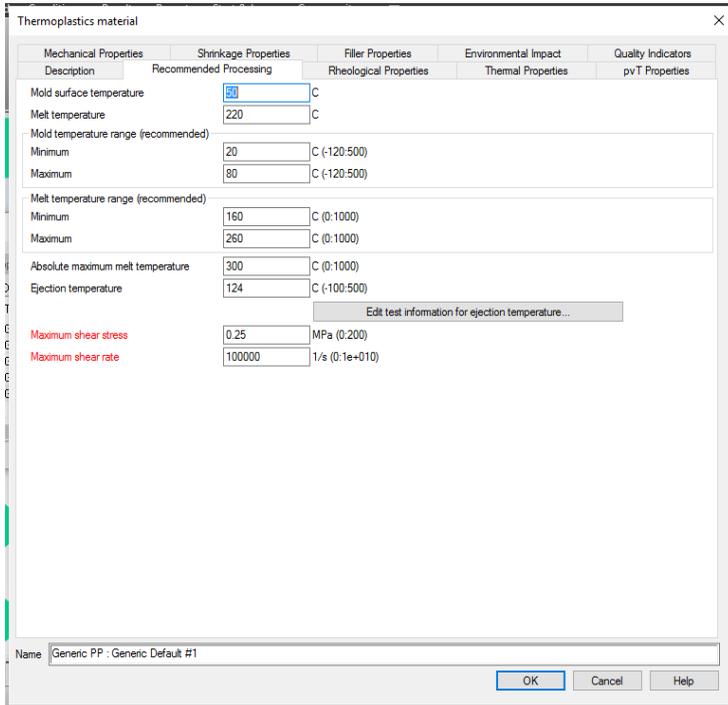
4.1.1 Langkah-Langkah Simulasi Proses Injeksi Spesimen

Dalam melakukan simulasi proses injeksi spesimen, dibagi menjadi 2 tahapan. Tahap awal yaitu pembuatan material simulasi proses injeksi, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. *New Database, Thermoplastics Material*. Dimaksudkan untuk membuat database baru dari material termoplastik.
2. Lalu muncul tabulasi *properties* dan pilih *new*.
3. Pada saat ini muncul tabulasi *thermoplastics material* (gambar 4.1). Dimana terdapat karakteristik dari material bawaan *Moldflow*, yaitu PP.
4. Mengubah material tersebut sehingga sesuai dengan kebutuhan material yang kita perlukan dengan cara memasukkan data *elastic modulus* pada menu *mechanical properties*, data kadungan sekam padi pada menu *filler properties* yaitu dengan memilih *rice hull* (sekam padi) dan memasukkan prosentase kandungannya dan data *melt temperature* pada menu *recommended processing*. Data-data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data masukan karakteristik material simulasi

No	Material	<i>Rice Hull</i> (%Wt)	<i>Elastic Modulus</i> (MPa)	<i>Melt Temperature</i> (°C)
1	Biokomposit A	5	1751	163.6
2	Biokomposit B	10	1904	164.2
3	Biokomposit C	15	2057	163.3
4	Biokomposit D	20	2209	163.1



Gambar 4. 1 Tampilan tabulasi *Thermoplastics Material*

Pada tabel 4.1 data *elastic modulus* didapat dari penelitian Burgstaller (2014) sedangkan *melt temperature* diperoleh dari penelitian Mutawafiqin (2016).

Tahap kedua adalah melaksanakan simulasi proses injeksi, terdapat beberapa data parameter yang perlu dimasukkan dalam software dan dapat dilihat pada tabel 4.2. Langkah-langkah yang diperlukan agar proses simulasi dapat berjalan dengan baik, adalah:

1. Pembuatan model solid 3 dimensi dibantu oleh *software 3d modelling*.
2. *Import*, sub menu dari file yang berfungsi mengambil bentuk solid 3 dimensi yang pernah dibuat agar ditampilkan pada jendela *software moldflow*.

3. *Select Material*, berfungsi untuk menentukan jenis material yang akan digunakan dalam pembuatan produk. Dalam kotak dialog ini terdapat database dari material yang dapat dipilih maupun diedit sesuai dengan kebutuhan.
4. *Select Injection Point*, berfungsi untuk menentukan letak dimana gate akan ditempatkan pada produk.
5. *Layout*, pada menu ini terdapat beberapa perintah yang dapat digunakan untuk mengatur letak dari produk, yaitu; *Add, Translate, Rotate, Mirror, Copy, Align dan Duplicate*.
6. *Setting Runner System*, setelah perancangan *layout cavity*, dilakukan pembuatan saluran polimer hingga bisa memasuki *cavity* yang meliputi *sprue, runner* dan *gate*.
7. *Set Parting Line*, berfungsi untuk mengatur letak dari parting line produk.
8. *Mold Size*, berfungsi untuk mengatur dimensi dari *mold* mulai dari tinggi, panjang dan lebar. Beserta letak dari *layout cavity*.
9. *Set Process Condition*, menu yang mengindikasikan kondisi proses dan mesin injeksi. Dimana tampilannya terdiri dari temperatur leleh material, temperatur cetakan, kemampuan maksimum tekanan injeksi mesin dan laju injeksi.
10. *Analysis*, melakukan proses simulasi.

Tabel 4. 2 Parameter simulasi *Moldflow*

Parameter Simulasi	Material			
	Biokomposit A	Biokomposit B	Biokomposit C	Biokomposit D
T melt (°C)	163.6	164.2	163.3	163.1
T mold (°C)	40	40	40	40
Max Injection Pressure (Mpa)	140			
Injection Time (s)	1.9	1.9	1.9	1.9
Runner (mm)	3			
Gate (mm)	2			
Sprue (mm)	6			

Tebal Plat A (mm)	60
Tebal Plat B (mm)	30
Panjang (mm)	300
Lebar (mm)	300
Mold Material	Tool Steel P-20

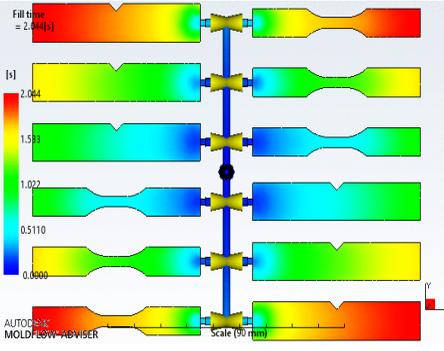
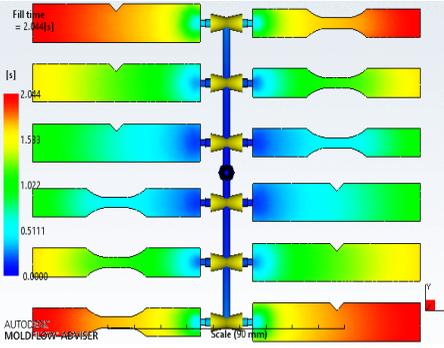
Pada tabel 4.2 *melt temperature* didapat dari uji DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) yang dilakukan oleh saudara Mutawafiqin (2016). Untuk *mold temperature* dan *injection time* diperoleh dari analisis *molding window* yang sebelumnya dilakukan pada software *Moldflow*. *Maximum injection pressure* didapat dari buku manual mesin *Haitian MA900e*, yaitu tekanan maksimum yang mampu diberikan oleh mesin tersebut. Sedangkan untuk *channel dimension (runner, gate dan sprue)* dan *mold dimension (tebal plat A, tebal plat B, panjang dan lebar)* diperoleh dari tugas akhir hasil rancangan *mold base* saudari Wardayani (2014).

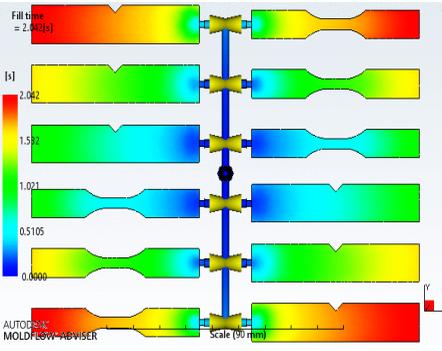
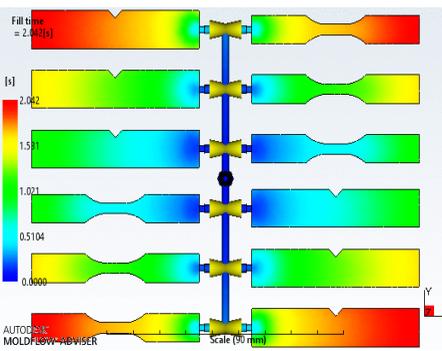
4.1.2 Hasil Simulasi Proses Injeksi Spesimen

a. Fill Time

Fill time menunjukkan waktu yang diperlukan material biokomposit untuk mengisi seluruh rongga cetakan selama waktu penginjeksian. Selain itu juga analisa ini dapat digunakan untuk mengetahui apakah aliran material akan mengisi rongga cetakan secara bersamaan atau tidak. Aliran tersebut ditunjukkan dengan *pattern* warna pada hasil analisa.

