

**PEMBUATAN KOMPOSIT *MOULDING* DARI CAMPURAN
SERBUK BATANG SORGUM DAN SERBUK ALANG-ALANG
DENGAN PEREKAT ASAM SITRAT DAN SUKROSA**

**DI PUSAT PENELITIAN BIOMATERIAL LIPI
(Periode 02 Januari- 02 Juni 2020)**

TUGAS AKHIR

Oleh
TRİYATI
NIM: 1516023

DATA BUKU PERPUSTAKAAN	
Tgl Terima	07/10/22
No Induk Buku	874/TKP/SB/TA/22



SUMBANGAN ALUMNI

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI
2020**

**PEMBUATAN KOMPOSIT *MOULDING* DARI CAMPURAN
SERBUK BATANG SORGUM DAN SERBUK ALANG-ALANG
DENGAN PEREKAT ASAM SITRAT DAN SUKROSA**

**DI PUSAT PENELITIAN BIOMATERIAL LIPI
(Periode 02 Januari- 02 Juni 2020)**

TUGAS AKHIR

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Bidang Teknik dari
Politeknik STMI Jakarta**

Oleh
TRİYATI
NIM: 1516023



**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI
2020**

ABSTRAK

PEMBUATAN KOMPOSIT *MOULDING* DARI CAMPURAN SERBUK BATANG SORGUM DAN SERBUK ALANG-ALANG DENGAN PEREKAT ASAM SITRAT DAN SUKROSA

Oleh
Triyati
NIM: 1516023
(Program Studi Teknik Kimia Polimer)

Saat ini bahan komposit berbasis kayu banyak digunakan dalam berbagai bidang industri seperti konstruksi bangunan, furnitur, dan pembuatan kertas. Penggunaan bahan berbasis kayu ini terus meningkat karena meningkatnya sebagai bahan baku pengolahan kayu dan energi, sehingga pasokan kayu terus berkurang. Solusi yang terbaik untuk mengatasi hal tersebut dengan membuat komposit *moulding* berbasis bukan kayu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio persentase massa serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang terhadap sifat fisika ketahanan air dan sifat mekanik kekuatan lentur. Metode pembuatan komposit *moulding* menggunakan mesin *hot press* jenis *manual-hydraulic compression press* merek *Yasuda Seiki Seisakusho* 100 kN pada suhu 200°C dan tekanan 4 MPa selama 10 menit. Pembuatan komposit *moulding* menggunakan bahan serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang dengan rasio persentase massa 100/0; 75/25; 50/50; 25/75; 0/100 yang ditambahkan perekat asam sitrat dan sukrosa sebesar 20%-berat. Karakterisasi komposit *moulding* diantaranya ketahanan air menggunakan nampan plastik dan kekuatan lentur dengan alat UTM merek SHIMADZU tipe-AGS-X 10 kN. Hasil penelitian ini yaitu rasio persentase massa serbuk batang sorgum semakin bertambah maka dapat meningkatkan ketahanan air dengan nilai pertambahan panjang dan pengembangan tebal yang semakin menurun, selain itu juga dapat meningkatkan kekuatan lentur dengan nilai *Modulus of Rupture* (MOR) dan *Modulus of Elasticity* (MOE) yang semakin meningkat.

Kata kunci: komposit *moulding*, batang sorgum, alang-alang, asam sitrat, sukrosa, ketahanan air, kekuatan lentur

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PEMBUATAN KOMPOSIT *MOULDING* DARI CAMPURAN
SERBUK BATANG SORGUM DAN SERBUK ALANG-ALANG
DENGAN PEREKAT ASAM SITRAT DAN SUKROSA**

Triyati
NIM: 1516023
(Program Studi Teknik Kimia Polimer)

Politeknik STMI Jakarta

Jakarta, Agustus 2020

Dosen Pembimbing 1



Dr. Erfina Oktariani, S.T., M.T.
NIP. 198210012014022001

Dosen Pembimbing 2



Ir. Untung Prayudie, MTA
NIP. 196102081991031001

Menyetujui
Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Fitria Ika Aryanti S.T., M. Eng
NIP. 198505112014022001

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

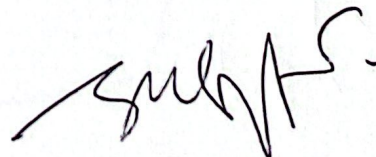
**PEMBUATAN KOMPOSIT MOULDING DARI CAMPURAN
BATANG SORGUM DAN ALANG-ALANG DENGAN
PEREKAT ASAM SITRAT DAN SUKROSA**

Triyati
NIM: 1516023
(Program Studi Teknik Kimia Polimer)

Politeknik STMI Jakarta

Cibinong, Juli 2020

Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Subvaktu, M.Sc.
NIP. 195811241983031004

**HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI SEMINAR TUGAS
AKHIR**

**PEMBUATAN KOMPOSIT *MOULDING* DARI CAMPURAN
SERBUK BATANG SORGUM DAN SERBUK ALANG-ALANG
DENGAN PEREKAT ASAM SITRAT DAN SUKROSA**

Triyati
NIM: 1516023
(Program Studi Teknik Kimia Polimer)

Politeknik STMI Jakarta

Jakarta, Agustus 2020

Penguji 1



Fitria Ika Aryanti S.T., M. Eng
NIP. 198505112014022001

Dosen Pembimbing 1



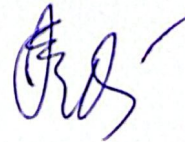
Dr. Erfina Oktariani, S.T., M.T.
NIP. 198210012014022001

Penguji 2



Ella Melyna S.T., M.T.
NIP. 199103062018012001

Dosen Pembimbing 2



Ir. Untung Prayudie, MTA
NIP. 196102081991031001

**HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS
AKHIR**

**PEMBUATAN KOMPOSIT *MOULDING* DARI CAMPURAN
SERBUK BATANG SORGUM DAN SERBUK ALANG-ALANG
DENGAN PEREKAT ASAM SITRAT DAN SUKROSA**

Triyati
NIM: 1516023
(Program Studi Teknik Kimia Polimer)

Politeknik STMI Jakarta

Jakarta, Agustus 2020

Penguji 1

Fitria Ika Aryanti S.T., M. Eng
NIP. 198505112014022001

Penguji 2

Ir. Untung Prayudie, MTA
NIP. 196102081991031001

Penguji 3

Ir. Parulian Leonard Marpaung, M.M.
NIP. 195702141985031002

Dosen Pembimbing

Dr. Erfina Oktariani, S.T., M.T.
NIP. 198210012014022001

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya mahasiswa Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta,
Kementerian Perindustrian Republik Indonesia:

Nama : Triyati
NIM : 1516023
Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir yang saya buat dengan judul Pembuatan Komposit *Moulding* dari Campuran Serbuk Batang Sorgum dan Serbuk Alang-alang dengan Perekat Asam Sitrat dan Sukrosa:

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing penelitian, melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada tugas akhir ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya.
- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada tugas akhir ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti apa yang diatas, maka tugas akhir saya ini dibatalkan.

Jakarta, Agustus 2020



Triyati

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala Yang Maha Kuasa atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir di Pusat Penelitian Biomaterial LIPI tepat pada waktunya. Penyusunan laporan ini bertujuan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan dari Politeknik STMI Jakarta. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan secara material maupun moral.
2. Bapak Dr. Mustofa, S.T., M.T selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
3. Ibu Fitria Ika Aryanti, S.T., M. Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
4. Ibu Erfina Oktariani, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing 1 Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta.
5. Bapak Ir. Untung Prayudie, MTA, selaku Dosen Pembimbing 2 Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Subyakto, M.Sc., selaku Pembimbing Penelitian Pusat Penelitian Biomaterial LIPI.
7. Bapak Eko Widodo S.T., selaku Staf Peneliti Pusat Penelitian Biomaterial LIPI.
8. Teman-teman seperjuangan penelitian di Pusat Penelitian Biomaterial LIPI yang telah memberikan dukungan dan doa selama penelitian.
9. Teman-teman Teknik Kimia Polimer TK01 2016 khususnya dan Teknik Kimia Polimer angkatan 2016 pada umumnya, selaku kawan-kawan seperjuangan.

Penulis juga menyadari banyak kekurangan dalam penyusunan laporan ini karena keterbatasan penulis sebagai manusia yang masih dalam tahap belajar. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga laporan selanjutnya dapat menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga laporan ini dapat memberi manfaat baik bagi penulis sendiri maupun orang lain.

Jakarta, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI SEMINAR TUGAS AKHIR.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR.....	vii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG.....	xv
Bab I Pendahuluan	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Batasan Masalah.....	3
I.4 Tujuan Penelitian.....	3
I.5 Manfaat Penelitian.....	3
Bab II Tinjauan Pustaka.....	5
II.1 Komposit.....	5
II.2 Klasifikasi Material Komposit.....	5
II.2.1 Material Komposit Berdasarkan Matriks.....	5
II.2.1.1 <i>Polymer Matrix Composites (PMC)</i>	5
II.2.1.2 <i>Metal Matrix Composites (MMC)</i>	5
II.2.1.3 <i>Ceramic Matrix Composites (CMC)</i>	6
II.2.2 Material Komposit Berdasarkan Penguatnya.....	6
II.2.2.1 Komposit Partikel	6
II.2.2.2 Komposit Serpihan.....	6
II.2.2.3 Komposit Serat.....	7
II.3 Komposit Berbasis Bukan Kayu	7
II.4 Kelebihan dan Kelemahan dari Serat Lignoselulosa	10
II.4.1 Kelebihan dari Serat Lignoselulosa	10
II.4.2 Kelemahan dari Serat Lignoselulosa	10
II.5 Proses Manufaktur Komposit	11
II.5.1 <i>Hand Lay-up</i>	11
II.5.2 <i>Injection Moulding</i>	11
II.5.3 <i>Hot press</i>	12
II.5.3.1 <i>Manual-Hydraulic Compression Press</i>	12
II.5.3.2 <i>Electric-Hydraulic Compression Press</i>	13
II.5.3.3 <i>Hydraulic Press to Process Desk Parts</i>	13
II.5.3.4 <i>Hydraulic Press to Process Thermoplastic Fiber-Reinforced Sheets</i>	14
II.6 Sorgum.....	15

II.7	Alang-alang.....	16
II.8	Asam Sitrat.....	17
II.9	Sukrosa.....	18
II.10	Ketahanan Air Komposit	19
II.11	Kekuatan Lentur Komposit.....	20
Bab III	Metode.....	23
III.1	Waktu dan Tempat.....	23
III.2	Alat dan Bahan	23
III.2.1	Alat	23
III.2.2	Bahan.....	23
III.3	Variabel	24
III.3.1	Variabel Tetap	24
III.3.2	Variabel Berubah.....	24
III.4	Prosedur	25
III.4.1	Persiapan Bahan Baku	25
III.4.2	Pembuatan Komposit <i>Moulding</i>	26
III.4.3	Preparasi Pengujian	27
III.5	Tahap Pengujian	27
III.5.1	Ketahanan Air.....	28
III.5.2	Kekuatan Lentur	28
Bab IV	Hasil dan Pembahasan.....	30
IV.1	Pengaruh Rasio Persentase Massa Serbuk Batang Sorgum dan Serbuk Alang-alang Terhadap Ketahanan Air.....	30
IV.2	Pengaruh Rasio Persentase Massa Serbuk Batang Sorgum dan Serbuk Alang-alang Terhadap Kekuatan Lentur	31
IV.3	Analisis Hubungan Rasio Persentase Massa Serbuk Batang Sorgum dan Serbuk Alang-alang Terhadap Ketahanan Air dan Kekuatan Lentur.....	33
Bab V	Penutup	34
V.1	Kesimpulan	34
V.2	Saran	34
	DAFTAR PUSTAKA	35
	LAMPIRAN.....	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Lembar Permohonan Tugas Akhir ke Pusat Penelitian	39
Lampiran B	Lembar Keterangan Diterimanya dari Pusat Penelitian.....	40
Lampiran C	Lembar Surat Tugas Dosen Pembimbing Tugas Akhir	41
Lampiran D	Perhitungan.....	43
Lampiran E	Alat.....	47
Lampiran F	Bahan.....	50
Lampiran G	Sampel Penelitian	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Komposit partikel	6
Gambar II.2	Komposit serpihan.....	7
Gambar II.3	Komposit serat.....	7
Gambar II.4	Klasifikasi serat tumbuhan	9
Gambar II.5	<i>Manual-hydraulic compression press</i>	13
Gambar II.6	<i>Electric-hydraulic compression press</i>	13
Gambar II.7	<i>Hydraulic press to process desk parts</i>	14
Gambar II.8	<i>Hydraulic press to process thermoplastic fiber-reinforced sheets</i>	14
Gambar II.9	Tanaman sorgum	15
Gambar II.10	Batang sorgum.....	15
Gambar II.11	Tanaman alang-alang.....	16
Gambar II.12	Struktur kimia asam sitrat.....	17
Gambar II.13	Struktur kimia sukrosa.....	19
Gambar II.14	Skema kekuatan lentur.....	20
Gambar II.15	Spesimen dengan standar ISO 3167 (2002) tipe A	21
Gambar III.1	Diagram alir penelitian komposit <i>moulding</i>	25
Gambar III.2	Mesin <i>hot press</i> merek <i>Yasuda Seiki Seisakusho</i>	26
Gambar IV.1	Pertambahan panjang komposit <i>moulding</i>	30
Gambar IV.2	Pengembangan tebal komposit <i>moulding</i>	30
Gambar IV.3	<i>Modulus of Rupture (MOR)</i> komposit <i>moulding</i>	31
Gambar IV.4	<i>Modulus of Elasticity (MOE)</i> komposit <i>moulding</i>	32

