

**REKAYASA PEMBUATAN PIRING SEKALI PAKAI
BERBAHAN DASAR DAUN**

(Disertasi)

Oleh

**MARTINUS
NPM 1834171002**



**PROGRAM STUDI S3 ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**REKAYASA PEMBUATAN PIRING SEKALI PAKAI
BERBAHAN DASAR DAUN**

Oleh

MARTINUS

Disertasi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
DOKTOR ILMU PERTANIAN**

Pada

**Program Studi S3 Ilmu Pertanian
Fakultas Pertanian**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Disertasi : **REKAYASA PEMBUATAN PIRING SEKALI
PAKAI BERBAHAN DASAR DAUN**

Nama Mahasiswa : **MARTINUS**

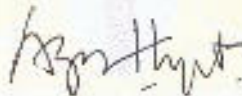
Nomor Pokok Mahasiswa : 1834171002

Program Studi : Doktor Ilmu Pertanian

Fakultas : Pertanian

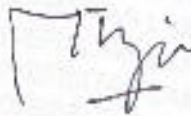
MENYETUJUI

1. Promotor



Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP 196505271993031002

2. Ko-Promotor

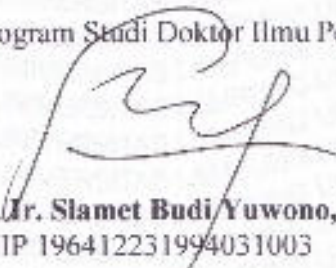


Prof. Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.
NIP 196112111987031004



Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.
NIP 198803252015041001

3. Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pertanian

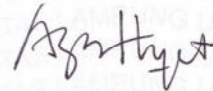


Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.
NIP 196412231994031003

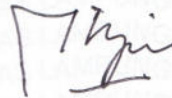
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**



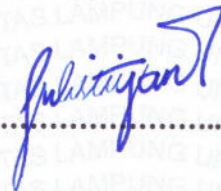
Sekretaris : **Prof. Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.**



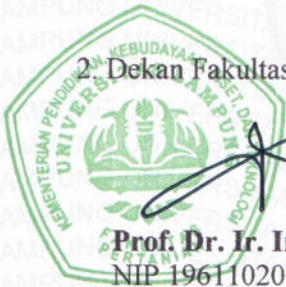
Anggota : **Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.**



Anggota : **Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP 196110201986031002



3. Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP 196403261989021001



Tanggal Lulus Ujian Disertasi : **31 Agustus 2023**

RINGKASAN

Nama : **Martinus**
Program Studi : **S3 Ilmu Pertanian**
Judul : **Rekayasa Pembuatan Piring Sekali Pakai Berbahan Dasar Daun**

Latar Belakang: Perlengkapan makanan sekali pakai, umumnya terbuat dari plastik seperti *polyethylene*, *polystyrene*, atau kertas berlapis plastik HDPE (*High-Density Polyethylene*), telah menjadi penyumbang utama sampah padat di Indonesia. Meskipun awalnya plastik dianggap sebagai bahan wadah makanan yang tahan lama, higienis, dan ekonomis, penggunaannya di Indonesia tidak selaras dengan prinsip-prinsip keberlanjutan. Plastik pembungkus makanan di Indonesia sering kali tidak dikelola dengan baik, menciptakan masalah lingkungan yang berlanjut. Oleh karena itu, Indonesia memerlukan solusi khusus untuk mengatasi permasalahan ini.

Tujuan: Sebagai negara tropis dengan luas lahan pertanian mencapai 14,8 juta hektar pada tahun 2020 menurut Badan Pusat Statistik (BPS), Indonesia memiliki potensi melimpah dalam serat alam sebagai bahan baku yang dapat dimanfaatkan. Di samping itu, daun telah digunakan secara tradisional di Indonesia sebagai pembungkus makanan dan ketersediaannya sepanjang tahun menjadikannya alternatif ideal untuk menggantikan plastik dalam pembungkus makanan sekali pakai. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menilai potensi piring daun sebagai pengganti piring plastik dan *polystyrene*.

Metode: Penelitian dimulai dengan merancang mesin untuk mencetak piring daun, mencetak piring daun tersebut, dan menguji kualitasnya. Salah satu tantangan utama adalah ketebalan daun yang tipis dan kerentanannya terhadap panas selama proses pembentukan. Oleh karena itu, pengendalian suhu pada mesin pembentuk harus sangat baik untuk menghasilkan piring berkualitas tinggi. Selain itu, mesin yang dibuat juga dievaluasi dalam hal Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) untuk memastikan kemudahan produksinya di Indonesia. Piring daun kemudian diuji secara mekanis, organoleptik, umur simpan, dan melalui analisis siklus hidup (LCA) untuk membandingkannya dengan produk serupa.

Hasil: Hasil pengujian menunjukkan potensi besar pada daun jati, daun tebakak, dan pelepah pinang sebagai alternatif produk plastik. Pelepah pinang menonjol dengan daya tarik dan kapasitas uji tertinggi. Piring daun jati dapat bersaing dengan polystyrene, plastik HDPE, dan kertas. Secara organoleptik, piring daun jati dan tebakak dapat menyaingi piring plastik, *polystyrene*, dan kertas. Umur simpan piring daun mencapai 3,5 bulan.

Kesimpulan: Berdasarkan hasil penelitian, piring daun dapat digunakan sebagai alternatif yang layak untuk piring sekali pakai dari plastik. Mesin-mesin yang dikembangkan menghasilkan piring daun secara konsisten, bahkan dengan peningkatan TKDN dari mesin manual ke mesin otomatis yang lebih konsisten. Piring daun telah berhasil melewati berbagai uji, termasuk uji beban maksimum (*maximum load*), kekuatan Tarik (*tensile strength*) (daya tahan serat alam), ketahanan terhadap kebocoran (*leakage resistance*) (makanan berkuah dan minuman), umur simpan (*shelf life*), analisis siklus hidup (*lifecycle analysis*), dan uji organoleptik (*Organoleptic test*). Piring daun jati mampu menampung makanan hingga 357 gram, sedangkan piring pinang mampu menampung hingga 4184 gram, bersaing dengan piring *polystyrene* (340 gram), plastic (360 gram), dan kertas (245 gram) yang tersedia di pasaran. Kebutuhan energi total untuk 10.000 piring daun adalah 1082,12 MJ atau 19,2% lebih rendah daripada 10.000 piring *polystyrene* yang membutuhkan 1542,12 MJ dan hanya 14,0% dibandingkan 10.000 piring kertas yang membutuhkan 8729 MJ. Piring daun juga tidak menghasilkan sampah padat dan emisi gas rumah kaca ketika diolah menjadi kompos. Berdasarkan uji kepekaan, piring daun jati memiliki umur simpan sekitar 3,5 bulan, yang cukup untuk proses distribusi. Piring daun merupakan pilihan yang ramah lingkungan dan cocok sebagai pengganti perlengkapan makanan sekali pakai lainnya yang kurang ramah lingkungan dan menyebabkan akumulasi sampah yang sulit terurai.

Kata kunci: piring daun, *polystyrene*, plastik, mesin pencetak, pengembangan berkelanjutan

SUMMARY

Name : **Martinus**
Program : **Doctoral Degree in Agricultural Sciences**
Title : **Disposable Leaves Plates Engineering**

Background: Single-use food ware, typically made from plastics such as polyethylene, polystyrene, or paper coated with high-density polyethylene (HDPE), has become a major contributor to solid waste in Indonesia. Although plastics were initially considered durable, hygienic, and cost-effective food containers, their use in Indonesia has yet to align with sustainability principles. Poor management of plastic food wrappers in Indonesia has led to ongoing environmental issues. Hence, Indonesia requires a specific solution to address this problem.

Purpose: As a tropical country with approximately 14.8 million hectares of agricultural land in 2020, according to the Central Statistics Agency (BPS), Indonesia has abundant potential in natural fibers as a raw material. Moreover, leaves have traditionally been used in Indonesia as food packaging, and their year-round availability makes them an ideal alternative to replace single-use plastic food wrappers. Therefore, this study aims to assess the potential of leaf plates as an alternative to plastic and polystyrene plates.

Methods: The research will involve designing a machine for production, printing leaf plates, and testing their suitability. One of the main challenges was the thinness of the leaves and their susceptibility to heat during the forming process. Therefore, precise temperature control in the forming machine was crucial to produce high-quality plates. The machine's production capacity will also be assessed to determine its feasibility in Indonesia. The leaf plates will undergo mechanical, organoleptic, shelf life, and life cycle analysis tests to compare them with similar products.

Results: The tests showed significant potential in teak leaves, tebakak leaves, and palm fronds as alternatives to plastic products. Palm fronds exhibited the highest tensile strength and capacity test results. Teak leaves demonstrated competitive performance with *polystyrene*, HDPE plastic, and paper plates. Organoleptically, teak and palm leaf plates could rival plastic, polystyrene, and paper plates. The shelf life of leaf plates was approximately 3.5 months.

Conclusion: Based on the research findings, leaf plates can be a viable alternative to disposable plastic plates. The developed machines consistently produce leaf plates, increasing domestic components from manual machines to more consistent automatic ones. Leaf plates have passed tests, including maximum load, tensile strength (natural fiber durability), leak resistance (for liquid food and beverages), shelf life, life cycle analysis, and organoleptic tests. Teak leaf plates can hold up to 357 grams of food, while palm frond plates can hold up to 4184 grams, competing with polystyrene (340 grams), plastic (360 grams), and paper (245 grams) plates available in the market. The total energy requirement for producing 10,000 leaf plates is 1082.12 MJ, which is 19.2% lower than the 10,000 polystyrene plates that require 1542.12 MJ and only 14.0% compared to the 10,000 paper plates that require 8729 MJ. When processed into compost, leaf plates also do not generate solid waste or greenhouse gas emissions. Based on brittleness tests, teak leaf plates have a shelf life of about 3.5 months, sufficient for distribution processes. Leaf plates are an environmentally friendly choice and a suitable alternative to other disposable food ware that is less environmentally friendly and leads to the accumulation of difficult-to-decompose waste.

Keywords: leaf plates, *polystyrene*, plastic, molding machine, sustainable development

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya di dalam disertasi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan/atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Bandar Lampung, 31 Agustus 2023

Penulis,

A yellow 1000 Rupiah postage stamp is placed over the signature. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'METERAI TEMPEL' and '1000'. The serial number 'A31F7AKX695999807' is visible at the bottom of the stamp.

Martinus

NPM. 1834171002

RIWAYAT HIDUP

- Nama** : Martinus
NPM : 1834171002
Tempat Tanggal Lahir : Palembang, 21 Agustus 1979
- Riwayat Pendidikan** : 1. SDN 2 Talang Kelapa, SDN 586 Palembang
2. SMP Bina Warga Palembang
3. SMUN 1 Palembang
4. S1 Teknik Fisika ITB
5. S2 CSIE 亞洲大學 Taiwan
6. S3 Ilmu Pertanian Universitas Lampung
- Riwayat Pekerjaan** : 1. Dosen Teknik Mesin Universitas Lampung
2. Konsultan WWF
3. Konsultan WCS
4. OM Taman Kupu-kupu Gita Persada

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan disertasi ini dengan judul “Rekayasa Pembuatan Piring Sekali Pakai Berbahan Dasar Daun”.

Dalam pelaksanaan dan pembuatan disertasi ini penulis menerima dukungan baik secara moril maupun materil yang sangat berharga dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, khususnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S., selaku Ketua Program Studi S3 Ilmu Pertanian Universitas Lampung;
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku promotor, serta Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc dan Bapak Dr. Mareli Telaumbanua., S.T.P., M.Sc selaku co-promotor yang tanpa lelah dan bosan telah memberikan bimbingan, semangat, dan waktunya dalam penyelesaian disertasi ini;
5. Ibu Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti yang telah bersedia menjadi penguji dalam disertasi ini;
6. Seluruh dosen dan staf Program Studi S3 Ilmu Pertanian yang memberikan masukan dan mempermudah proses pembuatan disertasi ini;
7. Rekan-rekan mahasiswa di Program Studi S3 Ilmu Pertanian yang telah memberikan saran, dukungan, dan bantuannya;
8. Keluarga yang memberikan dukungan selama menempuh studi S3 Ilmu Pertanian;

9. Rekan, Teman, dan Sahabat di lingkungan Universitas Lampung atas sinergi bersama;

Akhir kata, semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi pembacanya.

Bandar Lampung, 31 Agustus 2023

Penulis,

Martinus

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR SINGKATAN.....	xi
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Urgensi Penelitian.....	3
1.5. Hipotesis Penelitian.....	4
1.6. Kerangka Penelitian.....	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Piring dari Zaman ke Zaman.....	7
2.2. Plastik dan <i>Polystyrene</i>	10
2.3. Kemasan Sekali Pakai.....	11
2.4. Penggunaan Material Alami.....	12
2.5. Daun dan Pelepah sebagai bahan Kontainer Makanan.....	12
2.6. Pencetakan Piring dengan <i>Compression Molding</i>	14
2.7. <i>State of The Art</i> /Keterbaruan.....	16
2.8. <i>Road Map</i> Penelitian.....	18
2.9. Indonesia Kembali ke Daun.....	18
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1. Tempat dan Waktu.....	21
3.2. Alat dan Bahan.....	21
3.3. Tahapan Penelitian.....	21

3.3.1.	Perancangan Mesin Pencetak Piring Daun	23
3.3.2.	Pembuatan Mesin Pencetak Piring Daun	26
3.3.3.	Pembuatan Piring Daun.....	26
3.3.4.	Pengujian Mesin Pencetak Piring Daun dan Piring Daun.....	28
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1.	Karakteristik Mesin Manual Pencetak Piring Daun.....	40
4.1.1.	Mesin Manual	41
4.1.2.	Versi Mesin Manual.....	50
4.1.3.	Analisis <i>Set Point</i> Temperatur, Waktu dan Tekanan Mesin	61
4.2.	Karakteristik Mesin Pencetak Piring Daun Otomatis	72
4.2.1.	Otomasi Penekanan Hidrolik dan Regulasi Temperatur	72
4.2.2.	Analisis Daya Hidrolik.....	74
4.2.3.	Perakitan Mesin Otomatis	76
4.3.	Perbandingan TKDN seluruh Versi Mesin	79
4.4.	Karakteristik Piring Daun	80
4.4.1.	Pengujian Produk Piring Daun Dimensi Fisik	81
4.4.2.	Uji Rapat Pori-pori untuk Kebocoran	83
4.4.3.	Uji Tarik Piring Daun.....	84
4.4.4.	Uji Kapasitas Tampung/ Daya Tampung.....	85
4.4.5.	Uji Piksel Gosong pada Piring Hasil Cetak Mesin Manual dan ...	87
4.4.6.	Uji Rapuh Simpan.....	89
4.5.	Pengujian Bakteri pada Piring Daun.....	93
4.6.	Uji LCA (<i>Life Cycle Analysis</i>) produk Piring Daun	94
4.6.1.	<i>Inventory</i> Piring Plastik <i>Styrofoam</i> dan Piring Kertas.....	94
4.6.2.	<i>Inventory</i> Piring Daun	96
4.6.3.	<i>Energy Demand Analysis</i> Piring Plastik, Piring Kertas	96
4.6.4.	<i>End of life</i> (Akhir Hidup) Piring Plastik, Piring Kertas	101
4.6.5.	<i>Global Warming Potential</i> Piring Plastik, Piring Kertas	102
4.7.	Uji Organoleptik/Sensori Piring Daun dan Beberapa Piring	104
4.8.	Piring Daun	108
V.	SIMPULAN DAN SARAN	112
5.1.	Simpulan	112
5.2.	Saran.....	113
	DAFTAR PUSTAKA	114
	LAMPIRAN.....	123
A.	Analisis Statistik	124
B.	Pencetakan Piring Daun	134
C.	Data Kualitas Produk Hasil Pencetakan Berdasarkan Tabel 17.....	137
D.	Pengukuran Data Watt Meter pada Mesin Manual	139

