

No: TA/RT/2024/02

**KOMPOSIT DARI PROPILENA DAUR ULANG DAN
LIMBAH SERBUK KAYU DENGAN MODIFIKASI IKATAN
SILANG ASAM SITRAT SEBAGAI PEMBANDING**

PENELITIAN

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada Bidang Rekayasa Tekstil**



Disusun Oleh:

Nama : Dwi Wulan Septyani
No. Mahasiswa : 20526022
Nama : Syifa Ainul Isla
No. Mahasiswa : 20526029

**PROGRAM STUDI REKAYASA TEKSTIL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL

KOMPOSIT DARI PROPILENA DAUR ULANG DAN LIMBAH SERBUK KAYU DENGAN MODIFIKASI IKATAN SILANG ASAM SITRAT SEBAGAI PEMBANDING

PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dwi Wulan Septyani
No. Mahasiswa : 20526022
Nama : Syifa Ainul Isla
No. Mahasiswa : 20526029

Menyatakan bahwa seluruh hasil Tugas Akhir ini adalah hasil karya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, maka saya siap menanggung risiko dan konsekuensi apapun. Demikian surat pernyataan ini saya buat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 15 - 2 - 2024

Mahasiswa 1,



Dwi Wulan Septyani

Mahasiswa 2,



Syifa Ainul Isla

LEMBAR PENGESAHAN

KOMPOSIT DARI PROPILENA DAUR ULANG DAN LIMBAH SERBUK KAYU DENGAN MODIFIKASI IKATAN SILANG ASAM SITRAT SEBAGAI PEMBANDING

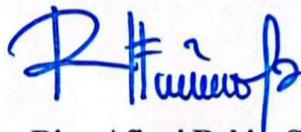
PENELITIAN

Disusun Oleh:

Nama : Dwi Wulan Septyani
No. Mahasiswa : 20526022
Nama : Syifa Ainul Isla
No. Mahasiswa : 20526029

Yogyakarta, 15 - 2 - 2024

Menyetujui:
Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Eng. Rina Afiani Rebia, S.Hut., M.Eng.

Mengetahui:

Ketua Program Studi Rekayasa Tekstil
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Dr. Agus Taufiq, M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

KOMPOSIT DARI PROPILENA DAUR ULANG DAN LIMBAH SERBUK KAYU DENGAN MODIFIKASI IKATAN SILANG ASAM SITRAT SEBAGAI PEMBANDING

PENELITIAN

Disusun Oleh:

Nama : Dwi Wulan Septyani
No. Mahasiswa : 20526022

Telah dipertahankan di hadapan penguji pada ujian pendadaran sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Bidang Rekayasa Tekstil, Program Studi Rekayasa Tekstil, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, ...15-2-2024

Tim Penguji,

Dr. Eng. Rina Afiani Rebia, S.Hut., M.Eng
Ketua Penguji

Febrianti Nurul Hidayah, S.T., B.Sc., M.Sc.
Anggota Penguji I

Ahmad Satria Budiman, S.T., M.Sc.
Anggota Penguji II

Mengetahui:

Ketua Program Studi Rekayasa Tekstil

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Ir. Agus Taufiq, M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

KOMPOSIT DARI PROPILENA DAUR ULANG DAN LIMBAH SERBUK KAYU DENGAN MODIFIKASI IKATAN SILANG ASAM SITRAT SEBAGAI PEMBANDING

PENELITIAN

Disusun Oleh:

Nama : Syifa Ainul Isla
No. Mahasiswa : 20526029

Telah dipertahankan di hadapan penguji pada ujian pendadaran sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Bidang Rekayasa Tekstil, Program Studi Rekayasa Tekstil, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 15-2-2024

Tim Penguji,

Dr. Eng. Rina Afiani Rebia, S.Hut., M.Eng
Ketua Penguji

Febrianti Nurul Hidayah, S.T., B.Sc., M.Sc.
Anggota Penguji I

Ahmad Satria Budiman, S.T., M.Sc.
Anggota Penguji II

Mengetahui:

Ketua Program Studi Rekayasa Tekstil
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT dengan kemurahan dan ridho-Nya, laporan tugas akhir ini dapat ditulis dengan baik dan lancar hingga selesai. Penulis persembahkan laporan tugas akhir ini kepada:

Nabi Muhammad SAW sebagai panutan umat muslim yang penuh dengan kemuliaan dan ketaatan kepada Allah SWT.

Kedua orang tua Dwi Wulan Septyani, Bapak Sutaryo dan Ibu Siti Turahmi serta orang tua Syifa Ainul Isla, Bapak Agustian, A.P. M.Si dan Ibu Wan Kamelia, S. Sos yang selalu melangitkan do'a-do'a baik untuk penulis.

Kakak dari Dwi Wulan Septyani, Desy Suyanti serta dua keponakan, Faiz Danish Mutiara dan Nayna Adzkiya Kinanthi serta adik-adik dari Syifa Ainul Isla, Paras Sabila dan Hafsy Rasad yang telah memberikan kebahagiaan setiap hari.

Dosen pembimbing, Dr. Eng. Rina Afiani Rebia, S. Hut, M. Eng yang telah memberikan ilmu dan waktunya untuk membimbing penulis selama pelaksanaan tugas akhir ini.

Sahabat dari Dwi Wulan Septyani, yaitu Suci Dwi Arti dan sahabat dari Syifa Ainul Isla, yaitu Aisyah Putri Anugrah yang telah menjadi sahabat penulis sejak SMP hingga sekarang dan seterusnya.

Nenek dan kakek kedua penulis yang selalu memberikan do'a kepada penulis.

HALAMAN MOTTO

كُتِبَ عَلَيْكُمُ الْقِتَالُ وَهُوَ كُرْهُ لَكُمْ وَعَسَىٰ أَنْ تَكْرَهُوا شَيْئًا وَهُوَ خَيْرٌ لَّكُمْ
وَعَسَىٰ أَنْ تُحِبُّوا شَيْئًا وَهُوَ شَرٌّ لَّكُمْ وَاللَّهُ يَعْلَمُ وَأَنْتُمْ لَا تَعْلَمُونَ ٤

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal dia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal dia amat buruk bagimu; Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui.” (QS. Al Baqarah ayat 216)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah menciptakan alam semesta beserta isinya. Selawat serta salam semoga tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, dan seluruh Sahabatnya, serta orang-orang yang mengikuti jejak mereka hingga akhir zaman. *Alhamdulillah hirobbil 'alamin* atas segala limpahan rahmat dan nikmat yang diberikan oleh Allah SWT, sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul Komposit dari Polipropilena Daur Ulang dan Limbah Serbuk Kayu dengan Modifikasi Ikatan Silang Asam Sitrat sebagai Pembanding.

Laporan tugas akhir ini disusun sebagai syarat kelulusan yang dilaksanakan oleh setiap mahasiswa di Progam Studi Rekayasa Tekstil Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Pada kesempatan ini penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan segala sesuatu yang terbaik bagi hamba-Nya.
2. Orang tua serta keluarga kedua penulis yang selalu memberikan dukungan dan semangat serta do'a dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Fathul Wahid, ST., M.Sc., Ph.D. selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Ir. Agus Taufiq, M.Sc selaku Ketua Progam Studi Rekayasa Tekstil Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
6. Ibu Dr. Eng. Rina Afiani Rebia, S. Hut, M. Eng selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingannya serta koreksi selama pengerjaan tugas akhir ini.
7. Ibu Febrianti Nurul Hidayah, S.T. B. Sc, M. Sc selaku dosen mata kuliah Rekayasa Material Komposit yang membantu dalam pengarahan dan koreksi saat pengerjaan tugas akhir.

8. Seluruh dosen Progam Studi Rekayasa Tekstil yang telah mengamalkan ilmu yang dimiliki kepada mahasiswa selama perkuliahan.
9. Sahabat kedua penulis yang sudah menemani, mendukung dan berproses bersama penulis dari SMP sampai sekarang dan seterusnya.
10. Teman-teman mahasiswa Progam Studi Rekayasa Tekstil angkatan 2020 yang telah membantu, menemani, menolong, dan mendukung penulis selama kuliah sampai mendapatkan gelar S. T.
11. Teman-teman mahasiswa Progam Studi Rekayasa Tekstil angkatan 2021, khususnya Faroh, Ade, dan Akbarun yang telah membantu penulis ketika melakukan penelitian tugas akhir ini.
12. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan tugas akhir ini masih terdapat kesalahan yang penulis tidak sadari. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis perlukan demi penyusunan laporan menjadi lebih baik. Semoga laporan ini bermanfaat bagi berbagai pihak.

Yogyakarta, 29 Januari 2024

Penulis

INTISARI

Limbah plastik polipropilena dan limbah serbuk kayu merupakan limbah yang akan terus bertambah seiring dengan meningkatnya penggunaan produk dari bahan tersebut. Limbah tersebut dikhawatirkan akan memberikan dampak buruk bagi lingkungan, untuk itu pemanfaatan kembali limbah plastik polipropilena (PP) menjadi papan komposit melalui proses pengempaan panas menjadi salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi permasalahan limbah tersebut. Sebagai pembanding pada penelitian ini, maka digunakan asam sitrat yang bertindak sebagai agen *crosslinking* dalam pembuatan papan komposit ini. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah serbuk kayu (SK) dan biji plastik polipropilena daur ulang (PP) dengan perekat asam sitrat (CA) menjadi material komposit dengan variasi komposisi bahan 80%PP:20%SK, 70%PP:30%SK, 60%PP:40%SK dan 80%PP:20%SK+10%CA, 70%PP:30%SK+10%CA, dan 60%PP:40%SK+10%CA. Pengujian fisik dan mekanik sebagai parameter untuk mengetahui sifat dari papan komposit dengan standar JIS A 5908-2003 dan ASTM D638. Hasil pengujian fisik didapatkan nilai kerapatan berkisar dari 0,56% - 0,75%, kadar air berkisar antara 0% - 5,46%, pengembangan tebal berkisar antara 0% - 3,52%. Hasil uji mekanik didapatkan nilai uji tegangan tarik berkisar antara 2,18 MPa – 6,11 MPa dengan regangan antara 2,33% - 5%. Dari hasil penelitian ini penambahan asam sitrat meningkatkan nilai kerapatan dan uji tarik, namun menurunkan nilai kadar air dan pengembangan tebal pada papan komposit.

Kata kunci: polipropilena, serbuk kayu, asam sitrat, papan komposit, pengempaan panas, uji fisik dan mekanik

ABSTRACT

Polypropylene plastic waste and wood sawdust waste are wastes that will continue to grow along with the increasing use of products from these materials. The waste is feared to hurt the environment, and the reuse of polypropylene (PP) plastic waste into composite boards through the hot press process is one of the efforts that can be made to reduce the waste problem. As a comparison in this study, citric acid is used which acts as a crosslinking agent in the manufacture of this composite board. This study aims to utilize wood sawdust (SK) and recycled polypropylene (PP) plastic pellet waste with citric acid (CA) adhesive into composite materials with variations in the material composition of 80%PP:20%SK, 70%PP:30%SK, 60%PP:40%SK and 80%PP:20%SK+10%CA, 70%PP:30%SK+10%CA, and 60%PP:40%SK+10%CA. Physical and mechanical testing as parameters to determine the properties of composite boards with JIS A 5908-2003 and ASTM D638 standards. The results of physical testing found density values ranging from 0.56% - 0.75%, moisture content ranging from 0% - 5.46%, and thickness development ranging from 0% - 3.52%. The results of the mechanical test obtained tensile stress test values ranging from 2.18 MPa - 6.11 MPa with a strain between 2.33% - 5%. From the results of this study, the addition of citric acid increases the density value and tensile test but decreases the moisture content value and thickness development in composite boards.

Keywords: polypropylene, sawdust, citric acid, composite board, hot press, physical and mechanical test

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI | iv |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | vi |
| HALAMAN MOTTO | vii |
| KATA PENGANTAR | viii |
| INTISARI | x |
| ABSTRACT | xi |
| DAFTAR ISI | xii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR NOTASI | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1 Penelitian Terdahulu..... | 4 |
| 2.2 Landasan Teori | 5 |
| 2.2.1 Polipropilena (PP)..... | 5 |
| 2.2.2 Serbuk Kayu | 9 |
| 2.2.3 Komposit..... | 10 |
| 2.2.3.1 Komposit Daur Ulang | 17 |
| 2.2.4 Asam Sitrat | 17 |
| 2.3 Hipotesis Penelitian | 20 |
| 2.3.1 Hipotesis Nol | 20 |
| 2.3.2 Hipotesis Kerja | 20 |

| | |
|--|-----------|
| BAB III METODE PENELITIAN | 21 |
| 3.1 Lokasi Penelitian | 21 |
| 3.2 Bahan | 21 |
| 3.3 Peralatan | 21 |
| 3.4 Prosedur dan Pengumpulan Data..... | 27 |
| 3.4.1 Prosedur Penelitian | 27 |
| 3.4.2 Pengumpulan Data..... | 32 |
| 3.5 Pengolahan dan Analisis Data | 35 |
| BAB IV PEMBAHASAN..... | 36 |
| 4.1 Hasil Pengujian..... | 36 |
| 4.1.1 Densitas/kerapatan..... | 36 |
| 4.1.2 Kadar Air | 38 |
| 4.1.3 Pengembangan Tebal..... | 40 |
| 4.1.4 Tarik | 42 |
| 4.2 Pembahasan | 44 |
| BAB V PENUTUP | 49 |
| 5.1 Kesimpulan | 49 |
| 5.2 Saran | 49 |
| DAFTAR PUSTAKA | 51 |
| LAMPIRAN-LAMPIRAN | 56 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3.1 Perhitungan sesuai perbandingan komposisi material..... | 34 |
| Tabel 3.2 Perhitungan sesuai perbandingan komposisi material..... | 34 |
| Tabel 3.3 Kodevikasi sampel | 35 |
| Tabel 4.1 Hasil pengujian densitas/kerapatan | 36 |
| Tabel 4.2 Hasil pengujian kadar air..... | 38 |
| Tabel 4.3 Hasil pengujian pengembangan tebal..... | 41 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Pembentukan polimer polipropilena (PP)..... | 6 |
| Gambar 2.2 Kode produk plastik polipropilena | 7 |
| Gambar 2.3 Biji plastik daur ulang polipropilena (PP) | 9 |
| Gambar 2.4 Ukuran serbuk kayu..... | 10 |
| Gambar 2.5 Ilustrasi komponen penyusun material komposit | 11 |
| Gambar 2.6 Tipe komposit partikel..... | 13 |
| Gambar 2.7 Jenis komposit berpenguat serat pendek/acak | 14 |
| Gambar 2.8 Jenis komposit serat..... | 15 |
| Gambar 2.9 Komposit lapis/laminate composite..... | 16 |
| Gambar 2.10 Struktur komposit sandwich | 16 |
| Gambar 2.11 Asam sitrat pa produksi Supelco | 18 |
| Gambar 2.12 Struktur kimia asam sitrat..... | 18 |
| Gambar 3.1 Mesin hotpress | 21 |
| Gambar 3.2 Oven..... | 22 |
| Gambar 3.3 Timbangan digital..... | 22 |
| Gambar 3.4 Gunting | 23 |
| Gambar 3.5 Wadah atau baskom..... | 23 |
| Gambar 3.6 Wadah stainless | 23 |
| Gambar 3.7 Ayakan 10 mesh | 24 |
| Gambar 3.8 Cetakan besi..... | 24 |
| Gambar 3.9 Pelat besi..... | 25 |
| Gambar 3.10 Aluminium foil | 25 |
| Gambar 3.11 Sarung tangan | 25 |
| Gambar 3.12 Jangka sorong | 26 |
| Gambar 3.13 Penggaris | 26 |
| Gambar 3.14 Diagram alir proses penelitian | 27 |
| Gambar 3.15 Universal testing machine..... | 31 |
| Gambar 3.16 Spesimen test ASTM D638 Dog-Bone..... | 31 |
| Gambar 4.1 Grafik hasil uji kerapatan..... | 37 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.2 Grafik hasil pengujian kadar air | 39 |
| Gambar 4.3 Grafik hasil pengujian pengembangan tebal..... | 41 |
| Gambar 4.4 Grafik hasil tegangan tarik..... | 43 |
| Gambar 4.5 Grafik tegangan dan regangan tarik..... | 44 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|---------------|---|
| ρ | = Kerapatan atau Densitas (g/cm^3) |
| σ | = Tegangan (MPa) |
| m | = Massa (g) |
| V | = Volume (cm^3) |
| F | = Beban maksimum (N) |
| A_0 | = Luas Penampang (mm^2) |
| ε | = Regangan (%) |
| ΔL | = Pertambahan panjang (mm) |
| L_0 | = Panjang awal (mm) |
| p | = Panjang (cm) |
| l | = Lebar (cm) |
| t | = Tinggi (cm) |
| KA | = Kadar air (%) |
| PT | = Pengembangan tebal (%) |
| m_{CA} | = Massa asam sitrat (g) |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Data komposisi sampah berdasarkan jenis sampah yang dilansir dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, sampah plastik menempati posisi kedua terbanyak dengan jumlah 18,1%. Sampah plastik menjadi penyumbang kedua terbanyak karena sifatnya yang sulit terurai atau tidak mudah terurai (Asyrofi, 2023). Banyaknya jumlah sampah plastik ini karena plastik memiliki kelebihan yaitu ringan, praktis, dan harganya relatif murah (Pratama, 2010). Sehingga plastik banyak digunakan oleh masyarakat sebagai pembungkus makanan atau minuman. Jenis plastik yang sering digunakan adalah polipropilena, polietilena terephtalate, maupun polietilena. Namun, penggunaan plastik ini tidak diiringi dengan pengelolaan limbah yang baik.

Berdasarkan Statistik Lingkungan Hidup Daerah istimewa Yogyakarta tahun 2022/2023, produksi kayu bulat mengalami peningkatan. Produksi kayu bulat pada tahun 2020 sebesar 71.335,54 dan meningkat menjadi 97.986,34 pada tahun 2021 (BPS Provinsi DI Yogyakarta, 2023). Ketersediaan kayu bulat dan bambu sebagai bahan baku untuk konstruksi, bangunan atau *furniture* terus meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk. Akibatnya ketersediaan kayu bulat dan bambu mulai menipis, namun limbahnya terus mengalami peningkatan. Peningkatan jumlah limbah kayu dan bambu banyak dialami oleh industri-industri besar, seperti di PT. Dekor Asia Jayakarya. Limbah kayu dan bambu ini berbentuk serbuk (*sawdust*) yang biasanya dimanfaatkan menjadi bahan baku kompos (Salman, 2020). Namun belum ada pemanfaatan lain sehingga diperlukan upaya lain untuk menangani permasalahan limbah serbuk kayu yang meningkat tersebut. Salah satu upaya yang sudah dikembangkan adalah pembuatan papan komposit.

Papan komposit merupakan komposit yang dibuat dengan cara merekatkan partikel kayu atau material lain yang mengandung lignoselulosa dengan matriks yang melalui proses pengempaan panas (*hot press*). Pada penelitian ini,

pengembangan komposit dari biji plastik polipropilena daur ulang dan limbah serbuk kayu memiliki potensi untuk menciptakan material yang ramah lingkungan dan memiliki karakteristik yang lebih baik daripada bahan pembentuknya. Sebagai pembanding pada penelitian ini, maka digunakan asam sitrat yang bertindak sebagai agen *crosslinking*. Asam sitrat menjadi agen *crosslinking* yang lebih baik dan ramah lingkungan untuk pembuatan komposit dibandingkan dengan bahan kimia lainnya.

Oleh karena itu, penelitian ini memanfaatkan biji plastik polipropilena daur ulang dan limbah serbuk kayu dengan perekat asam sitrat menjadi material komposit. Harapannya, limbah serbuk kayu yang dihasilkan oleh PT. Dekor Asia Jayakarya dapat digunakan kembali dan bernilai ekonomis. Selain itu, penggunaan biji plastik polipropilena daur ulang dengan perekat asam sitrat juga dipakai untuk mengurangi jumlah limbah plastik.

1.2. Rumusan Masalah

1. Apa perbedaan papan komposit dari polipropilena daur ulang dan limbah serbuk kayu dengan atau tanpa penambahan asam sitrat?
2. Bagaimana karakteristik papan komposit polipropilena daur ulang dan limbah serbuk kayu dengan atau tanpa penambahan asam sitrat?
3. Bagaimana komposisi atau rasio perbandingan yang optimum pada hasil papan komposit dari campuran polipropilena daur ulang dan limbah serbuk kayu dengan atau tanpa penambahan asam sitrat?

1.3. Batasan Masalah

1. Polimer yang digunakan dalam pembuatan komposit ini adalah biji plastik polipropilena daur ulang yang di suplai dari UD. Surya Indo Utama sebagai matriks. Bahan penguat yang digunakan ialah serbuk kayu dari proses pengolahan kayu di PT. Dekor Asia Jayakarya yang kemudian dilakukan pengayakan dengan ukuran 10 mesh serta diberikan perlakuan panas untuk mengurangi kadar air pada serbuk.