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Komposisi kimia serat alam	7
Tabel II.2	Dimensi spesimen, mm	21
Tabel III.1	Matriks penelitian pembuatan komposit <i>moulding</i>	24
Tabel III.2	Spesifikasi mesin <i>hot press</i> merek <i>Yasuda Seiki Seisakusho</i>	26

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	NAMA	Pemakaian pertama kali pada halaman
CMC	<i>Ceramic Matrix Composite</i>	6
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>	18
JIS	<i>Japanese Industrial Standard</i>	20
MMC	<i>Metal Matrix Composite</i>	5
MOE	<i>Modulus of Elasticity</i> (keteguhan lentur)	21
MOR	<i>Modulus of Rupture</i> (keteguhan patah)	21
PMC	<i>Polymer Matrix Composite</i>	5
UTM	<i>Universal Testing Machine</i>	20
LAMBANG		
P_1	Panjang sebelum direndam	28
P_2	Panjang setelah direndam	28
T_1	Tebal sebelum direndam	28
T_2	Tebal setelah direndam	28
MOE	Keteguhan lentur	29
ΔP	Beban di bawah batas proporsi	29
ΔY	Defleksi pada beban	29
L	Jarak sanggah	29
b	Lebar contoh uji	29
h	Tebal contoh uji	29
MOR	Keteguhan patah	29
P_{max}	Beban maksimum	29

Bab I Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Penggunaan komposit polimer berbasis kayu telah menjadi produk komersial pada bidang bangunan konstruksi, furnitur, dan pembuatan kertas (Teuber dkk., 2016). Bahan berbasis kayu ini sebagai sumber utama serat sebesar 1.750 juta ton kering, namun sumber bahan berbasis bukan kayu juga sama pentingnya dan lebih besar dari bahan berbasis kayu sebesar 2.283 juta ton kering (Juliana dkk., 2016). Penggunaan bahan berbasis kayu ini terus meningkat karena untuk memenuhi permintaan bahan baku industri perkayuan dan energi, sehingga bahan berbasis kayu ini dapat menyebabkan kerusakan sumber daya hutan dan pemanasan global (Ndazi dkk., 2006). Hal ini telah mendorong upaya untuk mengembangkan bahan berbasis bukan kayu dalam memenuhi kebutuhan industri agar tidak mengurangi pasokan bahan berbasis kayu.

Produk komposit *moulding* dapat dijadikan sebagai alternatif untuk memenuhi kebutuhan industri pengolahan kayu dengan menggunakan bahan lignoselulosa berbasis bukan kayu. Penggunaan lignoselulosa bukan berbasis kayu seperti limbah pertanian dan limbah perkebunan telah diteliti pada berbagai bahan (Kusumah dkk., 2017). Hal ini dikarenakan bahan tersebut tergolong sumber daya terbarukan, tersedia dalam jumlah banyak, ramah lingkungan, waktu pemanenan yang lebih singkat, murah dan sesuai untuk bahan baku komposit *moulding*. Limbah pertanian diantaranya padi, gandum, tebu, sorgum, jagung. Selain limbah pertanian, limbah perkebunan seperti kapas, kapuk, tandan kosong kelapa sawit, kenaf, bambu, alang-alang (Fatriasari dkk., 2019). Perkembangan bahan berbasis bukan kayu telah diaplikasikan di Industri furnitur dan konstruksi, salah satunya seperti papan partikel. Papan partikel telah diproduksi dari bahan jerami sereal yang telah digunakan di Amerika Utara dan diproduksi juga secara komersial dari bahan sekam padi di Timur Tengah (Stark dkk., 2010). Kualitas komposit berbasis bukan kayu dapat ditingkatkan dengan menggunakan perekat contohnya asam sitrat dan sukrosa. Asam sitrat dan sukrosa dijadikan sebagai perekat karena bersifat ramah

lingkungan dan tidak membahayakan kesehatan juga telah terbukti menghasilkan ikatan silang (Kajikawa dkk., 2020).

Menurut Umemura dkk. (2012a), kulit kayu akasia dengan perekat asam sitrat terbukti mempunyai kekuatan lentur yang tinggi, tidak terdekomposisi setelah mengalami proses perendamaan dalam air dan perebusan secara berulang. Hal itu dikarenakan asam sitrat mengandung tiga gugus karboksil, sehingga dapat mengaktifkan komponen kimia pada bubuk kayu akasia dan menyempurnakan ikatan perekatan selama proses pengempaan.

Di lain sisi, Kajikawa dkk. (2020) menambahkan asam sitrat dan sukrosa dalam upaya untuk meningkatkan ikatan serta menambah jumlah gugus hidroksil yang dapat berikatan dengan gugus karboksil dari asam sitrat membentuk ikatan ester. Hal ini terbukti memiliki ketahanan air dan kekuatan lentur yang baik. Widodo dkk. (2020), melakukan pembuatan *moulding* dengan batang sorgum juga menambahkan perekat asam sitrat metode cair dan metode bubuk, pembuatan *moulding* tersebut menghasilkan bahwa perekat asam sitrat dengan metode bubuk sangat efektif untuk meningkatkan kekuatan lentur dan ketahanan air yang baik.

Berdasarkan penelitian komposit *moulding* yang sudah ada, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan bahan berbasis bukan kayu yaitu serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang yang ditambahkan perekat asam sitrat dan sukrosa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut dapat dirumuskan menjadi permasalahan yaitu:

1. bagaimana pengaruh rasio persentase massa serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang terhadap sifat fisika ketahanan air pada komposit *moulding*?
2. bagaimana pengaruh rasio persentase massa serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang terhadap sifat mekanik kekuatan lentur pada komposit *moulding*?

I.3 Batasan Masalah

Dari rumusan masalah yang telah dibahas sebelumnya, maka dalam penelitian ini permasalahan yang dibahas akan dibatasi sebagai berikut:

1. bahan baku yang digunakan adalah serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang dengan rasio persentase massa 100/0, 75/25, 50/50, 25/75, dan 0/100. Perekat yang digunakan yaitu asam sitrat dan sukrosa sebesar 20%-berat.
2. pembuatan komposit *moulding* dari campuran serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang dengan perekat asam sitrat dan sukrosa menggunakan mesin *hot press* pada suhu 200°C dan tekanan 4 MPa selama 10 menit.
3. pengujian sifat fisika dengan ketahanan air untuk mengetahui dimensi pertambahan panjang dan pengembangan tebal pada komposit *moulding*.
4. pengujian sifat mekanik untuk mengetahui kekuatan lentur.

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini, yaitu:

1. mengetahui pengaruh rasio persentase massa serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang terhadap sifat fisika ketahanan air pada komposit *moulding*.
2. mengetahui pengaruh rasio persentase massa serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang terhadap sifat mekanik kekuatan lentur pada komposit *moulding*.

I.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh, antara lain:

1. Manfaat bagi industri

Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai masukan bagi industri pengolahan kayu, bahwa bahan berbasis bukan kayu seperti limbah pertanian dan limbah perkebunan bisa dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan industri agar tidak mengurangi pasokan kayu.

2. Manfaat bagi masyarakat

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi produk yang bernilai tinggi di kalangan masyarakat dengan memanfaatkan limbah bahan berbasis bukan kayu.

3. Manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan
 - a. Memberikan informasi terkait bahan berbasis bukan kayu seperti limbah pertanian dan limbah perkebunan yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan produk pengolahan kayu.
 - b. Memberikan informasi mengenai pengaruh rasio persentase massa serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang terhadap ketahanan air maupun kekuatan lentur.

Bab II Tinjauan Pustaka

II.1 Komposit

Komposit adalah suatu material yang tersusun dari campuran dua atau lebih material dengan sifat yang berbeda dan menghasilkan material baru yang bersifat beda dengan material penyusunnya (Sastra dkk., 2013). Material komposit tersusun dari matriks yang berfungsi untuk merekatkan serat dan melindungi serat agar dapat bekerja dengan baik, sedangkan serat berfungsi untuk menyusun komposit dan menahan sebagian besar gaya yang bekerja pada material komposit. Keunggulan dari material komposit, diantaranya memiliki berat yang lebih ringan, kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi, dan memiliki kerapatan yang rendah juga biaya perakitan yang lebih murah (Campbell, 2010).

II.2 Klasifikasi Material Komposit

Material komposit memiliki beberapa macam untuk mengklasifikasikannya. Berikut adalah klasifikasi dari material komposit:

II.2.1 Material Komposit Berdasarkan Matriks

Klasifikasi material komposit berdasarkan matriks dibagi menjadi tiga, diantaranya (Kaw, 2006):

II.2.1.1 *Polymer Matrix Composites* (PMC)

Polymer Matrix Composites (PMC) merupakan matriks yang paling umum digunakan pada material komposit karena memiliki sifat yang lebih tahan korosi, lebih ringan, metode pembuatannya yang murah dan sederhana. Matriks yang paling umum adalah poliester, vinil ester, epoksi, fenolik, poliamida, polipropilena dan lainnya.

II.2.1.2 *Metal Matrix Composites* (MMC)

Metal Matrix Composites (MMC) merupakan matriks komposit yang menggunakan bahan logam. Matriks yang biasa digunakan MMC adalah aluminium, magnesium, dan titanium. Terdapat beberapa kelebihan dari MMC yaitu tahan terhadap suhu tinggi, tidak mudah terbakar, kekuatan tekan dan geser yang baik. Adapun kekurangan dari MMC adalah biaya yang mahal.

II.2.1.3 Ceramic Matrix Composites (CMC)

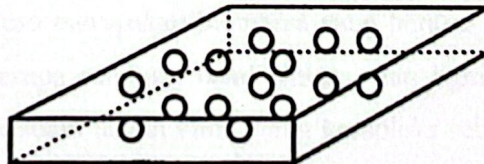
Ceramic Matrix Composites (CMC) merupakan matriks komposit yang menggunakan bahan keramik. Kelebihan dari CMC yaitu memiliki kekuatan tinggi, keras, dan ringan, sedangkan kelemahannya memiliki sifat ketangguhan patah yang rendah. Kombinasi serat dan keramik dapat digunakan untuk aplikasi dengan sifat mekanisnya yang tinggi.

II.2.2 Material Komposit Berdasarkan Penguatnya

Klasifikasi material komposit berdasarkan bahan penguat dibagi menjadi tiga, sebagai berikut (Kaw, 2006):

II.2.2.1 Komposit Partikel

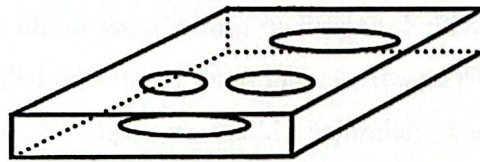
Komposit partikel merupakan komposit yang menggunakan serbuk atau partikel sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya. Komposit partikel terjadi ikatan yang baik antara partikel dengan matriks sehingga tidak mudah retak. Komposit ini memiliki kelebihan seperti peningkatan kekuatan yang baik, peningkatan suhu operasi, ketahanan oksidasi dan lain-lain. Pada umumnya aplikasi komposit partikel adalah aluminium dalam karet, partikel silikon karbida dalam aluminium, krikil, pasir, dan semen untuk membuat beton. Komposit partikel dapat ditunjukkan pada Gambar II.1.



Gambar II.1 Komposit partikel (Kaw, 2006)

II.2.2.2 Komposit Serpihan

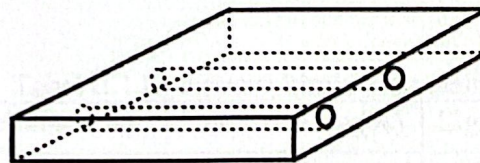
Komposit serpihan adalah komposit yang terdiri dari penguat berbentuk serpihan dan rata. Bahan serpihan yang digunakan adalah kaca, mika, aluminium, dan perak. Kelebihan dari komposit ini yaitu modulus lentur yang tinggi, sifat kekuatan tinggi dan biaya produksi rendah. Adapun kelemahan pada komposit ini seperti serpihan tidak dapat diorientasikan dengan mudah dan terbatas dalam ketersediaan bahan penguatnya. Komposit serpihan dapat ditunjukkan pada Gambar II.2.



Gambar II.2 Komposit serpihan (Kaw, 2006)

II.2.2.3 Komposit Serat

Komposit serat merupakan komposit yang terdiri dari hanya satu lapisan atau lamina menggunakan penguat berupa serat. Serat yang dapat digunakan yaitu serat gelas, serat karbon, serat aramid, dan sebagainya. Serat ini dapat disusun secara acak maupun secara orientasi tertentu bahkan juga dalam bentuk kompleks seperti anyaman. Kelebihan dari komposit serat yaitu sangat kuat dan kaku, sehingga sangat efisien dalam menerima beban dan gaya. Komposit serat dapat ditunjukkan pada Gambar II.3.



Gambar II.3 Komposit serat (Kaw, 2006)

II.3 Komposit Berbasis Bukan Kayu

Komposit berbasis bukan kayu termasuk golongan biomassa lignoselulosa. Biomassa lignoselulosa merupakan biomassa yang berasal dari tanaman dengan komponen utama berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Komponen utama tersebut, membentuk suatu ikatan kimia yang kompleks sehingga menjadi bahan dasar dinding sel tumbuhan. Ketersediaan material ini cukup melimpah, waktu pemanenan lebih cepat, ramah lingkungan terutama ditemukan pada limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan. Komposit berbasis lignoselulosa memiliki keunggulan diantaranya proses pembuatan yang sederhana, biaya yang rendah, bobot yang ringan, dan sifat yang cocok untuk digunakan dalam berbagai aplikasi konvensional (Alvarez dkk., 2005).

