

SITI DARA FAHMA SHAFIRA_3331200028_Full

by Turnitin User

Submission date: 28-Feb-2024 08:28PM (UTC+1100)

Submission ID: 2306837614

File name: SITI_DARA_FAHMA_SHAFIRA_3331200028_Fulltext.pdf (1.82M)

Word count: 14799

Character count: 89448

**KARAKTERISASI BOKOMPOSIT BERBAHAN CANGKANG
TELUR AYAM DENGAN PENGIKAT KARET ALAM
SEBAGAI PEMBANDING PLASTIK *ACRYLONITRILE*
BUTADIENE STYRENE (ABS)**

SKRIPSI



Disusun Oleh:

**Siti Dara Fahma Shafira
3331200028**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN
2023**

**KARAKTERISASI BOKOMPOSIT BERBAHAN CANGKANG
TELUR AYAM DENGAN PENGIKAT KARET ALAM
SEBAGAI PEMBANDING PLASTIK *ACRYLONITRILE*
BUTADIENE STYRENE (ABS)**

SKRIPSI

**Untuk Memenuhi Sebagai Persyaratan Mencapai Derajat Sarjana S1
Pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun Oleh:

**Siti Dara Fahma Shafira
3331200028**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN
2023**

TUGAS AKHIR

**Karakterisasi Biokomposit Berbahan Cangkang Telur Ayam Dengan Pengikat Karet Alam Sebagai
Pemanding Plastik Acrylonitrile Butadiene Styrene (Abs)**

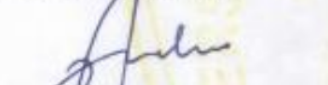
Diperstapkan dan disusun oleh:

Siti Dara Fahma Shafira
3331200028

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 15 Desember 2023


Pembimbing Utama


Emy Listjorini, ST., MT.
NIP. 197011022005012001


Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.
NIP. 198902262015041002

Anggota Dewan Penguji


Sunardi, ST., M.Eng.
NIP. 197312052006041002


Shofiatul Ula, S.Pd.L., M.Eng.
NIP. 198403132019032009


Emy Listjorini, ST., MT.
NIP. 197011022005012001


Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.
NIP. 198902262015041002

Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal, 27 Desember 2023
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

Dhinias Satria, S.T., M.Eng.
NIP. 198305102012121006

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Siti Dara Fahma Shafira

NPM : 3331200028

Judul : Karakterisasi Biokomposit Berbahan Cangkang Telur Ayam
Dengan Pengikat Karet Alam Sebagai Pembanding Plastik
Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya.

Cilegon, Desember 2023



Siti Dara Fahma Shafira

NPM. 3331200028

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa ta'ala, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Karakterisasi Biokomposit Berbahan Cangkang Telur Ayam dengan Pengikat Karet Alam Sebagai Pemanding Plastik *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS)” dengan baik. Penulis menyadari bahwa, tanpa bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak penulis tidak dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan banyak motivasi dan dukungan.
2. Ibu Erny Listijorini, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan motivasi dan arahan sekaligus menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan motivasi dan arahan sekaligus menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Eng. Hendra, S.T., M.T., sebagai dosen pembimbing akademik yang telah membimbing selama proses perkuliahan penulis dari awal hingga penyusunan skripsi.
5. Civitas Akademika Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas ilmu, bantuan, dan bimbingan yang telah diberikan pada selama menjalani perkuliahan.
6. Bapak Fina Rosa dan Ibu Tita Rastika sebagai orang tua penulis. Proposal tugas akhir ini penulis persembahkan untuk kedua orang tua, yang menjadi orang paling istimewa dalam hidup penulis. Sebagai sosok terbaik, dan

penulis sangat beruntung memiliki bapak dan ibu yang senantiasa menemani setiap langkah perjalanan hidup penulis.

7. Moch Dera Fajar Septiano sebagai kakak yang menemani setiap momen hidup penulis, mendo'akan dan memberikan semangat agar proposal tugas akhir ini dapat segera terselesaikan.
8. Akhmad Ryandeka Efendi dan Aulia Rahil Asy syaidah sebagai sahabat terbaik penulis yang telah menemani, membantu, dan memberikan motivasi penulis agar mengerjakan tugas akhir dari awal hingga akhir dengan baik dan benar.
9. Intan Nazwa dan Fitri Sri Devi sebagai sahabat terdekat penulis yang telah menemani perjalan sehari-hari penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
10. Asisten Laboratorium Fisika Terapan Angkatan 2018, 2019, 2020, dan 2021 sebagai rekan penulis yang selalu membantu dan mendukung penulis selama perkuliahan hingga menyelesaikan skripsi.
11. Rekan mahasiswa Jurusan Teknik Mesin angkatan tahun 2020 yang memberikan semangat dan motivasi selama perkuliahan sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian tugas akhir dengan baik.

Akhir kata, penulis berharap Allah Subhanahu Wa ta'ala berkenan membalas segala kebaikan kepada semua pihak yang telah membantu. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca sehingga penelitian ini membawa manfaat bagi perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan.

Cilegon, Desember 2023

Penulis

ABSTRAK

Karakterisasi Biokomposit Berbahan Cangkang Telur Ayam dengan Pengikat Karet Alam Sebagai Pembanding Plastik *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS)

Disusun Oleh:

Siti Dara Fahma Shafira

NIM. 3331200028

Perkembangan teknologi yang tidak terlepas dari ilmu material diperlukan guna tercipta sebuah peralatan dan bahan yang sesuai dengan kebutuhan pada semua aspek kehidupan. Salah satu perkembangan tersebut adalah material komposit. Komposit dibuat untuk menyempurnakan kebutuhan material tertentu, salah satunya yaitu plastik konvensional yang bersifat tidak ramah lingkungan. Pada penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi *filler* serbuk cangkang telur ayam dan sulfur, serta mendapatkan nilai optimum berdasarkan variasi dan mengetahui variasi yang memiliki pengaruh tinggi terhadap densitas serta persentase kadar air, daya serap, dan porositas. Sampel komposit dibuat dengan metode pencampuran dari beberapa bahan matriksnya seperti karet alam, sulfur, ZnO, dan asam stearat dengan variasi *filler* serbuk cangkang telur sebesar 55%, 60%, 65%. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan menimbang massa, pengukuran volume, proses pengeringan, dan proses perendaman untuk mengetahui sifat fisik pada sampel komposit. Hasil pengujian membuktikan bahwa variasi komposisi *filler* dan sulfur berpengaruh pada densitas, porositas, kadar air, dan daya serap. Serta terdapat nilai optimum untuk *filler* sebesar 55%, tekanan *hot press* sebesar 50 MPa, temperatur *hot press* 150°C, waktu *hot press* 70 menit.

Kata Kunci : Komposit, Cangkang Telur, Densitas, Porositas, Kadar Air, Daya Serap

ABSTRACT

Characterization Of Biocomposites Made From Chicken Eggshells With Natural Rubber Binders As A Comparison Of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) Plastic

Arranged by:

Siti Dara Fahma Shafira

3331200028

Technological developments that cannot be separated from materials science are needed to create equipment and materials that suit the needs of all aspects of life. One of these developments is composite materials. Composites are made to improve the needs of certain materials, one of which is conventional plastic which is not environmentally friendly. This research was carried out to analyze the effect of variations in the composition of chicken egg shell powder and sulfur filler, as well as to obtain optimum values based on the variations and determine which variations have a high influence on density and percentage of water content, absorption capacity and porosity. Composite samples were made by mixing several matrix materials such as natural rubber, sulfur, ZnO, and stearic acid with variations in eggshell powder filler of 55%, 60%, 65%. This research was carried out by weighing the mass, measuring the volume, drying process and soaking process to determine the physical properties of the composite samples. The test results prove that variations in filler and sulfur composition have an effect on density, porosity, water content and absorption capacity. And there is an optimum value for filler of 55%, hot press pressure of 50 MPa, hot press temperature of 150°C, hot press time of 70 minutes.

Keywords : *Composite, EggShell, Density, Porosity, Water Content, Water Absorption*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>State of The Art</i>	5
2.2 Plastik	6
2.2.1 Plastik <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)</i>	7
2.3 Komposit	8
2.4 Cangkang Telur Ayam	11
2.5 Karet Alam	12
2.6 Proses Vulkanisasi Sulfur.....	13
2.7 Karakteristik Fisik Komposit	15
2.7.1 Densitas	15
2.7.2 <i>Water Content</i> (Kadar Air)	16
2.7.3 <i>Water Absorption</i> (Daya Serap).....	16
2.7.4 Porositas	17
BAB III METODOLOGI PRAKTIKUM	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan	21
3.2.1 Alat	21
3.2.2 Bahan	25

3.3	Variabel Pengujian.....	27
3.4	Prosedur Pengujian.....	28
3.4.1	Penentuan Variasi Sampel	28
3.4.2	Preparasi Sampel	28
3.4.3	Pembuatan Sampel	29
3.4.4	Pengujian Sampel dan Analisis Data	30
3.5	Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian	34
BAB IV DATA DAN ANALISIS		
4.1	Kebutuhan Bahan Pembuatan Sampel Komposit.....	35
4.2	Data Sampel Komposit.....	38
4.3	Hasil Pengujian Densitas	39
4.4	Hasil Pengujian Porositas	43
4.5	Hasil Pengujian Kadar Air.....	46
4.6	Hasil Pengujian Daya Serap Air	48
4.7	Pembahasan	53
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran	60
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Partikel Sebagai Penguat Komposit.....	9
Gambar 2.2 Fiber Sebagai Penguat Komposit.....	10
Gambar 2.3 Stukur Sebagai Penguat Komposit	10
Gambar 2.4 Komposit Berdasarkan Susunan Stuktur	10
Gambar 2.5 Cangkang Telur Ayam.....	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3.2 Desikator.....	21
Gambar 3.3 <i>Hot Press Machine</i>	22
Gambar 3.4 <i>Oven</i>	22
Gambar 3.5 Cetakan	23
Gambar 3.6 <i>Cold Press Machine</i>	23
Gambar 3.7 Jangka Sorong.....	24
Gambar 3.8 Cawan Keramik	24
Gambar 3.9 Gelas Ukur	25
Gambar 3.10 Serbuk Cangkang Telur Ayam	25
Gambar 3.11 Karet Alam Cair	25
Gambar 3.12 Sulfur	26
Gambar 3.13 ZnO	26
Gambar 3.14 Asam stearat.....	26
Gambar 3.15 Akuades.....	27
Gambar 3.16 Diagram Alir Preparasi Sampel	29
Gambar 3.17 Diagram Alir Pembuatan Sampel	30
Gambar 3.18 Diagram Alir Pengujian Kadar Air	31
Gambar 3.19 Diagram Alir Pengujian Densitas dan Porositas	33
Gambar 3.20 Diagram Alir Pengujian Daya Serap Air	34
Gambar 4.1 Densitas Sampel dengan Variasi Komposisi <i>Filler</i>	41
Gambar 4.2 Anova Densitas pada Variasi Komposisi <i>Filler</i>	42
Gambar 4.3 Porositas Sampel dengan Variasi Komposisi <i>Filler</i>	44
Gambar 4.4 Anova Porositas pada Variasi Komposisi <i>Filler</i>	45

Gambar 4.5 Kadar Air pada Variasi Komposisi <i>Filler</i>	48
Gambar 4.6 Anova Kadar Air pada Variasi Komposisi <i>Filler</i>	49
Gambar 4.7 Daya Serap Air pada Variasi Komposisi <i>Filler</i>	51
Gambar 4.8 Anova Daya Serap Air pada Variasi Komposisi <i>Filler</i>	52
Gambar 4.9 Nilai Optimum Sampel Variasi Komposisi <i>Filler</i>	53
Gambar 4.9 Nilai <i>Signal to Noise</i> Sampel Variasi Komposisi <i>Filler</i>	54

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 <i>State of Art</i>	5
Tabel 2.2 Komposisi Nutrisi Cangkang Telur Ayam	11
Tabel 2.3 Persentase Kadar pada Berbagasi Jenis Plastik	17
Tabel 2.4 Persentase Daya Serap pada Berbagasi Jenis Plastik	17
Tabel 3.1 Matrik Otrogonal Tiga Level	26
Tabel 4.1 Komposisi Papan Partikel A	35
Tabel 4.2 Komposisi Papan Partikel A dalam gram	35
Tabel 4.3 Komposisi Papan Partikel B	36
Tabel 4.4 Komposisi Papan Partikel B dalam gram	36
Tabel 4.5 Komposisi Papan Partikel C	37
Tabel 4.6 Komposisi Papan Partikel C dalam gram	37
Tabel 4.7 Sampel dengan Variasi Komposisi Filler dan Matriks	38
Tabel 4.8 Densitas Sampel dengan Variasi Komposisi <i>Filler</i>	39
Tabel 4.9 <i>Percent Difference</i> Densitas Sampel dengan Plastik ABS	41
Tabel 4.10 Porositas Sampel dengan Variasi Komposisi <i>Filler</i>	43
Tabel 4.11 Perbandingan Porositas Sampel dengan Plastik ABS.....	44
Tabel 4.12 Kadar Air Sampel dengan Variasi Komposisi <i>Filler</i>	46
Tabel 4.13 <i>Percent Difference</i> Kadar Air Sampel dengan Plastik ABS	49
Tabel 4.14 Daya Serap Sampel dengan Variasi Komposisi <i>Filler</i>	50
Tabel 4.15 Daya Serap Sampel dengan Plastik ABS	52

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dunia yang sangat pesat berdampak besar terhadap seluruh sektor. Berkembangnya teknologi tidak terlepas dari ilmu material, semua aspek kehidupan memerlukannya guna tercipta sebuah peralatan dan bahan yang sesuai dengan kebutuhan. Salah satunya kemajuan ilmu untuk mengembangkan material yang ramah lingkungan. Saat ini plastik konvensional atau senyawa sintesis melalui reaksi polimerisasi yang berasal dari minyak bumi masih menjadi daya tarik tersendiri bagi masyarakat di dunia. Plastik yang merupakan polimer yang memiliki ukuran molekul yang sangat besar dan bersifat *inert* (tidak mudah bereaksi), berat molekulnya mencapai ratusan ribu hingga jutaan, dan hanya dapat terdegradasi dalam waktu ratusan tahun, bahkan ribuan tahun (Sanjaya dan Puspita, 2010). Sifatnya yang ringan, kuat, anti korosi, dan murah menjadi nilai tambah bagi penggunaan plastik diberbagai peralatan. Pada tahun 2022, Direktur Pengelolaan Sampah Kementerian Hidup dan Kehutan menyampaikan bahwa total sampah plastik di Indonesia mencapai 12,54 juta ton. Timbunan sampah plastik di Indonesia terus meningkat sejak tahun 1995. Kurangnya kesadaran masyarakat akan pengolahan sampah plastik menjadi masalah terakit penimbunan sampah plastik di Indonesia. Hal ini menjadi fokus perhatian terhadap proses pengembangan plastik yang memiliki sifat ramah lingkungan. Seiring berkembangnya teknologi, muncul berbagai cara untuk mengganti peran plastik salah satunya melalui komposit. Saat ini komposit banyak dikembangkan dalam bidang sains dan teknologi. Bahan komposit yang banyak diaplikasikan saat ini yakni bahan komposit dengan matrik polimer. Dalam hal ini polimer digunakan sering digunakan sebagai matrik diharapkan dapat memperbaiki sifat dari material paduannya termasuk pada sifat kekakuan dan kekuatan dari *filler*. Terdapat banyak material yang digunakan sebagai *filler* yang berbasis material

organik seperti serbuk cangkang telur ayam dan karet alam sebagai matrik polimer.

Cangkang telur ayam menjadi salah satu material organik yang mudah ditemukan dan mudah pengolahannya. Telur ayam menjadi salah bahan pangan yang banyak dikonsumsi masyarakat Indonesia. Sepanjang tahun 2022, Badan Pusat Statistik (BPS) menyampaikan produksi telur ayam ras petelur di Indonesia mencapai 5,57 juta ton. Hal tersebut membuat telur ayam menjadi penghasil limbah organik yang akan terbuang tanpa diolah kembali dan dimanfaatkan. Limbah telur ayam berupa cangkang telur dan diolah menjadi serbuk dapat digunakan sebagai *filler* dan dapat berpengaruh terhadap bahan komposit yang dihasilkan akan semakin kuat. Selain itu penambahan karet alam sebagai matrik akan mendapatkan daya tekan yang lebih tinggi dan resistansi terhadap air, sehingga dapat menggantikan peran plastik konvensional seperti plastik ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) yang saat ini diaplikasikan sebagai salah satu material pada *electric vehicle*. Pada penelitian ini diharapkan agar penelitian yang berjudul “Karakterisasi Biokomposit Berbahan Cangkang Telur Ayam dengan Pengikat Karet Alam Sebagai Pembanding Plastik *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS)” ini dapat menjadi acuan tentang pemanfaatan limbah cangkang telur ayam sebagai bahan pembuat biokomposit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang terdapat rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh variasi komposisi *filler* serbuk cangkang telur ayam terhadap densitas, persentase kadar air, daya serap, dan porositas?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun beberapa tujuan yang ingin dicapai dengan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh variasi komposisi *filler* serbuk cangkang telur ayam terhadap densitas serta persetanse kadar air, daya serap, dan porositas.
2. Mendapatkan nilai optimum berdasarkan variasi terhadap densitas serta persetanse kadar air, daya serap, dan porositas.
3. Mengetahui variasi yang memiliki pengaruh tinggi terhadap densitas serta persetanse kadar air, daya serap, dan porositas.

