

**PENGEMBANGAN METODE EVALUASI TERINTEGRASI DALAM
PRAKTIK EKONOMI SIRKULAR BERKELANJUTAN: STUDI KASUS
INDUSTRI TAPIOKA UKM DI LAMPUNG**

(Disertasi)

Oleh

**YOSEP
NPM 2030011003**



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**PENGEMBANGAN METODE EVALUASI TERINTEGRASI DALAM
PRAKTIK EKONOMI SIRKULAR BERKELANJUTAN: STUDI KASUS
INDUSTRI TAPIOKA UKM DI LAMPUNG**

Oleh

YOSEP

Disertasi

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

Pada

**Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan
Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGEMBANGAN METODE EVALUASI TERINTEGRASI DALAM PRAKTIK EKONOMI SIRKULAR BERKELANJUTAN: STUDI KASUS INDUSTRI TAPIOKA UKM DI LAMPUNG

Oleh

YOSEP

Sistem ekonomi linier dengan pola ambil–buat–buang tidak hanya menguras sumber daya alam dan menimbulkan limbah, tetapi juga gagal menjawab tantangan keberlanjutan. Penerapan ekonomi sirkular menawarkan solusi potensial untuk mengatasi keterbatasan ini, namun implementasinya pada Industri khususnya industri tapioka UKM, masih terbatas dalam menyelaraskan dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan, sehingga capaian keberlanjutannya masih kurang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan model bisnis ekonomi sirkular yang berkelanjutan bagi UKM industri tapioka melalui pendekatan holistik, serta mengoptimalkan keberlanjutan praktik ES melalui evaluasi empat skenario pemanfaatan biogas: *business-as-usual*, *di-flaring*, sebagai bahan bakar proses pengeringan tapioka dan energi listrik.

Penelitian ini menggunakan metode campuran dengan data kualitatif dan kuantitatif. Model bisnis dikembangkan menggunakan pendekatan *Modified Grounded Theory*, sementara evaluasi keberlanjutan dilakukan melalui metode *Life Cycle Sustainability Assessment-Cost Benefit Analysis (LCSA-CBA)* yang mengintegrasikan dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan ke dalam analisis biaya dan manfaat.

Model Output-Input Impact Transactional (OITM) dapat diterapkan pada UKM industri tapioka sebagai kerangka holistik yang mengintegrasikan produksi, pengelolaan limbah, dan penilaian keberlanjutan melalui dashboard berbasis Excel. Analisis skenario menunjukkan bahwa penggunaan biogas untuk pengeringan tapioka (Skenario 2) merupakan opsi paling berkelanjutan dengan kinerja finansial unggul (NPV Rp42,34 miliar, IRR 26,89%, B/C 1,27). Hasil penilaian monetisasi sosial masih menghasilkan manfaat bersih negatif sebesar Rp–726,53 juta, yang terutama dipengaruhi oleh ketimpangan upah serta pembagian kerja berdasarkan gender.”

Kata kunci: Keberlanjutan, Penilaian siklus hidup, ekonomi, lingkungan, analisis manfaat biaya.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED EVALUATION METHOD IN SUSTAINABLE CIRCULAR ECONOMY PRACTICES: A CASE STUDY OF THE SME TAPIOCA INDUSTRY IN LAMPUNG

By

YOSEP

Linear economic systems with a take-make-dispose pattern not only deplete natural resources and generate waste, but also fail to address sustainability challenges. The implementation of circular economy offers a potential solution to overcome these limitations; however, its application in industry, particularly in tapioca SMEs, remains limited in aligning economic, social, and environmental dimensions, resulting in underperforming in sustainability.

This study aims to develop a sustainable circular business model for tapioca SMEs through a holistic approach and optimizing circular economy practices via the evaluation of four biogas utilization scenarios: business-as-usual, flaring, as fuel for tapioca drying processes, and electricity generation.