Lignoselulosa bisa disebut juga serat alam karena mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selulosa merupakan komponen utama serat lignoselulosa

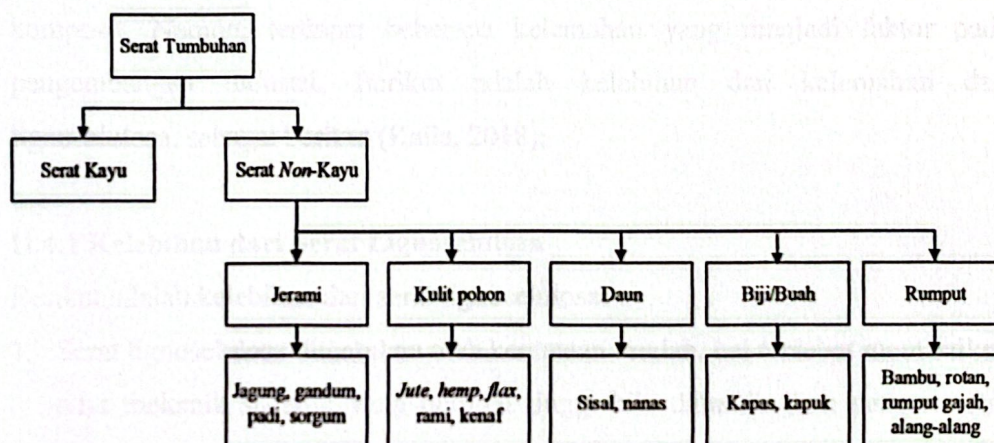
dan senyawa organik alami yang paling melimpah. Selulosa termasuk golongan polisakarida yang terdiri dari rantai lurus ratusan hingga ribuan dan mengandung ikatan β -(1,4)-glikosidik juga memiliki sejumlah besar gugus hidroksil. Hemiselulosa memiliki komposisi monosakarida heterogen dan terdiri dari gula netral diantaranya xilosa, arabinosa, glukosa, galaktosa, manosa, dan asam uronat. Hemiselulosa dapat ditemukan di bagian tengah yang mengikat dinding sel serat, di daerah dinding primer dan di lapisan sekunder yang lebih tebal. Lignin adalah komponen kompleks fenolik tergolong polimer ikatan silang yang terdiri dari bagian alifatik dan aromatik. Lignin dapat ditemukan di dinding sel tanaman dan memiliki fungsi untuk memperkeras dinding sel dan memberikan perlindungan terhadap serangan mikroba, agen eksternal, kelembaban, dan pelapukan (Kaila, 2018). Adapun komposisi kimia yang terdapat pada serat alam ditunjukkan di Tabel II.1.

Tabel II.1 Komposisi kimia serat alam

Tipe serat	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Referensi
Kayu lunak	40–45	30	26–34	Väisänen dkk., 2016
Kayu keras	40–50	23–39	20–30	
Kenaf	44-57	22-23	15-19	Ndazi dkk., 2006
Jute	45-36	18-21	21-26	
Hemp	57-77	14-17	9-13	
Rami	87-91	5-8	-	
Bambu	26-43	15-26	21-31	
Gandum	29-51	26-32	16-21	
Padi	28-48	23-28	12-16	
Ampas tebu	50	25	25	Hermiati dkk., 2010
Tandan kosong kelapa sawit	41,20-46,50	25,30-33,80	27,60-32,50	
Tongkol jagung	45	35	15	
Batang sorgum	42,36-43,66	27-35	18-20	Fatriasari dkk., 2019; Talanca dan Andayani, 2016
Alang-alang	40,22	18,40	31,29	Hasni dkk., 2018

Kandungan selulosa yang tinggi dapat meningkatkan sifat mekanik, karena kandungan selulosa dapat memberikan efek yang baik dengan transfer tegangan lentur pada komposit (Luo dkk., 2016). Selain selulosa, lignin juga berpengaruh pada sifat mekanik karena lignin memiliki efek positif pada adhesi antarmuka antara serat dan matriks (Chen dkk., 2018).

Serat alam dapat dikelompokkan berdasarkan sumbernya yaitu berasal dari tumbuhan, hewan dan mineral. Serat tumbuhan terdiri dari selulosa, sedangkan serat hewan (rambut, sutera, dan wol) terdiri dari protein. Pada umumnya, serat yang berasal dari tumbuhan dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu serat kayu dan serat *non-kayu*. Serat tumbuhan meliputi serat kulit pohon, daun atau serat-serat keras, benih, buah, kayu, sereal gandum, dan serat-serat rumput lain terlihat pada Gambar II.4 (Mohanty dkk., 2005).



Gambar II.4 Klasifikasi serat tumbuhan (Mohanty dkk., 2005)

Bahan lignoselulosa yang dapat dijadikan sebagai bahan baku alternatif diantaranya dari limbah pertanian seperti padi, gandum, tebu, dan sorgum. Limbah perkebunan juga bisa dijadikan bahan baku seperti kapas, kapuk, tandan kosong kelapa sawit, kenaf, jute, bambu dan alang-alang (Fatriasari dkk., 2019). Komposit berbasis kayu dan bukan kayu biasanya menggunakan perekat sintetis seperti resin berbasis formaldehid. Perekat tersebut memiliki kerugian seperti kurang ramah lingkungan dan membahayakan kesehatan sehingga digantikan perekat yang relatif aman seperti asam sitrat, tanin, sukrosa (Widyorini dkk., 2016).

Komposit berbasis bukan kayu dapat diaplikasikan pada bidang furnitur dan konstruksi, seperti papan partikel. Papan partikel merupakan salah satu produk pengolahan kayu yang menggunakan bahan berupa serbuk/partikel dan ramah lingkungan. Papan partikel dapat dibuat dari partikel kayu dan bukan kayu atau bahan lignoselulosa lainnya. Produk ini biasanya direkatkan menggunakan perekat berbasis formaldehid dan berbasis alam. Jenis bahan yang digunakan dalam pembuatan papan partikel meliputi serutan kayu, serpihan, serbuk, dan lain-lain. Papan partikel berbasis bukan kayu telah dilakukan dari berbagai bahan seperti pelepah kurma, batang kelapa sawit, jerami padi, kenaf dan partikel ampas tebu (Juliana dkk., 2016).

II.4 Kelebihan dan Kelemahan dari Serat Lignoselulosa

Serat alam atau lignoselulosa memiliki berbagai kelebihan sebagai penguat bahan komposit. Namun, terdapat beberapa kelemahan yang menjadi faktor pada pengembangan industri. Berikut adalah kelebihan dan kelemahan dari lignoselulosa, sebagai berikut (Kaila, 2018):

II.4.1 Kelebihan dari Serat Lignoselulosa

Berikut adalah kelebihan dari serat lignoselulosa:

1. Serat lignoselulosa ditentukan oleh kerapatan rendah, hal tersebut memastikan sifat mekanik spesifik yang bernilai tinggi bila dibandingkan dengan serat sintetis.
2. Penanganan yang lebih aman dan tidak abrasif.
3. Material yang terbarukan dan biodegradasi oleh organisme alami.
4. Ketersediaan yang banyak di seluruh dunia tetap menjadi faktor pendukung.

II.4.2 Kelemahan dari Serat Lignoselulosa

Serat lignoselulosa juga memiliki beberapa kelemahan, sebagai berikut:

1. Serat lignoselulosa bersifat polar dan hidrofilik karena adanya gugus hidroksil juga gugus oksigen lainnya. Matriksnya kebanyakan *non*-polar dan hidrofobik, sehingga menghasilkan dispersi yang buruk dari serat dalam matriks.

2. Serat lignoselulosa dapat menyerap kelembaban yang tinggi yaitu lebih dari 10%. Hal ini dapat mengurangi sifat mekanik dan mengurangi stabilitas dimensi komposit.
3. Serat lignoselulosa memperoleh sedikit resistensi mikroba dan kerentanan terhadap pembusukan. Sifat ini merupakan masalah serius selama penyimpanan, pemrosesan, dan implementasi komposit.
4. Serat lignoselulosa rentan terhadap degradasi pada suhu tinggi, sehingga membatasi pilihan matriks. Degradasi termal dari serat memiliki kisaran suhu 220-280°C dan kisaran 280-300°C. Degradasi suhu rendah dari proses pembuatan terkait dengan degradasi hemiselulosa, sedangkan, proses suhu tinggi karena lignin.

II.5 Proses Manufaktur Komposit

Pada umumnya proses yang sering dilakukan untuk pembuatan komposit dengan serat lignoselulosa adalah *hand lay-up*, *compression moulding* atau *hot press* dan *injection moulding*. Berikut ini adalah proses manufaktur komposit (Thomas dkk., 2012):

II.5.1 Hand Lay-up

Hand lay-up merupakan metode yang paling sederhana. Metode ini untuk pembuatan produk yang diperkuat baik kecil maupun besar dengan teknik *hand lay-up*. Metode ini juga memiliki volume yang rendah dan paling cocok digunakan untuk komponen berskala besar, seperti pada pembuatan lambung kapal. Penguat diposisikan secara manual dicetakan terbuka, lalu resin dituangkan juga dioles ke atas dan ke dalam lapisan tersebut. Permukaan datar, rongga atau cetakan berbentuk tegas, terbuat dari kayu, logam, plastik, atau kombinasi dari bahan ini dapat digunakan untuk metode *hand lay-up*.

II.5.2 Injection Moulding

Injection moulding adalah metode pembuatan untuk bahan termoplastik dan termoset. Bahan komposit dimasukkan ke dalam *heated barrel*, lalu terjadinya pencampuran dan didorong ke dalam rongga cetakan serta mengalami pendinginan

di dalam cetakan. *Injection moulding* banyak digunakan dalam segala hal seperti gulungan kawat, kemasan, tutup botol, *dashboard*, sebagian produk plastik lainnya.

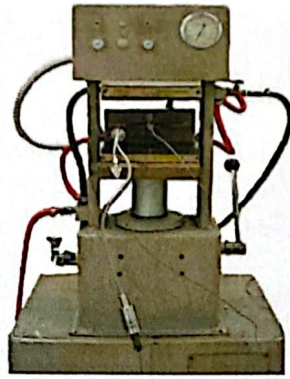
Kelebihan dari *injection moulding*, diantaranya tingkat produksi yang tinggi, dapat digunakan untuk berbagai jenis bahan, biaya tenaga kerja rendah, dan tingkat kecacatan produk yang rendah. Adapun beberapa kelemahan dari *injection moulding* seperti investasi peralatan yang mahal, biaya operasional yang tinggi, kebutuhan perancangan cetakan yang akan digunakan.

II.5.3 Hot press

Hot press merupakan metode yang menggunakan proses kompresi. Metode ini juga bisa disebut *compression molding*. Metode *hot press* mirip seperti pembuatan lembaran logam. Proses ini dalam *prepreg* termoplastik (fase sebelum resin termoplastik diserap oleh serat) atau termoset ditumpuk secara bersamaan lalu ditempatkan di antara cetakan yang dipanaskan, namun pelat tersebut dipanaskan sesuai dengan suhu yang diinginkan. Proses ini digunakan untuk membuat komposit dalam bentuk yang sederhana dengan ketebalan yang konstan. Adapun jenis-jenis dari *hot press*, sebagai berikut:

II.5.3.1 Manual-Hydraulic Compression Press

Manual-hydraulic compression press memiliki kapasitas 25 ton (220 kN). Mesin press berada di atas dasar logam yang besar. Mesin ini terdapat tuas tangan untuk memompa dan memberi tekanan yang berada di sisi kiri alat berat, sementara katup pelepas tekanan berada di sisi yang berlawanan. Piston hidrolik terlihat berada di bawah pelat yang lebih rendah seperti pada Gambar II.5 (Tatara, 2017). Pada bagian atas mesin terdapat panel kontrol dengan pengukur gaya, tombol untuk pemanas pelat bawah dan pelat atas, dan indikator lampu yang ditampilkan pada saat pemanas berputar. Kontrol untuk mengatur setiap suhu pelat berada di bagian belakang unit, sedangkan kontrol air pendingin berada di sisi kiri mesin tepat di bawah panel kontrol (Tatara, 2017).



Gambar II.5 *Manual-hydraulic compression press* (Tatara, 2017)

II.5.3.2 *Electric-Hydraulic Compression Press*

Electric-hydraulic compression press memiliki kapasitas 30 ton (270 kN). Mesin ini terdapat pompa yang digerakkan oleh listrik untuk menggerakkan piston hidrolik. Mesin ini juga mencakup kotak kontrol utama dengan tombol daya, tombol pemanas, tombol penutup dua tekanan, tombol suhu pelat atas dan pelat bawah. Penutup *press* ini, ada dua tombol yang harus ditekan secara bersamaan seperti pada Gambar II.6 (Tatara, 2017).



Gambar II.6 *Electric-hydraulic compression press* (Tatara, 2017)

II.5.3.3 *Hydraulic Press to Process Desk Parts*

Hydraulic press to process desk parts memiliki kapasitas 500 ton (4450 kN). Mesin ini digunakan untuk membentuk meja dari kompon melamin yang dapat ditunjukkan pada Gambar II.7 (Tatara, 2017).



Gambar II.7 *Hydraulic press to process desk parts* (Tatara, 2017)

II.5.3.4 *Hydraulic Press to Process Thermoplastic Fiber-Reinforced Sheets*

Hydraulic press to process thermoplastic fiber-reinforced sheets memiliki kapasitas 2.000 ton (17.800 kN). Mesin *press* ini mampu melakukan kecepatan yang tinggi dan digunakan untuk memproses lembaran termoplastik yang diperkuat oleh serat (Tatara, 2017). Pada Gambar II.8 menunjukkan mesin *hydraulic press to process thermoplastic fiber-reinforced sheets*.