1.4 Batasan Masalah

Terdapat ruang lingkup yang membatasi pada penelitian ini. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Provinsi Banten dan Laboratorium Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong. Bahan yang digunakan adalah serbuk cangkang telur ayam sebagai *filler* (bahan pengisi) dengan ukuran 100 mesh dan zat perekat (matriks) yang digunakan adalah karet alam cair, sulfur, ZnO, dan asam stearat. Uji yang dilakukan terhadap komposit adalah analisis sifat fisik berupa densitas serta persetanse kadar air, daya serap, dan porositas. Pokok permasalahan yang dibahas adalah pengaruh komposisi *filler* serbuk cangkang telur ayam sebesar 55%, 60%, 65% dan matriks karet alam cair sebesar 45%, 40% dan 35%, dengan variasi temperatur *hott press*, tekanan *hott press*, dan waktu *hot press* terhadap sifat fisik berupa densitas serta persetanse kadar air, daya serap, dan porositas.

1.5 Manfaat Penelitian

Dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi peneliti, pembaca, dan industri secara langsung. Adapun beberapa manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Solusi pengolahan sampah organik dan penimbunan sampah plastik di Indonesia.
2. Menjadi solusi pengolahan limbah cangkang telur ayam agar meningkatkan nilai ekonomis.
3. Meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap *reduce*, *reuse*, dan *recycle* sebuah bahan yang dianggap limbah sekali pakai.
4. Produk biokomposit dapat dijadikan solusi pengganti plastik konvensional yaitu plastik ABS yang memiliki karakteristik kuat, ringan, daya serap air yang rendah, murah, dan tahan korosi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of The Art*

Penelitian ini dilakukan dengan didasari oleh penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh peneliti sebagai literatur dan sumber referensi. Pada tabel 2.1 menunjukkan referensi berdasarkan jurnal atau tulisan ilmiah yang menjadi dasar dilaksanakannya penelitian ini.

Tabel 2.1 *State of Art*

No.	Judul dan Tahun Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian
1.	<p>1</p> <p>Pembuatan Komposit Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene Terephthalate (Pet)</i> Berbasis Serat Alam Daun Pandan Laut (<i>Pandanus Tectorius</i>) (Thoufan, 2017)</p>	<p>1</p> <p>Pemanfaatan daun pandan laut (<i>pandanus tectorius</i>) sebagai satu alternatif bahan alam yang dapat digunakan sebagai filler dalam pembuatan komposit serta mengetahui karakterisasi komposit.</p>	<p>1</p> <p>Karakterisasi yang dilakukan maka diketahui jenis komposit dengan komposisi 30% <i>filler</i> dan 70% matriks memiliki karakteristik terbaik untuk dilakukan pengembangan lebih lanjut karena memiliki nilai kadar air, densitas, porositas, dan daya serap air yang sesuai dengan standar yang berlaku.</p>

2.	⁴ <p>Karakterisasi Fisik Komposit Plastik <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) Berbasis Serat Alam Daun Pandan Laut (<i>Pandanus tectorius</i>) dan Aplikasinya sebagai Bahan Baku Casing pada Produk Elektronik (Rani, 2021)</p>	⁴ <p>Pembuatan komposit berbasis serat alam daun pandan laut sebagai pengisi serta menentukan karakteristik fisik komposit berbasis serat alam daun pandan laut.</p>	⁴ <p>Penentuan karakterisasi komposit terbaik yang diperoleh yaitu jenis KPL 2 (20% filler selulosa daun pandan laut : 80% matriks <i>pellet polyethylene terephthalate</i>) karena memiliki kadar air, densitas, dan porositas yang sesuai</p>

Dengan mengetahui beberapa literatur dan referensi yang mendasari penelitian ini, maka penelitian ini akan dilakukan untuk mengetahui sifat fisik berupa densitas serta persentase kadar air, daya serap, dan porositas biokomposit berbahan cangkang telur ayam dengan pengikat karet alam sebagai pembanding plastik *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS). Penelitian ini dilakukan untuk menjadi solusi pengganti material plastik yang sulit terurai menjadi material biokomposit yang memiliki karakteristik yang sama dengan plastik konvensional.

2.2 Plastik

Plastik adalah bahan sintetik atau semisintetik yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena karakteristiknya yang luar biasa baik dari sifat termal, sifat mekanik, daya tahan, hingga stabilitas, sehingga plastik menjadi bahan yang sangat banyak digunakan. Plastik dapat difeniskan ³ sebagai material polimer yang dapat diekstraksi menjadi bentuk sesuai yang diinginkan. ³ Plastik merupakan polimer dengan sifat dan struktur rumit akibat jumlah atom pembentuk yang jauh lebih besar

dibandingkan senyawa dengan berat atom lebih rendah. Secara umum suatu polimer terbentuk oleh satuan struktur yang tersusun berulang dan diikat oleh ikatan kovalen (Thoufan, 2017). Gaya tarik menarik antar atom dalam polimer berupa ikatan hidrogen dan gaya Van der Waals yang terkadang juga terdapat ikatan ion, ikatan koordinasi dan ikatan hidrofobik (Malcolm, 2001). Saat ini plastik menjadi isu berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Dilansir oleh *National Geographic* pada Tahun 2022 hampir 700 spesies, termasuk spesies yang terancam punah, telah terkena dampak plastik.

Berdasarkan penyusun dan karakteristik kimianya, plastik dapat dibagi menjadi beberapa macam. Berdasarkan karakteristik termal, plastik selanjutnya dibedakan menjadi *thermosetting polymer* dan *thermoplastics*. Plastik yang bersifat *thermoplastics* merupakan jenis plastik yang dapat digunakan kembali, karena jenis tersebut mempertahankan struktur kimianya ketika dipanaskan, sedangkan *thermosetting polymer* adalah plastik yang tidak dapat dibentuk lagi setelah mengalami pemanasan maupun pendinginan, karena struktur kimianya yang berubah. Terdapat banyak jenis polimer yang digunakan untuk beragam kegunaan seperti polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC), polyethene (PE), polystyrene (PS), and polytetrafluoroethylene (PTFE), polimer tersebut merupakan jenis yang sering digunakan dengan berat molekul 20,000 hingga 500,000 dalam satuan massa (AMU). Plastik juga dikategorikan dalam berbagai cara tergantung pada desain dan proses produksi. Klasifikasi dilakukan dengan menggunakan parameter khusus seperti daya tahan, konduktivitas listrik, kekuatan tarik, stabilitas termal, dan degradabilitas (Lokesh, et al., 2023).

Plastik *non-biodegradable* yang terbuat dari pertokimia juga dikenal sebagai polimer konvensional. Plastik *non-biodegradable* memiliki molekul yang sangat berat sehingga sulit terurai. Di sisi lain, jenis plastik lain ditemukan dari pati dengan molekul yang tidak terlalu berat yang disebut dengan plastik *biodegradable* (Lokesh, et al., 2023).

2.2.1 Plastik *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS)

Acrylonitrile butadiene styrene yang dikenal sebagai plastik ABS adalah material *thermoplastic* dengan kandungan *acrylonitrile*, *butadiene* dan *styrene*. Ketiga jenis monomer ini dapat memiliki komposisi yang bervariasi dari 15% - 35% *acrylonitrile*, 5% - 30% *butadiene*, 40% - 60% *styrene*, dan kandungan monomer atau polimer lainnya. *Acrylonitrile* dengan sifat stabil terhadap panas dan tahan terhadap bahan kimia, sedangkan *butadiene* dapat memperbaiki dalam sifat ketahanan pukul dan liat, dan *styrene* membuat plastik mudah diproses dengan mengatur kekakuan (Wicaksono, Budiyanoro, & Sosiati, 2019)

Karakteristik plastik ABS memiliki titik leleh yang rendah, sehingga memudahkan dalam proses pencetakan injeksi dan pencetakan 3D. Tidak hanya itu, plastik ABS juga memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan sangat tahan terhadap dampak fisik dan korosi kimia. Hal itu tentu saja membuat plastik jadi tahan terhadap penggunaan berat dan kondisi lingkungan yang merugikan. Sifatnya yang tahan korosi dan kuat menjadikan plastik ABS sebagai salah satu bahan yang banyak digunakan saat ini. Salah satu penggunaan plastik ABS saat ini adalah di bidang otomotif. Berbagai suku cadang otomotif yang mencari faktor pengurangan berat menganggap termoplastik ABS sebagai pengganti yang bagus untuk logam. Suku cadang yang umum digunakan antara lain komponen dashboard, sandaran kursi, suku cadang sabuk pengaman, dan lain sebagainya.

2.3 Komposit

Komposit berasal dari kata “*to compose*” yang memiliki arti menyusun atau menggabung. Melalui kata tersebut material komposit dapat difenisikan sebagai material gabungan dari dua atau lebih material yang berlainan. Jadi komposit adalah suatu bahan yang merupakan gabungan atau campuran dari beberapa material pada skala makroskopis untuk membentuk material ketiga yang lebih bermanfaat (Fajri, Tarkono, & Sugiyatno, 2013).

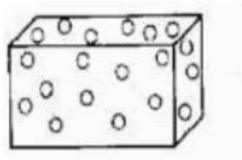
Komposit merupakan sistem material multi fasa yang dibentuk melalui kombinasi dua atau lebih material dengan sifat yang berbeda. Komposit tersusun atas *filler* dan matriks. *Filler* memiliki fungsi sebagai material rangka yang menyusun komposit, adapun matriks memiliki fungsi sebagai perekat serat dan menjaganya agar tidak berubah posisi. Matriks dengan mudah dapat dibentuk dengan cara dipotong atau juga dicetak sesuai dengan kebutuhan desainnya. Selain itu, pengaturan susunan *filler* yang berbeda akan merubah sifat komposit yang dihasilkan. Kondisi tersebut dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan sifat komposit sesuai dengan parameter yang dibutuhkan (Diana, Safitra, & Ariansyah, 2020). Sifat maupun Karakteristik dari komposit ditentukan oleh:

1. Material yang menjadi penyusun komposit. Karakteristik komposit ditentukan berdasarkan karakteristik material penyusun, sehingga hasilnya akan berbanding secara proporsional.
2. Bentuk dan penyusunan struktur dari komposit. Bentuk dan cara penyusunan komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit.
3. Interaksi antar penyusun. Bila terjadi interaksi antar penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit itu (Fajri, Tarkono, & Sugiyatno, 2013).

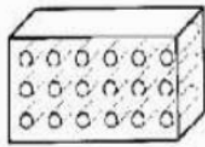
Material komposit yang telah melalui proses penggabungan mempunyai karakteristik dan sifat mekanis yang berbeda dari komponen pembentuknya, karena komposit adalah hasil proses penggabungan dari beberapa bahan yang berbeda. Hal tersebut membuat sifat komposit lebih unggul atau kuat jika telah dilakukan penggabungan (Riyanto, Sunjana, & Wicaksono, 2021). Komposit memiliki keunggulan sebagai berikut :

1. Komposit memiliki sifat dengan kekakuan dan kekuatan yang tinggi.
2. Material komposit dapat dirancangan sedemikian rupa sesuai kebutuhan dan komposit tahan terhadap korosi.
3. Material komposit memiliki penampilan dan kehalusan permukaan yang lebih baik (Riyanto, Sunjana, & Wicaksono, 2021)

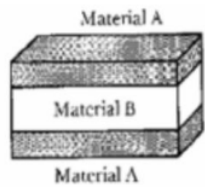
Adapun ilustrasi dari komposit berdasarkan penguatnya dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan 2.2.



Gambar 2.1 Partikel Sebagai Penguat Komposit
(Fajri, Tarkono, & Sugiyatno, 2013)

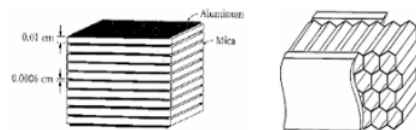


Gambar 2.2 Fiber Sebagai Penguat Komposit
(Fajri, Tarkono, & Sugiyatno, 2013)



Gambar 2.3 Stukur Sebagai Penguat Komposit
(Fajri, Tarkono, & Sugiyatno, 2013)

Berdasarkan susunan strukturnya komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur *laminat* dan struktur *sandwich*, ilustrasi dari kedua struktur komposit tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.4 Komposit Berdasarkan Susunan Struktur
(Fajri, Tarkono, & Sugiyatno, 2013)

Filler dalam sebuah komposit memiliki peran sebagai bagian utama untuk menahan beban, sehingga kekuatan bahan komposit sangat tergantung

dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan dengan arti diameter *filler* mendekati ukuran kristal, maka semakin kuat bahan tersebut. Terdapat dua jenis *filler*, yaitu *filler* alam (*nature fiber*) dan *filler* sintetik atau *filler* buatan. *Filler* yang berasal dari alam adalah yang berasal dari tumbuhan dan hewan seperti benang. Untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan perlu melalui beberapa proses bergantung dengan karakter bahan dasarnya. *Filler* akan menentukan sifat mekanik komposit tersebut (Fajri, Tarkono, & Sugiyatno, 2013). Fungsi utama dari serat adalah:

1. Sebagai pembawa beban. Sebesar 70% - 90% beban dibawa oleh bahan pengisi dalam stuktur komposit
2. Memberikan sifat kekakuan, kekuatan, stabilitas panas dan sifat-sifat lain dalam komposit (Fajri, Tarkono, & Sugiyatno, 2013).

2.4 Cangkang Telur Ayam

Cangkang telur merupakan bagian terluar dari telur dan memiliki fungsi sebagai pelindung bagi komponen-komponen isi telur dari kerusakan, baik secara fisik, kimia maupun mikrobiologis. Cangkang telur ayam memiliki kandungan kalsium adalah sebesar 87,8%, bahkan pada ayam boiler cangkang telur mengandung sekitar 98% CaCO_3 (kalsium karbonat) dan memiliki sekitar 10.0000-20.000 pori-pori sehingga dapat menyerap suatu larutan. Hal tersebut menjadikan kandungan CaCO_3 pada cangkang telur ayam broiler yang tinggi berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku dalam sintesis komposit CaCO_3 (Syam, 2016).

Cangkang telur ayam tersusun atas bahan anorganik 95,1%, protein 3,3% dan air 1,6%. Komposisi kimia dari kulit telur terdiri dari protein 1,71%, lemak 0,36%, air 0,93%, serat kasar 16,21%, abu 71,34%. Sedangkan cangkang telur ayam yang berbentuk serbuk mengandung kalsium sebesar $401 \pm 7,2$ gram atau sekitar 39% kalsium dalam bentuk kalsium karbonat. Kulit telur kering mengandung sekitar 95% kalsium karbonat dengan berat 5,5 gram (Syam, 2016). Secara lengkap komposisi nutrisi cangkang telur dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.2 Komposisi Nutrisi Cangkang Telur Ayam

Nutrisi	Cangkang Telur (%berat)
Air	29-35
Protein	1,4-4
Lemak Murni	0,10-0,20
Abu	89,9-91,1
Kalsium	35,1-36,4
Kalsium Karbonat	90,9
Fosfor	0,12
Sodium	0,15-0,17
Magnesium	0,37-0,40
Pottasium	0,10-0,13
Sulfur	0,09-0,19
Alanin	0,45
Arginin	0,56-0,57

(Syam, 2016)

Kandungan kalsium karbonat dalam telur berfungsi sebagai penguat material komposit dan bermanfaat untuk meningkatkan kekakuan. Tidak hanya itu, dalam industri plastik dan polymer, kalsium karbonat digunakan sebaga pewarna. Sekitar 97% komposisi berwarna putih berasal dari kalsium karbonat, dengan kalsium karbonat produk plastik maupun *polymer* yang tadinya buram, maka akan menjadi lebih putih. Produk yang ditambahkan dengan bahan tersebut akan tampak lebih cerah. Dengan begitu, produk yang dihasilkan pun akan tampak lebih menarik dilihat. Selain itu, kalsium karbonat juga mampu menghasilkan produk plastik yang lebih *glossy* dan permukaan yang bening (Niraku, 2020).