E. Pengujian Bakteri	140
F. Publikasi Jurnal	141

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Fungsi Utama, Sub-Sub Fungsi, Serta Komponen/Mekanisme.....	23
2. Daftar Karakteristik Teknologi yang Digunakan, Keunggulan	24
3. Pengujian Keseragaman Mesin Cetak Manual dan Otomatis	30
4. Tabel Hasil Uji Kapasitas Piring Daun Jati terhadap Piring Serupa	33
5. Data Piring Daun.....	36
6. Data Pengujian Tarik Piring Daun 3 Lapis dengan Lama	36
7. Asesmen Organoleptik Piring Daun Jati Terhadap Piring Serupa	39
8. Spesifikasi Mesin Alpha	51
9. Tabel Komponen Dalam Negeri dan Luar Negeri Mesin Alpha	52
10. Spesifikasi Mesin Ver. 1	54
11. Tabel Komponen Dalam Negeri dan Luar Negeri Mesin Ver. 1	56
12. Spesifikasi Mesin Ver. 2	57
13. Tabel Komponen Dalam Negeri dan Luar Negeri Mesin Ver. 2	58
14. Spesifikasi Mesin Ver. 3	60
15. Tabel Komponen Dalam Negeri dan Luar Negeri Mesin Ver. 3	60
16. Perbandingan Mesin Manual.....	61
17. Tabel Karakterisasi Kualitas Piring Daun.....	62
18. Faktor Pengujian	64
19. Sebagian Data Kualitas Produk Hasil Pencetakan Berdasarkan Tabel 17.....	64
20. Parameter Pencetakan Piring Daun terhadap Kualitas Cetak Piring.....	65

21. Tabel Perbandingan F hitung dan F tabel	67
22. Analisis Variasi Pada Parameter dan Interaksinya.....	69
23. Spesifikasi Mesin Otomatis.....	77
24. Perhitungan TKDN Mesin Otomatis.....	78
25. Data Ketebalan Piring Daun.....	82
26. Data Berat Piring Daun	83
27. Hasil Uji Tarik Berbagai Piring Sekali Pakai	85
28. Hasil Uji Kapasitas Berbagai Piring Sekali Pakai.....	86
29. Hasil Jumlah Piksel Gosong setiap Piring Daun yang Diuji.....	88
30. Data Pengujian Tarik Piring Daun 3 Lapis terhadap Waktu.....	90
31. Energi Total untuk Memproduksi 10.000 Piring <i>Polystyrene</i>	97
32. Total Energy Demand untuk 10,000 Piring (MJ)	100
33. Sampah Padat 10.000 Piring (kg) (Franklin Associates, 2015)	101
34. Gas Rumah Kaca untuk 10.000 Piring (kg CO ₂ eq.).....	103
35. <i>Total Assessment</i>	108
36. Perbandingan Piring Daun	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Piring Plastik	1
2. Pincuk dari Daun Pisang (Salah Satu Contoh Pembungkus	2
3. Diagram Alir Penelitian	5
4. Liwetan (Saputra, 2018).....	9
5. BJ-400P Mesin Cetak Piring Kertas	15
6. Mesin Cetak Piring <i>Polistirene Multi Dies</i>	16
7. Alat Cetak, Serat Kelapa, dan Daun Sal	17
8. Diagram Tulang Ikan Penelitian	18
9. <i>Road Map</i> Pengembangan Produk Piring Daun.....	18
10. Diagram Alir Penelitian	22
11. Langkah Pembuatan Mesin Manual Piring Daun	23
12. Desain Mesin Pencetak Piring Daun Manual Ver. 3.....	25
13. Desain Mesin Otomatis	25
14. Piring Daun yang Sudah Jadi dan Dipakai.....	27
15. Langkah Pengenalan <i>Pixel Gosong/Charred Pixel</i>	30
16. Mekanisme Uji Kapasitas Piring.....	32
17. Alat Uji Kapasitas Piring	33
18. Bahan Uji Piring Daun	34
19. Alat Uji Tarik	34
20. Mekanisme Uji <i>Tensile Strength</i>	35

21. <i>Inventory</i> Piring Plastik.....	38
22. Sistem Kontrol Suhu Otomatik	44
23. Kontrol Suhu Terpasang pada Mesin Piring Daun	44
24. <i>Die</i> Atas Pencetak Piring Daun.....	45
25. <i>Die</i> Bawah Pencetak Piring Daun.....	46
26. <i>Die</i> Terpasang pada Mesin Piring Daun	47
27. Permukaan Piring Daun yang Gosong	47
28. <i>Die</i> Potong.....	48
29. Fabrikasi <i>Frame</i>	49
30. Mesin Ver. 3 yang Sedang Diuji	50
31. Mesin Pencetak Piring Daun Pertama yang Dibuat	50
32. Mesin Pencetak Piring Daun Ver. 1	54
33. Mesin Ver. 2 dengan Bagian <i>Frame</i> Utama Sudah Diperkuat.....	57
34. Mesin Ver. 3 sudah Menggunakan H Beam dengan Kuat Tekan sampai 15 Ton	59
35. Penilaian Kerapatan Sesuai Tabel 17	63
36. Penilaian Warna Berdasarkan Tabel 17	63
37. Grafik Pengaruh Suhu – Gaya terhadap Kualitas Cetak Piring Daun.....	66
38. Grafik Pengaruh Suhu – Waktu terhadap Kualitas Cetak Piring Daun	66
39. Grafik Pengaruh Gaya – Waktu terhadap Kualitas Cetak Piring Daun	67
40. <i>Setpoint</i> Terbaik untuk Suhu, Gaya dan Waktu	71
41. Piring Nilai Tertinggi	72
42. Disain Sistem Hidrolik.....	73
43. Regulator Temperature <i>Die</i> dan Piston Hidrolik	73
44. Mesin Pencetak Piring Daun Otomatis	77
45. Perbandingan TKDN antar Versi Mesin.....	80

46. Susunan Tulang Daun antar Lapisan.....	81
47. Mikroskop yang Dipergunakan dan Hasil Uji	83
48. Analisis dengan Menggunakan Optilab	84
49. Perbandingan Hasil Uji Tarik Beberapa Jenis Piring.....	85
50. Perbandingan Daya Tampung Beberapa Jenis Piring Sekali Pakai	86
51. Foto Piring Daun yang Diproses untuk Menghitung Pikel Gosong	88
52. Hasil Uji Tarik Berdasarkan Lamanya Waktu Penyimpanan	91
53. Grafik dan Interpolasi Uji Rapuh Simpan.....	91
54. Gambar Piring Daun dengan Perbedaan Waktu Simpan	93
55. <i>Inventory</i> Piring Plastik.....	95
56. <i>Inventory</i> Piring Daun	96
57. Perbandingan Kebutuhan Energi Berbagai Piring Sekali Pakai	101
58. Asesmen Organoleptik Berbagai Piring Sekali Pakai.....	106
59. Prespektif Pengguna Piring Sekali Pakai	107

DAFTAR SINGKATAN

BPS	: Badan Pusat Statistik
LCA	: <i>Life Cycle Analysis</i>
WHO	: <i>World Health Organization</i>
PETE	: <i>Polyethylene Terephthalate Ethylene</i>
HDPE	: <i>High-Density Polyethylene</i>
PVC	: <i>Polyvinyl Chloride</i>
LDPE	: <i>Low-Density Polyethylene</i>
PP	: <i>Polypropylene</i>
PS	: <i>Polystyrene</i>
PLA	: <i>Polylactic acid</i>
TKDN	: Tingkat Komponen Dalam Negeri
W	: watt
kW	: kilowatt
kWh	: kilowatt <i>hour</i>
kg	: kilogram
kgf	: kilogram <i>force</i>
HE	: <i>Heating Element</i>
PID control	: <i>Proportional, Integral and Derivative control</i>
MJ	: Mega Joule

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perlengkapan makanan sekali pakai yang umumnya terbuat dari plastik (Gambar 1), baik yang terbuat dari *polyethylene*, *polystyrene* maupun kertas berlapis plastik *hdpe* (*high density poly ethylene*) yang jamak digunakan pada saat ini, merupakan salah satu penyumbang sampah *solid* di Indonesia. Plastik sejatinya merupakan kontainer makanan yang baik karena bahan ini tahan lama, higienis, *inert*, dan murah. Namun, sayangnya di Indonesia plastik digunakan dengan cara yang tidak ideal dan tidak berkelanjutan. Plastik pembungkus makanan di Indonesia lebih banyak yang dibuang dan tidak didaur ulang. Hanya sebagian kecil dari plastik ini (kurang dari 10%) yang didaur-ulang, sedangkan sisanya berakhir sebagai sampah di daratan dan lautan. Plastik memerlukan waktu yang sangat lama untuk terurai. *Polyethylene* membutuhkan 450 tahun, *polystyrene* membutuhkan 500 tahun untuk dapat terurai. Setiap tahun lebih dari 12 juta ton sampah plastik baru sampai ke laut (Isensee dan Valdes, 2015). Sampah ini disumbang sebagian besar oleh Indonesia.



Gambar 1. Piring Plastik

Pemanfaatan piring sekali pakai (*disposable plate*) dilakukan umumnya karena piring ringan, ekonomis, dan tidak perlu dicuci, terutama karena bisa dibuang setelah

dipakai. Piring sekali pakai biasanya dibuat dari bahan plastik atau *polystyrene*. Bahan tersebut digunakan karena awet, mudah dibentuk, dan ekonomis walau tidak *biodegradable* (dapat terdekomposisi dengan mudah oleh bakteri). Potensi pasar piring sekali pakai sangat tinggi. Restoran cepat saji, rumah makan, industri rumah tangga, merupakan sebagian dari target pasar piring sekali pakai.



Gambar 2. Pincuk dari Daun Pisang (Salah Satu Contoh Pembungkus Makanan Hijau)

Perlu ada solusi khusus untuk Indonesia. Indonesia sebagai negara tropis memiliki lahan perkebunan yang luas. BPS mencatat pada tahun 2020 luas perkebunan di Indonesia adalah 14,8 juta hektar. Hal ini berarti ada banyak serat alam yang bisa digunakan sebagai bahan baku. Kemudian, daun secara tradisional digunakan di Indonesia sebagai bahan pembungkus makanan sejak zaman dahulu kala (Gambar 2). Daun di Indonesia tersedia sepanjang tahun karena tidak ada musim semi dan dingin di Indonesia. Daun tampaknya bisa menjadi bahan baku yang ideal untuk pengganti alternatif dari pembungkus makanan dari plastik sekali pakai. Daun dapat dibentuk menjadi produk piring sekali pakai untuk menggantikan piring yang umumnya memakai plastik dan *polystyrene*.

Sehingga, penelitian piring daun penting dilakukan untuk digunakan sebagai alternatif bagi plastik. Penelitian perlu dilakukan untuk dapat melihat apakah piring dari daun dapat menggantikan piring dari plastik dan *polystyrene*. Penelitian akan dimulai dengan mendesain mesin yang akan digunakan untuk mencetak piring daun, mencetak

piring daun dan kemudian menguji kelaikannya. Salah satu masalah utama dari daun adalah daun sangat tipis dan mudah gosong ketika dilakukan pembentukan. Sehingga, sistem kendali suhu pada mesin pembentuk harus sangat baik agar produk piring yang dihasilkan bagus. Piring daun kemudian harus diuji baik secara mekanis, organoleptik dan umur simpan dan uji *lifecycle analysis*. Bukti empiris menunjukkan daun sangat baik digunakan sebagai pembungkus makanan. Produk ini dapat menjadi salah satu alternatif substitusi piring sekali pakai berbahan plastik atau *polystyrene*. Sehingga, hasil penelitian ini bisa menjadi jawaban bagi permasalahan sampah plastik di Indonesia.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah yang mendasari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan membuat mesin pencetak piring daun yang dapat mencetak piring daun yang laik sebagai piring sekali pakai?
2. Apakah mesin pencetak piring daun manual dan otomatis dapat menghasilkan piring daun yang setara?
3. Apakah piring daun yang dibuat lolos uji fisik untuk piring sekali pakai?
4. Apakah piring daun yang dibuat lebih baik secara uji *life cycle analysis* dibandingkan piring sekali pakai lainnya?
5. Apakah piring daun yang dibuat yang dibuat lebih baik secara uji organoleptik piring sekali pakai?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membuat mesin pencetak piring daun jati yang dapat mencetak piring daun yang laik sebagai piring sekali pakai.
2. Mencetak dan menguji kelaikan piring daun jati sebagai piring sekali pakai.

1.4. Urgensi Penelitian Penelitian

Penelitian piring daun ini penting untuk memanfaatkan bahan yang bersifat *renewable* dan *biodegradable* sebagai produk pengganti plastik. Hal ini sejalan dengan Isu Rekayasa Keteknikan mengenai teknologi serat yang juga didukung oleh pengembangan teknologi mesin untuk industri sebagai bagian dari Prioritas Riset Nasional 2020-2024 (Peraturan Menteri Riset, Teknologi, Dan Pendidikan Tinggi Nomor 38 Tahun 2019 Tentang Prioritas Riset Nasional Tahun 2020-2024, 2019). Penelitian disertasi ini bertujuan untuk mendapatkan proses produksi piring daun yang memenuhi kualitas unggul dari segi ekonomis, dan durabilitas yang mampu bersaing dengan produk serupa sekali pakai yang ada di pasaran. Penelitian ini menjawab masalah yang dihadapi oleh peradaban saat ini yaitu sampah plastik. Penelitian ini akan menjadi bagian dari solusi produk pengganti produk plastik. Keberhasilan dari penelitian akan membuka potensi untuk mesin pencetak piring daun kemasan makanan lain dari daun yang dapat digunakan tidak hanya untuk mencetak piring, namun juga bentuk lainnya. Penelitian ini dapat menjadi salah satu jawaban bagi masalah peradaban dunia yaitu sampah plastik.