Gambar II.8 *Hydraulic press to process thermoplastic fiber-reinforced sheets* (Tatara, 2017)

Pada penelitian ini menggunakan metode *hot press* dengan jenis *Manual-hydraulic compression press* untuk pembuatan komposit *moulding*. Metode ini dipilih karena pembuatannya sederhana dan dapat dilakukan dalam skala laboratorium. Mesin *hot*

press yang digunakan merek *Yasuda Seiki Seisakusho* dengan kapasitas 100 kN. Mesin ini tersedia di Laboratorium Biokomposit Pusat Penelitian Biomaterial LIPI.

II.6 Sorgum

Sorgum adalah tanaman yang mudah beradaptasi dan serbaguna dari sumber Afrika karena beberapa bagian dari sorgum banyak dimanfaatkan seperti biji sorgum sebagai makanan, daun untuk pakan, dan batang untuk serat. Genus sorgum adalah *Sorghum bicolor* (L.) yang diusulkan oleh Clayton pada tahun 1961, sorgum mudah beradaptasi di daerah tropis dan subtropik. Produksi sorgum lebih dari 100 negara termasuk Asia, Afrika, Oseania, Amerika (Velmurugan dkk., 2020). Varietas sorgum terdiri dari Keller, Numby, Wray. Varietas Keller memiliki kerapatan sebesar 27,50% lebih tinggi dari varietas Numby, dan 46,99% dari varietas Wray (Ferdian dkk., 2015).



Gambar II.9 Tanaman sorgum (Bakeer dkk., 2013)



Gambar II.10 Batang sorgum (Bakeer dkk., 2013)

Gambar II.9 dan Gambar II.10 menunjukkan bagian batang sorgum yang terdiri dari empulur dan kulit buah. Tanaman ini memiliki ukuran yang tingginya bisa

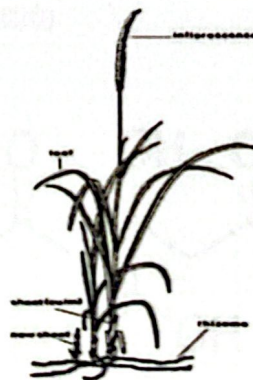
mencapai 6 m, tangkai/batang biasanya tegak dan padat sama seperti tebu dan jagung, setiap tangkainya terdapat daun. Waktu panen tanaman sorgum sekitar 3-4 bulan (Bakeer dkk., 2013).

Tanaman sorgum berpotensi tinggi untuk dikonversi menjadi bahan turunan yang bermanfaat seperti papan partikel, *pulp* dan kertas, produksi gula, bioethanol, dan produk bio lainnya (Iswanto dkk., 2016). Kandungan lignoselulosa yang terdapat pada sorgum terdiri dari selulosa 42,36-43,66% (Fatriasari dkk., 2019), hemiselulosa 27-35%, dan lignin 18-20% (Talanca dan Andayani, 2016).

II.7 Alang-alang

Alang-alang (*Imperata cylindrica*) merupakan tumbuhan rumput yang terbesar juga ditemukan hampir di seluruh dunia (Hasni dkk, 2018) Alang-alang termasuk kelompok tanaman alami yang sangat luas di daerah tropik dan subtropik. Pertumbuhan alang-alang di Asia mencapai 35 juta hektar, Indonesia merupakan salah satu negara yang terluas di Asia memiliki tumbuhan alang-alang 8,5 juta hektar (Osvaldo dkk., 2012).

Alang-alang memiliki batang berbentuk seperti pucuk yang timbul dari rimpang, bercabang, dan merambat. Tanaman ini dapat tumbuh di ketinggian sekitar 30-200 cm dan lebar daun berukuran sekitar 2 cm. Tanaman alang-alang dapat ditunjukkan pada Gambar II.11 (Hairiah dkk., 2000).



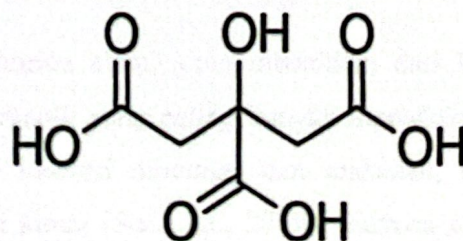
Gambar II.11 Tanaman alang-alang (Hairiah dkk., 2000)

Sistem reproduksi alang-alang dilakukan secara seksual dengan dibentuk dari fragmen rimpang sekecil 0,1 gram juga dapat dibentuk melalui hubungan seksual melalui pembungaan dan produksi benih (Hidayat dkk., 2019). Pemanfaatan alang-alang dapat dijadikan sebagai bahan baku obat-obatan, bahan baku industri kertas, dan pupuk. Kandungan lignoselulosa yang terdapat pada alang-alang terdiri dari selulosa 40,22%, hemiselulosa 18,40%, dan lignin 31,29% (Hasni dkk., 2018).

Alang-alang memiliki kekurangan yaitu mudah terbakar apabila kondisinya kering, memiliki zat alelopati yang dikeluarkan ke lingkungan sehingga dapat menghambat pertumbuhan tanaman lain (Situmorang dkk., 2015). Demikian, manfaat dari alang-alang dioptimalkan sebagai bahan baku komposit karena mudah didapatkan dan lebih ekonomis. Menurut Sunardi dkk. (2013), pemanfaatan batang alang-alang sebagai *filler* dengan daur ulang polipropilena untuk dijadikan biokomposit memiliki banyak keuntungan, diantaranya mengurangi polusi di lingkungan karena sifat biodegradasinya sehingga dapat digunakan sebagai material baru yang bermanfaat dengan harga yang relatif murah.

II.8 Asam Sitrat

Asam Sitrat atau nama lain dari *2-hydroxy-1,2,3-propanetricarboxylic acid* merupakan senyawa asam organik yang mudah ditemukan pada daun dan buah golongan citrus (jeruk-jerukan). Asam sitrat memiliki struktur kimia berupa $C_6H_8O_7$ berbentuk kristal yang tidak berbau, tidak berwarna, memiliki kerapatan $1,665 \text{ g/cm}^3$, titik leleh 156°C , dan titik didih 175°C . Gambar II.12 menunjukkan struktur kimia asam sitrat (Lee dkk., 2020).



Gambar II.12 Struktur kimia asam sitrat (Lee dkk., 2020)

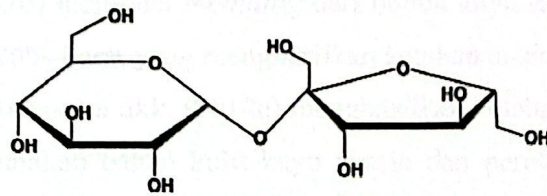
Asam sitrat termasuk golongan asam polikarboksilat organik alami yang mengandung tiga kelompok karboksil dan telah diteliti sebagai agen *cross-linking* atau ikat silang. Hal itu ditunjukkan bahwa ikatan ester yang terbentuk antara gugus hidroksil dari kulit kayu akasia dan gugus karboksil dari asam sitrat menghasilkan komposit *moulding* dengan kualitas baik (Umemura dkk., 2012a). Pembentukan ikatan ester telah dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), hasilnya menunjukkan bahwa adanya gugus karboksil (COOH) dari asam sitrat dengan gugus hidroksil (OH) dari batang sorgum selama proses pengempaan (Widodo dkk., 2020). Kajikawa dkk. (2020) menggunakan perekat asam sitrat dan sukrosa pada bubuk kayu dalam pembuatan komposit *moulding*, komposit ini menghasilkan ketahanan air dan kekuatan lentur yang meningkat. Hal ini dikarenakan memiliki kinerja ikatan antar keduanya baik juga menambah gugus hidroksil yang berikatan dengan gugus karboksil dan terbentuk ikatan ester.

Pemanfaatan perekat dalam pembuatan komposit berbasis kayu maupun bukan kayu sangat penting untuk meningkatkan fungsi produk. Produk komposit tersebut biasanya menggunakan perekat berbasis formaldehida, seperti urea formaldehida atau fenol formaldehida. Perekat ini biasanya menunjukkan sifat dan kinerja yang baik. Badan Internasional untuk penelitian kanker/monografi menyatakan bahwa formaldehida bersifat karsinogenik bagi manusia dan tingkat emisi formaldehida menjadi perhatian yang serius. Solusi untuk menyelesaikan permasalahan tersebut antara lain mengembangkan perekat alami berbasis biomasa seperti lignin, tanin, kedelai, kitosan, dan sebagainya. Salah satu bahan perekat alami yang potensial untuk dikembangkan seperti asam sitrat, sukrosa (Widyorini dkk., 2016).

II.9 Sukrosa

Sukrosa adalah disakarida alami yang dihasilkan dari bit atau tebu. Sukrosa tergolong senyawa organik yang paling banyak diproduksi di dunia juga paling umum digunakan di Industri minuman dan makanan, namun ada juga yang digunakan di industri kimia (Sun dkk., 2019). Sukrosa memiliki struktur kimia $C_{12}H_{22}O_{11}$ dan dianggap sebagai molekul multifungsi yang kompleks karena mengandung delapan gugus hidroksil yang reaktif. Di lain sisi, sukrosa terdiri dari

dua monosakarida yaitu glukosa dan fruktosa yang bergabung dengan ikatan glikosidik (Eggleston, 2008) seperti pada Gambar II.13.



Gambar II.13 Struktur kimia sukrosa (Eggleston, 2008)

Saat ini, beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sukrosa dapat digunakan sebagai bahan perekat lignoselulosa dan ditambahkan dengan asam sitrat untuk meningkatkan kinerja (Sun dkk., 2019). Pencampuran asam sitrat dan sukrosa telah berhasil diaplikasikan oleh Kajikawa dkk. (2020) dengan campuran bubuk kayu. Hasil penelitian tersebut, menunjukkan bahwa rasio asam sitrat/sukrosa sebanyak 20%-berat dengan rasio 75/25 memberikan sifat ketahanan air dan kekuatan lentur yang baik serta menambah jumlah gugus hidroksil yang dapat berikatan dengan gugus karboksil dari asam sitrat dan membentuk ikatan ester, selain itu juga dapat meningkatkan kinerja ikatan antar keduanya.

II.10 Ketahanan Air Komposit

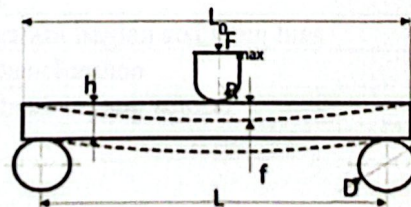
Ketahanan air merupakan kemampuan komposit menahan penyerapan air dan pengembangan tebalnya. Ketahanan air dilakukan dengan menyerap air selama perendaman berlangsung. Proses perendaman dalam air akan mengisi ruang-ruang kosong yang ada di dalam partikel (Mardhatillah, 2018). Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi suatu partikel terhadap penyerapan air, sebagai berikut (Mirasanti, 2015):

- a. volume ruang kosong dapat menampung air pada partikel
- b. adanya saluran kapiler yang menghubungkan ruang satu dengan ruang kosong yang lain
- c. luas permukaan partikel yang tidak dapat ditutupi oleh perekat
- d. adanya penerobosan perekat terhadap partikel

Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan dimensi tebal dan panjang pada komposit *moulding*. Pengembangan tebal dan pertambahan panjang semakin tinggi maka semakin menyerap air ke dalam ruang-ruang komposit. Pembuktian oleh Kajikawa dkk. (2020) membuat *moulding* dari bubuk kayu dengan perekat asam sitrat dan sukrosa 20%-berat yang menghasilkan ketahanan air sebesar 7% sampai 10%, sedangkan Umemura dkk. (2012a) menghasilkan ketahanan air kurang dari 10% yang menggunakan bahan kulit kayu akasia dan perekat 20%-berat asam sitrat.

II.11 Kekuatan Lentur Komposit

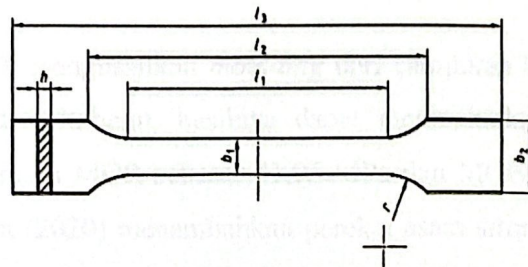
Kekuatan lentur atau kekuatan lengkung adalah tegangan lentur yang dapat diterima akibat dari pembebanan luar tanpa mengalami deformasi ataupun kegagalan. Kekuatan lentur memperoleh nilai tinggi tergantung pada jenis material dan pembebanan. Kekuatan lentur mengakibatkan bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawahnya mengalami tegangan tarik. Hal ini dikarenakan tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima, sehingga spesimen tersebut akan patah. Kekuatan ini dilakukan dengan *three-point bending* (Silka dkk., 2019).



Gambar II.14 Skema kekuatan lentur (Scuart dkk., 2019)

Kekuatan lentur dilakukan dengan sederhana seperti pada Gambar II.14. Bahan yang akan diuji berupa spesimen berbentuk persegi panjang dan spesimen diletakkan di tengah jarak sanggah dengan posisi horizontal, selain itu terdapat pembebanan di tengah-tengah spesimen hingga terjadinya patahan saat pengujian berlangsung (Scutaru dkk., 2019). Kekuatan lentur pada komposit *moulding* menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) SHIMADZU tipe AGS-X 10 kN dan sesuai dengan *Japanese Industrial Standard* (JIS) K 7139 (2007) atau

ISO 3167 (2002). Spesimen yang digunakan sesuai dengan standar ISO 3167(2002) ditunjukkan pada Gambar II.15.



