

**PENGARUH PERSENTASE SERBUK KAYU ALKALI
TREATMENT PADA KOMPOSIT MATRIKS
POLYPROPYLENE TERHADAP KEKUATAN IMPACT**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun oleh :

**YUDHA KARTIKA WIJAYA
NIM. 0510623071-62**

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2010

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH PERSENTASE SERBUK KAYU ALKALI TREATMENT PADA KOMPOSIT Matriks POLYPROPYLENE TERHADAP KEKUATAN IMPACT

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun oleh :

**YUDHA KARTIKA WIJAYA
NIM. 0510623071-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen pembimbing I

Dosen pembimbing II

**Ir. Ari Wahjudi, MT
NIP. 19680324 199412 1 001**

**Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc, CSE
NIP. 19670923 199303 1 002**

**PENGARUH PERSENTASE SERBUK KAYU ALKALI
TREATMENT PADA KOMPOSIT Matriks
POLYPROPYLENE TERHADAP KEKUATAN IMPACT**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik

Disusun oleh :

**YUDHA KARTIKA WIJAYA
NIM. 0510623071-62**

Skripsi ini telah diuji dan
dinyatakan lulus pada tanggal 05 Agustus 2010

Dosen Penguji,

Skripsi I

Skripsi II

**Ir. Agustinus Ariseno, MT
NIP. 19510822 198701 1 001**

**Dr. Ir. Pratikto, MMT
NIP. 19461110 198103 1 001**

Komprehensif

**Ir. Masduki, MM
NIP. 19450816 197009 1 001**

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001**

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puja dan puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat serta hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul “**Pengaruh Persentase Serbuk Kayu Alkali Treatment Pada Komposit Matriks Polypropylene Terhadap Kekuatan Impact**” dapat terselesaikan dengan baik.

Dalam rangka penyusunan skripsi ini, penulis tidak dapat terlepas dari bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
2. Bapak Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST.,M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
3. Bapak Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Material Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
4. Bapak Ir. Ari Wahjudi, MT., sebagai dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan pada penulis dalam menyusun skripsi
5. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc, CSE sebagai dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan pada penulis dalam menyusun skripsi
6. Kedua orang tuaku, Bapak Drs. Wahyu Santoso, SH, M.Si dan Ibu Dra. Supriani yang telah memberikan segala yang terbaik untuk penulis, tidak lupa pula saudara – saudaraku Bayu Kusuma W. dan Hayuning P. yang selalu memberikan semangat sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi
7. Untuk Ayu Kusmirahajeng, SP yang slalu mendukung dan membantu agar penulis dapat menyelesaikan skripsi
8. Semua Pihak, khususnya Arek Mesin angkatan 2005 yang telah memberi dukungan demi kelancaran pengerjaan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini pasti masih jauh dari sempurna dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna menuju kesempurnaan.

Akhirnya, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan berbagai pihak yang akan mengembangkan skripsi ini.

Malang, 19 Juli 2010

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
RINGKASAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian yang Pernah Dilakukan	4
2.2 Material Komposit	4
2.3 Klasifikasi Komposit	5
2.3.1 <i>Fibrous Composite Materials</i>	6
2.3.2 <i>Particle Composite Materials</i>	7
2.4 Matriks	8
2.4.1 Polimer Termoset.....	9
2.4.2 Polimer Termoplastik	9
2.5 Material Pengisi (<i>filler</i>).....	11
2.5.1 Serbuk Kayu Meranti.....	11
2.6 Perlakuan Kimia <i>Filler</i> Alami	13
2.7 Teori Ikatan Matriks dengan <i>Filler</i>	14
2.8 Foto Makro.....	15
2.9 Metode <i>Injection Moulding</i> Pembuatan Komposit.....	15
2.10 Kekuatan <i>Impact</i> Komposit	17
2.11 Hipotesis	20

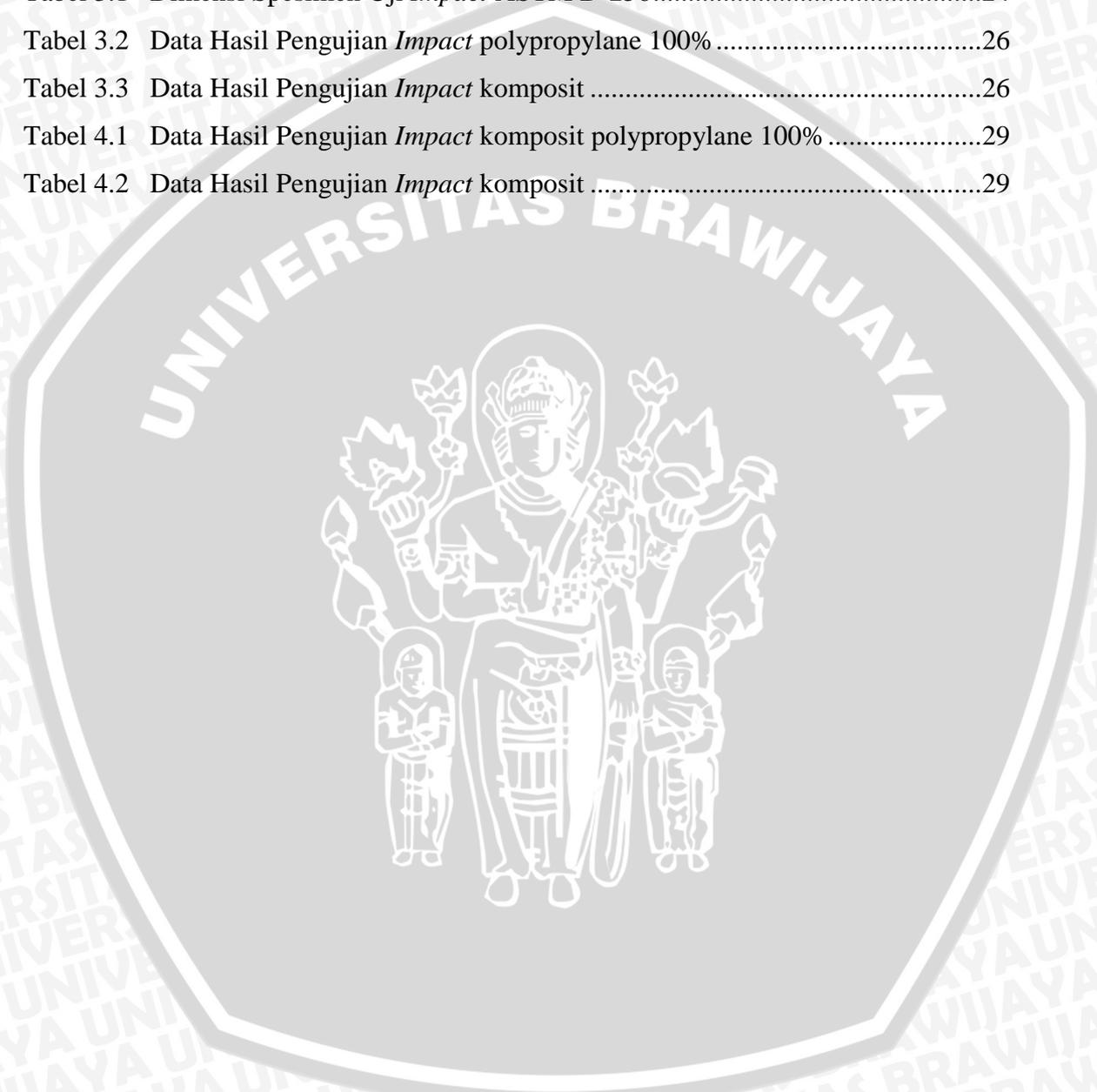
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1	Metode Penelitian	21
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.3	Variabel Penelitian	21
3.3.1	Variabel Bebas	21
3.3.2	Variabel Terikat	22
3.4	Alat dan Bahan yang Digunakan	22
3.4.1	Alat yang Digunakan	22
3.4.2	Bahan yang Digunakan	22
3.5	Prosedur Penelitian	23
3.6	Metode Pengujian	24
3.6.1	Pengujian <i>Impact</i> Komposit	24
3.7	Rancangan Penelitian	25
3.8	Diagram Alir Penelitian	27
BAB IV	DATA DAN PEMBAHASAN	29
4.1	Hasil Pengujian <i>Impact</i> Komposit	29
4.2	Perhitungan Kekuatan <i>Impact</i> Teoritis	30
4.3	Pembahasan	31
4.3.1	Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu terhadap Kekuatan <i>Impact</i> Komposit	31
4.3.2	Pengaruh <i>Silane Treatment</i> terhadap Kekuatan <i>Impact</i> Komposit	36
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran	40

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Karakteristik Kayu Meranti.....	12
Tabel 3.1	Dimensi Spesimen Uji <i>Impact</i> ASTM D-256.....	24
Tabel 3.2	Data Hasil Pengujian <i>Impact</i> polypropylane 100%	26
Tabel 3.3	Data Hasil Pengujian <i>Impact</i> komposit	26
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian <i>Impact</i> komposit polypropylane 100%	29
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian <i>Impact</i> komposit	29



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Klasifikasi Komposit	6
Gambar 2.2	Skema Penyusunan Serat	7
Gambar 2.3	Skema Penyusunan <i>Particle Composites</i>	8
Gambar 2.4	Simbol <i>Polypropylene</i>	10
Gambar 2.5	<i>Short Segment of Polypropylene</i>	11
Gambar 2.6	Reaksi <i>Alkali Treatment</i>	13
Gambar 2.7	<i>Mechanical Bonding</i>	14
Gambar 2.8	<i>Electrostatic Bonding</i>	14
Gambar 2.9	<i>Reaction Bonding</i>	15
Gambar 2.10	Patahan spesimen uji tarik vraksi volume 50% serat serabut kelapa <i>alkali treatment</i>	15
Gambar 2.11	Bagian-bagian Mesin <i>Injection Moulding</i>	17
Gambar 2.12	Skema <i>Charpy Impact Test</i>	18
Gambar 2.13	Mesin Uji <i>Impact</i>	20
Gambar 3.1	Spesimen Pengujian Kekuatan <i>Impact</i>	24
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Persentase Serbuk Kayu Meranti terhadap Kekuatan <i>Impact</i> Komposit	31
Gambar 4.2	Spesimen Uji <i>Impact</i> Tanpa Serbuk Kayu Meranti	32
Gambar 4.3	Spesimen Uji <i>Impact</i> Penambahan 20% Serbuk Kayu Meranti	33
Gambar 4.4	Spesimen Uji <i>Impact</i> Penambahan 40% Serbuk Kayu Meranti	35
Gambar 4.5	Spesimen Uji <i>Impact</i> Penambahan 50% Serbuk Kayu Meranti	36
Gambar 4.6	Foto Serbuk Kayu Meranti dan Foto Mikrostruktur Serbuk Kayu Meranti	37
Gambar 4.8	Spesimen Uji <i>Impact</i> Penambahan 10% Serbuk Kayu Meranti	38
Gambar 4.8	Spesimen Uji <i>Impact</i> Penambahan 20% Serbuk Kayu Meranti	39

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Alat – alat yang digunakan pada penelitian
Lampiran 2	Surat keterangan telah melakukan penelitian



RINGKASAN

YUDHA KARTIKA WIJAYA, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2010, *Pengaruh Persentase Serbuk Kayu Alkali Treatment Pada Komposit Matriks Polypropylene Terhadap Kekuatan Impact*, Dosen Pembimbing : Ari Wahjudi dan Tjuk Oerbandono

Perkembangan teknologi komposit saat ini sudah mulai mengalami pergeseran dari bahan komposit berpenguat serat sintetis menjadi bahan komposit berpenguat serat alam. Dengan berkembangnya teknologi bahan komposit bagaimana cara memanfaatkan bahan-bahan alam yang tersedianya cukup banyak yang mampu diregenerasikan untuk mengantisipasi krisis bahan sintetis. Bahan sintetis tersebut dipengaruhi oleh sumber minyak bumi yang tidak bisa diperbaharui, misalnya serat gelas. Salah satu pemecahan masalah adalah dengan memanfaatkan serat alam sebagai bahan campuran polimer plastik untuk menghasilkan material komposit. *Polypropylene* (PP) merupakan salah satu jenis plastik yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Bahan ini mempunyai berat jenis rendah, ketahanan listrik yang baik, tahan korosi, serta temperatur proses yang rendah (*melting point* 173°C). *Polypropylene* banyak digunakan sebagai matriks yang selanjutnya dicampur dengan penguat untuk dijadikan komposit. Penguat bisa berupa serat (*fiber*) dan bisa berupa serbuk (*particulate*). Serbuk kayu merupakan limbah dari kegiatan penggergajian yang dapat digunakan sebagai penguat dalam komposit. Keterbatasan dari penggunaan *filler* alami di dalam komposit adalah lemahnya adhesi antara permukaan *filler* dengan matriks. *Alkali treatment* merupakan perlakuan kimia untuk memperbaiki permukaan serbuk kayu. Dengan pertimbangan belum diketahuinya pengaruh dari persentase serbuk kayu *alkali treatment* pada matriks *polypropylene* terhadap kekuatan *impact* komposit, maka penelitian ini perlu dilakukan yang nantinya dapat diperoleh komposisi yang paling optimal yang dapat diterapkan pada serbuk kayu yang telah mengalami *alkali treatment*.