Tabel 4. 3 Hasil simulasi *filltime*

No	Material	Hasil Simulasi	Fill Time
1	Biokomposit A		2.044 [s]
2	Biokomposit B		2.044 [s]

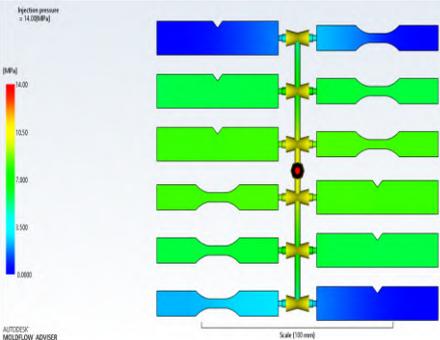
3	Biokomposit C		2.042 [s]
4	Biokomposit D		2.042 [s]

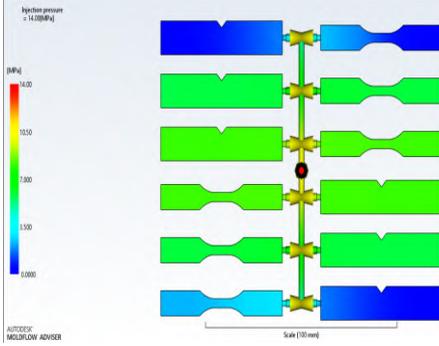
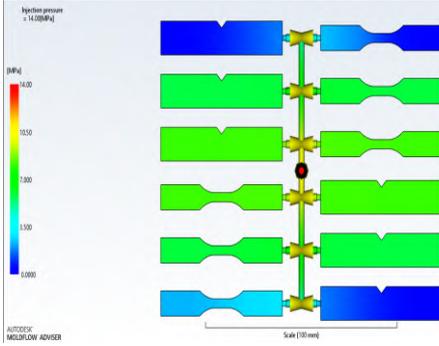
Dari tabel hasil simulasi diatas seluruh komposisi material biokomposit dapat terisi penuh ke dalam rongga cetakan. Tetapi dapat dilihat adanya ketidakseragaman material mengisi rongga cetakan. Hal ini ditunjukkan dengan adanya perbedaan warna yaitu merah, kuning dan hijau pada masing-masing ujung rongga cetakan. Material biokomposit dengan waktu tercepat pengisian rongga cetakan adalah biokomposit D yaitu selama 2.042s.

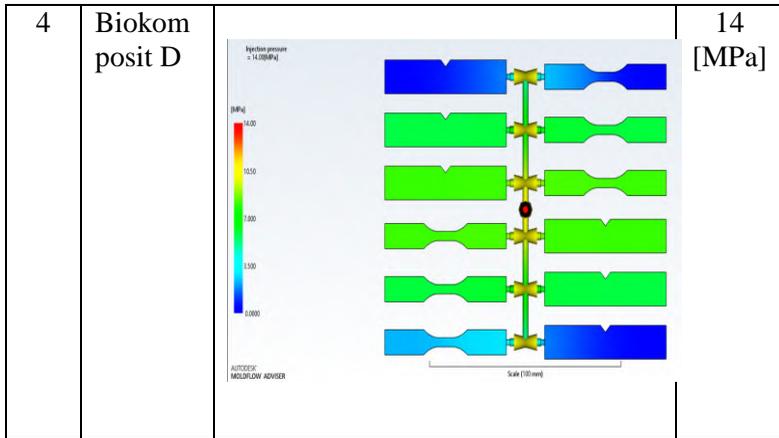
b. Injection Pressure

Injection Pressure menunjukkan besarnya tekanan yang mendekati ideal dari proses injeksi. Analisa ini juga menunjukkan besarnya data tekanan pada lokasi-lokasi tertentu seperti *sprue*, *runner*, *gate* dan *cavity*. Distribusi tekanan disajikan dengan *pattern* warna, dengan warna biru merupakan tekanan pada akhir rongga cetakan setelah terisi penuh yaitu nol.

Tabel 4. 4 Hasil simulasi *injection pressure*

No	Material	Hasil Simulasi	Injecti on Pressure
1	Biokomposit A		14 [MPa]

2	Biokom posit B	 <p>Injection pressure = 14.00(MPa)</p> <p>(MPa)</p> <p>14.00 10.50 7.00 3.50 0.000</p> <p>AUTODES MOLDFLOW ADVISER</p> <p>Scale (10 mm)</p> <p>Detailed description: This figure shows a pressure distribution plot for 'Biokom posit B'. It features a central vertical green line with a black dot at its midpoint, representing the injection point. Six horizontal cross-sections are arranged symmetrically around this central line. Each cross-section is color-coded to show pressure distribution, with a color scale on the left ranging from 0.000 MPa (blue) to 14.00 MPa (red). The pressure is highest (red) at the injection point and decreases (blue) towards the outer edges of the mold. The text 'Injection pressure = 14.00(MPa)' is at the top left, and 'Scale (10 mm)' is at the bottom right. The software name 'AUTODES MOLDFLOW ADVISER' is at the bottom left.</p>	14 [MPa]
3	Biokom posit C	 <p>Injection pressure = 14.00(MPa)</p> <p>(MPa)</p> <p>14.00 10.50 7.00 3.50 0.000</p> <p>AUTODES MOLDFLOW ADVISER</p> <p>Scale (10 mm)</p> <p>Detailed description: This figure shows a pressure distribution plot for 'Biokom posit C'. It features a central vertical green line with a black dot at its midpoint, representing the injection point. Six horizontal cross-sections are arranged symmetrically around this central line. Each cross-section is color-coded to show pressure distribution, with a color scale on the left ranging from 0.000 MPa (blue) to 14.00 MPa (red). The pressure is highest (red) at the injection point and decreases (blue) towards the outer edges of the mold. The text 'Injection pressure = 14.00(MPa)' is at the top left, and 'Scale (10 mm)' is at the bottom right. The software name 'AUTODES MOLDFLOW ADVISER' is at the bottom left.</p>	14 [MPa]



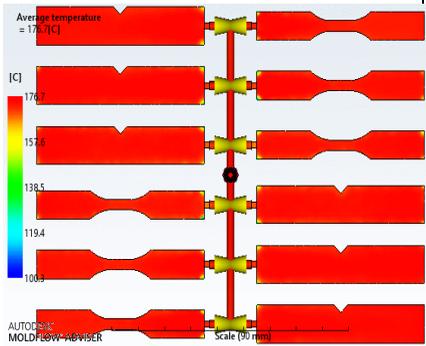
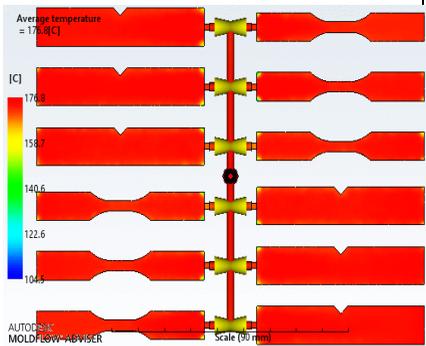
Dari tabel hasil simulasi diatas seluruh material biokomposit memiliki ketidakseragaman penyebaran tekanan, ditunjukkan dengan warna hijau dan biru. Hal ini dikarenakan sistem *runner* yang cenderung homogen hingga akhir rongga cetakan. Karena seharusnya *runner* yang berada diujung dibuat lebih besar dibandingkan dengan yang di dekat *sprue*. Material dengan kebutuhan tekanan terbesar yaitu biokomposit D dengan tekanan sebesar 14 MPa pada bagian *sprue*. Mengindikasikan bahwa besarnya tekanan tersebut merupakan kebutuhan biokomposit D agar dapat melewati *sprue* dan mengisi seluruh rongga cetakan hingga sempurna. Besarnya tekanan ini dipengaruhi oleh viskositas dari material biokomposit itu sendiri, karena komposisi sekam padi yang lebih banyak pada biokomposit D membuat material biokomposit D memiliki sifat viskositas yang tinggi juga.

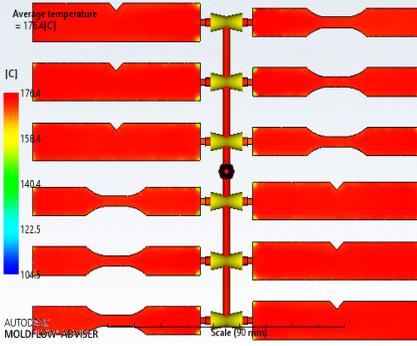
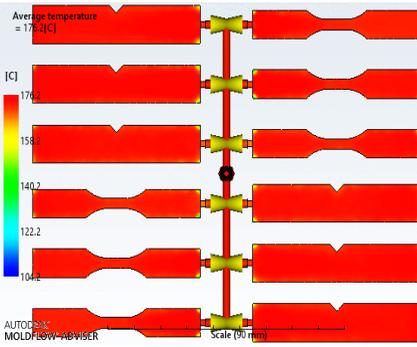
c. Average Temperature

Analisa ini menunjukkan variasi perbedaan temperatur di lokasi tertentu pada benda yang dipengaruhi oleh sistem *cooling* dan desain dari geometri produk. Variasi temperatur didasarkan dengan perbedaan terhadap temperatur rata-rata permukaan produk. Hasil dari temperatur rata-rata dapat juga menunjukkan distribusi aliran pada saat proses injeksi. Hasil yang disarankan pada analisa ini

adalah perbedaan yang tidak signifikan antara temperatur terendah dengan temperatur tertinggi. Sehingga membuat waktu pembekuan produk hamper sama antara satu produk dengan yang lainnya.