Gambar 2.5 Cangkang Telur Ayam

(Sumber : tunashijau.id)

2.5 Karet Alam

Natural rubber atau karet alam adalah suatu cairan getah yang berasal dari tumbuhan *Havea Brasilensis*. Karet alam merupakan polimer alam dengan monomer isoprena. Polimer karet alam terdiri dari 97% polimer Cis-1,4-polysopren (Sipayung & Eddyanto, 2022). Karet alam yang dikenal dengan 1,4- poliisoprena merupakan makromolekul alami dengan beberapa sifat unggul diantaranya ialah keelastisitas yang tinggi, kepegasan, ketahanan kikis dan sobek serta daya lengket yang baik dan mudah untuk dibentuk (Handayani, et al., 2018). Namun dari keunggulan sifat yang dimiliki karet terdapat beberapa kelemahan dari karet alam seperti tidak tahan terhadap panas, kuat tarik dan ketahanan sobek yang rendah. Hal ini dikarenakan karet alam umumnya mengandung ikatan tidak jenuh yang tinggi dan bersifat non polar (Sipayung & Eddyanto, 2022). Karet alam banyak digunakan sebagai kebutuhan industri, Kementerian Perindustrian menyampaikan pada tahun 2015 bahwa industri pengguna karet alam di Indonesia sebesar 55% dimanfaatkan oleh industri ban, 17% industri sarung tangan dan benang karet, 11% industri alas kaki, dan 9% industri barang-barang karet lainnya. Di samping itu, penggunaan karet sintetis dan kimia karet memegang peranan penting dalam menghasilkan produk karet hilir (Sipayung & Eddyanto, 2022). Karet alam memiliki karakteristik baik secara fisik maupun kimia sebagai berikut :

1. Setelah terjadi penggumpalan warna pada karet alam adalah warna putih hingga coklat
2. Setelah proses pemanasan karet alam mengalami peningkatan elastisitas.
3. Karet alam tidak larut dalam air sehingga tahan air, namun sensitif terhadap temperatur
4. Karet alam mudah teroksidasi oleh udara, sehingga jika dibakar maka karet alam akan berubah menjadi CO₂ dan H₂O (Sulaeman, 2023).

2.6 Proses Vulkanisasi Sulfur

Proses pembuatan komposit tidak hanya dengan mencampurkan kedua bahan sehingga menciptakan material dengan sifat yang baru. Terdapat proses yang perlu dilakukan agar ikatan antara molekul pada cangkang telur sebagai *filler* dan karet alam sebagai matriks dapat terbentuk dan mendapatkan karakteristik yang diinginkan. Proses vulkanisasi terhadap karet berpengaruh terhadap sifat fisiknya seperti kekerasan, ketahanan kikit, hingga tegangan putus (Yuniari, Sarengat, & Lestari, 2023). Vulkanisasi adalah suatu proses rekasi sambung silang sulfur dengan molekul karet yang linier (*sulfur-crosslinking*) sehingga menjadi molekul polimer yang membentuk rangkaian tiga dimensi. Reaksi ini merubah karet yang bersifat plastis (lembut) dan tidak stabil terhadap temperatur menjadi karet yang elastis, keras dan kuat. Tanpa adanya proses ini karet akan lengket dan basah pada temperatur tinggi dan rapuh pada temperatur rendah (Surya & Philbert, 2021). Proses vulkanisasi dapat dilakukan dengan mesin *hydraulic press* pada suhu 160°C (Yuniari, Sholeh, & Indrajati, 2015). Oleh karena itu, sulfur memegang peranan penting dalam proses vulkanisasi karet terutama dalam hal pembentukan ikatan silang (Yuniari, Sarengat, & Lestari, 2023).

Dalam proses vulkanisasi sulfur, terdapat beberapa senyawa lain yang dibutuhkan sebagai akselerator. Akselerator berfungsi untuk membantu meningkatkan laju vulkanisasi yang cenderung lambat jika hanya mengandung sulfur. Akselerator secara umum berupa senyawa organik yang digunakan pada proses komponding untuk mempercepat reaksi vulkanisasi kompon oleh sulfur. Akselerator memiliki respon berbeda terhadap masing-masing karet. Pada karet sintesis memerlukan lebih banyak akselerator, sedangkan pada karet alam membutuhkan banyak sulfur (Yuniari, Sholeh, & Indrajati, 2015). Dalam mengoptimalkan kerjanya, akselerator membutuhkan bahan kimia lain yang dikenal sebagai aktivator, seng oksida (ZnO) berfungsi sebagai aktivator.

Pada proses vulkanisasi sulfur, tidak hanya penambahan akselerator saja, dalam ²mempercepat terdistribusinya bahan aditif kedalam matrik karet salah dibutuhkanannya tambahan bahan pelunak. Penambahan bahan pelunak

berfungsi untuk melunakkan struktur karet agar bahan yang ditambahkan dapat terdistribusi kedalam molekul-molekul karet secara merata (homogen). Bahan pelunak yang ditambahkan, jenis dan rasionya tergantung dari sifat mekanik vulkanisat yang diinginkan. Bahan pelunak yang banyak digunakan untuk membuat vulkanisasi karet umumnya dari turunan minyak bumi, namun saat ini banyak bahan pelunak yang dikembangkan dari turunan minyak nabati antara lain turunan minyak jarak, turunan minyak sawit, minyak biji nyamplung, minyak biji karet Wate. Asam streatic atau *streatic acid* merupakan campuran asam organik padat yang diperoleh dari lemak dan minyak yang sebagian besar terdiri atas asam oktadekonat dan asam heksadekonat.

2.7 Sifat Fisik Komposit

Komposit yang terbentuk melalui dua bahan dengan sifat yang berbeda akan memunculkan sifat bahan yang baru. Dengan mengetahui karakteristik fisik komposit tersebut maka dapat menentukan sifat komposit tersebut. Terdapat beberapa hal yang perlu diketahui untuk karaterisasi komposit yaitu dengan mengetahui densitas serta persentase kadar air, daya serap, dan porositas.

2.7.1 Densitas

Densitas atau massa jenis merupakan pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya (Saputra, Wicaksono, & Irsan, 2017). Sebuah zat memiliki nilai densitas aktual dan densitas teoritis. Densitas aktual diperoleh melalui penimbangan massa zat di udara dengan massa zat di dalam air. Densitas aktual diperoleh melalui :

$$Volume = P \times l \times t \dots\dots\dots 2.1$$

$$\rho_m = \frac{massa}{volume} \dots\dots\dots 2.2$$

ρ_m : Densitas teoritis (gram/cm³)

P : Panjang benda (cm)

l : Lebar benda (cm)

t : Tinggi benda (cm)

Sedangkan densitas teoritis dapat diketahui dengan mengukur volume zat secara langsung dan diperoleh melalui :

$$\rho = V_a\rho_a + V_b\rho_b + V_c\rho_c + V_d\rho_d + V_e\rho_e \dots\dots\dots 2.3$$

- ρ : Densitas teoritis (gram/cm³)
- V_a : Fraksi volume zat a (gram)
- ρ_a : Densitas zat a (gram)

2.7.2 ¹ Porositas

Porositas merupakan perbandingan volume rongga-rongga pori terhadap volume total seluruh suatu bahan. Porositas suatu bahan pada umumnya dinyatakan sebagai porositas terbuka (Nuryati, Amalia, & Hairiyah, 2020). Besarnya porositas dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut :

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{\rho - \rho_m}{\rho} \times 100\% \dots\dots\dots 2.4$$

- Porositas : Porositas (%)
- ρ : Densitas teoritis (gram/cm³)
- ρ_m : Densitas aktual (gram/cm³)

2.7.3 Water Content (Kadar Air)

Kadar air adalah banyaknya air yang terkandung di dalam suatu benda. Kadar air disebutkan dalam sebuah rasio, dari 0 (kering total) hingga nilai jenuh air di mana semua pori terisi air. Nilainya bisa secara volumetrik ataupun gravimetrik (massa), basis basah maupun basis kering. Penentuan kadar air dalam suatu komposit penting dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik komposit tersebut (Prasetyo, Isdiana, & Sujadi, 2019). Kadar air dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{A - B}{C} \times 100\% \dots\dots\dots 2.5$$

- Kadar Air : Kadar air (%)
- A : Berat cawan kosong + sampel (gram)

B : Berat cawan dengan sampel kering (gram)

C : Berat sampel (gram)

Dengan mengetahui karakteristik kadar air pada komposit dapat mengetahui dan membandingkan dengan plastik konvensional. Berikut adalah persentase kadar pada berbagai jenis plastik konvensional :

Tabel 2.3 Persentase Kadar pada Berbagai Jenis Plastik

<i>Polymer Name</i>	<i>Moisture Absorption (%)</i>	<i>Permissible Water Content (%)</i>
<i>ABS - Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>	0.10 ÷ 1.80	0.10
<i>PC (polycarbonate)</i>	0.10 ÷ 0.20	0.05
<i>POM (Polyoxymethylene)</i>	0.15 ÷ 0.50	0.10
<i>PS (Polystyrene)</i>	0.01 ÷ 0.04	0.10

2.7.4 Water Absorption (Daya Serap Air)

Daya serap air merupakan kemampuan partikel suatu bahan untuk mengikat air (Handiskawati, 2012). Pengujian daya serap air pada komposit dilakukan dengan melakukan perendaman sampel komposit kedalam air, kemudian membandingkan massa setelah direndam dengan massa sebelum direndam. Daya serap dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut :

$$\text{Daya Serap Air } (\%) = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \dots \dots \dots 2.6$$

Daya Serap Air : Daya serap air (%)

m_0 : Massa sebelum perendaman (gram)

m_1 : Massa setelah perendaman (gram)

Dengan mengetahui karakteristik daya serap air pada komposit dapat mengetahui dan membandingkan dengan plastik konvensional. Berikut adalah persentase daya serap pada berbagai jenis plastik konvensional :

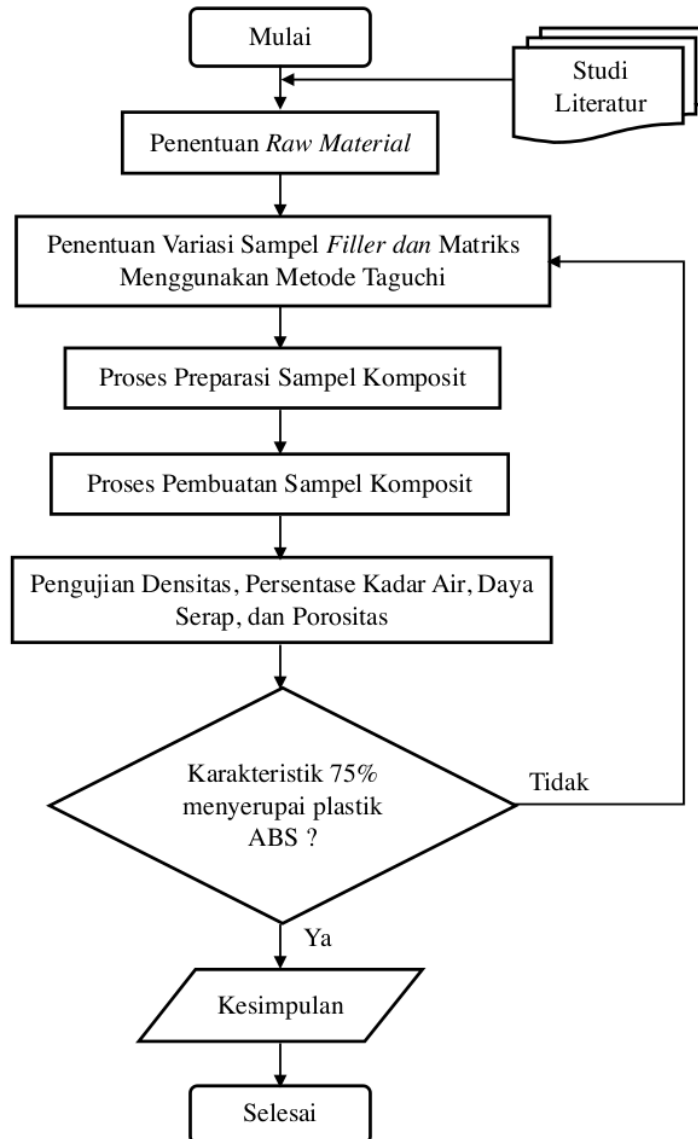
Tabel 2.4 Persentase Daya Serap pada Berbagai Jenis Plastik

<i>Polymer Name</i>	<i>Minimum Value (%)</i>	<i>Maximum Value (%)</i>
<i>ABS - Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>	0.05	1.80
<i>ABS/PC Blend - Acrylonitrile Butadiene Styrene/Polycarbonate Blend</i>	0.20	0.30
<i>ABS Flame Retardant</i>	0.10	0.80
<i>PEI - Polyetherimide</i>	0.20	0.30

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang akan dilakukan seperti pada diagram alir di bawah :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan diagram penelitian 3.1 terdapat penjelasan mengenai prosedur penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan metode sebagai tahapan awal untuk mendapatkan referensi terkait penelitian yang akan dilakukan, diperoleh melalui jurnal, buku, dan sumber lainnya. Studi literatur ini bertujuan untuk mengetahui dan mempelajari mengenai komposit, karakteristik sifat fisik, dan pengujiannya.

2. Penentuan Jumlah Variasi Sampel

Penentuan jumlah variasi sampel pada penelitian menggunakan metode taguchi. Metode Taguchi digunakan agar mendapatkan jumlah sampel yang sederhana. Pada penelitian ini dipilih matriks ortogonal tiga level yaitu $L_9(3^4)$ sehingga sampel yang digunakan berjumlah 9 variasi dengan setiap variasi sampel dibuat 2 pengulangan dengan menggunakan 3 level dan 4 parameter.

3. Penentuan *Raw Material*

Raw material yang ditentukan pada penelitian ini dilakukan dengan menyiapkan serbuk cangkang telur dengan ukuran 100 mesh, dan karet alam cair sebagai perekat. Pembuatan serbuk cangkang telur berukuran 100 mesh dilakukan dengan tahapan yaitu cangkang telur ayam ras dicuci dengan air, kemudian direndam pada air panas lalu dibilas dan dikeringkan dengan cara dijemur.

4. Proses Preparasi Sampel

Preparasi sampel dilakukan dengan menyiapkan serbuk cangkang telur berukuran 100 mesh. Kemudian serbuk dicampurkan dengan bahan lainnya dengan dilakukan proses *mixing* menggunakan blender. Penjelasan lebih lengkap terdapat pada anak sub bab 3.4.2.

5. Proses Pembuatan Sampel

Sampel dibuat dalam bentuk papan partikel berukuran 100x50x20 mm. Pembuatan papan partikel dilakukan dengan proses *rolling* sehingga menjadi lempengan sesuai dengan ukuran cetakan dan dilakukan proses vulkanisasi dengan mesin *hot press* dengan variasi

temperatur yaitu 150°C, 160°C , dan 170°C, kemudian variasi waktu selama 50, 60, dan 70 menit dan variasi besar tekanan 30, 40, dan 50 MPa. Selanjutnya dengan tujuan memadatkan partikel dilakukan proses pendinginan dengan mesin *cold press*. Papan partikel yang telah dibuat kemudian dipotong hingga berukuran 50x20x3mm untuk menyesuaikan dengan pengujian. Penjelasan lebih lengkap terdapat pada anak sub bab 3.4.3.

6. Pengujian Densitas, Persentase Kadar Air, Daya Serap dan Porositas
Sampel yang telah dibuat kemudian dilakukan pengujian untuk memperoleh sifat fisik berupa nilai densitas serta persentase kadar air, daya serap, dan porositas. Penjelasan lebih lengkap terdapat pada anak sub bab 3.4.4, 3.4.5, 3.4.6, dan 3.4.7.
7. Analisis Data
Setelah dilakukan pengujian, hasil pengujian akan dianalisis pengaruh komposisi *filler* terhadap nilai densitas serta persentase kadar air, daya serap, dan porositas. Analisis yang dilakukan menggunakan metode taguchi untuk menentukan nilai optimum dan metode anova untuk menentukan variasi yang paling berpengaruh terhadap nilai densitas serta persentase kadar air, daya serap, dan porositas.

3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini terdapat alat dan bahan yang digunakan. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

3.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Desikator
Salah satu alat pengujian yang digunakan adalah desikator yang merupakan alat yang berfungsi menghilangkan kelembaban dari suatu bahan atau zat material seperti polimer/komposit polimer.



Gambar 3.2 Desikator

2. *Hot Press Machine*

Hot press machine digunakan untuk proses vulknisasi sulfur dengan membentuk papan partikel yang diberikan tekanan pada temperatur tertentu.



Gambar 3.3 *Hot Press Machine*

3. *Oven*

Oven berfungsi untuk mengeringkan sampel sehingga tidak ada kadar air yang terperangkap dalam sampel. Proses pengeringan pada pembuatan sampel dilakukan pada temperatur 100°C dalam kurun waktu 4 jam. Selain dalam pembuatan sampel, oven digunakan dalam pengujian untuk menentukan kadar air yang dilakukan pada temperatur 105°C selama 30 menit dan 2 jam.



Gambar 3.4 Oven

4. Cetakan

Cetakan digunakan dalam proses pembuatan papan partikel untuk memperoleh ukuran sebesar 100x50x20 mm. Cetakan berbahan besi sehingga dapat menahan panas saat proses vulkanisasi dengan mesin *hot press*.



Gambar 3.5 Cetakan

5. *Cold Press Machine*

Cold press machine digunakan untuk proses pendinginan sampel setelah melalui mesin *hot press*. Proses pendinginan dilakukan agar sampel kembali pada temperatur normal tanpa mengalami penambahan temperatur yang dapat mengakibatkan pemuaihan sehingga sampel mengembang.



Gambar 3.6 *Cold Press Machine*

6. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk melakukan pengukuran dimensi seperti panjang, lebar, dan tebal.



Gambar 3.7 Jangka Sorong

7. Cawan Keramik

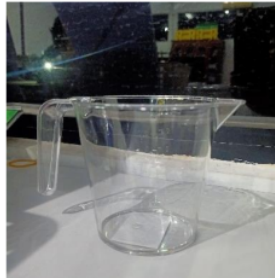
Cawan keramik digunakan sebagai wadah sampel komposit untuk pengujian kadar air.