Gambar II.15 Spesimen dengan standar ISO 3167 (2002) tipe A (ISO 3167, 2002)

Spesimen uji dengan standar ISO 3167 (2002) menggunakan spesimen tipe A untuk uji tarik, namun dapat disesuaikan pada uji lainnya seperti kekuatan lentur. Kekuatan lentur menggunakan bagian l_1 dengan ukuran panjang sekitar $80 \text{ mm} \pm 2$ mm. Dimensi spesimen uji kekuatan lentur yang sesuai dengan standar ISO 3167 (2002) tipe A ditunjukkan pada Tabel II.2.

Tabel II.2 Dimensi spesimen, mm

Simbol	Dimensi	Ukuran
l_3	Panjang keseluruhan	≥ 150
l_1	Panjang bagian sisi paralel yang sempit	80 ± 2
r	Radius	20-25
l_2	Jarak antara bagian sisi yang luas	104-113
b_2	Lebar keseluruhan	$20,0 \pm 0,2$
b_1	Lebar bagian yang sempit	$10 \pm 0,2$
h	Tebal	$4,0 \pm 0,2$

ISO 3167, 2002

Kekuatan lentur yang dilakukan ini, bertujuan untuk memperoleh *Modulus of Elasticity* (MOE) dan *Modulus of Rupture* (MOR). *Modulus of Elasticity* (MOE) atau kekuatan lentur merupakan ketahanan material terhadap deformasi elastis dan perbandingan antara tegangan dengan regangan yang memiliki nilai yang konstan. Tegangan dapat didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, sedangkan regangan sebagai elongasi atau kontraksi per satuan panjang. *Modulus of Rupture* (MOR) atau kekuatan patah adalah tingkat kekuatan patah dalam menerima beban tegak lurus terhadap permukaan spesimen. MOR dapat dihitung dari beban maksimum (beban pada saat patah) dalam pengujian kekuatan lentur. Peningkatan nilai MOE

dan MOR dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kerapatan, perekat, ukuran, orientasi partikel, dan penggunaan tekanan kempa/kompresi yang lebih besar. (Mirasanti, 2015).

Widodo dkk. (2020) menghasilkan *moulding* dari campuran batang sorgum dan perekat asam sitrat 20%-berat, hasilnya dapat meningkatkan kekuatan lentur dengan nilai maksimum MOR sebesar 41,95 MPa dan MOE sebesar 7,61 GPa. Selain itu, Kajikawa (2020) menambahkan perekat asam sitrat dan sukrosa pada bubuk kayu, terbukti menghasilkan kekuatan lentur sebesar 28 MPa sampai 37 MPa.

Bab III Metode

III.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada bulan 02 Januari-02 Juni 2020 di Laboratorium Biokomposit, Pusat Penelitian Biomaterial LIPI yang terletak di Jalan Raya Bogor Km. 46, Cibinong, Bogor 16911, Indonesia.

III.2 Alat dan Bahan

III.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi:

1. Neraca analitik
2. *Mortar*
3. Mesin *hot press* merek *Yasuda Seiki Seisakusho* 100 kN
4. Cetakan spesimen tipe A
5. Oven
6. Saringan 60 *mesh*
7. Sarung tangan kulit
8. Sarung tangan rajut
9. Mesin *hammer mil*
10. Jangka sorong
11. Spatula
12. *Tray*
13. Nampan plastik
14. *Universal Testing Machine* (UTM) merek SHIMADZU tipe AGS-X 10 kN

III.2.2 Bahan

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan utama dan bahan perekat, sebagai berikut:

1. Bahan utama

Bahan utama yang digunakan di penelitian ini yaitu serbuk batang sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) varietas *keller* dan serbuk alang-alang (*Imperata cylindrica*).

Serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang didapatkan dari Pusat Penelitian Biomaterial LIPI.

2. Bahan perekat

Bahan perekat yang digunakan terdiri dari asam sitrat dengan merek dagang MERCK dan sukrosa. Asam sitrat dan sukrosa didapatkan dari Pusat Penelitian Biomaterial LIPI.

3. Air

III.3 Variabel

Variabel pada penelitian ini terdiri dari dua jenis variable yaitu variabel tetap dan variabel berubah.

III.3.1 Variabel Tetap

Variabel tetap yang digunakan selama penelitian ini adalah:

1. persentase berat asam sitrat sebesar dan sukrosa sebesar 20%-berat.
2. pencetakan dilakukan dengan *hot press* pada suhu 200°C dan tekanan 4 MPa selama 10 menit.

III.3.2 Variabel Berubah

Variabel berubah dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel III.1 menunjukkan matriks penelitian.

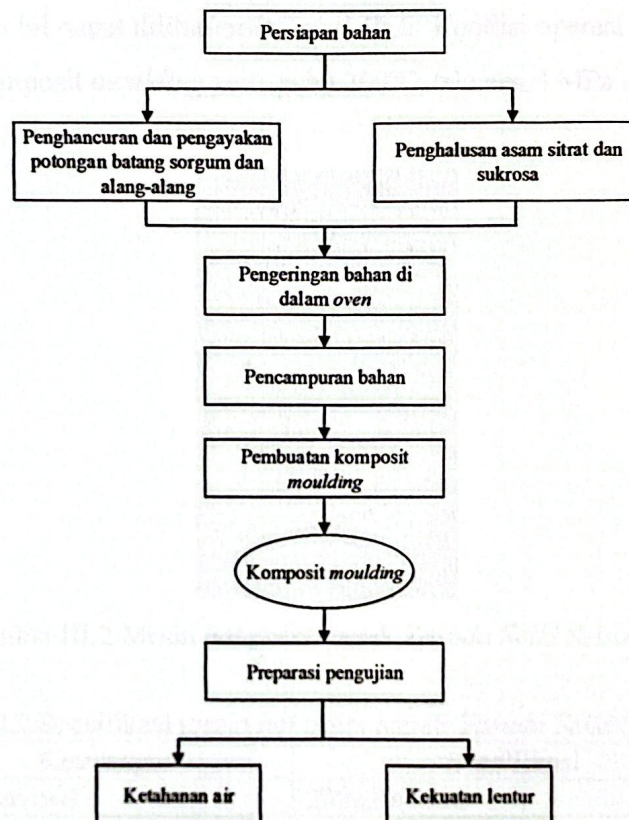
Tabel III.1 Matriks penelitian pembuatan komposit *moulding*

Sampel	Serbuk Batang Sorgum (%-berat)	Serbuk Alang-alang (%-berat)	Berat Total Sampel (gram)
1	100	0	7,50
2	75	25	
3	50	50	
4	25	75	
5	0	100	

Catatan: bahan perekat sebanyak 20%-berat dari berat total = 1,5 gram terdiri dari 0,75 gram asam sitrat dan 0,75 gram sukrosa.

III.4 Prosedur

Pembuatan komposit *moulding* pada penelitian ini menggunakan mesin *hot press* sebagai metode pembuatannya. Tahapan yang dilakukan dalam pembuatan komposit *moulding* yaitu persiapan bahan baku, pembuatan komposit *moulding*, preparasi pengujian, dan tahap pengujian. Karakteristik yang diamati yakni ketahanan air dan kekuatan lentur. Diagram alir penelitian komposit *moulding* dapat dilihat pada Gambar III.1.



Gambar III.1 Diagram alir penelitian komposit *moulding*

III.4.1 Persiapan Bahan Baku

Persiapan bahan baku diawali dengan potongan batang sorgum dan alang-alang yang dihancurkan menggunakan mesin *hammer mill*, kemudian bahan tersebut diayak dengan lolos ayakan *60 mesh* atau ukuran partikel $\leq 250 \mu\text{m}$ dan hasil yang didapat berupa serbuk. Persiapan asam sitrat dan sukrosa dihaluskan dengan *mortar* sampai ukuran partikel $\leq 250 \mu\text{m}$. Setelah itu, dikeringkan di dalam oven pada suhu 60°C selama 15 jam hingga mencapai kadar air kurang dari 4%.

III.4.2 Pembuatan Komposit *Moulding*

Serbuk batang sorgum, serbuk alang-alang, asam sitrat, dan sukrosa ditimbang. Setelah ditimbang, bahan tersebut dicampur sekaligus digerus menggunakan *mortar*, lalu campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan spesimen tipe A dari *Japanese Industrial Standard (JIS) K 7139 (2007)* atau *ISO 3167 (2002)* digunakan untuk membuat komposit *moulding*. Setelah itu, ditekan menggunakan mesin *hot press* merek *Yasuda Seiki Seisakusho* seperti pada Gambar III.2, adapun spesifikasi alat dari mesin ini dapat dilihat pada Tabel III.2. Kondisi operasi yang digunakan pembuatan komposit *moulding* yaitu suhu 200°C, tekanan 4 MPa selama 10 menit.



Gambar III.2 Mesin *hot press* merek *Yasuda Seiki Seisakusho*

Tabel III.2 Spesifikasi mesin *hot press* merek *Yasuda Seiki Seisakusho*

Keterangan	Spesifikasi
Ukuran plat	200x200 mm
Rentang suhu	max. 300°C
Sumber daya	AC 200 V, 1-Fase, 20 A, 50/60 Hz
Kapasitas	100 kN

Cara kerja dari mesin *hot press* merek *Yasuda Seiki Seisakusho* dimulai dengan menghidupkan mesin *hot press* yaitu menekan tombol power berwarna merah sebelah kanan. Selanjutnya, menghidupkan pemanas dan menekan tombol suhu pelat atas juga pelat bawah sesuai yang diinginkan. Pelat atas dan pelat bawah didekatkan dengan cara menaikkan pelat bawah ke atas samapai menempel pelat atas, bertujuan untuk mempercepat pelat agar mencapai suhu yang diinginkan.

Suhu yang diinginkan pada penelitian ini untuk memanaskan pelat sebesar 200°C. Pada penelitian ini menggunakan cetakan spesimen tipe A dari *Japanese Industrial Standard* (JIS) K 7139 (2007) atau ISO 3167 (2002). Cetakan ini diletakkan diantara pelat atas dan bawah supaya suhu cetakan sama dengan suhu pelat. Ketika suhu sudah sesuai mencapai 200°C, setelah itu menurunkan pelat bawah dan mengambil cetakan. Cetakan tersebut dimasukkan bahan yang ingin dicetak sampai padat, kemudian letakkan cetakan yang sudah terisi bahan ke bagian pelat bawah, lalu pompa *hot press* agar pelat bawah menekan pelat atas sampai tekanan 4 MPa. Proses pengisian bahan ke dalam cetakan, semakin cepat maka semakin baik untuk meminimalisir turunnya suhu pada cetakan. Proses untuk mencetak atau *hot press* berlangsung selama 10 menit. Setelah itu, tekanan *hot press* diturunkan secara perlahan untuk menghindari adanya kerusakan pada produk cetak. Cetakan dikeluarkan dari pelat bagian bawah dan mengeluarkan produk yang berbentuk spesimen *dogbone* secara perlahan dari cetakannya. Selanjutnya mematikan pemanas dan menekan tombol power berwarna merah sebelah kanan untuk mematikan mesin *hot press*. Proses pembuatan spesimen di mesin *hot press* sudah selesai, kemudian membersihkan mesin *hot press* ketika sudah dingin terutama pada bagian pelat atas dan pelat bawah juga membersihkan cetakan yang berbentuk spesimen *dogbone*.

III.4.3 Preparasi Pengujian

Preparasi pengujian ini menggunakan sampel yang sudah berbentuk spesimen *dogbone* dan dilakukan pengkondisian pengujian dengan menyimpan sampel minimal selama 1 hari. Setelah sampel sudah siap diuji lalu dilakukan terlebih dahulu pemotongan sampel berdasarkan pola *Japanese Industrial Standard* (JIS) K 7139 (2007) atau ISO 3167 (2002).

III.5 Tahap Pengujian

Tahap pengujian yang dilakukan yaitu sifat fisika dan sifat mekanik. Sifat fisika yang diuji pada penelitian ini adalah ketahanan air menggunakan nampan plastik, sedangkan sifat mekanik yang diuji adalah kekuatan lentur menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) merek SHIMADZU tipe AGS-X 10 kN.

III.5.1 Ketahanan Air

Ketahanan air adalah pengujian yang dilakukan direndamkan dalam air selama 24 jam. Pengujian ini menggunakan tiga spesimen persegi berukuran 20×20 mm yang sudah dipotong. Setelah itu, pengembangan tebal (*thickness swelling*) dan pertambahan panjang (*linear expansion*) diukur pada kondisi basah. Spesimen basah yang sudah diukur, kemudian dikeringkan dengan oven pada 80°C selama 15 jam, lalu dihitung perubahan ketebalan dan panjang berdasarkan sebelum perlakuan.

Nilai pertambahan panjang dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Pertambahan Panjang (\%)} = \frac{P_2 - P_1}{P} \times 100 \quad (\text{III.1})$$

dengan:

P_1 = panjang sebelum direndam (mm)

P_2 = panjang setelah direndam (mm)

Nilai pengembangan tebal dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Pengembangan Tebal (\%)} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \quad (\text{III.2})$$

dengan:

T_1 = tebal sebelum direndam (mm)

T_2 = tebal setelah direndam (mm)

III.5.2 Kekuatan Lentur

Kekuatan lentur menggunakan spesimen persegi panjang berukuran 80×10 mm dengan memotong kedua tepi pada spesimen *dogbone*. Pengujian ini menggunakan *three-point bending* yang dilakukan pada rentang 50 mm dan kecepatan 5 mm/menit dengan alat *Universal Testing Machine (UTM)* tipe AGS-X 10 kN. Pengujian ini dilakukan dalam rangkap tiga dan dihitung nilai rata-rata dari *Modulus of Elasticity (MOE)* dan *Modulus of Rupture (MOR)*.