Tabel 4. 5 Hasil simulasi *average temperature*

No	Material	Hasil Simulasi	Max Average Temperature
1	Biokomposit A		176.7 °C
2	Biokomposit B		176.8 °C

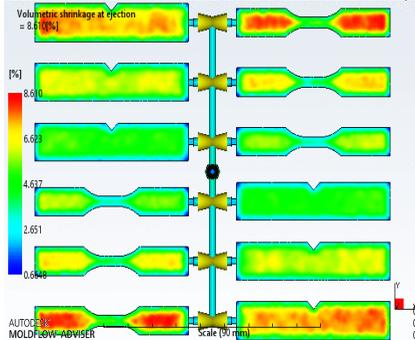
3	Biokomposit C		176.4 °C
4	Biokomposit D		176.2 °C

Dari tabel hasil simulasi seluruh komposisi material biokomposit memiliki hasil yang baik pada variasi temperaturnya. Dapat dilihat warna merah mendominasi hampir di seluruh rongga cetakan. Walaupun tetap ada warna kuning pada bagian ujung rongga, hal ini dikarenakan bagian tersebut merupakan bagian yang terlebih dahulu terkena pendinginan. Temperatur rata-rata pada setiap komposisi biokomposit tidaklah berbeda jauh yaitu berkisar 176°C.

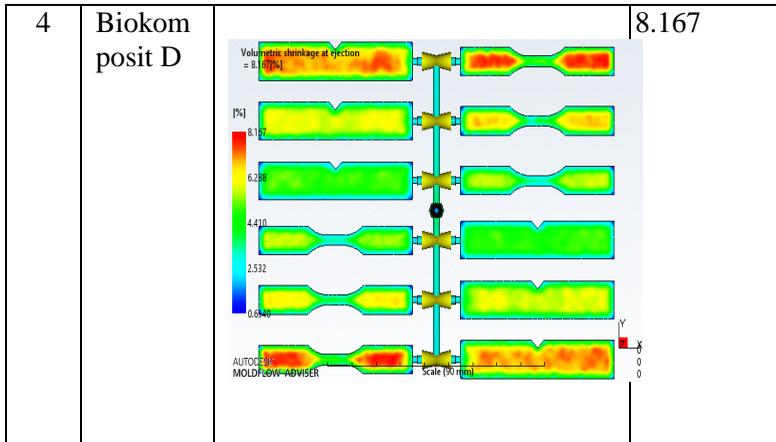
d. Volumetric Shrinkage

Hasil dari *Volumetric Shrinkage* menunjukkan penyusutan pada setiap daerah produk yang dinyatakan pada persen. Penyusutan volumetrik adalah perbandingan volume lokal dari akhir tahap pendinginan dengan geometri asli dari produk tersebut. Hal yang paling berpengaruh dari penyusutan adalah kualitas pendinginan dan ketebalan dari produk itu sendiri. Distribusi penyusutan disajikan dengan *pattern* warna, dengan warna merah merupakan daerah yang paling besar terjadi penyusutan.

Tabel 4. 6 Hasil simulasi *volumetric shrinkage*

No	Material	Hasil Simulasi	Volumetric Shrinkage
1	Biokomposit A		8.61 %

2	Biokom posit B	<p>Volumetric shrinkage at ejection = 8.395 [%]</p> <p>8.395 6.456 4.520 2.583 0.649</p> <p>AUTOCAD 2013 MOLDFLOW-ADVISER</p> <p>Scale (90 mm)</p>	8.395 %
3	Biokom posit C	<p>Volumetric shrinkage at ejection = 8.167 [%]</p> <p>8.167 6.284 4.400 2.517 0.6954</p> <p>AUTOCAD 2013 MOLDFLOW-ADVISER</p> <p>Scale (90 mm)</p>	8.167 %



Dari tabel hasil simulasi diatas penyusutan terbesar terjadi pada bagian yang memiliki dimensi paling tebal dan pada cetakan yang terletak pada ujung, ditunjukkan dengan warna merah. Jika dibandingkan setiap komposisi material biokomposit material yang paling baik adalah material yang memiliki penyusutan terendah, yaitu biokomposit D. Kecilnya nilai penyusutan ini dikarenakan kadar dari PP yg sedikit pada material biokomposit D.

e. Cooling Time

Hasil simulasi ini menunjukkan waktu yang diperlukan dalam pendinginan material injeksi selama proses injeksi.

Tabel 4. 7 Hasil simulasi *cooling time*

No	Material	Cooling Time	Cycle Time
1	Biokomposit A	7.69 [s]	24.7 [s]
2	Biokomposit B	7.63 [s]	24.64 [s]
3	Biokomposit C	7.6 [s]	24.61 [s]
4	Biokomposit D	7.55 [s]	24.56 [s]

Dari tabel hasil simulasi diatas waktu pendinginan terlama ada pada biokomposit A yaitu 7.69 [s] dan terus menurun seiring bertambahnya komposisi sekam padi, dengan waktu tercepat pendingan pada biokomposit D selama 7.55 [s].

4.2 Analisa Hasil Simulasi Proses Injeksi Spesimen

Semua material memiliki kebutuhan *injection pressure* yang sama sebesar 140 (bar). Material dengan waktu pengisian terlama adalah biokomposit A dan memiliki penyusutan terbanyak juga yaitu 8.61%. Secara simulasi memang sulit membedakan hasil antara biokomposit dengan variasi yang berbeda. Dikarenakan hasil simulasi yang tidak berbeda jauh antara setiap biokomposit. Tetapi secara keseluruhan material biokomposit mampu untuk dilakukan proses injeksi.

Penentuan parameter proses mesin injeksi dilakukan berdasarkan hasil simulasi dari software moldflow, simulasi yang dilakukan hanya terbatas pada *fill & pack analysis* dan *molding window analysis*. Dari hasil simulasi diatas dapat disimpulkan parameter proses injeksi pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Parameter proses injeksi hasil simulasi

Material	Injection Pressure (bar)	Nozzle Temperature (°C)	Injection Time (s)	Holding Time (s)	Cooling Time (s)
Biokomposit A	140	210	1.9	15	7.69
Biokomposit B	140		1.9		7.63
Biokomposit C	140		1.9		7.6
Biokomposit D	140		1.9		7.55

Nozzle temperatur diperoleh dari penelitian Burgstaller (2014), dan *holding time* diperoleh dari penelitian tentang optimasi parameter mesin injeksi yang dilakukan saudara Dhian (2015).

4.3 Identifikasi Parameter Proses Injeksi Spesimen

Parameter proses injeksi hasil simulasi yang disajikan pada tabel 4.8, ternyata tidak sesuai dengan kondisi aktual yang ada di lapangan. Hal yang perlu diperbaiki adalah pada bagian *injection pressure* dan *injection time*. Dengan beberapa penyesuaian hasil simulasi harus diperbaiki dengan menimbang keadaan aktual mesin injeksi yang digunakan. Maka parameter aktual proses injeksi dapat dilihat pada tabel 4.9

Tabel 4. 9 Parameter proses injeksi aktual

Material	Holding Pressure (bar)	Injection Pressure (bar)	Nozzle-Hopper Temperature (°C)	Injection Time (s)	Holding Time (s)	Cooling Time (s)
Biokomposit A	40	55	200,210,210,210,190	0.65	15	8
Biokomposit B		55		0.65		8
Biokomposit C		55		0.65		8
Biokomposit D		55		0.65		8

Hal yang pertama kali ditentukan adalah pada bagian temperatur. Temperatur maksimal yang dipakai adalah 210°C, dengan temperature pada *nozzle* adalah 200°C dan hopper 190°C. Nilai temperatur ini didasarkan atas hasil test DSC dan TGA yang dilakukan oleh saudara Mutawafiqin (2016), yaitu temperatur leleh dari biokomposit berkisar di 164°C dan temperatur degradasi berkisar 227°C (temperatur dimana material biokomposit mulai kehilangan bobotnya). Untuk menjaga kualitas dari produk maka parameter temperatur tidak boleh melebihi batas temperatur degradasi dan kurang dari temperature leleh. Setelah itu penyesuaian pada tekanan, nilai dari *holding pressure* (40 bar) dan *injection pressure* (55 bar) serta *injection time* (0.65s) merupakan hasil percobaan yang dilakukan sehingga menghasilkan produk bebas cacat secara visual.