2. Senyawa asam organik yang digunakan sebagai ikatan silang pada komposit dari polipropilena daur ulang dan limbah serbuk kayu ini adalah asam sitrat (*citric acid*).
3. Karakterisasi papan komposit dari bahan polipropilena daur ulang dan limbah serbuk kayu meliputi pengujian secara fisik dan mekanik.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian pada latar belakang dan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perbedaan komposit dari polipropilena daur ulang dan limbah serbuk dengan atau tanpa penambahan asam sitrat..
2. Mengevaluasi karakteristik komposit dari polipropilena daur ulang dan limbah serbuk dengan atau tanpa penambahan asam sitrat.
3. Mengetahui komposisi atau rasio perbandingan yang optimum pada hasil komposit dari campuran polipropilena daur ulang dan limbah serbuk dengan atau tanpa penambahan asam sitrat.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Dapat memberikan informasi serta pengetahuan bahwa polipropilena daur ulang dan limbah serbuk kayu dengan atau tanpa penambahan asam sitrat dapat dijadikan papan komposit.
2. Memperoleh pengalaman tentang cara membuat papan komposit dari polipropilena daur ulang dan limbah serbuk kayu dengan atau tanpa penambahan asam sitrat.
3. Memberikan informasi terkait potensi penggunaan dari papan komposit polipropilena daur ulang dan limbah serbuk kayu dengan atau tanpa penambahan asam sitrat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Terdapat penelitian terdahulu mengenai papan komposit yang akan menjadi acuan penelitian ini. Penelitian-penelitian terdahulu ini menjadi rujukan untuk meneliti papan komposit dari polipropilena daur ulang dan limbah serbuk kayu dengan modifikasi ikatan silang asam sitrat, sehingga penelitian ini mempunyai referensi yang jelas. Adapun penelitian-penelitian terdahulu yang menjadi referensi penelitian sekarang adalah sebagai berikut:

1. Penelitian Aini (2015) yang berjudul, “Pengaruh Jumlah Perekat Asam Sitrat terhadap Sifat Fisika Mekanika Papan Komposit dari Serat Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.)” menggunakan asam sitrat sebagai perekat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah asam sitrat terhadap sifat fisika dan sifat mekanika papan komposit dari serat kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah perekat asam sitrat berpengaruh terhadap sifat fisika dan mekanika papan komposit dari serat kenaf. Jumlah perekat asam sitrat sebesar 30% menghasilkan nilai sifat fisika dan mekanika yang paling optimal.
2. Penelitian Widyorini *et al.* (2012) yang berjudul, “Pengaruh Konsentrasi Asam Sitrat dan Suhu Pengempaan terhadap Kualitas Papan Partikel dari Pelepah Nipah” menggunakan pelepah nipah dengan ukuran partikel halus dan kasar, asam sitrat dengan konsentrasi 0% dan 10%, serta suhu pengempaan 180°C dan 200°C. Hasil pengujian papan partikel telah memenuhi standar JIS A 5908, yaitu pengembangan tebal dan sebagian nilai kekuatan rekat internal. Penambahan asam sitrat menyebabkan peningkatan sifat fisika dan mekanika pada papan partikel. Perbedaan ukuran partikel mempengaruhi sifat mekanika papan partikel dimana ukuran partikel

kasar memberikan nilai mekanika yang lebih baik dibandingkan ukuran partikel halus.

3. Penelitian Fernando *et al.* (2015) yang berjudul, “Pengaruh Penambahan Perekat dan Suhu Kempa terhadap Sifat Papan Komposit dari Serat Sabut Kelapa (*Cocos nucifera*) dengan Asam Sitrat sebagai Perekat” menggunakan sabut kelapa yang telah dipotong dan perekat asam sitrat dengan jumlah 0% dan 20%. Pengempaan panas dilakukan dengan suhu 180°C dan 200°C dengan tekanan 3,5 MPa selama 10 menit. Peningkatan suhu kempa dan penambahan jumlah perekat secara keseluruhan dapat meningkatkan sifat fisika dan mekanika papan komposit.

Referensi penelitian-penelitian di atas merupakan acuan yang dipakai pada penelitian ini. Penelitian saat ini berbeda dengan penelitian-penelitian terdahulu. Penelitian saat ini menggunakan polipropilena daur ulang dan limbah serbuk kayu dengan modifikasi ikatan silang asam sitrat. Perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang, yaitu bahan yang digunakan, rasio, dan pengujian yang dilakukan. Bahan pada penelitian ini adalah polipropilena daur ulang, limbah serbuk kayu, dan asam sitrat. Rasio yang digunakan pada penelitian ini adalah 80% PP:20% SK, 70% PP:30% SK, 60%PP:40%SK dan pembandingnya 80% PP:20% SK:10% CA, 70% PP:30% SK: 10% CA, 60%PP:40%SK:10% CA. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini ada pengujian secara fisik (uji kerapatan, uji kadar air, uji pengembangan tebal) dan mekanik (uji tarik).

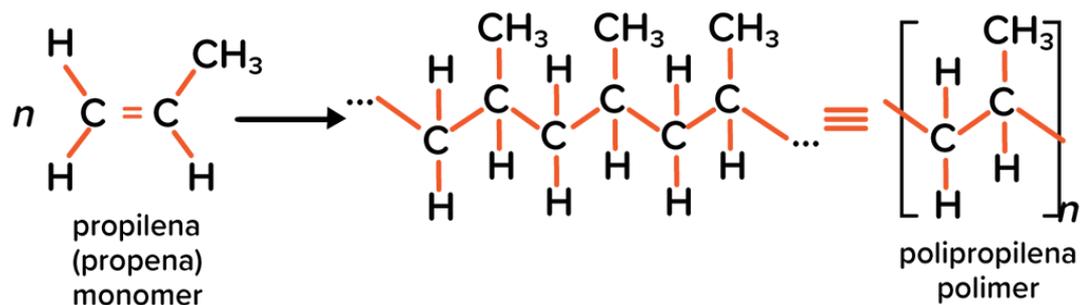
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Polipropilena (PP)

Pemakaian bahan polimer jenis plastik menjadi berbagai jenis produk seperti kemasan (*packaging*), furnitur, bahan tekstil, dan macam produk lainnya semakin banyak dan bervariasi. Polimer plastik terbagi menjadi 2 kategori umum yaitu, termoset dan termoplastik. Termoset adalah jenis polimer plastik yang tidak meleleh jika dilakukan pemanasan, sehingga jenis

plastik ini jarang sekali didaur ulang bahkan tidak dapat didaur ulang. Sedangkan polimer termoplastik merupakan salah satu jenis polimer plastik yang dapat didaur ulang karena polimer ini dapat meleleh ketika dilakukan pemanasan pada suhu tertentu. Beberapa jenis-jenis polimer termoplastik yang dapat dijumpai dalam kehidupan sehari-hari seperti, polietilena (PE), polietilena tereftalat (PET), polipropilena (PP), dan polimer jenis lainnya.

Polipropilena (PP) merupakan kategori termoplastik yang termasuk dalam polimer hidrokarbon dengan rumus kimia C_3H_6 . Polipropilena (PP) berasal dari proses polimerisasi monomer propilena dengan struktur monomer $CH_2=CH-CH_3$. Reaksi proses pembentukan propilena menjadi polipropilena (PP) dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.1. Pembentukan polimer polipropilena (PP)

Sumber: <https://roboguru.ruangguru.com/question/tuliskan-reaksi-polimerisasi-adisi-polipropena- QU-TEMVITPX>

Polipropilena (PP) mempunyai struktur kristalinitas yang derajat kristalinitasnya mencapai 40-60%, sehingga kekakuannya tinggi, selain itu polipropilena (PP) memiliki titik leleh yang tinggi yaitu 160-166°C (Maddah, 2016). Polipropilena (PP) memiliki karakteristik tahan terhadap zat kimia, memiliki densitas 0,91-0,94 g/cm³, harganya murah, relatif kaku, kekuatan benturan (*impact strength*) yang tinggi, memiliki stabilitas dimensi yang baik, dan dapat didaur ulang (Maddah, 2016). Sifat polipropilena (PP) ini menjadikannya sebagai material plastik yang banyak digunakan menjadi berbagai produk karena harganya yang murah dan mudah dibentuk menjadi berbagai produk, seperti: kemasan botol plastik, bahan tekstil, bahan

elektronik, barang-barang rumah tangga (ember plastik, gelas plastik, dan lainnya), suku cadang otomotif, serta masih banyak produk lainnya (Zulnazri., 2013).

Jenis plastik polipropilena (PP) yang secara komersial digunakan pada produk yang dapat kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari seperti barang rumah tangga, produk-produk tersebut ditandai dengan nomor “5” dan kode PP seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.2. Kode produk plastik Polipropilena

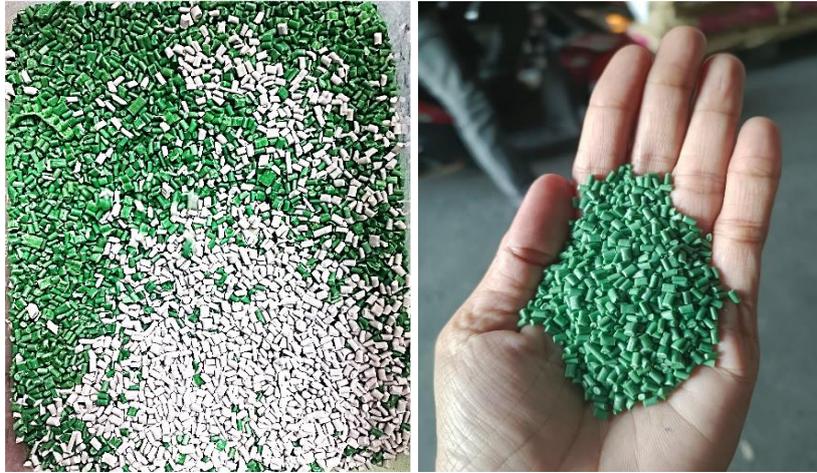
Sumber: <https://zerowaste.id/zero-waste-for-beginners/symbol-dan-jenis-plastik/>

Kemampuan polipropilena (PP) yang tergolong dalam polimer termoplastik untuk didaur ulang ini menghasilkan polipropilena daur ulang (PP *Recycle*) yang dapat dijadikan bahan baku untuk membuat produk baru (Zaaba *et al.*, 2013). Polipropilena (PP) daur ulang tentunya memiliki sifat yang lebih rendah dibandingkan dengan polipropilena murni.

Penelitian Bernadeth (2010) mengenai perbandingan sifat mekanik polipropilena murni dan daur ulang. Pada penelitian tersebut menggunakan bahan polipropilena murni, polipropilena daur ulang, dan polipropilena daur ulang komersial. Polipropilena murni yang digunakan yaitu jenis homopolimer HI35HO, polipropilena daur ulang merupakan hasil proses ulang polipropilena murni, dan polipropilena daur ulang komersil merupakan polipropilena yang umum diperjualbelikan dipasaran. Hasil pengujian termal menyatakan bahwa tidak ada perubahan titik leleh yang signifikan antara PP murni dan PP daur ulang. Hasil uji mekanik (uji tarik dan uji kekerasan)

menunjukkan tidak adanya perubahan yang signifikan antara PP murni dan PP daur ulang, Sedangkan PP daur ulang komersial mempunyai sifat mekanik yang menurun dan lebih getas dibandingkan PP daur ulang. Polimer daur ulang yang sudah mengalami pemanasan berkali-kali akan bersifat getas (*brittle*) karena derajat kristalinitasnya menurun. Dari hasil pengujian PP daur ulang memiliki sifat mekanik yang sama dengan PP murni sehingga layak digunakan pada aplikasi non struktural. Selain itu, Prabowo *et al.* (2021) melakukan penelitian mengenai perbandingan sifat kekerasan dan penyusutan produk berbahan dasar polipropilena murni dan campuran hasil pemanasan berulang. Pada penelitian ini menggunakan campuran biji plastik polipropilena kopolimer murni kemudian dilakukan pemanasan berulang hingga 6 kali. Hasil uji kekerasan dan penyusutan terjadi penurunan linear seiring dengan bertambahnya komposisi PP pemanasan ulang. Perbandingan nilai kekerasan produk dengan PP 100% murni dengan PP 100% hasil pemanasan berulang sebanyak 6 kali adalah 60,4 Shore D dan 57,4 Shore D. Hasil penyusutan dimensi produk lebih besar pada arah panjang dibandingkan arah lebar. Dari hasil penelitian tersebut, pemanfaatan PP dengan pemanasan berulang sebagai bahan dasar sebuah produk harus mempertimbangkan spesifikasi produk yang akan dihasilkan. Hakim *et al.* (2020) melakukan penelitian menggunakan mesin *injection molding* dengan variasi suhu injeksi 190°C, 200°C, 250°C untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat mekanik bahan polipropilena daur ulang 2 kali. Hasil uji tarik menyatakan terjadinya penurunan pada nilai tegangan yang tidak signifikan, namun hasil uji impak mengalami penurunan nilai yang cukup signifikan terhadap temperatur injeksinya. Dari hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa penggunaan bahan polipropilena daur ulang sebagai produk dapat menurunkan sifat mekaniknya, karena bahan yang digunakan sudah melalui proses pembentukan dan proses pemanasan berulang-ulang.

Pada penelitian ini menggunakan polipropilena (PP) daur ulang yang telah diproses menjadi bentuk biji plastik kembali.



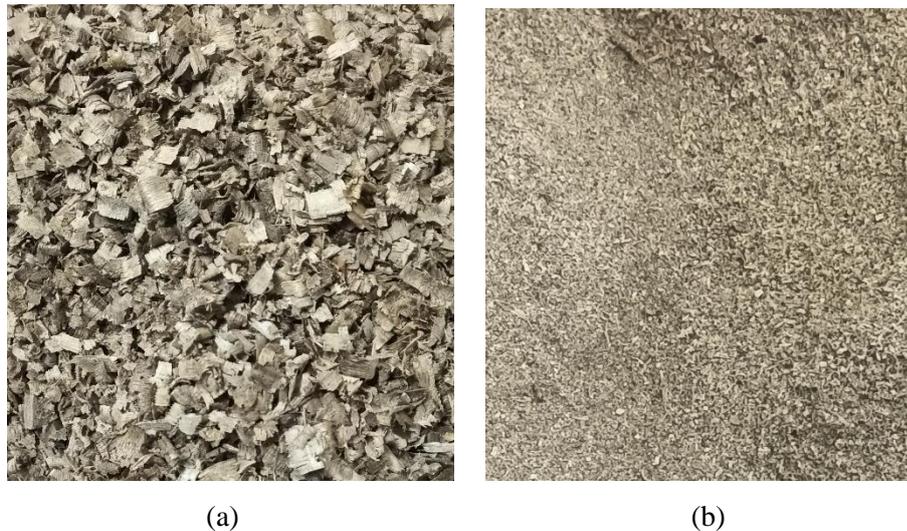
Gambar 2.3. Biji plastik daur ulang polipropilena (PP)

Sumber: Dokumentasi pribadi

2.2.2 Serbuk Kayu

Kayu merupakan material yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Kayu umumnya digunakan sebagai bahan bangunan, selain itu terdapat macam-macam produk dengan material kayu seperti, furnitur, peralatan makan, aksesoris, kerajinan, dekorasi dan masih banyak produk lainnya. Pengolahan kayu menjadi suatu produk tentunya melewati berbagai proses, dimulai dari pemotongan pohon untuk mendapatkan kayu, pembuatan desain produk yang akan diproduksi, hingga proses penggergajian, pengetaman dan finishing produk (Alokabel, 2019).

Proses pengolahan kayu menjadi berbagai macam produk tentunya melibatkan berbagai jenis peralatan dan mesin. Hasil dari pengolahan kayu ini menghasilkan residu atau sisa dalam bentuk serbuk kayu kasar maupun serbuk kayu halus. Menurut Purba (2017) serbuk kayu merupakan material kayu dengan bentuk partikel berukuran 0,25mm – 2,00 mm. Serbuk kayu menjadi limbah yang dapat dimanfaatkan menjadi pupuk serta bahan bakar untuk memasak (Alokabel, 2019). Serbuk kayu juga dapat diproses ulang menjadi papan partikel (*particle board*) atau dijadikan bahan campuran pembuatan pulp (Rahman, et. al., 2013).



Gambar 2.4. Ukuran serbuk kayu (a). Serbuk kayu kasar (b). serbuk kayu halus
Sumber: Dokumentasi pribadi

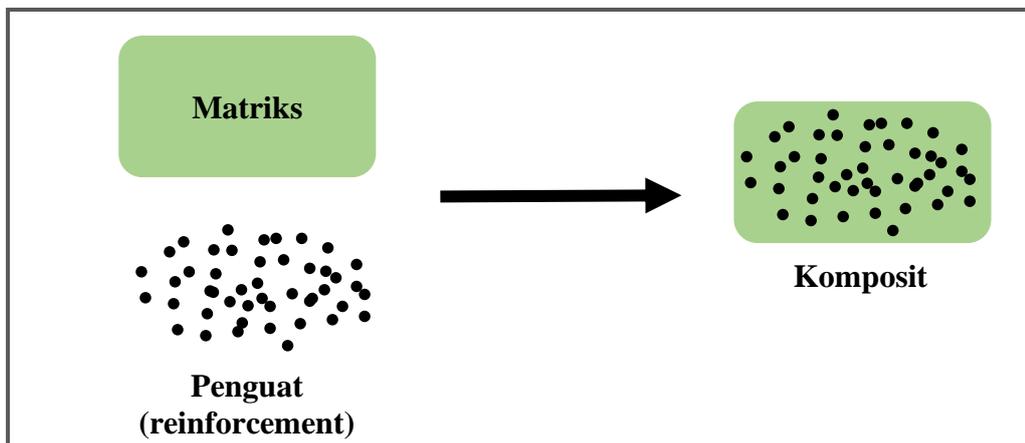
Serbuk kayu termasuk dalam limbah lignoselulosa yang tersusun atas beberapa komponen utama yaitu, selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Olaiya *et al.*, 2023). Serbuk kayu memiliki sifat higroskopis karena memiliki pori-pori yang dapat dengan mudah menyerap air, sehingga penggunaan serbuk kayu ini harus memperhatikan kadar air di dalamnya dengan memberikan perlakuan yang dapat mengurangi kadar airnya (Hermita, 2016). Sifat-sifat fisik dan kimia yang dimiliki oleh serbuk kayu berbeda-beda sesuai dengan jenis kayunya (Olaiya *et al.*, 2023). Beberapa serbuk kayu berasal dari kayu campuran ataupun kayu murni dengan jenis tertentu, seperti pada penelitian ini menggunakan serbuk kayu campuran. Serbuk kayu diperkirakan bisa berasal dari jenis kayu jati, liyana, dan mahoni.

2.2.3 Komposit

Bahan komposit saat ini banyak diminati karena memiliki kelebihan jika dilihat dari sifat kimia dan sifat fisiknya dibandingkan dengan bahan logam. Kelebihan tersebut dapat ditinjau dari sifat mekanik dan fisik, keupayaan (*reability*), kebolehan proses, dan biaya (Nuruddin *et al.*, 2018). Komposit memiliki kelebihan seperti tahan terhadap korosi, ringan, kuat, ketahanan terhadap lingkungan yang baik, ketersediaan bahan baku

dalam jumlah yang banyak, dan proses pembuatannya membutuhkan energi yang lebih sedikit dibandingkan dengan proses pembuatan logam (Saidah *et al.*, 2018; Nuruddin *et al.*, 2018; Utama, 2016).

Komposit adalah material yang terbuat dari kombinasi antara dua atau lebih komponen serta fasa material yang berbeda dan dengan sifat fisika dan kimia yang berbeda-beda, hasil dari kombinasi dua bahan tersebut akan memunculkan sifat fisika dan kimia, serta karakteristik yang baru dan berbeda dari material pembentuknya (Yi *et al.*, 2018). Komposit dapat dibuat dari bahan dengan skala tingkat mikro, meso, atau makro (Yi *et al.*, 2018). Komposit tersusun atas matriks dan penguat (*reinforcement*). Matriks merupakan bagian pada material komposit dengan jumlah volume terbesar (Tjahjanti, 2018). Matriks biasanya memiliki kekuatan lebih rendah dibandingkan dengan reinforcement namun memiliki sifat fisik dan mekanik tertentu, seperti *ductility* (keuletan), *formability* (sifat mampu bentuk), dan konduktivitas termal (Utama, 2016). Penguat atau *reinforcement* tersusun didalam matriks dan memiliki sifat lebih kuat dan kaku dibanding matriks (Utama, 2016).



Gambar 2.5 Ilustrasi komponen penyusun material komposit

Sifat pada komposit sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat dari material penyusunnya, selain itu tipe material penyusun komposit dapat digunakan untuk menentukan jenis suatu komposit. Komposit diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, berdasarkan matriksnya dapat diklasifikasikan

menjadi 3 jenis sebagai berikut.

1. *Polymer Matriks Composite* (PMC)

Polymer matriks composite ialah jenis komposit dengan material matriksnya menggunakan polimer termoset (poliester, epoksi, dan lainnya) atau termoplastik (polipropilena, polietilena, polistirena, dan lainnya). Komposit dengan matriks polimer menjadi salah satu jenis komposit yang banyak digunakan karena biaya pembuatannya rendah, dapat diaplikasikan menjadi beragam produk, dan proses pabrikasinya sederhana (Callister, 2018).

2. *Ceramic Matriks Composite* (CMC)

Ceramic matriks composite merupakan jenis komposit dengan material matriksnya berupa keramik atau *ceramic*. CMC terdiri dari bahan penguat *ceramic*/keramik berbentuk partikel, fiber (serat), dan *whiskers* (serat pendek) yang terletak didalam matriks dari bahan *ceramic*/keramik (Callister, 2018). Penguat yang banyak digunakan dalam CMC yaitu jenis karbon (C), silikon karbida (SiC), aluminium oksida (Al₂O₃), dan silikon nitrida (Si₃N₄) (Zhang, 2014).