Dalam penelitian ini variasi perlakuan yang digunakan yaitu serbuk kayu tanpa perlakuan (*untreatment*) dan *alkali treatment*. Sedangkan persentase serbuk kayu meranti yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Serbuk kayu meranti yang digunakan berdiameter 400-500 µm. Proses pencetakan komposit pada penelitian ini menggunakan proses *injection moulding* dengan parameter tekanan 8 bar dan temperatur 190°C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan *impact* komposit serbuk kayu *alkali treatment* lebih besar dibandingkan dengan *untreatment*, namun keduanya memiliki kecenderungan yang sama, yaitu mengalami peningkatan dengan bertambahnya persentase serbuk kayu meranti mulai 10% hingga 20% kemudian mengalami penurunan apabila persentase serbuk kayu meranti ditambah hingga 50%. Kekuatan *impact* komposit rata-rata tertinggi dicapai pada persentase serbuk kayu meranti 20% yang diberi perlakuan kimia (*alkali treatment*) sebesar 4,42 J/mm².

Kata kunci : komposit, serbuk kayu meranti, *polypropylene*, *alkali treatment*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi komposit saat ini sudah mulai mengalami pergeseran dari bahan komposit berpenguat serat sintetis menjadi bahan komposit berpenguat serat alam. Dengan berkembangnya teknologi bahan komposit bagaimana cara memanfaatkan bahan-bahan alam yang tersedianya cukup banyak yang mampu diregenerasikan untuk mengantisipasi krisis bahan sintetis. Bahan sintetis tersebut dipengaruhi oleh sumber minyak bumi yang tidak bisa diperbaharui, misalnya serat gelas. Salah satu pemecahan masalah adalah dengan memanfaatkan serat alam sebagai bahan campuran polimer plastik untuk menghasilkan material komposit. Keuntungan dari *filler* alami ini diantaranya adalah mempunyai densitas yang kecil, harga yang murah, dapat didaur ulang, dan dapat terurai di alam (*biodegradable*) (Panigrahi, 2004)

Polypropylene (PP) merupakan salah satu jenis plastik yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. *Polypropylene* mempunyai beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan material lainnya. Bahan ini mempunyai berat jenis rendah, ketahanan listrik yang baik, tahan korosi, serta temperatur proses yang rendah (*melting point* 173°C). Untuk menghasilkan plastik dengan sifat mekanik yang lebih baik, *polypropylene* banyak digunakan sebagai matriks yang selanjutnya dicampur dengan penguat untuk dijadikan komposit. Penguat bisa berupa serat (*fiber*) dan bisa berupa serbuk (*particulate*). Serbuk kayu merupakan limbah dari kegiatan penggergajian yang dapat digunakan sebagai penguat dalam komposit. Data Departemen Kehutanan dan Perkebunan tahun 1999/2000 menunjukkan bahwa limbah kayu gergajian yang dihasilkan di Indonesia mencapai 3,86 juta m³ (BPS, 2000). Serbuk kayu memiliki kelebihan sebagai *filler*, berat jenis yang rendah, dapat terurai secara alami dan dapat diperbarui (Strak dan Berger, 2004). Dengan demikian pemanfaatan limbah kayu yang berupa serbuk kayu akan memberikan dampak ekonomis yang signifikan.

Penggunaan *filler* alami berupa serbuk kayu dalam komposit berpengaruh pada kekuatan *impact* komposit. Penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh ini, yaitu pengaruh penggunaan *filler* serbuk kayu kamfer terhadap kekuatan *impact* komposit dengan matriks *polyester* (M.Firdaus, 2005). Dari penelitian ini didapat hasil bahwa semakin tinggi fraksi volume *filler* dalam komposit maka kekuatan *impact* material komposit akan semakin meningkat hingga mencapai titik maksimum

dan setelah itu kekuatan *impact* komposit akan mengalami penurunan (kekuatan *impact* maksimum diperoleh pada fraksi volume serbuk kayu kamfer 30% yaitu sebesar 0,05221 J.mm⁻²).

Keterbatasan dari penggunaan *filler* alami di dalam komposit adalah lemahnya adhesi antara permukaan *filler* dengan matriks. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan adhesi antara permukaan *filler* dengan matriks. J. Rout, *et.al.* 2001 melakukan penelitian dengan menambahkan perlakuan kimia *alkali treatment* pada serabut kelapa terhadap kekuatan tarik, *impact*, dan lentur pada komposit dengan matriks *polyester*. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa dengan pelakuan kimia berupa *alkali treatment* pada serat serabut kelapa dapat meningkatkan gaya adhesi atau pelekatan antara *filler* dengan matriks *polyester* sehingga akan meningkatkan kekuatan tarik, *impact* dan lentur pada komposit tersebut.

Dari beberapa hal yang telah disebutkan di atas dapat diketahui bahwa serbuk kayu merupakan *filler* alami dan dapat digunakan untuk digabungkan di dalam polimer membentuk komposit. Penggunaan *filler* alami masih memiliki kekurangan diantaranya adhesi antara *filler* dan matriks yang rendah. Adhesi antara *filler* dan matriks yang lemah juga dapat berakibat menurunnya kekuatan mekanik komposit, maka perlu diadakan usaha untuk meningkatkan adhesi ini.

Dengan pertimbangan belum diketahuinya pengaruh dari persentase serbuk kayu *alkali treatment* pada matriks *polypropylene* terhadap kekuatan *impact* komposit, maka penelitian ini perlu dilakukan yang nantinya dapat diperoleh komposisi yang paling optimal yang dapat diterapkan pada serbuk kayu yang telah mengalami *alkali treatment*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka dapat ditarik suatu rumusan masalah sebagai berikut :

Bagaimanakah pengaruh persentase serbuk kayu yang telah mengalami *alkali treatment* dan serbuk kayu *untreatment* pada matriks *polypropylene* terhadap kekuatan *impact* komposit ?

I.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Matriks yang digunakan adalah *polypropylene* yang berbentuk butiran.
2. *Filler* alami yang digunakan sebagai material penguat komposit adalah serbuk kayu meranti.
3. Bentuk dan dimensi serbuk kayu dikondisikan mendekati homogen (400-500 μ m).
4. Terdapat dua macam serbuk kayu yang digunakan yaitu serbuk kayu yang mengalami perlakuan kimia alkali dan serbuk kayu yang tidak mengalami perlakuan.

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh persentase serbuk kayu *alkali treatment* yang dijadikan *filler* komposit matriks *polypropylene* terhadap kekuatan *impact* komposit.

I.5 Manfaat Penelitian

1. Penggunaan plastik yang dapat didaur ulang sebagai matriks dalam komposit dapat memberikan nilai guna yang lebih dengan menjadikan sebagai bahan baku material baru.
2. Penggunaan *filler* alami yang mudah terdegradasi oleh alam mengurangi pencemaran lingkungan.
3. Menambah nilai guna serbuk kayu yang digunakan sebagai penguat dalam komposit dengan menjadikannya bahan baku material baru.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Pernah Dilakukan

M. Firdaus, (2005) meneliti tentang pengaruh fraksi volume serbuk kayu kamfer yang menggunakan matriks *polyester* terhadap sifat mekanik yang meliputi kekuatan tarik dan *impact*. Digunakan *polyester* seri 157 BQTN-EX dengan katalis *Methyl Ethyl Ketone* (MKE), diameter serbuk kayu kamper 560–630 μm spesimen uji tarik sesuai ASTM D 3039M dan untuk spesimen *impact* sesuai ASTM D 5942. Dengan hasil penelitian komposit mengalami peningkatan seiring bertambahnya fraksi volume serbuk kayu kamper mulai 5% sampai 30% kemudian mengalami penurunan apabila fraksi volume serbuk kayu kamper ditambah hingga 40%. Kekuatan *impact* komposit rata-rata tertinggi dicapai pada fraksi volume serbuk kayu kamper 30% sebesar $0.05221 \text{ J.mm}^{-2}$.

Ramaputera, (2008) meneliti pengaruh fraksi volume dan perlakuan kimia *alkali treatment* serat serabut kelapa yang menggunakan matriks *polypropylene*. Diameter serat serabut kelapa yang digunakan 280–315 μm , panjang serat serabut kelapa digunakan 5 mm, tekanan injeksi sebesar 8 bar dan temperature 190° C. Dengan hasil penelitian untuk fraksi volume 0% hingga 50%, didapatkan kekuatan tarik terbesar 69,79 N/mm^2 (*untreatment*) dan 77,64 N/mm^2 (*alkali treatment*).

Zaini, (2008) meneliti tentang kekuatan tarik dan kekuatan *impact* komposit serat rami dengan perlakuan alkali selama 2, 4, 6, dan 8 jam dengan persentase serat 10 % dan 90 % matrik. Matrik yang digunakan adalah *polyester* seri 157 BQTN-EX. Dari pengujian didapat harga kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh komposit serat rami dengan perlakuan dalam waktu 8 jam yaitu sebesar 41.9 Mpa dengan modulus elastisitas 2006.38 Mpa. Harga *impact* tertinggi dimiliki oleh komposit serat rami dengan perlakuan alkali 4 jam sebesar 0.0725 J/mm^2

2.2 Pengertian Material Komposit

Material komposit didefinisikan sebagai kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuknya, komposisi kimianya, dan tidak saling melarutkan antara materialnya dimana material yang satu berfungsi sebagai penguat dan material yang lainnya berfungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya (Gibson, 1994). Material penyusun komposit digabungkan dalam skala makroskopis yang mempunyai arti bahwa komponen penyusun komposit, baik material pengikat (matriks)

maupun material pengisi (*filler/reinforced*), dapat diidentifikasi secara langsung oleh kasat mata (Gibson, 1994). Matriks berfungsi sebagai perekat atau pengikat dan pelindung serat dari kerusakan eksternal dan matriks juga berfungsi sebagai pendistribusi beban yang dikenakan pada material komposit. Sedangkan *filler* berfungsi sebagai penguat dari matriks.

Keuntungan penggunaan material komposit adalah (Schwartz, 1997) :

1. Mempunyai kekuatan dan kekakuan yang baik.
2. Memiliki bobot yang ringan.
3. Tahan terhadap korosi dan oksidasi.

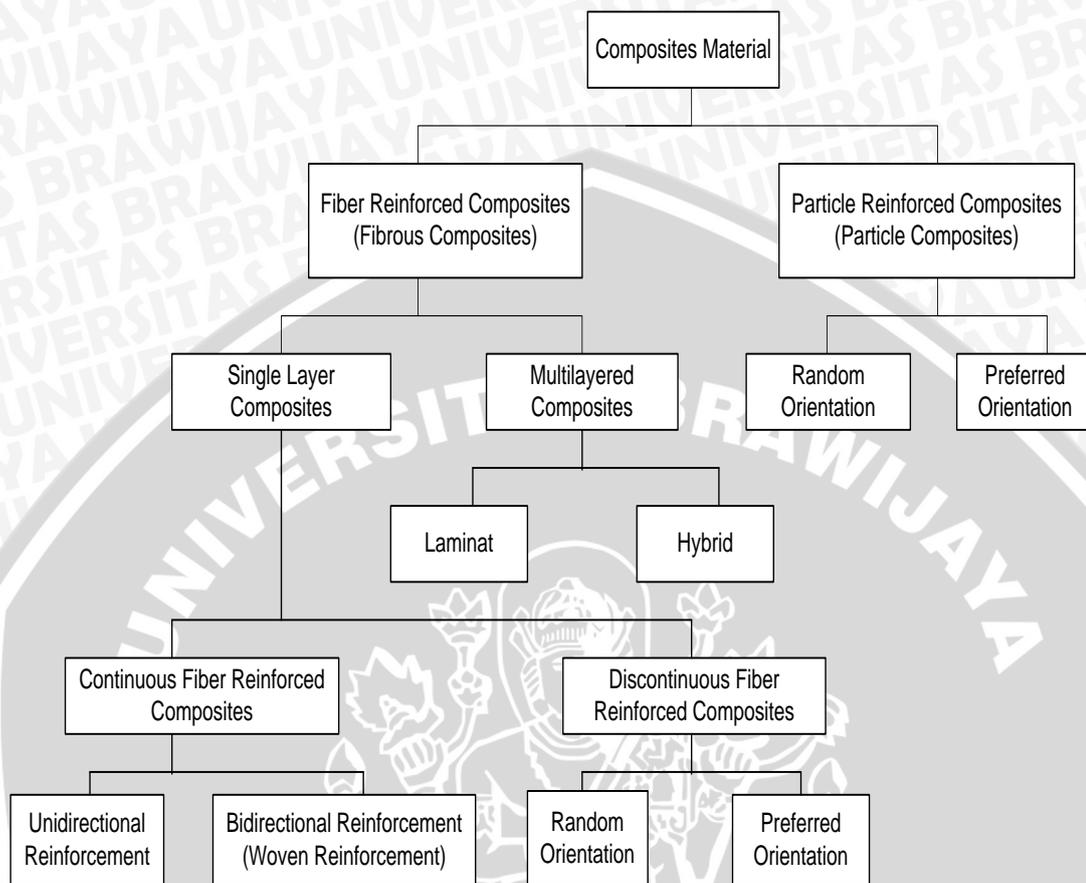
2.3 Klasifikasi Komposit

Secara umum dilihat dari jenis penguatnya komposit dibedakan menjadi dua macam yaitu komposit dengan penguat berupa serat (*Fibrous Composites*) dan komposit berupa partikel (*Particle Composites*).