Nilai *Modulus of Elasticity (MOE)* dapat dihitung dengan rumus:

$$MOE = \frac{\Delta PL^3}{4\Delta Ybh^3} \quad (III.3)$$

dengan:

MOE = kekuatan lentur (N/mm^2)

ΔP = beban di bawah batas proporsi (N)

ΔY = defleksi pada beban (mm)

L = jarak sangga (mm)

b = lebar contoh uji (mm)

h = tebal contoh uji (mm)

Nilai *Modulus of Rupture* (MOR) dapat dihitung dengan rumus:

$$MOR = \frac{3P_{max}L}{2bh^2} \quad (III.4)$$

dengan:

MOR = kekuatan patah (N/mm^2)

P_{max} = beban maksimum (N)

L = jarak sangga (mm)

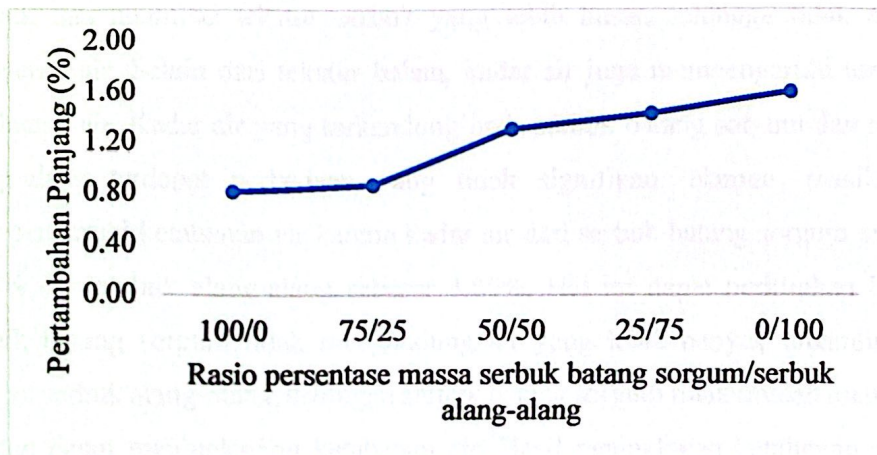
b = lebar contoh uji (mm)

h = tebal contoh uji (mm)

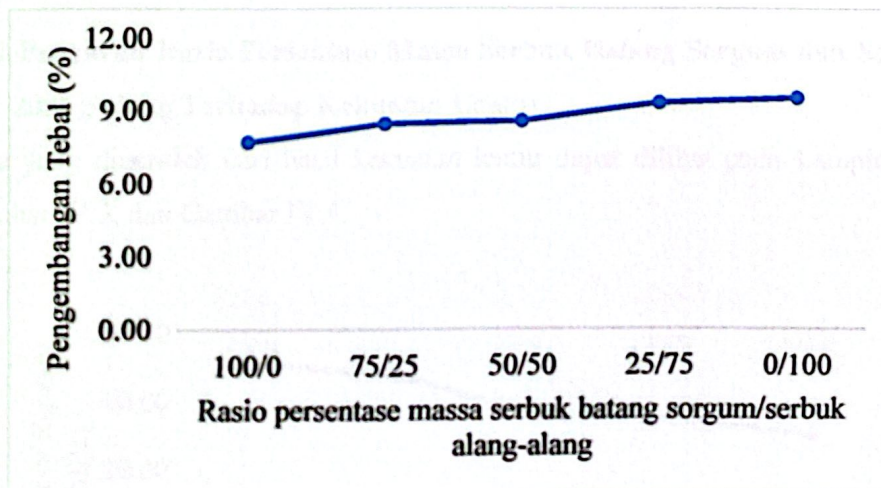
Bab IV Hasil dan Pembahasan

IV.1 Pengaruh Rasio Persentase Massa Serbuk Batang Sorgum dan Serbuk Alang-alang Terhadap Ketahanan Air

Hasil ketahanan air yang sudah dilakukan pada 5 sampel penelitian dapat dilihat pada Lampiran E, Gambar IV.1 dan Gambar IV.2. Hasil ini dianalisis berdasarkan pengaruh rasio persentase massa serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang.



Gambar IV.1 Pertambahan panjang komposit *moulding*



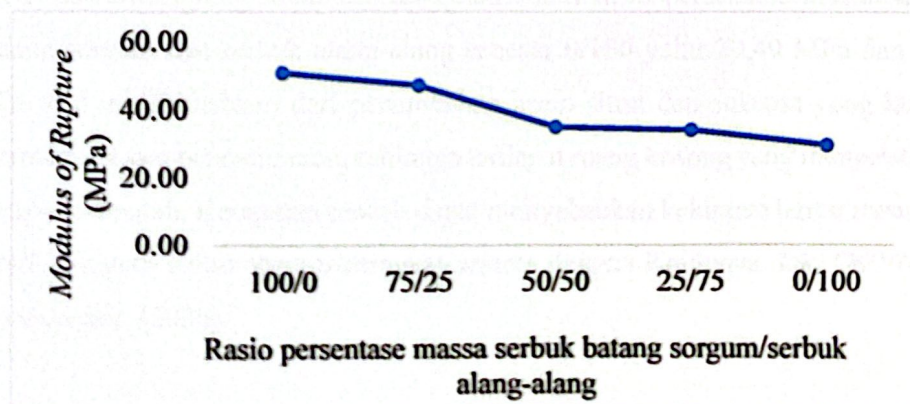
Gambar IV.2 Pengembangan tebal komposit *moulding*

Pada Gambar IV.1 dan Gambar IV.2 menunjukkan nilai pertambahan panjang dan pengembangan tebal yang tertinggi dihasilkan pada rasio persentase massa serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang sebesar 0/100 yaitu 1,59% dan 9,54%. Hasil

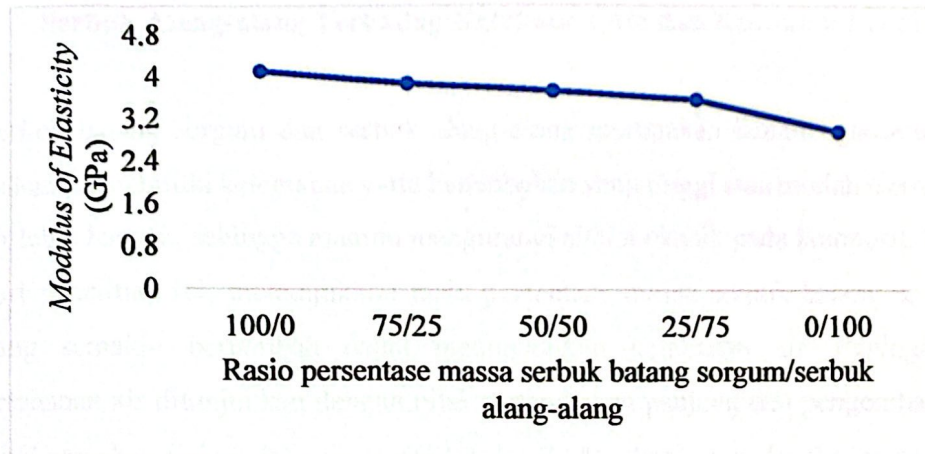
ini memperlihatkan bahwa nilai pertambahan panjang dan pengembangan tebal tertinggi dapat menurunkan ketahanan air. Hal ini disebabkan adanya ruang kosong yang tidak dapat ditutupi oleh perekat karena penambahan perekat kurang merata pada saat pencampuran, sehingga air mudah masuk ke dalam partikel komposit. Selain itu, nilai pertambahan panjang dan pengembangan tebal terendah diperoleh dari rasio persentase massa serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang sebesar 100/0 yaitu 0,81% dan 7,68%. Hasil ini menunjukkan bahwa ketahanan air meningkat karena penambahan rasio persentase massa serbuk batang sorgum lebih banyak dan memiliki tekstur serbuk yang lebih kasar, sehingga tidak mudah menyerap air. Selain dari tekstur bahan, kadar air juga mempengaruhi terhadap ketahanan air. Kadar air yang terkandung pada serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang terdapat perbedaan yang tidak signifikan. Namun, masih bisa mempengaruhi ketahanan air karena kadar air dari serbuk batang sorgum sebesar 3,38% dan serbuk alang-alang sebesar 3,86%. Hal ini dapat diperkirakan bahwa serbuk batang sorgum tidak mengandung air yang lebih banyak dibandingkan dengan serbuk alang-alang, sehingga serbuk batang sorgum tidak mudah menyerap air dan dapat meningkatkan ketahanan air. Hasil peningkatan ketahanan air ini selaras dengan Kajikawa dkk. (2020) dan Umemura dkk. (2012a).

IV.2 Pengaruh Rasio Persentase Massa Serbuk Batang Sorgum dan Serbuk Alang-alang Terhadap Kekuatan Lentur

Data yang diperoleh dari hasil kekuatan lentur dapat dilihat pada Lampiran E, Gambar IV.3, dan Gambar IV.4.



Gambar IV.3 Modulus of Rupture (MOR) komposit moulding



Gambar IV.4 Modulus of Elasticity (MOE) komposit *moulding*

Berdasarkan Gambar IV.3 dan Gambar IV.4 menunjukkan bahwa nilai MOR dan MOE mengalami penurunan, sehingga ini dapat menurunkan kekuatan lentur. Hasil kekuatan lentur mengalami penurunan yang ditunjukkan dengan penambahan rasio persentase massa serbuk alang-alang dan sebaliknya, penambahan rasio persentase massa serbuk batang sorgum mampu meningkatkan kekuatan lentur dengan nilai MOR dan MOE yang meningkat. Hasil kekuatan lentur pada penelitian ini, ditunjukkan dengan nilai MOR dan MOE yang maksimum dapat diperoleh dari rasio persentase massa serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang sebesar 100/0 yaitu 50,89 MPa dan 4,13 GPa. Hal ini dipengaruhi oleh proses pengempaan dengan pemanasan yang merata, sehingga tidak ada udara yang terperangkap pada komposit dan menghasilkan kerapatan tinggi yang dapat dilihat pada Lampiran E, oleh karena itu kekuatan lentur pada komposit ini dapat meningkat. Selain itu, nilai MOR dan MOE yang minimum didapatkan dari rasio persentase massa serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang sebesar 0/100 yaitu 29,49 MPa dan 2,99 GPa. Hal ini disebabkan dari penambahan asam sitrat dan sukrosa yang kurang merata pada saat pencampuran, sehingga terdapat ruang kosong yang menyebabkan kerapatan rendah. Kerapatan rendah dapat menyebabkan kekuatan lentur menurun. Hasil kekuatan lentur yang meningkat selaras dengan Kajikawa dkk. (2020) dan Widodo dkk. (2020).

IV.3 Analisis Hubungan Rasio Persentase Massa Serbuk Batang Sorgum dan Serbuk Alang-alang Terhadap Ketahanan Air dan Kekuatan Lentur

Serbuk batang sorgum dan serbuk alang-alang merupakan bahan lignoselulosa. Bahan ini memiliki kelemahan yaitu kelembaban yang tinggi atau mudah menyerap air lebih banyak, sehingga mampu mengurangi sifat mekanik pada komposit. Hasil dari penelitian ini, menunjukkan rasio persentase massa serbuk batang sorgum yang semakin bertambah dapat meningkatkan ketahanan air. Peningkatan ketahanan air ditunjukkan dengan nilai pertambahan panjang dan pengembangan tebal yang bernilai rendah sebesar 0,81% dan 7,68%. Penurunan ketahanan air juga diperlihatkan dengan nilai pertambahan panjang dan pengembangan tebal sebesar 1,59% dan 9,54%. Hal ini dapat diartikan bahwa ketahanan air yang meningkat maka penyerapan air yang masuk ke dalam partikel komposit tidak terlalu banyak, sehingga dapat meningkatkan kekuatan lentur dan sebaliknya, ketahanan air yang menurun ditunjukkan dengan air yang masuk lebih banyak ke dalam partikel komposit dan mengakibatkan kekuatan lentur menurun. Kekuatan lentur yang meningkat diperoleh dengan nilai MOR dan MOE sebesar 50,89 MPa dan 4,13 GPa, sedangkan kekuatan lentur yang menurun ditunjukkan dengan nilai MOR dan MOE sebesar 29,49 MPa dan 2,99 GPa. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi dalam peningkatan ketahanan air diantaranya penambahan perekat yang merata, faktor ini menyebabkan tidak adanya ruang kosong maka dapat meminimalisir air yang masuk ke dalam partikel komposit. Pada saat proses pengempaan juga mempengaruhi peningkatan ketahanan air yaitu memberikan pemanasan yang merata, sehingga tidak ada udara yang terperangkap dan menghasilkan kerapatan yang tinggi.