Adanya perbedaan signifikan dari parameter injeksi hasil simulasi dengan parameter injeksi aktual. Terutama pada *injection pressure* dan *injection time* yaitu dari 140 (bar) menjadi 55 (bar)

dan 1.9 (s) menjadi 0.65 (s), dikarenakan pada saat proses simulasi pembuatan material database hanya melalui pendekatan *properties* material dari penelitian-penelitian yang sudah ada, bukan merupakan *properties* dari material yang digunakan. Terlebih pada simulasi merupakan hasil dalam kondisi ideal yaitu proses pencampuran antara PP dan sekam padi terjadi secara homogen. Sedangkan pada kenyataannya pellet material biokomposit yang digunakan masih cenderung tidak homogen. Sehingga kebutuhan injection pressure dan injection time yang seharusnya (140 bar) dan (1.9 s) turun menjadi (55 bar) dan (0.65s)

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB V EKSPERIMEN PROSES INJEKSI SPESIMEN

5.1 Pengamatan Hasil Eksperimen Proses Injeksi Material Biokomposit

Produk hasil proses injeksi merupakan spesimen uji tarik yang bisa dilihat pada gambar 5.1 dan spesimen uji impak pada gambar 5.2. spesimen biokomposit A adalah spesimen dengan kandungan sekam padi sebanyak 5%, spesimen biokomposit B sebanyak 10%, spesimen biokomposit C sebanyak 15% dan yang terakhir spesimen biokomposit D dengan kandungan sekam padi sebanyak 20%. Secara kasat mata tampak bahwa spesimen biokomposit A dengan kandungan 5% berwarna coklat muda dan semakin banyak kandungan sekam padi akan membuat warna spesimen menjadi coklat tua. Terlihat bahwa spesimen biokomposit D merupakan spesimen dengan warna paling gelap yang memiliki kandungan sekam padi terbanyak yaitu 20%. Gelapnya warna ini dikarenakan hangusnya sekam padi pada saat pelelehan material biokomposit pada saat didalam barel mesin injeksi.



Gambar 5. 1 Hasil proses injeksi spesimen biokomposit uji tarik ASTM D638 (1) biokomposit A, (2) biokomposit B, (3) biokomposit C dan (4) biokomposit D



Gambar 5. 2 Hasil proses injeksi spesimen biokomposit uji impak ASTM D6110 (1) biokomposit A, (2) biokomposit B, (3) biokomposit C dan (4) biokomposit D

Dari hasil pengamatan secara visual yang dilakukan, didapatkan bahwa terdapat cacat shrinkage atau penyusutan pada setiap spesimen. Penyusutan paling banyak ada pada spesimen A dan yang paling sedikit pada spesimen D. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya cekungan pada spesimen biokomposit A, terutama pada bagian yang tebal. Penyusutan tersebut membuat spesimen menjadi tidak sesuai secara geometri dari spesifikasi yang ada. Hal ini dikarenakan semakin banyak kandungan plastik didalam bahan biokomposit, akan membuat produk hasil injeksi cenderung untuk mengalami penyusutan, terlihat pada spesimen A yang memiliki kandungan plastik terbanyak.

5.2 Pengujian Mekanik Material Biokomposit

Pada penelitian ini dilakukan pengujian mekanik berupa uji tarik dan uji dampak dengan tujuan mengetahui karakteristik sifat mekanik dari material biokomposit. Dari hasil pengujian ini akan didapatkan kekuatan tarik dan dampak yang nantinya akan dianalisa seberapa besar pengaruh penambahan sekam padi sebagai material penguat terhadap pp sebagai matriks nya.

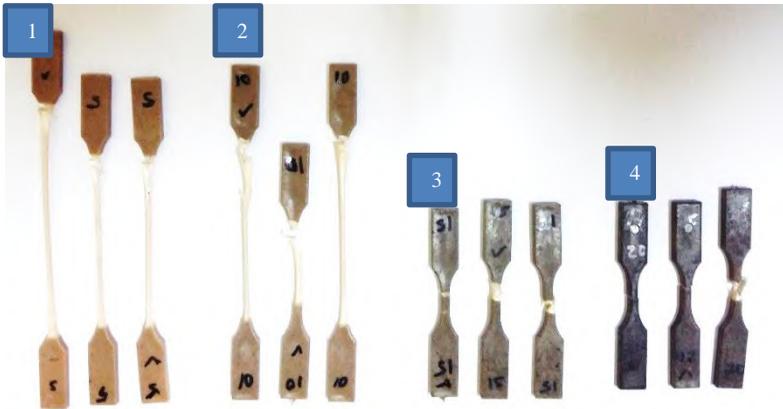
5.2.1 Uji Tarik

Hasil pengujian tarik spesimen ASTM D638-03 Tipe V secara visual dapat dilihat pada gambar 5.3 dan ditabelkan pada tabel 5.1. Dengan keterangan P adalah beban axial dalam satuan Newton, ΔL adalah pertambahan panjang dalam satuan mm, σ adalah kekuatan tarik dalam satuan N/mm^2 (MPa) dan ϵ adalah persentase pertambahan panjang.

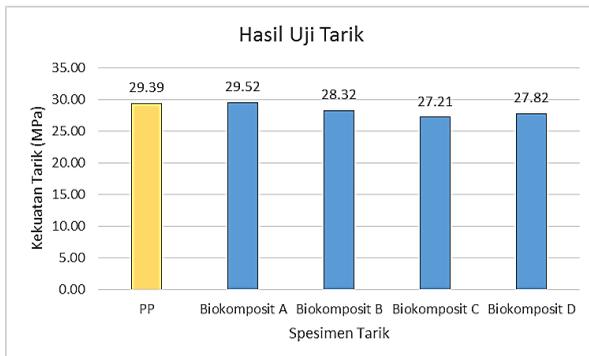
Tabel 5. 1 Data hasil pengujian tarik

Spesimen	Replikasi	P [kgf]	P [N]	ΔL (mm)	σ [N/mm ²]	ϵ [%]
PP	1	29.6	290.28	89.54	28.53	141.0079
	2	30.2	296.16	75.57	29.10	119.0079
	3	31.7	310.87	79.50	30.55	125.1969
	Rata-rata					29.39
Biokomposit A	1	30.7	301.06	72.33	29.59	113.9055
	2	31.75	311.36	52.09	30.60	82.0315
	3	29.45	288.81	50.23	28.38	79.10236
	Rata-rata					29.52
Biokomposit B	1	27.85	273.12	55.10	26.84	86.77165
	2	30.55	299.59	23.99	29.44	37.77953
	3	29.75	291.75	56.56	28.67	89.07087
	Rata-rata					28.32
Biokomposit C	1	27.2	266.74	2.59	26.21	4.07874
	2	28.8	282.43	5.46	27.75	8.598425
	3	28.7	281.45	5.44	27.66	8.566929
	Rata-rata					27.21
Biokomposit D	1	27.35	268.21	1.77	26.36	2.787402
	2	28.55	279.98	2.60	27.51	4.094488
	3	30.7	301.06	7.74	29.59	12.18898
	Rata-rata					27.82

Hasil uji tabel 5.1 selanjutnya dibuatkan dalam bentuk grafik dan dapat dilihat hasilnya pada gambar 5.4.



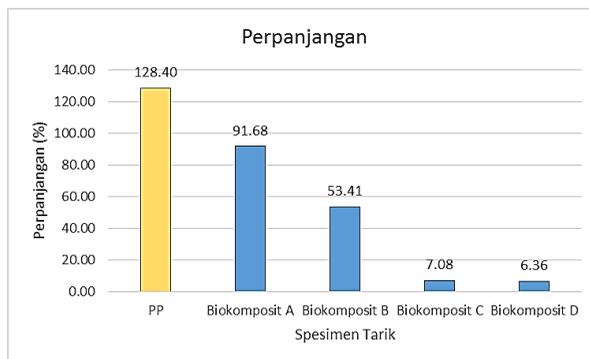
Gambar 5. 3 Hasil pengujian tarik spesimen biokomposit ASTM D638-03 Tipe V (1) biokomposit A, (2) biokomposit B, (3) biokomposit C dan (4) biokomposit D



Gambar 5. 4 Grafik hasil uji tarik spesimen biokomposit (kekuatan tarik)

Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 5.4, setiap material biokomposit memiliki kekuatan tarik dan perpanjangan yang bervariasi. Spesimen biokomposit A memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 29.52 MPa dengan perpanjangan sebesar 91.68%,

biokomposit B memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 28.32 MPa dengan perpanjangan sebesar 53.41%, biokomposit C memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 27.21 MPa dengan perpanjangan sebesar 7.08% dan biokomposit D memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 27.82 MPa dengan perpanjangan sebesar 6.36%. Perbedaan nilai kekuatan tarik tersebut jika dilihat dari trendline tidaklah signifikan dan terus menurun seiring bertambahnya kadar sekam padi. Tetapi untuk biokomposit A dengan kadar sekam padi 5% Wt sedikit lebih tinggi nilai kekuatan tariknya jika dibandingkan dengan PP murni. Hal ini mungkin dikarenakan campuran yang tidak homogen pada saat pembuatan material biokomposit A. Dari data-data tersebut menunjukkan bahwa sekam padi hanya mampu sebagai material pengisi (*filler*) saja. Hal yang sama juga ditunjukkan dari hasil penelitian oleh Burgstaller (2014), penambahan sekam padi hingga 50% pada PP tidak mampu membuat material tersebut semakin tinggi kekuatan tariknya. Hal ini dikarenakan sekam padi hanya memiliki beberapa lapisan selulosa yang membuatnya mudah retak. Sehingga kurang mampu untuk menahan beban mekanis. Selain itu kurang baiknya stress transfer pada material biokomposit dikarenakan kurangnya kadar MAPP pada material biokomposit, sehingga pembentukan fasa antarmuka antara PP dan sekam padi tidak terjadi dengan baik.