Pengklasifikasian komposit berdasarkan penguatnya dapat dilihat pada gambar

2.1.

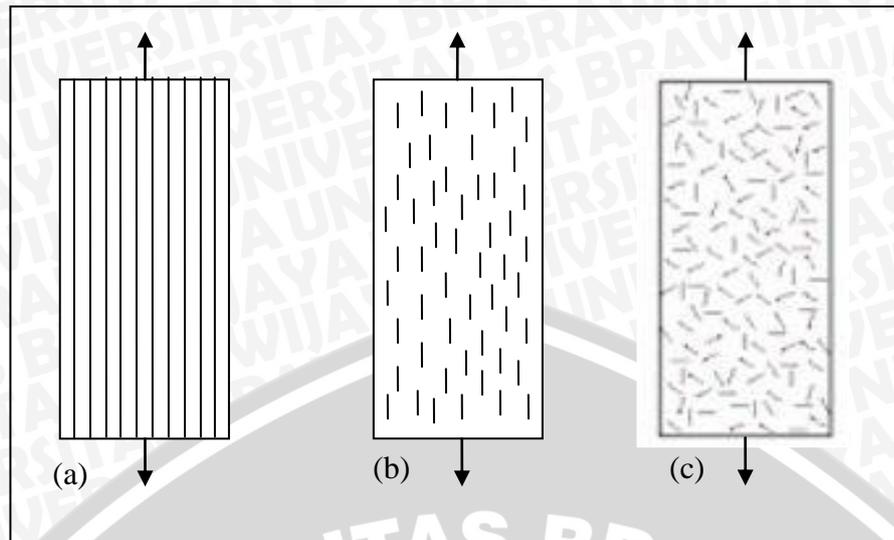


Gambar 2.1 Klasifikasi Komposit berdasarkan Penguatnya
Sumber : Matthews and Rawlings, 1994 : 7

2.3.1 *Fibrous Composite Materials*

Fibrous composite materials (material komposit serat) terdiri dari dua komponen penyusun yaitu matriks dan serat. Menurut Anderson, *et.al* (1990:328) terdapat tiga jenis metode penyusunan serat, yaitu :

- *Continuous fibres, unidirectional*
- *Discontinuous fibres, unidirectional*
- *Discontinuous fibres, random*



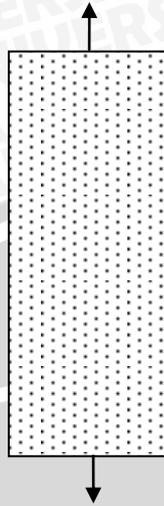
Gambar 2.2 Skema penyusunan serat (a) *Continuous fibres, unidirectional* (b) *Discontinuous fibres, unidirectional* dan (c) *Discontinuous fibres, random*
Sumber : Anderson *et.al*, 1990 : 328

2.3.2 Particle Composite Materials

Particle Composite Materials (komposit partikel) merupakan jenis komposit yang menggunakan partikel/butiran sebagai *filler* (pengisi). Partikel berupa logam atau non logam dapat digunakan sebagai *filler*. Partikel yang digunakan pada material komposit bertujuan untuk meningkatkan ketahanan aus atau gesek, kekerasan bahan, serta untuk mengurangi biaya produksi. Empat kombinasi yang dapat digunakan sebagai material komposit partikel yaitu :

- Material komposit partikel non logam di dalam matriks non logam
- Material komposit partikel logam di dalam matriks non logam
- Material komposit partikel logam di dalam matriks logam
- Material komposit partikel non logam di dalam matriks logam

Skema penyusunan partikel pada komposit partikel ditunjukkan pada gambar 2.3 berikut ini :



Gambar 2.3 Skema Penyusunan *Particle Composites*
Sumber : Matthews and Rawlings, 1994 : 8

2.4 Matriks

Matriks adalah bahan yang berfungsi sebagai pengikat *filler* antara satu dengan yang lainnya. Secara umum matriks terdiri dari tiga macam yaitu polimer, logam dan keramik.

Menurut Schwartz (1996), matriks dalam material komposit mempunyai peran sebagai berikut :

- Sebagai bahan pengikat serat atau partikel penguat.
- Mendistribusikan beban yang dikenakan pada material komposit kepada penguat.
- Melindungi penguat terhadap keadaan lingkungan yang kurang baik.
- Melindungi penguat dari kerusakan eksternal seperti pengausan secara mekanik.

Pada saat ini banyak komposit yang menggunakan matriks polimer, yang lebih dikenal dengan *Polymer Matrix Composites (PMCs)*. Polimer dibangun oleh satuan struktur (monomer) yang tersusun secara berulang dan diikat oleh gaya tarik-menarik yang kuat yang disebut ikatan kovalen (Tata Surdia, 1995:171). Matriks polimer banyak digunakan dalam material komposit karena sifat polimer yang ringan, tidak korosif, dapat diaplikasikan secara luas, mempunyai bentuk yang kompleks dan biaya yang murah. Polimer yang digunakan pada material komposit diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan ikatannya, yaitu polimer termoset dan polimer termoplastik.

2.4.1 Polimer Termoset

Termoset adalah salah satu jenis plastik yang sering digunakan dalam pembuatan komposit dengan penguat serat atau partikel. Matriks jenis ini memiliki rantai-rantai molekul yang saling berhubungan sehingga walaupun mengalami pemanasan dan penekanan, masing-masing rantai molekul tidak akan saling bergerak relatif. Matriks akan mencair dan kemudian mengeras bersamaan dengan terbentuknya suatu jaringan ikatan rantai monomer sehingga akan bersifat stabil dan *irreversible*, yang mana tidak dapat dicairkan atau dipanaskan ulang. Resin jenis ini akan terbakar dan hangus bila mendapatkan panas yang berlebih. Resin yang termasuk jenis polimer termoset antara lain *polyester*, *epoxy*, fenol.

Beberapa kelebihan dari termoset sebagai matriks (Schwartz, 1997) antara lain ringan, dapat mengikat *filler* dengan resin secara mudah dan baik selain itu memiliki viskositas yang rendah, memiliki kelengketan yang baik dengan bahan penguat, serta tahan korosi.

2.4.2 Polimer Termoplastik

Polimer termoplastik mempunyai sifat mampu bentuk cukup baik, material ini akan meleleh menjadi cair apabila dipanaskan dan mengeras apabila didinginkan. Resin ini mempunyai ikatan *linear* dan *branched* antara monomer-monomer penyusunnya, sehingga kestabilan struktur kimianya akan relatif rendah. Resin termoplastik ini bersifat *reversible* sehingga memungkinkan untuk dibentuk ulang dan didaur ulang. Menurut Tata Surdia (1995:209) resin termoplastik digolongkan menjadi dua macam yaitu :

1. Resin untuk penggunaan umum.
contoh : *Polyethylene*, *polypropylene*, *Polystyrene*
2. Resin untuk industri (*Engineering Thermoplastics*).
Contoh : Poliamid (*Nylon*), Poliasetal, Polikarbonat aromatic.

- **Polypropylene**

Polypropylene adalah resin termoplastik yang terbentuk dari reaksi polimerisasi dari monomer-monomer penyusunnya yang disebut propilen. *Polypropylene* memiliki massa jenis yang rendah dan termasuk kelompok yang paling ringan diantara bahan polimer. Resin ini banyak digunakan pada komponen otomotif, tekstil, peralatan laboratorium, kemasan makanan, dan lain sebagainya.

Karakteristik *Polypropylene* :

1. Nama Kimia : poly(1-methylethylene)
2. Sinonim : Polypropylene; Polypropene;
Propene polymers; Propylene polymers;
3. Rumus Kimia : $(C_3H_6)_x$
4. Monomer : Propylene
5. Densitas : 0.928 g/cm^3
6. Kekuatan Tarik : $32.36\text{--}41.19 \text{ N/mm}^2$
7. Kekuatan Impak : $0,5\text{--}2.5 \text{ J/mm}^2$
8. Modulus Elastis : $1.1\text{--}1.4 \text{ kN/mm}^2$
9. Kekuatan Lentur : $41.19\text{--}54.92 \text{ N/mm}^2$
10. Titik Leleh : $173 \text{ }^\circ\text{C}$

Sumber : Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2008.
www.wikipedia.org/wiki/Polypropylene

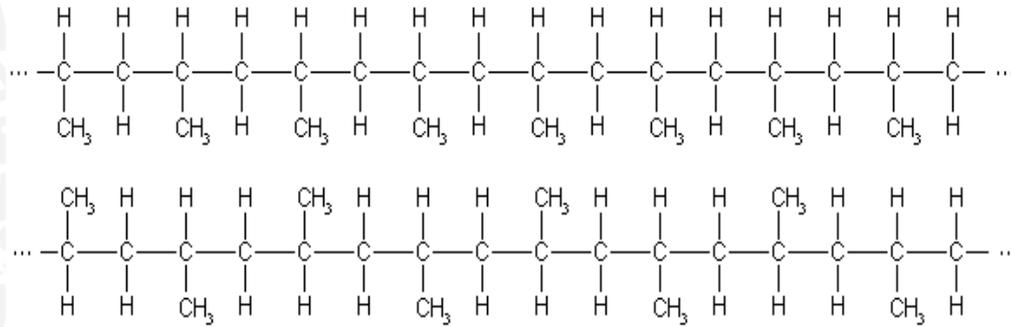
Polypropylene biasanya diproses melalui proses *injection moulding* dengan temperatur pemrosesan antara $173\text{--}180 \text{ }^\circ\text{C}$ (Jacobs, 1997:430). Berikut adalah simbol resin *polypropylene* :



Gambar 2.4 Simbol Resin *Polypropylene*

Sumber : Jacobs, 1997 : 430

Dan gambar dibawah ini merupakan struktur kimia dari *polypropylene* :



Gambar 2.5 *Short Segment of Polypropylene*
 Sumber : Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2008.
www.wikipedia.org/wiki/Polypropylene

2.5 Material Pengisi (*Filler*)

Material pengisi (*filler*) atau disebut juga *reinforcement* merupakan komponen terpenting di dalam material komposit yang bertujuan untuk menambah sifat mekanik maupun elektrik dari sifat matriks yang digunakan (Wikipedia, *Composite material*). Perpaduan antara matriks dan penguat akan menghasilkan sifat material yang tidak dimiliki masing-masing material ketika sebelum digabungkan. Bentuk material pengisi dapat berupa serat atau partikel.

Belakangan ini *filler* berupa serat maupun partikel alami banyak digunakan, hal ini disebabkan karena serat dan partikel alami memiliki banyak kelebihan, antara lain:

- Dapat terurai di alam (*biodegradable*)
- Mempunyai densitas yang rendah
- Biaya produksi yang lebih rendah
- Tidak mengikis peralatan produksi

2.5.1 Serbuk Kayu Meranti Sebagai *Filler*

Pohon kayu meranti (*Shorea spp*) merupakan salah satu pohon kayu yang banyak tumbuh dan berkembang di daerah yang beriklim tropis seperti di kawasan Asia Tenggara termasuk di Indonesia. Kayu ini mempunyai banyak keistimewaan diantaranya, memiliki batang lurus, berdiameter besar, tinggi, bebas cabang, minim

cacat mata kayu (karena meranti memiliki kemampuan *pruning*, yaitu pembebasan cabang pohon). Selain itu kayu meranti memiliki beberapa kelebihan antara lain :

- Mempunyai kekerasan yang cukup tinggi, karena mengandung silica.
- Mudah dikerjakan sampai halus baik dengan alat tangan maupun mesin.
- Jenis kayu ini dapat dipelitur dan dipaku dengan baik, mudah dibelah dalam arah tangensial.
- Jenis kayu ini juga mudah dilengkungkan dengan api, karena itu cocok untuk pembuatan barang yang memerlukan pelengkungan.
- Biasa digunakan sebagai kayu lapis, dan dapat juga dipakai untuk bangunan perumahan sebagai rangka, balok, galar, pintu, jendela, dinding, dan lantai. Selain itu juga dapat dipakai sebagai kayu perkapalan (perahu, kapal kecil, dan bagian-bagian kapal), peti pengepak, mebel murah, peti mati, perlatan musik.

Tabel 2.1 Karakteristik kayu meranti

NO	SIFAT	SATUAN	NILAI
1	Berat jenis	g/cm ³	1,15
2	Kadar selulosa	%	50,5
3	Kadar lignin	%	29,9
4	Kadar pentosa	%	14,4
5	Kadar abu	%	1,4
6	Kadar silica	%	0,6
7	Serabut	%	63,6
8	Kadar air saat titik jenuh serat	%	28
9	Kerapatan	Cal/gram	0,44

Sumber : www.matbes.com/material/wood/class2-15-25-years/meranti/properties.