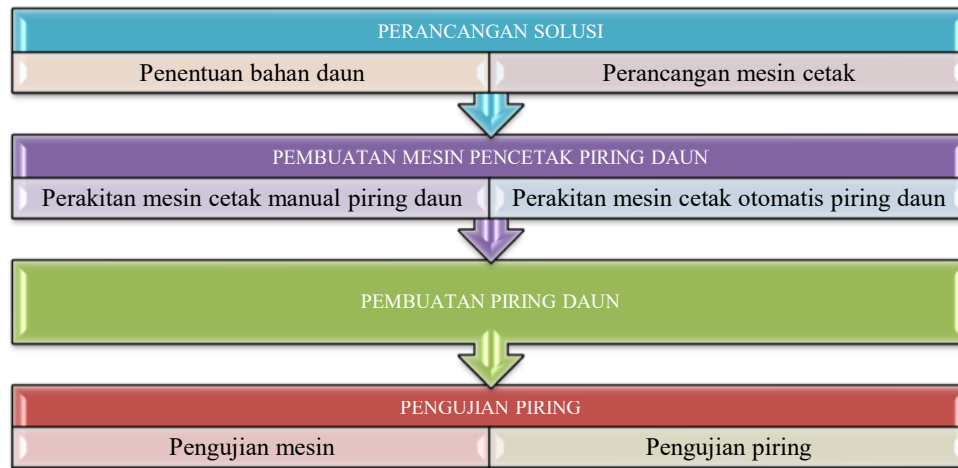
1.5. Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini adalah:

1. Dihasilkan mesin pencetak piring daun manual dan otomatis, dengan kinerja yang sebanding.
2. Piring daun yang dibuat setara ketika dilakukan uji fisik dibandingkan produk serupa sekali pakai di pasaran.
3. Piring daun yang dibuat lebih baik dalam uji *life cycle analysis* dibandingkan produk serupa sekali pakai di pasaran.
4. Piring daun yang dibuat baik secara organoleptik dibandingkan produk serupa sekali pakai di pasaran.

1.6. Kerangka Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan terdiri dari lima bab, berikut penjelasannya:

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, urgensi penelitian, dan sistematika penulisan yang dijelaskan secara rinci.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini didapatkan referensi yang berisi literatur sebagai pedoman atau acuan dalam melakukan penelitian untuk memecahkan sebuah masalah dalam bentuk matematis atau data kuantitatif. Landasan teori yang didapat berasal dari buku, jurnal, literatur buku yang berkaitan dengan topik yang akan dibahas.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini berisi tentang langkah-langkah atau metode dalam penelitian-penelitian disertasi yang bertujuan untuk memecahkan masalah dalam pengambilan data yang dilengkapi dengan penjelasan untuk setiap langkah pengerjaannya.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini membahas dan menjelaskan hasil yang sudah didapatkan dalam melakukan penelitian disertasi yang bertujuan untuk menarik kesimpulan-kesimpulan dari penelitian-penelitian disertasi yang dilakukan.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan dari penelitian yang merupakan timbal balik dari tujuan penelitian yang sudah dilakukan, serta didapatkan saran yang bermanfaat guna keberlangsungan penelitian untuk kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bagian ini berisikan referensi dan literatur yang digunakan penulisan sebagai acuan dalam penulisan penelitian ini.

LAMPIRAN

Lampiran berisikan data-data, gambar skematik, gambar sampel, *data sheet* dan data-data pendukung lainnya dari disertasi ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Sejak prasejarah, manusia telah menggunakan benda-benda untuk menaruh makanan. Tempat menaruh makanan dimulai dari daun (Kora, 2019), kayu (Fink et al., 2013), kemudian logam, dan tembikar (Anbarasu dan Sathyamoorthy, 2020) serta yang paling baru saat ini plastik. Piring paling awal diyakini digunakan untuk makan adalah bahan alam yang tersedia secara alami. Alas makan ini termasuk daun besar, kayu, dan kerang laut besar yang akan membuat mangkuk sederhana. Makanan akan diletakkan di atas piring seadanya ini kemudian dimakan bersama oleh semua anggota kelompok, keluarga, atau suku. Konsep penggunaan piring pribadi atau personal cukup baru. Awalnya makanan akan dibawa ke meja dengan menggunakan papan, piring, dan alas lainnya di Eropa (Reditya, 2021). Mereka menggunakan jari mereka untuk memilih makanan yang diinginkan (Elias, 1978; Bramen, 2009).

Kemudian, pada abad ke-16 hingga ke-18, kebiasaan makan menjadi semakin rumit. Pada abad ke-16 adalah sesuatu yang normal bagi pengunjung tempat makan untuk berbagi piring. Prancis kemudian memperkenalkan konsep piring-piring personal terpisah. Kemudian pada pertengahan abad ke-19, santapan *a la russe* mulai populer, di sinilah makanan secara bergantian dibawa ke setiap tamu (makanan pembuka, makanan utama dan makanan penutup). Secara alami, berbagai macam piring muncul untuk menyesuaikan tren ini. Ini termasuk: piring makan malam, piring makan siang, piring roti, piring salad, piring ikan, piring makanan penutup, piring teh, dan piring keju (Elias, 1978; Giblin, 1987).

2.1. Piring dari Zaman ke Zaman

Piring adalah wadah yang luas, cekung, tetapi sebagian besar datar tempat makanan dapat disajikan. Piring juga dapat digunakan untuk keperluan seremonial atau dekoratif. Sebagian besar pelat berbentuk lingkaran, tetapi dapat berbentuk apa saja, atau terbuat dari bahan tahan air apa pun. Umumnya pelat dinaikkan di tepinya, baik dengan melengkung ke atas, atau bibir yang lebih lebar atau bagian yang terangkat. Hal ini

dilakukan agar makanan tidak tumpah. Bejana tanpa bibir, terutama jika memiliki profil yang lebih bulat, cenderung dianggap sebagai mangkuk atau piring, seperti halnya bejana yang sangat besar dengan bentuk piring. Piring adalah peralatan makan dan peralatan meja. Piring kayu, tembikar dan logam kembali ke zaman kuno di banyak budaya (NA, 2016).

Piring adalah wadah berbentuk khas tempat makanan dimakan, dan di atasnya disajikan makanan. Selain piring ada juga mangkuk atau alas permukaan datar seperti daun pisang yang mendominasi di Asia Selatan, Asia Tenggara dan budaya Asia Timur. Piring sudah dibuat dengan gerabah sejak 20.000 tahun yang lalu (Anbarasu dan Sathyamoorthy, 2020). Gerabah menjadi perangkat baru yang menarik bagi masyarakat purba karena cukup mudah untuk dibuat dari bahan umum, sehingga tidak perlu dibawa saat mereka bermigrasi. Jadi piring keramik, mangkuk, dan bahkan pot kuno sudah ada, jauh ke belakang sejak zaman dahulu kala. Referensi tahun 1700-an Masehi menunjukkan penggunaan piring porselen individu dengan tujuan khusus, tetapi piring dan mangkuk digunakan di beberapa budaya baik sebagai wadah kolektif atau individu untuk makanan selama berabad-abad sebelum itu.

Bangsa Cina kemudian menyempurnakan proses pembuatan porselen dengan suhu rendah sekitar tahun 600 Masehi (Cui et al., 2010). Sementara di Eropa, baru pada tahun 1708 Masehi ketika seorang pembuat tembikar Jerman di Meissen menyempurnakan proses pembuatan porselen, tembikar Eropa muncul dan berkembang. Banyak tembikar paling terkenal di dunia didirikan selama periode ini—Royal Saxon tahun 1710, Wedgwood tahun 1839, Royal Copenhagen tahun 1772, dan Spade, didirikan tahun 1732 di Inggris (Hunt dan Howard, 2015).

Budaya Indonesia sendiri sangat erat dengan daun. Masyarakat Indonesia menggunakan daun untuk wadah makanan contohnya daun jati pada nasi jamblang (Triwidayati, 2020), daun tebakak bagi orang Lampung (Martinus et al., 2022) bahkan daun pisang digunakan secara ekstensif dalam banyak masakan Indonesia (Rini et al., 2018). Budaya Indonesia juga sering meletakkan makanan di lantai di tengah sebuah hunian dan untuk dimakan bersama dengan tangan (Luthfiyyah, 2018) seperti Gambar 3 yang disebut dengan liwetan. Praktik seperti ini juga digunakan di kebudayaan lain contohnya Inuit di Arktik Kanada Timur (Searles, 2002).



Gambar 4. Liwetan (Saputra, 2018)

Plastik sebenarnya hanya baru-baru ini digunakan sebagai wadah makanan. Plastik baru benar-benar masif digunakan sejak tahun 1930 ketika sistem produksi plastik telah dikuasai dengan baik oleh industri (Haque, 1999). Sebelum itu material yang lebih dahulu digunakan untuk pembungkus makanan adalah keramik, gerabah dan kaca. Bahkan sebelum itu material alam digunakan sebagai alat alas makan. Material alam yang banyak digunakan adalah kayu karena durabilitasnya, bambu dan daun karena ketersediaannya.

Perpindahan material yang digunakan sebagai alas makanan dikarenakan oleh banyak faktor. Pemilihan material alam pertama kali karena ketersediaan material tersebut yang melimpah di alam. Material piring berubah ketika manusia mulai bisa memproduksi barang, seperti gerabah. Material piring berubah seiring dengan kemampuan produksi dengan material yang lebih sulit atau rumit. Contohnya perpindahan material dari gerabah ke keramik, kaca dan metal. Selepas itu terjadi perubahan material piring karena kebutuhan dalam jumlah banyak dan kemampuan untuk digunakan sekali pakai. Hal inilah yang mendorong penggunaan kertas dan plastik sebagai material piring. Namun, seiring dengan dampak buruk penggunaan plastik secara *massive* muncul kesadaran baru untuk kembali menggunakan material alam sebagai bahan piring.

2.2. Plastik dan *Polystyrene*

Plastik sebenarnya adalah barang yang cukup baru diproduksi oleh manusia. Plastik baru diproduksi masal sekitar 60 tahun yang lalu, sehingga dampak dari plastik terhadap lingkungan baru benar-benar dipelajari belakangan ini. Tetapi, satu hal yang pasti bahwa sebagian besar plastik tidak dapat didekomposisi secara alami (Andrady, 1994) dan sangat kuat sehingga dapat bertahan sampai ratusan tahun. Bahkan, yang disebut sebagai *biodegradable plastic* dapat bertahan cukup lama bergantung pada faktor-faktor lingkungan seperti tingkat cahaya ultra violet, oksigen dan suhu (Swift, 2015).

Polystyrene salah satu jenis plastik populer untuk kontainer makanan cepat saji. *Polystyrene* adalah plastik polistirena yang berasal dari minyak bumi. Plastik jenis ini mempunyai waktu degradasi yang sangat tinggi sampai lebih dari 500 tahun (Barnes et al., 2011). Tetapi, plastik jenis ini adalah plastik yang paling banyak digunakan di industri makanan sebagai pembungkus makanan siap saju sekali pakai termasuk piring, kotak makanan, dan lain-lain. Walaupun, oksida stirena dilaporkan oleh WHO sebagai salah satu pemicu kanker (Hahn et al., 2006), tetap tidak menghalangi kesuksesan tipe plastik ini sebagai kontainer makanan.

Masalah plastik ternyata tidak hanya selesai ketika dibuang, tetapi terus berlangsung lama. Plastik yang dibuang tanpa proses daur ulang kemudian akan pecah menjadi mikroplastik. Plastik dalam bentuk debris ini atau mikroplastik yang tersebar di alam dapat dengan mudah disalahartikan sebagai makanan oleh satwa liar (ATSDR, 2002; CIWMB, 2004; LA county Government, 2008). Hal ini menjadi salah satu perhatian utama plastik yang kemudian sampai ke laut. Pada tahun 2010 diperkirakan sampai 12,7 juta ton sampah plastik sampai ke laut negara-negara yang memiliki pantai di Dunia (Jambeck et al., 2015).

Degradasi sampah plastik sangat bervariasi antar tempat penampungan akhir (Kyrikou dan Briassoulis, 2007). Hal ini kemudian menjadi masalah ketika laju penumpukan menjadi lebih besar dari laju degradasi yang kemudian menghasilkan dampak pada lingkungan dan pengelolaan sampah (Barnes et al., 2009; Oehlmann et

al., 2009; Ryan *et al.*, 2009; Teuten *et al.*, 2009; Thompson *et al.*, 2009). Kale mendeskripsikan bahwa hampir tidak ada teknik degradasi plastik secara efisien tanpa merusak lingkungan (Kale *et al.*, 2015). Sehingga, salah satu alternatif adalah dengan insinerasi atau pembakaran. Namun, pembakaran atau insinerasi yang menjadi solusi saat ini malah ternyata memerlukan energi yang tinggi untuk dapat membakar plastik (Derrick, 2010). Hal inilah yang kemudian membuat riset produk alternatif pengganti plastik sangat penting untuk dilakukan.

2.3. Kemasan Sekali Pakai

Meskipun saat ini kemasan makanan siap saji cenderung digunakan sekali pakai karena praktis, ada beberapa kategori kemasan makanan yang umum digunakan, seperti:

- PETE (*Polyethylene Terephthalate Ethylene*): Jenis plastik ini sering digunakan untuk botol minuman, wadah makanan, dan kemasan lainnya karena ringan dan tahan lama.
- HDPE (*High-Density Polyethylene*): Plastik ini digunakan untuk wadah makanan, botol susu, dan tas belanja karena kekuatannya dan ketahanan terhadap suhu.
- PVC (*Polyvinyl Chloride*): Plastik ini digunakan untuk pembungkus makanan, botol, dan pipa karena fleksibilitas dan ketahanannya terhadap bahan kimia.
- LDPE (*Low-Density Polyethylene*): Jenis plastik ini digunakan untuk kantong plastik, kemasan makanan, dan botol karena fleksibilitas dan ketahanannya terhadap suhu rendah.
- PP (*Polypropylene*): Plastik ini digunakan untuk wadah makanan, tutup botol, dan alat makan karena ketahanannya terhadap suhu tinggi dan bahan kimia.
- PS (*Polystyrene*): Plastik ini digunakan untuk wadah makanan, gelas, dan piring sekali pakai karena ringan dan insulasi termal yang baik. PS dikenal luas sebagai *Polystyrene*.

(Schuler, 2008)

Saat ini, hampir tidak mungkin menghindari penggunaan plastik, terutama dalam konteks kemasan makanan sekali pakai. Penggunaan plastik sekali pakai sebagai wadah makanan sangat marak meskipun beberapa jenis plastik mengandung racun seperti bisphenol A, stirena, dan formaldehida (Husaina et al., 2015).

Penting untuk mencari alternatif ramah lingkungan untuk menggantikan penggunaan plastik sekali pakai, seperti piring daun, yang dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dan risiko kesehatan yang terkait dengan penggunaan plastik dalam kemasan makanan.

2.4. Penggunaan Material Alami

Maidin dan Latiff(2015), melakukan penelitian mengenai bungkus makanan nasi lemak. Modifikasi yang dilakukan adalah penggunaan bahan daun pisang dan modifikasi kotak pembungkus. Responden percobaan atas kemasan nasi lemak, penggunaan daun pisang memberikan tampilan yang lebih menarik dan rasa enak bertahan. Hal ini menegaskan bahwa penggunaan material alami patut dipertimbangkan sebagai poin keunggulan dari perspektif konsumen baik secara visual maupun rasa.

Dalam pengembangan alat makan, khususnya di Kawasan Asia Timur, sumpit adalah hal yang utama. Penggunaan serat alami sebagai *biodegradable polymer* dapat meningkatkan *tensile strength* sampai dengan 3 kali lebih tinggi dari bahan plastik (Shih et al., 2009). Serat daun nanas juga digunakan sebagai *coupling agents*. Daun nanas yang digunakan adalah daun nanas segar, dengan tujuan untuk mendapatkan serat yang tinggi, waktu ekstraksi yang pendek dan ramah lingkungan (Kaewpirom dan Worrarat, 2014). Penggunaan serat alami ini meningkatkan elastisitas 34% pada *tensile modulus*. Hal ini kemudian membuktikan bahwa penggunaan serat alam ternyata bisa memberikan nilai lebih dalam produk.