Gambar 5. 5 Garfik hasil uji tarik spesimen biokomposit (perpanjangan)

Lebih lanjut dari gambar 5.5 dapat dilihat trendline dari perpanjangan setiap material biokomposit cenderung menurun. Hal ini mengartikan penurunan perpanjangan diakibatkan penambahan sekam padi pada material biokomposit. Penambahan sekam padi dapat membuat material biokomposit menjadi tidak ulet. Jika dilihat secara visual pada gambar 5.3 dapat dikatakan bahwa biokomposit A dan biokomposit B memiliki patahan ulet, karena jenis patahan membentuk serabut tarikan yang panjang dan menyusut. Akan tetapi berbeda dengan biokomposit C dan biokomposit D yang memiliki patahan berbentuk serabut tarikan yang pendek.

Dari hasil pengujian material biokomposit A, B, C dan D yang hampir mendekati sifat mekanis dari PP murni adalah biokomposit A dan B. Karena memiliki kekuatan tarik dan keuletan yang mendekati PP. Sedangkan untuk material biokomposit C dan D tidak cocok untuk menggantikan PP, dikarenakan memiliki sifat yang getas.

5.2.2 Uji Impak

Hasil pengujian tarik spesimen ASTM D256-04 secara visual dapat dilihat pada gambar 5.6 dan ditabelkan pada tabel 5.2. Dengan keterangan α dan β adalah sudut awal dan akhir pengukuran bandul, ΔE adalah energy yang terserap dalam satuan joule dan I_s adalah kekuatan impak dalam satuan J/m^2 . Metode *charpy* dengan massa pendulum dan panjang lengan pendulum masing-masing adalah 0.75 Kg dan 0.3362 m.

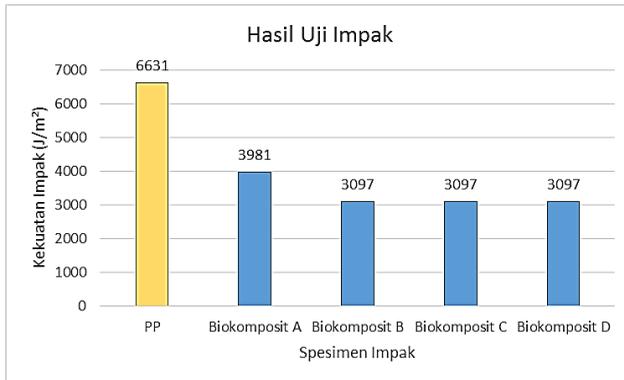


Gambar 5. 6 Hasil pengujian impak spesimen biokomposit ASTM D256-04 (1) biokomposit A, (2) biokomposit B, (3) biokomposit C dan (4) biokomposit D

Tabel 5. 2 Data hasil pengujian impact

Spesimen	Replikasi	α	β	ΔE [J]	Is [J/m ²]
PP	1	90	85	0.215573	6630.583
	2	90	85	0.215573	6630.583
	3	90	85	0.215573	6630.583
	Rata-rata			0.215573	6631
Biokomposit A	1	90	87	0.129443	3981.393
	2	90	87	0.129443	3981.393
	3	90	87	0.129443	3981.393
	Rata-rata			0.129443	3981
Biokomposit B	1	90	88	0.086304	2654.515
	2	90	87	0.129443	3981.393
	3	90	88	0.086304	2654.515
	Rata-rata			0.100683	3097
Biokomposit C	1	90	88	0.086304	2654.515
	2	90	87	0.129443	3981.393
	3	90	88	0.086304	2654.515
	Rata-rata			0.100683	3097
Biokomposit D	1	90	87	0.129443	3981.393
	2	90	88	0.086304	2654.515
	3	90	88	0.086304	2654.515
	Rata-rata			0.100683	3097

Untuk mempermudah analisa dari tabel 5.2 dibuat grafik hasil uji impact pada gambar 5.7.

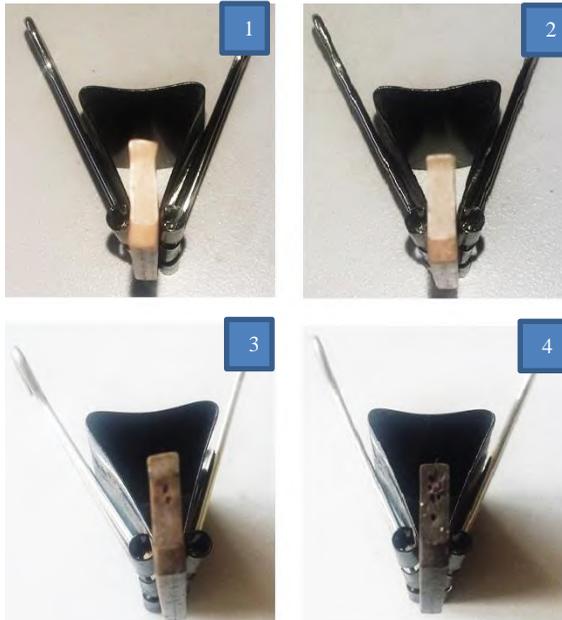


Gambar 5. 7 Grafik hasil uji impact spesimen biokomposit

Dari grafik hasil uji impact yang ditunjukkan pada gambar 5.7, secara umum kekuatan impact mengalami penurunan dan konstan pada biokomposit B hingga D. Biokomposit A memiliki kekuatan impact rata-rata sebesar 3981 J/m², biokomposit B memiliki kekuatan impact rata-rata sebesar 3097 J/m², biokomposit C memiliki kekuatan impact rata-rata sebesar 3097 J/m² dan biokomposit D memiliki kekuatan impact rata-rata sebesar 3097 J/m². Dilihat dari kekuatan impact masing-masing material biokomposit sangat jauh dari kekuatan impact PP murni. Hal ini dikarenakan sekam padi belum mampu menyerap energi impact yang diberikan dengan baik.

Jika dilihat dari segi patahan masing-masing spesimen material biokomposit pada saat pengujian impact charpy (gambar 5.8) , bentuk permukaan sisa patahan yang terjadi pada setiap spesimen berbeda-beda. Spesimen biokomposit A dan B memiliki sisa patahan yang halus. Sedangkan sisa patahan kasar ada pada biokomposit C dan D. Dan memiliki serabut pada tepi-tepi spesimen patahan. Hal ini dikarenakan terjadinya delaminasi dimana terjadi pemisahan lokal oleh ikatan material dari permukaan, yang menyebabkan penurunan kekuatan tarik. Sisa-sisa patahan tersebut menunjukkan bahwa material biokomposit A

dan B adalah material yang ulet, sementara untuk material biokomposit C dan D merupakan material yang getas.



Gambar 5. 8 Penampakan patahan dari permukaan spesimen hasil uji impak *charpy* (1) biokomposit A, (2) biokomposit B, (3) biokomposit C dan (4) biokomposit D

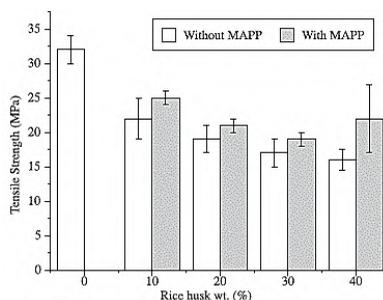
Lebih jauh lagi dilihat dari segi *void (lubang)*, pada gambar 5.8 material biokomposit A dan B tidak memiliki bercak-bercak lubang pada patahannya. Sedangkan pada material biokomposit C memiliki sedikit lubang dan lubang cenderung banyak pada sisa patahan biokomposit D. Hal ini mengindikasikan bahwa pellet biokomposit yang digunakan untuk membuat spesimen biokomposit C dan D sudah berlubang-lubang sebelumnya. Dalam hal ini perlu dilakukan perbaikan pada sisi mold berupa pembuatan ventilasi agar udara yang terjebak dapat keluar dengan sempurna dan pada sisi bahan material nya sendiri perlu dilakukan

penambahan MAPP karena MAPP sendiri dapat mengurangi *void sizes* dari komposisi yang tidak sejenis yaitu sekam padi dengan PP.