- **Sifat Kimia Kayu**

Kandungan kimia kayu antara lain adalah selulosa $\pm 60\%$, lignin $\pm 28\%$, hemiselulosa dan zat lainnya $\pm 12\%$. Dinding sel tersusun sebgaiian besar oleh selulosa (C₆H₁₀O₅). Selulosa merupakan komponen struktural utama dari kayu. Lignin adalah suatu campuran zat-zat organik yang terdiri dari zat karbon (C), zat air (H₂) dan oksigen (O₂). Lignin berfungsi sebagai perekat antar sel dalam tumbuhan, Lignin menyerupai seperti lilin atau lemak. *Treatment* yang pada dasarnya bisa menghilangkan semua lignin adalah dengan menggunakan larutan alkali. Karena lignin, hemiselulosa dan kotoran lainnya terlarut dalam larutan alkali.

2.6 Perlakuan Kimia Pada Filler Alami

Perlakuan kimia pada *filler* alami dilakukan untuk meningkatkan *adhesi* atau pelekatan antara *filler* alami dengan matriks pada material komposit sehingga sifat mekanik komposit meningkat. Beberapa perlakuan kimia dan variasinya terhadap berbagai macam *filler* alami yang akan digunakan pada material komposit telah diteliti. Perlakuan kimia yang telah diteliti diantaranya *alkali treatment*, *isocyanate treatment*, *silane treatment*, *potassium permanganate*, *peroxide treatment* dan *benzoylation*. Perlakuan kimia diatas telah sukses memperbaiki sifat mekanik komposit yang dihasilkan.

- **Alkali Treatment**

Alkali treatment adalah salah satu jenis dari perlakuan kimia yang digunakan untuk memperbaiki permukaan dari *filler* alami. Pada perlakuan kimia jenis ini, larutan yang digunakan untuk memodifikasi permukaan *filler* adalah larutan alkali.

Dengan melapisi permukaan *filler* menggunakan larutan alkali maka permukaan dari *filler* alami akan menjadi lebih kasar sehingga akan meningkatkan ikatan mekanik antara *filler* dengan matriks. Hal ini disebabkan larutan alkali yang digunakan pada serbuk kayu meranti akan membersihkan lapisan-lapisan pada permukaan serbuk kayu yang menyerupai lilin seperti lignin dan juga kotoran-kotoran lainnya. Disamping itu, dengan adanya perlakuan kimia menggunakan larutan alkali pada permukaan *filler* alami akan mengurangi sifat *filler* alami yang mudah menyerap kelembaban. Sehingga *filler* alami akan menjadi lebih awet dan tahan lama.

Pada proses *surface grafting* dimana reaksi terjadi antara gugus OH dari *filler* dengan gugus OH dari larutan alkali.

NaOH merupakan larutan basa yang tergolong mudah larut dalam air dan termasuk basa kuat yang dapat terionisasi dengan sempurna. Menurut teori arrhenius basa adalah zat yang dalam air menghasilkan ion OH negatif dan ion positif.

Berikut reaksi yang dihasilkan pada alkali treatment :



Gambar 2.6 Reaksi alkali treatment

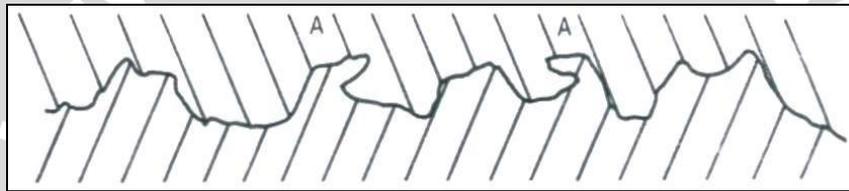
Sumber : Panigrahi, S., et.al 2004

2.7 Teori Ikatan Matriks dengan *Filler*

Ketika matriks melapisi dan melekat pada permukaan serat atau partikel penguat, terjadi ikatan antara permukaan matriks dengan serat atau partikel penguat. Terdapat beberapa macam ikatan yang terbentuk, antara lain :

a. Ikatan mekanik (*Mechanical bonding*)

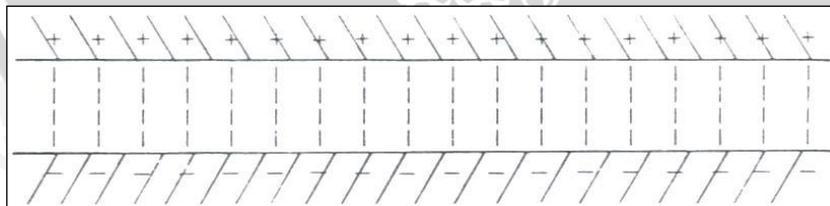
Matriks cair akan menyebar ke seluruh permukaan serat atau partikel penguat dan mengisi setiap lekuk permukaan serat atau partikel penguat yang kasar sehingga terjadi mekanisme saling mengunci (*interlocking mechanism*) seperti pada Gambar 2.7 dan semakin kasar permukaan serat atau partikel penguat maka semakin kuat ikatan yang terbentuk.



Gambar 2.7 *Mechanical Bonding*
Sumber : Matthews and Rawlings, 1994 : 62

b. Ikatan elektrostatik (*Electrostatic bonding*)

Ikatan elektrostatik seperti yang ditunjukkan Gambar 2.8 terjadi antara matriks dan serat atau partikel penguat ketika salah satu permukaan mempunyai muatan positif dan permukaan lain mempunyai muatan negatif, sehingga terjadi tarik menarik antara dua permukaan tersebut.

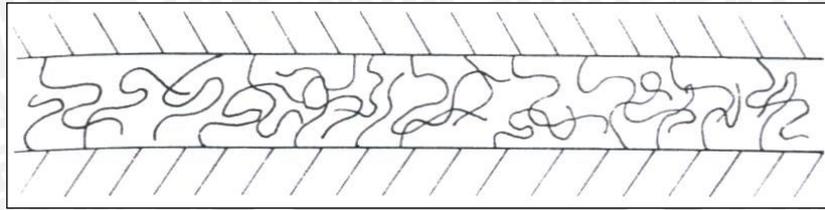


Gambar 2.8 *Electrostatic Bonding*
Sumber : Matthews and Rawlings, 1994 : 62

c. Ikatan reaksi (*Reaction bonding*)

Atom atau molekul dari dua komponen dalam komposit dapat bereaksi pada permukaannya sehingga terjadi ikatan reaksi (Gambar 2.9). Ikatan ini akan membentuk lapisan permukaan (*interfacial layer*) yang mempunyai sifat yang

berbeda dari kedua komponen tersebut. Ikatan ini dapat terjadi karena adanya difusi atom-atom permukaan dari komponen komposit.



Gambar 2.9 *Reaction Bonding*
Sumber : Matthews and Rawlings, 1994 : 63

2.8 Foto Makro

Adalah fotografi dengan jarak sangat dekat untuk mendapatkan detail yang tinggi namun tidak memerlukan bantuan alat pembesar optik seperti mikroskop. (Wikipedia. Fotografi_makro)

Pengambilan foto makro unuk melihat gaya adhesi antara filler yang mengalami perlakuan alkali dan tanpa perlakuan dengan matriks.



Gambar 2.10. Patahan spesimen uji tarik vraksi volume 50% serat serabut kelapa *alkali treatment*

Sumber : Ramaputera, R.A 2009

2.9 Metode *Injection Moulding* pada Pembuatan Komposit

Injection molding merupakan metode yang paling sering dan banyak digunakan dalam proses manufaktur komponen resin termoplastik. Metode ini dilakukan dengan

cara memberikan tekanan injeksi (*injection pressure*) dengan besar tertentu pada material plastik yang telah dilelehkan oleh sejumlah energi panas, untuk dimasukkan ke dalam cetakan (*mold*) sehingga didapatkan bentuk yang diinginkan. Beberapa kelebihan dari metode *injection molding* antara lain produk dapat dibuat dengan toleransi ukuran kecil, komponen dapat dihasilkan dengan tingkat produksi tinggi, dapat mencetak produk yang sama dengan bahan baku yang berbeda tanpa merubah mesin dan cetakan, dan dapat dihasilkan produk tanpa pengerjaan akhir yang rumit (Joseph, 1991 : 50).

Beberapa tahapan pada proses pencetakan injeksi plastik (Joseph, 1991 : 54) antara lain :

1) Proses Injeksi.

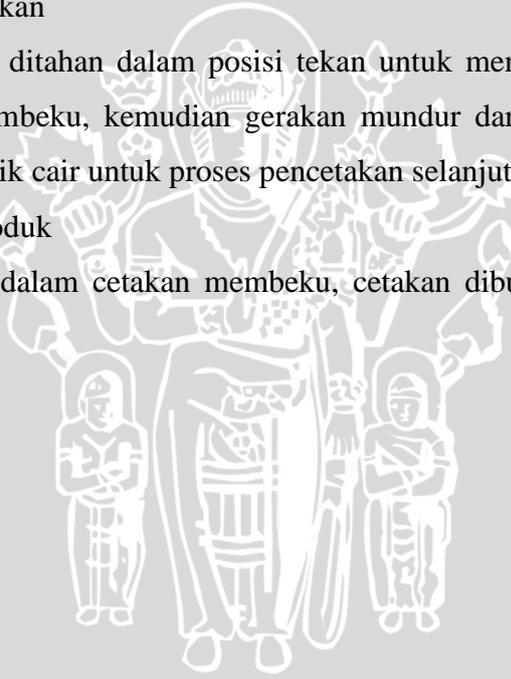
Proses ini diawali dengan lelehan plastik yang didorong oleh piston kemudian diinjeksikan ke dalam cetakan.

2) Proses Penahanan Cetakan

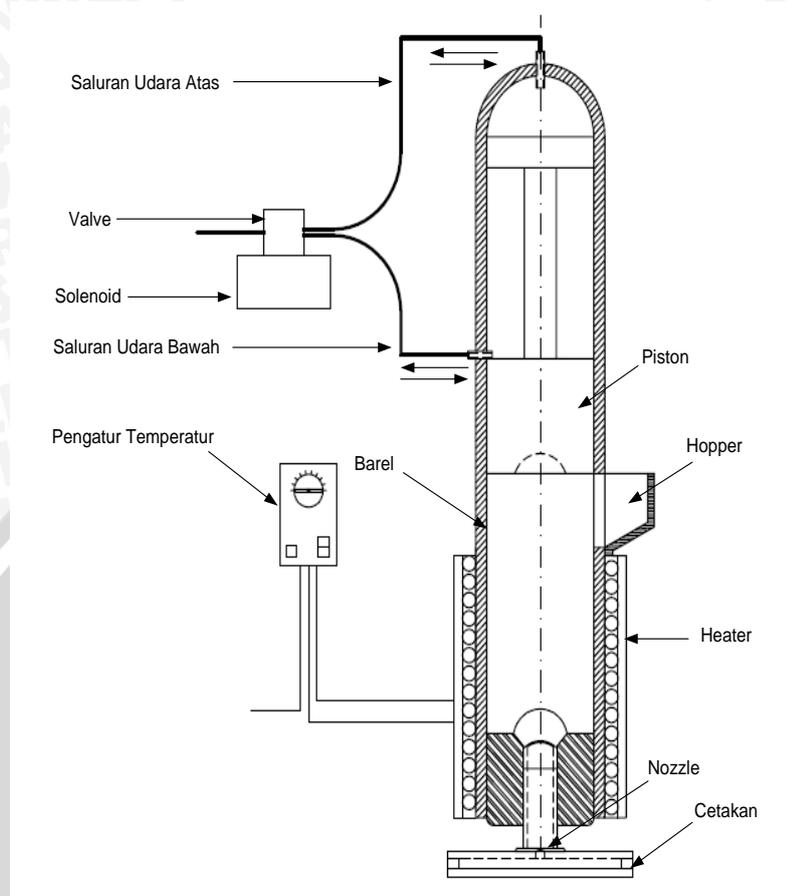
Pada proses ini piston ditahan dalam posisi tekan untuk menjaga tekanan sampai cairan dalam *gate* membeku, kemudian gerakan mundur dari piston dimulai lagi untuk mengisikan plastik cair untuk proses pencetakan selanjutnya.

3) Proses Pengeluaran Produk

Setelah cairan plastik dalam cetakan membeku, cetakan dibuka dan produk hasil dikeluarkan.



Skema dari mesin *injection moulding* adalah seperti pada Gambar 2.11 berikut ini:



Gambar 2.11 Bagian-bagian Mesin *Injection Moulding*
Sumber : Lab. Pengujian Logam dan Bahan Politeknik Negeri Malang

Dari gambar di atas dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing bagian sebagai berikut :

- Hopper*, sebagai tempat penampungan material.
- Barel*, sebagai tempat material dipanaskan.
- Heater*, sebagai pemanas untuk melelehkan material.
- Piston*, sebagai pemberi tekanan pada material dengan memanfaatkan tekanan dari kompresor.
- Nozzle*, untuk menginjeksikan material kedalam cetakan.

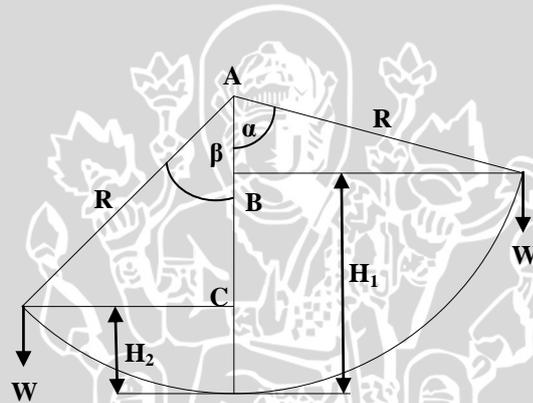
2.10 Kekuatan *Impact* Komposit

Kekuatan *impact* adalah energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen tiap satuan luas penampang lintang. Pengujian *impact* bertujuan untuk mengukur berapa energi yang dapat diserap suatu material sampai material tersebut patah. Pengujian

impact merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba (beban impak) (Calliester, 2007).