Bab V Penutup

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil pengujian serta analisis data yang diperoleh dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Rasio persentase massa serbuk batang sorgum semakin bertambah, maka dapat meningkatkan ketahanan air dengan ditunjukkan nilai pertambahan panjang dan pengembangan tebal yang semakin menurun.
2. Rasio persentase massa serbuk batang sorgum semakin bertambah, maka dapat meningkatkan kekuatan lentur dengan ditunjukkan nilai MOR dan MOE yang semakin meningkat.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka terdapat beberapa saran, yaitu:

1. Perlu adanya variasi baru yaitu lebih dari 20%-berat mengenai komposisi perekat pada pembuatan komposit *moulding* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan lentur.
2. Pada saat mengeluarkan spesimen dalam bentuk *dogbone* dari cetakan perlu dengan hati-hati agar tidak terjadi keretakan di bagian leher spesimen.
3. Perlu dilakukan pengujian gugus fungsi menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus ester yang terkandung setelah dilakukan proses pencampuran dan pengempaan dalam pembuatan komposit *moulding*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez, P., Blanco, C., Santamaría, R., dan Granda, K. (2005): Lignocellulose/pitch-based composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **36(5)**, 649-657.
- Bakeer, B., Taha, I., El-Mously, H., dan Shehata, S. A. (2013): On the characterisation of structure and properties of sorghum stalks. *Ain Shams Engineering Journal*, **4(2)**, 265-271.
- Campbell, F.C. (2010): Introduction to composite materials, ASM International, USA, 14-15.
- Chen, B., Luo, Z., Chen, H., Chen, C., Cai, D., Qin, P., Cao, H., dan Tan, T. (2018): Wood plastic composites from the waste lignocellulosic biomass fibers of bio-fuels processes: a comparative study on mechanical properties and weathering effects. *Waste and Biomass Valorization*, **11(5)**, 1701-1710.
- Eggleston, G. (2008): Sucrose and related oligosaccharides, *Oligosaccharides Glycoscience*, 1163–1183.
- Fatriasari, W., Masruchin, N., dan Hermiati, E. (2019): Selulosa karakteristik dan pemanfaatannya, LIPI Press, Jakarta, 6-11.
- Ferdian, B., Sunyoto, S., Karyanto, A., dan Kamal, M. (2015): Akumulasi bahan kering beberapa varietas tanaman sorgum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) ratoon 1 pada kerapatan tanaman berbeda, *Jurnal Agrotek Tropika*, **3(1)**, 41-48.
- Hairiah, K., Van Noordwijk, M., dan Purnomosidhi, P. (2000): Reclamation of Imperata grassland using agroforestry, International Centre for Research in Agroforestry, 4-5.
- Hasni, G. P. A. dan Islami, T. (2018): Pengaruh media tanam alang-alang dan serbuk gergaji kayu sengon pada pertumbuhan dan hasil jamur tiram putih (*Pleurotus Florida*), *Jurnal Produksi Tanaman*, **6(7)**, 1396-1403.
- Hermiati, E., Mangunwidjaja, D., Sunarti, T. C., Suparno, O., dan Prasetya, B. (2010): Pemanfaatan biomassa lignoselulosa ampas tebu untuk produksi bioethanol, *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, **29(4)**, 121-130.
- Hidayat, S., Fitriyah, Bakar, M. S. A., dan Phusunti, N. (2019): Pyrolysis of alang-alang (*Imperata Cylindrica*) as bioenergy source in Banten Province Indonesia, *Jurnal Kebijakan Pembangunan Daerah*, **3(1)**, 60-78.
- International Organization of Standardization (2002): ISO 3167 Plastic-multipurpose test specimens.
- Iswanto, A. H., Aritionang, W., Azhar, I., Supriyanto, dan Fatriasari, W. (2016): The physical, mechanical and durability properties of sorghum bagasse particleboard by layering surface treatment, *Journal of The Indian Academy of Wood Science*, **14(1)**, 1-8.
- Juliana, A. H., Lee, S. H., Paridah, M. T., Ashaari, Z., dan Lum, W. C. (2016): Development and characterization of wood and non-wood particle based green composites, *Green Energy and Technology*, 181–198.
- Kajikawa, S., Horikoshi, M., Kuboki, T., Tanaka, S., Umemura, K., dan Kanayama, K. (2020): Fabrication of naturally derived wood products by thermal flow

- molding of wood powder with sucrose and citric acid, *BioResources*, **15(1)**, 1702-1715.
- Kaila, S. (2018): Lignocellulosic composite materials, *Springer Series on Polymer and Composite*, India, 150-256.
- Kaw, A. K. (2006): Mechanics of composite materials second edition, CRC press, London, 45-46.
- Kusumah, S. S., Umemura, K., Guswenrivo, I., Yoshimura, T., dan Kanayama, K. (2017): Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid for manufacturing of particleboard II: Influences of pressing temperature and time on particleboard properties, *Journal of Wood Science*, **63(2)**, 161-172.
- Lee, S. H., Md Tahir, P., Lum, W. C., Tan, L. P., Bawon, P., Park, B. D., Al Edrus S. S. O., dan Abdullah, U. H. (2020): A review on citric acid as green modifying agent and binder for wood, *Polymers*, **12(8)**, 1692.
- Luo, Z., Li, P., Cai, D., Chen, Q., Qin, P., Tan, T., & Cao, H. (2016): Comparison of performances of corn fiber plastic composites made from different parts of corn stalk, *Industrial crops and products*, **95**, 521-527.
- Mardhatillah, S. (2018): Karakteristik papan partikel dari campuran sengon dengan batang sorgum menggunakan perekat asam sitrat, Skripsi, Institut Pertanian Bogor, 11-13.
- Mirasanti, N. (2015): Pengaruh suhu dan waktu pengempaan untuk meningkatkan kualitas papan partikel batang sorgum dengan perekat melamin formaldehida, Skripsi, Universitas Negeri Jakarta, 24-25.
- Mohanty, A. K., Misra, M., dan Drzal, L. T. (2005): Natural fibers, biopolymers, and biocomposites, CRC press, 21-22.
- Ndazi, B., Tesha, J. V., dan Bisanda, E. T. N. (2006): Some opportunities and challenges of producing bio-composites from non-wood residues, *Journal of Materials Science*, **41(21)**, 6984-6990.
- Oswaldo, Z. S., Putra, P., dan Faizal, M. (2012): Pengaruh konsentrasi asam dan waktu pada proses hidrolisis dan fermentasi pembuatan bioetanol dari alang-alang, *Jurnal Teknik Kimia*, **18(2)**, 52-62.
- Sastra, I. Putu K. A., Sari, N. H., dan Sujita (2013): Analisis uji penyerapan air dan struktur mikro komposit laminate hybrid serat sisal dan batang pisang dengan matrik epoxy, *Dinamika Teknik Mesin*, **3(1)**, 41-49.
- Scutaru, M. L., Itu, C., Marin, dan Grif, H. Ş. (2019): Bending tests used to determine the mechanical properties of the components of a composite sandwich used in civil engineering, *Procedia Manufacturing*, **32**, 259-267.
- Silka, Pasae, N., dan Lasarus, R. (2019): Analisis sifat mekanik serat kulit kayu khombouw dan serbuk bambu dengan uji bending. *Neutrino*, **2(1)**, 35-38.
- Situmorang, M. R. C., Sembiring, Y. P. D., Wombon, Orts de Retes, dan Kabes, R. (2015): Komposit dari *Imperata cylindrica* sebagai pengganti kayu untuk bahan furniture, Program Kreativitas Mahasiswa, Universitas Sebelas Maret, 4-5
- Stark, N. M., Cai, Z., dan Carll, C. (2010): Wood-based composite materials: Panel products, glued-laminated timber, structural composite lumber, and wood-nonwood composite materials, *Wood Handbook: Wood as An Engineering Material: Chapter 11*, 1-28.

- Sun, S., Zhao, Z., dan Umemura, K. (2019): Further exploration of sucrose-citric acid adhesive: synthesis and application on plywood, *Polymers*, **11**(11), 1875.
- Sunardi, Fitriana, I. N., dan Wianto, T. (2013): Sifat mekanik biokomposit polipropilena daur ulang menggunakan serat alang-alang (*Imperata Cylindrica*), *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, **5**(1), 37-43.
- Tatara, R. A. (2017): Compression molding, *Applied Plastics Engineering Handbook*, 291-320.
- Talanca, A. H., dan Andayani, N. N. (2016): Perkembangan perakitan varietas sorgum di Indonesia, *Balai Penelitian Tanaman Serealia*, Sulawesi Selatan.
- Teuber, L., Osburg, V. S., Toporowski, W., Militz, H., dan Krause, A. (2016): Wood polymer composites and their contribution to cascading utilisation, *Journal of Cleaner Production*, **110**, 9-15.
- Thomas, S., Joseph, K., Malhotra, S. K., Goda, K., dan Meyyarappallil, S. S. (2012): Polymer Composites, macro- and microcomposites, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. Kga, **1**(1), 4-5.
- Umemura, K., Ueda, T., Munawar, S. S., dan Kawai, S. (2011): Application of citric acid as natural adhesive for wood, *Journal of Applied Polymer Science*, **123**(4), 1992-1996.
- Umemura, K., Ueda, T., dan Kawai, S. (2012a): Characterization of wood-based molding bonded with citric acid, *Journal of Wood Science*, **58**(1), 38-45.
- Umemura, K., Ueda, T., dan Kawai, S. (2012b): Effects of moulding temperature on the physical properties of wood-based moulding bonded with citric acid, *Forest Products Journal*, **62**(1), 63-68.
- Väisänen, T., Haapala, A., Lappalainen, R., dan Tomppo, L. (2016): Utilization of agricultural and forest industry waste and residues in natural fiber-polymer composites: A review, *Waste Management*, **54**, 62-73.
- Velmurugan, B., Narra, M., Rudakiya, D. M., dan Madamwar, D. (2020): Sweet sorghum: a potential resource for bioenergy production, *In Refining Biomass Residues for Sustainable Energy and Bioproducts*, Academic Press, 215-242.
- Widodo, E., Kusumah, S. S., Subyakto, dan Umemura, K. (2020): Development of moulding using sweet sorghum bagasse and citric acid: effects of application method and citric acid content, *Forest Products Journal*, **70**(2), 151-157.
- Widyorini, R. dan Nugraha, P. A. (2015): Sifat fisis dan mekanis papan partikel sengon dengan perekat asam sitrat-sukrosa, *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, **13**(2), 175-184.



Nomor : *134* /BPSDMI/STMI/XI/2019
Lampiran :
Hal : **Permohonan Penelitian**

Jakarta, 25 November 2019

Kepada
Yth. Bapak/Ibu Pimpinan
Pusat Penelitian Biomaterial , LIPI
Kawasan Cibinong Science Center Jl. Raya
Bogor KM 46 Cibinong Bogor

Dalam rangka menambah wawasan dan mengaplikasikan teori yang didapat Mahasiswa/i di Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian RI, dengan ini memohon bantuan Bapak/Ibu agar bersedia menerima mereka yang namanya tersebut di bawah ini untuk melakukan Penelitian di Perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu pimpin selama kurang lebih 6 (enam) bulan.

Adapun nama mahasiswa/i yang akan melakukan Penelitian adalah:

No.	Nama	NIM	Bidang Kompetensi
1.	Triyati	1516023	Proses Produksi

Dalam pelaksanaannya kami mengharapkan bantuan bimbingan Bapak/Ibu agar mahasiswa/i kami dapat melakukannya dengan baik. Untuk selanjutnya kompetensi yang diperoleh dari hasil bimbingan Bapak/Ibu akan dipresentasikan dan mudah-mudahan dapat bermanfaat bagi perusahaan

Demikian atas bantuan dan kerjasama Bapak/Ibu, kami ucapkan terima kasih.



Dr. Ridzky Kramanandita, S.Kom, M.T
NIP : 19740302 200212 1 001

Tembusan:

1. Direktur STMI;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Peringgal

Nomor : 5 /IPH.4/KS.02.03//2020
Lamp. : -
Hal : Perizinan Penelitian
a.n. Triyati

Cibinong, 2 Januari 2020

Yang terhormat,
Pembantu Direktur I
Politeknik STMI Jakarta
Jl. Letjen Suprpto No. 26
Cempaka Putih
Jakarta

Sehubungan dengan surat Saudara nomor 134/BPSDMI/STMI/XI/2019, tertanggal 25 November 2019, perihal Permohonan Penelitian, dengan ini kami sampaikan, bahwa pada prinsipnya kami dapat menerima mahasiswa berikut:

Nama : Triyati
NIP : 1516023

untuk melakukan kegiatan penelitian di Pusat Penelitian Biomaterial, LIPI, dibawah bimbingan Prof. Dr. Subyakto, pada periode 2 Januari – 30 Juni 2020. Mohon untuk mahasiswa yang akan melakukan kegiatan penelitian, dapat melaksanakan ketentuan yang berlaku, yang informasinya dapat diperoleh di Bidang Pengelolaan Penelitian, Pusat Penelitian Biomaterial LIPI.

Biaya administrasi bimbingan adalah sebesar Rp. 500.000,-/mahasiswa/6 bulan, dapat dibayarkan melalui rekening Bank BRI a.n. Bpn 023 Pusat Penelitian Biomaterial, dengan nomor rekening 0012-01-00-1692-30-2, Bank BRI KC Dewi Sartika, Bogor. Mohon konfirmasi kepada kami dalam 1 x 24 jam setelah pelaksanaan pembayaran.

Atas perhatian dan kerja sama yang diberikan, kami ucapkan terima kasih.

Kepala,



Dr. Iman Hidayat

Tembusan:

1. Kepala Bidang Pengelolaan Penelitian, P2 Biomaterial LIPI
2. Dr. Sukma Surya Kusumah
3. Prof. Dr. Subyakto

Nomor : 100 /BPSDMI/STMI/PP/II/2020
Lampiran : 1 (satu)
Hal : Penugasan Proses Bimbingan Tugas Akhir
Tahun Akademik 2019/2020

Jakarta, 12 Februari 2020

Yth. Ibu DR. Erfina Oktariani, S.T., M. T
Di Jakarta

Berdasarkan Keputusan Direktur Politeknik STMI Jakarta Nomor 01/BPSDMI/STMI/PP/KEP/II/2020 tanggal 02 Januari 2020 tentang pengangkatan Dosen Pembimbing dan Asisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta Tahun Akademik 2019/2020, maka dengan ini kami mengharap bantuan Ibu untuk dapat memberikan bimbingan dalam penulisan / penyusunan Tugas Akhir kepada mahasiswa yang namanya tersebut di bawah ini:

Nama : Triyati
No. Induk : 1516023

Adapun judul Tugas Akhir yang bersangkutan berdasarkan proposal yang terdaftar adalah:

" Pembuatan Komposit Moulding dari Campuran Batang Sorgum dan Alang - Alang dengan Perekat Asam Sitrat dan Sukrosa untuk Komponen Otomotif. "

Demikian surat penugasan ini disampaikan. Atas perhatian dan bantuan Ibu kami ucapkan terima kasih.