5.3 Analisa Hasil Pengujian Mekanik Material Biokomposit

Dari pengujian mekanik yang dilakukan pada material biokomposit, dapat dievaluasi material biokomposit mana yang dapat menggantikan PP. Seiring bertambahnya komposisi dari sekam padi pada setiap material biokomposit, membuat penurunan pada kekuatan tarik dan kekuatan impaknya serta membuat material biokomposit cenderung getas. Akan tetapi bila dilakukan perbaikan pada komposisi material biokomposit yaitu penambahan MAPP dapat meningkatkan kekuatan mekanik dari material biokomposit. Karena MAPP dapat memperbaiki ikatan antarmuka antara sekam padi dengan PP sehingga cacat *void* yang terjadi bisa teratasi dan stress transfer yang terjadi pada material biokomposit bisa berjalan dengan baik ketika diberikan beban mekanik.

Hal yang sama juga dibuktikan oleh penelitian Rosa (2009). Seperti terlihat pada gambar 5.9, penambahan MAPP dapat meningkatkan kekuatan tarik dari biokomposit campuran PP dengan sekam padi dibanding tanpa menggunakan MAPP. Dengan penambahan MAPP dapat meningkatkan gaya adhesi antar molekul sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik tersebut.

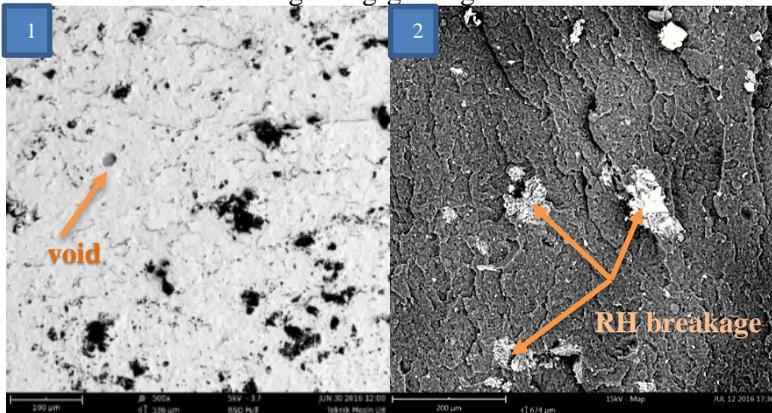


Effect of RH and MAPP on tensile strength.

Gambar 5. 9 Efek penambahan MAPP pada komposit PP dan *Rice Husk*

5.4 Analisa Hasil Uji SEM (Scanning Electron Microscopy)

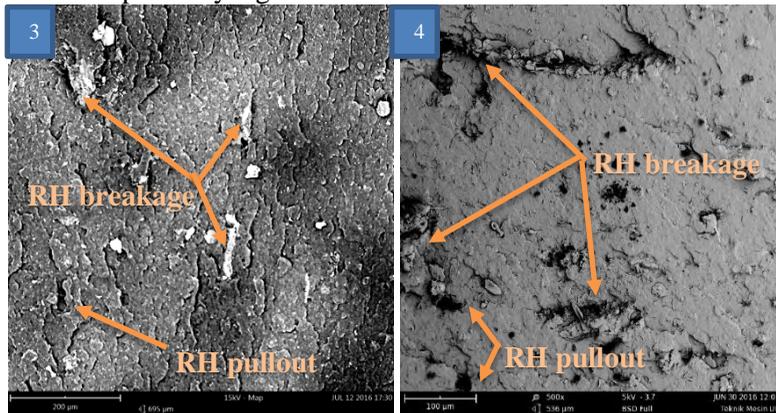
Analisa SEM dilakukan pada hasil patahan material biokomposit pada saat pengujian *charpy* dan disajikan pada gambar 5.10 dan gambar 5.11. Sebagai pembandingan ditampilkan juga hasil uji SEM PP murni pada gambar 5.12. Pada gambar 5.12 terlihat material PP memiliki banyak void dan bentuk dari permukaan patahan tidak merata. Ketidakrataan permukaan ini disebabkan oleh sifat dari material tersebut yang ulet sehingga pada saat proses terjadinya patahan ada sebagian kecil area patahan yang tertarik dan membentuk gunung-gunung.



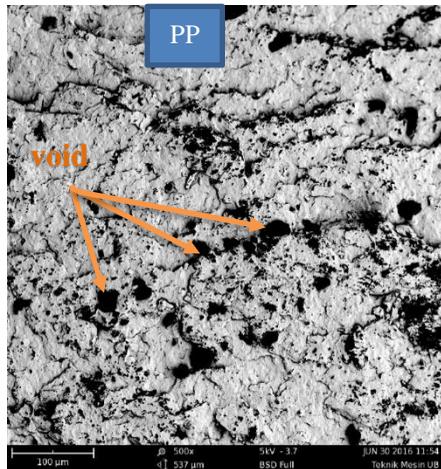
Gambar 5. 10 Hasil uji SEM (1) biokomposit A (2) biokomposit B

Secara mikroskopi pada material biokomposit cacat *void* yang terlihat pada material PP murni berkurang dan sedikit terlihat hanya pada biokomposit A dan tidak tampak pada biokomposit B, C dan D. Hal ini disebabkan oleh sifat dari MAPP yang mampu menutup *void* tersebut dikarenakan dapat membuat PP menyelimuti sekam padi. Efek lain dari MAPP seperti yang dijelaskan sebelumnya, dapat membuat struktur permukaan pada patahan biokomposit menjadi homogen serta menimbulkan gaya adesi pada permukaannya. Akan tetapi perbaikan struktur permukaan pada biokomposit C dan D ini dirasa kurang begitu

berarti dari segi kekuatan impaknya, karena pada spesimen material biokomposit tersebut sebelumnya sudah tampak cacat *void* cukup besar yang bisa terlihat secara visual.



Gambar 5. 11 Hasil uji SEM (3) biokomposit C (4) biokomposit D



Gambar 5. 12 Hasil uji SEM PP murni

Analisis hasil patahan uji impak biokomposit pada gambar 5.8 menunjukkan bahwa pada biokomposit A tidak terlihat serat

sekam padinya, tetapi struktur permukaannya sudah homogen dan cacat void berkurang. Untuk biokomposit B terlihat adanya fenomena *RH breakage* dimana serat sekam padi mengalami patahan. Sedangkan untuk gambar 5.9 terlihat adanya fenomena *RH breakage* dan *RH pullout (debonding RH)* pada biokomposit C dan biokomposit D, dengan struktur permukaan yang homogen.

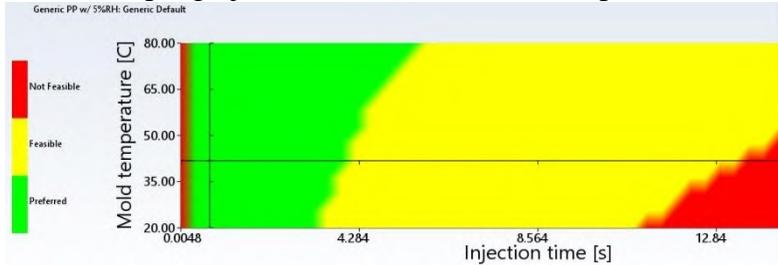
Fenomena *RH breakage* dan *RH pullout* dipengaruhi oleh *interface* antar matrik dan serat. Interface yang kuat akan menghasilkan material biokomposit dengan kekuatan dan kekakuan yang baik namun bersifat getas, karena pergerakan *crack* akan sangat mudah terjadi melalui matrik ke serat. Sebaliknya interface yang lemah akan mengurangi efisiensi transfer beban dari matrik ke serat sehingga dihasilkan material biokomposit dengan kekuatan dan kekakuan yang rendah. Pada interface yang lemah, pergerakan *crack* secara transversal akan menyusuri antar-muka matrik dan serat sehingga menghasilkan *debonding* atau *pullout fiber* dari pada mekanisme perpatahan serat (*fiber breakage*) yang disebabkan interface yang kuat. Oleh karena itu fenomena *RH pullout* dapat menurunkan kekuatan dampak dari material biokomposit. Begitu pula hasil penelitian yang dilakukan oleh Oksman () dengan interface yang lemah yaitu terjadinya *RH pullout*, dapat menurunkan nilai dari kekuatan dampaknya. Hal ini dikarenakan rendahnya absorpsi energi yang mampu diterima pada *RH pullout* dibanding *RH breakage*.