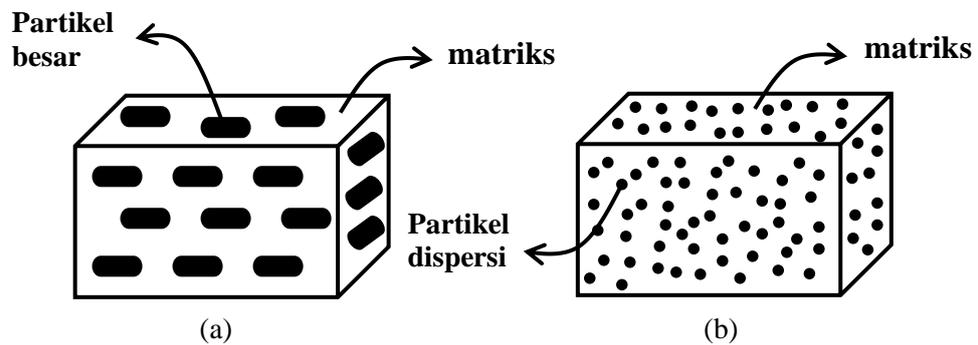
3. *Metal Matriks Composite* (MMC)

Metal matriks composite adalah jenis komposit dengan material matriksnya berbahan logam seperti aluminium (Al), magnesium (Mg), tembaga (Cu), dan titanium (Ti). Penguat pada metal matriks komposit berbentuk partikel, serat panjang (*continuous fibers*), atau serat pendek (*discontinuous fibers*). Jenis penguat yang banyak digunakan seperti karbon (C), silikon karbida (SiC), boron (B), aluminium oksida (Al₂O₃), dan logam tahan api (Callister, 2018).

Komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan material penguat (*reinforcement*) -nya, dibedakan menjadi 3 jenis sebagai berikut.

1. Komposit Partikel (*particulate composite*)

Komposit partikel merupakan jenis komposit yang material penguatnya terdiri dari partikel-partikel. Bentuk partikel dalam komposit dibedakan menjadi partikel berukuran besar dan partikel dispersi yang kuat (Callister, 2018). Partikel berukuran besar memiliki ukuran milimeter (mm) atau lebih, sedangkan partikel dispersi yang kuat berukuran nanometer (nm) atau sekitar 10-100 nm (Egbo, 2021).



Gambar 2.6 . Tipe komposit partikel (a) partikel berukuran besar (b) partikel dispersi yang kuat
Sumber: Nayan, 2022

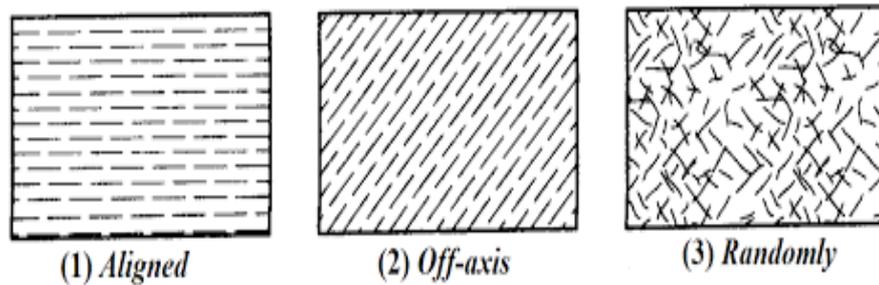
2. Komposit Serat (*fiber composite*)

Komposit serat salah satu jenis komposit berdasarkan penguat yang paling umum dikenal. Komposit serat adalah jenis komposit berpenguat serat atau fiber. Serat yang digunakan dapat berupa serat sintetik (serat karbon, serat kaca, serat kevlar) dan serat natural (serat nanas, serat bambu, serat batang pisang) (Tjahjanti, 2018). Komposit serat diklasifikasikan menjadi 4 jenis, yaitu:

- a. Komposit berpenguat serat panjang (*Continuous Fiber Composite*), yaitu jenis komposit yang penguatnya berupa serat panjang dan disusun lurus.
- b. Komposit berpenguat serat anyaman (*Woven Fiber Composite*), merupakan jenis komposit dengan susunan penguatnya membentuk anyaman (arah horizontal dan

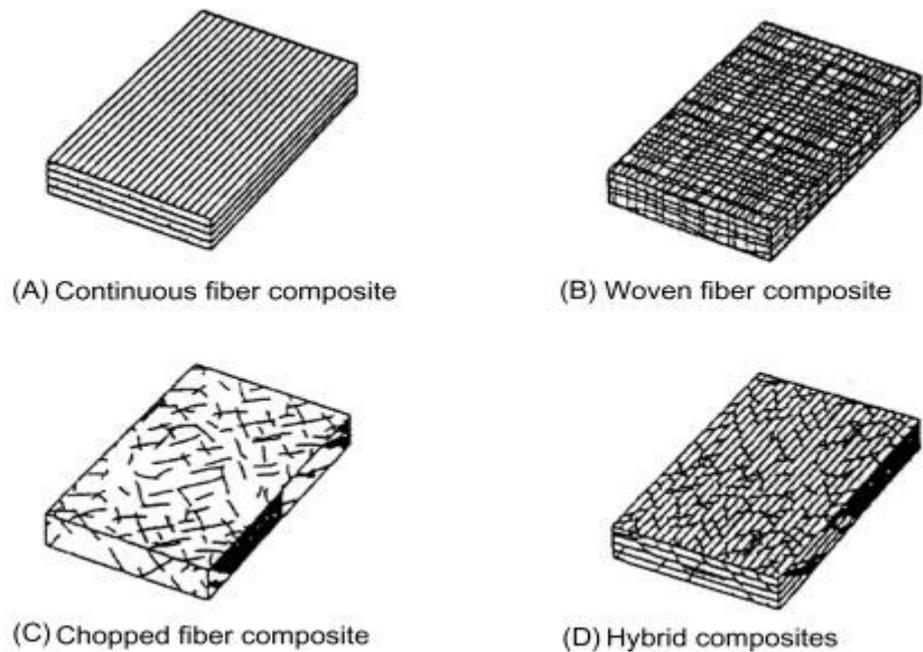
vertikal).

- c. Komposit berpenguat serat pendek/acak (*discontinuous fiber Composite*), yaitu jenis komposit berpenguat serat pendek. Pada jenis komposit ini terdapat beberapa tipe berdasarkan orientasi seratnya, sebagai berikut:
1. *Aligned discontinuous fiber* (serat pendek susunan searah)
 2. *Off-axis aligned discontinuous fiber* (serat pendek susunan silang)
 3. *Randomly oriented discontinuous fiber* (serat pendek susunan acak)



Gambar 2.7. Jenis komposit berpenguat serat pendek/acak
Sumber: Yani, 2018

- d. Komposit berpenguat serat panjang dan serat acak (*Hybrid Composite*), merupakan jenis komposit yang penguatnya gabungan antara serat panjang dan serat acak.



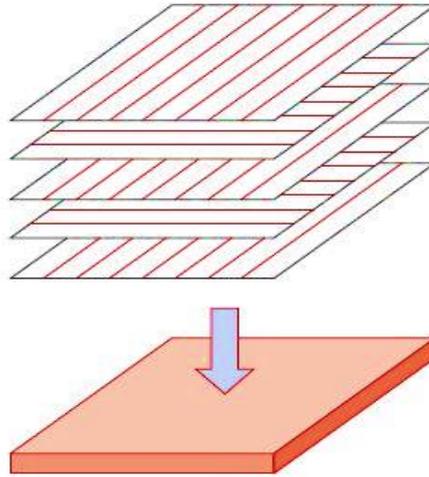
Gambar 2.8. Jenis komposit serat
Sumber: Yani, 2018

3. Komposit Struktural (*structural composite*)

Komposit struktural adalah material komposit yang disusun sedemikian rupa hingga membentuk lapisan komposit dan disatukan dengan bahan perekat yang homogen (Callister, 2018). Jenis komposit struktural secara umum terbagi menjadi 2, yaitu:

a. Komposit Lapis (*laminated composite*)

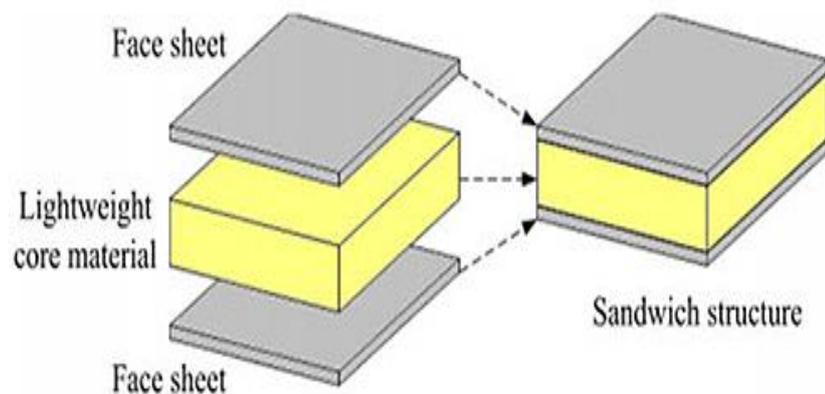
Merupakan gabungan dari lembaran-lembaran dua dimensi yang terikat satu sama lain membentuk lapisan. Lapisan-lapisan tersebut memiliki karakteristik serta arah kekuatan yang berbeda antar lapisannya.



Gambar 2.9. Komposit lapis/laminate composite
 Sumber: Callister, 2018

b. Komposit *Sandwich* (*sandwich panel*)

Komposit *sandwich* terdiri dari dua lembar kulit permukaan (*skin/face*) yang terpisah dan masing-masing terikat pada inti (*core*) yang lebih tebal (Callister, 2018). Bagian permukaan (*skin/face*) sebagai penahan beban tegangan tekan dan tegangan tarik, sehingga diperlukan sifat lebih kuat dan kaku dibandingkan dengan bagian inti (*core*) yang memiliki modulus elastisitas serta densitas rendah.



Gambar 2.10. Struktur komposit sandwich
 Sumber: Amir *et al.*, 2021

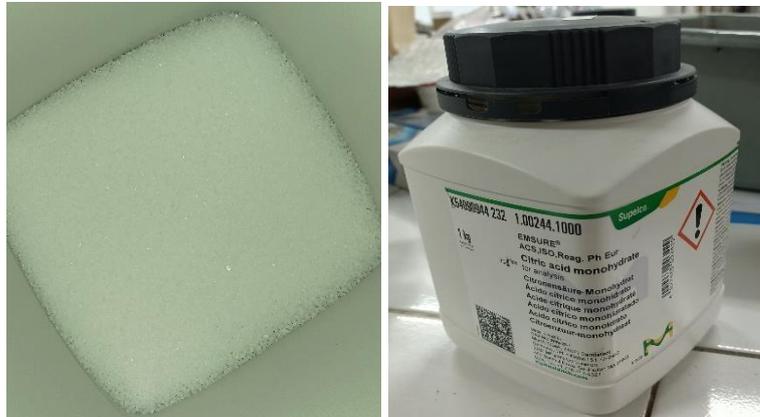
2.2.3.1 Komposit dari Bahan Daur Ulang

Komposit daur ulang muncul karena adanya perkembangan teknologi material pada pengolahan limbah yang dapat didaur ulang. Komposit menjadi salah satu solusi ketika limbah meningkat dan bahan baku utama menipis. Salah satu contoh komposit daur ulang adalah komposit dari serbuk kayu plastik. Komposit dari serbuk kayu plastik terbuat dari plastik yang berperan sebagai matriks dan serbuk kayu yang berperan sebagai pengisi (Maulana *et al.*, 2011). Kedua bahan kombinasi komposit ini dapat berupa limbah maupun bahan daur ulang sehingga disebut sebagai komposit daur ulang. Misalnya, pengisi yang digunakan berupa limbah serbuk kayu dari industri kayu. Sedangkan matriksnya merupakan daur ulang dari limbah plastik yang mudah ditemukan. Matriks pada penelitian ini menggunakan limbah plastik daur ulang polipropilena. Pemilihan plastik daur ulang polipropilena sebagai matriks karena bahan ini memiliki sifat fisik dan mekanik yang tidak mudah terdegradasi oleh pengaruh cuaca dan lingkungan asam-basa (Yuningsih *et al.*, 2023). Pengembangan komposit tidak hanya pada pengisi dan matriksnya saja, tetapi juga pada bagian *crosslinking* nya. Asam sitrat berperan sebagai bahan perekat alami dengan menjadi agen *crosslinking* antar penguat dan matriks. Komposit dari serbuk kayu memiliki keunggulan, yaitu dapat digunakan dalam jangka waktu yang panjang, ringan, harga yang relatif murah, dan tentunya ramah lingkungan.

2.2.4 Asam Sitrat

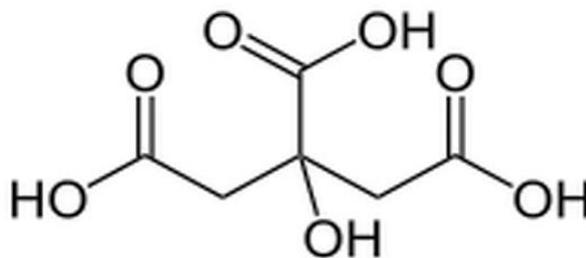
Asam sitrat salah satu bahan kimia yang termasuk dalam zat asam organik lemah. Zat ini umum digunakan dalam industri makanan, minuman, kosmetik, tekstil, hingga farmasi, serta berbagai macam industri lainnya. Asam sitrat alami dapat ditemukan dalam sayuran dan buah-buahan, khususnya pada tumbuhan jenis jeruk-jerukan (*citrus*) (Purwaningsih, 2016). Asam sitrat yang digunakan pada penelitian ini

berbentuk kristal halus berwarna putih yang termasuk dalam asam sitrat monohidrat seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.11. Asam sitrat pa produksi Supelco
Sumber: Dokumentasi pribadi

Asam sitrat memiliki rumus kimia $C_6H_8O_7$ dengan tiga gugus karboksil yaitu $CH_2(COOH)-COH(COOH)-CH_2(COOH)$, sedangkan nama IUPAC nya asam 2-hidroksi-1,2,3-propanetricarboxylic acid. Asam sitrat memiliki berat molekul 192 g/mol dengan titik leburnya $153^\circ C$ dan titik didihnya $175^\circ C$. Asam sitrat terbagi menjadi anhidrat dan monohidrat dengan bentuk kristal putih (Anggari, 2016). Pada proses pemanasan suhu $70-75^\circ C$ asam sitrat bentuk monohidrat dapat diubah menjadi bentuk anhidrat dan jika dipanaskan melebihi suhu $175^\circ C$ akan mengalami dekomposisi/terurai dengan melepaskan gugus karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) (Anggari, 2016; Ovelando *et al.*, 2013).



Gambar 2.12. Struktur kimia asam sitrat
Sumber: <https://www.rumuskimia.net/2015/12/rumus-kimia-asam-sitrat.html>

Asam sitrat dapat diperoleh dari beberapa cara yaitu, ekstraksi sederhana, proses sintesis secara kimia, dan proses fermentasi menggunakan

mikroorganisme. Proses ekstraksi sederhana merupakan proses produksi asam sitrat yang paling umum, proses ini dilakukan dengan cara mengekstraksi buah jeruk, nanas, pir, dan buah lainnya yang mengandung asam. Cara ekstraksi ini sudah mulai jarang digunakan karena adanya metode baru (Amalia *et al.*, 2019). Proses produksi asam sitrat menggunakan metode sintesis secara kimia belum banyak digunakan, karena metode ini melibatkan bahan-bahan kimia yang dianggap kurang aman jika digunakan dalam produk pangan (Amalia *et al.*, 2019). Proses fermentasi pada pembuatan asam sitrat dilakukan pada bahan yang mengandung glukosa dan sukrosa. Proses fermentasi ini melibatkan mikroorganisme seperti *Penicillium glaucum*, *Candida tropicalis*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus awamori*, *Aspergillus nidulans*, *Hansenula anomala* dan *Yarrowia lipolytica* (Carolina *et al.*, 2015). Jenis mikroorganisme yang umum digunakan dalam industri yaitu *Aspergillus niger*, mikroorganisme ini mampu menghasilkan asam sitrat dalam jumlah besar dan dapat menghasilkan asam sitrat dari bahan yang murah (Carolina *et al.*, 2015). Selain itu, penggunaan jamur *Aspergillus niger* ini meminimalisir terbentuknya produk lain seperti asam oksalat, asam isositrat, dan asam glukonat. Metode fermentasi ini dipengaruhi oleh pH, suhu, kecepatan pengadukan, dan aerasi (Amalia *et al.*, 2019).

Asam sitrat pada komposit berfungsi sebagai agen *crosslinking* antarmuka serat dan matriks saat sintesis (Hidayah, 2019). Asam sitrat dalam komposit berperan sebagai perekat alami dengan cara gugus karboksil pada asam sitrat dan gugus hidroksil bahan lignoselulosa pada serbuk kayu membentuk ikatan ester (Umemura *et al.*, 2011). Penggunaan asam sitrat pada komposit menjadi solusi terhadap penggunaan formaldehida sebagai perekat sintetis yang menghasilkan emisi yang berbahaya bagi kesehatan (Widyorini *et al.*, 2015). Pada penelitian terdahulu penambahan asam sitrat pada komposit papan partikel bambu petung meningkatkan sifat fisika dan mekaniknya (Widyorini *et al.*, 2015). Hasil penelitian Suranto *et al.* (2019) menunjukkan bahwa asam sitrat dapat digunakan sebagai perekat alami pada komposit papan partikel namun dengan rasio tertentu. Pada penelitian ini, asam sitrat

berperan sebagai agen *crosslinking* antarmuka serbuk kayu dan matriks plastik daur ulang polipropilena (PP).

2.3 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam penelitian ini sebagai berikut.

2.3.1 Hipotesis Nol (H_0)

Tidak terdapat hubungan antara variasi rasio bahan dengan hasil karakterisasi papan komposit

2.3.2 Hipotesis Kerja (H_1)

Terdapat hubungan antara variasi rasio bahan dengan hasil karakterisasi papan komposit

BAB III

METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Tekstil Fungsional Progam Studi Rekayasa Tekstil, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Pemotongan sampel uji dilakukan di Laboratorium Rekayasa Biomaterial, Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gajah Mada. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik, Departemen Teknik Mesin Universitas Gajah Mada.

3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

- Biji polipropilena (PP) daur ulang yang diperoleh dari UD. Surya Indo Utama
- Limbah serbuk kayu yang diperoleh dari PT. Dekor Asia Jayakarya
- Asam sitrat monohidrat pro analisis (PA) produksi Supelco®

3.3 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. Mesin kempa (*hot press*) digunakan untuk pengempaan bahan baku.



Gambar 3.1. Mesin *Hotpress*
Sumber: Dokumentasi pribadi

- b. Oven digunakan untuk mengeringkan serbuk kayu yang sudah diayak. Suhu yang dipakai untuk mengoven adalah 80°C.



Gambar 3.2. Oven
Sumber: Dokumentasi pribadi

- c. Timbangan digital digunakan untuk menimbang biji polipropilena daur ulang, limbah serbuk kayu, dan sampel hasil papan komposit.



Gambar 3.3. Timbangan Digital
Sumber: Dokumentasi pribadi

- d. Gunting digunakan untuk menggunting aluminium foil.



Gambar 3.4. Gunting
Sumber: Dokumentasi pribadi

- e. Wadah sebagai tempat untuk mencampurkan bahan polipropilena (PP) dan serbuk kayu (SK) serta asam sitrat (CS).



Gambar 3.5. Wadah atau Baskom
Sumber: Dokumentasi pribadi

- f. Wadah *stainless* tempat meletakkan serbuk kayu saat dimasukkan ke oven



Gambar 3.6. Wadah Stailless
Sumber: Dokumentasi pribadi

- g. Saringan 10 mesh sebagai media penyaring serbuk kayu berdasarkan ukuran dan untuk memisahkan serbuk kayu dari kotoran.



Gambar 3.7. Ayakan 10 mesh
Sumber: Dokumentasi pribadi

- h. Cetakan besi ukuran panjang 25cm, lebar 25cm, dan tinggi 1cm yang dilapisi aluminium foil digunakan sebagai cetakan untuk papan komposit.



Gambar 3.8. Cetakan Besi
Sumber: Dokumentasi pribadi

- i. Pelat besi yang dilapisi aluminium foil sebagai alas cetakan besi.



Gambar 3.9. Pelat Besi
Sumber: Dokumentasi pribadi

- j. Aluminium foil digunakan untuk melapisi cetakan besi dan pelat besi.



Gambar 3.10. Aluminium Foil
Sumber: Dokumentasi pribadi

- k. Sarung tangan sebagai alat pelindung diri ketika memasukkan dan mengeluarkan sampel di mesin *hot press*.



Gambar 3.11. Sarung Tangan
Sumber: Dokumentasi pribadi

- l. Jangka sorong digunakan untuk mengukur ketebalan papan komposit.