Gambar 3.8 Cawan Keramik

8. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan sebagai wadah untuk perendaman sampel komposit



Gambar 3.9 Gelas Ukur

3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Serbuk Cangkang Telur Ayam

Serbuk cangkang telur ayam merupakan bahan utama yang menjadi *filler* pada pembuatan biokomposit.



Gambar 3.10 Serbuk Cangkang Telur Ayam

2. Karet Alam Cair

Karet alam cair digunakan sebagai bahan perekat (matriks) pada pembuatan biokomposit.



Gambar 3.11 Karet Alam Cair

3. Sulfur

Sulfur digunakan sebagai bahan proses vulkanisasi karet alam yang memberikan sifat elastis dan kuat pada pembuatan sampel.



Gambar 3.12 Sulfur

4. ZnO

Seng oksida digunakan sebagai aktivator dan akselator dalam proses vulkanisasi karet alam.



Gambar 3.13 ZnO

5. Asam Stearat

Asam stearat berfungsi sebagai bahan pelunak sehingga sampel mudah dibentuk.



Gambar 3.14 Asam Stearat

6. Akuades

Akuades digunakan sebagai cairan untuk pendaman sampel komposit pada pengujian daya serap air.



Gambar 3.15 Akuades

3.3 Variabel Pengujian

Pada penelitian ini terdapat variabel pengujian sebagai berikut :

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah jenis *filler* dengan ukuran 100 mesh dan matriks yang digunakan.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah nilai densitas serta persentase kadar air, daya serap, dan porositas.

3. Variabel Kontrol

- a. Komposisi *filler* sebesar 55%, 60%, dan 65%
- b. Tekanan *hot press* sebesar 30, 40, dan 50 MPa.
- c. Temperatur *hot press* sebesar 150°C, 160°C, dan 170°C.
- d. Waktu *hot press* selama 50, 60, dan 70 menit.

3.4 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang perlu dilakukan.

Adapun tahapan prosedur yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut :

3.4.1 Penentuan Variasi Sampel

Penentuan variasi sampel dilakukan untuk menentukan berapa sampel yang perlu dibuat berdasarkan banyaknya faktor dan

banyaknya level. Penentuan variasi sampel dilakukan melalui metode taguchi untuk menyederhakan jumlah sampel. Jumlah sampel dapat ditentukan menggunakan matriks ortogonal berdasarkan derajat kebebasan dengan rumus sebagai berikut :

$$V_{fl} = \text{Banyak Faktor} \times (\text{banyak level} - 1)$$

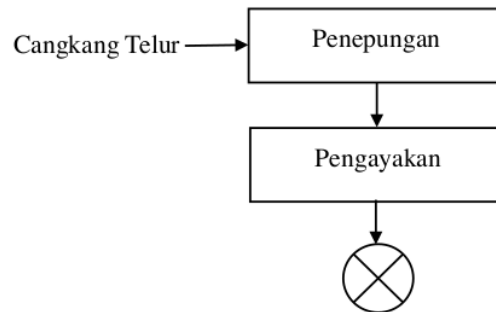
Setelah didapatkan derajat kebebasan maka nilai tersebut digunakan untuk memiliki matriks ortogonal rancangan eksperimen. Matriks ortogonal yang dipilih yaitu sama dengan derajat kebebasan atau lebih besar dari derajat kebebasan. Berikut adalah matriks ortogonal tiga level (Krishnaiah & Shahabudeen, 2012)

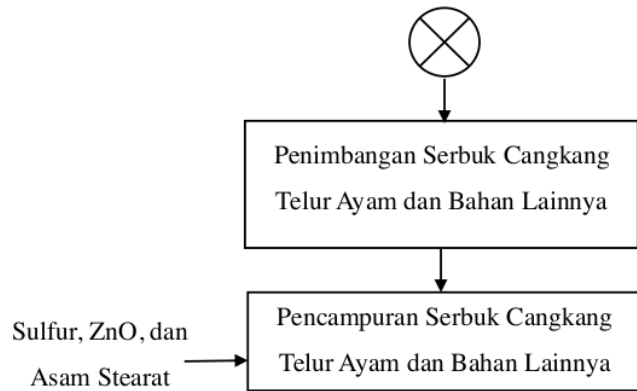
Tabel 3.1 Matrik Otrogonal Tiga Level

Matrik Ortogonal Tiga Level		
$L_9(3^4)$	$L_{27}(3^{11})$	$L_{81}(3^{40})$

3.4.2 Preparasi Sampel

Preparasi sampel dilakukan agar serbuk cangkang telur memiliki ukuran yang diinginkan yaitu 100 mesh. Proses preparasi ini dilakukan dengan melalui penepungan, kemudian pengayakan dengan saringan 100 mesh, dan pencampuran serbuk cangkang telur dengan bahan lainnya menggunakan *mixer*.

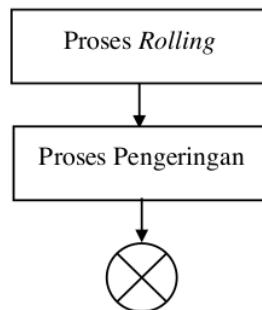


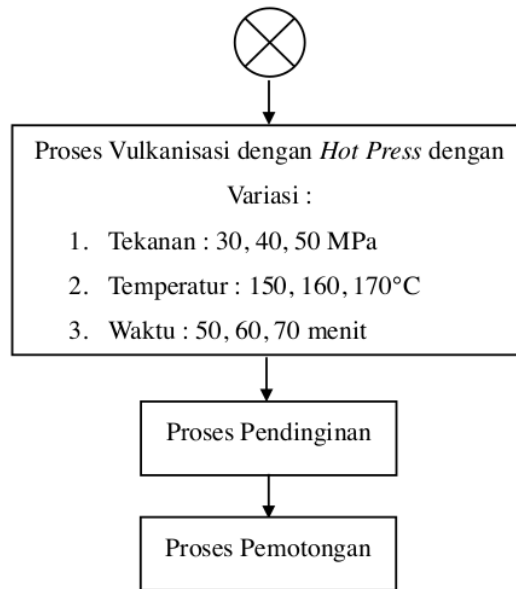


Gambar 3.16 Diagram Alir Preparasi Sampel

3.4.3 Pembuatan Sampel

Setelah proses pencampuran semua bahan dilakukan, selanjutnya dilakukan pembuatan sampel dengan *merrolling* menggunakan mesin *roll*. Sampel yang telah *dirolling* kemudian dilakukan proses pengeringan untuk menghilangkan kadar air dengan oven pada suhu 100°C selama 4 jam. Kemudian sampel dimasukkan kedalam cetakan berukuran $100 \times 50 \times 20$ mm untuk dilakukan proses vulkanisasi dengan menggunakan mesin *hot press* berdasarkan tekanan, temperatur, dan waktu yang telah ditentukan. Segera setelah melalui mesin *hot press*, sampel dilakukan proses pendinginan menggunakan *mesin cold press* untuk mencegah terjadinya pemuaihan. Setelah papan partikel dibuat, kemudian dilakukan pemotongan hingga menjadi ukuran $50 \times 20 \times 3$ mm sesuai dengan pengujian yang akan dilakukan.





Gambar 3.17 Diagram Alir Pembuatan Sampel

3.4.4 Pengujian Sampel dan Analisis Data

Proses pengujian dilakukan pada sampel berbentuk papan partikel berukuran 50x20x3mm. Pengujian dilakukan melalui beberapa tahapan untuk mengetahui nilai densitas serta persentase kadar air, daya serap, dan porositas. Setelah didapatkan nilai tersebut kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui nilai optimum dan faktor yang paling berpengaruh.

A. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan dengan mengetahui berat cawan kosong, berat cawan kosong dengan sampel, dan berat sampel. Cawan kosong dikeringkan selama 30 menit dalam oven pada suhu 105°C, kemudian cawan tersebut didinginkan pada desikator selama 15 menit, setelah didinginkan pada desikator, cawan ditimbang. Kemudian cawan tersebut diisi sampel komposit dan ditimbang beratnya, cawan yang telah diisi sampel kemudian dimasukkan kedalam oven selama 2 jam dengan suhu

105°C selama 2 jam, cawan tersebut kemudian didinginkan kembali dalam desikator selama 15 menit, kemudian ditimbang dan dicatat hasilnya. Setelah mendapat data yang dibutuhkan kemudian dilakukan perhitungan sebagai berikut :

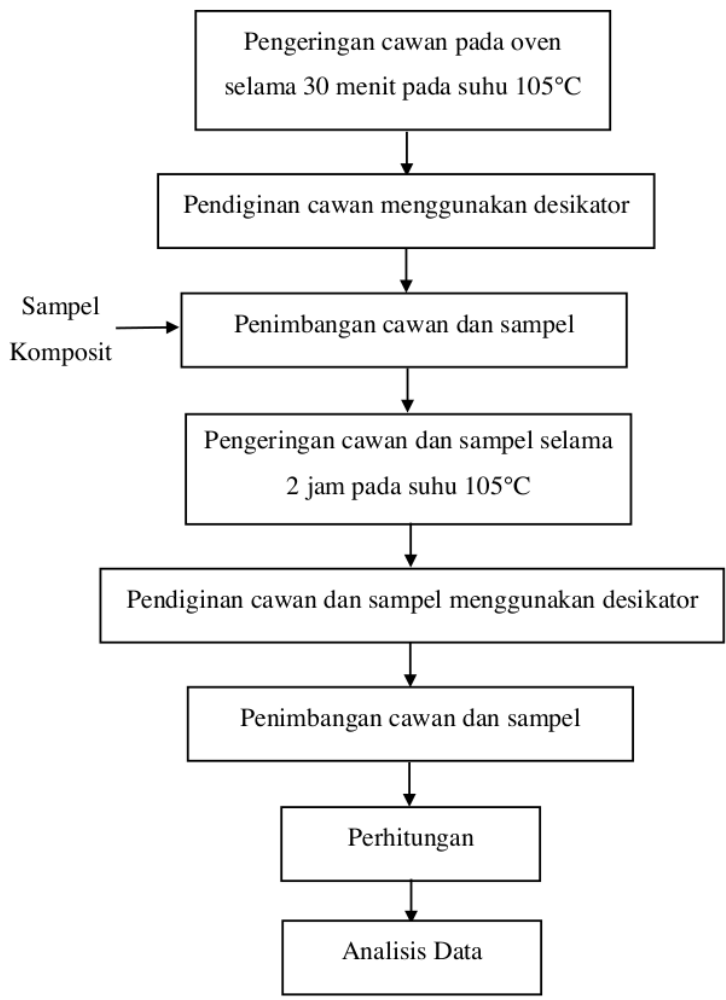
$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{A - B}{C} \times 100\% \dots\dots\dots 3.1$$

Kadar Air : Kadar air (%)

A : Berat cawan kosong + sampel (gram)

B : Berat cawan dengan sampel kering (gram)

C : Berat sampel (gram)



Gambar 3.18 Diagram Alir Pengujian Kadar Air

B. Pengujian Densitas dan Porositas

Pengujian densitas pada komposit dilakukan dengan dua pengujian yaitu pengujian densitas aktual dan teoritis. Pengujian densitas aktual dilakukan dengan menimbang massa sampel dan volume sampel, kemudian dilakukan perhitungan sebagai berikut (Gibson, 2016) :

$$Volume = P \times l \times t \dots\dots\dots 3.2$$

$$\rho_m = \frac{massa}{volume} \dots\dots\dots 3.3$$

ρ_m : Densitas teoritis (gram/cm³)

P : Panjang benda (cm)

l : Lebar benda (cm)

t : Tinggi benda (cm)

$$\rho = V_a\rho_a + V_b\rho_b + V_c\rho_c + V_d\rho_d + V_e\rho_e \dots\dots\dots 3.4$$

ρ : Densitas teoritis (gram/cm³)

V_a : Frakasi volume zat a (gram)

ρ_a : Densitas zat a (gram)

Dengan mengetahui nilai densitas aktual dan teoritis pada sampel, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai porositas dengan perhitungan sebagai berikut :

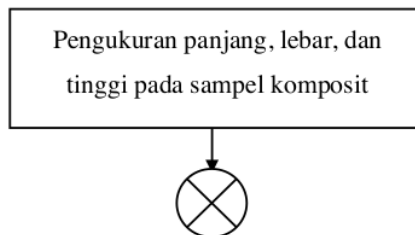
$$Porositas (\%) = \frac{\rho - \rho_m}{\rho} \times 100\% \dots\dots\dots 3.5$$

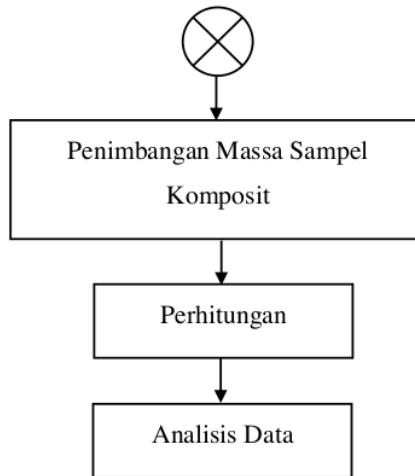
Porositas : Porositas (%)

ρ : Densitas teoritis (gram/cm³)

ρ_m : Densitas aktual (gram/cm³)

Berikut adalah diagram alir untuk pengujian densitas dan poroasitas pada sampel komposit :





Gambar 3.19 Diagram Alir Pengujian Densitas dan Porositas

C. Pengujian Daya Serap Air

Pengujian untuk mengetahui daya serap air pada komposit dilakukan dengan perendaman sampel kedalam air. Sebelum dilakukan perendaman, sampel dilakukan penimbangan untuk mengetahui massa sebelum perendaman, kemudian sampel direndam selama 24 jam dalam air. Setelah dilakukan perendaman, permukaan sampel dikeringkan menggunakan tisu hingga kering, lalu sampel ditimbang kembali untuk mengetahui massa setelah perendaman. Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan persamaan sebagai berikut :

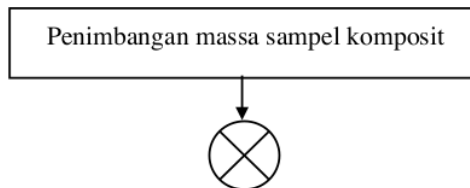
$$\text{Daya Serap Air (\%)} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \dots\dots\dots 3.6$$

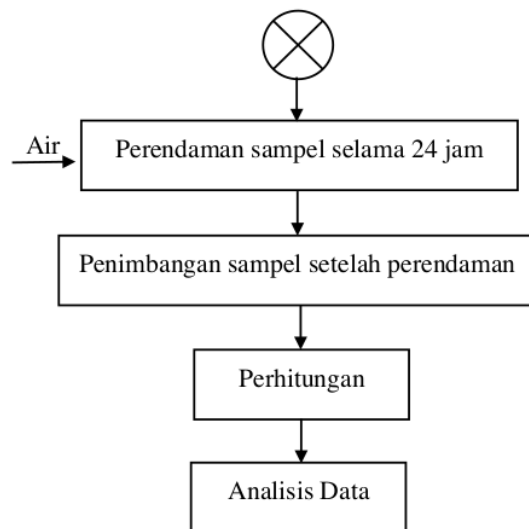
Daya Serap Air : Daya serap air (%)

m_0 : Massa sebelum perendaman (gram)

m_1 : Massa setelah perendaman (gram)

Berikut adalah diagram alir untuk pengujian daya serap air pada sampel komposit :





Gambar 3.20 Diagram Alir Pengujian Daya Serap Air

3.5 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada periode bulan Agustus 2023 sampai dengan Oktober tahun 2023 di Laboratorium Kimia Dasar dan Laboratorium Material, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Provinsi Banten, serta Laboratorium Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong, Kabupaten Bogor.

BAB IV DATA DAN ANALISIS

4.1 Kebutuhan Bahan Pembuatan Sampel Komposit

Pada penilitan ini terdapat proses pembuatan sampel berupa papan partikel berukuran 100x50x20mm. Dalam proses pembuatannya terdapat bahan yang diperlukan yaitu serbuk cangkang telur, karet alam cair, sulfur, ZnO, dan asam stearat. Pada sub-bab ini dilakukan perhitungan untuk memperoleh jumlah bahan yang dibutuhkan sesuai dengan variasi yang telah ditentukan. Berikut adalah estimasi bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan papan partikel :

A. Papan Partikel dengan Komposisi Filler 55% dan Matriks 45 %

Tabel 4.1 Komposisi Papan Partikel A

Karet Alam	100 phr	45 %
Sulfur	25 phr	
ZnO	5 phr	
Asam Stearat	2 phr	
Total Matriks	132 phr	293,33 phr
Serbuk Cangkang Telur	161,33 phr	55 %

Tabel 4.2 Komposisi Papan Partikel A dalam gram

Karet Alam	$\frac{100}{293,33}$	= 0,340 x 480 gr	163,64 gr
Sulfur	$\frac{25}{293,33}$	= 0,085 x 480 gr	40,91 gr
ZnO	$\frac{5}{293,33}$	= 0,017 x 480 gr	8,18 gr
Asam Stearat	$\frac{2}{293,33}$	= 0,007 x 480 gr	3,27 gr
Serbuk Cangkang Telur	$\frac{161,33}{293,33}$	= 0,550 x 480 gr	263,99 gr

Konversi karet alam – lateks (karet cair) berdasarkan standar karet alam dan lateks ASTM D.1076 dengan DRC (*Dry Rubber Content*) sebesar 60% = 0,6. Maka lateks yang digunakan adalah sebesar = $163,2/0,6 = 272$ gr.