2.5. Daun dan Pelelepah sebagai bahan Kontainer Makanan

Pohon pinang (*Areca catechu*) dikenal sebagai tanaman serba guna memiliki manfaat di berbagai bidang kehidupan di antaranya kesehatan, transportasi, bangunan, kerajinan, pangan, budaya, industri kecil maupun besar. Teknologi manufaktur dapat merekayasa pelelepah Pinang (Mohanraj et al., 2017) ini menjadi piring yang kuat hingga

dapat dimanfaatkan dalam industri makanan. Salah satu rekayasa yang digunakan adalah teknik *pressure*. Selain pelepah daun juga material penting untuk membungkus makanan. Daun dapat ditumpuk beberapa lapis, di antara setiap lapisannya diberi bahan perekat alami untuk merekatkan masing-masing lapisan ini.

India telah memulai dengan menggunakan daun *Sal/Shorea robusta* (Islam et al., 2015) dan daun Siali /*Bauhinia vahlii* (Mohan, 2009) yang dicetak menggunakan mesin untuk dibentuk menjadi piring dan mangkuk. Namun, seringkali piring daun dan cangkir daun yang dibuat di India dilapis dengan plastik *polyethylene* agar tahan air dan tidak bocor (Gaikwad dan Kalokhe, 2016).

Selain daun ada banyak serat lainnya dipergunakan untuk alas makanan atau piring. Walaupun, pendekatan produksinya berbeda dan serat-serat ini membutuhkan pelapisan agar tidak bocor. Pelapisan yang dilakukan sering menggunakan HDPE, PLA (*Polylactic acid*) ataupun lilin lebah (*bees wax*). Sayangnya, HDPE dan PLA tidak terurai secara alami di alam. Berikut ini beberapa contoh piring yang terbuat dari serat nanas, serat tebu, dan serat alam lainnya:

1. Piring serat nanas: Piring ini terbuat dari serat daun nanas yang merupakan limbah pertanian. Serat nanas dikenal kuat dan tahan lama, serta *biodegradable*. Beberapa perusahaan telah menggunakan serat nanas sebagai bahan dasar untuk membuat piring yang ramah lingkungan dan dapat digunakan sebagai alternatif pengganti piring plastik.
2. Piring serat tebu (*Bagasse*): *Bagasse* adalah limbah yang dihasilkan dari proses ekstraksi jus tebu. Piring yang terbuat dari *bagasse* ini telah menjadi populer sebagai alternatif ramah lingkungan untuk piring plastik sekali pakai. *Bagasse* *biodegradable* dan kompos, menjadikannya solusi yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan piring plastik.
3. Piring daun pisang: Piring yang terbuat dari daun pisang merupakan alternatif yang populer, terutama di Asia Selatan dan Asia Tenggara. Daun pisang yang telah dikeringkan dan diproses dengan cara tertentu digunakan untuk membuat piring yang *biodegradable* dan kompos. Piring ini sering digunakan dalam acara-acara tradisional dan upacara keagamaan.

4. Piring serat bambu: Bambu merupakan sumber serat alami yang tumbuh cepat dan memiliki kekuatan mekanik yang baik. Beberapa produsen menggunakan serat bambu untuk membuat piring ramah lingkungan yang dapat digunakan sebagai pengganti piring plastik. Piring bambu ini *biodegradable* dan kompos, serta dapat digunakan kembali beberapa kali.
5. Piring serat jerami: Jerami, yang merupakan limbah pertanian yang melimpah, dapat digunakan untuk membuat piring yang ramah lingkungan. Piring serat jerami ini *biodegradable* dan kompos, menjadikannya alternatif yang lebih ramah lingkungan daripada piring plastik.

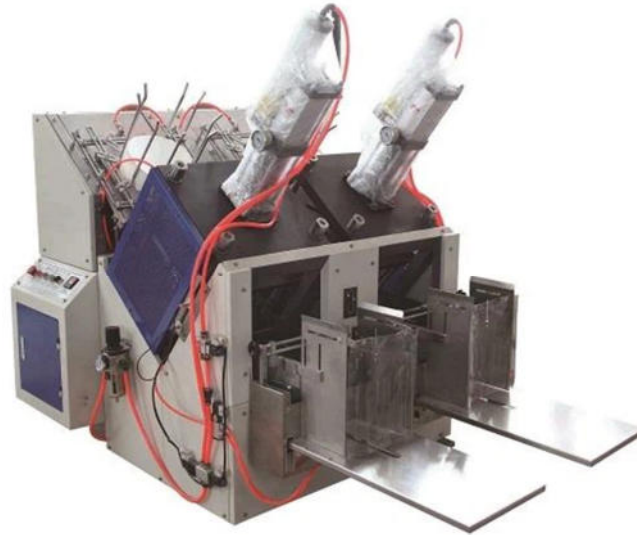
Menggunakan piring yang terbuat dari serat alam seperti nanas, tebu, daun pisang, bambu, dan jerami dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dan mengurangi konsumsi plastik sekali pakai. Selain itu, penggunaan limbah pertanian seperti daun nanas, bagasse, dan jerami dalam pembuatan piring ini juga dapat memberikan nilai tambah ekonomi dan membantu mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan.

2.6. Pencetakan Piring dengan *Compression Molding*

Pencetakan menggunakan *compression molding* cukup jamak dilakukan pada industri yang memproduksi barang yang berbentuk khusus dalam jumlah banyak. *Compression molding* adalah metoda pembentukan bahan dengan menggunakan cetakan atau *die*. Proses pencetakan biasanya disertai dengan pemanasan (Todd *et.al.*, 1994). Piring daun dibuat menggunakan ini, yaitu dengan cara menekan daun dengan tekanan yang dihasilkan dari perangkat pemberi tekanan berupa piston hidrolik untuk menekan *die*, serta dengan menggunakan panas radiasi yang dihasilkan oleh *heating element*, sehingga daun dapat terbentuk dengan *die*. *Compression molding* banyak digunakan dalam proses pencetakan produk berbahan kertas, plastik dan karet. Mesin-mesin *compression molding* cukup jamak pada industri plastik, kertas dan karet. Namun cukup jarang dikembangkan untuk bahan baku daun.

Berikut beberapa contoh mesin pencetak dengan prinsip *compression molding*. Mesin cetak piring kertas dapat menjadi acuan bagi mesin cetak piring daun. Mesin cetak piring *polysterene* juga dapat menjadi acuan bagi pencetakan dengan sistem multi

dies. Terntunya mesin piring daun pada perkembangannya harus meniru mesin cetak *high speed* yang sudah ada.



Gambar 5. BJ-400P Mesin Cetak Piring Kertas

Mesin Piring Kertas Otomatis dengan tempat kerja ganda pada Gambar 5 memiliki kapasitas pembuatan piring kertas sebanyak 60-80pcs/menit. Mesin BJ - 400P piring kertas dirancang sesuai dengan kebutuhan pasar, dengan fungsi otomatis mengambil kertas, mencetak kertas, penyegelan, membentuk dan kontrol suhu(Wenzhou Unitely Machinery, 2023).



Gambar 6. Mesin Cetak Piring *Polistirene Multi Dies*

Mesin pembuat piring PS Longkou Fuchang pada Gambar 6 terdiri dari tiga bagian utama:

1. Ekstruder lembar busa PS: membuat lembar busa dari bahan baku;
2. Mesin pemotong dan pembentukan sepenuhnya otomatis *multi dies*: membuat lembaran PS menjadi produk jadi seperti piring, nampan, kotak PS;
3. Mesin daur ulang plastik: Produk limbah daur ulang ke butiran, dapat dicampur dengan bahan baru dan dimasukkan ke dalam lembar busa PS ekstruder lagi. (Longkou Fuchang Mfg, 2023)

2.7. *State of The Art*/Keterbaruan

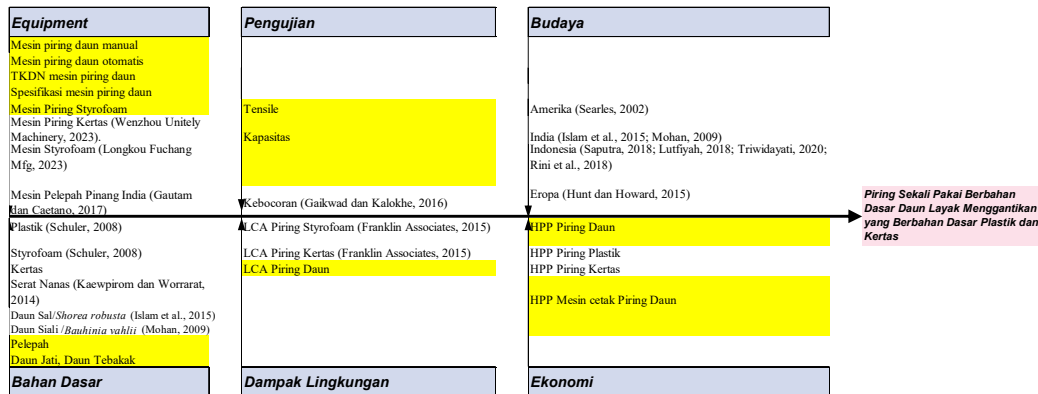
State of The Art dari penelitian ini adalah terciptanya produk alat makan piring ramah lingkungan yang *biodegradable* dan memiliki nilai ekonomis. Produk piring diharapkan menjadi pengganti kemasan makanan dari plastik yang berbahaya bagi

lingkungan. Gautam dan Caetano (2017) menggunakan pelepah pinang (*Areca catechu*), daun Sal (*Shorea robusta* Gaertn. f.), daun *Bauhinia vahlii*, serat sabut kelapa (*Cocos nucifera*) dan serat pelepah pisang (*Musa acuminata*) sebagai material utama dalam pembuatan alternatif alat makan sekali pakai (*disposable crockery*). Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan alat penekan (*pressed process*) (Gambar 7).



Gambar 7. Alat Cetak, Serat Kelapa, dan Daun Sal(Gautam dan Caetano, 2017)

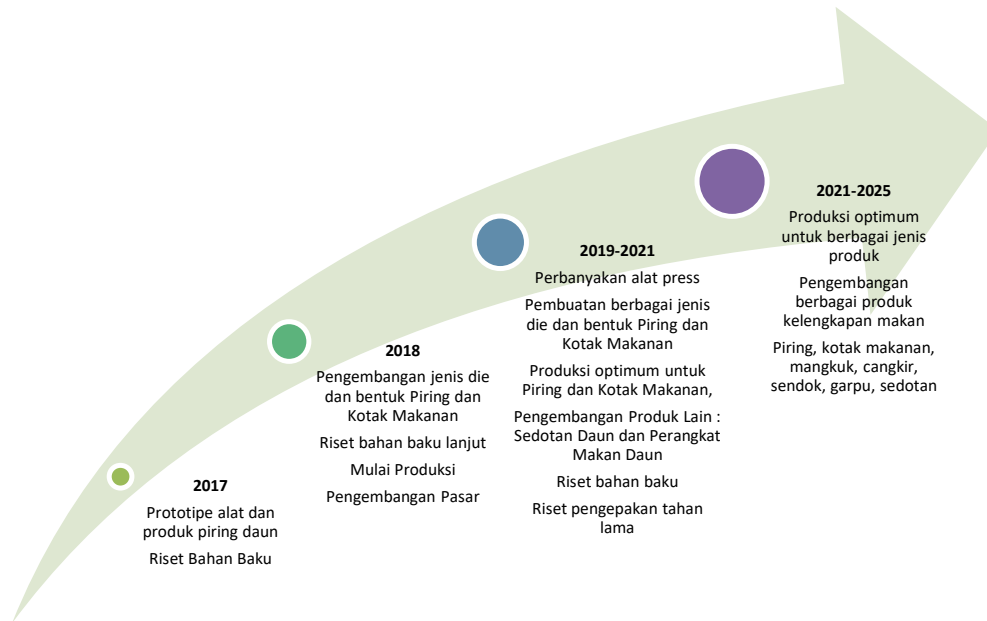
Keterbaruan pada penelitian ini antara lain adalah terbangunnya mesin cetak piring daun dengan peruntukan bahan baku daun. Pengembangan produk mesin cetak piring daun telah dilakukan dalam empat kali iterasi yang memperbaiki kekurangan di setiap tahapnya dan meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan. Hasil yang diharapkan didapatkan adalah proses produksi dan produk piring sekali pakai piring daun yang memenuhi kualitas dari segi kekuatan mekanik, *energy demand analysis* dan secara rasa/organoleptik. Produk piring daun yang dihasilkan memenuhi standar pengujian yang diperlukan untuk piring sekali pakai. Pengujian rapuh simpan menjadi salah satu penelitian yang cukup baru. Keterbaruan dan *research gap* ditunjukkan pada diagram tulang ikan pada Gambar 8. Bagian kuning dari diagram tulang ikan merupakan bagian yang diteliti pada penelitian disertasi Rekayasa Piring Sekali Pakai Berbahan Dasar Daun.



Gambar 8. Diagram Tulang Ikan Penelitian

2.8. Road Map Penelitian

Roadmap penelitian dari Rekayasa Piring Daun merupakan riset *multi-years* secara bertahap. Roadmap pengembangan piring daun dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Road Map Pengembangan Produk Piring Daun

2.9. Indonesia Kembali ke Daun

Daun pisang adalah salah satu daun yang dipakai secara massive di Indonesia untuk makan dan makanan. Daun ini merupakan alat serbaguna yang memiliki peran integral dalam budaya Indonesia. Tanaman asli, pohon pisang merupakan bagian besar dari sektor pertanian Indonesia dan memiliki pengaruh penting dalam tradisi kuliner Indonesia, dan kemampuan mereka untuk hidup secara berkelanjutan. Masakan Indonesia mengadopsi daun pisang dalam berbagai metode memasak (Forshee, 2006). Daging dan ikan sering dibungkus dengan daun sebelum dikukus, dipanggang, atau direbus. Lapisan luar lilin memberikan perlindungan dari nyala api dan menambahkan rasa berasap pada daging yang terbungkus di dalamnya.

Daunnya juga berfungsi sebagai alat untuk membungkus dan menyajikan makanan. Makanan manis seperti barongko dan getuk pisang sering disajikan dalam daun pisang memberikan pengalaman kuliner yang menempatkan pemakan lebih dekat makanan yang mereka makan (Forshee, 2006). Namun, lebih dari sekadar makanan, penggunaan daun pisang mengungkapkan perspektif menarik tentang pendekatan konsumsi Indonesia. Sedangkan, Australia dan Eropa secara budaya hanya menghargai pisang yang matang dan estetik, Indonesia lebih mementingkan penggunaan seluruh tanaman pisang (Kosuke et al., 2013).

Ideologi ini berasal dari fakta bahwa pisang terjalin dengan sejarah dan budaya Indonesia. Pisang berasal dari daerah khatulistiwa Indonesia, Singapura, Malaysia dan Thailand dan catatan yang berasal dari abad ke-8 menunjukkan orang Indonesia bertani tanaman pisang (Dove, 2011). Sebelum struktur perdagangan kolonial, dengan sedikit variasi tanaman dan tanaman, masyarakat Indonesia memenuhi kebutuhan mereka dengan sumber daya yang mereka miliki (Dove, 2011). Daun pisang, dengan lapisan lilin alaminya, dapat dengan mudah dibersihkan dan digunakan untuk membungkus makanan untuk transportasi dan pengawetan (Kosuke et al., 2013).