Gambar 3.12. Jangka Sorong
Sumber: Dokumentasi pribadi

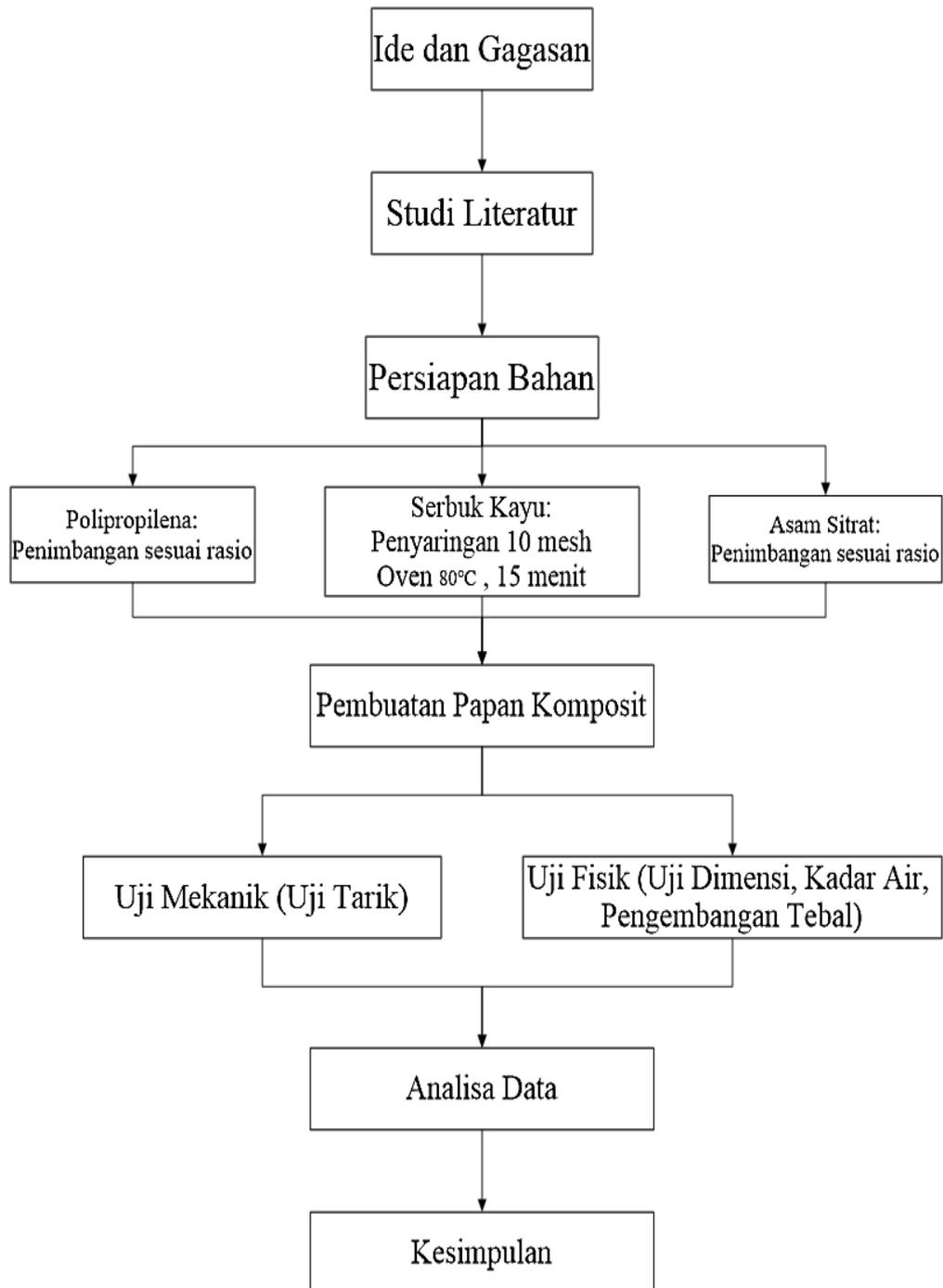
- m. Penggaris digunakan untuk mengukur dimensi papan komposit.



Gambar 3.13. Penggaris
Sumber: Dokumentasi pribadi

3.4 Prosedur dan Pengumpulan Data

3.4.1 Prosedur Penelitian



Gambar 3.14. Diagram Alir Proses Penelitian

a. Persiapan Bahan Baku

Persiapan bahan baku dimulai dengan proses penyaringan serbuk kayu (SK). Proses penyaringan ini dilakukan untuk memisahkan serbuk kayu (SK) dari kotoran serta menyamakan ukuran serbuk kayu (SK) yaitu sebesar 10 mesh. Serbuk yang telah disaring kemudian di oven dengan suhu 80°C selama 15 menit untuk menurunkan kadar airnya, setelah itu menimbang serbuk kayu (SK) yang diperlukan. Persiapan bahan lainnya yaitu menimbang biji polipropilena (PP) daur ulang. Selanjutnya menyiapkan asam sitrat (CA) dengan rasio 10%.

b. Pembuatan Sampel

Bahan baku biji polipropilena (PP) daur ulang dan serbuk kayu serta asam sitrat yang telah ditimbang sesuai dengan rasio perbandingan yang diinginkan yaitu 80%PP:20%SK, 70%PP:30%SK, 60%PP:40%SK dan 80%PP:20%SK+10%CA, 70% PP:30% SK+10% CA, dan 60%PP:40%SK+10%CA. Kemudian bahan dicampur dan diaduk dalam wadah sampai merata. Selanjutnya campuran bahan tersebut dimasukkan ke dalam cetakan yang telah dilapisi aluminium foil terlebih dahulu dan diberi alas pelat besi yang juga dilapisi aluminium foil untuk mengkondisikan ketebalan dan kerataan pada hasil sampel. Bahan kemudian di kempa pada mesin hot press menggunakan suhu 200°C dengan tekanan 100 bar selama 60 menit. Sampel hasil disimpan dan dikondisikan pada suhu ruangan (25°C). Sampel hasil dipotong sesuai dengan ukuran spesimen masing-masing pengujian.

c. Pengujian

Pengujian papan komposit dilakukan dengan 2 (dua) macam jenis, yaitu uji mekanik dan uji fisik. Uji fisik meliputi uji kerapatan, kadar air, dan pengembangan tebal sedangkan uji mekanik meliputi uji tarik.

1. Densitas/Kerapatan

Pengujian densitas/kerapatan dilakukan sesuai dengan *Japanese Industrial Standart* atau JIS A 5908-2003 modifikasi. Pengujian dilakukan dengan mengukur panjang, lebar, berat, dan tebal sampel uji. Kemudian hasil ukur itu dihitung luas, volume, dan kerapatannya. Langkah pertama adalah menyiapkan sampel uji dengan ukuran panjang (p) 25 cm, lebar (l) 25 cm, dan tebal (t) 1 cm. Menimbang sampel uji dan mengukur panjang, lebar, dan tebalnya. Setelah mendapatkan data pengukuran, maka nilai kerapatan dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Keterangan:

ρ : Nilai kerapatan sampel uji (g/cm³)

m : Massa sampel uji (g)

V : Volume sampel uji (cm³)

2. Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan sesuai *Japanese Industrial Standart* atau JIS A 5908 (2003) modifikasi. Pengujian dilakukan dengan menyiapkan sampel uji berukuran panjang (p) 5 cm dan lebar (l) 5 cm. Sebelumnya sampel uji sudah melalui proses penyimpanan disuhu ruang selama ± 7 hari agar dalam keadaan stabil. Kemudian sampel uji ditimbang sehingga didapatkan data massa awal sampel uji. Setelah itu, sampel uji dikeringkan dalam oven bersuhu 100°C selama 24 jam. Menimbang sampel uji setelah dikeringkan sehingga didapatkan data sampel uji setelah dioven. Nilai kadar air diperoleh dari persamaan berikut:

$$KA = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

KA : Kadar air sampel uji (%)

m_1 : Massa sampel uji sebelum dioven (g)

m_2 : Massa sampel uji sesudah dioven (g)

3. Pengembangan Tebal

Uji pengembangan tebal dilakukan sesuai *Japanese Industrial Standart* atau JIS A 5908 (2003) modifikasi. Pengujian dilakukan dengan menyiapkan sampel uji berukuran panjang (p) 5 cm dan lebar (l) 5 cm. Sebelumnya sampel uji sudah melalui proses penyimpanan disuhu ruang selama 7 hari agar stabil. Kemudian sampel uji diukur tebal (t) menggunakan jangka sorong sehingga didapatkan data tebal sampel uji sebelum perendaman. Setelah itu, sampel uji direndam dalam air dengan suhu ruang ($20\pm 1^\circ\text{C}$) selama 24 jam. Posisi perendaman secara horizontal 3 cm di bawah air. Setelah 24 jam, sampel uji dikeringkan dan diukur ketebalannya lagi. Pengembangan tebal dapat diperoleh dengan menganalisis data-data yang telah diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$PT = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

PT : Pengembangan tebal (%)

t_1 : Tebal sampel uji sebelum perendaman (cm)

t_2 : Tebal sampel uji sesudah perendaman (cm)

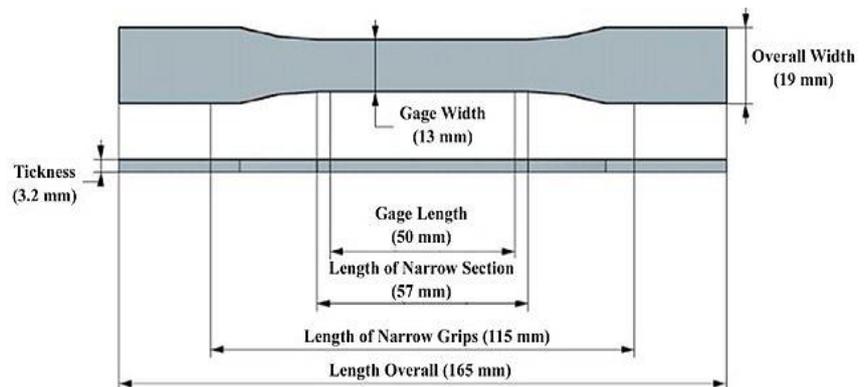
4. Tarik

Uji tarik sesuai *American Standart Testing and Material* D638 atau ASTM D638 *Dog-Bone* dilakukan dengan mesin uji *Universal Testing Machine*.



Gambar 3.15. Universal Testing Machine
Sumber: Arsip Pribadi

Spesimen uji tarik yang sesuai dengan standar ASTM D638 *Dog-Bone* dapat dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16. *Spesimen test* ASTM D638 *Dog-Bone*

Sumber: (Hibbert, *et al.*, 2019)

Uji tarik menghasilkan nilai tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*). Nilai tegangan dan regangan dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Stress : } \sigma = \frac{F}{A_0} \quad (4)$$

Keterangan :

σ = Tegangan (MPa)

F = Beban maksimum (N)

A_0 = Luas penampang (mm^2)

$$\text{Strain : } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan :

ε = Regangan (%)

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

A_0 = Panjang awal (mm)

3.4.2 Pengumpulan Data

Variabel pada penelitian ini terbagi 2 yaitu rasio perbandingan antara polipropilena (PP) daur ulang dan serbuk kayu (SK), dan penambahan asam sitrat (CA) pada sampel komposit polipropilena (PP) daur ulang dan serbuk kayu (SK).

Dalam penelitian ini rasio perbandingan jumlah PP dan SK divariasikan berdasarkan persen (%) berat sebagai berikut:

- 80% PP : 20% SK
- 70% PP : 30% SK
- 60% PP : 40% SK
- 80% PP : 20% SK + 10% CA
- 70% PP : 30% SK + 10% CA
- 60% PP : 40% SK + 10% CA

Perhitungan komposisi antara bahan baku polipropilena daur ulang dan limbah serbuk kayu serta asam sitrat yang perlu diketahui yaitu volume cetakan, dalam penelitian ini menggunakan cetakan ukuran $25\text{cm} \times 25\text{cm}$ dengan ketebalan 1 cm dan target kerapatan sebesar $0,8 \text{ g/cm}^3$ (Roza *et al.*, 2015), sehingga dapat dirumuskan massa bahan total yang di butuhkan

yaitu:

$$m \text{ bahan total} = V \times \rho \quad (6)$$

$$V = p \times l \times t \quad (7)$$

Keterangan:

m bahan total : massa bahan total (g)

V : volume cetakan (cm³)

P : panjang (cm)

l : lebar (cm)

t : tinggi (cm)

ρ : kerapatan (teori/target) (g/cm³)

$$\begin{aligned} m \text{ bahan total} &= 25\text{cm} \times 25\text{cm} \times 1\text{cm} \times 0,8 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \\ &= \mathbf{500 \text{ g}} \end{aligned}$$

Perhitungan lainnya yaitu menghitung jumlah asam sitrat (CA) yang akan digunakan dengan rumus:

$$m \text{ CA} = 10\% \times m \text{ bahan total} \quad (8)$$

Keterangan:

m CA : massa asam sitrat (g)

m bahan total : massa bahan total (g)

$$m \text{ CA} = 10\% \times 500 \text{ g} = \mathbf{50 \text{ g}}$$

Perhitungan selanjutnya yaitu menentukan volume matriks tanpa penguat dan volume penguat tanpa matriks, menggunakan rumus sebagai berikut:

$$m \text{ matriks} = \text{rasio} (\%) \times m \text{ bahan total} \quad (9)$$

$$m \text{ penguat} = \text{rasio} (\%) \times m \text{ bahan total} \quad (10)$$

Keterangan :

m matriks : volume matriks (g)

m penguat : volume penguat (g)

m bahan total : massa bahan total (g)

Maka dari rumus diatas didapatkan hasil perhitungan pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.1. Perhitungan sesuai perbandingan komposisi material

| | 80% PP : 20% SK (gram) | 70% PP : 30% SK (gram) | 60% PP : 40% SK (gram) |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Matriks (PP) | $80\% \times 500g$ $= 400g$ | $70\% \times 500g$ $= 350g$ | $60\% \times 500g$ $= 300g$ |
| Penguat (SK) | $20\% \times 500g$ $= 100g$ | $30\% \times 500g$ $= 150g$ | $40\% \times 500g$ $= 200g$ |

Tabel 3.2. Perhitungan sesuai perbandingan komposisi material

| | 80%PP: 20%SK+ 10%CA (gram) | 70%PP: 30%SK+ 10%CA (gram) | 60%PP: 40%SK+ 10%CA (gram) |
|------------------------------|---|---|---|
| Matriks (PP) | $80\% \times 500g$ $= 400g$ | $70\% \times 500g$ $= 350g$ | $60\% \times 500g$ $= 300g$ |
| Penguat (SK) | $20\% \times 500g$ $= 100g$ | $30\% \times 500g$ $= 150g$ | $40\% \times 500g$ $= 200g$ |
| Crosslinking (CA) | $10\% \times 500g$ $= 50g$ | $10\% \times 500g$ $= 50g$ | $10\% \times 500g$ $= 50g$ |

Setiap sampel dengan perbandingan komposisi di atas dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali kecuali pada sampel dengan penambahan asam sitrat (CA) sebagai pembanding dan masing-masing sampel diberi kode seperti pada tabel 3.3 dibawah ini.

Tabel 3.3. Kodevikasi Sample

| Sampel | PP | SK | Kode |
|---|-----------|-----------|--|
| Polipropilena (PP)/Serbuk kayu (SK) | 80% | 20% | A ₁ , A ₂ , A ₃ |
| | 70% | 30% | B ₁ , B ₂ , B ₃ |
| | 60% | 40% | C ₁ , C ₂ , C ₃ |
| Polipropilena (PP)/Serbuk kayu (SK)+10% Asam sitrat (CA) | 80% | 20% | AS |
| | 70% | 30% | BS |
| | 60% | 40% | CS |

3.5 Pengolahan dan Analisis Data

Data-data yang diperoleh dari hasil uji mekanik dan fisik komposit yang terdiri dari, uji kerapatan, uji kadar air, uji pengembangan tebal, dan uji tarik. Metode yang digunakan ialah metode statistik deskriptif dengan cara menampilkan data hasil dalam bentuk tabel dan grafik kemudian menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang terkumpul hingga mendapatkan kesimpulan dari hasil data tersebut.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

Sampel hasil papan komposit dengan kode A, B, C dan tambahan Asam sitrat sebagai pembandingnya AS, BS, CS serta sampel K (kontrol) masing-masing dilakukan pengujian fisik dan mekanik. Pengujian fisik diantaranya uji densitas, uji kadar air, dan uji pengembangan tebal. Pengujian mekanik yang dilakukan adalah uji tarik.

4.1.1 Densitas/Kerapatan

Pengujian densitas/kerapatan menggunakan metode pengujian sesuai *Japanese Industrial Standart* atau JIS A 5908-2003 modifikasi dengan ukuran spesimen $25\text{cm} \times 25\text{cm} \times 1\text{cm}$. Berdasarkan standar JIS A 5908-2003 nilai kerapatan berkisar antara $0,4 - 0,9 \text{ g/cm}^3$. Hasil pengujian densitas dapat dilihat pada tabel 4.1.

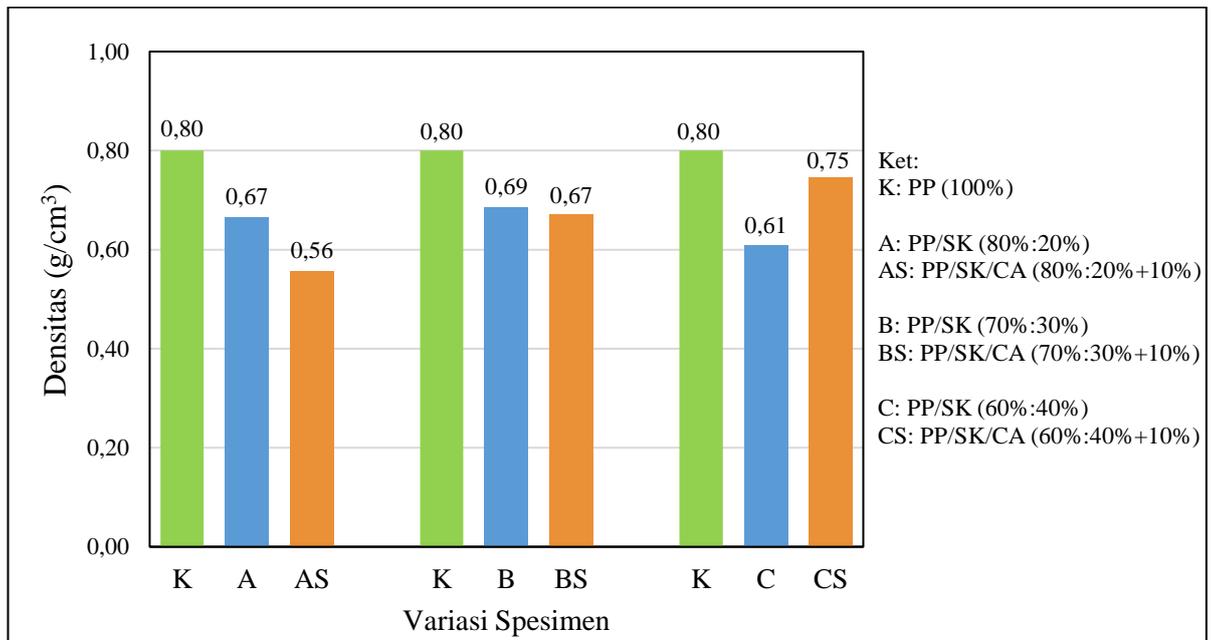
Tabel 4.1. Hasil pengujian densitas/kerapatan

| Kode Sampel | Panjang (cm) | Lebar (cm) | Berat (g) | Tebal (cm) | Volume (cm ³) | $\rho=m/V$ kerapatan (g/cm ³) | Rasio AS (%) |
|-------------|--------------|------------|-----------|------------|---------------------------|---|--------------|
| K | 25,00 | 25,00 | 500 | 1,00 | 625,00 | 0,80 | - |
| A1 | 24,90 | 24,90 | 485 | 1,20 | 744,01 | 0,65 | - |
| A2 | 24,90 | 24,90 | 477 | 1,00 | 620,01 | 0,77 | - |
| A3 | 25,00 | 25,00 | 430 | 1,20 | 750,00 | 0,57 | - |
| B1 | 24,90 | 24,90 | 467 | 1,20 | 744,01 | 0,63 | - |
| B2 | 24,90 | 25,00 | 465 | 1,00 | 622,50 | 0,75 | - |
| B3 | 24,90 | 25,00 | 469 | 1,10 | 684,75 | 0,68 | - |
| C1 | 25,00 | 25,00 | 471 | 1,40 | 875,00 | 0,54 | - |
| C2 | 25,00 | 25,00 | 482 | 1,10 | 687,50 | 0,70 | - |
| C3 | 25,00 | 25,00 | 477 | 1,30 | 812,50 | 0,59 | - |

Table 4.1. Hasil pengujian densitas/kerapatan lanjutan

| Kode Sampel | Panjang (cm) | Lebar (cm) | Berat (g) | Tebal (cm) | Volume (cm ³) | $\rho=m/v$ kerapatan (g/cm ³) | Rasio AS (%) |
|-------------|--------------|------------|-----------|------------|---------------------------|---|--------------|
| AS | 25,00 | 25,00 | 418 | 1,20 | 750,00 | 0,56 | 10% |
| BS | 25,10 | 25,10 | 465 | 1,10 | 693,01 | 0,67 | 10% |
| CS | 25,10 | 25,10 | 470 | 1,00 | 630,01 | 0,75 | 10% |

Rata-rata hasil pengujian kerapatan pada masing-masing sampel dengan tiga kali pengulangan serta pembandingnya dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4.1. Grafik hasil uji kerapatan

Hasil pengujian kerapatan dari sampel papan komposit A, B, C, dengan sampel pembandingnya AS, BS, CS berkisar dari 0,56% - 0,75% dan dapat dikategorikan dalam papan komposit berkerapatan sedang. Nilai kerapatan tertinggi yaitu 0,69 g/cm³ pada sampel kode B dengan rasio 70%PP:30%SK sedangkan kerapatan terendah pada sampel kode C dengan rasio 60%PP:40% SK dengan nilai 0,61 g/cm³. Terlihat pada grafik pada gambar 4.1 hasil uji kerapatan pada sampel papan komposit diatas tidak memenuhi target nilai kerapatan teoritis yaitu 0,8 g/cm³ namun tetap

memenuhi standar JIS A 5908-2003. Sedangkan pada sampel pembanding dengan penambahan asam sitrat (CA) sebagai agen *crosslinking* menunjukkan hasil tertinggi sebesar 0,75 g/cm³ pada sampel kode C dengan rasio 60%PP:40%SK+10%CA. Penambahan asam sitrat (CA) menunjukkan peningkatan nilai kerapatan pada papan komposit seiring dengan bertambahnya rasio serbuk kayu (SK) dalam papan komposit. Berdasarkan gambar 4.1 terlihat bahwa asam sitrat (CA) sebagai agen *crosslinking* dengan serbuk kayu meningkatkan nilai kerapatan pada papan komposit dengan rasio serbuk kayu (SK) terbanyak, namun terjadi penurunan kerapatan pada sampel papan komposit dengan rasio serbuk kayu (SK) sedikit. Hal ini terjadi karena gugus pada asam sitrat (CA) berikatan dengan gugus pada bahan lignoselulosa. Nilai kerapatan pada sampel tanpa penambahan asam sitrat (CA) bergantung pada komposisi material penyusun papan komposit.