Sehingga untuk membuat sampel dengan komposisi *filler* 55% dan matriks 45 % dibutuhkan serbuk cangkang telur ayam sejumlah 269,99 gr, lateks cair sejumlah 272,73 gr, sulfur sejumlah 40,91 gr, ZnO sejumlah 8,18 gr, dan asam stearat sejumlah 3,27 gr.

B. Papan Partikel dengan Komposisi Filler 60% dan Matriks 40%

Tabel 4.3 Komposisi Papan Partikel B

Karet Alam	100 phr	40 %
Sulfur	25 phr	
ZnO	5 phr	
Asam Stearat	2 phr	
Total Matriks	132 phr	330 phr
Serbuk Cangkang Telur	198 phr	60 %

Tabel 4.4 Komposisi Papan Partikel B dalam gram

Karet Alam	$\frac{100}{330}$	= 0,300 x 480 gr	145,45 gr
Sulfur	$\frac{25}{330}$	= 0,080 x 480 gr	36,36 gr
ZnO	$\frac{5}{330}$	= 0,020 x 480 gr	7,27 gr
Asam Stearat	$\frac{2}{330}$	= 0,006 x 480 gr	2,91 gr
Serbuk Cangkang Telur	$\frac{198}{330}$	= 0,600 x 480 gr	288 gr

Konversi karet alam – lateks (karet cair) berdasarkan standar karet alam dan lateks ASTM D.1076 dengan DRC (*Dry Rubber*

Content) sebesar 60% = 0,6. Maka lateks yang digunakan adalah sebesar = $145,45/0,6 = 242,42$ gr.

Sehingga untuk membuat sampel dengan komposisi *filler* 60% dan matriks 40% dibutuhkan serbuk cangkang telur ayam sejumlah 288 gr, lateks cair sejumlah 242,2 gr, sulfur sejumlah 36,36 gr, ZnO sejumlah 7,27 gr, dan asam stearat sejumlah 2,91 gr.

C. Papan Partikel dengan Komposisi Filler 65% dan Matriks 35%

Tabel 4.5 Komposisi Papan Partikel C

Karet Alam	100 phr	35 %
Sulfur	25 phr	
ZnO	5 phr	
Asam Stearat	2 phr	
Total Matriks	132 phr	377,14 phr
Serbuk Cangkang Telur	245,14 phr	65 %

Tabel 4.6 Komposisi Papan Partikel C dalam gram

Karet Alam	$\frac{100}{377,14}$	= 0,270 x 480 gr	127,32 gr
Sulfur	$\frac{25}{377,14}$	= 0,070 x 480 gr	31,82 gr
ZnO	$\frac{5}{377,14}$	= 0,013 x 480 gr	6,36 gr
Asam Stearat	$\frac{2}{377,14}$	= 0,005 x 480 gr	2,55 gr
Serbuk Cangkang Telur	$\frac{245,14}{377,14}$	= 0,650 x 480 gr	311,99 gr

Konversi karet alam – lateks (karet cair) berdasarkan standar karet alam dan lateks ASTM D.1076 dengan DRC (*Dry Rubber Content*) sebesar 60% = 0,6. Maka lateks yang digunakan adalah sebesar = $127,32/0,6 = 212,2$ gr.

Sehingga untuk membuat sampel dengan komposisi *filler* 65% dan matriks 35% dibutuhkan serbuk cangkang telur ayam sejumlah 311,99 gr, lateks cair sejumlah 212,2 gr, sulfur sejumlah 31,82 gr, ZnO sejumlah 6,36 gr, dan asam stearat sejumlah 2,55 gr.

4.2 Data Sampel Komposit

Pada penelitian ini dilakukan penentuan jumlah sampel sesuai dengan level dan faktor yang telah ditentukan. Berikut ini adalah level dan faktor pada sampel kategori pertama yaitu variasi komposisi filler dan matriks :

A. Sampel dengan Variasi Komposisi Filler dan Matriks

Level :

1. *Filler* 55%, matriks 45%
2. *Filler* 60%, matriks 40%
3. *Filler* 65%, matriks 35%

Faktor :

1. Komposisi (*filler* 55%, 60%, dan 65%)
2. Tekanan *Hot Press* (30 MPa, 40 MPa, 50 MPa)
3. Temperatur *Hot Press* (150°C, 160°C, 170°C)
4. Waktu *Hot Press* (50 menit, 60 menit, 70 menit)

Pada penelitian ini, setelah ditentukan jumlah level dan faktor, maka dilakukan penentuan banyaknya sampel menggunakan metode taguchi. Jumlah sampel yang didapat ditentukan melalui banyaknya level dan derajat kebebasan. Dengan jumlah level sebanyak tiga dan faktor sebanyak empat, maka diperoleh derajat kebebasan yaitu 8. Dengan derajat kebebasan sejumlah 8, maka matriks ortogonal yang dipilih adalah matriks ortogonal 3 tingkat, $L_9(3^4)$. Sehingga jumlah sampel yang dibuat sebanyak 9 sampel. Oleh karena itu, Tabel 4.7 menunjukkan variasi sampel yang diperlukan pada penelitian ini.

Tabel 4.7 Sampel dengan Variasi Komposisi Filler dan Matriks

Sampel	<i>Filler</i> (%)	<i>P. Hot Press</i> (MPa)	<i>T. Hot Press</i> (°C)	<i>t. Hot Press</i> (menit)
A1	55	40	150	50

Tabel 4.7 Sampel dengan Variasi Komposisi Filler dan Matriks

Sampel	Filler (%)	P. Hot Press (MPa)	T. Hot Press (°C)	t. Hot Press (menit)
A2	55	50	160	60
A3	55	30	170	70
B1	60	40	160	70
B2	60	50	170	50
B3	60	30	150	60
C1	65	40	170	60
C2	65	50	150	70
C3	65	30	160	50

4.3 Hasil Pengujian Densitas

Densitas pada sebuah komposit terdapat dua jenis, yaitu densitas teoritis dan densitas aktual. Densitas teoritis pada sampel komposit didapatkan dengan *rule of mixture* melalui perhitungan fraksi massa dengan mengetahui densitas literatur masing-masing bahan penyusun komposit yaitu densitas serbuk cangkang telur, karet alam, sulfur, ZnO, dan asam stearat. Sedangkan densitas aktual pada sampel komposit didapatkan melalui perbandingan massa dan volume dengan melakukan pengukuran secara langsung menggunakan neraca digital dan jangka sorong. Pada Tabel 4.8 menunjukkan hasil densitas teoritis dan aktual pada sampel dengan variasi komposisi filler dan matriks.

Tabel 4.8 Densitas Sampel dengan Variasi Komposisi *Filler*

Sampel	Densitas Aktual (gr/cm³)	Densitas Teoritis (gr/cm³)
A1	1,7762	1,9951
A2	1,7995	1,9951
A3	1,8380	1,9951
B1	1,7023	2,1236
B2	1,6803	2,1236
B3	1,6645	2,1236

Tabel 4.8 Densitas Sampel dengan Variasi Komposisi *Filler*

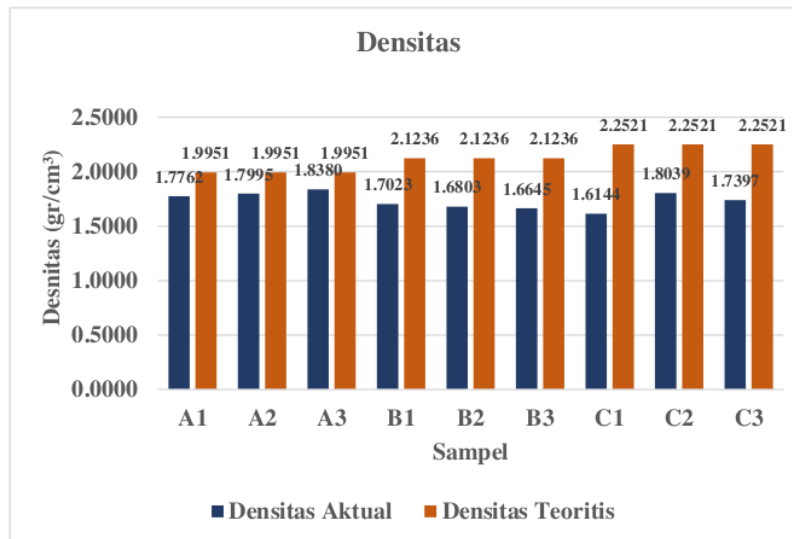
Sampel	Densitas Aktual (gr/cm ³)	Densitas Teoritis (gr/cm ³)
C1	1,6144	2,2521
C2	1,8039	2,2521
C3	1,7397	2,2521

Pada penelitian sampel dengan variasi komposisi *filler*, ditunjukkan hasil untuk nilai densitas teoritis yang terus meningkat diikuti dengan kenaikan komposisi *filler*. Pada sampel A dengan komposisi filler sebesar 55% densitas teoritis sebesar 1,9951 gr/cm³, kemudian pada sampel B dengan komposisi filler 60% densitas teoritis sebesar 2,1236 gr/cm³, selanjutnya pada sampel C dengan komposisi filler 65% sebesar 2,2521 gr/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa kerapatan massa bergantung dengan jumlah materi penyusunnya. Sampel C dengan komposisi *filler* serbuk cangkang telur yang lebih banyak dibandingkan sampel A dan B memiliki densitas teoritis paling besar, hal tersebut terbukti pada penelitian ini bahwa sampel C memiliki densitas teoritis tertinggi karena komposisi serbuk cangkang telur ayam yang paling besar yaitu 65% dengan densitas cangkang telur ayam sebesar 2,571 gr/cm³. Penentuan densitas aktual juga dilakukan pada penelitian ini, hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai densitas aktual tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi *filler*, namun dipengaruhi oleh faktor lain yaitu tekanan *hot press*, temperatur *hot press*, dan waktu selama proses *hot press*. Terbukti dengan hasil densitas aktual yang berbeda setiap sampelnya. Hasil densitas aktual untuk variasi komposisi *filler* menunjukkan *range* pada 1,6144-1,8380 gr/cm³. Nilai densitas aktual terendah dimiliki oleh sampel C2 (65/P40/T170/t60) sebesar 1,6144 gr/cm³ dengan membandingkan dengan nilai densitas plastik ABS sebesar 1,190 gr/cm³ maka diperoleh *percent difference* sebesar 35,66%, kemudian nilai densitas aktual tertinggi dimiliki oleh sampel A1 (55/P30/T170/t70) sebesar 1,8380 gr/cm³ dengan *percent difference* sebesar 54,45%. Tabel 4.9 menunjukkan perbandingan hasil pengujian sampel dengan plastik ABS, sedangkan pada Gambar 4.1 menunjukkan diagram

batang untuk hasil penelitian densitas pada sampel dengan variasi komposisi *filler*.

Tabel 4.9 *Percent Difference* Densitas Sampel dengan Plastik ABS

Densitas Sampel (gr/cm ³)	Densitas Plastik ABS (gr/cm ³)	<i>Percent Difference</i> (%)
1,6144	1,190	35,66

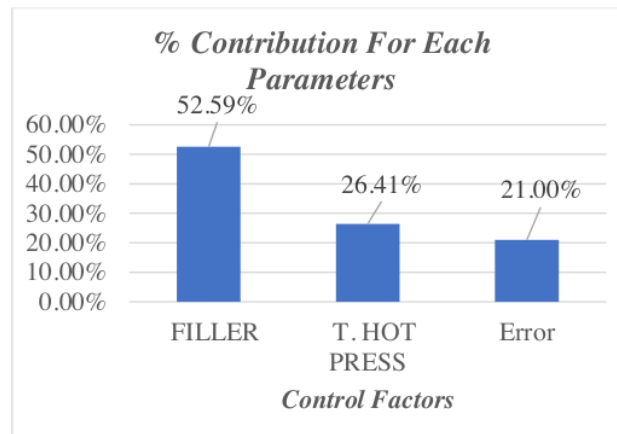


Gambar 4.1 Densitas Sampel dengan Variasi Komposisi *Filler*

Pada gambar 4.1 ditunjukkan diagram batang untuk hasil penelitian densitas pada sampel dengan variasi komposisi *filler*. Diagram batang berwarna biru menunjukkan hasil densitas aktual, dapat dilihat bahwa diagram cenderung mengalami penurunan. Tidak seperti densitas teoritis yang ditunjukkan oleh diagram berwarna oranye yang menunjukkan kenaikan yang diikuti oleh kenaikan komposisi *filler* pada sampel. Hal ini mendukung pernyataan sebelumnya bahwa, semakin banyak komposisi *filler* serbuk cangkang telur ayam yang mendominasi maka densitas pada sampel tersebut akan semakin tinggi. Namun pada densitas aktual, hal tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi saja, tetapi terdapat faktor lain yaitu tekanan *hot press*, temperatur *hot press*, dan waktu selama proses *hot press*. Nilai

densitas aktual yang besarnya berbanding terbalik dengan nilai densitas teoritis diakibatkan karena pada pengujian densitas aktual rongga-rongga yang terdapat pada sampel terisi oleh air secara sempurna sehingga menghasilkan nilai densitas yang lebih tepat. Pada penelitian ini, diharapkan bahwa densitas yang dimiliki oleh sampel menyerupai densitas yang dimiliki oleh plastik ABS yaitu sebesar $1,190 \text{ gr/cm}^3$. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan analisis untuk mengetahui hasil yang paling optimum dari 9 sampel yang telah dibuat dengan variasi komposisi *filler* dengan menginginkan nilai terkecil yang baik, menggunakan metode taguchi.

Setelah nilai hasil pengujian didapat, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode anova untuk mengetahui kontribusi dari setiap faktor atau untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap nilai densitas yang didapat pada sampel tersebut. Pada Gambar 4.2 menunjukkan analisis menggunakan metode anova.



Gambar 4.2 Anova Densitas pada Variasi Komposisi *Filler*

Pada penelitian ini menunjukkan terdapat faktor yang paling berpengaruh terhadap nilai densitas baik pada sampel dengan variasi komposisi *filler*. Pada sampel dengan variasi komposisi *filler* pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa *filler* dan temperatur *hot press* yang memiliki

pengaruh tinggi, dibuktikan dengan persentasi kontribusi untuk *filler* sebesar 52,59% dan tekanan *hot press* sebesar 26,41%, sedangkan *error* sebesar 21,00%. Hal ini membuktikan bahwa nilai densitas dipengaruhi paling besar oleh komposisi *filler*, besar komposisinya akan semakin berpengaruh terhadap nilai densitas sampel tersebut, diikuti oleh variasi temperatur *hot press*. Tentunya penjelasan tersebut mendukung pernyataan bahwa kerapatan massa/massa jenis bergantung pada zat penyusunnya, cangkang telur sebagai bahan paling dominan dalam pembuatan sampel tentunya akan membuat sampel semakin padat sehingga memiliki densitas semakin tinggi, meskipun cangkang telur tidak memiliki densitas tertinggi diantara bahan lainnya, namun cangkang telur mendominasi.

4.4 Hasil Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui ¹ perbandingan volume rongga-rongga pori terhadap volume total seluruh suatu bahan. Nilai porositas suatu bahan dapat diperoleh melalui perhitungan dengan mengetahui nilai densitas aktual dan nilai densitas teoritis. Pada Tabel 4.10 menunjukkan persentase porositas pada sampel dengan variasi komposisi *filler*.

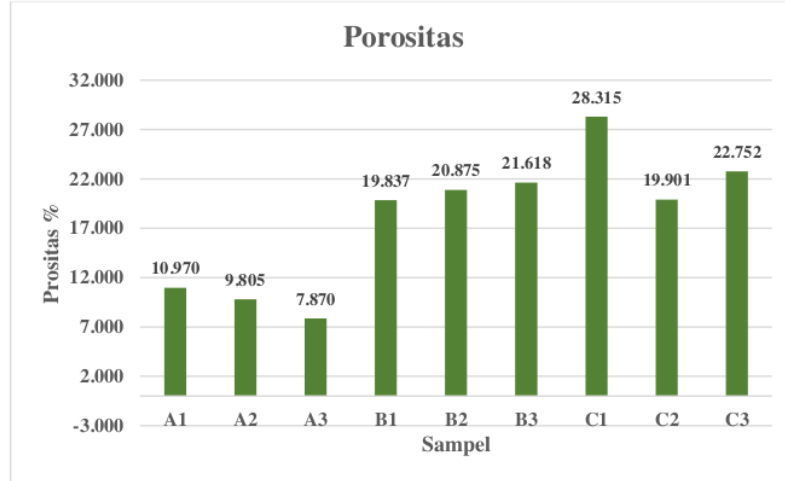
Tabel 4.10 Porositas Sampel dengan Variasi Komposisi *Filler*

Sampel	Porositas (%)
A1	10,970
A2	9,805
A3	7,870
B1	19,837
B2	20,875
B3	21,618
C1	28,315
C2	19,901
C3	22,752

Pada penelitian sampel dengan variasi komposisi *filler*, ditunjukkan hasil untuk persentase porositas cenderung menurun seiring dengan kenaikan komposisi *filler*. Pada sampel A dengan komposisi *filler* sebesar 55% persentase porositas berada pada *range* 7,870-10,970%, kemudian pada sampel B dengan komposisi *filler* 60% persentase porositas berada pada *range* 19,837-21,618%, selanjutnya pada sampel C dengan komposisi *filler* 65% sebesar 19,901-28,315%. Hal ini menunjukkan bahwa persentase porositas bergantung dengan jumlah materi penyusunnya yang berkaitan erat dengan densitas. Berbanding terbalik dengan densitas, sampel yang memiliki densitas tinggi cenderung memiliki persentase porositas yang lebih kecil. Hasil dari penelitian ini juga menunjukkan bahwa persentase porositas tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi *filler*, namun dipengaruhi oleh faktor lain yaitu tekanan *hot press*, temperatur *hot press*, dan waktu selama proses *hot press*. Terbukti dengan persentase porositas yang berbeda setiap sampelnya. Pada sampel dengan variasi komposisi *filler* terendah dimiliki oleh sampel A3 (55/P30/T170/t70) sebesar 7,870% dan persentase tertinggi dimiliki oleh sampel C1 (65/P40/T170/t60) sebesar 28,315%. Tabel 4.11 Menunjukkan perbandingan hasil pengujian dengan plastik ABS, sedangkan pada Gambar 4.5 menunjukkan diagram batang untuk hasil penelitian porositas pada sampel dengan variasi komposisi *filler*.