Daun memberikan cara cerdas bagi Masyarakat Indonesia untuk menggunakan daun dalam hal pengemasan berkelanjutan. Daun pisang bersumber sebagai produk sampingan dari tanaman yang melimpah, pelajaran tentang bagaimana menggunakan semua sesuatu untuk mengurangi limbah (KimaSurf, 2017). Dalam melakukan ini, tidak perlu menggunakan plastik atau bahan lain untuk menyelesaikan tugas yang bisa dilakukan oleh daun pisang. Ini sangat kontras dengan Indonesia pasca-plastik saat ini

yang infrastruktur dan lingkungan berjuang di bawah tekanan beban plastik yang meningkat. Sementara daun pisang hanya membutuhkan waktu beberapa minggu untuk dibuat, plastik membutuhkan waktu beberapa generasi, mengubah tugas sederhana mengangkut makan siang Anda dengan cara yang aman menjadi masalah sampah antar generasi (KimaSurf, 2017). "Dan untuk apa?" adalah pertanyaan yang akan ditanyakan oleh generasi mendatang kepada para pendahulu mereka di Indonesia.

Daun yang digunakan tebal dan tahan air, menjadikannya pilihan yang sangat baik untuk menyajikan makanan. Tapi apa yang membuat mereka lebih menguntungkan bagi orang yang memakannya, adalah manfaat nutrisinya. Daun pisang dikemas dengan senyawa nabati yang disebut polifenol, yang merupakan antioksidan alami. Makanan hangat yang disajikan di daun pisang merangsang polifenol yang diserap dalam makanan. Daun pisang juga memiliki sifat antibakteri dan mengandung Vitamin A, Asam Sitrat, Kalsium dan Karoten.

Daun sebagai bagian integral kuliner Indonesia digunakan untuk membungkus makanan ketika dimasak. Hal ini dilakukan untuk membantu mengangkat kuliner dengan menonjolkan rasa dan menyegelnya. Penggemar makanan tradisional yang sehat pasti merasakan bahwa beberapa makanan lebih aromatik dan lezat daripada. Sebuah teknik kuliner kuno, makanan telah dibungkus dengan daun dan kemudian dimasak dengan cara dipanggang, dipanggang, digoreng atau dikukus. Menggunakan daun adalah cara memasak yang alami dan ramah lingkungan. Daunnya adalah selubung hebat yang melindungi makanan dari panas langsung, kotoran, dan cairan. Mereka juga menjebak uap dan menyegel rasa, sambil membiarkan makanan dimasak perlahan dalam panas yang lembut dan dalam jusnya sendiri; dan terkadang berendam dalam rasa daun juga. Daun mungkin adalah salah satu alat kuliner paling awal. Daun dibuat menjadi wadah sangat logis digunakan untuk menyimpan, membawa dan menyajikan makanan. Sehingga, pernyataan bahwasanya Indonesia harus Kembali ke daun adalah sebuah akar sejarah yang menarik. Riset ini kemudian menjadi sebuah perangkat untuk menaikkan daun agar dapat diakses lebih banyak orang.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Kegiatan penelitian dilaksanakan di PUI Green Tech dan Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Lampung dengan waktu pelaksanaan mulai dari Maret 2019 sampai dengan November 2022.

3.2. Alat dan Bahan

Berikut alat-alat dan bahan yang dipergunakan dalam proses penelitian ini:

Alat-alat:

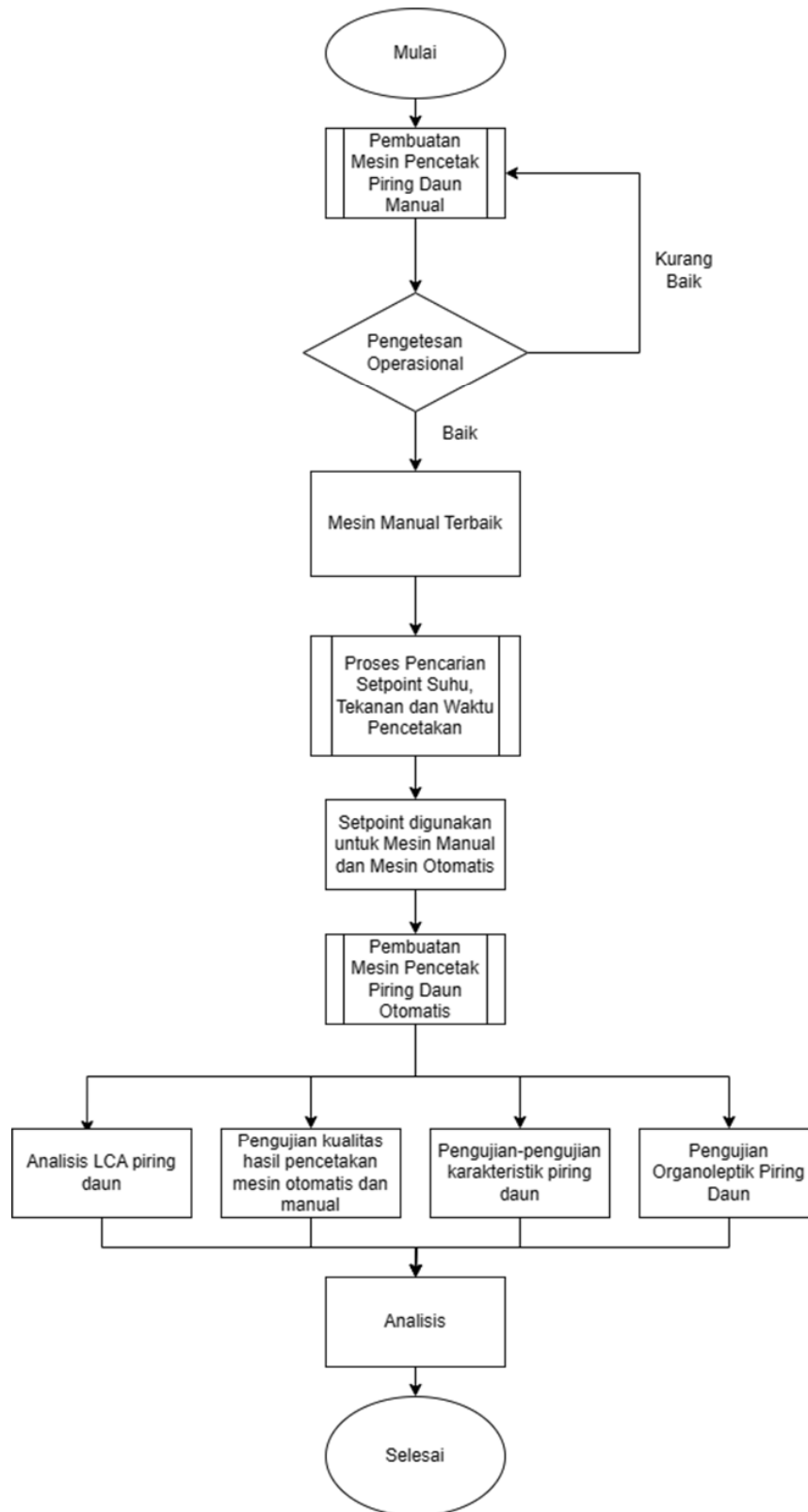
- Mesin cetak piring daun (mesin alpha, mesin versi 1, mesin versi 2, mesin versi 3, dan mesin cetak otomatis)
- Alat uji tarik serat piring daun
- Alat uji kapasitas piring daun
- Alat pengukur energi listrik yang digunakan (PZEM 003 T)

Bahan-bahan:

- Daun jati (*Tectona grandis*)
- Daun tebakak (*Ficus septica*)
- Pelepah pinang (*Areca catechu*)
- Piring *Styrofoam*
- Piring plastik
- Piring kertas

3.3. Tahapan Penelitian

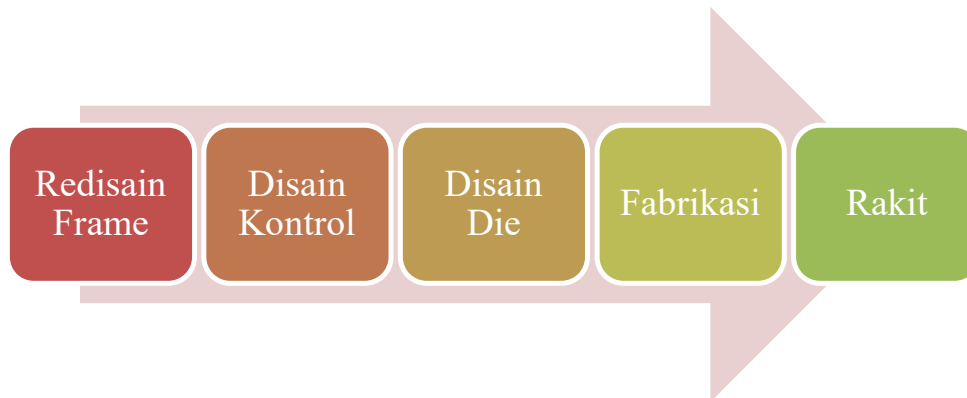
Penelitian terdiri dari empat tahapan, yaitu: perancangan mesin pencetak piring daun, pembuatan mesin pencetak piring daun, pembuatan piring daun, dan pengujian produk piring daun. Pada Gambar 10 dapat dilihat bagaimana proses penelitian berjalan.



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian

3.3.1. Perancangan Mesin Pencetak Piring Daun

Rancangan mesin cetak piring sekali pakai *biodegradable* mempertimbangkan bahan yang digunakan. Hasil dari rancangan dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13. Desain mesin kemudian dikembangkan dengan kekuatan tekanan yang lebih besar. Proses perbanyakkan mesin sendiri dimulai dengan melakukan redesain Frame, desain sistem kontrol mesin, desain *die* baru dan desain *die* potong.



Gambar 11. Langkah Pembuatan Mesin Manual Piring Daun

Tabel 1. Fungsi Utama, Sub-Sub Fungsi, Serta Komponen/Mekanisme/Cara yang Digunakan

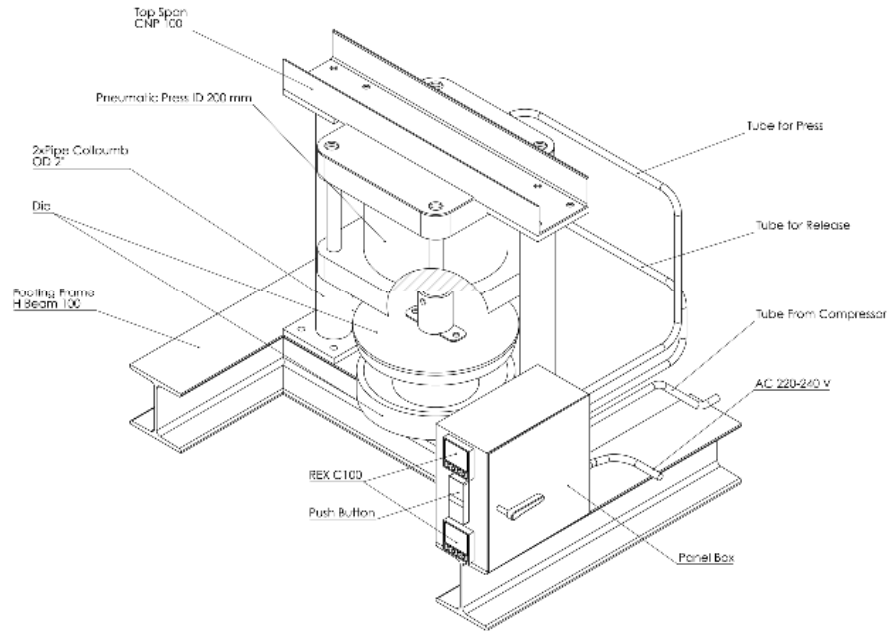
Fungsi utama	Sub fungsi	Komponen
Frame	Penopang keseluruhan mesin	Rangka dudukan motor Rangka utama/rangka mesin, Baja Krakatau Steel
kontrol temperature	Kontroler suhu <i>die</i> atas dan bawah	Manual, Arduino, PID <i>control system</i>
kontrol hidrolik	Kontroler langkah piston hidrolik dan control valve	Arduino, <i>control valve</i>
Die	pembentuk atas pembentuk bawah	<i>Die</i> atas <i>Die</i> bawah Material <i>die</i> (Baja, aluminium, <i>Stainless steel</i>)
Heating element	Pemanas atas dan bawah	<i>Heating Element</i> atas <i>Heating Element</i> bawah (<i>Tungsteen Wire</i> , <i>Radiated</i> , <i>Heat exchanger</i>)

Unit hidrolik	Unit penekan	Piston hidrolik Solenoid valve Pompa hidrolik Motor ac
----------------------	--------------	---

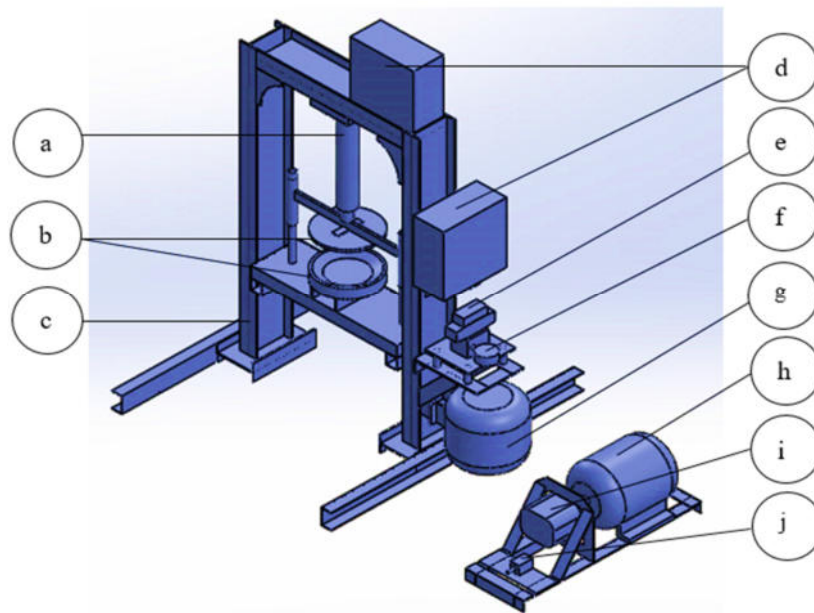
Tabel 2. Daftar Karakteristik Teknologi yang Digunakan, Keunggulan, Keterbatasan, Persyaratan Teknis, dan Alasan Penggunaannya

Teknologi	Keunggulan	Keterbatasan	Persyaratan teknis	Alasan penggunaan
Pembentuk piring dengan tekanan pengungkit	Tekanan tidak kuat	Pembentukan piring tidak bagus	Memanfaatkan <i>Mechanical Advantage</i> dengan lengan ungit yang panjang	Lebih sederhana sehingga dapat dikerjakan di bengkel lokal dan biaya pembuatannya relatif murah
Pembentuk dengan dongkrak hidrolik	Tekanan cukup	Pembentukan piring bagus	<i>Pressure</i> bisa diatur dengan presisi secara manual	Sedikit Lebih mahal
Pembentuk dengan piston hidrolik dan pompa hidrolik	Tekanan cukup	Pembentukan piring bagus	<i>Pressure</i> bisa diatur dengan presisi secara otomatis	Sangat mahal

Desain mesin manual dapat dilihat pada Gambar 12. Desain mesin otomatis dapat dilihat pada Gambar 13. Mesin otomatis akan memiliki perangkat yang lebih banyak daripada mesin manual karena dilengkapi dengan sistem penekan otomatis selain dengan sistem regulasi temperatur *die* atas dan bawah.