4.1.2 Kadar Air

Pengujian kadar air sesuai dengan standar JIS A 5908-2003 modifikasi. Standar kadar air pada papan komposit berdasarkan JIS A 5908-2003 berkisar antara 5-13%. Hasil pengujian kadar air dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2. Hasil pengujian kadar air

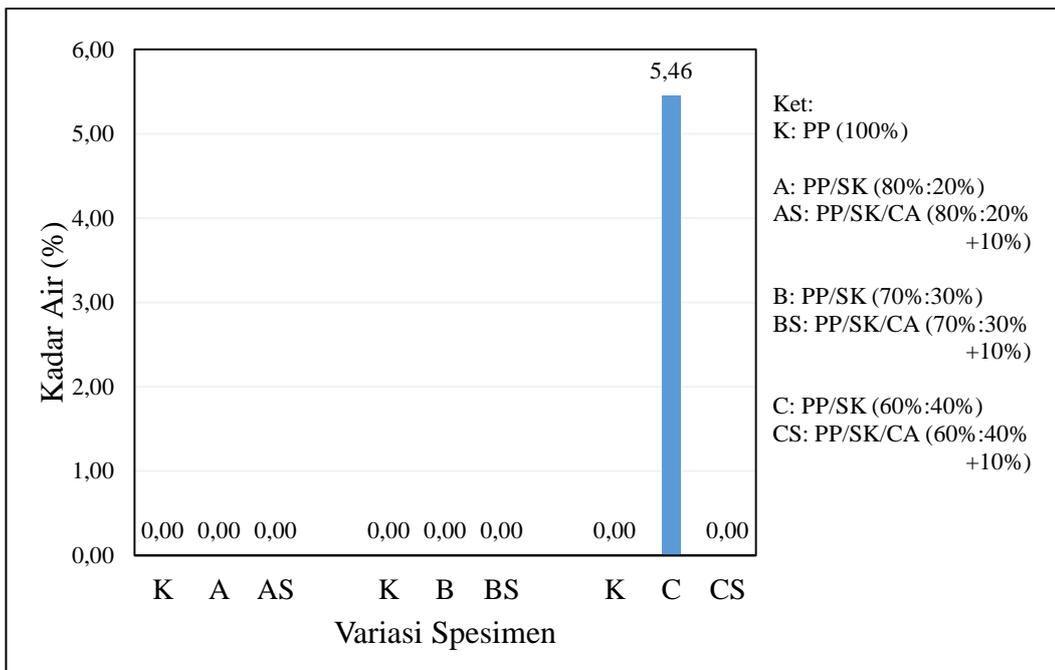
| Sampel | Berat (g) | Panjang (cm) | Lebar (cm) | Tebal (cm) | Kadar Air (%) |
|--------|-----------|--------------|------------|------------|---------------|
| K | 21 | 5,00 | 5,00 | 1,00 | 0,00 |
| A1 | 18 | 4,80 | 4,70 | 1,00 | 0,00 |
| A2 | 21 | 5,00 | 5,00 | 1,05 | 0,00 |
| A3 | 16 | 4,90 | 4,80 | 1,30 | 0,00 |
| B1 | 19 | 4,80 | 4,80 | 1,20 | 0,00 |
| B2 | 18 | 4,80 | 4,70 | 1,00 | 0,00 |
| B3 | 17 | 4,70 | 4,90 | 1,00 | 0,00 |
| C1 | 18 | 4,90 | 4,80 | 1,30 | 11,11 |

Tabel 4.2. Hasil pengujian kadar air lanjutan

| Sampel | Berat (g) | Panjang (cm) | Lebar (cm) | Tebal (cm) | Kadar Air (%) |
|--------|-----------|--------------|------------|------------|---------------|
| C2 | 19 | 4,90 | 4,80 | 1,05 | 5,26 |
| C3 | 19 | 4,70 | 4,90 | 1,30 | 0,00 |
| AS | 16 | 4,90 | 4,80 | 1,30 | 0,00 |
| BS | 18 | 4,90 | 4,90 | 1,10 | 0,00 |
| CS | 20 | 4,90 | 4,90 | 1,05 | 0,00 |

Berdasarkan tabel 4.2 papan komposit yang memiliki nilai kadar air hanya sampel dengan kode C1 dan C2 dengan rasio 60%PP:40%SK, namun terjadi penurunan kadar air pada sampel C3 dengan rasio yang sama. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh komposisi polipropilena daur ulang yang menutupi permukaan papan komposit, selain itu kadar air serbuk kayu, suhu pengempaan, dan cara penyimpanan sampel juga mempengaruhi kadar air dari papan komposit.

Rata-rata hasil pengujian kadar air pada masing-masing sampel dengan tiga kali pengulangan serta pembandingnya dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4.2. Grafik hasil pengujian kadar air

Hasil pengujian kadar air menunjukkan nilai kandungan air dalam sampel papan komposit polipropilena daur ulang dan serbuk kayu. Berdasarkan data hasil pengujian kadar air pada gambar 4.2 didapatkan nilai berkisar dari 0 - 5,4%. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa kadar air pada sampel papan komposit kode C dengan rasio 60%PP:40%SK memiliki nilai tertinggi. Pada gambar 4.2 dapat diketahui bahwa kadar air pada sampel papan komposit kode A dan B serta sampel dengan tambahan asam sitrat (CA) kode AS, BS, CS menunjukkan hasil 0%. Nilai kadar air pada sampel papan komposit tanpa tambahan asam sitrat (CA) mengalami peningkatan pada komposisi serbuk kayu (SK) terbanyak yaitu pada rasio 40%SK, sedangkan pada sampel dengan penambahan asam sitrat (CA) tidak menunjukkan adanya kadar air pada sampel. Rata-rata nilai kadar air pada gambar 4.2 tidak memenuhi standar JIS A 5908-2003.

Nilai kadar air pada papan komposit dipengaruhi oleh komposisi serbuk kayu (SK) dalam sampel papan komposit. Dalam penelitian ini komposisi terbanyak dalam sampel papan komposit adalah plastik (polipropilena) yang bersifat hidrofobik sehingga kadar air dalam papan komposit juga semakin kecil. Berdasarkan gambar 4.3 penambahan asam sitrat (CA) pada sampel mempengaruhi kadar air dalam papan komposit.

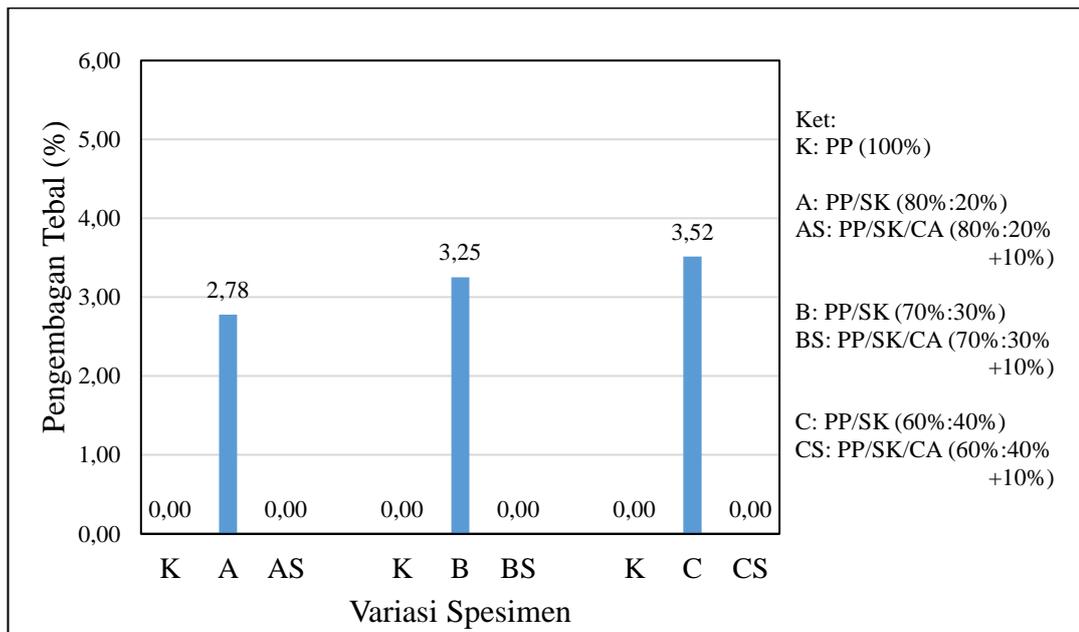
4.1.3 Pengembangan Tebal

Pengembangan tebal merupakan salah satu pengujian fisik pada papan komposit. Pengujian ini menggunakan metode sesuai dengan standar JIS A 5908-2003. Standar pengembangan tebal pada papan komposit sesuai JIS A 5908-2003 yaitu maksimal 12%. Hasil uji pengembangan tebal dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil uji pengembangan tebal

| Sampel | Berat (g) | Panjang (cm) | Lebar (cm) | Tebal (cm) | PT (%) |
|--------|-----------|--------------|------------|------------|--------|
| K | 20 | 5,00 | 5,00 | 1,00 | 0,00 |
| A1 | 21 | 4,80 | 4,90 | 1,00 | 0,00 |
| A2 | 20 | 4,80 | 4,90 | 1,30 | 8,33 |
| A3 | 16 | 4,80 | 4,80 | 1,30 | 0,00 |
| B1 | 24 | 4,90 | 4,80 | 1,20 | 0,00 |
| B2 | 23 | 4,90 | 4,90 | 1,10 | 4,76 |
| B3 | 23 | 5,00 | 5,00 | 1,05 | 5,00 |
| C1 | 24 | 5,00 | 5,00 | 1,08 | 2,86 |
| C2 | 23 | 4,80 | 4,90 | 1,10 | 0,00 |
| C3 | 27 | 5,00 | 4,90 | 1,40 | 7,69 |
| AS | 21 | 5,00 | 5,00 | 1,30 | 0,00 |
| BS | 20 | 4,90 | 4,80 | 1,10 | 0,00 |
| CS | 24 | 5,00 | 5,00 | 1,05 | 0,00 |

Rata-rata hasil pengujian kadar air pada masing-masing sampel dengan tiga kali pengulangan serta pembandingnya dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



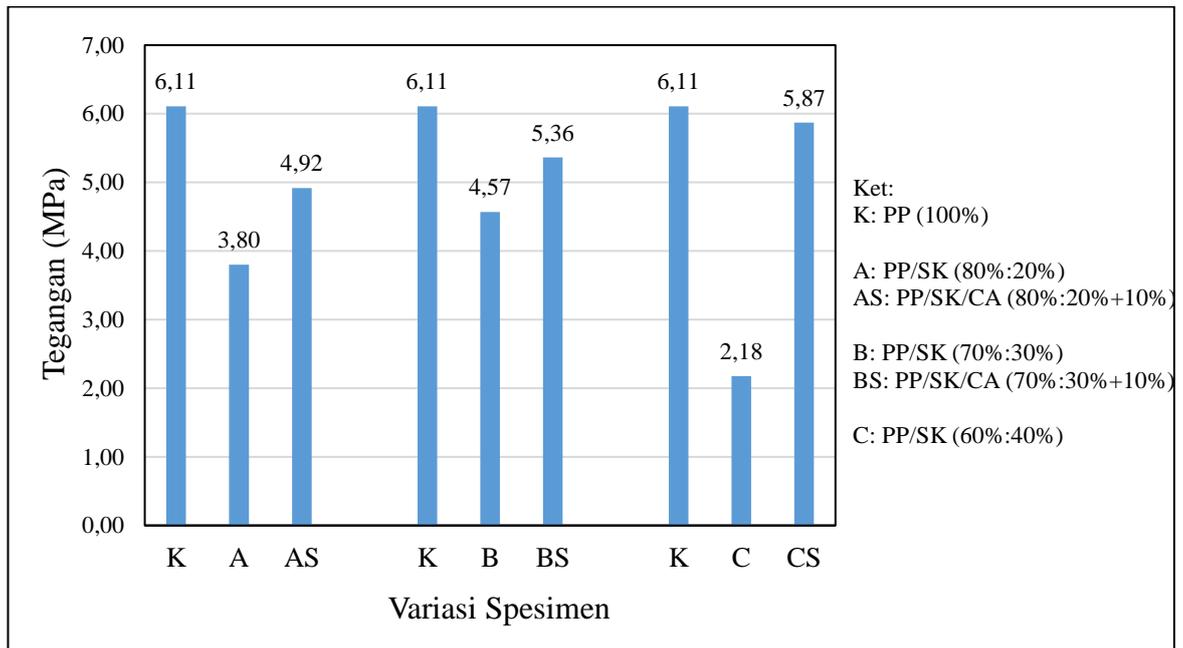
Gambar 4.3. Grafik hasil pengujian pengembangan tebal

Hasil pengujian pengembangan tebal diperoleh nilai berkisar antara 0% - 3,52%. Berdasarkan gambar 4.3 nilai pengembangan tebal tertinggi diperoleh oleh sampel papan komposit kode C dengan rasio 60%PP:40%SK sebesar 3,52%, sedangkan sampel pembanding dengan penambahan asam sitrat (CA) nilai pengembangan tebal sebesar 0%. Nilai pengembangan tebal pada gambar 4.3 mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya komposisi serbuk kayu (SK) pada papan komposit sedangkan penambahan asam sitrat (CA) pada sampel papan komposit mempengaruhi nilai pengembangan tebalnya. Rata-rata nilai hasil pengujian pengembangan tebal sampel papan komposit pada gambar 4.3 memenuhi standar JIS A 5908-2003.

Nilai pengembangan tebal dipengaruhi oleh kerapatan/densitas sampel papan komposit (Anas, 2020). Sama halnya dengan kadar air, komposisi polipropilena (PP) dalam papan komposit menjadi pengaruh nilai pengembangan tebal karena polipropilena bersifat hidrofobik sehingga penyerapan air dalam papan komposit juga semakin kecil.

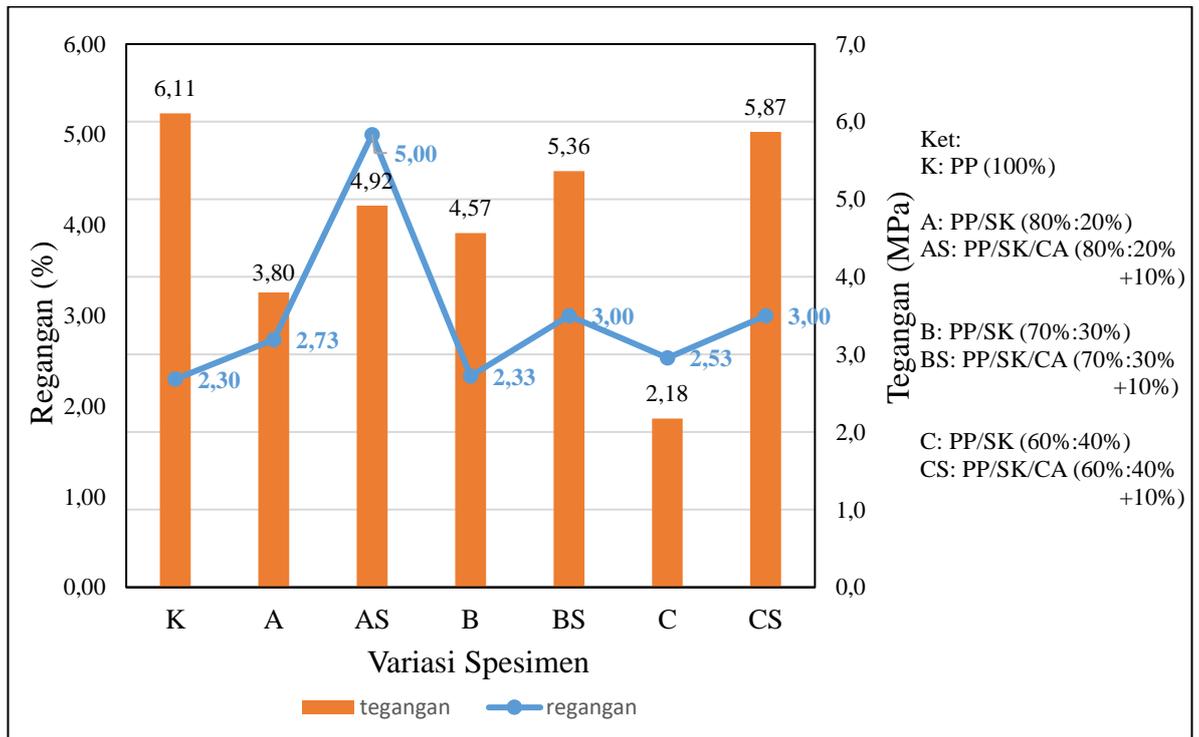
4.1.4 Tarik

Uji tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat mekanik sample terhadap beban tarik. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Universitas Gajah Mada. Pengujian menggunakan mesin uji tarik atau *universal testing machine* dengan standar spesimen menggunakan ASTM D638. Data hasil pengujian tarik dapat dilihat pada gambar 4.4. dibawah ini.



Gambar 4.4. Grafik hasil tegangan tarik

Hasil uji tarik memperoleh nilai tegangan berkisar 2,18 MPa – 6,11 MPa. Berdasarkan grafik gambar 4.4 diperoleh nilai tegangan tertinggi sebesar 5,87 MPa pada sampel kode CS dengan rasio 60%PP:40%SK+10%CA dan nilai tegangan terendah sebesar 2,53 MPa pada rasio sampel 60%PP:40%SK dengan kode sampel C. Pada grafik gambar 4.4 nilai tegangan mengalami kenaikan seiring dengan penambahan asam sitrat (CA) sebesar 10% kedalam masing-masing variasi sampel, namun nilai kekuatan tarik pada sampel dengan penambahan asam sitrat (CA) semakin meningkat ketika rasio serbuk kayu dalam papan komposit juga meningkat. Hasil uji tarik tidak hanya menghasilkan nilai tegangan namun terdapat nilai regangan pada bahan uji. Nilai perbandingan tegangan dan regangan terdapat pada gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4.5 Grafik tegangan dan regangan tarik

Nilai regangan patah berkisar antara 2,33% - 5%. Menurut grafik pada gambar 4.5 nilai regangan patah tertinggi sebesar 5% diperoleh oleh sampel kode AS dengan rasio 80%PP:20%SK+10%CA, sedangkan nilai regangan terendah yaitu 2,33% diperoleh oleh sampel kode B dengan rasio 70%PP:30%SK. Berdasarkan grafik gambar 4.5 nilai regangan mengalami kenaikan ketika penambahan asam sitrat (CA) sebesar 10% pada masing-masing variasi sampel. Perbandingan tegangan dan regangan pada masing-masing variasi sampel ini dapat dijadikan tolak ukur untuk menentukan karakteristik dari masing-masing variasi sampel.

4.2 Pembahasan

Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan kembali polipropilena daur ulang sekaligus mengurangi limbah serbuk kayu menjadi papan komposit yang berikatan silang asam sitrat. Pada penelitian ini masing-masing papan komposit diberikan kode sampel sebagaimana dapat dilihat

pada tabel 3.3 sebelumnya. Sampel tanpa penambahan asam sitrat diberi kode A, B, C dan dilakukan pengulangan sebanyak 3 (tiga) kali pada masing-masing kode sampel. Sedangkan sampel dengan penambahan asam sitrat diberi kode AS, BS, CS, pada sampel kode ini tidak berlaku pengulangan sebanyak 3 (tiga) kali karena sampel ini berperan sebagai pembanding dari sampel tanpa penambahan asam sitrat.

Berdasarkan data-data penelitian secara umum menunjukkan bahwa penambahan asam sitrat mampu mempengaruhi kualitas papan komposit. Selain itu, kualitas papan komposit juga dipengaruhi oleh komposisi atau rasio bahan yang digunakan serta suhu, waktu, dan tekanan pada proses pengempaan. Hal ini dibuktikan melalui 2 (dua) pengujian, yaitu pengujian fisik yang meliputi uji densitas/kerapatan, kadar air, dan pengembangan tebal serta pengujian mekanik yang meliputi uji tarik.