Selain itu kekuatan *impact* ada yang menyebut sebagai ketahanan suatu bahan terhadap pukulan (*impact*) yang dinyatakan dengan banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak bahan tersebut. Sehingga kekuatan *impact* juga menyatakan ketangguhan bahan terhadap beban kejut. Umumnya kekuatan *impact* bahan polimer lebih kecil daripada kekuatan *impact* bahan logam. Kalau ikatan antar molekul kuat kekuatan *impact* biasanya besar.

Analisa kekuatan *impact* dilakukan dengan pengujian *impact Charpy*. Dalam pengujian *impact* dengan metode ini, spesimen (benda kerja) dibuat sesuai dengan bentuk dan dimensi yang standar. Pada pengujian, spesimen ditumpu pada kedua ujungnya dan posisi takik membelakangi pendulum, sehingga pendulum akan memukul punggung takik.



Gambar 2.12 Skema *Charpy Impact Test*
Sumber : Verma, ER. CL, 1976: 86

Adapun rumus yang digunakan dalam pengujian *impact* dengan metode *charpy* dapat diturunkan berdasarkan gambar 2.12. sebagai berikut:

a. Energi untuk mematahkan spesimen (E')

Energi atau usaha untuk mematahkan spesimen dapat dicari dari persamaan sebagai berikut (Verma, ER. CL, 1976: 86):

$$\begin{aligned}
 E' &= WH_1 - WH_2 \\
 &= W(H_1 - H_2) \\
 &= W(BC) \\
 &= W(AC - AB) \\
 &= W(R \cos \beta - R \cos \alpha) \\
 &= WR(\cos \beta - \cos \alpha)
 \end{aligned}
 \tag{2-1}$$

dengan:

- E' = Energi untuk mematahkan spesimen (N.mm)
- m = Massa dari pendulum atau palu (kg)
- W = Berat pendulum atau palu (N)
- g = Percepatan gravitasi (10 m/s^2)
- H_1 = Tinggi kedudukan awal pendulum atau palu (mm)
- H_2 = Tinggi pendulum atau palu setelah mematahkan spesimen (mm)
- R = Panjang lengan pendulum (mm)
- α = Sudut simpang awal ayunan pendulum ($^\circ$)
- β = Sudut simpang akhir pendulum setelah mematahkan spesimen ($^\circ$)

b. Kerugian energi pada alat (f)

Energi yang hilang dapat disebabkan karena gesekan dalam poros bantalan (Verma ER, 1976: 86). Energi yang hilang atau kerugian energi pada alat dapat kita hitung melalui besarnya energi ayunan pada saat tanpa spesimen (Verma, ER. CL, 1976: 86).

$$f = WR(\cos \beta_o - \cos \alpha) \tag{2-2}$$

dengan:

- f = Kerugian energi yang disebabkan oleh gesekan (N.mm)
- β_o = Sudut simpang akhir ayunan pendulum tanpa spesimen ($^\circ$)

c. Energi aktual yang dibutuhkan (Verma, ER. CL, 1976: 86).

$$E_a = E' - f \tag{2-3}$$

dengan:

E_a = Energi aktual yang dibutuhkan (N.mm)

- d. Energi aktual yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen tiap satuan luas penampang (Verma, ER. CL, 1976: 86).

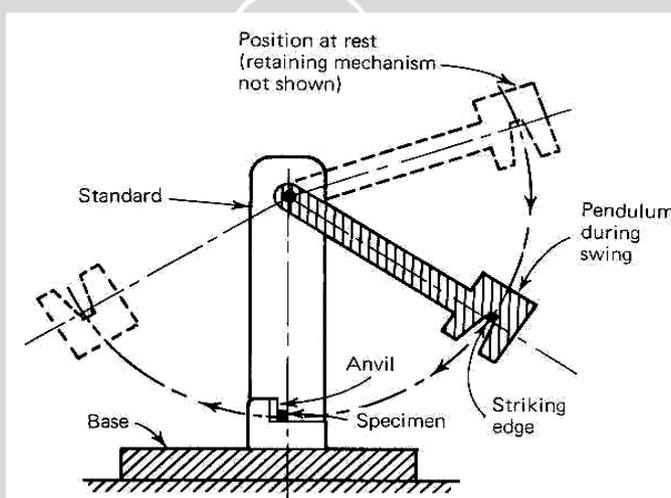
$$E = \frac{E_a}{A} \quad (2-4)$$

dengan:

E = Kekuatan impact atau nilai pukul takik (N.mm/mm²)

A = Luas penampang patahan benda kerja (mm²)

Bentuk konstruksi mesin uji impact ditunjukkan seperti pada Gambar 2.13. Ayunan pendulum akan membentuk sudut yang besarnya tergantung pada seberapa besar ketangguhan spesimen menerima tumbukan.



Gambar 2.13 Mesin Uji *Impact*
Sumber : Davis, 1982:228

2.11 Hipotesis

Material pengisi (*filler*) merupakan komponen penting di dalam material komposit yang berfungsi sebagai penguat untuk meningkatkan sifat mekanik, tetapi memiliki kelemahan yaitu lemahnya ikatan antara *filler* dengan matriks. Perlakuan kimia *alkali treatment* pada serbuk kayu membuat permukaan menjadi lebih kasar sehingga meningkatkan adhesi antara *filler* dengan matriks. Semakin besar persentase serbuk kayu *alkali treatment* pada matriks *polypropylene* maka semakin besar pula kekuatan *impact*-nya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimental sejati (*true experimental research*). Metode ini dilakukan dengan pengamatan secara langsung untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh persentase serbuk kayu *alkali treatment* sebagai *filler* pada komposit matriks *polypropylene* terhadap kekuatan *impact*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan April 2010 – Juli 2010. Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu :

1. Laboratorium Pengecoran Logam Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
 - Menggunakan mesin rotab untuk mendapatkan serbuk kayu berukuran 400–500 μm .
2. Laboratorium Kimia Fisik MIPA Universitas Brawijaya.
 - Memberikan perlakuan kimia (*alkali treatment*) pada serbuk kayu meranti.
 - Menggunakan dapur pemanas untuk mengeringkan serbuk kayu.
3. Laboratorium Pengujian Bahan POLITEKNIK Negeri Malang.
 - Menggunakan *injection moulding* untuk mencetak spesimen.
 - Menggunakan mesin uji *impact*.
4. Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
 - Menggunakan foto mikro untuk melihat perbedaan permukaan serbuk kayu yang mengalami perlakuan alkali dan yang tidak mengalami perlakuan

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah persentase *filler* serbuk kayu meranti (tanpa perlakuan dan perlakuan alkali) dengan perbandingan persentase (%) antara *filler* dengan matriks *polypropylene* dalam material komposit. Perbandingan yang digunakan yaitu (0:100), (10:90), (20:80), (30:70), (40:60) dan (50:50).

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya tergantung oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah *Impact Strength* (kekuatan impak) (J).

3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan

3.4.1 Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Mesin Ayak Rotab

Merek : Retsh

Tipe : VS 1

Voltage : 220 V

Daya : 430 W

Buatan : Jerman

b. Gelas Ukur

c. Dapur Pemanas (*oven*)

d. Timbangan *Digital*

Merek : METTLER

e. Mesin *Injection Molding*

Merek : TEFORMA

Maschinenbau GmbH D-6991 Igersheim

Tipe : RN 350

220 V, 50 Hz, 600 W

f. *Cutter*

g. Mesin Uji *Impact*

h. Mikroskop

3.4.2 Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Serbuk Kayu Meranti

b. Larutan NaOH

c. Air

d. Resin *Polypropylene*

3.5 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

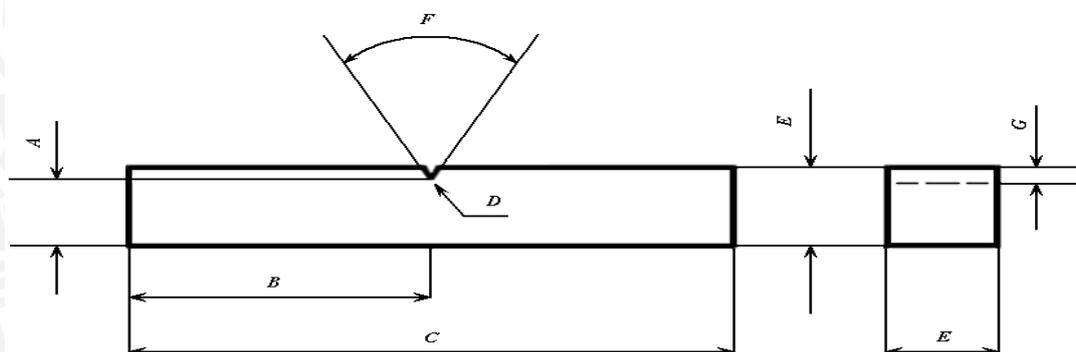
- a. Mempersiapkan serbuk kayu meranti sebagai penguat komposit
 1. Serbuk kayu meranti didapatkan dari hasil limbah pabrik gergajian kayu.
 2. Kemudian serbuk kayu dikeringkan sampai kering dengan sinar matahari langsung (± 2 hari).
 3. Selanjutnya serbuk kayu diayak dengan mesin rotab.
 4. Setelah itu ambil serbuk kayu yang berukuran 400–500 μm .
- b. *Alkali treatment*
 1. Menyiapkan Larutan NaOH.
 2. Kemudian serbuk kayu direndam dalam larutan selama 4 jam.
 3. Setelah itu serbuk kayu dibilas dengan air bersih dan dikeringkan dalam dapur pemanas.
- c. Pembuatan spesimen komposit
 1. Melakukan pengukuran persentase *filler* serbuk kayu dan resin *polypropylene* sesuai dengan perbandingan yang diinginkan.
 2. Menyiapkan cetakan standar ASTM D-256 pada posisi siap cetak.
 3. Melakukan persiapan dan penyetelan mesin injeksi.
 4. Memasukkan *polypropylene* ke dalam *hopper*.
 5. Setelah resin dimasukkan dalam *hopper*, mesin injeksi *disetting* dengan suhu ± 190 °C dan tekanan ± 8 bar.
 6. Tunggu beberapa saat (± 3 menit) hingga lampu indikator siap injeksi menyala.
 7. Memasukan serbuk kayu kedalam *hopper*. Serbuk kayu dimasukan terakhir untuk menghindari terbakarnya serbuk kayu didalam *hopper*.
 8. Selanjutnya mengarahkan *nozzle* tepat ke *gate* cetakan.
 9. Menekan tombol *start* pada panel kontrol mesin sampai cetakan penuh.
 10. Selanjutnya spesimen dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan *finishing* untuk menghilangkan bekas saluran dan sirip agar sesuai dengan dimensi standar.
- d. Pengujian spesimen

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian impak untuk mengetahui *impact strength* (kekuatan impak) komposit.

3.6 Metode Pengujian

3.6.1 Pengujian *Impact* Komposit

Dimensi spesimen uji impak sesuai standar ASTM D-256



Gambar 3.1 Spesimen Pengujian Kekuatan *Impact* pada komposit plastik
Sumber : ASTM D-256, *Annual Book of ASTM Standard*

Tabel 3.1 Dimensi Spesimen Uji *impact* ASTM D-256

<i>Notations</i>	<i>Dimensions</i>
A	10,16 mm
B	31,80 mm
C	63,5 mm
D	0,25 R
E	12,70 mm
F	45 ⁰
G	2,54 mm