[halaman ini sengaja dikosongkan]

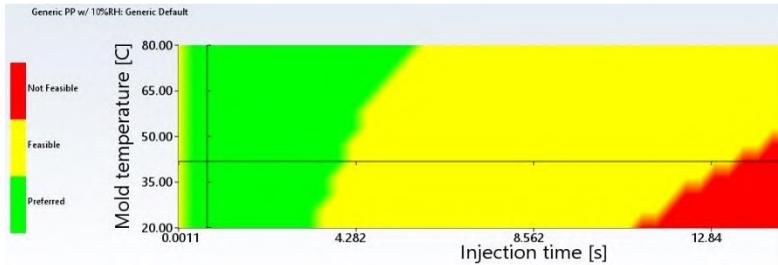
LAMPIRAN

1. Molding Window Material Biokomposit (Simulasi Moldflow)

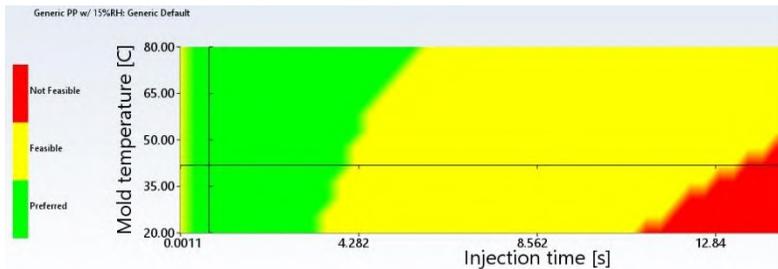
Menjelaskan area kerja terbaik yaitu temperatur mold dan waktu penginjeksian dari material biokomposit.



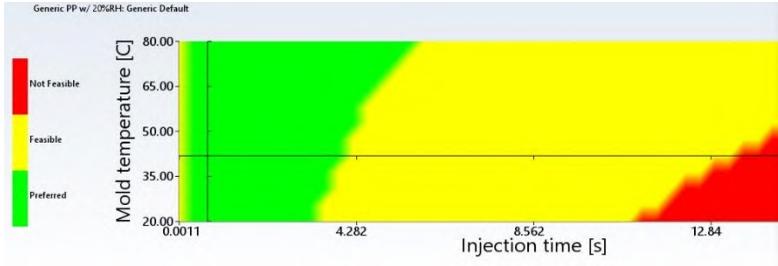
Gambar Molding Window Material Biokomposit A



Gambar Molding Window Material Biokomposit B

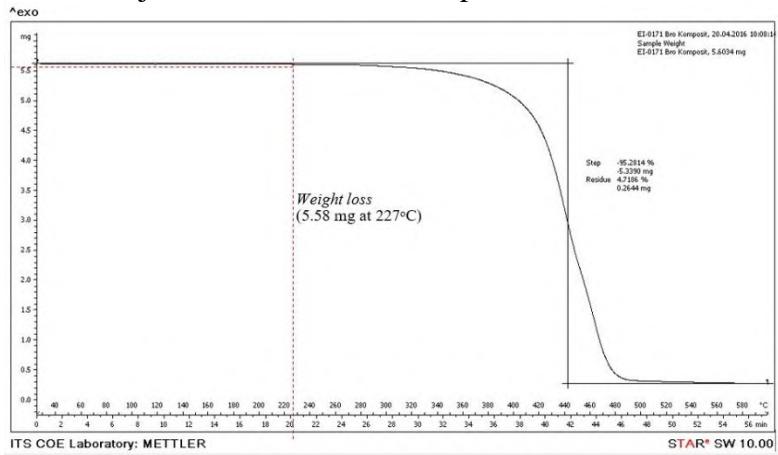


Gambar Molding Window Material Biokomposit C



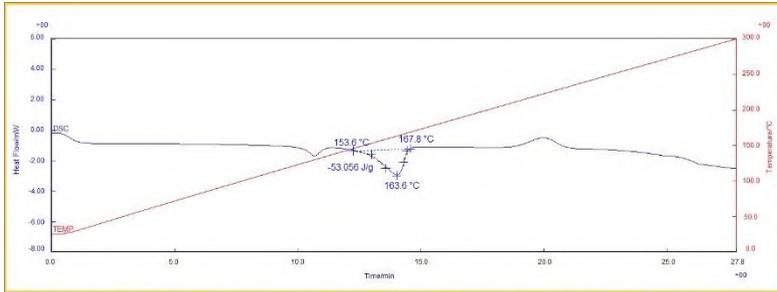
Gambar Molding Window Material Biokomposit D

2. Hasil Uji TGA Material Biokomposit

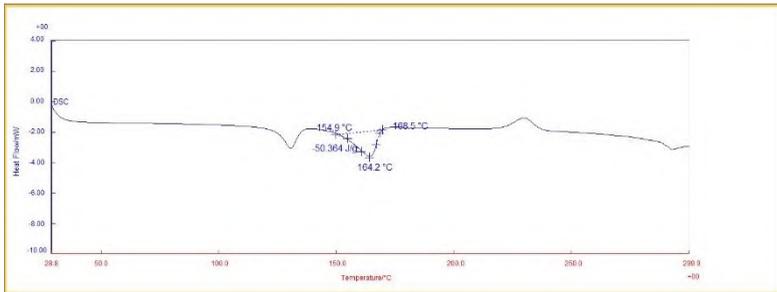


Gambar Hasil Uji TGA Material Biokomposit D

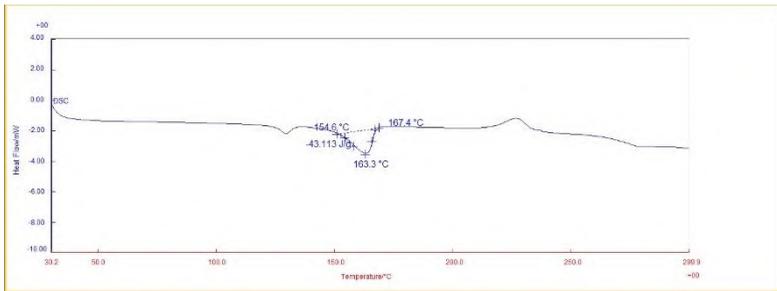
3. Hasil Uji DSC Material Biokomposit



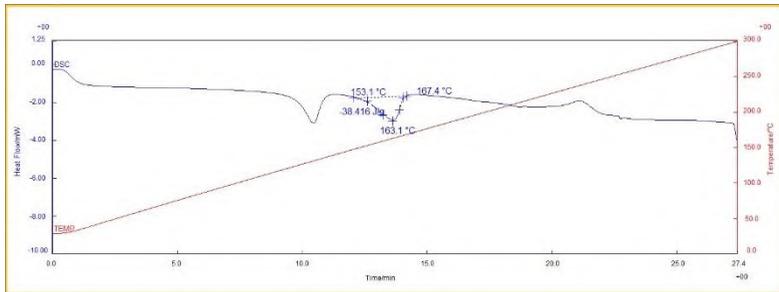
Gambar Hasil Uji DSC Material Biokomposit A



Gambar Hasil Uji DSC Material Biokomposit B

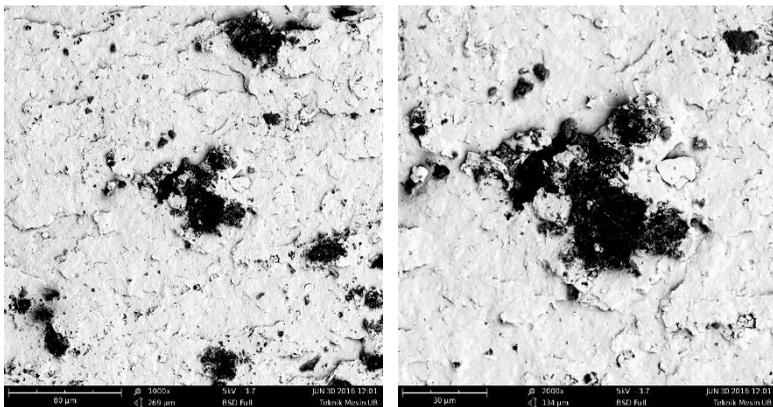


Gambar Hasil Uji DSC Material Biokomposit C

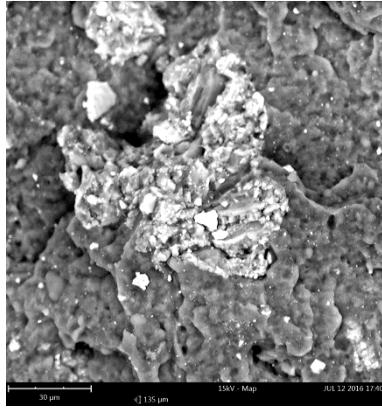
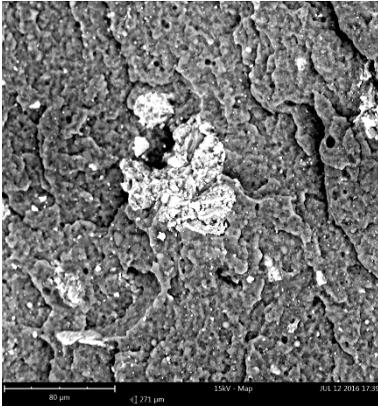