Pada penelitian ini menggunakan target kerapatan sebesar $0,8 \text{ g/cm}^3$ namun hasil pengujian densitas/kerapatan menghasilkan nilai kerapatan berkisar $0,56 \text{ g/cm}^3$ - $0,75 \text{ g/cm}^3$, nilai tersebut memenuhi syarat standar JIS A 5908-2003 dan termasuk dalam papan komposit berkerapatan sedang. Nilai kerapatan tertinggi pada sampel papan komposit tanpa penambahan asam sitrat didapatkan oleh sampel kode B dengan rasio 70%PP:30%SK. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.1, nilai kerapatan yang fluktuatif pada papan komposit tanpa penambahan asam sitrat disebabkan oleh komposisi yang tidak optimal antara polipropilena daur ulang dan serbuk kayu, atau dapat dikatakan bisa jadi campuran belum cukup homogen. Selain itu, nilai fluktuatif tersebut walaupun naik turun namun tidak terlalu berbeda nyata sehingga tidak memiliki pengaruh yang cukup signifikan. Pada sampel kode A permukaan hasil papan komposit tidak rata dan ketika dipotong terdapat banyak ruang kosong dalam papan komposit, hal ini dapat terjadi karena banyaknya rasio polipropilena. Sebaliknya pada sampel kode C permukaan hasil papan komposit rata namun serbuk kayu pada papan komposit kurang berikatan, terlihat dari rapuhnya sampel saat dilakukan pemotongan spesimen untuk

pengujian, hal ini dapat disebabkan oleh banyaknya rasio serbuk kayu dalam papan komposit namun polipropilena tidak cukup banyak untuk merekatkan partikel serbuk kayu.

Hasil perbandingan nilai densitas pada papan komposit mengalami kenaikan sebesar 14% pada sampel kode CS rasio 60%PP:40%SK+10%CA. Kenaikan kerapatan tersebut terjadi karena adanya penambahan asam sitrat (CA) sebagai agen *crosslinking* atau perekat yang memiliki gugus karboksil (COOH) yang dapat berikatan dengan gugus hidroksil (-OH) pada serbuk kayu. (Aini *et al.*, 2015) menyatakan bahwa nilai kerapatan papan komposit meningkat seiring dengan bertambahnya rasio asam sitrat. Sebaliknya nilai kerapatan mengalami penurunan sebesar 11% pada sampel kode AS dengan rasio 80%PP:20%SK+10%CA dan penurunan sebesar 2% pada sampel kode BS dengan rasio 70%PP:30%SK+10%CA. Hal ini dapat terjadi akibat dari konsentrasi asam sitrat yang tidak sebanding dengan rasio serbuk kayu dan polipropilena sehingga terjadinya pengurangan berat pada sampel papan komposit. Hasil penelitian Widyorini *et al.* (2012) papan partikel dengan penambahan asam sitrat 20% mengalami delaminasi karena tekanan internal lebih tinggi dibandingkan kekuatan ikatan dalam material.

Nilai pengujian kadar air (KA) papan komposit pada penelitian ini adalah 0% dan 5,46%. Nilai kadar air (KA) tertinggi dihasilkan oleh sampel kode C dengan nilai 5,46% dan sesuai dengan standar JIS A 5908-2003 yang mengisyaratkan nilai kadar air papan komposit sebesar 5-13%, sedangkan sampel lainnya memiliki nilai KA 0% sehingga tidak memenuhi standar. Nilai kadar air yang tidak memenuhi standar dapat disebabkan oleh banyaknya rasio polipropilena (PP) yang bersifat hidrofobik atau tidak menyerap air, selain itu pengaruh kerapatan papan komposit, rasio asam sitrat, serta suhu pengempaan juga mempengaruhi nilai kadar air (KA). Hasil penelitian Fernando *et al.* (2015) uap air yang terkandung dalam partikel dapat menurun seiring dengan penambahan perekat dan peningkatan suhu proses pengempaan sehingga menurunkan

kadar air papan komposit. Rata-rata nilai kadar air pada sampel papan komposit pada penelitian ini tidak memenuhi standar JIS A 5908-2003 namun jika ditinjau menggunakan standar SNI 03-2105-2006 yang menyatakan bahwa standar kadar air pada papan komposit sebesar 0-14% maka seluruh sampel papan komposit pada penelitian ini memenuhi standar SNI untuk papan komposit. Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui konsentrasi air yang terkandung didalam papan komposit.

Pengujian pengembangan tebal menghasilkan nilai berkisar 0% - 3,52%. Nilai pengembangan tebal menurun dengan adanya penambahan asam sitrat (CA), hal tersebut dapat terjadi karena adanya ikatan ester antara gugus karboksil pada asam sitrat dan gugus hidroksil pada serbuk kayu serta banyaknya rasio polipropilena yang bersifat hidrofobik. (Aini *et al.*, 2015) menyatakan semakin tinggi rasio asam sitrat yang ditambahkan pada papan komposit akan menurunkan nilai pengembangan tebalnya.

Pengujian tarik atau *tensile strength* pada papan komposit dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum melalui nilai tegangan dan regangan (*stress-strain*) dengan cara penarikan secara vertikal. Pengujian tarik menghasilkan pertambahan panjang pada bahan uji. Nilai kekuatan tarik pada sampel papan komposit tanpa penambahan asam sitrat sebagaimana ditunjukkan di gambar 4.4, nilainya juga fluktuatif seperti nilai kerapatan yang telah dibahas sebelumnya. Hal ini sedikit banyak karena nilai kuat tarik juga dipengaruhi oleh nilai kerapatan masing-masing rasio papan komposit. Oleh karena itu, nilai tegangan pada sampel B lebih tinggi dibanding sampel A dan C. Pada penelitian ini, nilai tegangan dan regangan pada variasi sampel mengalami kenaikan pada sampel dengan penambahan asam sitrat (CA). Nilai tegangan terbesar diperoleh oleh sampel kode CS dengan rasio 60%PP:40%SK+10%CA. Hal tersebut dapat terjadi karena nilai kerapatan dan daya ikatan antar partikel yang tinggi pada sampel papan komposit sehingga tidak terdapat ruang kosong dalam papan komposit yang dapat menyebabkan nilai

kekuatan tarik menurun. Hasil penelitian Asroni (2016) nilai kekuatan tarik menurun disebabkan adanya *void* (gelembung udara) dalam sampel komposit partikel sehingga menyebabkan rendahnya kerapatan dan daya ikat partikel. Nilai tegangan terendah sebesar 2,18 MPa diperoleh oleh sampel kode C dengan rasio 60%PP:40%SK, hal ini dapat terjadi selain karena rendahnya nilai kerapatan dan daya ikat antar partikel juga disebabkan oleh titik patahnya spesimen pada saat penarikan tidak pada bagian tengah spesimen uji.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa polipropilena daur ulang dan limbah serbuk kayu dengan atau tanpa penambahan asam sitrat menggunakan metode pengempaan (*hot press*) dapat dimanfaatkan menjadi papan komposit. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil karakterisasi yang telah memenuhi standar JIS A 5908-2003. Hasil karakterisasi meliputi pengujian fisik dan mekanik menunjukkan perbedaan pada hasil papan komposit dengan penambahan asam sitrat, penambahan asam sitrat yang disertai dengan meningkatnya rasio limbah serbuk kayu pada sampel mampu meningkatkan nilai densitas/kerapatan papan komposit namun menurunkan nilai kadar air dan pengembangan tebal pada sifat fisik papan komposit. Sedangkan hasil analisis mekanik yang dilakukan dengan pengujian tarik yang meliputi tegangan dan regangan mengalami kenaikan ketika ada penambahan asam sitrat. Jika dilihat dari hasil karakterisasi Sampel kode CS dengan rasio 60%PP:40%SK+10%CA merupakan komposisi terbaik papan komposit dengan penambahan asam sitrat pada penelitian ini. Kualitas papan komposit juga dipengaruhi oleh komposisi atau rasio bahan yang digunakan, suhu, tekanan, dan waktu pada saat pengempaan, sehingga papan komposit dapat diaplikasikan sesuai dengan sifat fisik dan mekanik yang diinginkan.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini, yaitu:

1. Hendaknya penelitian selanjutnya dapat menggunakan variasi ukuran partikelnya (mesh), sehingga hasil sampel akan lebih bervariasi.
2. Diharapkan penelitian selanjutnya melakukan pengujian fisik dan mekanik untuk papan komposit lainnya serta melakukan uji SEM dan

FTIR agar mendapatkan data yang lebih optimal.

3. Hendaknya melakukan pengujian ketebalan papan komposit menggunakan alat uji ketebalan (bukan jangka sorong).

DAFTAR PUSTAKA

- Asyrofi, I. M., Putra, W. T., and Winardi, Y., “*Pengaruh Campuran Plastik Waste LDPE dan PET Bermatrik Resin Polyester Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro*”, Jurnal Sains, Vol. 10, p. 51-58, 2023.
- Pratama, N. A. “*Sintesis Biokomposit Polipropilena Menggunakan Filler Serat Serta Senyawa Penghambat Nyala*”, Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, 2010.
- Badan Pusat Statistik Provinsi DI Yogyakarta, “*Statistik Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta 2022/2023*” Badan Pusat Statistik Provinsi DI Yogyakarta, 2023
- Salman, N., “*Potensi Serbuk Gergaji Sebagai Bahan Pupuk Kompos*”, Jurnal Komposit, Vol. 4, 2020.
- Aini, E. N. and Widyorini, R., “*Pengaruh Jumlah Perekat Asam Sitrat terhadap Sifat Fisika Mekanika Papan Komposit dari Serat Kenaf (Hibiscus cannabinus L.)*”, Makalah disampaikan pada Seminar Nasional XVIII MAPEKI, Fakultas Kehutanan UGM, Bandung, 4-5 November 2015.
- Widyorini, R., Prayitno, T. A., Yudha, A. P., Setiawan. B. A., and Wicaksono, B. H., “*Pengaruh Konsentrasi Asam Sitrat dan Suhu Pengempaan Terhadap Kualitas Papan Partikel dari Pelepah Nipah*”, Jurnal Ilmu Kehutanan, Vol. 1, 2012.
- Fernando, Widyorini, R., Sulistyjo, J., and Santoso, M., “*Pengaruh Penambahan Perekat dan Suhu Kempa terhadap Sifat Papan Komposit dari Serat Sabut Kelapa (Cocos nucifera) dengan Asam Sitrat sebagai Perekat*”, Makalah disampaikan pada Seminar Nasional XVIII MAPEKI, Fakultas Kehutanan UGM, Bandung, 4-5 November 2015.
- Maddah, H. A., “*Polypropylene as a Promising Plastic: A Review*”, American Journal of Polymer Science, Vol. 6, p. 1-11, 2016.
- Zulnazri, “*Perbandingan Ketebalan Serat Terhadap Tensile Strength pada Komposit Plastik Daur Ulang (PET, PP, dan PE) dengan Menggunakan Penguat Fiber Glass*”, Malikussaleh Industrial Engineering Journal, Vol.

- 2, p. 38-42, 2013.
- Zaaba, N. F., Ismail, H., and Jaafar, M., “*Effect of Peanut Shell Powder Content on the Properties of Recycled Polypropylene (RPP)/Peanut Shell Powder (PSP) Composites*”, BioRes, Vol. 8, p. 5826-5841, 2013.
- Jun, B. J. H. and Juwono, A. L., “*Studi Perbandingan Sifat Mekanik Polypropylene Murni dan Daur Ulang*”, Makara Journal of Science, Vol. 14, p. 95-100, 2010.
- Prabowo, S., Chalid, M., and Rusmana, D., “*Perbandingan Sifat Kekerasan dan Penyusutan Produk Berbahan Dasar Polipropilena Murni dan Campuran Hasil Pemanasan Berulang*”, Journal of Technology Engineering, Vol. 5, p. 83-88, 2021.
- Hakim, J., Joharwan, J. W., and Palmiyanto, M. H., “*Pengaruh Beda Temperatur Proses Injeksi terhadap Sifat Mekanis Bahan Polypropylene (PP) Daur Ulang*”, Jurnal Material dan proses Manufaktur, Vol. 4, p. 124-135, 2020.
- Alokabel, K., and Betan, A. D., “*Pengaruh Variasi Serbuk Kayu Terhadap Sifat Mekanis Material Komposit*”, Tapak, Vol. 8, p. 2089-2098.
- Purba, R. E. S. and Lubis, K., “*Pemanfaatan Limbah Serbuk Gergaji Kayu Sebagai Substitusi Campuran Bata Ringan Kedap Suara*”, Buletin Utama Teknik, Vol. 13, p. 98-102, 2018.
- Rahman, K. S., Islam, M. N., Rahman, M. M., Hannan, M. O., Dungani, R., and Khalil, HPS. A., “*Flat-pressed Wood Plastic Composites from Sawdust and Recycled Polyethylene Terephthalate (PET): Physical and Mechanical Properties*”, SpringerPlus, Vol. 2, 2013.
- Olaiya, B. C., Lawan, M. M., and Olonade, K. A., “*Utilization of Sawdust Composites in Construction*”, SN Applied Sciences, Vol. 5, p. 140, 2023.
- Hermita, R., “*Pengolahan Limbah Serbuk Kayu Menjadi Bahan Mebel*”, Jurnal Proporsi, Vol. 2, p. 2615-0247, 2016.
- Nuruddin, M., Santoso, R. A., and Hidayati, R. A., “*Desain Komposisi Bahan Komposit yang Optimal Berbahan Baku Utama Limbah Ampas Serat Tebu (Baggase)*”, Seminar Nasional Teknoka, Vol. 3, p. 2502-8782, 2018.
- Saidah, A., Susilowati, S. E., and Nofendri, Y., “*Pengaruh Fraksi Volume Serat*

- terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Serat Jerami Padi Epoxy dan Serat Jerami Padi Resin Yukalac 157*”, Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ, Vol. 5, p. 96-101, 2018.
- Utama, F. Y. and Zakiyya, H., “*Pengaruh Variasi Arah Serat Komposit Berpenguat Hibrida Fiberhybrid Terhadap Kekuatan Tarik dan Densitas Material Dalam Aplikasi Body Part Mobil*”, Mekanika, Vol. 15, p. 60-69, 2016.
- Yi, X. S., Du, S., and Zhang, L., “*Composite Materials Engineering, Volume 1: Fundamentals of Composite Materials.*” Chemical Industry Press. Beijing. 2018.
- Tjahjanti, P., H., “*Buku Ajar Teori dan Aplikasi Material Komposit dan Polimer*”, UMSIDA Press, Sidoarjo, 2018.
- Callister, W. D and Rethwisch, D. G., “*Materials Science and Engineering an Introduction*”. 2018.
- Zhang, C., “*Understanding the Wear and Tribological Properties of Ceramic Matrix Composites*” In *Advances In Ceramic Matrix Composite*; Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 2014, pp. 312-339.
- Egbo, M., K., “*A Fundamental Review on Composite Materials and Some of their Applications in Biomedical Engineering*”, Journal of King Saud University-Engineering Sciences, Vol. 33, p. 557-568, 2021.
- Nayan, A. and Hafli, T., “*Analisa Struktur Mikro Material Komposit Polimer Berpenguat Serbuk Cangkang Kerang*”, Malikussaleh Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 6, p. 15-24, 2022.
- Yani, M., Suroso, B., and Rajali, “*Mechanical Properties Komposit Limbah Plastik*”, Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, Vol. 2, p. 74-83, 2018.
- Amir, A., L., Ishak, M. R., Yidris, N., Zuhri, M. Y. M., and Asyraf, M. R. M., “*Advances of Composites Cross Arms with Incorporation of Material Core Structures: Manufacturability, Recent Progress and Views*”, Journal of Materials Research and Technology, Vol. 13, p. 1115-1131, 2021.
- Maulana, F., Hisbullah, and Iskandar, “*Pembuatan Papan Komposit Dari Plastik*

- Daur Ulang dan Serbuk Kayu serta Jerami Sebagai Filler*”, Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan, Vol. 8, p. 17-22, 2011.
- Yuningsih, E., Irsan, R., and Jati, D. R., “*Pemanfaatan Daun Pohon Ketapang (Terminalia catappa L.) Dan Limbah Plastik Polypropylene (PP) Sebagai Perekat dengan Penambahan Asam Sitrat Dan Sukrosa Dalam Pembuatan Papan Partikel*” Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, Vol. 11, p. 274-280, 2023.
- Purwaningsih, I., and Kuswiyanto, “*Perbandingan Perendaman Asam Sitrat dan Jeruk Nipis Terhadap Penurunan Kadar Kalsium Oksalat Pada Talas*”, Jurnal Vokasi Kesehatan, Vol. 2, p. 89-93, 2016.
- Anggari, W., “*Pemanfaatan Daun Matoa (Pometia pinnata) Sebagai Adsorben Ion Logam tembaga (Cu) dalam Air Menggunakan Aktivator Asam Sitrat*”, Tugas Akhir, tidak diterbitkan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, 2016.
- Ovelando, R., Nabilla, M. A., and Surest, A. H., “*Fermentasi Buah Markisa (Passiflora) Menjadi Asam Sitrat*”, Jurnal Ilmu Teknik Sriwijaya, Vol. 1, p. 103409, 2013.
- Amalia, I. W., Nurnanda, D., Hendrianie, N., and Darmawan, R., “*Proses Pembuatan Asam Sitrat dari Molasses dengan Metode Submerger Fermentation*”, Jurnal Teknik ITS, Vol. 8, p. 2337-3539, 2019.
- Carolina, A., Sidik A., Maksum, I. P., Rachman, A. D., Safari, A., and Ishmayana, S., “*Fermentasi Biak rendam Molases dengan Aspergillus niger untuk produksi Asam Sitrat*”, Chimica et Natura Acta, Vol. 3, p. 25-29, 2015.
- Hidayah, E., “*Karakteristik Geen Composite berbasis Polylactic Acid (PLA) dan Serat Rami*”, Tesis, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember, 2019.
- Umemura, K., Ueda, T., Munawar, S. S., and Kawai, S., “*Characterization of Wood-based Molding Bonded with Citric Acid*”, J Wood Sci, Vol. 58, p. 38-45, 2011.
- Widyorini, R., Yudha, A. P., Lukmandaru, G., and Prayitno, T. A., “*Sifat Fisika Mekanika dan Ketahanan Papan Partikel Bambu dengan Perekat Asam*

- Sitrat terhadap Serangan Rayap Kayu Kering*”, Jurnal Ilmu Kehutanan, Vol. 9, 2015.
- Suranto, M., and Wahyudi, H., D., “*Komposisi Optimum Asam Sitrat pada Komposit Kayu Randu Ditinjau dari Kuat Lentur*”, Jurnal Teknik Sipil ITP, Vol. 6, 2019.
- JIS A 5908-2003. *Particleboard*. Japanese Industrial Association. Japan.
- ASTM D638. Test Method for Tensile Properties of Plastics, 2000.
- Hibbert, K., Warner, G., Brown, C., Ajide, O., and Owolabi, G., “*The Effect of Build Parameters and Strain Rate on the Mechanical Properties of FDM 3D-Printed Acrylonitrile Butadiene Styrene*”, Open Journal of Organic Polymer Materials, Vol. 9, p. 1-27, 2019.
- Roza, D., Dirhamsyah, M., and Nurhaida, “*Sifat Fisik dan Mekanik Papan Partikel Dari Kayu Sengon (Paraserianthes falcataria. L) dan Serbuk Sabut Kelapa (Cocos Nucifera.L)*”, Jurnal Hutan Lestari, Vol. 3, p. 374-382, 2015.
- Anas, V., P and Mora, “*Analisis Pengaruh Variasi Massa Papan Partikel Berlapis dari Batang Pisang dan Tempurung Kelapa Terhadap Sifat Fisis dan Mekanik Papan Partikel Perekat Resin Epoksi*”, Jurnal Fisika Unand (JFU), Vol. 9, p. 60-66, 2020.
- Asroni and Nurkholis, D., “*Pengaruh Komposisi Resin Poliester terhadap Kekerasan dan Kekuatan tarik Komposit Papan Partikel Onggok Limbah Singkong*”, Jurnal Teknik Mesin, Vol. 5, 2016.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

1. Data mentah hasil pengujian

A. Kerapatan

Diketahui data hasil pengujian densitas/kerapatan, yaitu panjang (cm), lebar (cm), berat (g), dan tebal (cm) sebagai berikut:

| Kode Sampel | Panjang (cm) | Lebar (cm) | Berat (g) | Tebal (cm) |
|-------------|--------------|------------|-----------|------------|
| K | 25,00 | 25,00 | 500 | 1,00 |
| A1 | 24,90 | 24,90 | 485 | 1,20 |
| A2 | 24,90 | 24,90 | 477 | 1,00 |
| A3 | 25,00 | 25,00 | 430 | 1,20 |
| B1 | 24,90 | 24,90 | 467 | 1,20 |
| B2 | 24,90 | 25,00 | 465 | 1,00 |
| B3 | 24,90 | 25,00 | 469 | 1,10 |
| C1 | 25,00 | 25,00 | 471 | 1,40 |
| C2 | 25,00 | 25,00 | 482 | 1,10 |
| C3 | 25,00 | 25,00 | 477 | 1,30 |
| AS | 25,00 | 25,00 | 418 | 1,20 |
| BS | 25,10 | 25,10 | 465 | 1,10 |
| CS | 25,10 | 25,10 | 470 | 1,00 |