Gambar 12. Desain Mesin Pencetak Piring Daun Manual Ver. 3



Gambar 13. Desain Mesin Otomatis (a. Hydraulic cylinder, b. Upper and Lower Dies, c. Frame, d. Controller, e. Control valve, f. Manometer, g. Oil Reserve Tank, h. Pump Motor, i. Hydraulic Pump, j. Pressure Release)

3.3.2. Pembuatan Mesin Pencetak Piring Daun

Pembuatan mesin manual dilakukan secara iteratif. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kinerja mesin yang cukup baik. Adapun bagian iteratif yang dikembangkan adalah bagian *frame*, sistem kontrol, material *die*. Pengembangan iterative mesin dapat dilihat pada Gambar 7. Mesin manual diuji secara operasional dalam jangka waktu panjang untuk melihat bagian atau komponen yang rusak. Mesin manual yang dikembangkan akan menjadi dasar bagi pengembangan mesin otomatis. Tahap pembuatan dan *assembling* dilakukan dengan dasar gambar hasil perancangan, selanjutnya dilakukan perakitan komponen dengan mempertimbangkan kemudahan merawat atau *maintainability*. Pembuatan mesin juga memperhatikan ketersediaan komponen-komponen secara lokal dan ketersediaan alat *machining* lokal. Hal ini untuk memastikan bahwa mesin pencetak piring daun memiliki tingkat kandungan dalam negeri (TKDN) yang tinggi. Hal ini juga memastikan mesin dapat dibuat ulang dalam jumlah yang lebih banyak.

3.3.3. Pembuatan Piring Daun

Piring daun dibuat menggunakan proses *press*, yaitu dengan cara menekan daun dengan tekanan yang dihasilkan dari *hydraulic piston* untuk menekan *die*, serta dengan menggunakan panas yang dihasilkan oleh *heating element*, sehingga daun dapat terbentuk dengan *die* dan menghasilkan daun yang berbentuk piring.

Prosedur pembuatan piring daun:

- a. Daun dimasukkan di tengah *die* atas dan *die* bawah
- b. Daun kemudian ditekan dan dipanaskan dengan menggunakan *heating element* dan *hydraulic jack*.
- c. Penekanan dan pemanasan yang terjadi dilakukan untuk membentuk daun menjadi piring disertai dengan mengeluarkan air dari daun. Daun akan mengalami pemanasan dan penguapan kadar air.



Gambar 14. Piring Daun yang Sudah Jadi dan Dipakai

Ada beberapa jenis daun dan pelepah yang dipergunakan dalam penelitian ini. Bahan baku piring daun dipilih dari daun-daun dan pelepah yang dipergunakan secara tradisional sebagai pembungkus makanan. Daun-daun dan pelepah yang dipergunakan adalah Daun Jati, Daun Tebakak, dan Pelepah Pinang. Daun-daun ini dipilih karena ketersediaannya cukup banyak di Lampung dan juga memiliki kedekatan kebudayaan (Daun Tebakak/*Ficus septica*).

Jati sebagai tanaman perkebunan tumbuh di banyak wilayah Indonesia (Suroso, 2018). Jati ditanam karena kayu yang dihasilkan kokoh dengan tekstur yang indah (Adi et al., 2016). Kayu jati sangat jamak digunakan untuk furnitur dan bahan bangunan. Sehingga, daun jati tersedia dalam jumlah yang banyak. Daun jati pada dasarnya limbah pada waktu kebun jati dirawat/*pruning*. Daun jati ini mempunyai potensi yang baik sebagai bahan baku yang tersedia sepanjang tahun. Pinang juga pada dasarnya adalah produk pertanian dengan perkebunan yang cukup luas namun tidak seluas jati. Sehingga, ketersediaan pelepah pinang harus diiringi dengan penanaman perkebunan pinang. Sementara tebakak adalah tanaman liar yang tidak ditanam oleh manusia. Ketersediaan daun tebakak sangat tergantung dengan penanaman yang secara khusus memproduksi daun tebakak, karena kayu tebakak tidak digunakan untuk bahan bangunan dan furniture.

3.3.4. Pengujian Mesin Pencetak Piring Daun dan Piring Daun

3.3.4.1. Pengujian Mesin

Pengujian mesin terdiri atas dimensi mesin, penggunaan daya heating element terpasang, kapasitas mesin, kebutuhan energi, TKDN (Tingkat Komponen Dalam Negeri), pengujian operasional, serta pengujian perbedaan antara mesin manual dan otomatis. Mesin-mesin yang dibuat juga dilihat spesifikasinya serta penggunaan daya terpasang dari mesin.

Formulasi Perhitungan TKDN dapat dilihat pada persamaan berikut ini. Perhitungan ini mengacu pada perbandingan harga komponen produk dalam dan luar negeri dapat dilihat pada perhitungan berikut.

$$\% \text{TKDN Barang} = \frac{\text{Total Biaya Produksi} - \text{Biaya Komponen Luar Negeri}}{\text{Total Biaya Produksi}} * 100\%$$

$$\% \text{TKDN Barang} = \frac{\text{Biaya Komponen Komponen dalam Negeri}}{\text{Total Biaya Produksi}} * 100\%$$

Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) suatu produk merupakan pengukuran yang menunjukkan proporsi komponen lokal yang digunakan dalam proses produksi barang tersebut. Menghitung TKDN sangat penting untuk menilai kontribusi suatu produk terhadap pengembangan industri lokal dan mengurangi ketergantungan pada komponen impor.

Perhitungan TKDN memerlukan perbandingan antara selisih harga produk jadi dan harga komponen impor terhadap harga produk jadi. Harga produk jadi mencakup biaya produksi yang dikeluarkan untuk memproduksi barang, yang terdiri dari:

- Biaya bahan (material) langsung: Biaya ini mencakup semua bahan yang diperoleh langsung dari negara asal dan digunakan dalam proses produksi.
- Biaya tenaga kerja langsung: Biaya ini mencakup gaji dan tunjangan yang diberikan kepada pekerja yang terlibat secara langsung dalam proses produksi barang.

- Biaya tidak langsung pabrik (*factory overhead*): Biaya ini meliputi biaya-biaya yang dikeluarkan untuk menjalankan pabrik, seperti utilitas, pemeliharaan, dan penyusutan.

Perhitungan TKDN tidak memasukkan keuntungan, biaya tidak langsung perusahaan (*company overhead*), dan pajak. Penentuan TKDN suatu produk mempertimbangkan beberapa faktor, seperti:

- Bahan (material) langsung: Faktor ini diperhitungkan berdasarkan negara asal barang (*country of origin*), yang menunjukkan apakah bahan berasal dari dalam negeri atau luar negeri.
- Alat kerja atau fasilitas kerja: Faktor ini diperhitungkan dengan mempertimbangkan kepemilikan dan negara asal alat atau fasilitas yang digunakan dalam proses produksi.
- Tenaga kerja: Faktor ini diperhitungkan berdasarkan kewarganegaraan pekerja yang terlibat dalam proses produksi barang.

Perusahaan dapat membuat keputusan yang lebih baik dalam hal penggunaan komponen dalam negeri dan impor dengan menghitung dan menganalisis TKDN produk. Selain itu, pemerintah dapat mengatur kebijakan yang mendorong penggunaan komponen lokal, sehingga meningkatkan pertumbuhan industri dalam negeri dan menciptakan lapangan kerja baru. Pengurangan ketergantungan pada komponen impor juga dapat mengurangi biaya produksi dan meningkatkan daya saing produk di pasar global.

Pengujian operasional dilakukan dengan menjalankan mesin secara kontinyu selama 10 jam. Berikut ini adalah bagaimana pengujian operasional dilakukan:

1. Persiapan: Sebelum pengujian operasional dimulai, semua komponen dipasang sesuai dengan spesifikasinya. Produk kemudian disiapkan dalam lingkungan yang terkontrol di mana berbagai faktor seperti suhu, kelembaban, dll. dapat dipantau dan diatur.
2. Menjalankan Tes: Produk kemudian dijalankan secara terus menerus selama periode 10 jam. Selama periode ini, data mengenai kinerjanya dan setiap potensi masalah atau kegagalan dikumpulkan. Data ini memberikan wawasan berharga

tentang bagaimana kinerja produk seiring waktu dan dalam penggunaan yang terus menerus.

3. Pemantauan: Selama pengujian, produk dipantau secara ketat. Ini bisa melibatkan inspeksi visual, serta penggunaan sensor dan perangkat lunak untuk melacak metrik kinerja. Setiap anomali atau penyimpangan dari kinerja yang diharapkan dicatat.
4. Kesimpulan dan Perbaikan: Langkah terakhir dari proses pengujian operasional adalah menarik kesimpulan dari data dan pengamatan yang dikumpulkan. Kesimpulan ini kemudian dapat menginformasikan perbaikan produk di masa depan, apakah itu modifikasi desain, perubahan proses manufaktur, atau perubahan panduan pengguna.

Pengujian mesin manual dan otomatis akan menguji hasil produksi produk piring daun yang dihasilkan oleh mesin manual dan mesin otomatis. Pengujian ini dapat dilakukan sebagai bagian tahap *quality control* yaitu membandingkan hasil piring yang memiliki tingkat gosong yang lebih sedikit. Setiap piring daun yang dihasilkan baik dari mesin manual maupun mesin otomatis difoto dan *image* yang dihasilkan akan diolah menggunakan *image analyser*. Sehingga, kemudian bisa dihitung jumlah *pixel* gosong (*charred pixel*). Jumlah *pixel* inilah yang kemudian dibandingkan antara produk mesin manual dan mesin otomatis.



Gambar 15. Langkah Pengenalan *Pixel* Gosong/*Charred Pixel*

Pengujian keseragaman mesin cetak dilakukan untuk mengetahui kesamaan kinerja mesin cetak manual dan mesin cetak otomatis, dalam hal kualitas piring daun yang dihasilkan. Pencetakan dilakukan sebanyak 10 kali dengan menggunakan parameter *pixel* gosong (*charred pixel*). Hasil yang didapat akan ditampilkan pada Tabel 3. Pengujian ini penting untuk dapat melihat apakah mesin cetak otomatis mampu mencetak dengan konsistensi lebih tinggi daripada mesin cetak manual.

Tabel 3. Pengujian Keseragaman Mesin Cetak Manual dan Otomatis

Pengujian ke-	Hasil	
	Mesin Cetak Manual	Mesin Cetak Otomatis
1		
2		
Dst		

3.3.4.2. Pengujian-pengujian yang Dilakukan pada Produk Piring Daun

Pengujian produk merupakan aspek penting dalam proses manufaktur karena membantu dalam mengidentifikasi potensi masalah atau cacat dalam produk dan memastikan bahwa produk memenuhi standar kualitas dan fungsionalitas yang diharapkan. Pengujian-pengujian ini dapat memastikan bahwa produk piring daun aman, tahan lama, ramah pengguna, dan ramah lingkungan, menjadikannya alternatif yang layak untuk piring sekali pakai tradisional.

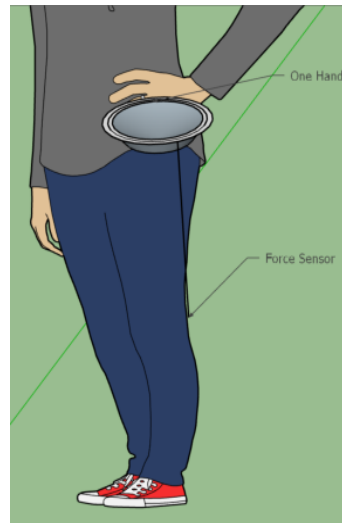
3.3.4.2.1. Uji Beban Maksimum (Tampungan Maksimum Makanan)

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan piring daun dalam menampung makanan dan membandingkannya dengan produk serupa yang tersedia di pasaran. Dengan melakukan uji daya tampung makanan, kita dapat memahami sejauh mana piring daun mampu menahan berat makanan dan menilai kelebihan dan kekurangan piring daun yang diuji dibandingkan dengan produk pesaing. Sehingga, dapat diambil kesimpulan apakah piring daun layak menjadi produk substitusi piring sekali pakai lainnya.

Untuk melaksanakan pengujian ini, beberapa langkah perlu diikuti:

1. Persiapan sampel: Siapkan sejumlah piring daun yang akan diuji, serta beberapa produk serupa yang sudah ada di pasaran sebagai pembanding. Pastikan kondisi piring daun dalam keadaan baik dan kering sebelum melakukan pengujian.
2. Persiapan alat uji: *tare loadcell* pada 0 gram
3. Pengujian daya tampung: Letakkan piring daun pada pencengkam dan mulai melakukan penarikan sampai piring daun terdeformasi
4. Dokumentasi dan analisis: Hasil pengujian tercatat langsung pada *data logger* termasuk sampai kondisi piring daun terdeformasi, serta perbandingan dengan produk serupa di pasaran. Analisis hasil pengujian untuk menilai keunggulan dan kelemahan piring daun yang diuji.

Dengan melaksanakan pengujian daya tampung makanan ini, peneliti dapat mengidentifikasi area yang memerlukan peningkatan dan mengoptimalkan desain piring daun mereka. Selain itu, hasil pengujian ini dapat digunakan untuk mempromosikan keunggulan produk kepada konsumen dan meningkatkan daya saing di pasaran.



Gambar 16. Mekanisme Uji Kapasitas Piring



Gambar 17. Alat Uji Kapasitas Piring

Hasil yang didapatkan alat uji akan dianalisis dengan menggunakan Tabel 4. Dari Tabel 4 ini akan didapatkan apakah performansi piring daun jati cukup konsisten dan juga menjawab pertanyaan apakah piring daun jati lebih baik atau lebih buruk dari produk serupa.