Gambar Hasil Uji DSC Material Biokomposit D

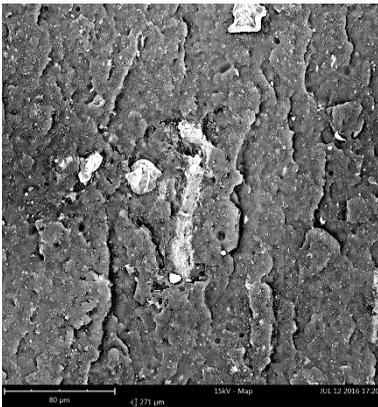
4. Hasil Uji SEM Material Biokomposit



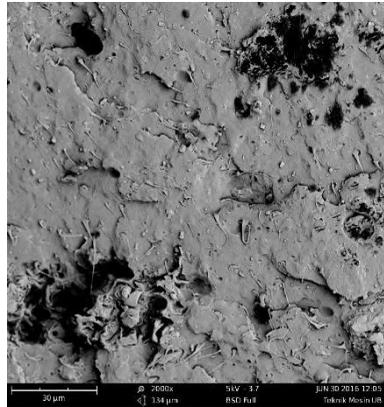
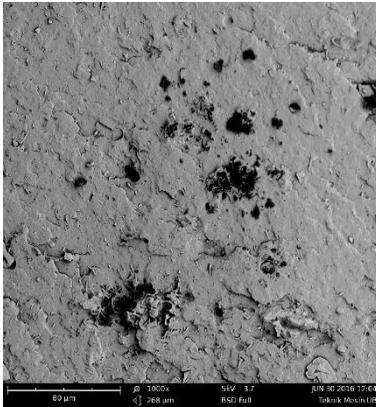
Gambar Hasil Uji SEM Biokomposit A (Perbesaran 1000x dan 2000x)



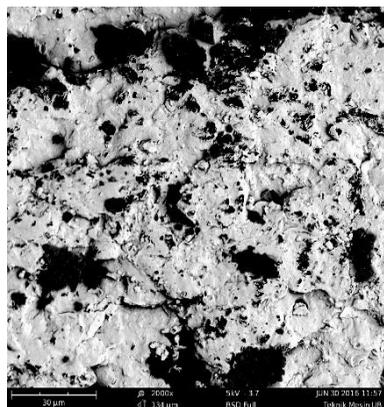
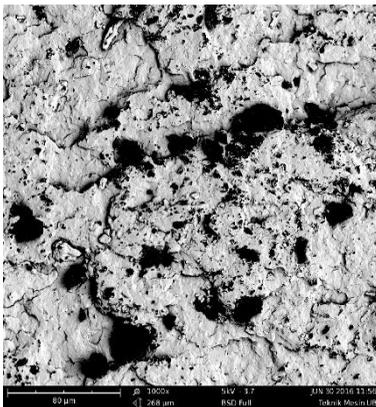
Gambar Hasil Uji SEM Biokomposit B (Perbesaran 1000x dan 2000x)



Gambar Hasil Uji SEM Biokomposit C (Perbesaran 1000x dan 2000x)



Gambar Hasil Uji SEM Biokomposit D (Perbesaran 1000x dan 2000x)



Gambar Hasil Uji SEM Biokomposit D (Perbesaran 1000x dan 2000x)

BAB VI PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen serta analisa yang telah dilakukan, dapat disusun beberapa kesimpulan sebagai berikut:

5.1 Seluruh komposisi material biokomposit dapat dilakukan proses injeksi. Didasari atas hasil simulasi dan percobaan yang sudah dilakukan, didapat parameter proses injeksi material biokomposit yang sesuai dengan kemampuan mesin injeksi yang ada. Dengan parameter proses injeksi sebagai berikut:

Material	Holding Pressure (bar)	Injection Pressure (bar)	Nozzle-Hopper Temperature (°C)	Injection Time (s)	Holding Time (s)	Cooling Time (s)
Biokomposit A	40	55	200,210,210,210,190	0.65	15	8
Biokomposit B		55		0.65		8
Biokomposit C		55		0.65		8
Biokomposit D		55		0.65		8

2.a. Dengan parameter proses injeksi tersebut didapat spesimen dengan kekuatan tarik dan impak sebagai berikut:

Biokomposit	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Kekuatan Impak (J/m ²)
A	29.52	398
B	28.32	309
C	27.21	309
D	27.82	309

Sifat mekanis terbaik ada pada material biokomposit A, tetapi jika dibandingkan dengan PP hanya biokomposit A yang memiliki kekuatan tarik mendekati PP dan tidak ada biokomposit yang memiliki kekuatan impak mendekati PP.

2.b. Dari hasil uji SEM (Scanning Electron Microscopy) dapat diketahui struktur permukaan material biokomposit hasil dari patahan uji impak. Penambahan sekam padi dan MAPP pada PP

dapat merubah struktur dari PP menjadi lebih homogen dan memiliki gaya adhesi yang kuat. Sehingga penambahan komposisi sekam padi cenderung membuat sifat material biokomposit kearah yang getas.

- 2.c. Berdasarkan hasil uji mekanis dapat disimpulkan biokomposit A merupakan biokomposit terbaik, akan tetapi komposisi 5% sekam padi dirasa kurang terlihat efeknya dari sisi ekonomis. Dilihat lebih jauh pada biokomposit A tidak terlihat ada nya serat sekam padi dari hasil uji SEM. Maka dari itu dengan mempertimbangkan morfologi hasil uji SEM biokomposit B dapat dijadikan material pengganti dari PP, dengan catatan memperbaiki parameter proses injeksinya agar dapat memperbaiki sifat mekanis dari biokomposit B.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil kajian material biokomposit, maka beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Pemilihan parameter proses injeksi yang tepat agar memaksimalkan sifat mekanis dari setiap komposisi biokomposit yang dipakai.
2. Untuk lebih mendapatkan hasil yang sesuai sebaiknya digunakan alat ukur dengan kecermatan yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nanang M. 2012. “Pengembangan Komposit Polipropilena Berpenguat Serat Sisal dan Serat Serabut Kelapa Untuk Material Komponen Otomotif”. Depok
- [2] Mutawafiqin R. 2016. “Studi Eksperimental Variasi Komposisi Pelet Biokomposit (Polypropylene, Sekam Padi dan Maleic Anhydride PP) Terhadap Sifat Thermal & Struktur Permukaan Sebagai Material Alternatif Produk Helm Standar”. Surabaya
- [3] Dhian P. 2015. “Pemilihan Parameter Untuk Meningkatkan Kekuatan Spesimen Tarik dan *Impact* Pada Proses Injeksi Plastik Dengan Metode Taguchi”. Surabaya
- [4] Burgstaller, Christoph. 2014. “A Comparison Of Processing and Performance for Lignocellulosic Reinforced Polypropylene For Injection Moulding Applications”. Austria
- [5] Rosa, Simone Maria L.dkk. 2009. “Studies on the Properties of Rice-Husk-Filled-PP Composites- Effect of Maleated PP”. Brazil
- [5] E.F. Alfaro, D.B Dias, L.G.A. Silva. 2013. “The Study Of Ionizing Radiation Effects on Polypropylene and Rice Husk Ash Composite”. Brazil
- [6] Sumaryono. 2012. “Perilaku Pengujian Tarik pada Polistiren dan Polipropilen”.
- [7] Gastrow. 2002. “Injection Mold: 130 Proven Designs – 3rd ed”, Hansler Publisher, Munich
- [8] E. Alfredo Campo. Complete Part Design Handbook. For Injection Molding of Thermoplastics-Hanser Fachbuchverlag.
- [9] Jay Shoemaker. 2006. Moldflow Design Guide A Resource for Plastics Engineers-Moldflow Corporation.
- [10] User Manual. Haitian Mars series

BIODATA PENULIS



Antonius Danny Nugroho, dilahirkan di Jakarta pada tanggal 4 Maret 1992. Penulis adalah putra pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Petrus Sujendro dan Ibu Rhodesia Siswarini. Pendidikan dasar ditempuh di SD Negeri 5 Curug Depok dan lulus pada tahun 2004. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMP Negeri 49 Jakarta Timur, lulus pada tahun 2007. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMA Negeri 48 Jakarta Timur, lulus pada tahun 2010. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Diploma 3 Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta dan lulus pada tahun 2013. Selama menempuh pendidikan Diploma 3 penulis aktif diberbagai kegiatan serta mendapatkan beberapa sertifikat internasional dibidang CAD (*Computer Aided Design*). Pada tahun 2014 penulis melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menempuh pendidikan di Teknik Mesin ITS penulis mendapatkan banyak pengetahuan dan ilmu baru yang bermanfaat. Segala bentuk informasi, kritik dan saran mengenai Tugas Akhir ini dapat menghubungi penulis melalui e-mail antoniusdannyn@yahoo.com