B. Kadar Air

Diketahui data pengujian kadar air sebelum dioven, yaitu berat (g), panjang (cm), lebar (cm), dan tebal (cm) sebagai berikut:

| Sampel | Berat (g) | Panjang (cm) | Lebar (cm) | Tebal (cm) |
|--------|-----------|--------------|------------|------------|
| K | 21 | 5,00 | 5,00 | 1,00 |
| A1 | 18 | 4,80 | 4,70 | 1,00 |
| A2 | 21 | 5,00 | 5,00 | 1,05 |
| A3 | 16 | 4,90 | 4,80 | 1,30 |
| B1 | 19 | 4,80 | 4,80 | 1,20 |
| B2 | 18 | 4,80 | 4,70 | 1,00 |
| B3 | 17 | 4,70 | 4,90 | 1,00 |
| C1 | 20 | 4,90 | 4,80 | 1,30 |
| C2 | 20 | 4,90 | 4,80 | 1,05 |
| C3 | 19 | 4,70 | 4,90 | 1,30 |

| | | | | |
|----|----|------|------|------|
| AS | 16 | 5,00 | 4,80 | 1,30 |
| BS | 18 | 4,90 | 4,90 | 1,10 |
| CS | 20 | 5,00 | 4,90 | 1,05 |

Selanjutnya data hasil pengujian kadar air sesudah dioven, yaitu berat (g), panjang (cm), lebar (cm), dan tebal (cm) sebagai berikut:

| Sampel | Berat (g) | Panjang (cm) | Lebar (cm) | Tebal (cm) |
|--------|-----------|--------------|------------|------------|
| K | 21 | 5,00 | 5,00 | 1,00 |
| A1 | 18 | 4,80 | 4,70 | 1,00 |
| A2 | 21 | 5,00 | 5,00 | 1,05 |
| A3 | 16 | 4,90 | 4,80 | 1,30 |
| B1 | 19 | 4,80 | 4,80 | 1,20 |
| B2 | 18 | 4,80 | 4,70 | 1,00 |
| B3 | 17 | 4,70 | 4,90 | 1,00 |
| C1 | 18 | 4,90 | 4,80 | 1,30 |
| C2 | 19 | 4,90 | 4,80 | 1,05 |
| C3 | 19 | 4,70 | 4,90 | 1,30 |
| AS | 16 | 4,90 | 4,80 | 1,30 |
| BS | 18 | 4,90 | 4,90 | 1,10 |
| CS | 20 | 4,90 | 4,90 | 1,05 |

C. Pengembangan Tebal

Diketahui data pengujian pengembangan tebal sebelum direndam, yaitu berat (g), panjang (cm), lebar (cm), dan tebal (cm) sebagai berikut:

| Sampel | Berat (g) | Panjang (cm) | Lebar (cm) | Tebal (cm) |
|--------|-----------|--------------|------------|------------|
| K | 20 | 5,00 | 5,00 | 1,00 |
| A1 | 19 | 4,90 | 4,90 | 1,00 |
| A2 | 18 | 4,80 | 4,90 | 1,20 |
| A3 | 15 | 4,80 | 4,80 | 1,30 |
| B1 | 17 | 4,90 | 4,80 | 1,20 |
| B2 | 17 | 4,80 | 4,90 | 1,05 |
| B3 | 19 | 5,00 | 5,00 | 1,00 |
| C1 | 20 | 5,00 | 5,00 | 1,05 |
| C2 | 18 | 4,80 | 4,90 | 1,10 |
| C3 | 16 | 4,90 | 4,90 | 1,30 |
| AS | 19 | 5,00 | 5,00 | 1,30 |
| BS | 17 | 4,90 | 4,80 | 1,10 |
| CS | 18 | 5,00 | 5,00 | 1,05 |

Selanjutnya data hasil pengujian pengembangan tebal setelah direndam, yaitu berat (g), panjang (cm), lebar (cm), dan tebal (cm) sebagai berikut:

| Sampel | Berat (g) | Panjang (cm) | Lebar (cm) | Tebal (cm) |
|---------------|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| K | 20 | 5,00 | 5,00 | 1,00 |
| A1 | 21 | 4,80 | 4,90 | 1,00 |
| A2 | 20 | 4,80 | 4,90 | 1,30 |
| A3 | 16 | 4,80 | 4,80 | 1,30 |
| B1 | 24 | 4,90 | 4,80 | 1,20 |
| B2 | 23 | 4,90 | 4,90 | 1,10 |
| B3 | 23 | 5,00 | 5,00 | 1,05 |
| C1 | 24 | 5,00 | 5,00 | 1,08 |
| C2 | 23 | 4,80 | 4,90 | 1,10 |
| C3 | 27 | 5,00 | 4,90 | 1,40 |
| AS | 21 | 5,00 | 5,00 | 1,30 |
| BS | 20 | 4,90 | 4,80 | 1,10 |
| CS | 24 | 5,00 | 5,00 | 1,05 |

D. Tarik

Diketahui data hasil pengujian tarik pada masing-masing sampel dapat dilihat pada tabel berikut ini.

| Variasi Spesimen | Tebal (mm) | Lebar (mm) | Pmax (KN) | ΔL (mm) | A₀ (mm) | Tegangan (MPa) | Regangan (%) |
|-------------------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| K | 9,49 | 13,63 | 0,79 | 1,15 | 50 | 6,11 | 2,30 |
| A1 | 11,57 | 12,28 | 0,63 | 1,10 | 50 | 4,43 | 2,20 |
| A2 | 12,77 | 10,95 | 0,50 | 1,00 | 50 | 3,58 | 2,00 |
| A3 | 13,98 | 11,59 | 0,55 | 2,00 | 50 | 3,39 | 4,00 |
| B1 | 9,60 | 13,34 | 0,75 | 1,00 | 50 | 5,86 | 2,00 |
| B2 | 10,22 | 10,81 | 0,41 | 1,00 | 50 | 3,71 | 2,00 |
| B3 | 13,06 | 12,6 | 0,68 | 1,50 | 50 | 4,13 | 3,00 |
| C1 | 13,46 | 12,43 | 0,43 | 2,00 | 50 | 2,57 | 4,00 |
| C2 | 10,48 | 11,86 | 0,36 | 0,80 | 50 | 2,90 | 1,60 |
| C3 | 12,95 | 10,92 | 0,15 | 1,00 | 50 | 1,06 | 2,00 |
| AS | 10,69 | 11,03 | 0,58 | 2,50 | 50 | 4,92 | 5,00 |
| BS | 10,61 | 11,25 | 0,64 | 1,50 | 50 | 5,36 | 3,00 |
| CS | 10,04 | 10,52 | 0,62 | 1,50 | 50 | 5,87 | 3,00 |

2. Perhitungan dan pengolahan data

A. Perhitungan Densitas/Kerapatan

- 1) Menghitung Volume (cm^3)

$$\text{Volume} = \text{Panjang (cm)} \times \text{Lebar (cm)} \times \text{Tebal(cm)}$$

$$\text{Volume K} = 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} = 625,00 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume A1} = 24,9 \text{ cm} \times 24,9 \text{ cm} \times 1,2 \text{ cm} = 744,01 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume A2} = 24,9 \text{ cm} \times 24,9 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} = 620,01 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume A3} = 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 1,2 \text{ cm} = 750,00 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume B1} = 24,9 \text{ cm} \times 24,9 \text{ cm} \times 1,2 \text{ cm} = 744,01 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume B2} = 24,9 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} = 622,50 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume B3} = 24,9 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 1,1 \text{ cm} = 684,75 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume C1} = 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 1,4 \text{ cm} = 875,00 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume C2} = 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 1,1 \text{ cm} = 687,50 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume C3} = 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 1,3 \text{ cm} = 812,50 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume AS} = 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 1,2 \text{ cm} = 750,00 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume BS} = 25,1 \text{ cm} \times 25,1 \text{ cm} \times 1,1 \text{ cm} = 693,01 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume CS} = 25,1 \text{ cm} \times 25,1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} = 630,01 \text{ cm}^3$$

- 2) Menghitung Densitas/kerapatan (g/cm^3)

$$\rho = \text{massa (g)} / \text{volume (cm}^3)$$

$$\rho K = 500 \text{ g} / 625,00 \text{ cm}^3 = 0,80 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho A1 = 485 \text{ g} / 744,01 \text{ cm}^3 = 0,65 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho A2 = 477,3 \text{ g} / 620,01 \text{ cm}^3 = 0,77 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho A3 = 430 \text{ g} / 750,00 \text{ cm}^3 = 0,57 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho B1 = 467 \text{ g} / 744,01 \text{ cm}^3 = 0,63 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho B2 = 465 \text{ g} / 622,50 \text{ cm}^3 = 0,75 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho B3 = 469 \text{ g} / 684,75 \text{ cm}^3 = 0,68 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{C1} = 471 \text{ g}/875,00 \text{ cm}^3 = 0,54 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{C2} = 482 \text{ g}/687,50 \text{ cm}^3 = 0,70 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{C3} = 477 \text{ g}/812,50 \text{ cm}^3 = 0,59 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{AS} = 418 \text{ g}/750,00 \text{ cm}^3 = 0,56 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{BS} = 465 \text{ g}/693,01 \text{ cm}^3 = 0,67 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{CS} = 470 \text{ g}/630,01 \text{ cm}^3 = 0,75 \text{ g/cm}^3$$

3) Menghitung rata-rata Densitas/kerapatan pada masing-masing sampel dengan 3 kali pengulangan

$$\bar{x} A = \frac{(\rho_{A1} + \rho_{A2} + \rho_{A3}) \text{ g/cm}^3}{3}$$

$$\bar{x} A = \frac{(\rho_{A1} + \rho_{A2} + \rho_{A3}) \text{ g/cm}^3}{3} = \frac{(0,65 + 0,77 + 0,57) \text{ g/cm}^3}{3} = 0,67 \text{ g/cm}^3$$

$$\bar{x} B = \frac{(\rho_{B1} + \rho_{B2} + \rho_{B3}) \text{ g/cm}^3}{3} = \frac{(0,63 + 0,75 + 0,68) \text{ g/cm}^3}{3} = 0,69 \text{ g/cm}^3$$

$$\bar{x} C = \frac{(\rho_{C1} + \rho_{C2} + \rho_{C3}) \text{ g/cm}^3}{3} = \frac{(0,54 + 0,70 + 0,59) \text{ g/cm}^3}{3} = 0,61 \text{ g/cm}^3$$

B. Perhitungan Kadar Air

1) Menghitung Kadar Air (%)

$$KA = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\%$$

Keterangan:

KA : Kadar air sampel uji (%)

m_1 : Massa sampel uji sebelum dioven (g)

m_2 : Massa sampel uji sesudah dioven (g)

$$KA K = \frac{21 - 21}{21} \times 100\% = 0,00\%$$

$$KA A1 = \frac{18 - 18}{18} \times 100\% = 0,00\%$$

$$KA A2 = \frac{21 - 21}{21} \times 100\% = 0,00\%$$

$$KA A3 = \frac{16 - 16}{16} \times 100\% = 0,00\%$$

$$KA B1 = \frac{19-19}{19} \times 100\% = 0,00\%$$

$$KA B2 = \frac{18-18}{18} \times 100\% = 0,00\%$$

$$KA B3 = \frac{17-17}{17} \times 100\% = 0,00\%$$

$$KA C1 = \frac{20-18}{18} \times 100\% = 11,11\%$$

$$KA C2 = \frac{20-19}{19} \times 100\% = 5,26\%$$

$$KA C3 = \frac{19-19}{19} \times 100\% = 0,00\%$$

$$KA AS = \frac{16-16}{16} \times 100\% = 0,00\%$$

$$KA BS = \frac{18-18}{18} \times 100\% = 0,00\%$$

$$KA CS = \frac{20-20}{20} \times 100\% = 0,00\%$$

- 2) Menghitung rata-rata kadar air pada masing-masing sampel dengan 3 kali pengulangan

$$\bar{x} KA A = \frac{(KA A1 + KA A2 + KA A3)\%}{3}$$

$$\bar{x} KA A = \frac{(KA A1+KA A2+KA A3)\%}{3} = \frac{(0,00+0,00+0,00)\%}{3} = 0,00\%$$

$$\bar{x} KA B = \frac{(KA B1+KA B2+KA B3)\%}{3} = \frac{(0,00+0,00+0,00)\%}{3} = 0,00\%$$

$$\bar{x} KA C = \frac{(KA C1+KA C2+KA C3)\%}{3} = \frac{(11,11+5,26+0,00)\%}{3} = 5,46\%$$

C. Perhitungan Pengembangan Tebal

- 1) Menghitung Pengembangan Tebal (%)

$$PT = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100\%$$

Keterangan:

PT : Pengembangan Tebal (%)

t_1 : Tebal sampel uji sebelum perendaman (cm)

t_2 : Tebal sampel uji sesudah perendaman (cm)

$$PT K = \frac{1-1}{1} \times 100\% = 0,00\%$$

$$PT A1 = \frac{1-1}{1} \times 100\% = 0,00\%$$

$$PT A2 = \frac{1,3-1,2}{1,2} \times 100\% = 8,33\%$$

$$PT A3 = \frac{1,3-1,3}{1,3} \times 100\% = 0,00\%$$

$$PT B1 = \frac{1,2-1,2}{1,2} \times 100\% = 0,00\%$$

$$PT B2 = \frac{1,1-1,05}{1,05} \times 100\% = 4,76\%$$

$$PT B3 = \frac{1,05-1}{1} \times 100\% = 5,00\%$$

$$PT C1 = \frac{1,08-1,05}{1,05} \times 100\% = 2,86\%$$

$$PT C2 = \frac{1,1-1,1}{1,1} \times 100\% = 0,00\%$$

$$PT C3 = \frac{1,4-1,3}{1,3} \times 100\% = 7,69\%$$

$$PT AS = \frac{1,3-1,3}{1,3} \times 100\% = 0,00\%$$

$$PT BS = \frac{1,1-1,1}{1,1} \times 100\% = 0,00\%$$

$$PT CS = \frac{1,05-1,05}{1,05} \times 100\% = 0,00\%$$

2) Menghitung rata-rata kadar air pada masing-masing sampel dengan 3 kali pengulangan

$$\bar{x} PT A = \frac{(PT A1 + PT A2 + PT A3)\%}{3}$$

$$\bar{x} PT A = \frac{(PT A1+PT A2+PT A3)\%}{3} = \frac{(0,00+8,33+0,00)\%}{3} = 2,78\%$$

$$\bar{x} PT B = \frac{(PT B1+PT B2+PT B3)\%}{3} = \frac{(0,00+4,76+5,00)\%}{3} = 3,25\%$$

$$\bar{x} PT C = \frac{(PT C1+PT C2+PT C3)\%}{3} = \frac{(2,86+0,00+7,69)\%}{3} = 3,52\%$$

D. Perhitungan Tarik

1) Menghitung Tegangan (MPa)

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Keterangan :

σ = Tegangan (MPa)

F = Beban maksimum (N)

A_0 = Luas penampang (mm^2)

$$\sigma K = \frac{0,79 \times 1000}{9,49 \times 13,63} = 6,11 \text{ MPa}$$

$$\sigma A1 = \frac{0,63 \times 1000}{11,57 \times 12,28} = 4,43 \text{ MPa}$$

$$\sigma A2 = \frac{0,50 \times 1000}{12,77 \times 10,95} = 3,58 \text{ MPa}$$

$$\sigma A3 = \frac{0,55 \times 1000}{13,98 \times 11,59} = 3,39 \text{ MPa}$$

$$\sigma B1 = \frac{0,75 \times 1000}{9,6 \times 13,34} = 5,86 \text{ MPa}$$

$$\sigma B2 = \frac{0,41 \times 1000}{10,22 \times 10,81} = 3,71 \text{ MPa}$$

$$\sigma B3 = \frac{0,68 \times 1000}{13,06 \times 12,6} = 4,13 \text{ MPa}$$

$$\sigma C1 = \frac{0,43 \times 1000}{13,46 \times 12,43} = 2,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma C2 = \frac{0,36 \times 1000}{10,48 \times 11,86} = 2,90 \text{ MPa}$$

$$\sigma C3 = \frac{0,15 \times 1000}{12,95 \times 10,92} = 1,06 \text{ MPa}$$

$$\sigma AS = \frac{0,58 \times 1000}{10,69 \times 11,03} = 4,92 \text{ MPa}$$

$$\sigma BS = \frac{0,64 \times 1000}{10,61 \times 11,25} = 5,36 \text{ MPa}$$

$$\sigma CS = \frac{0,62 \times 1000}{10,04 \times 10,52} = 5,87 \text{ MPa}$$

2) Menghitung rata-rata tegangan pada masing-masing sampel dengan 3 kali pengulangan

$$\bar{\sigma}_A = \frac{(\sigma_{A1} + \sigma_{A2} + \sigma_{A3})MPa}{3}$$

$$\bar{\sigma}_A = \frac{(\sigma_{A1} + \sigma_{A2} + \sigma_{A3})MPa}{3} = \frac{(4,43 + 3,58 + 3,39)MPa}{3} = 3,80 MPa$$

$$\bar{\sigma}_B = \frac{(\sigma_{B1} + \sigma_{B2} + \sigma_{B3})MPa}{3} = \frac{(5,86 + 3,71 + 4,13)MPa}{3} = 4,57 MPa$$

$$\bar{\sigma}_C = \frac{(\sigma_{C1} + \sigma_{C2} + \sigma_{C3})MPa}{3} = \frac{(2,57 + 2,90 + 1,06)MPa}{3} = 2,18 MPa$$

3) Menghitung Regangan (%)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

Keterangan :

ε = Regangan (%)

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

A_0 = Panjang awal (mm)

$$\varepsilon_K = \frac{1,15}{50} \times 100\% = 2,30\%$$

$$\varepsilon_{A1} = \frac{1,10}{50} \times 100\% = 2,20\%$$

$$\varepsilon_{A2} = \frac{1,00}{50} \times 100\% = 2,00\%$$

$$\varepsilon_{A3} = \frac{2,00}{50} \times 100\% = 4,00\%$$

$$\varepsilon_{B1} = \frac{1,00}{50} \times 100\% = 2,00\%$$

$$\varepsilon_{B2} = \frac{1,00}{50} \times 100\% = 2,00\%$$

$$\varepsilon_{B3} = \frac{1,50}{50} \times 100\% = 3,00\%$$

$$\varepsilon_{C1} = \frac{2,00}{50} \times 100\% = 4,00\%$$

$$\varepsilon_{C2} = \frac{0,80}{50} \times 100\% = 1,60\%$$

$$\varepsilon_{C3} = \frac{1,00}{50} \times 100\% = 2,00\%$$

$$\varepsilon_{AS} = \frac{2,50}{50} \times 100\% = 5,00\%$$

$$\varepsilon_{BS} = \frac{1,50}{50} \times 100\% = 3,00\%$$

$$\varepsilon_{CS} = \frac{1,50}{50} \times 100\% = 3,00\%$$

- 4) Menghitung rata-rata regangan pada masing-masing sampel dengan 3 kali pengulangan

$$\bar{x} \varepsilon A = \frac{(\varepsilon A1 + \varepsilon A2 + \varepsilon A3)\%}{3}$$

$$\bar{x} \varepsilon A = \frac{(\varepsilon A1 + \varepsilon A2 + \varepsilon A3)\%}{3} = \frac{(2,20 + 2,00 + 4,00)\%}{3} = 2,73 \%$$

$$\bar{x} \varepsilon B = \frac{(\varepsilon B1 + \varepsilon B2 + \varepsilon B3)\%}{3} = \frac{(2,00 + 2,00 + 3,00)\%}{3} = 2,33 \%$$

$$\bar{x} \varepsilon C = \frac{(\varepsilon C1 + \varepsilon C2 + \varepsilon C3)\%}{3} = \frac{(4,00 + 1,60 + 2,00)\%}{3} = 2,53 \%$$

3. Lembar Standar Pengujian

A. JIS A 5908-2003

JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD

☞ JIS A 5908 : 2003

Particleboards

1 Scope This Japanese Industrial Standard specifies the boards which are formed mainly from wood particles⁽¹⁾ by hot pressing with adhesives (hereafter referred to as "particleboard").

Note ⁽¹⁾ The wood particles include chip, flake, wafer, strand, etc.

10
A 5908 : 2003

Table 14 Dimensions and number of test pieces

| Test item | Dimensions of test piece mm | The number of test pieces to be sampled from one board |
|---|--|--|
| Density test | 100 × 100 | 1 |
| Moisture content test | 100 × 100 | 1 |
| Bending strength test | Width 50 × length [span ⁽¹⁰⁾ + 50] | Lengthwise 1, widthwise 1 |
| Bending strength test under wet conditions | Width 50 × length [span ⁽¹⁰⁾ + 50] | Lengthwise 1, widthwise 1 |
| Test of swelling in thickness after immersion in water | 50 × 50 | 1 |
| Internal bond test | 50 × 50 | 1 |
| Test of wood screw holding power | 50 × 100 | 1 |
| Formaldehyde emission test | 50 × 150 | Two sets of the number where the total surface area of the test piece including the butt ends is close to 1 800 cm ² (the fraction of 5 and over shall be counted as a unit and the rest be disregarded) shall be used. |
| In-plane tensile strength test | 50 × 50 | 1 |
| Impact resistance test | 300 × 300 | 1 |
| Acid resistance test | 100 × 100 | 1 |
| Alkali resistance test | 100 × 100 | 1 |
| Stain resistance test | 100 × 100 | 1 |
| Change-in-colour resistance test | 150 × 150 | 1 ⁽¹¹⁾ |
| Scratch resistance test | 50 × 50 | 1 |
| Thermal insulation test | 900 × 900 | 1 |
| Incombustibility test | 220 × 220 | 1 |

Notes ⁽¹⁰⁾ The span shall be 15 times the nominal thickness, and 150 mm or over at the same time.

⁽¹¹⁾ 3 test pieces shall be prepared for the pattern board.