Tabel 4.11 Perbandingan Daya Serap Sampel dengan Plastik ABS

Porositas Sampel (%)	Porositas Plastik ABS (%)	Keterangan
7,870	<25,00	Memenuhi

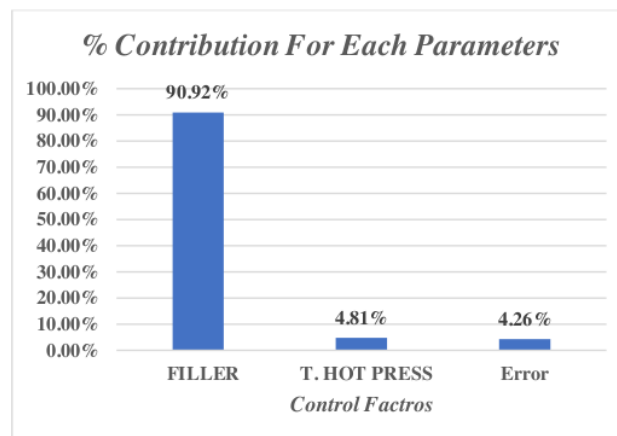


Gambar 4.3 Porositas Sampel dengan Variasi Komposisi *Filler*

Pada Gambar 4.3 ditunjukkan diagram batang untuk persentase porositas pada sampel dengan variasi komposisi *filler*. Pada diagram batang berwarna hijau menunjukkan persentase porositas, dapat dilihat bahwa diagram cenderung mengalami kenaikan disetiap sampel yang berbeda-beda. Hal menunjukkan bahwa terdapat pengaruh nilai densitas terhadap persentase porositas. Sampel dengan densitas tinggi cenderung memiliki porositas rendah, selain itu selisih antara densitas aktual dan teoritis mempengaruhi persentase porositas, sampel dengan perbedaan densitas aktual dan densitas teoritis yang kecil akan memiliki persentase porositas yang rendah. Besarnya persentase porositas yang diperoleh pada sampel secara umum dipengaruhi oleh massa jenis (densitas) dari komposit tersebut. Hal ini karena densitas berkaitan erat dengan kerapatan massa penyusun dari jenis komposit tersebut. Nilai densitas bahan komposit ini saling berhubungan dengan persentase porositas. Nilai porositas suatu bahan berbanding terbalik dengan densitas bahan komposit tersebut, hal ini karena porositas adalah rongga yang terdapat pada bahan komposit dan akan mempengaruhi densitas bahan tersebut. Semakin padat suatu bahan maka densitasnya akan semakin tinggi dan porositas akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya. Pada penelitian ini, diharapkan bahwa persentase porositas

yang dimiliki oleh sampel menyerupai porositas yang dimiliki oleh plastik ABS yaitu persentase porositas sekecil mungkin. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan analisis untuk mengetahui nilai optimum dari 9 sampel yang telah dibuat dengan variasi komposisi *filler* yaitu dengan menginginkan nilai terkecil adalah yang terbaik, menggunakan metode taguchi.

Setelah nilai hasil pengujian telah didapat maka selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode anova untuk mengetahui kontribusi dari setiap faktor atau untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap persentase porositas yang didapat pada sampel tersebut. Pada Gambar 4.4 menunjukkan analisis menggunakan metode anova.



Gambar 4.4 Anova Porositas pada Variasi Komposisi *Filler*

Pada penelitian ini terdapat faktor yang paling berpengaruh terhadap persentase porositas baik pada sampel dengan variasi komposisi *filler* maupun sulfur. Pada sampel dengan variasi komposisi *filler* pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa *filler* dan temperatur *hot press* yang memiliki pengaruh tinggi, dibuktikan dengan persentase kontribusi untuk *filler* sebesar 90,92% dan temperatur *hot press* sebesar 4,81%, sedangkan *error* sebesar 4,26%. Hal ini membuktikan bahwa persentase porositas dipengaruhi paling besar oleh komposisi *filler*, semakin besar komposisi *filler* akan semakin berpengaruh terhadap persentase porositas sampel tersebut yaitu semakin

kecil, diikuti oleh variasi temperatur *hot press*. Tentunya penjelasan tersebut mendukung pernyataan porositas bergantung pada densitas bahan itu sendiri, cangkang telur sebagai bahan paling dominan dalam pembuatan sampel tentunya akan paling berpengaruh terhadap volume pori-pori pada bahan.

4.5 Hasil Pengujian *Water Content* (Kadar Air)

Pada penelitian ini dilakukan penelitian untuk mengetahui kadar air yang dimiliki oleh sampel komposit. Kadar air adalah banyaknya air yang terkandung di dalam suatu benda. Persentase kadar air suatu bahan dapat diperoleh dengan mengetahui berat cawan kosong, berat cawan kosong dengan sampel, dan berat sampel. Cawan kosong dikeringkan selama 30 menit dalam oven pada suhu 105°C, kemudian cawan tersebut didinginkan pada desikator selama 15 menit, setelah didinginkan pada desikator, cawan ditimbang. Kemudian cawan tersebut diisi sampel komposit dan ditimbang beratnya, cawan yang telah diisi sampel kemudian dimasukkan kedalam oven selama 2 jam dengan suhu 105°C selama 2 jam, cawan tersebut kemudian didinginkan kembali dalam desikator selama 15 menit, kemudian ditimbang dan dicatat hasilnya. Pada Tabel 4.12 menunjukkan persentase kadar air pada sampel dengan variasi komposisi *filler*.

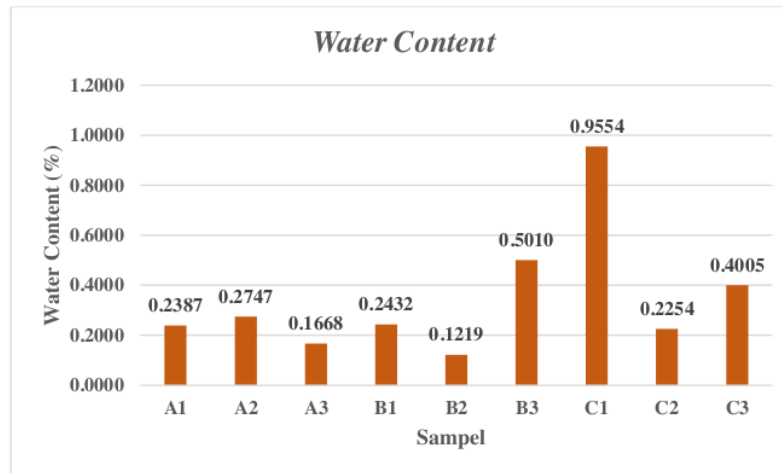
Tabel 4.12 Kadar Air Sampel dengan Variasi Komposisi *Filler*

Sampel	Kadar Air (%)
A1	0,2387
A2	0,2747
A3	0,1668
B1	0,2432
B2	0,1219
B3	0,5010
C1	0,9554
C2	0,2254
C3	0,4005

Pada penelitian sampel dengan variasi komposisi *filler*, ditunjukkan hasil untuk persentase kadar air cenderung mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan komposisi *filler*, hal tersebut terjadi juga pada sampel dengan variasi sulfur. Pada sampel A dengan komposisi filler sebesar 55% persentase kadar air berada pada *range* 0,1668-0,2747%, kemudian pada sampel B dengan komposisi filler 60% persentase kadar air berada pada *range* 0,1219-0,5010%, selanjutnya pada sampel C dengan komposisi filler 65% sebesar 0,2254-0,9554%. Hal ini menunjukkan bahwa persentase kadar air bergantung dengan jumlah bahan penyusunnya. Besarnya persentase kadar air suatu jenis komposit salah satunya dipengaruhi oleh filler dan matriks yang terkandung didalamnya, semakin banyak kandungan filler pada jenis komposit tersebut maka semakin tinggi kadar air yang terkandung didalamnya. Hal ini karena bahan alam seperti serbuk cangkang telur pada komposit yang memiliki kemampuan dalam menyerap kandungan air. Berbanding terbalik dengan karet alam yang bersifat lebih *hydrophobic* sehingga memiliki kemampuan yang rendah dalam menyerap air. Oleh karena itu, pada sampel dengan variasi komposisi *filler* yang tinggi cenderung memiliki kadar air yang lebih tinggi. Hasil dari penelitian ini juga menunjukkan bahwa persentase kadar air tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi *filler* saja, namun dipengaruhi oleh faktor lain yaitu tekanan *hot press*, temperatur *hot press*, dan waktu selama proses *hot press*. Terbukti dengan persentase kadar air yang berbeda setiap sampelnya. Pada sampel dengan variasi komposisi *filler* terendah dimiliki oleh sampel B2 (60/P50/T170/t50) sebesar 0,1219% dengan membandingkan dengan kadar air pada plastik ABS sebesar 0,10% maka terdapat *percent difference* sebesar 21,9% dan persentase tertinggi dimiliki oleh sampel C1 (65/P40/T170/t60) sebesar 0,9554%. Tabel 4.13 menunjukkan *percent difference* hasil pengujian terendah dengan plastik ABS, sedangkan pada Gambar 4.9 menunjukkan diagram batang untuk hasil penelitian kadar air pada sampel dengan variasi komposisi *filler*.

Tabel 4.13 Percent Difference Kadar Air Sampel dengan Plastik ABS

Kadar Air Sampel (%)	Kadar Air Plastik ABS (%)	Percent Difference (%)
0,1219%	0,10%	21,9

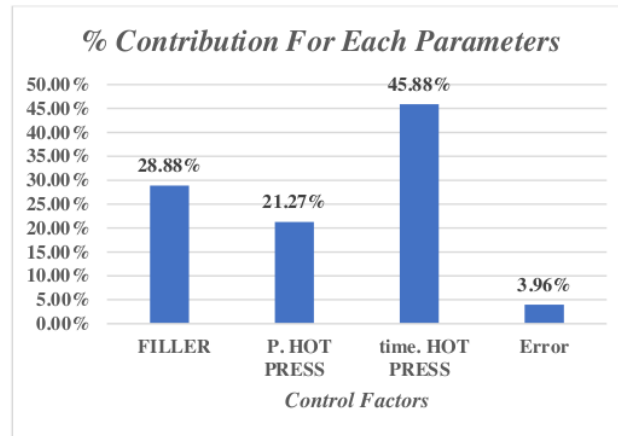


Gambar 4.5 Kadar Air pada Variasi Komposisi *Filler*

Pada kedua diagram batang berwarna oranye menunjukkan persentase kadar air, dapat dilihat bahwa diagram cenderung mengalami kenaikan. Hal menunjukkan bahwa terdapat pengaruh variasi komposisi *filler* terhadap persentase kadar air. Sampel dengan komposisi *filler* yang tinggi cenderung memiliki kadar air yang lebih tinggi. Pada penelitian ini, diharapkan bahwa persentase kadar air yang dimiliki oleh sampel menyerupai yang dimiliki oleh plastik ABS yaitu sebesar 0,10%. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan analisis untuk mengetahui hasil yang paling optimum dari 9 sampel yang telah dibuat baik dengan variasi komposisi *filler* dengan menginginkan nilai terkecil yang baik, menggunakan metode taguchi.

Setelah nilai hasil pengujian didapat maka selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode anova untuk mengetahui kontribusi dari setiap faktor atau untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh

terhadap persentase kadar air yang didapat pada sampel tersebut. Pada Gambar 4.6 menunjukkan analisis menggunakan metode anova.



Gambar 4.6 Anova Kadar Air pada Variasi Komposisi *Filler*

Pada penelitian ini terdapat faktor yang paling berpengaruh terhadap persentase kadar air baik pada sampel dengan variasi komposisi *filler*. Pada sampel dengan variasi komposisi *filler* pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa waktu *hot press* memiliki pengaruh tinggi yaitu sebesar 45,88%, diikuti oleh *filler* 28,88%, kemudian tekanan *hot press* sebesar 21,27%, dan *error* sebesar 3,96%. Hal ini membuktikan bahwa persentase kadar air dipengaruhi paling besar oleh komposisi *filler* dan waktu *hot press*, semakin lama waktu pada proses *hot press* akan berpengaruh terhadap persentase kadar air yang semakin kecil pada sampel tersebut, diikuti oleh komposisi *filler*. Tentunya penjelasan tersebut mendukung pernyataan kadar air bergantung pada bahan penyusun komposit itu sendiri, cangkang telur sebagai bahan paling dominan dalam pembuatan sampel tentunya akan paling berpengaruh terhadap jumlah air yang terdapat pada komposit, cangkang telur sebagai bahan alam akan cenderung lebih menyerap air.

4.6 Hasil Pengujian *Water Absorption* (Daya Serap Air)

Pada penelitian ini dilakukan pengujian untuk mengetahui daya serap air pada sampel komposit. Daya serap air merupakan kemampuan partikel suatu bahan untuk mengikat air (Handiskawati, 2012). Pengujian daya serap air pada komposit dilakukan dengan melakukan perendaman sampel komposit kedalam air, kemudian membandingkan massa setelah direndam dengan massa sebelum direndam. Pada Tabel 4.14 menunjukkan persentase daya serap air pada sampel dengan variasi komposisi *filler*.

Tabel 4.14 Daya Serap Sampel dengan Variasi Komposisi *Filler*

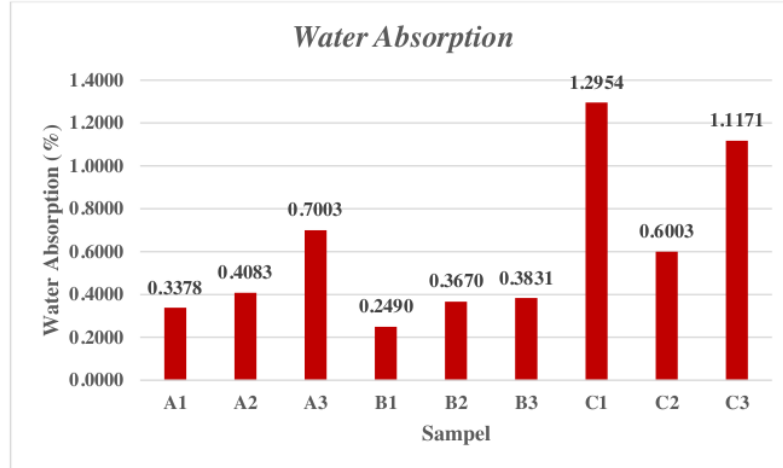
Sampel	Daya Serap (%)
A1	0,3378
A2	0,4083
A3	0,7003
B1	0,2490
B2	0,3670
B3	0,3831
C1	1,2954
C2	0,6003
C3	1,1171

Pada penelitian sampel dengan variasi komposisi *filler*, ditunjukkan hasil untuk persentase daya serap air cenderung mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan komposisi *filler*, hal tersebut terjadi juga pada sampel dengan variasi sulfur. Pada sampel A dengan komposisi *filler* sebesar 55% persentase daya serap air berada pada *range* 0,3378-0,7003%, kemudian pada sampel B dengan komposisi *filler* 60% persentase daya serap air berada pada *range* 0,2490-0,3831%, selanjutnya pada sampel C dengan komposisi *filler* 65% sebesar 0,6003-1,2954%. Hal ini menunjukkan bahwa persentase daya serap air bergantung dengan komposisi bahan penyusunnya. Secara teori besarnya persentase daya serap air pada jenis komposit tersebut dipengaruhi oleh nilai densitas dan porositas jenis komposit. Hal tersebut karena densitas menjadi parameter kerapatan massa suatu jenis komposit dan porositas menjadi parameter jumlah volume

rongga pada jenis komposit tersebut. Semakin tinggi nilai densitas dan rendahnya nilai porositas maka akan semakin rendah daya serap air yang dimiliki oleh komposit tersebut. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah nilai densitas dan semakin tinggi nilai porositas maka akan semakin tinggi kemampuan daya serap air suatu jenis komposit. Namun, hal tersebut tidak melupakan bahwa cangkang telur cenderung menyerap air lebih banyak dibandingkan dengan bahan lainnya. Berbanding terbalik dengan karet alam yang bersifat lebih *hydrophobic* sehingga memiliki kemampuan yang rendah dalam menyerap air. Oleh karena itu, pada sampel dengan variasi komposisi *filler* yang tinggi cenderung memiliki daya serap yang lebih tinggi. Hasil dari penelitian ini juga menunjukkan bahwa persentase daya serap air tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi *filler*, namun dipengaruhi oleh faktor lain yaitu tekanan *hot press*, temperatur *hot press*, dan waktu selama proses *hot press*. Terbukti dengan persentase daya serap yang berbeda setiap sampelnya. Pada sampel dengan variasi komposisi *filler* terendah dimiliki oleh sampel B1 (60/P40/T160/t70) sebesar 0,2490%, membandingkan dengan persentase daya serap pada plastik ABS maksimum sebesar 1,8% maka sampel tersebut memenuhi, kemudian persentase tertinggi dimiliki oleh sampel C1 (65/P40/T170/t60) sebesar 1,2954%. Tabel 4.15 menunjukkan perbandingan hasil pengujian dengan plastik ABS, sedangkan pada Gambar 4.7 menunjukkan diagram batang untuk hasil penelitian daya serap air pada sampel dengan variasi komposisi *filler*.