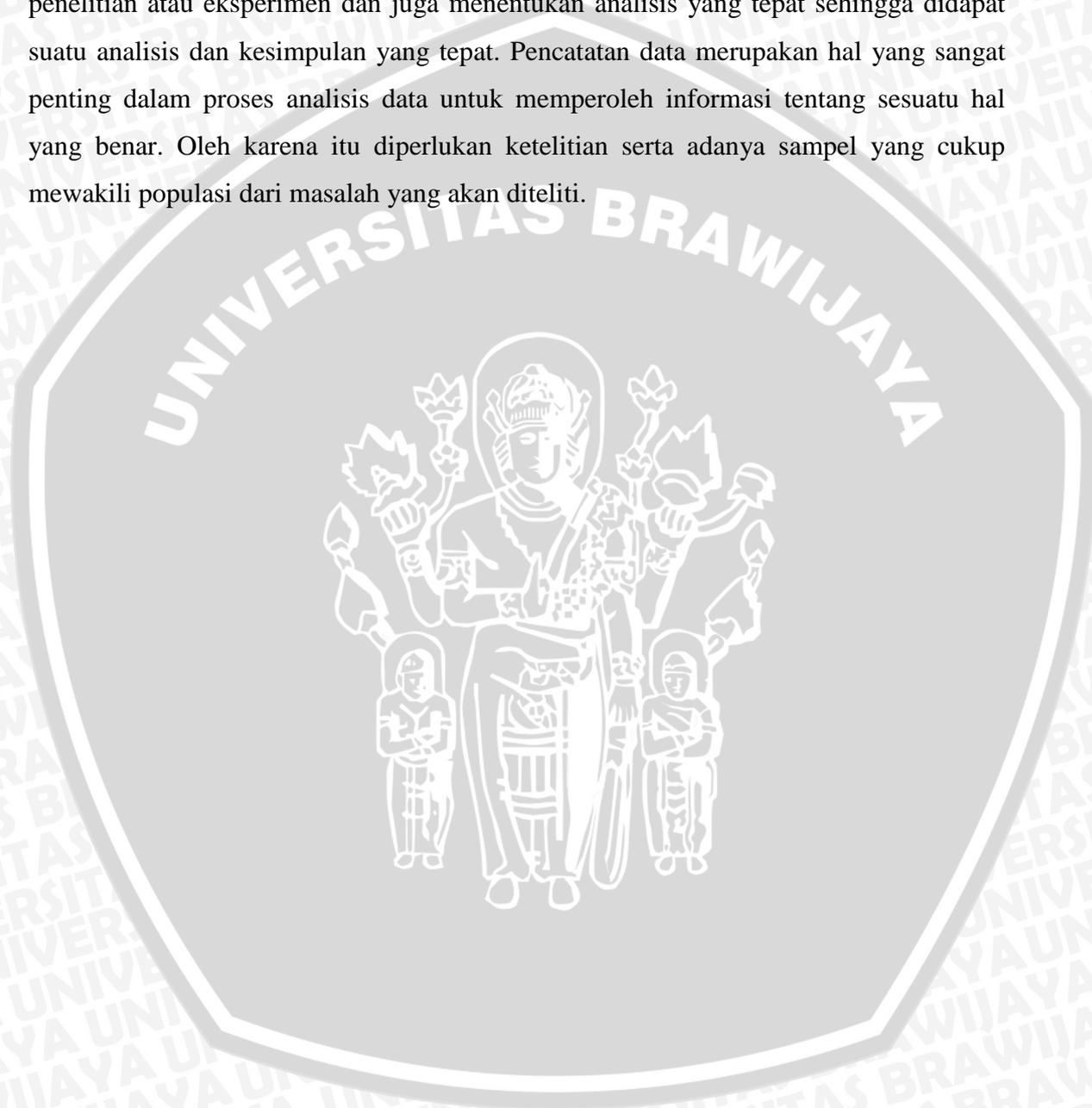
Prosedur pengujian sebagai berikut :

1. Jarum penunjuk dan pendulum diletakan pada posisi nol (0).
2. Lengan pengangkat dipasang pada pendulum kemudian diangkat sampai sudut 10°.
3. Pendulum dilepas untuk memperoleh sudut simpangan akhir tanpa adanya spesimen beban (*dry run*).
4. Spesimen dipasang pada penumpu dengan posisi horisontal, posisi takikan berlawanan sisi dengan pendulum.

5. Tombol *release* ditekan hingga pendulum bergerak mematahkan spesimen.
6. Mencatat besar sudut yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk.

3.7 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga menentukan analisis yang tepat sehingga didapat suatu analisis dan kesimpulan yang tepat. Pencatatan data merupakan hal yang sangat penting dalam proses analisis data untuk memperoleh informasi tentang sesuatu hal yang benar. Oleh karena itu diperlukan ketelitian serta adanya sampel yang cukup mewakili populasi dari masalah yang akan diteliti.



- Rancangan Penulisan Data Penelitian

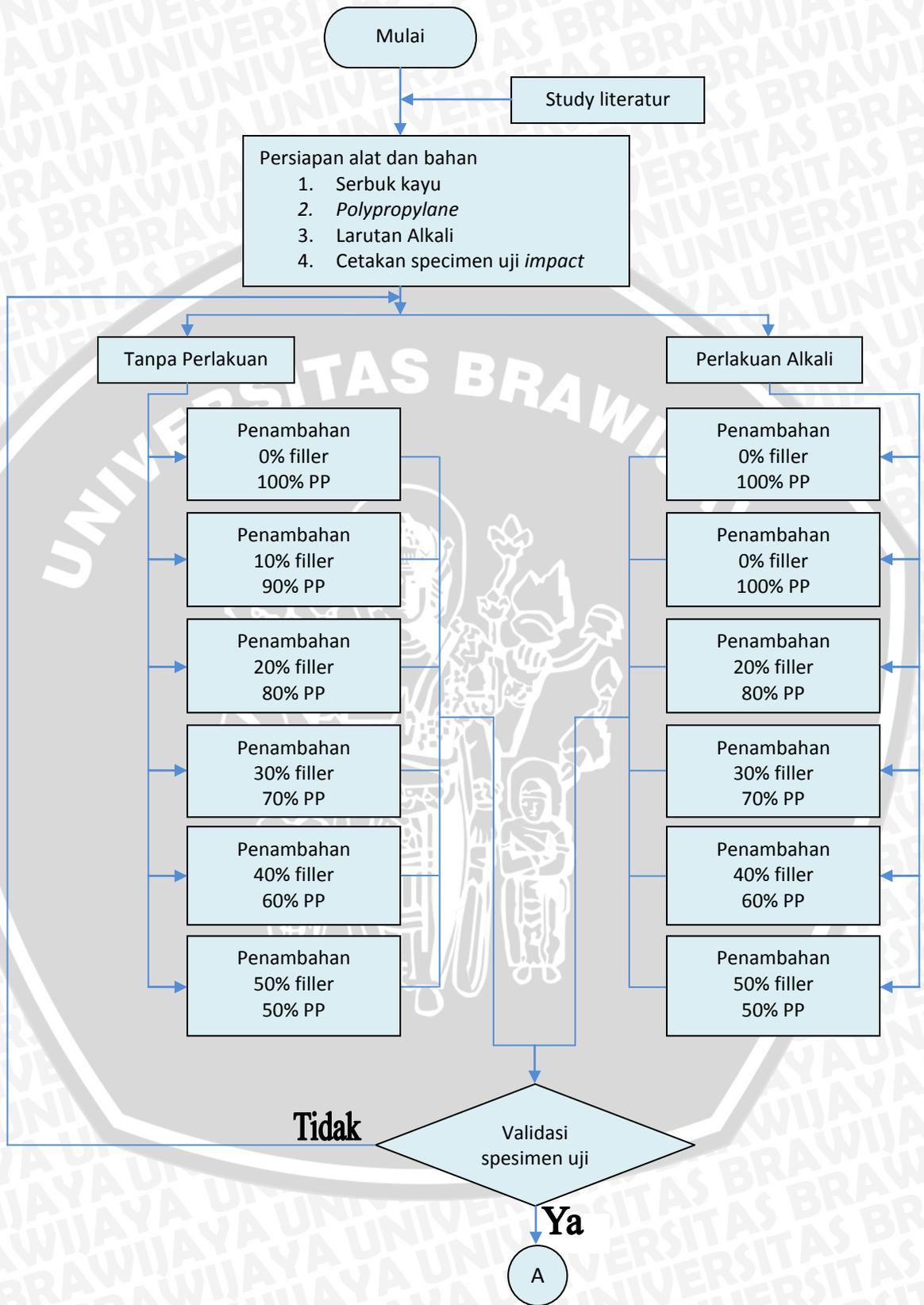
Tabel 3.2 Data Hasil Pengujian *Impact* polypropylane 100%

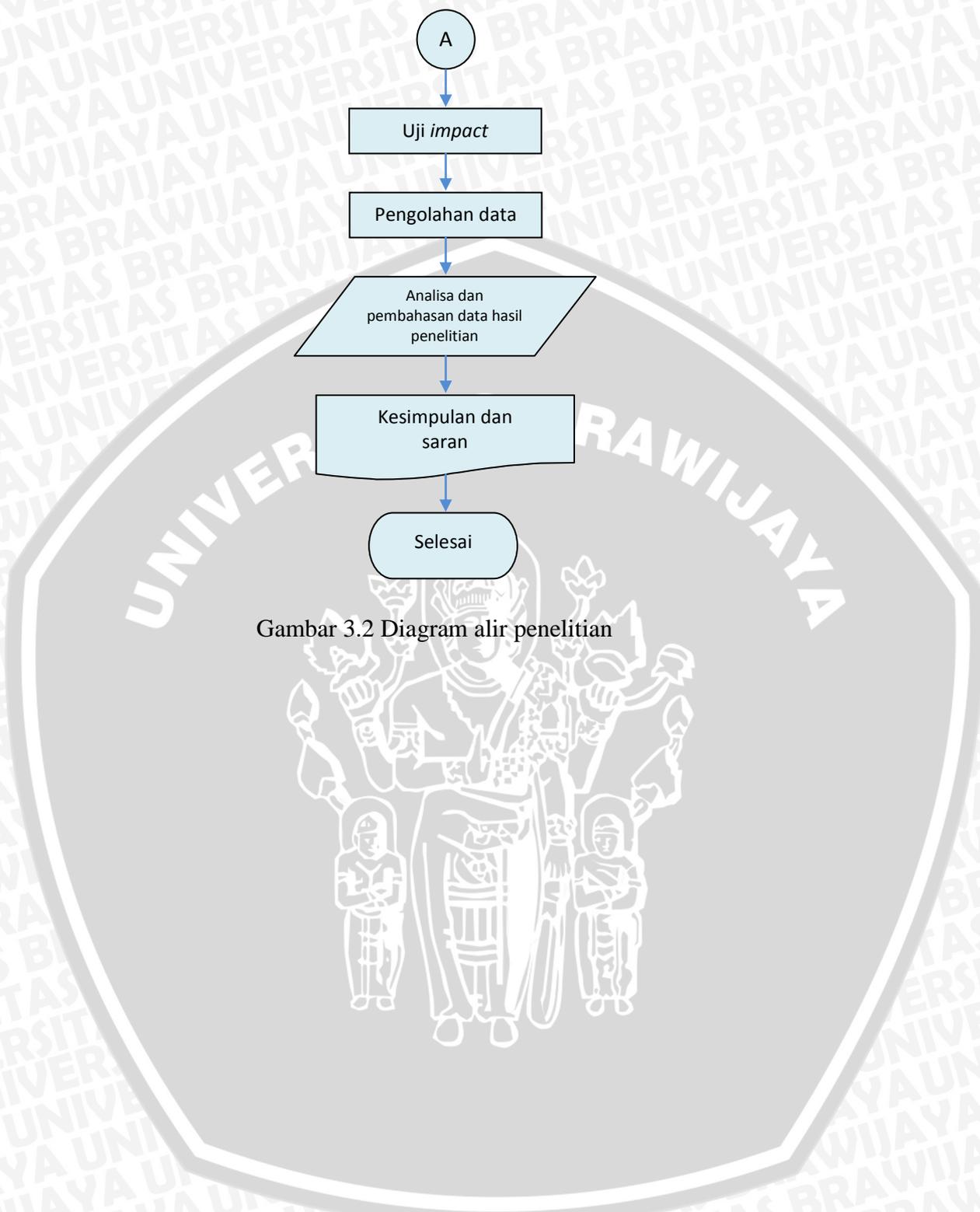
Persentase Serbuk Kayu (%)	Hasil Pengujian Kekuatan <i>Impact</i> polypropylane 100% (J/mm ²)	
	Spesimen	Rata-rata
0	V ₁	y
	V ₂	
	V ₃	

Tabel 3.3 Data Hasil Pengujian *Impact* komposit

Penambahan Serbuk Kayu (%)	Hasil Pengujian Kekuatan <i>Impact</i> (J/mm ²)			
	<i>Untreatment</i>	Rata-rata	<i>Alkali Treatment</i>	Rata-rata
10	V _{4a}	y ₂₁	V _{4b}	y ₂₂
	V _{5a}		V _{5b}	
	V _{6a}		V _{6b}	
20	V _{7a}	y ₃₁	V _{7b}	y ₃₂
	V _{8a}		V _{8b}	
	V _{9a}		V _{9b}	
30	V _{10a}	y ₄₁	V _{10b}	y ₄₂
	V _{11a}		V _{11b}	
	V _{12a}		V _{12b}	
40	V _{13a}	y ₅₁	V _{13b}	y ₅₂
	V _{14a}		V _{14b}	
	V _{15a}		V _{15b}	
50	V _{16a}	y ₆₁	V _{16b}	y ₆₂
	V _{17a}		V _{17b}	
	V _{18a}		V _{18b}	

3.8 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

BAB IV
DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian *Impact* Komposit

Berdasarkan hasil pengujian *impact* didapatkan data berupa perubahan sudut awal dan sudut akhir pendulum yang kemudian diolah sehingga didapatkan kekuatan *impact* seperti pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian *Impact* komposit polypropylane 100%

Persentase Serbuk Kayu (%)	Hasil Pengujian Kekuatan <i>Impact</i> polypropylane 100% (J/mm ²)	
	Spesimen	Rata-rata
0	2.20	2.47
	2.60	
	2.60	

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian *Impact* komposit

Persentase Serbuk Kayu (%)	Hasil Pengujian Kekuatan <i>Impact</i> (J/mm ²)			
	<i>Untreatment</i>	Rata-rata	<i>Alkali Treatment</i>	Rata-rata
10	3.16	3.28	4.01	4.06
	3.34		4.01	
	3.34		4.17	
20	3.51	3.57	4.47	4.42
	3.51		4.47	
	3.68		4.32	
30	2.97	3.10	4.32	4.12
	3.16		4.01	
	3.16		4.01	
40	2.20	2.27	3.34	3.68
	2.20		3.68	
	2.40		4.01	
50	1.58	1.72	2.20	2.78
	1.79		2.97	
	1.79		3.16	

4.2 Perhitungan Kekuatan *Impact* Teoritis

Perhitungan kekuatan *impact* komposit berdasarkan rumus yang diketahui (2.1–2.4) maka didapat :

- Contoh perhitungan teoritis kekuatan *impact* tanpa penambahan serbuk kayu meranti (*polypropylene* murni).