B. ASTM D638



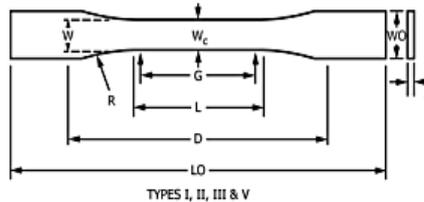
Designation: D638 – 10

Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics¹

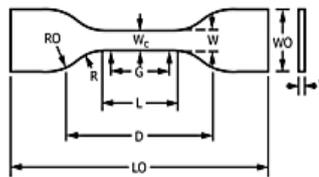
This standard is issued under the fixed designation D638; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

ASTM D638 – 10



TYPES I, II, III & V



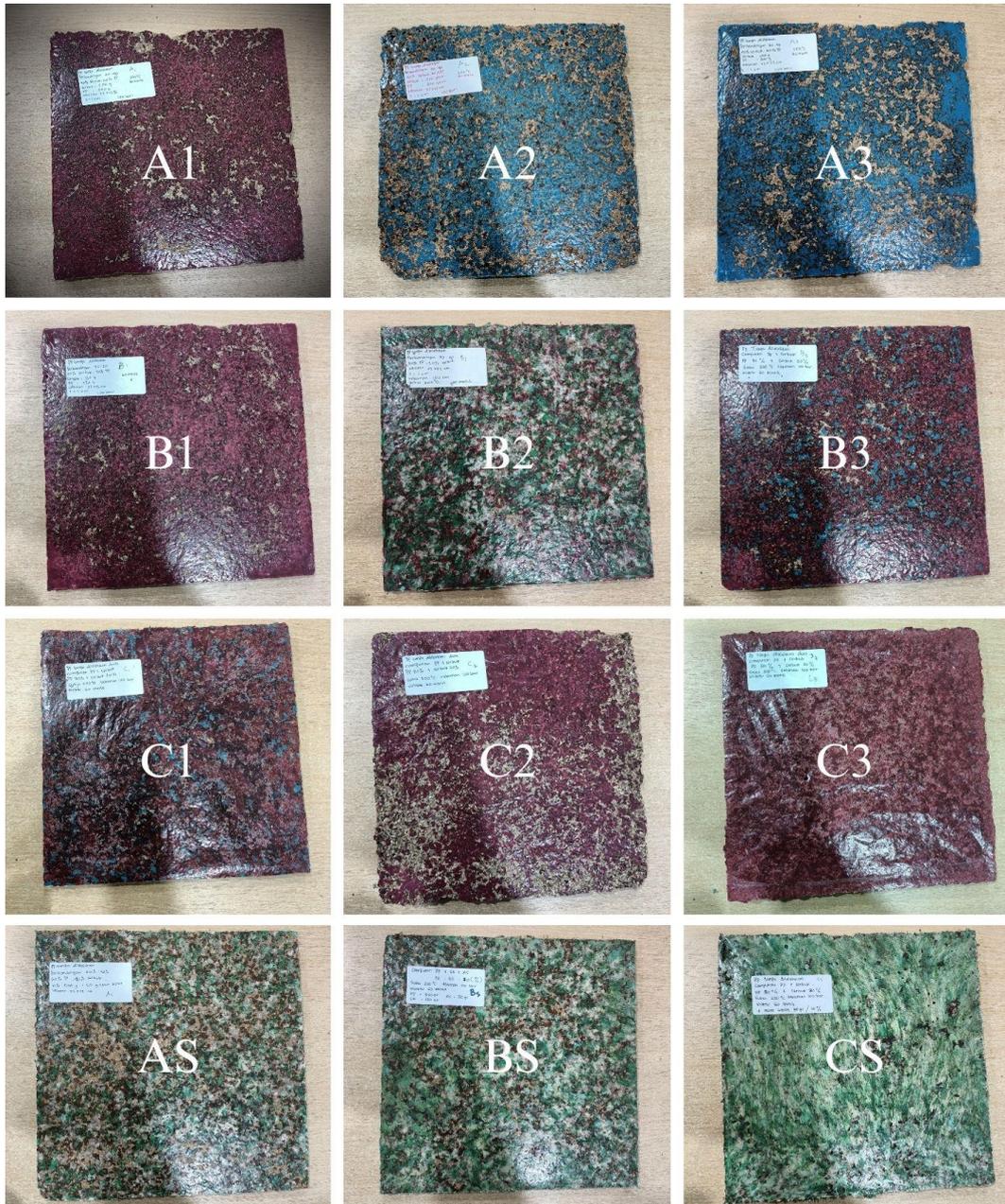
TYPE IV

Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.)⁴

| Dimensions (see drawings) | 7 (0.28) or under | | Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl | | 4 (0.16) or under | | Tolerances |
|---|-------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|---|------------|
| | Type I | Type II | Type III | Type IV ^a | Type V ^{c,d} | | |
| W —Width of narrow section ^{e,f} | 13 (0.50) | 6 (0.25) | 19 (0.75) | 6 (0.25) | 3.18 (0.125) | ± 0.5 (± 0.02) ^{b,c} | |
| L —Length of narrow section | 57 (2.25) | 57 (2.25) | 57 (2.25) | 33 (1.30) | 9.53 (0.375) | ± 0.5 (± 0.02) ^c | |
| WO —Width overall, min ^g | 19 (0.75) | 19 (0.75) | 29 (1.13) | 19 (0.75) | ... | + 6.4 (+ 0.25) | |
| WO —Width overall, min ^g | ... | ... | ... | ... | 9.53 (0.375) | + 3.18 (+ 0.125) | |
| LO —Length overall, min ^h | 165 (6.5) | 183 (7.2) | 246 (9.7) | 115 (4.5) | 63.5 (2.5) | no max (no max) | |
| G —Gage length ⁱ | 50 (2.00) | 50 (2.00) | 50 (2.00) | ... | 7.62 (0.300) | ± 0.25 (± 0.010) ^c | |
| G —Gage length ⁱ | ... | ... | ... | 25 (1.00) | ... | ± 0.13 (± 0.005) | |
| D —Distance between grips | 115 (4.5) | 135 (5.3) | 115 (4.5) | 65 (2.5) ^j | 25.4 (1.0) | ± 5 (± 0.2) | |
| R —Radius of fillet | 76 (3.00) | 76 (3.00) | 76 (3.00) | 14 (0.56) | 12.7 (0.5) | ± 1 (± 0.04) ^c | |
| RO —Outer radius (Type IV) | ... | ... | ... | 25 (1.00) | ... | ± 1 (± 0.04) | |

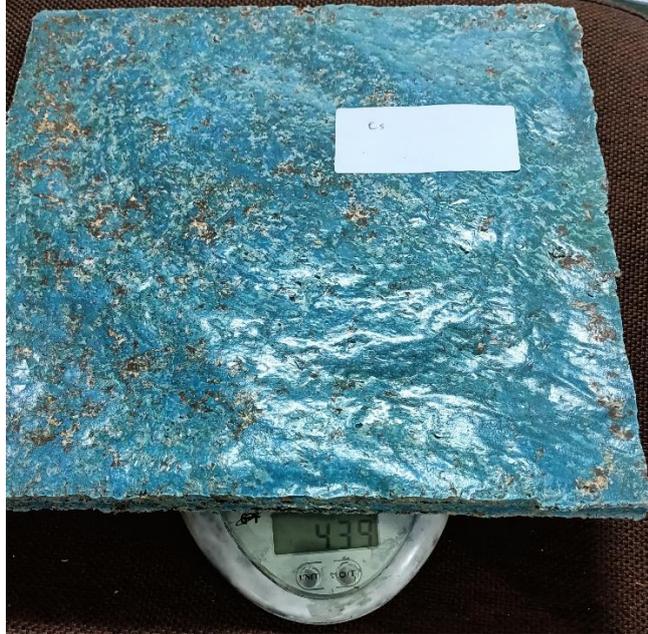
4. Dokumentasi Penelitian

A. Sampel hasil percobaan



B. Pengujian sampel

a. Kerapatan



b. Kadar air



c. Pengembangan tebal



d. Tarik



5. Kartu Konsultasi Bimbingan Tugas Akhir Mahasiswa 1

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Dwi Wulan Septyani
NIM : 20526022
Semester/Tahun Akademik : VII/2023/2024
Bentuk TA : Penelitian
Judul Tugas Akhir : Komposit dari Polipropilena Daur Ulang dan Limbah Serbuk Kayu dengan Modifikasi Ikatan Silang Asam Sitrat sebagai Pembanding

| No. | Tanggal | Konsultasi | Paraf dosen |
|-----|------------|---|-------------|
| 1. | 28-09-2023 | Konsultasi judul Tugas Akhir | (Pa) |
| 2. | 03-10-2023 | Konsultasi proposal Tugas Akhir | (Pa) |
| 3. | 06-10-2023 | Konsultasi proposal Tugas Akhir | (Pa) |
| 4. | 11-10-2023 | Konsultasi proposal Tugas Akhir | (Pa) |
| 5. | 3-11-2023 | Konsultasi Tugas Akhir Bab 1-4 | (Pa) |
| 6. | 10-11-2023 | Presentasi kemajuan TA dan Konsultasi Bab 4 | (Pa) |
| 7. | 09-12-2023 | Konsultasi artikel | (Pa) |
| 8. | 14-12-2023 | Konsultasi Tugas Akhir Bab 4 | (Pa) |
| 9. | 15-01-2024 | Konsultasi Tugas Akhir final (ACC) | (Pa) |
| 10. | 17-01-2024 | Konsultasi artikel | (Pa) |
| | | | |
| | | | |

Yogyakarta, 17/01/24

Pembimbing I,



Dr. Eng. Rina Afiani Rebia S.Hut, M.Eng

6. Kartu Konsultasi Bimbingan Tugas Akhir Mahasiswa 2

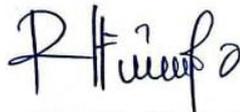
KARTU KONSULTASI BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Syifa Ainul Isla
NIM : 20526029
Semester/Tahun Akademik : VII/2023/2024
Bentuk TA : Penelitian
Judul Tugas Akhir : Komposit dari Polipropilena Daur Ulang dan Limbah Serbuk Kayu dengan Modifikasi Ikatan Silang Asam Sitrat sebagai Pembanding

| No. | Tanggal | Konsultasi | Paraf dosen |
|-----|------------|---|---|
| 1. | 28-09-2023 | Konsultasi judul Tugas Akhir |  |
| 2. | 03-10-2023 | Konsultasi proposal Tugas Akhir |  |
| 3. | 06-10-2023 | Konsultasi proposal Tugas Akhir |  |
| 4. | 11-10-2023 | Konsultasi proposal Tugas Akhir |  |
| 5. | 3-11-2023 | Konsultasi Tugas Akhir Bab 1-4 |  |
| 6. | 10-11-2023 | Presentasi kemajuan TA dan konsultasi Bab 4 |  |
| 7. | 09-12-2023 | Konsultasi artikel |  |
| 8. | 14-12-2023 | Konsultasi Tugas Akhir Bab 4 |  |
| 9. | 15-01-2024 | Konsultasi Tugas Akhir Final (ACC) |  |
| 10. | 17-01-2024 | konsultasi artikel |  |
| | | | |
| | | | |

Yogyakarta, 17/01/24

Pembimbing I,



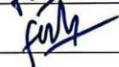
Dr. Eng. Rina Afiani Rebia S.Hut, M.Eng

7. Kartu Konsultasi Revisi Tugas Akhir Mahasiswa 1

KARTU KONSULTASI REVISI TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Dwi Wulan Septyani
 NIM : 20526022
 Semester, Tahun Akademik : 7/2023/2024
 Bentuk TA : Penelitian
 Mulai Masa Revisi TA : 31 Januari 2024
 Selesai Masa Revisi TA : 16 Februari 2024
 Judul TA : Komposit dari Polipropilena daur Ulang dan Limbah Serbuk Kayu dengan Ikatan Silang Asam Sitrat Sebagai Pemanding

Nama Dosen Penguji I : Febrianti Nurul Hidayah, S.T., B.Sc., M.Sc.
 Nama Dosen Penguji II : Ahmad Satria Budiman, S.T., M.Sc.

| No. | Tanggal | Deskripsi Revisi | Paraf Dosen |
|-----|-----------------|--|---|
| 1. | 2 Februari 2024 | Perbaiki penulisan abstrak |  |
| 2. | 2 Februari 2024 | Perbaiki rumusan masalah |  |
| 3. | 2 Februari 2024 | Saran: penambahan sumber dokumentasi pada gambar |  |
| 4. | 2 Februari 2024 | Perbaiki penulisan pada istilah asing dan penulisan polipropilena pada tengah kalimat |  |
| 5. | 2 Februari 2024 | Perbaiki penulisan sitasi |  |
| 6. | 2 Februari 2024 | Perbaiki penulisan angka dibelakang koma pada tabel |  |
| 7. | 2 Februari 2024 | Perbaiki bab 2 (landasan teori, tinjauan pustaka, dan hipotesis) |  |
| 8. | 7 Februari 2024 | Perbaiki penulisan tanggal kata pengantar, intisari, sitasi, singkatan, dan bahasa asing |  |
| 9. | 7 Februari 2024 | Perbaiki latar belakang, rumusan masalah dan kesimpulan |  |
| 10. | 7 Februari 2024 | Saran: menambahkan penjelasan singkat mengenai polipropilena murni, daur ulang dan daur ulang komersil pada tinjauan pustaka |  |
| 11. | 7 Februari 2024 | Perbaiki penulisan istilah asing |  |
| 12. | 7 Februari 2024 | Saran: menambahkan penjelasan mengenai jenis serbuk kayu yang digunakan |  |

| | | | |
|-----|-----------------|--|---|
| 13. | 7 Februari 2024 | Perbaiki penulisan kata “akan” di bab 3 |  |
| 14. | 7 Februari 2024 | Perbaiki penulisan rumus kerapatan/densitas |  |
| 15. | 7 Februari 2024 | Saran: penambahan penjelasan mengenai alasan perbedaan kodevikasi sampel |  |
| 16. | 7 Februari 2024 | Saran: penjelasan mengenai grafik hasil pengujian densitas dan tarik yang fluktuatif pada sampel A,B,C |  |
| 17. | 7 Februari 2024 | Saran: penambahan lampiran mengenai standar pengujian |  |

Yogyakarta, 15 - 2 - 2024

Dosen Pembimbing,



Dr. Eng. Rina Afiani Rebia, S.Hut., M.Eng.

8. Kartu Konsultasi Revisi Tugas Akhir Mahasiswa 2

KARTU KONSULTASI REVISI TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Syifa Ainul Isla
 NIM : 20526029
 Semester, Tahun Akademik : 7/2023/2024
 Bentuk TA : Penelitian
 Mulai Masa Revisi TA : 31 Januari 2024
 Selesai Masa Revisi TA : 16 Februari 2024
 Judul TA : Komposit dari Polipropilena daur Ulang dan Limbah Serbuk Kayu dengan Ikatan Silang Asam Sitrat Sebagai Pemanding

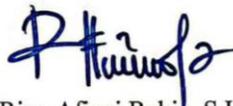
Nama Dosen Penguji I : Febrianti Nurul Hidayah, S.T., B.Sc., M.Sc.
 Nama Dosen Penguji II : Ahmad Satria Budiman, S.T., M.Sc.

| No. | Tanggal | Deskripsi Revisi | Paraf Dosen |
|-----|-----------------|--|---|
| 1. | 2 Februari 2024 | Perbaiki penulisan abstrak |  |
| 2. | 2 Februari 2024 | Perbaiki rumusan masalah |  |
| 3. | 2 Februari 2024 | Saran: penambahan sumber dokumentasi pada gambar |  |
| 4. | 2 Februari 2024 | Perbaiki penulisan pada istilah asing dan penulisan polipropilena pada tengah kalimat |  |
| 5. | 2 Februari 2024 | Perbaiki penulisan sitasi |  |
| 6. | 2 Februari 2024 | Perbaiki penulisan angka dibelakang koma pada tabel |  |
| 7. | 2 Februari 2024 | Perbaiki bab 2 (landasan teori, tinjauan pustaka, dan hipotesis) |  |
| 8. | 7 Februari 2024 | Perbaiki penulisan tanggal kata pengantar, intisari, sitasi, singkatan, dan bahasa asing |  |
| 9. | 7 Februari 2024 | Perbaiki latar belakang, rumusan masalah dan kesimpulan |  |
| 10. | 7 Februari 2024 | Saran: menambahkan penjelasan singkat mengenai polipropilena murni, daur ulang dan daur ulang komersil pada tinjauan pustaka |  |
| 11. | 7 Februari 2024 | Perbaiki penulisan istilah asing |  |
| 12. | 7 Februari 2024 | Saran: menambahkan penjelasan mengenai jenis serbuk kayu yang digunakan |  |

| | | | |
|-----|-----------------|--|---|
| 13. | 7 Februari 2024 | Perbaiki penulisan kata “akan” di bab 3 |  |
| 14. | 7 Februari 2024 | Perbaiki penulisan rumus kerapatan/densitas |  |
| 15. | 7 Februari 2024 | Saran: penambahan penjelasan mengenai alasan perbedaan kodevikasi sampel |  |
| 16. | 7 Februari 2024 | Saran: penjelasan mengenai grafik hasil pengujian densitas dan tarik yang fluktuatif pada sampel A,B,C |  |
| 17. | 7 Februari 2024 | Saran: penambahan lampiran mengenai standar pengujian |  |

Yogyakarta, 15 - 2 - 2024

Dosen Pembimbing,



Dr. Eng. Rina Afiani Rebia, S.Hut., M.Eng.

9. Surat Keterangan Bebas Laboratorium



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

SURAT KETERANGAN BEBAS LABORATORIUM PRODI REKAYASA TEKSTIL FTI UII

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Yang bertanda tangan di bawah ini, Kepala Laboratorium di lingkungan Prodi Rekayasa Tekstil Fakultas Teknologi Industri UII menerangkan:

1. Nama : Dwi Wulan Septyani
NIM : 20526022
2. Nama : Syifa Ainul Isla
NIM : 20526029

Bahwa mahasiswa tersebut di atas tidak mempunyai pinjaman atau tanggungan terhadap bahan baku atau peralatan laboratorium di lingkungan Prodi Rekayasa Tekstil FTI-UII.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Menyetujui:

| No | Laboratorium | Nama | TTD | Tanggal |
|----|---|--|-----|----------|
| 1 | Manufaktur dan Pengujian Tekstil | Ahmad Satria Budiman S.T, M.Sc | | 17/01/24 |
| 2 | Desain Produk Tekstil | Febrianti Nurul Hidayah S.T, B.Sc, M.Sc | | 23/01/24 |
| 3 | Proses Kimia Tekstil dan Teknologi Nano | Dr. Eng. Rina Afiani Rebia S.Hut, M.Eng | | 17/1/24 |
| 4 | Tekstil Fungsional | Dr. Eng. Rina Afiani Rebia S.Hut, M.Eng | | 17/1/24 |

10. Daftar Hadir Seminar Kemajuan Mahasiswa 1

DAFTAR HADIR SEMINAR LAPORAN KEMAJUAN TUGAS AKHIR
SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2023/2024
PROGRAM STUDI REKAYASA TEKSTIL FTI UII

Hari, Tanggal : 10 November 2023
Tempat : Ruang 04.04 Gedung FTI
Waktu : 09.00 - 10.25

| No. | NIM | Nama | Tanda Tangan |
|-----|----------|--------------------|---|
| 1. | 20526020 | SYIFA AINUL ISLA |  |
| 2. | 20526018 | Almuad Afgunn |  |
| 3. | 20526011 | Hani Susanto |  |
| 4. | 20526025 | Hakiki Justitia s. |  |
| 5. | 20526028 | Andi Tasyrah Asbar |  |
| 6. | 20526036 | Dean Akbarocta |  |
| 7. | 20526034 | Ishak Amrunah |  |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Dosen Pembimbing,



(Dr.Eng. Rina Afiani Rebia, S.Hut, M.Eng)

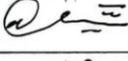
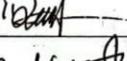
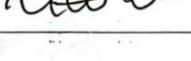
11. Daftar Hadir Seminar Kemajuan Mahasiswa 2

DAFTAR HADIR SEMINAR LAPORAN KEMAJUAN TUGAS AKHIR
SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2023/2024
PROGRAM STUDI REKAYASA TEKSTIL FTI UII

Hari, Tanggal : 10 November 2023

Tempat : Ruang 04.04 Gedung FTI

Waktu : 09.00 - 10.25

| No. | NIM | Nama | Tanda Tangan |
|-----|----------|--------------------|---|
| 1. | 20526022 | Dwi Wulan Septyani |  |
| 2. | 20526011 | Hari Sutanto |  |
| 3. | 20526018 | Alimud Aqin |  |
| 4. | 20526025 | Hakiki Justitia K |  |
| 5. | 20526028 | Aidi Tasyrah Asbar |  |
| 6. | 20526036 | Doan Akbarocta |  |
| 7. | 20526034 | Vikhae Amrullah |  |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Dosen Pembimbing,



(Dr.Eng. Rina Afiani Rebia, S.Hut, M.Eng)

12. Surat Persetujuan Dosen Pembimbing



SURAT PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING PRODI REKAYASA TEKSTIL FTI UII

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Yang bertanda tangan di bawah ini, Dosen Pembimbing Tugas Akhir di lingkungan Prodi Rekayasa Tekstil Fakultas Teknologi Industri UII menerangkan:

1. Nama : Dwi Wulan Septyani
NIM : 20526022
2. Nama : Syifa Ainul Isla
NIM : 20526029

Bahwa mahasiswa tersebut di atas dapat mendaftarkan diri pada ujian pendadaran.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 19/04/2024

Dosen Pembimbing,



(Dr. Eng. Rina Afiani Rebia S.Hut, M.Eng)