Plt. Direktur 

Mustofa

Tembusan:

1. Pudir 1;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;



Nomor : 109 /BPSDMI/STMI/II/2020
Lampiran : 1 (satu)
Perihal : Asistensi Bimbingan Tugas Akhir
Tahun Akademik 2019/2020

Jakarta, 12 Februari 2020

Yth. Bapak Ir. Untung Prayudie, MTA
Di Jakarta

Berdasarkan Surat Keputusan Direktur Politeknik STMI Jakarta No: 01/BPSDMI/STMI/PP/KEP/II/2020 tanggal 02 Januari 2020 tentang pengangkatan Dosen Pembimbing dan Asisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta, Tahun Akademik 2019/2020, maka dengan ini kami mengharap bantuan Bapak untuk dapat memberikan bimbingan dalam penulisan / penyusunan Tugas Akhir kepada mahasiswa yang namanya tersebut di bawah ini:

Nama : Triyati
No. Induk : 1516023

Adapun judul Tugas Akhir mahasiswa tersebut adalah:

" Pembuatan Komposit Moulding dari Campuran Batang Sorgum dan Alang - Alang dengan Perekat Asam Sitrat dan Sukrosa untuk Komponen Otomotif. "

Demikian surat ini kami sampaikan. Atas perhatian dan bantuan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Plt. Direktur 

Mustofa

Tembusan:

1. Pudir 1;
2. Ka Prodi TKP;
3. Dosen Pembimbing;
4. Mahasiswa yang bersangkutan;



Lampiran D Perhitungan

Ketahanan Air

1. Pertambahan Panjang Komposit *Moulding*

Sampel	Serbuk Batang Sorgum (%-berat)	Serbuk Alang-alang (%-berat)	Pertambahan Panjang (%)
1	100	0	0,81
2	75	25	0,87
3	50	50	1,31
4	25	75	1,43
5	0	100	1,59

a. Sampel 1 (100:0), ulangan 1

$$\text{Pertambahan Panjang (\%)} = \frac{20,30 \text{ mm} - 20,17 \text{ mm}}{20,17 \text{ mm}} \times 100 = 0,64\%$$

b. Sampel 2 (100:0), ulangan 2

$$\text{Pertambahan Panjang (\%)} = \frac{20,36 \text{ mm} - 20,16 \text{ mm}}{20,16 \text{ mm}} \times 100 = 0,99\%$$

Sampel 3 (100:0), ulangan 3

$$\text{c. Pertambahan Panjang (\%)} = \frac{20,34 \text{ mm} - 20,18 \text{ mm}}{20,18 \text{ mm}} \times 100 = 0,79\%$$

$$\text{Rata-rata Pertambahan Panjang (\%)} = \frac{0,64 + 0,99 + 0,79}{3} \times 100 = 0,81\%$$

2. Pengembangan Tebal Komposit *Moulding*

Sampel	Serbuk Batang Sorgum (%-berat)	Serbuk Alang-alang (%-berat)	Pengembangan Tebal (%)
1	100	0	7,68
2	75	25	8,44
3	50	50	8,56
4	25	75	9,32
5	0	100	9,54

a. Sampel 1 (100:0), ulangan 1

$$\text{Pengembangan Tebal (\%)} = \frac{3,11 \text{ mm} - 2,95 \text{ mm}}{2,95 \text{ mm}} \times 100 = 5,42\%$$

b. Sampel 2 (100:0), ulangan 2

$$\text{Pengembangan Tebal (\%)} = \frac{3,16 \text{ mm} - 2,94 \text{ mm}}{2,94 \text{ mm}} \times 100 = 7,48\%$$

Sampel 3 (100:0), ulangan 3

$$\text{c. Pengembangan Tebal (\%)} = \frac{3,26 \text{ mm} - 2,96 \text{ mm}}{2,96 \text{ mm}} \times 100 = 10,14\%$$

$$\text{Rata-rata Pengembangan Tebal (\%)} = \frac{5,42 + 7,48 + 10,14}{3} \times 100 = 7,68\%$$

Kekuatan Lentur

1. *Modulus of Rupture (MOR)*

Sampel	Serbuk Batang Sorgum (%-berat)	Serbuk Alang-alang (%-berat)	<i>Modulus of Rupture (MPa)</i>
1	100	0	50,89
2	75	25	47,08
3	50	50	35,07
4	25	75	34,09
5	0	100	29,49

2. *Modulus of Elasticity (MOE)*

Sampel	Serbuk Batang Sorgum (%-berat)	Serbuk Alang-alang (%-berat)	<i>Modulus of Elasticity (GPa)</i>
1	100	0	4,13
2	75	25	3,88
3	50	50	3,73
4	25	75	3,57
5	0	100	2,99

Kadar Air

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{B - (C - A)}{B} \times 100\%$$

dengan:

A= berat kering oven wadah kosong (gram)

B= berat sampel awal (gram)

C= berat kering oven sampel dan wadah kaca akhir (gram)

Serbuk Batang Sorgum

No	Berat cawan kosong (gram)	Berat sampel awal (gram)	Berat akhir sampel dan cawan (gram)	Kadar air (%)
1	34,894	2,000	36,814	4,00
2	29,668	2,000	31,608	3,00
3	29,493	2,000	31,430	3,15

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{2,000 - (36,814 - 34,894)}{2,000} \times 100 = 4,00\%$$

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{2,000 - (31,608 - 29,668)}{2,000} \times 100 = 3,00\%$$

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{2,000 - (31,430 - 29,493)}{2,000} \times 100 = 3,15\%$$

$$\text{Rata-rata Kadar Air (\%)} = \frac{4,00 + 3,00 + 3,15}{3} \times 100 = 3,38\%$$

Serbuk Alang-alang

No	Berat cawan kosong (gram)	Berat sampel awal (gram)	Berat akhir sampel dan cawan (gram)	Kadar air (%)
1	29,296	2,000	31,206	4,50
2	31,147	2,000	33,085	3,10
3	28,665	2,000	30,585	4,00

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{2,000 - (31,206 - 29,296)}{2,000} \times 100 = 4,50\%$$

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{2,000 - (33,085 - 31,147)}{2,000} \times 100 = 3,10\%$$

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{2,000 - (30,585 - 28,665)}{2,000} \times 100 = 4,00\%$$

$$\text{Rata-rata Kadar Air (\%)} = \frac{4,50 + 3,10 + 4,00}{3} \times 100 = 3,86\%$$

Kerapatan

Sampel	Serbuk Batang Sorgum (%-berat)	Serbuk Alang-alang (%-berat)	Kerapatan (g/m ³)
1	100	0	1,015

Sampel	Serbuk Batang Sorgum (%-berat)	Serbuk Alang- alang (%-berat)	Kerapatan (g/m^3)
2	75	25	0,981
3	50	75	0,973
4	25	50	0,959
5	0	100	0,957

Lampiran E Alat



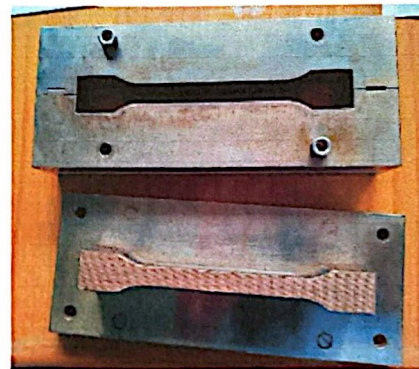
Neraca analitik



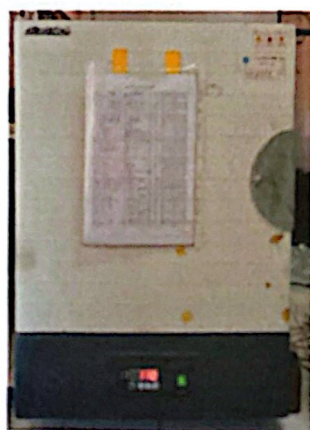
Mortar



*Hot press merek Yasuda Seiki
Seisakusho 100 kN*



Cetakan spesimen



Oven



Saringan 60 mesh



Sarung tangan kulit



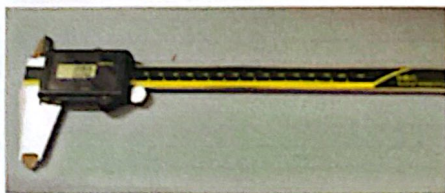
Sarung tangan rajut



Mesin hammer mill



Spatula



Jangka sorong



UTM merek SHIMADZU tipe AGS-
X 10 kN



Tray



Nampan plastik

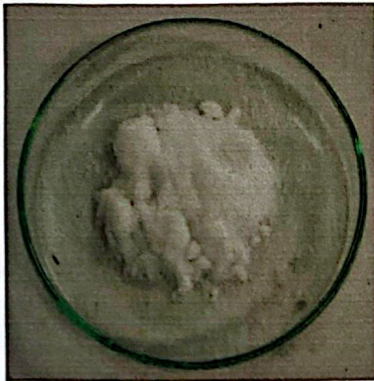
Lampiran F Bahan



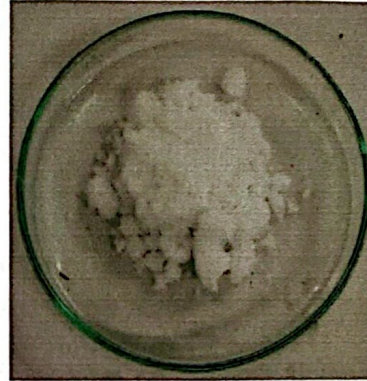
Serbuk Batang sorgum



Serbuk Alang-alang



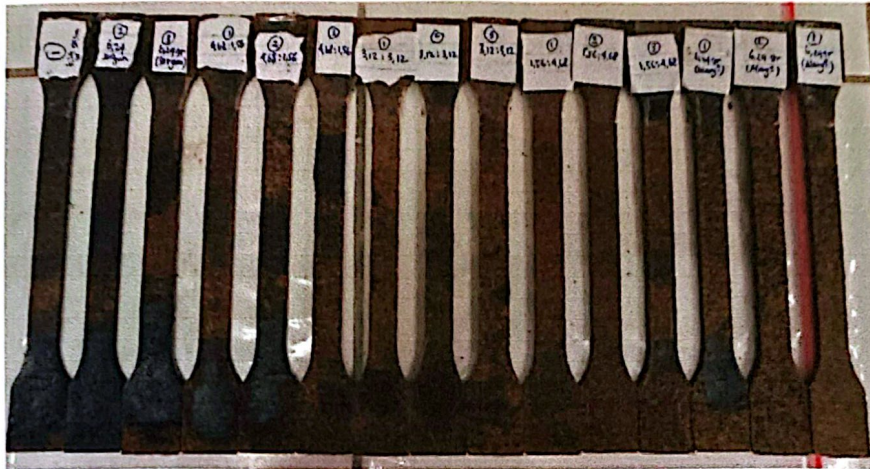
Asam sitrat



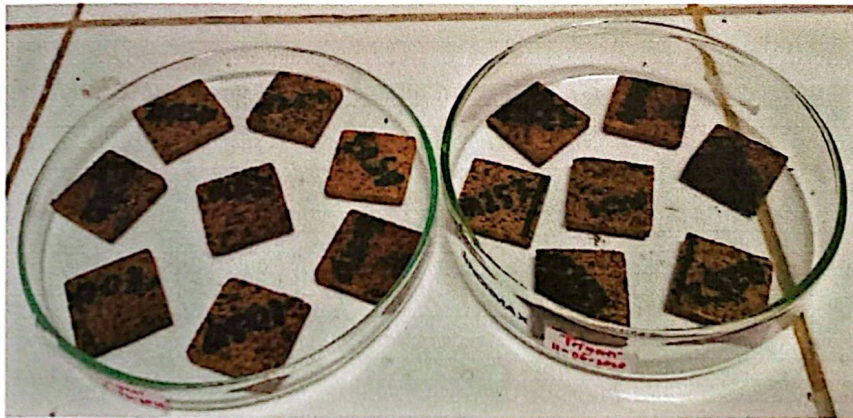
Sukrosa

Lampiran G Sampel Penelitian

1. Sampel yang dibuat dalam bentuk spesimen *dogbone*



2. Sampel yang digunakan untuk ketahanan air

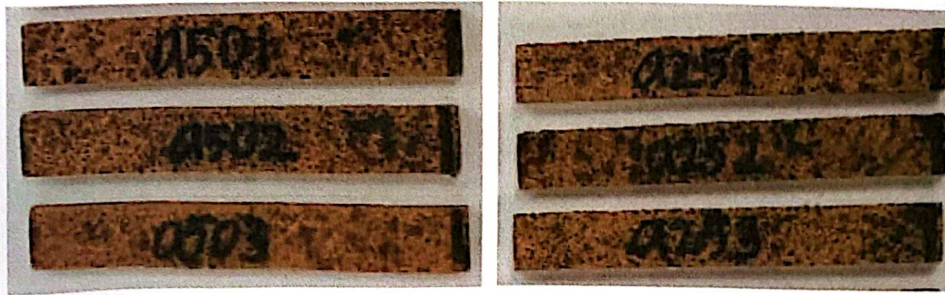


3. Sampel yang digunakan untuk kekuatan lentur



Rasio Persentase Massa Serbuk Batang Sorgum dan Serbuk Alang-alang 100/0

Rasio Persentase Massa Serbuk Batang Sorgum dan Serbuk Alang-alang 75/25



Rasio Persentase Massa Serbuk Batang Sorghum dan Serbuk Alang-alang 50/50 Rasio Persentase Massa Serbuk Batang Sorghum dan Serbuk Alang-alang 25/75



Rasio Persentase Massa Serbuk Batang Sorghum dan Serbuk Alang-alang 0/100