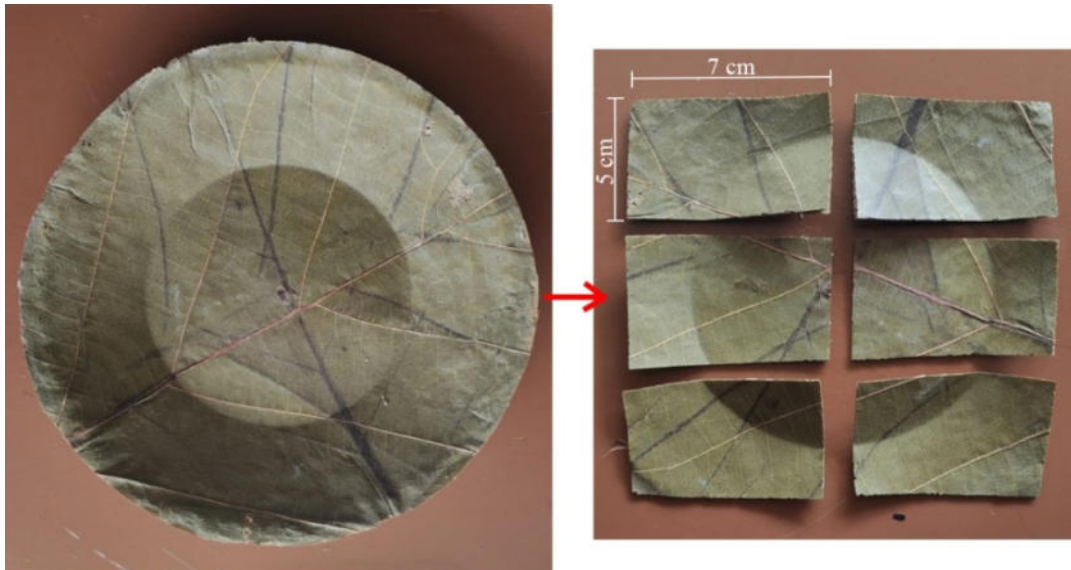
Tabel 4. Tabel Hasil Uji Kapasitas Piring Daun Jati terhadap Piring Serupa

Uji Kapasitas Piring/Ulangan	Piring Daun Jati (gr)	Piring Kertas (gr)	Piring <i>Polystyrene</i> (gr)
1			
2			
3			
dst			

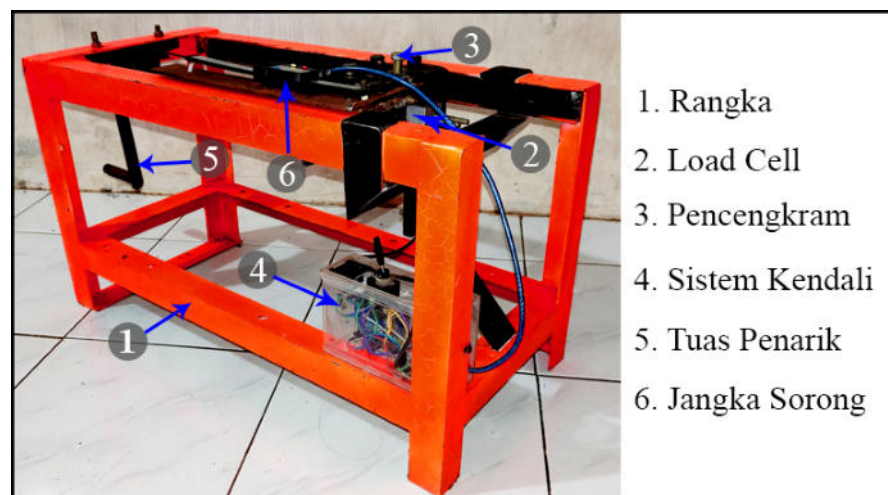
3.3.4.2.2. Uji Tarik (Keuletan Serat Alam)

Bahan uji yang digunakan adalah piring daun jati dengan 3 lapisan. Dimensi atau ukuran yang digunakan adalah 5cm x 7cm dengan tebal 0.4mm. Bahan uji dari keseluruhan panjangnya, sebanyak 2cm digunakan untuk mencengkeram bahan uji.

Data yang didapat kemudian akan dianalisis dan dapat dibandingkan dengan uji Tarik produk serupa di pasaran (piring kertas, *polystyrene* dan plastik).

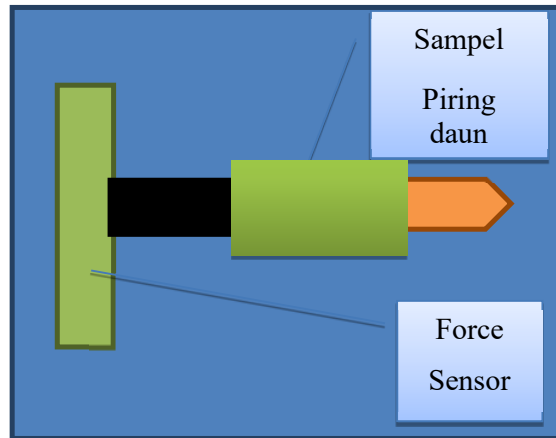


Gambar 18. Bahan Uji Piring Daun



Gambar 19. Alat Uji Tarik

Mekanisme pegujian dapat dilihat pada Gambar 20. Sampel uji akan dicekam dengan sensor *loadcell*, kemudian ditarik dengan mekanisme ulir.



Gambar 20. Mekanisme Uji *Tensile Strength*

Hasil pengujian dari alat uji kemudian disusun dalam Tabel 5. Uji juga akan dilakukan untuk piring sekali pakai yang ada di pasaran. Hasil ini kemudian dianalisis dan dibandingkan untuk melihat keuletan material piring daun terhadap material piring sekali pakai lainnya. Hal ini dilakukan untuk melihat apakah serat yang digunakan cukup bisa menggantikan serat pada produk serupa.

Tabel 5. Data Piring Daun

No	Data Piring Daun	Angka	Satuan
1	Lapisan		-
2	Material		-
3	Lebar		cm
4	Tebal		mm
5	Luas permukaan (A_0)		m^2
6	<i>Tensile Strength</i>		N

3.3.4.2.3. Uji Rapuh Simpan

Untuk pengujian ini jumlah lapisan piring yang akan diuji adalah 3 lapis dengan waktu penyimpanan 1 minggu hingga 6 minggu. Setelah dilakukan pengujian tarik maka didapatkan data pada tabel berikut ini. Uji ini dapat dipergunakan untuk mengestimasi umur simpan piring daun setelah diproduksi. Hasil pengujian ini kemudian disusun pada Tabel 6. Hasil ini kemudian dianalisis untuk mendapatkan persamaan regresi polinomial untuk melihat peluruhan kekuatan tarik piring terhadap umur. Hasil regresi kemudian digunakan sebagai estimasi batas umur penyimpanan piring daun.

Tabel 6. Data Pengujian Tarik Piring Daun 3 Lapis dengan Lama Simpan Berbeda

Ulangan Percobaan	1 Minggu (gram)	2 Minggu (gram)	3 Minggu (gram)	4 Minggu (gram)	5 Minggu (gram)	6 Minggu (gram)
1						
2						
3						
dst						
Ratarata						

3.3.4.2.4. Uji Bakteri

Pengujian bakteri dilakukan pada Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Pengujian dilakukan pada tanggal 2 September 2019. Pengujian menggunakan teknik *Pour Plate*. *Pour Plate* menggunakan metode menumbuhkan mikroorganisme seperti bakteri dalam media pertumbuhan, memberikan lingkungan di mana koloni bakteri dapat dilihat dan dihitung (Terrones-Fernandez et al., 2023). Teknik ini sering digunakan di laboratorium mikrobiologi untuk berbagai tujuan, seperti menguji efisiensi prosedur sterilisasi atau menilai kontaminasi bakteri dalam sampel. Uji ini dilakukan untuk melihat dan

membandingkan jumlah bakteri yang terdapat pada piring daun dan dibandingkan produk makanan.

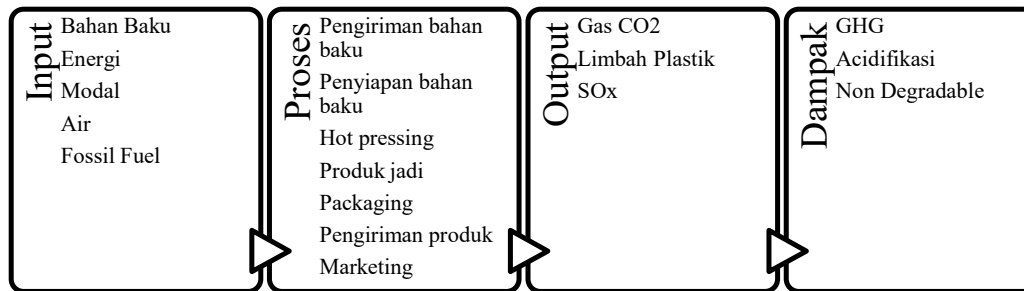
3.3.4.2.5. Uji LCA (*Life Cycle Analysis*)

LCA digunakan untuk melihat apakah piring daun yang dibuat lebih ramah lingkungan dari piring kertas maupun piring plastik. LCA digunakan untuk dapat membandingkan produk yang tidak serupa (misalnya bahan) dalam perbandingan yang setara (M'Hamdi et al., 2017). Sehingga, kita dapat membandingkan piring daun jati dan piring-piring lain yang sudah ada di pasaran.

Metode Penilaian LCA merupakan suatu pendekatan yang digunakan untuk menilai kinerja lingkungan produk yang berasal dari limbah dan bio-sumber, seperti dalam proses pengolahan limbah kayu. Tujuan utama dari LCA adalah untuk membandingkan dampak lingkungan antara proses produksi kertas konvensional dan hasil eksperimental yang didapatkan dari perlakuan kimia terhadap limbah kayu.

LCA sangat penting karena metode ini memberikan evaluasi menyeluruh terkait dampak lingkungan dari suatu produk atau proses sepanjang siklus hidupnya. Siklus hidup ini meliputi tahapan mulai dari ekstraksi bahan mentah, produksi, distribusi, penggunaan, dan akhirnya pembuangan produk tersebut. Dengan menggunakan LCA, kita dapat mengidentifikasi dan mengurangi dampak lingkungan yang tidak diinginkan pada setiap tahapan siklus hidup.

Dalam konteks ini, LCA membantu para pengambil keputusan, seperti perusahaan dan pembuat kebijakan, untuk membuat keputusan yang lebih informasi mengenai kinerja lingkungan dari berbagai produk atau proses alternatif. Pada piring daun dan produk serupa contohnya piring *polystyrene*, kertas berlapis plastik digunakan pendekatan *cradle to grave*. *Boundary LCA* kemudian ditetapkan seperti pada Gambar 21. Sehingga, piring-piring yang diuji akan memiliki *inventory* sebagai berikut pada Gambar 21. Salah satu aliran yang akan dicermati adalah penggunaan energi dan penggunaan material yang ada.



Gambar 21. *Inventory* Piring Plastik

Hasil *inventory* produk-produk piring yang dilakukan, kemudian akan dicermati proses pada masing-masing piring. Hasil analisis yang didapat akan menghasilkan kesimpulan apakah piring daun lebih hijau dari piring lainnya. Secara keseluruhan, metode Penilaian Siklus Hidup (LCA) memungkinkan kita untuk lebih memahami dan mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh produk dan proses sepanjang siklus hidup mereka. Pendekatan ini memastikan bahwa keputusan yang diambil oleh perusahaan, pembuat kebijakan, dan konsumen didasarkan pada informasi yang akurat dan menyeluruh mengenai kinerja lingkungan produk atau proses yang bersangkutan. Selain itu, LCA juga berperan penting dalam mengkomunikasikan informasi mengenai dampak lingkungan suatu produk kepada konsumen. Dengan demikian, konsumen dapat membuat pilihan yang lebih sadar dan bertanggung jawab terkait produk yang mereka konsumsi, sehingga mendukung upaya pengurangan dampak lingkungan secara keseluruhan.

3.3.4.2.6. Uji Organoleptik/Sensori

Salah satu penilaian utama untuk perilaku konsumen terhadap sebuah produk adalah penilaian organoleptik/sensori. Metode penelitian organoleptik adalah untuk menemukan dan mengukur kualitas suatu produk dengan menggunakan panca indera manusia. Indra-indra tersebut adalah indra penglihatan, indra penciuman, indra peraba, indra pengecap, indra pendengaran. Sering kali metode melakukan penelitian organoleptik ini biasa disebut dengan pencicipan. Tapi sebenarnya penelitian organoleptik jauh lebih kompleks dari sekedar rasa. Dalam hal ini berbagai organ berpartisipasi dalam proses tersebut yaitu indra pengecap, indra peraba, indra penglihatan dan indra penciuman atau penciuman. Penilaian ini mengetahui bagaimana

perspektif konsumen terhadap suatu produk dalam hal ini piring daun jati ramah lingkungan. Perspektif ini adalah kunci bagaimana produk ramah lingkungan akan bergerak maju. Penilaian dilakukan dari 40 responden dewasa muda. Responden ini semuanya adalah orang yang berlatar belakang pendidikan perguruan tinggi, ibu rumah tangga dan pembeli piring daun. Kami berharap tipe responden ini adalah tipe konsumen masa depan Indonesia (Sihombing dan Jiao, 2021; Haryono, 2021). Lebih jauh, para responden ini dapat mewakili perspektif Indonesia terhadap produk ramah lingkungan ke depan. Uji organoleptik menguji piring-piring yang dibandingkan dengan makanan berupa nasi. Hal yang diuji adalah perubahan rasa, bentuk, tekstur dan aroma ketika menggunakan piring-piring tersebut. Uji ini akan melihat kecenderungan pengguna untuk menggunakan piring daun dibandingkan dengan piring lain di pasar.

Tabel 7. Asesmen Organoleptik Piring Daun Jati Terhadap Piring Serupa di Pasaran

Organoleptic Assessment	Teak leaf plate	<i>Polystyrene</i> plate	Plastic plate	Paper with plastic lamination plate
Taste (Changing the food Taste)				
Appearance				
Texture				
Aroma				
Total				

Hasil-hasil pengujian ini akan dibandingkan dengan produk serupa yang sudah ada terlebih dahulu di pasaran. Hasil-hasil uji yang dilakukan akan menjadi justifikasi apakah piring daun jati dan bersaing dan dapat menjadi produk pengganti atau produk alternatif dari produk serupa yang sudah ada di pasaran. Hasil yang baik membuktikan bahwa piring daun yang dihasilkan oleh penelitian ini dapat menjadi salah satu jawaban bagi salah satu masalah fundamental dari peradaban dunia yaitu persoalan plastik dan sampah plastik.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berikut adalah beberapa kesimpulan yang diperoleh dari hasil-hasil uji yang dilakukan:

1. Mesin versi Alpha, versi 1, versi 2 dan versi 3 diperbaiki secara iteratif. Perbaikan secara progresif mesin versi alpha sampai mesin versi 3 adalah untuk memperkuat mesin, memudahkan jalur keluar masuk material, menurunkan harga mesin serta menaikkan nilai TKDN mesin.
2. Mesin cetak piring daun otomatis mampu memproduksi piring sekali pakai dengan konsistensi lebih baik dari mesin cetak piring daun manual.
3. Piring daun teruji layak sebagai alternatif piring sekali pakai berdasarkan beban maksimum, kekuatan tarik (keuletan serat alam), ketahanan terhadap kebocoran (makanan berkuah dan minuman), rapuh simpan, analisis siklus hidup, dan uji organoleptik.
4. Kapasitas tampung makanan pada piring daun jati sebesar 357 gram dan piring pinang sebesar 4184 gram mampu bersaing dengan piring *polystyrene*, plastik, dan kertas yang ada di pasaran. Piring *polystyrene* dapat menampung 340 gram, plastik 360 gram, dan kertas 245 gram.
5. Kebutuhan energi total untuk 10.000 piring daun adalah 1082,12 MJ atau 19,2% lebih rendah daripada 10.000 piring *polystyrene* yang membutuhkan 1542,12 MJ dan hanya 14,0% dibandingkan 10.000 piring kertas yang membutuhkan 8729 MJ. Tidak ada sampah padat dan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari piring daun jika diolah menjadi kompos.
6. Berdasarkan uji rapuh, piring daun jati memiliki waktu simpan sekitar 3,5 bulan, yang cukup untuk proses distribusi piring daun.