- a. Energi untuk mematahkan spesimen

$$\begin{aligned} E' &= WR (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= (26,32 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2) \times 647 \text{ mm} (\cos 5^\circ - \cos 10^\circ) \\ &= 1939,08 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

- b. Kerugian energi pada alat

$$\begin{aligned} f &= WR (\cos \beta_o - \cos \alpha) \\ &= (26,32 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2) \times 647 \text{ mm} (\cos 6^\circ - \cos 10^\circ) \\ &= 1654,22 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

- c. Energi aktual yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} E_a &= E' - f \\ &= 1939,08 \text{ N.mm} - 1654,22 \text{ N.mm} \\ &= 284,86 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

- d. Energi aktual yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen tiap satuan luas penampang

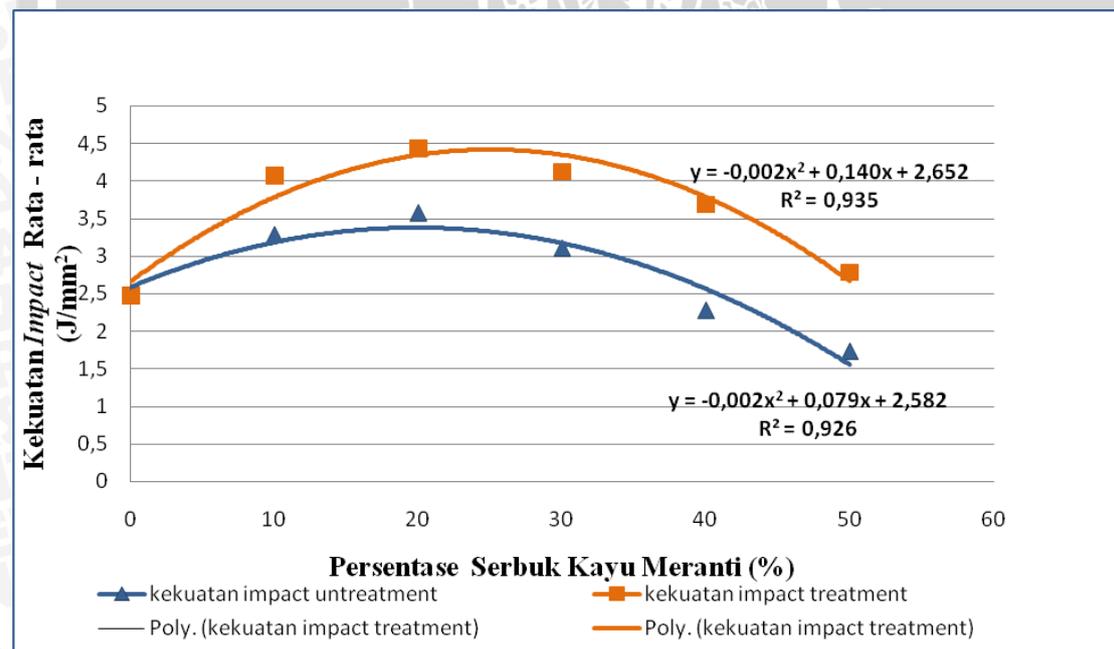
$$\begin{aligned} E &= \frac{E_a}{A} \\ &= \frac{284,86 \text{ N.mm}}{129 \text{ mm}^2} \\ &= 2.20 \text{ N.mm/mm}^2 \\ &= 2.20 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

4.3 Pembahasan

Berdasarkan perhitungan data hasil pengujian pengaruh persentase serbuk kayu *alkali treatment* terhadap kekuatan *impact* komposit, maka didapatkan besarnya kekuatan *impact* komposit yang bervariasi pula. Data hasil perhitungan tersebut digambarkan dalam bentuk grafik untuk mempermudah menganalisa hubungan antara persentase serbuk kayu *alkali treatment* terhadap kekuatan *impact* komposit.

4.3.1 Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu Terhadap Kekuatan *Impact* Komposit

Dapat disimpulkan bahwa penggunaan larutan alkali untuk memperbaiki permukaan serbuk kayu meranti yang dijadikan filler (%) pada matriks *polypropylene* memberikan pengaruh yang nyata pada kekuatan *impact* komposit. Kekuatan *impact* merupakan ketahanan suatu bahan terhadap pukulan (beban kejut) yang dinyatakan dengan banyaknya energi yang diserap untuk mematahkan bahan tersebut.

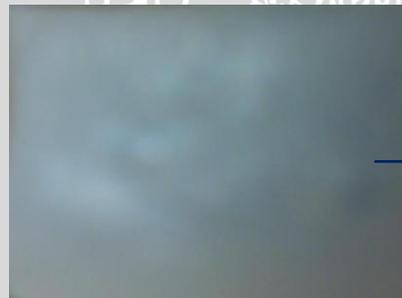


Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Persentase Serbuk Kayu Meranti terhadap Kekuatan *Impact* Komposit

Pada Gambar 4.1 tersebut terlihat bahwa persentase serbuk kayu meranti mempengaruhi kekuatan *impact* komposit. Pada grafik dapat dilihat kekuatan *impact* akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya persentase penambahan serbuk kayu sampai pada titik optimum yaitu pada persentase serbuk kayu 20% lalu kekuatan

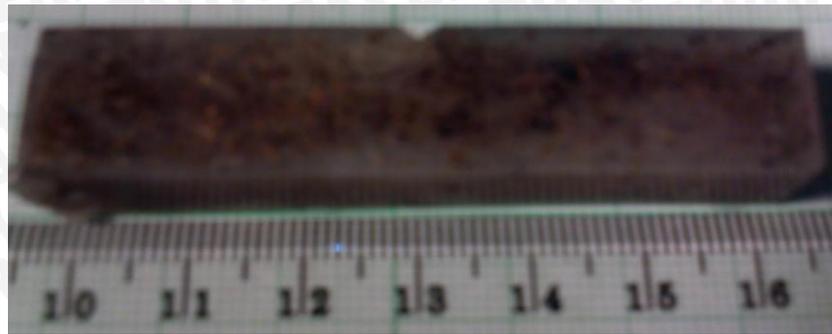
impact komposit akan menurun. Serbuk kayu yang mengalami perlakuan kimia (*alkali treatment*) dan yang tidak mengalami perlakuan (*untreatment*) memiliki kecenderungan yang sama yaitu kekuatan *impact* akan meningkat seiring bertambahnya persentase serbuk kayu dan akan menurun setelah mencapai titik optimum.

Pada matriks *polypropylene* tanpa serbuk kayu kekuatan *impact* yaitu sebesar $2,47 \text{ J/mm}^2$. Kekuatan *impact* komposit terus meningkat sampai pada titik tertinggi yaitu pada persentase serbuk kayu 20% sebesar $3,57 \text{ J/mm}^2$ untuk *untreatment* dan $4,42 \text{ J/mm}^2$ untuk *alkali treatment*. Setelah melewati persentase serbuk kayu 20% kekuatan *impact* komposit mulai menurun sampai pada persentase serbuk kayu 50% yaitu sebesar $1,72 \text{ J/mm}^2$ untuk *untreatment* dan $2,78 \text{ J/mm}^2$ untuk *alkali treatment*.



→ 100 % Polypropylene

Gambar 4.2 Patahan Spesimen Uji *Impact* Tanpa Serbuk Kayu Meranti



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.3 Spesimen Uji *Impact* Penambahan 20% Serbuk Kayu Meranti

(a) Untreatment (b) *Alkali Treatment*

(c) Patahan spesimen untreatment (d) Patahan spesimen *Alkali Treatment*

Meningkatnya kekuatan *impact* komposit seiring bertambahnya persentase penambahan serbuk kayu meranti menunjukkan bahwa fungsi serbuk kayu meranti sebagai penguat atau *reinforcement particle* pada komposit matriks *polypropylene*. Ikatan antara matriks dan serat yang terjadi secara mekanik (*mechanical bonding*) yang menyebabkan peningkatan kekuatan *impact* pada komposit ini. Matriks *polypropylene* yang berfungsi sebagai pengikat antar serbuk kayu yang satu dengan yang lainnya, mengisi setiap lekuk permukaan serbuk kayu meranti. Ketika komposit terkena beban kejut atau *impact* maka akan ditahan oleh ikatan mekanik dengan

mekanisme penguncian (*interlocking*) yang terjadi antara serat penguat dan matriks disekitarnya.

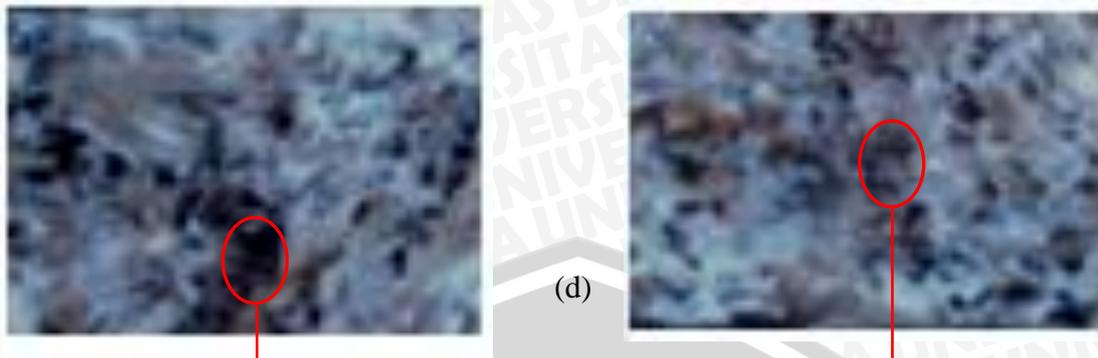
Menurunnya kekuatan *impact* komposit pada persentase serbuk kayu 30%, 40% dan 50% setelah mencapai titik optimum pada persentase serbuk kayu 20%, disebabkan karena daya ikat matriks terhadap serbuk kayu meranti berkurang. Penyebaran serbuk kayu yang tidak merata menyebabkan daya ikat matriks yang kurang kuat. Dengan meningkatnya persentase serbuk kayu juga terdapat kesulitan meratakan penyebaran serbuk kayu terhadap matriks. Pada gambar 4.4 dan gambar 4.5 ditunjukkan dengan symbol (X) bahwa terdapat kumpulan serbuk kayu meranti yang permukaan antar serbuknya sangat sedikit terisi oleh matriks. Hal ini yang menyebabkan daya ikat matriks terhadap serbuk kayu menurun sehingga kekuatan *impact* komposit pun mengalami penurunan.



(a)



(b)



(c)

(d)

× (Kumpulan serbuk kayu)

× (Kumpulan serbuk kayu)

Gambar 4.4 Spesimen Uji *Impact* Penambahan 40% Serbuk Kayu Meranti

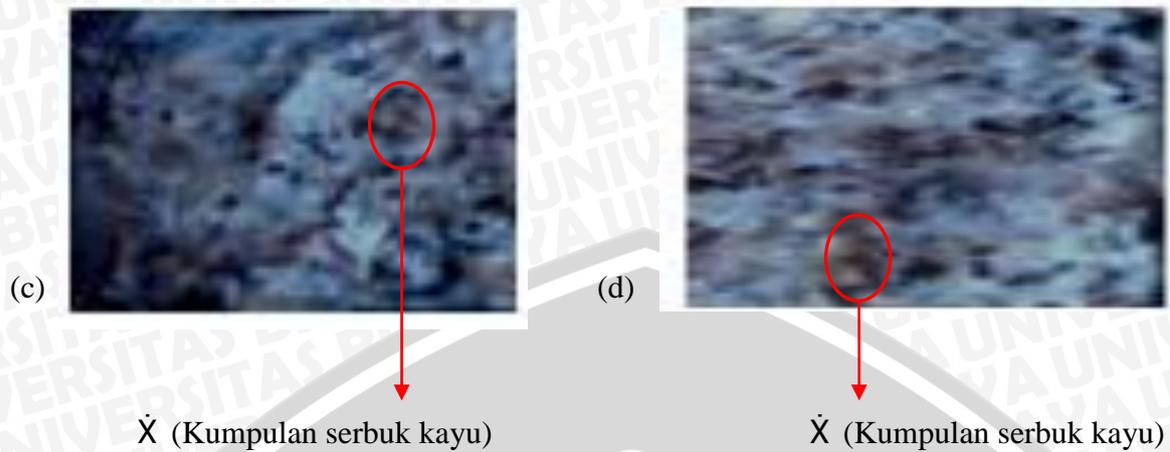
- (a) Spesimen *Untreatment*
- (b) Spesimen *Alkali Treatment*
- (c) Patahan *Untreatment*
- (d) Patahan *Alkali Treatment*