Tabel 4.15 Perbandingan Daya Serap Sampel dengan Plastik ABS

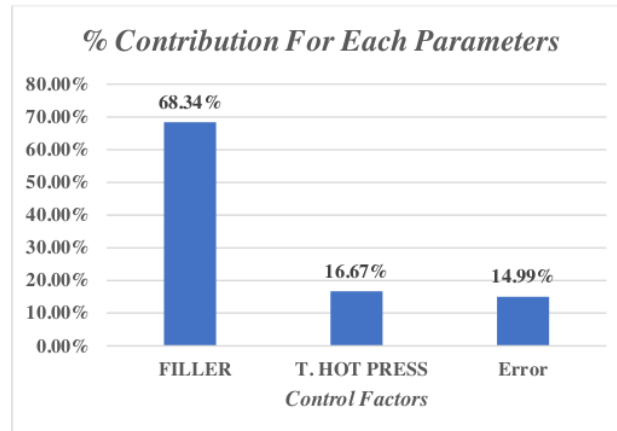
Daya Serap Sampel (%)	Daya Serap Plastik ABS (%)	Keterangan
0,2490	0,05-1,8	Memenuhi



Gambar 4.7 Daya Serap Air pada Variasi Komposisi *Filler*

Pada kedua diagram batang berwarna merah menunjukkan persentase daya serap air, dapat dilihat bahwa diagram cenderung mengalami kenaikan. Hal menunjukkan bahwa terdapat pengaruh variasi komposisi *filler* terhadap persentase daya serap air. Sampel dengan komposisi *filler* yang tinggi cenderung memiliki daya serap air yang lebih tinggi. Pada penelitian ini, diharapkan bahwa persentase kadar air yang dimiliki oleh sampel menyerupai yang dimiliki oleh plastik ABS yaitu maksimal sebesar 1,8%. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan analisis untuk mengetahui hasil yang paling optimum dari 9 sampel yang telah dibuat dengan variasi komposisi *filler* dengan menginginkan nilai terkecil yang baik, menggunakan metode taguchi.

Setelah nilai hasil pengujian telah didapat maka selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode anova untuk mengetahui kontribusi dari setiap faktor atau untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap persentase daya serap air pada sampel tersebut. Pada Gambar 4.8 menunjukkan analisis menggunakan metode anova.



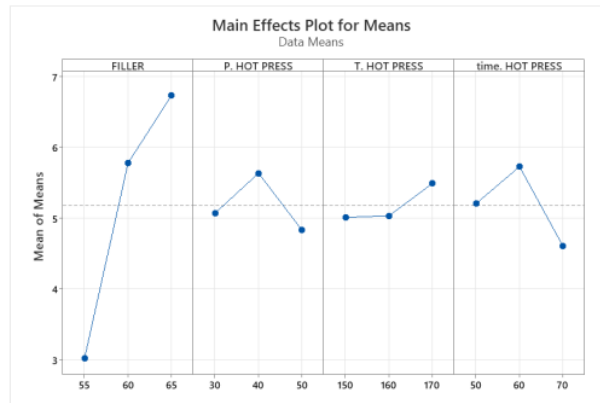
Gambar 4.8 Anova Daya Serap Air pada Variasi Komposisi *Filler*

Pada penelitian ini terdapat faktor yang paling berpengaruh terhadap persentase daya serap air pada sampel dengan variasi komposisi. Pada sampel dengan variasi komposisi *filler* pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa komposisi *filler* memiliki pengaruh tinggi yaitu sebesar 68,34%, diikuti oleh temperatur *hot press* 16,67%, dan *error* sebesar 14,99%. Hal ini membuktikan bahwa persentase daya serap air dipengaruhi paling besar oleh komposisi *filler* dan temperatur *hot press*, semakin besar jumlah komposisi *filler* pada komposit akan berpengaruh terhadap persentase daya serap air yang semakin besar pada sampel tersebut, diikuti oleh temperatur *hot press*. Tentunya penjelasan tersebut mendukung pernyataan daya serap air bergantung pada bahan penyusun komposit itu sendiri, cangkang telur sebagai bahan paling dominan dalam pembuatan sampel dan bahan dari alam yang cenderung lebih menyerap air dibandingkan bahan lain tentunya akan paling berpengaruh terhadap jumlah air yang terserap oleh komposit.

4.7 Pembahasan

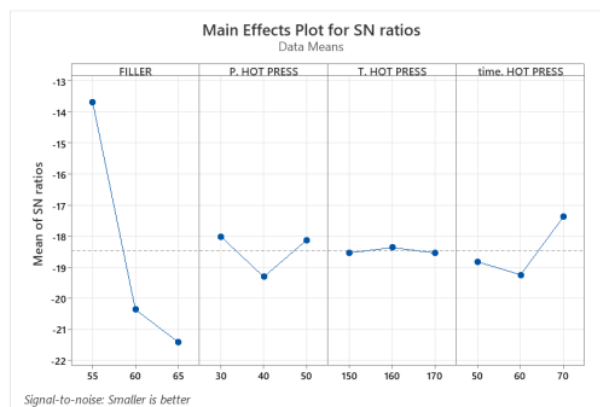
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai optimum berdasarkan variasi terhadap densitas persentase kadar air, daya serap, dan porositas. Oleh karena ini dilakukan analisis menggunakan metode taguchi untuk

mendapatkan nilai optimum. Pada Gambar 4.9 menunjukkan nilai optimum pada penelitian ini.



Gambar 4.9 Nilai Optimum Sampel Variasi Komposisi *Filler*

Pada sampel dengan variasi komposisi *filler* nilai optimum untuk sifat fisik untuk densitas, porositas, kadar air, dan daya serap ditunjukkan pada sampel dengan komposisi *filler* 55% dengan tekanan *hot press* sebesar 50 MPa, temperatur *hot press* sebesar 150°C, dan waktu *hot press* selama 70 menit. Dengan mengetahui nilai optimum pada penelitian ini, maka akan didapatkan nilai terendah dari semua sampel. Gambar 4.10 menunjukkan nilai *signal to noise* pada sampel komposit.



Gambar 4.10 Nilai *Signal to Noise* Sampel Variasi Komposisi *Filler*

Pada gambar 4.10 menunjukkan nilai *signal to noise:smaller is better* yang merupakan sebuah nilai jika semakin besar nilai *signal to noise* rasio maka semakin baik hasilnya. Hal tersebut diperoleh melalui nilai *signal* dibagi dengan nilai *noise*, maka semakin kecil nilai *noise* maka akan semakin baik nilai *signal* yang didapatkan. Pada sampel dengan variasi *filler* menunjukkan nilai tertinggi dimiliki *filler* dengan komposisi sebesar 55% yaitu sebesar -13,676, kemudian dengan tekanan *hot press* 50 MPa sebesar -18,120, temperatur *hot press* 150°C sebesar -18,534, dan waktu *hot press* selama 70 menit sebesar -17,374. Sehingga untuk memperoleh sampel dengan sifat fisik terbaik maka sampel harus dibuat dengan dengan komposisi *filler* 55% dengan tekanan *hot press* sebesar 50 MPa, temperatur *hot press* sebesar 150°C, dan waktu *hot press* selama 70 menit.

Penelitian ini juga dilakukan untuk membandingkan dengan karakteristik yang dimiliki oleh plastik ABS meliputi densitas, porositas, kadar air, dan daya serap. Hasil menunjukkan perbandingan hasil pengujian sampel komposit dengan plastik ABS tiga dari empat pengujian memenuhi karakteristik yang dimiliki oleh plastik ABS yaitu porositas, kadar air, dan daya serap, sedangkan densitas tidak memenuhi karena memiliki perbedaan nilai yang cukup signifikan. Oleh karena itu, sesuai dengan capaian yang ingin dituju yaitu 75% karakteristik menyerupai plastik ABS penelitian ini memenuhi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini terdapat kesimpulan yang diambil berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan. Adapun kesimpulan pada penelitian adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini terdapat pengaruh variasi komposisi *filler* serbuk cangkang telur ayam terhadap densitas serta persentase kadar air, daya serap, dan porositas. Nilai densitas menunjukkan bahwa kerapatan massa bergantung dengan jumlah materi penyusunnya, kemudian porositas menunjukkan bahwa persentase porositas bergantung pada jumlah materi penyusunnya yang berkaitan erat dengan densitas. Semakin besar densitasnya maka komposit akan semakin rapat dan porositas akan semakin kecil. Selanjutnya untuk kadar air semakin banyak kandungan *filler* pada jenis komposit tersebut maka semakin tinggi kadar air yang terkandung didalamnya, karena bahan alam seperti serbuk cangkang telur pada komposit yang memiliki kemampuan dalam menyerap kandungan air dan daya serap air semakin tinggi nilai densitas dan rendahnya nilai porositas maka akan semakin rendah daya serap air yang dimiliki oleh komposit tersebut.
2. Pada penelitian ini diperoleh nilai optimum terhadap sifat fisik yaitu densitas, porositas, kadar air dan daya serap untuk sampel komposit dengan *filler* sebesar 55%, tekanan *hot press* sebesar 50 MPa, temperatur *hot press* 150°C, waktu *hot press* 70 menit.
3. Pada penelitian ini terdapat variasi yang memiliki pengaruh tinggi terhadap densitas serta persentase kadar air, daya serap, dan porositas sebagai berikut :
 - a. Pada pengujian densitas untuk variasi *filler* persentase kontribusi untuk *filler* sebesar 52,59% dan tekanan *hot press* sebesar 26,41%, sedangkan *error* sebesar 21,00%.

- b. Pada pengujian porositas untuk variasi *filler* persentasi kontribusi untuk *filler* sebesar 90,92% dan temperatur *hot press* sebesar 4,81%, sedangkan *error* sebesar 4,26%.
- c. Pada pengujian kadar air pada variasi *filler* bahwa waktu *hot press* memiliki pengaruh tinggi yaitu sebesar 45,88%, diikuti oleh *filler* 28,88%, kemudian tekanan *hot press* sebesar 21,27%, dan *error* sebesar 3,96%.
- d. Pada pengujian daya serap air untuk variasi *filler* memiliki pengaruh tinggi yaitu sebesar 68,34%, diikuti oleh temperatur *hot press* 16,67%, dan *error* sebesar 14,99%.

Pada penelitian ini variasi yang memiliki pengaruh tinggi terhadap sifat fisik adalah *filler* serbuk cangkang telur ayam.

5.2 Saran

Pada penelitian ini terdapat saran agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik dan bermanfaat. Adapun saran pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Pada pengujian daya serap air disarankan untuk mengukur terlebih dahulu pH pada akuades agar mengetahui kemurnian akuades tersebut, sehingga tidak ada zat mineral lain yang mempengaruhi penelitian.
2. Pada pengujian kadar air disarankan untuk memastikan bahwa cawan yang digunakan benar-benar bersih dan tersisa zat lain selain sampel komposit.
3. Penelitian tidak hanya mencari nilai optimum, namun dapat menentukan limitasi dengan cara menambah level penelitian dan melakukan eksperimen kembali setelah mendapat nilai optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Diana, L., Safitra, A. G., & Ariansyah, M. N. (2020). Analisis Kekuatan Tarik pada Material Komposit dengan Serat Penguat Polimer. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Materia*, 4, 59-67.
- Fajri, R. I., Tarkono, & Sugiyatno. (2013). Studi Sifat Mekanik Komposit Serat *Sansevieria Cylindrica* Dengan Variasi Fraksi Volume Bermatrik Polyester. *Jurnal FEMA*, 85-86.
- Febriyanti, R. (n.d.). PENGARUH KONSENTRASI ASAM STEARAT SEBAGAI BASIS TERHADAP SIFAT FISIK SABUN TRANSPARAN MINYAK JERUK PURUT (*Oleum Citrushystrix*D. C.) DENGAN METODE DESTILASI.
- Gibson, R. (2016). *Principles of Composite Material Mechanics 4th Edition*. New York: Taylor & Francis Group.
- Handayani, H., Cifriadi, A., Handayani, A., Chalid, M., Herlina, R., & Savetlana, S. (2018). SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT KARET ALAM/SELULOSA DENGAN VARIASI JENIS SELULOSA. *Jurnal Penelitian Karet*, 36, 173-182.
- Handiskawati. (2012). *Pengaruh Perbandingan Tepung Terigu dan Tepung Bonggol Pisang (Musa Paradisiaca) Terhadap Daya Serap Air dan Daya Terima Brownies*. Surakarta: Program Studi Gizi DIII .
- Krishnaiah, & Shahabudeen. (2012). *Applied Design of Experiments and Taguchi Methods*. New Delhi: PHI Learning Private Limited.
- Lokesh, Shobika, Omer, S., Reddy, M., Saravanan, P., Rajeshkannan, . . . Ventkatkumar, S. (2023). Bioremediation of plastics by the help of microbial tool: A way for control of plastic pollution. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 3-4. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2023.100027>
- Malcolm, S. (2001). *Kimia Polimer*. (I. Sopyan, Trans.) Jakarta: Pradnya Paramita.

- Nasruddin. (2019). Pengaruh Komposit Bahan Pelunak Terhadap Sifat Mekanik Vulkanisat Karet Alam Sir-20. *Jurnal Dinamika Penelitian Industr*, 30, 65-66.
- Niraku. (2020, September 20). *Niraku*. Retrieved from Niraku News: <https://niraku.co.id/kelebihan-calcium-carbonate-sebagai-filler-polymer/>
- Nuryati, Amalia, R. R., & Hairiyah, N. (2020). Pembuatan Komposit dari Limbah Plastik Polyethylene Terephthlate (PET) Berbasis Serat Alam Daun Pandan. *Jurnal Agro Industri*, 107-117. doi:10.31186/j.agroind.10.2.107-117
- Prasetyo, T. F., Isdiana, A. F., & Sujadi, H. (2019). Implementasi Alat Pendeteksi Kadar Air Pada Bahan Pangan Berbasis Internet of Things. *SMARTICS Journal*, 1, 81-96.
- Rani, S. R. (2021). Studi Sifat Mekanik Komposit Peg (Polyethylene Glycol) - 4000 Penambahan 10 Wt% Sio₂ Quartz Dari Pasir Alam Dengan Menggunakan Dynamic Mechanical Analysis (Dma). *Jurnal Fisika dan Terapannya*, 8, 19-27. doi:10.24252/jft.v8i1.21134
- Riyanto, Sunjana, I., & Wicaksono, R. (2021). Karakterisasi Pengaruh Ukuran Mesh Terhadap Sifat Fisis Komposit Partikel Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 2, 13-18.
- Saputra, A. T., Wicaksono, M. A., & Irsan. (2017). Pemanfaatan Minyak Goreng Bekas Untuk Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis Zeolit Alat Teraktivasi. *Jurnal Chemurgy*, 1, 1-6.
- Sipayung, M., & Eddyanto. (2022). Process and Characterization of Natural Rubber Modification (Sir-20) With Grafting Maleat Anhydride. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, 5, 16-17.
- Suhail Hyder Vattathurvalappil, S. F., & Haq, M. (2023). Mechanics of ABS Polymer under Low & Intermediate Strain Rates. *Recent Progress in Materials*, 5(1), 1-13. doi:10.21926/rpm.2301012
- Sulaeman, J. A. (2023). *Pengaruh Variasi Kandungan Filler Serbuk Cangkang Telur Ayam Dengan Pengikat Karet Alam Terhadap Konduktivitas Termal Biokomposit*. Cilegon: UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA.