7. Piring daun lebih ramah lingkungan dan cocok dijadikan pengganti produk piring sekali pakai lainnya yang kurang ramah lingkungan dan menyebabkan timbulnya sampah yang sulit terurai.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah:

1. Mesin cetak piring daun dapat dikembangkan lebih lanjut untuk diproduksi massal dengan mempertimbangkan produksi komponen yang memudahkan perakitan.
2. Perbanyak mesin dan penyebaran mesin ke daerah sumber bahan baku dan daerah pasar akan mengurangi penggunaan energi transportasi, sehingga dapat memperkecil kebutuhan energi produksi dari piring daun.
3. Penelitian lanjut yang perlu dilakukan adalah penelitian baik jamur dan bakteri pada piring daun yang disimpan dalam waktu lama, penelitian dekomposisi piring daun, serta kajian sustainabilitas bahan baku piring daun.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, D. S., Sudarmanto, Ismadi, Gopar, M., Darmawan, T., Amin, Y., Dwianto, W., dan Witjaksono. (2016). Evaluation of the Wood Quality of Platinum Teak Wood. *Teknologi Indonesia*, 39(1), 36–44.
- Agustina, R., Fadhil, R., dan Mustaqimah. (2021). Organoleptic test using the hedonic and descriptive methods to determine the quality of Pliek U. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 644(1), 8–13. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/644/1/012006>
- Anbarasu, M., dan Sathyamoorthy, N. K. (2020). Types of Earthenwares and its Uses. *Shanlax International Journal of Arts, Science and Humanities*, 8(2), 107–112. <https://doi.org/10.34293/sijash.v8i2.3323>
- Andrady, A. L. (1994). Assessment of Environmental Biodegradation of Synthetic Polymers. *Journal of Macromolecular Science, Part C*, 34(1), 25–76. <https://doi.org/10.1080/15321799408009632>
- ATSDR. (2002). Toxicological Profile for Styrene. In *Toxicological Profiles for Styrene* (Issue November). https://doi.org/10.1201/9781420061888_ch142
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., dan Barlaz, M. A. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364, 1985–1998.
- Barnes, M., Chan-Halbrendt, C., Zhang, Q., dan Abejon, N. (2011). Consumer Preference and Willingness to Pay for Non-Plastic Food Containers in Honolulu, USA. *Journal of Environmental Protection*, 02. <https://doi.org/10.4236/jep.2011.29146>
- Bramen, L. (2009). *A History of Western Eating Utensils, From the Scandalous Fork to the Incredible Spork*. Smithsonian Magazine. <https://www.smithsonianmag.com/arts-culture/a-history-of-western-eating-utensils-from-the-scandalous-fork-to-the-incredible-spork-64593179/>
- CIWMB. (2004). *Use and Disposal of Polystyrene in California, California: California Integrated Waste Management Board (CIWMB)*.
- Cui, J., Rehren, T., Lei, Y., Cheng, X., Jiang, J., dan Wu, X. (2010). Western technical traditions of pottery making in Tang Dynasty China: Chemical evidence from the Liquanfang Kiln site, Xi'an city. *Journal of Archaeological Science*, 37(7), 1502–1509. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.01.010>

- Derrick, S. (2010). Polystyrene Recycling. *Green Manufacturing Initiative*, 1–17. <https://docplayer.net/23066584-Polystyrene-recycling-sean-derrick-green-manufacturing-initiative-sept-14-th-2010.html>
- Dove, M. (2011). *Banana Tree at the Gate*. Yale University Press.
- Eleazer, W. E., Odle, W. S., Wang, Y., dan Barlaz, M. A. (1997). Biodegradability of Municipal Solid Waste Components in Laboratory-Scale Landfills. *Environmental Science dan Technology*, 31, 911–917.
- Elias, N. (1978). *The History of Manners*. New York: Pantheon Books.
- Facanha, C., dan Horvath, A. (2007). Evaluation of life-cycle air emission factors of freight transportation. *Environmental Science and Technology*, 41(20), 7138–7144. <https://doi.org/10.1021/es070989q>
- Fink, R., Oder, S. F. M., dan Jevšnik, M. (2013). Wood in food industry - Potential applications and its limitations. *Microbial Pathogens and Strategies for Combating Them: Science, Technology and Education (A. Méndez-Vilas, Ed.)*, December, 188–194.
- Forshee, J. (2006). *Culture and customs of Indonesia*. Greenwood Publishing Group.
- Franklin Associates. (2015). *LIFE CYCLE ASSESSMENT OF HEFTY® POLYSTYRENE FOAM PLATES AND TWO COATED PAPERBOARD DISPOSABLE PLATES Final Peer-Reviewed Report Prepared for: Reynolds Consumer Products*.
- Gaikwad, S., dan Kalokhe, A. (2016). *Automatic Paper Plate Making Machine. 01*.
- Gautam, A. M., dan Caetano, N. (2017). Study, design and analysis of sustainable alternatives to plastic takeaway cutlery and crockery. *Energy Procedia*, 136, 507–512. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.273>
- Giblin, J. C. (1987). *From Hand to Mouth, Or, How We Invented Knives, Forks, Spoons and Chopsticks, and the Manners to Go with Them*. Crowell.
- Hahn, S., Kielhorn, J., Koppenhöfer, J., Wibbertmann, A., dan Mangelsdorf, I. (2006). Concise international chemical assessment document 71. *IPCS Concise International Chemical Assessment Documents*, 71, 1–46.
- Haque, D. R. (1999). Plastics: Wonder Material in Trouble. *Paradigm*, 3, 160–163. <https://doi.org/10.1177/0971890719990115>
- Haryono, E. (2021). *Consumer Survey March 2021: Consumer Confidence Continues to Grow*. Bi.Go.Id. https://www.bi.go.id/en/publikasi/ruang-media/news-release/Pages/sp_239121.aspx
- Hunt, C. O., dan Howard, A. J. (2015). Editorial: Journal of archaeological Science: Reports. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2014.08.002>

- Hunter, L., dan Fan, J. (2009). Waterproofing and breathability of fabrics and garments. *Engineering Apparel Fabrics and Garments*, 283–308. <https://doi.org/10.1533/9781845696443.283>
- Husaina, I., Alalyanib, M., dan Hanga, A. H. (2015). Disposable plastic food container and its impacts on health. *The Journal of Energy and Environmental Science*, 130(12), 618–623.
- Isensee, K., dan Valdes, L. (2015). Marine Litter: Microplastics. In *GSDR 2015 Brief*.
- Islam, M. A., Quli, S. M. S., Rai, R., dan Singh, P. K. (2015). Livelihood promotion through value addition to household traditional sal (*Shorea robusta* Gaertn.) leaf plate making in Jharkhand, India. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 6(4), 320–325.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., dan Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768 LP – 771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Kaewpirom, S., dan Worrarat, C. (2014). Preparation and properties of pineapple leaf fiber reinforced poly(lactic acid) green composites. *Fibers and Polymers*, 15(7), 1469–1477. <https://doi.org/10.1007/s12221-014-1469-0>
- Kale, S. K., Deshmukh, A. G., Dudhare, M. S., dan Patil, V. B. (2015). Microbial degradation of plastic: a review Swapnil. *Journal of Biochemical Technology*, 6(2), 952–961.
- KimaSurf. (2017). *Kima Surf Bali: environmental protection in the camps*. <https://kimasurf.com/sustainability>
- Kora, A. J. (2019). Leaves as dining plates, food wraps and food packing material: Importance of renewable resources in Indian culture. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0231-6>
- Korbelyiova, L., Malefors, C., Lalander, C., Wikström, F., dan Eriksson, M. (2021). Paper vs leaf: Carbon footprint of single-use plates made from renewable materials. *Sustainable Production and Consumption*, 25(August), 77–90. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.08.004>
- Kosuke, M., Mugniesyah, S. S. M., Herianto, A. S., dan Hiroshi, T. (2013). Talun-Huma, Swidden Agriculture, and Rural Economy in West Java, Indonesia. *Southeast Asian Studies*, 2, 351–381.
- Kyrikou, I., dan Briassoulis, D. (2007). Biodegradation of Agricultural Plastic Films: A Critical Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15, 125–150. <https://doi.org/10.1007/s10924-007-0053-8>
- LA county Government. (2008). *An Overview of Expanded Polystyrene Food Containers in Los Angeles County*. (Vol. 44, Issue 295).

- Longkou Fuchang Mfg. (2023). *High Speed PS Automatic Forming Machine*. <https://indonesian.alibaba.com/product-detail/Styrofoam-Bowls-Disposable-Plates-Machine-Fully-60825049706.html>
- Luthfiyyah, A. (2018). *Etika Makan (Table Manner) ala Indonesia*. <https://resepkoki.id/table-manner-ala-indonesia/>
- M'Hamdi, A. I., Kandri, N. I., Zerouale, A., Blumberga, D., dan Gusca, J. (2017). Life cycle assessment of paper production from treated wood. *Energy Procedia*, 128, 461–468. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.031>
- Maidin, S., dan Latiff, A. N. (2015). Nasi Lemak Packaging: A Case Study of Food Freshness and Design Flexibility. *Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT)*, 9(1), 13–19. <https://jamt.utm.edu.my/jamt/article/view/279>
- Martín-Gamboa, M., Marques, P., Freire, F., Arroja, L., dan Dias, A. C. (2020). Life cycle assessment of biomass pellets: A review of methodological choices and results. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110278. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110278>
- Martinus, Haryanto, A., Triono, S., dan Telaumbanua, M. (2021). Development of Teak Leaf Plate Molding Machine for Producing Plastic Alternative Products. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*.
- Martinus, M., Djausal, G. P., Sulistiyanti, S. R., Muhammad, M. A., dan Telaumbanua, M. (2022). Tebakak Leaves Plates as an Eco-friendly Disposable Plates: Cultural Roots, Technology and People Transformations. *Proceedings of the 2nd International Indonesia Conference on Interdisciplinary Studies (IICIS 2021)*, 606(Iicis), 302–307. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.211206.042>
- Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Nomor 38 Tahun 2019 Tentang Prioritas Riset Nasional Tahun 2020-2024, Negara Republik Indonesia 1 (2019). <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/140206/permen-ristekdikti-no-38-tahun-2019>
- Mohan, S. (2009). *Siali, A document on the Siali leaf-plate making activity of Kandhamal district, Orissa* (Issue 3).
- Mohanraj, K. S., Vijayakumar, P., Senthilkumar, R., dan A, G. K. (2017). *Design and Analysis of Semi Automatic Paper Cum Arecanut Plate Making Machine*. 3546–3550.
- N.A. (2021). *Indonesia's Demographic Dividend Reaches Peak in 2021*. *Jakartaglobe.Id*. <https://jakartaglobe.id/business/indonesias-demographic-dividend-reaches-peak-in-2021>
- NA. (2016). *Dinner Plates Have Come a Long Way*. <https://discover.hubpages.com/living/history-of-the-plate>
- Nahlik, M. J., Kaehr, A. T., Chester, M. V., Horvath, A., dan Taptich, M. N. (2016).

- Goods Movement Life Cycle Assessment for Greenhouse Gas Reduction Goals. *Journal of Industrial Ecology*, 20(2), 317–328. <https://doi.org/10.1111/jiec.12277>
- Oehlmann, J., Schulte-Oehlmann, U., Kloas, W., Jagnytsch, O., Lutz, I., Kusk, K. O., Wollenberger, L., Santos, E. M., Paull, G. C., Van Look, K. J. W., dan Tyler, C. R. (2009). A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1526), 2047–2062. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0242>
- Reditya, T. H. (2021). *Sejarah Piring, Awalnya Terbuat dari Kayu?* Kompas.Com. <https://internasional.kompas.com/read/2021/10/03/172832870/sejarah-piring-awalnya-terbuat-dari-kayu>
- Rini, R., Fakhurrozi, Y., dan Akbarini, D. (2018). PEMANFAATAN DAUN SEBAGAI PEMBUNGKUS MAKANAN TRADISIONAL OLEH MASYARAKAT BANGKA (Studi Kasus di Kecamatan Merawang). *EKOTONIA: Jurnal Penelitian Biologi, Botani, Zoologi Dan Mikrobiologi*, 2(1), 20–32. <https://doi.org/10.33019/ekotonia.v2i1.465>
- Ryan, P., Moore, C., Van Franeker, J., dan Moloney, C. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364, 1999–2012. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207>
- Saputra, S. (2018). *Liwetan*. <https://dieharmonie.blog/2018/01/02/nasi-liwet-indonesians-traditional-food/>
- Schuler, K. (2008). Smart Plastics Guide Healthier Food Uses of Plastics. *Institute of Agriculture and Trade Policy*, 612, 2–5.
- Searles, E. (2002). Food and the Making of Modern Inuit Identities. *Food and Foodways*, 10(1–2), 55–78. <https://doi.org/10.1080/07409710212485>
- Shih, Y.-F., Huang, C.-C., dan Chen, P.-W. (2009). Biodegradable green composites reinforced by the fiber recycling from disposable chopsticks. *Materials Science and Engineering A, Structural Materials: Properties, Microstructure and Processing*, 527(6), 1516–1521. <https://doi.org/DOI:101016/jmse200910024>
- Sihombing, G., dan Jiao, C. (2021). *Indonesia Consumers Are Most Pessimistic in 16 Years on Outbreak - Bloomberg*. [Www.Bloomberg.Com. https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-09-08/indonesia-consumers-are-most-pessimistic-in-16-years-on-outbreak](https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-09-08/indonesia-consumers-are-most-pessimistic-in-16-years-on-outbreak)
- Sopyana, A. (2021). *Stomata tumbuhan: Bagaimana mereka membuka dan menutup*. <https://hisham.id/biologi/stomata-tumbuhan.html>
- Spielman, A. I., dan Lischka, F. W. (2004). Taste and Smell. *Encyclopedia of Gastroenterology*, October, 487–493. <https://doi.org/10.1016/b0-12-386860-2/00685-7>

- Suroso, S. (2018). Jati (*Tectona grandis*). *Dinas Kehutanan Dan Perkebunan Daerah Istimewa Yogyakarta*. dishutbun.jogjaprovo.go.id/assets/artikel/Tanaman_Jati.pdf
- Swift, G. (2015). Degradable Polymers and Plastics in Landfill Sites. In *Encyclopedia of Polymer Science and Technology* (pp. 1–13). John Wiley dan Sons, Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/0471440264.pst457.pub2>
- Terrones-Fernandez, I., Casino, P., López, A., Peiró, S., Ríos, S., Nardi-Ricart, A., García-Montoya, E., Asensio, D., Marqués, A. M., Castilla, R., Gamez-Montero, P. J., dan Piqué, N. (2023). Improvement of the Pour Plate Method by Separate Sterilization of Agar and Other Medium Components and Reduction of the Agar Concentration. *Microbiology Spectrum*, *11*(1), e0316122. <https://doi.org/10.1128/spectrum.03161-22>
- Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R. U., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., Rowland, S. J., Thompson, R. C., Galloway, T. S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P. H., Tana, T. S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M. P., Akkhavong, K., ... Takada, H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1526), 2027–2045. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>
- Thompson, R. C., Moore, C. J., vom Saal, F. S., dan Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1526), 2153–2166. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- Todd, R. H., Allen, D. K., dan Alting, L. (1994). *Manufacturing processes reference guide*. Industrial Press.
- Triwidayati, M. H. M. (2020). Potensi Makanan Tradisional Sebagai Daya Tarik Wisata Kuliner Di D.I. Yogyakarta. *Universitas Negeri Yogyakarta*, *15*, 1–24.
- Wenzhou Unitely Machinery CO., L. (2023). *BJ - 400P*. <https://id.goodunitely.com/paper-plate-making-machine/china-automatic-paper-plate-machine-with.html>