(a)



(b)



Gambar 4.5 Spesimen Uji *Impact* Penambahan 50% Serbuk Kayu Meranti

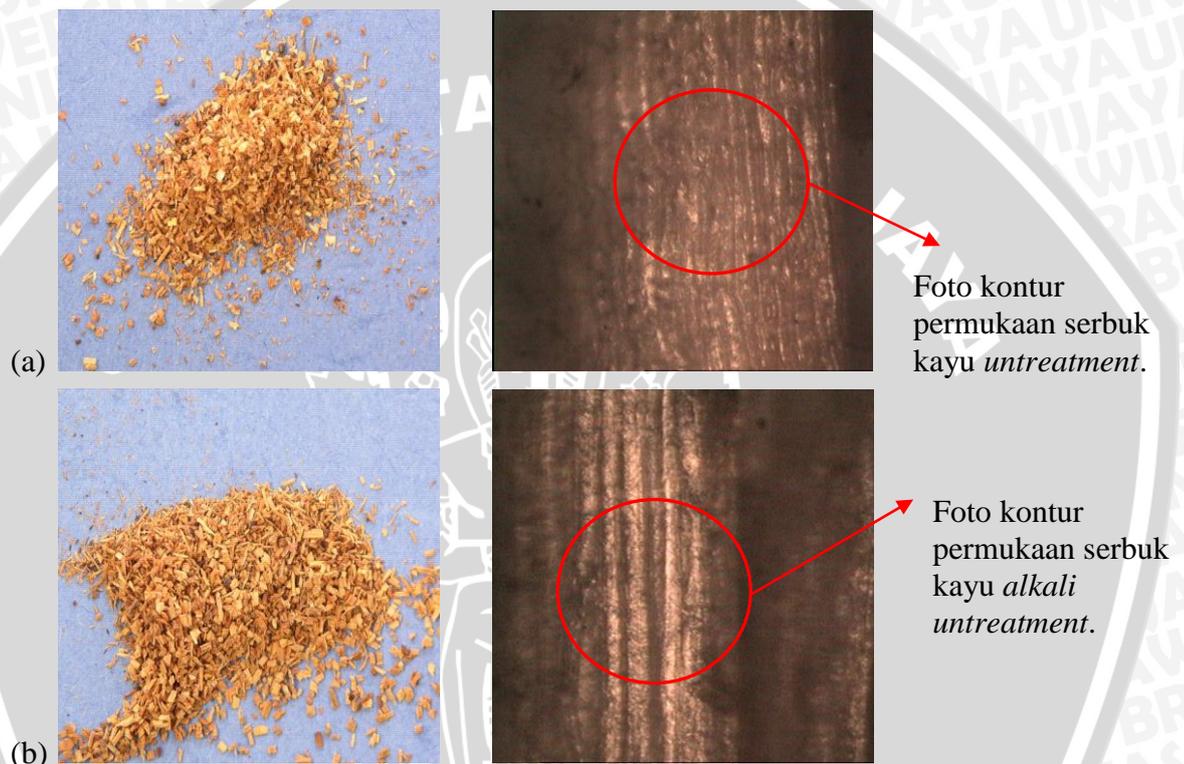
- (a) Spesimen *Untreatment* (b) Spesimen *Alkali Treatment*
 (c) Patahan *Untreatment* (d) Patahan *Alkali Treatment*

4.3.2 Pengaruh *Alkali Treatment* Terhadap Kekuatan *Impact* Komposit

Dalam gambar 4.1 ditunjukkan perbandingan kekuatan *impact* komposit antara serbuk kayu yang tanpa perlakuan dan diberi perlakuan kimia (*alkali treatment*). Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa kekuatan *impact* komposit pada serbuk kayu yang mengalami perlakuan *alkali treatment* mengalami peningkatan dari pada serbuk kayu yang tanpa mengalami perlakuan (*untreatment*). Seluruh persentase penambahan serbuk kayu mengalami peningkatan kekuatan *impact* kecuali pada matriks *polypropylene* tanpa serbuk kayu, kekuatan *impact* matriks *polypropylene* tanpa serbuk kayu tidak mengalami peningkatan karena di dalamnya tidak terdapat serbuk kayu sebagai *filler* (penguat). Kekuatan *impact* tertinggi didapat pada persentase serbuk kayu 20% yaitu sebesar $4,42 \text{ J/mm}^2$ untuk serbuk kayu *alkali treatment* dan $3,57 \text{ J/mm}^2$ untuk serbuk kayu yang tidak mengalami perlakuan kimia atau *untreatment*.

Peningkatan kekuatan *impact* komposit dengan *filler* serbuk kayu meranti yang mengalami perlakuan kimia *alkali treatment* dikarenakan ikatan mekanik (*mechanical bonding*) yang terjadi antar matriks dan serbuk kayu lebih kuat daripada ikatan antara serbuk kayu yang tidak mengalami perlakuan kimia dengan matriks. Perlakuan kimia (*alkali treatment*) yang diberikan pada intinya adalah memodifikasi permukaan serbuk kayu meranti yang akan dijadikan *filler*. Perlakuan kimia ini akan membersihkan lapisan-lapisan pada permukaan serbuk kayu meranti seperti *lignin* dan

hemiselulose. Hilangnya lapisan-lapisan tersebut membuat permukaan serbuk kayu meranti menjadi kasar. Hal ini yang menyebabkan gaya adhesi antar matriks dan serbuk kayu meningkat dari sebelumnya sehingga ikatan mekanik yang terjadi pun menjadi kuat. Perbandingan permukaan serbuk kayu antara *untreatment* dan *alkali treatment* bisa dilihat pada gambar 4.6. Pada gambar terlihat bahwa permukaan serbuk kayu meranti yang mengalami perlakuan kimia *alkali treatment* tampak lebih berkontur dari serbuk kayu meranti tanpa perlakuan kimia.



Gambar 4.6 Foto Serbuk Kayu Meranti dan Foto Mikrostruktur Serbuk Kayu Meranti
(a) *Untreatment* (b) *Alkali Treatment*

kegunaan lain dari perlakuan kimia *alkali treatment* selain untuk memperbaiki permukaan serbuk kayu juga untuk mencegah terjadinya gumpalan –gumpalan serbuk kayu yang digunakan sebagai *filler*. Dengan hilangnya *lignin* dan *hemiselulose* yang berbentuk seperti lilin maka serbuk kayu tidak akan saling menempel dan dapat menyebar lebih baik pada matriks. Pada serbuk kayu yang tidak mengalami perlakuan kimia akan terdapat gumpalan - gumpalan serbuk kayu pada komposit yang dicetak dan mengakibatkan tidak maksimalnya serbuk kayu sebagai penguat yang mengakibatkan rendahnya kekuatan *impact* komposit yang menggunakan serbuk kayu tanpa perlakuan kimia pada matriks *Polypropylane*.

Pada gambar 4.7 dan 4.8 dapat dilihat perbandingan penyebaran serbuk kayu yang tidak mengalami perlakuan kimia dan serbuk kayu yang mengalami perlakuan kimia *alkali treatment*. Gumpalan – gumpalan serbuk kayu ditandai dengan simbol (Y).



(a)

Y (kumpulan serbuk kayu)



(b)

Gambar 4.7 Spesimen Uji *Impact* Penambahan 10% Serbuk Kayu Meranti
 (a) Spesimen *Untreatment* (b) Spesimen *Alkali Treatment*



Y (kumpulan serbuk kayu)



(b)

Gambar 4.8 Spesimen Uji *Impact* Penambahan 20% Serbuk Kayu Meranti

(a) Spesimen *Untreatment* (b) Spesimen *Alkali Treatment*

Keuntungan lain yang dapat diperoleh adalah dengan memanfaatkan *filler* yang berupa limbah serbuk kayu biaya produksi dapat ditekan karena tidak hanya menggunakan *polypropylene* murni yang harganya lebih mahal, selain itu dengan adanya *filler* sebesar 20% maka kekuatan *impact* spesimen tersebut dapat meningkat dari pada yang hanya menggunakan *polypropylene* murni, hal ini telah dibuktikan dengan hasil penelitian diatas. Oleh sebab itu hal ini dapat menguntungkan kedua belah pihak yaitu selaku produsen juga konsumen. Produsen dapat menekan biaya produksi karena penggunaan *filler* serbuk kayu, dan konsumen bisa mendapat produk yang lebih berkualitas dengan harga yang lebih murah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut,

- Kekuatan *impact* komposit mengalami peningkatan dengan meningkatnya persentase serbuk kayu meranti mulai 10% sampai 20% kemudian mengalami penurunan apabila persentase serbuk kayu meranti ditingkatkan pada persentase serbuk kayu 30% hingga 50%. Kekuatan *impact* maksimal didapatkan pada persentase serbuk kayu *alkali treatment* 20% sebesar 4,42 J/mm². Untuk serbuk kayu *untreatment* didapatkan kekuatan *impact* tertinggi pada persentase 20% sebesar 3,57 J/mm². Kekuatan *Impact* terendah didapatkan pada persentase serbuk kayu *untreatment* 50% yaitu sebesar 1,72 J/mm².

5.2 Saran

- Untuk membuat komposit, disarankan menggunakan mesin *injection molding* yang memiliki mekanisme pencampuran didalam mesin itu sendiri agar material yang dicampur bisa lebih merata.
- Perlu diteliti perlakuan kimia lainnya sehingga didapatkan kekuatan yang lebih maksimum.
- Perlu diteliti pemanfaatan serat alam lainnya yang dapat digunakan untuk filler sebagai pengganti filler sintesis.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J.C.et.al.1990. *Materials Science*. London: Chapman & Hall.
- ASTM D256, *Annual Book of ASTM Standard*
- Callister, W. D., 2007, *Material Science and Engineering, An Introduction 7ed*, Department of Metallurgical Engineering The University of Utah, John Willey and Sons, Inc.
- Davis, et al. 1982. *The Testing of Engineering Materials*. McGraw Hill, Inc. United State of America.
- Dym, Joseph B. 1991. *Injection Molds and Molding, A Practical Manua*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Gibson, Ronald F. 1994. *Principles of Composites Material Mechanic*. Mc Graw-Hills inc: U.S.A
- Jacob, J.A.1997. *Engineering Material Technology*. New Jersey : Prentice Hall. Inc.
- Matbes.com. 2009. Kayu Meranti. www.matbes.com/material/wood/class2-15-25-years/meranti/properties
- Mattews and Rawlings, 1994. *Composites Material : Engineering and Science*, London UK : Chapman and Hall.
- Panigrahi, S., et.al 2004. *Flax Fiber-reinforced Composites and The Effect of Chemical Treatment on their Properties*. Canada. Departemen of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan.
- RamaPutera, R. Adhi Kristia. 2008. *Pengaruh Fraksi Volume dan Alkali Treatment Pada Serat Serabu Kelapa Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Matriks Polypropilene*. Universitas Brawijaya Malang.
- Rout, J., et.al. 2001. *The Influence of Fiber Surface Modification on the Mechanical Properties of Coir-Polyester Composites*. India. Post Graduate Departemen of Chemistry, Ravenshaw College
- Schwartz, M.M. 1996. *Composites Material :Properties, Nondestructive Testing and Repair*. New Jersey : Prentice Hall PTR.
- Schwartz, M.M. 1997. *Composites Material Volume I*. New Jersey : Prentice Hall PTR.
- Stark, N.M.and Berger, M.J. 2004. *Effect of Particle Size on Properties of Wood-flour Reinforced Polypropylane Composites*. Fourth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites. Madison, 12-14 Mei 2004.Wisconsin: Forest Product Society. Pp:134-143
- Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 1995. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pramita.
- Verma, ER. CL, 1976, *Strength of Materials*, Khanna Publishers, New Delhi

repository.ub.ac.id

Widhiyanuriyawan, Denny., Sugiarto., M.Firdaus. 2005 *PENGARUH VOLUME SERBUK KAYU KAMFER (Drobalanops Aromatics) DENGAN MATRIK POLYESTER TERHADAP SIFAT MEKANIK*. Jurnal Rekayasa Mesin, Universitas Brawijaya.

Wikipedia.org.2008.*Polypropylane*.<http://www.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>

Wikipedia.org.2009. *Composites* *Material*.

http://www.en.wikipedia.org/wiki/Composites_Material

Wikipedia.org.2009. *Fotografi Makro*. http://id.wikipedia.org/wiki/Fotografi_makro

Zaini, Nurkholis Hafid. 2008. *ANALISIS SIFAT TARIK DAN IMPACT KOMPOSIT SERAT RAMI DENGAN PERLAKUAN ALKALI DALAM WAKTU 2, 4, 6, DAN 8 JAM BERMATRIK POLYESTER*. Skripsi thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.



LAMPIRAN 1



Gambar Mesin Ayak Rotab
Sumber : Laboratorium Pengecoran Logam
Teknik Mesin Universitas Brawijaya



Gambar Dapur Pemanas
Sumber : Laboratorium Kimia Fisik
MIPA Universitas Brawijaya



Gambar Timbangan *Digital*
Sumber : Laboratorium Pengecoran
Logam Teknik Mesin
Universitas Brawijaya



Gambar Mesin *Injection Molding*
Sumber : Laboratorium Pengujian Logam dan
Bahan Politeknik Negeri Malang