- Surya, I., & Philbert. (2021). Pengaruh Oleamida Terhadap Karakteristik Pematangan Karet Alam Terisi Silika. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 10, 90-94.
- Syam, W. M. (2016). *Optimalisasi Kalsium Karbonat Dari Cangkang Telur Untuk Produksi Pasta Komposit*. Makassar: FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN ALAUDDIN MAKASSAR.
- Thoufan, M. F. (2017). *Karakterisasi Termomekanik Plastik Biodegradable Dari Limbah Tongkol Jagung Menggunakan Dynamic Mechanical Analyzer (Dma)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wicaksono, T. T., Budiyanoro, C., & Sosiati, H. (2019). Karakterisasi Sifat Mekanis Dan Sifat Thermal Campuran Daur Ulang Acrylonitrile Butadiene Styrene (Abs) Dan Polycarbonate (Pc). *Jurnal Material dan Proses Manufaktur* V, 1, 2-3. Retrieved from <https://journal.umy.ac.id/index.php/jmpm>
- Yuniari, A., Sholeh, M., & Indrajati, I. N. (2015). The Effect Of Conventional (Cv) And Semi Efficient (Sev) Curing System On Aging And Thermal Properties Of Natural Curing System On Aging And Thermal Properties Of Natural. *Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik*, 99-100.
- Yuniari, A., Sarengat, N., & Lestari, S. P. (2023). The Effect Of Sulfur On Physical Properties Of Pale Crepe And Sbr Blends Used For Heat Resistant Rubber. *Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik*, 29, 63-68.

LAMPIRAN

**LAMPIRAN A. PERHITUNGAN PENGUJIAN DENSITAS, POROSITAS,
KADAR AIR, DAN DAYA SERAP**

A. Perhitungan Densitas Teroritis

Densitas bahan :

Cangkang Telur : 2,571 gr/cm³ Karet Alam : 0,92 gr/cm³ ZnO : 5,6 gr/cm³

Sulfur : 1,96 gr/cm³ Asam Stearat : 0,845 gr/cm³

Volume total : 100 cm³

1. Sampel A komposisi filler 55 %

Volume bahan :

a. Cangkang telur : 55 cm³

b. Karet Alam : 34,09 cm³

c. ZnO : 1,7 cm³

d. Sulfur : 8,52 cm³

e. Asam Stearat : 0,68 cm³

$$\rho = V_a\rho_a + V_b\rho_b + V_c\rho_c + V_d\rho_d + V_e\rho_e$$

$$\rho = \frac{55}{100}2,571 + \frac{34,09}{100}0,92 + \frac{1,7}{100}5,6 + \frac{8,52}{100}1,96 + \frac{0,68}{100}0,845$$

$$\rho = 1,9951 \text{ gr/cm}^3$$

2. Sampel A komposisi filler 60 %

Volume bahan :

a. Cangkang telur : 60 cm³

b. Karet Alam : 34,09 cm³

c. ZnO : 1,7 cm³

d. Sulfur : 8,52 cm³

e. Asam Stearat : 0,68 cm³

$$\rho = V_a\rho_a + V_b\rho_b + V_c\rho_c + V_d\rho_d + V_e\rho_e$$

$$\rho = \frac{60}{100}2,571 + \frac{34,09}{100}0,92 + \frac{1,7}{100}5,6 + \frac{8,52}{100}1,96 + \frac{0,68}{100}0,845$$

$$\rho = 2,1236 \text{ gr/cm}^3$$

3. Sampel A komposisi filler 65 %

Volume bahan :

- a. Cangkang telur : 65 cm^3
- b. Karet Alam : $34,09 \text{ cm}^3$
- c. ZnO : $1,7 \text{ cm}^3$
- d. Sulfur : $8,52 \text{ cm}^3$
- e. Asam Stearat : $0,68 \text{ cm}^3$

$$\rho = V_a \rho_a + V_b \rho_b + V_c \rho_c + V_d \rho_d + V_e \rho_e$$

$$\rho = \frac{65}{100} 2,571 + \frac{34,09}{100} 0,92 + \frac{1,7}{100} 5,6 + \frac{8,52}{100} 1,96 + \frac{0,68}{100} 0,845$$

$$\rho = 2,2521 \text{ gr/cm}^3$$

B. Perhitungan Porositas

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{(\rho_{\text{teoritis}} - \rho_{\text{aktual}})}{\rho_{\text{teoritis}}} \times 100\%$$

1. Sampel A1

$$\text{a. Porositas} = \frac{(1,9951 - 1,771)}{1,995} = 0,113$$

$$\text{b. Porositas} = \frac{(1,9951 - 1,718)}{1,995} = 0,139$$

$$\text{c. Porositas} = \frac{(1,9951 - 1,840)}{1,995} = 0,078$$

$$\text{Porositas}_{\text{average}} (\%) = 0,1097 \times 100\% = 10,970 \%$$

2. Sampel A2

$$\text{a. Porositas} = \frac{(1,9951 - 1,861)}{1,995} = 0,067$$

$$\text{b. Porositas} = \frac{(1,9951 - 1,738)}{1,995} = 0,129$$

$$\text{c. Porositas} = \frac{(1,9951 - 1,800)}{1,995} = 0,098$$

$$\text{Porositas}_{\text{average}} (\%) = 0,098 \times 100\% = 9,805 \%$$

3. Sampel A3

$$\text{a. Porositas} = \frac{(1,9951 - 1,803)}{1,995} = 0,096$$

$$\text{b. Porositas} = \frac{(1,9951 - 1,944)}{1,995} = 0,026$$

$$c. \text{ Porositas } (\%) = \frac{(1,9951-1,768)}{1,995} = 0,114$$

$$\text{Porositas}_{\text{average}} (\%) = 0,0787 \times 100\% = 7,870 \%$$

4. Sampel B1

$$a. \text{ Porositas } = \frac{(2,1236-1,732)}{2,1236} = 0,184$$

$$b. \text{ Porositas } = \frac{(2,1236-1,715)}{2,1236} = 0,192$$

$$c. \text{ Porositas } = \frac{(2,1236-1,660)}{2,1236} = 0,218$$

$$\text{Porositas}_{\text{average}} (\%) = 0,1984 \times 100\% = 19,837 \%$$

5. Sampel B2

$$a. \text{ Porositas } = \frac{(2,1236-1,695)}{2,1236} = 0,202$$

$$b. \text{ Porositas } = \frac{(2,1236-1,698)}{2,1236} = 0,200$$

$$c. \text{ Porositas } = \frac{(2,1236-1,648)}{2,1236} = 0,224$$

$$\text{Porositas}_{\text{average}} (\%) = 0,2099 \times 100\% = 20,875 \%$$

6. Sampel B3

$$a. \text{ Porositas } = \frac{(2,1236-1,720)}{2,1236} = 0,190$$

$$b. \text{ Porositas } = \frac{(2,1236-1,657)}{2,1236} = 0,220$$

$$c. \text{ Porositas } = \frac{(2,1236-1,617)}{2,1236} = 0,239$$

$$\text{Porositas}_{\text{average}} (\%) = 0,2162 \times 100\% = 21,618 \%$$

7. Sampel C1

$$a. \text{ Porositas } = \frac{(2,2521-1,578)}{2,2521} = 0,300$$

$$b. \text{ Porositas } = \frac{(2,2521-1,642)}{2,2521} = 0,271$$

$$c. \text{ Porositas } = \frac{(2,2521-1,624)}{2,2521} = 0,279$$

$$\text{Porositas}_{\text{average}} (\%) = 0,2832 \times 100\% = 28,315 \%$$

8. Sampel C2

$$a. \text{ Porositas } = \frac{(2,2521-1,807)}{2,2521} = 0,198$$

$$b. \text{ Porositas } = \frac{(2,2521-1,810)}{2,2521} = 0,196$$

$$c. \text{ Porositas } = \frac{(2,2521-1,795)}{2,2521} = 0,203$$

$$\text{Porositas}_{\text{average}} (\%) = 0,199 \times 100\% = 19,901 \%$$

9. Sampel C3

$$\text{a. Porositas} = \frac{(2,2521-1,579)}{2,2521} = 0,299$$

$$\text{b. Porositas} = \frac{(2,2521-1,895)}{2,2521} = 0,159$$

$$\text{c. Porositas} = \frac{(2,2521-1,746)}{2,2521} = 0,225$$

$$\text{Porositas}_{\text{average}} (\%) = 0,2275 \times 100\% = 22,752 \%$$

C. Perhitungan Kadar Air

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

1. Sampel A1

$$\text{a. Kadar Air} (\%) = \frac{69,54-69,52}{6,96} \times 100\% = 0,287 \%$$

$$\text{b. Kadar Air} (\%) = \frac{68,57-68,56}{6,687} \times 100\% = 0,150 \%$$

$$\text{c. Kadar Air} (\%) = \frac{68,69-68,67}{7,163} \times 100\% = 0,279 \%$$

$$\text{Kadar Air}_{\text{average}} (\%) = 0,239 \%$$

2. Sampel A2

$$\text{a. Kadar Air} (\%) = \frac{69,78-69,76}{7,247} \times 100\% = 0,276 \%$$

$$\text{b. Kadar Air} (\%) = \frac{68,06-68,06}{6,940} \times 100\% = 0,288 \%$$

$$\text{c. Kadar Air} (\%) = \frac{69,9-69,88}{7,693} \times 100\% = 0,260 \%$$

$$\text{Kadar Air}_{\text{average}} (\%) = 0,275 \%$$

3. Sampel A3

$$\text{a. Kadar Air} (\%) = \frac{70,27-70,25}{7,730} \times 100\% = 0,259 \%$$

$$\text{b. Kadar Air} (\%) = \frac{69,33-69,32}{8,317} \times 100\% = 0,120 \%$$

$$\text{c. Kadar Air} (\%) = \frac{70,5-70,49}{8,230} \times 100\% = 0,122 \%$$

$$\text{Kadar Air}_{\text{average}} (\%) = 0,167\%$$

4. Sampel B1

$$\text{a. Kadar Air} (\%) = \frac{70,48-70,46}{7,927} \times 100\% = 0,252 \%$$

$$\text{b. Kadar Air} (\%) = \frac{67,62-67,6}{6,477} \times 100\% = 0,309 \%$$

$$c. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{67,87-67,86}{5,93} \times 100\% = 0,169 \%$$

$$\text{Kadar Air}_{\text{average}} (\%) = 0,243 \%$$

5. Sampel B2

$$a. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{69,6-69,59}{7,05} \times 100\% = 0,142 \%$$

$$b. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{68,82-68,81}{7,707} \times 100\% = 0,130 \%$$

$$c. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{72,57-72,56}{10,62} \times 100\% = 0,094 \%$$

$$\text{Kadar Air}_{\text{average}} (\%) = 0,122 \%$$

6. Sampel B3

$$a. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{69,45-69,42}{6,893} \times 100\% = 0,435 \%$$

$$b. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{68,44-68,41}{7,3} \times 100\% = 0,411 \%$$

$$c. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{68,05-68,01}{6,09} \times 100\% = 0,657 \%$$

$$\text{Kadar Air}_{\text{average}} (\%) = 0,501 \%$$

7. Sampel C1

$$a. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{69,72-69,64}{7,173} \times 100\% = 1,115 \%$$

$$b. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{68,45-68,39}{7,347} \times 100\% = 0,817 \%$$

$$c. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{69,43-69,36}{7,493} \times 100\% = 0,934 \%$$

$$\text{Kadar Air}_{\text{average}} (\%) = 0,955 \%$$

8. Sampel C2

$$a. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{69,24-69,22}{6,67} \times 100\% = 0,300 \%$$

$$b. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{68,68-68,66}{7,540} \times 100\% = 0,265 \%$$

$$c. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{70,97-70,96}{9,007} \times 100\% = 0,111 \%$$

$$\text{Kadar Air}_{\text{average}} (\%) = 0,225 \%$$

9. Sampel C3

$$a. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{69,00-68,97}{6,427} \times 100\% = 0,467 \%$$

$$b. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{67,54-67,52}{6,397} \times 100\% = 0,313 \%$$

$$c. \text{ Kadar Air (\%)} = \frac{69,09-69,06}{7,107} \times 100\% = 0,422 \%$$

$$\text{Kadar Air}_{\text{average}} (\%) = 0,401 \%$$

D. Perhitungan Daya Serap

$$\text{Daya Serap} (\%) = \frac{m_1 - m_0}{m_1} \times 100\%$$

1. Sampel A1

$$\text{a. Daya Serap} (\%) = \frac{6,95 - 6,92}{6,95} \times 100\% = 0,434 \%$$

$$\text{b. Daya Serap} (\%) = \frac{6,68 - 6,66}{6,68} \times 100\% = 0,300 \%$$

$$\text{c. Daya Serap} (\%) = \frac{7,17 - 7,15}{7,17} \times 100\% = 0,280 \%$$

$$\text{Daya Serap}_{\text{average}} (\%) = 0,338 \%$$

2. Sampel A2

$$\text{a. Daya Serap} (\%) = \frac{7,28 - 7,24}{7,28} \times 100\% = 0,460 \%$$

$$\text{b. Daya Serap} (\%) = \frac{6,96 - 6,94}{6,96} \times 100\% = 0,288 \%$$

$$\text{c. Daya Serap} (\%) = \frac{7,73 - 7,693}{7,73} \times 100\% = 0,477 \%$$

$$\text{Daya Serap}_{\text{average}} (\%) = 0,408 \%$$

3. Sampel A3

$$\text{a. Daya Serap} (\%) = \frac{7,74 - 7,7}{7,74} \times 100\% = 0,519 \%$$

$$\text{b. Daya Serap} (\%) = \frac{8,22 - 8,19}{8,22} \times 100\% = 0,366 \%$$

$$\text{c. Daya Serap} (\%) = \frac{8,33 - 8,23}{8,33} \times 100\% = 1,215 \%$$

$$\text{Daya Serap}_{\text{average}} (\%) = 0,700 \%$$

4. Sampel B1

$$\text{a. Daya Serap} (\%) = \frac{7,91 - 7,89}{7,91} \times 100\% = 0,253 \%$$

$$\text{b. Daya Serap} (\%) = \frac{6,48 - 6,47}{6,48} \times 100\% = 0,155 \%$$

$$\text{c. Daya Serap} (\%) = \frac{5,92 - 5,90}{5,92} \times 100\% = 1,339 \%$$

$$\text{Daya Serap}_{\text{average}} (\%) = 0,249 \%$$

5. Sampel B2

$$\text{a. Daya Serap} (\%) = \frac{7,05 - 7,02}{7,05} \times 100\% = 0,427\%$$

$$\text{b. Daya Serap} (\%) = \frac{7,71 - 7,68}{7,71} \times 100\% = 0,391 \%$$

$$c. \text{ Daya Serap (\%)} = \frac{10,63-10,60}{10,63} \times 100\% = 0,283 \%$$

$$\text{Daya Serap}_{\text{average}} (\%) = 0,367 \%$$

6. Sampel B3

$$a. \text{ Daya Serap (\%)} = \frac{6,9-6,87}{6,9} \times 100\% = 0,437 \%$$

$$b. \text{ Daya Serap (\%)} = \frac{7,34-7,30}{7,34} \times 100\% = 0,548 \%$$

$$c. \text{ Daya Serap (\%)} = \frac{6,08-6,07}{6,08} \times 100\% = 0,165 \%$$

$$\text{Daya Serap}_{\text{average}} (\%) = 0,383 \%$$

7. Sampel C1

$$a. \text{ Daya Serap (\%)} = \frac{7,23-7,090}{7,23} \times 100\% = 1,975 \%$$

$$b. \text{ Daya Serap (\%)} = \frac{7,32-7,25}{7,32} \times 100\% = 0,966 \%$$

$$c. \text{ Daya Serap (\%)} = \frac{7,47-7,40}{7,47} \times 100\% = 0,946 \%$$

$$\text{Daya Serap}_{\text{average}} (\%) = 1,295 \%$$

8. Sampel C2

$$a. \text{ Daya Serap (\%)} = \frac{6,69-6,65}{6,69} \times 100\% = 0,602 \%$$

$$b. \text{ Daya Serap (\%)} = \frac{7,56-7,52}{7,56} \times 100\% = 0,532\%$$

$$c. \text{ Daya Serap (\%)} = \frac{9,05-8,990}{9,05} \times 100\% = 0,667 \%$$

$$\text{Daya Serap}_{\text{average}} (\%) = 0,600 \%$$

9. Sampel C3

$$a. \text{ Daya Serap (\%)} = \frac{6,49-6,410}{6,49} \times 100\% = 1,248 \%$$

$$b. \text{ Daya Serap (\%)} = \frac{6,45-6,370}{6,45} \times 100\% = 1,256 \%$$

$$c. \text{ Daya Serap (\%)} = \frac{7,14-7,080}{7,14} \times 100\% = 0,847 \%$$

$$\text{Daya Serap}_{\text{average}} (\%) = 1,117 \%$$

LAMPIRAN B. DOKUMENTASI PENELITIAN



Proses Perendaman Sampel



Penimbangan Sampel



Proses Pengeringan Sampel



Penggunaan Desikator



**Proses Pengukuran Dimensi dan
Massa Sampel**



Proses Preparasi Sampel

SITI DARA FAHMA SHAFIRA_3331200028_Full

ORIGINALITY REPORT

6%

SIMILARITY INDEX

6%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

1%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

ejournal.unib.ac.id

Internet Source

3%

2

media.neliti.com

Internet Source

1%

3

repository.its.ac.id

Internet Source

1%

4

buletinppi.ulm.ac.id

Internet Source

1%

5

www.sfidnfits.com

Internet Source

1%

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On