The study employs a mixed-methods approach combining qualitative and quantitative data. The business model was developed using a Modified Grounded Theory approach, while sustainability evaluation was conducted using Life Cycle Sustainability Assessment–Cost Benefit Analysis (LCSA–CBA), integrating economic, social, and environmental dimensions into cost-benefit analysis.

The Output-Input Impact Transactional (OITM) Model can be applied to small and medium-sized enterprises (SMEs) in the tapioca industry as a holistic framework that integrates production, waste management, and sustainability assessment through an Excel-based dashboard. Scenario analysis indicates that the use of biogas for tapioca drying (Scenario 2) represents the most sustainable option, with superior financial performance (NPV IDR 42,34 billion, IRR 26.89 %, B/C 1.27). However, the results of the social monetization assessment still show a negative net benefit of IDR –726.53 million, primarily driven by wage inequality and gender-based division of labor.”

Keywords: Sustainability, Life cycle assessment, economic, environment, cost-benefit analysis.

Judul Disertasi

**: PENGEMBANGAN METODE EVALUASI
TERINTEGRASI DALAM PRAKTIK
EKONOMI SIRKULAR BERKELANJUTAN:
STUDI KASUS INDUSTRI TAPIOKA UKM
DI LAMPUNG**

Nama Mahasiswa

: Yosep

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2030011003

Program studi

: Program Doktor Ilmu Lingkungan

Fakultas

: Pascasarjana Multidisiplin

MENYETUJUI

1. Promotor



Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T

NIP. 19640106 198803 1 002

2. Co-Promotor



Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, ST, MT

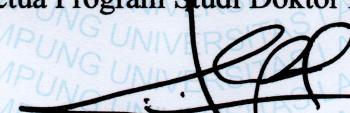
NIP. 19720825 200003 2 001



Prof. Dr. Ir. Zainal Abidin, M.E.S.

NIP. 19610921 198703 1 003

3. Ketua Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan



Prof. Drs. Tugiono, M.Si., Ph.D

NIP. 19641119 199003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Pengaji

Promotor

: Prof. Dr. Eng, Ir. Udin Hasanudin, M.T.



Co-Promotor 1

: Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T



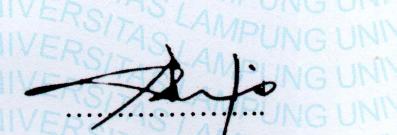
Co-Promotor 2

: Prof. Dr. Ir. Zainal Abidin, M.E.S.



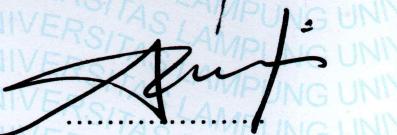
Pengaji Internal

: Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si.



Pengaji Eksternal

: Prof. Dr. Ir. Sarono, M.Si.



2. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung



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

Tanggal Lulus Ujian Disertasi: 23 Oktober 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Disertasi dengan judul : **“PENGEMBANGAN METODE EVALUASI TERINTEGRASI DALAM PRAKTIK EKONOMI SIRKULAR BERKELANJUTAN: STUDI KASUS INDUSTRI TAPIOKA UKM DI LAMPUNG”** adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya orang lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarism.
2. Hak intelektual atas karya ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya, saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, November 2025
Yang membuat pernyataan,



Yosep
NPM 2030011003

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi berjudul **“Pengembangan metode evaluasi terintegrasi dalam praktik ekonomi sirkular: Studi kasus industri tapioka UKM di Lampung”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor Ilmu Lingkungan (DIL) Universitas Lampung. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., ASEAN Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Candra Perbawati, S.H., M.H., selaku Wakil Direktur Pascasarjana Bidang Akademik, Kemahasiswaan dan Alumni Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Fitra Dharma, S.E., M.Si., selaku Wakil Direktur Pascasarjana Bidang Umum Universitas Lampung.
5. Bapak Prof. Drs. Tugiono, MSi., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Lampung.
6. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, MT., selaku Promotor utama, yang dengan segala kesabarannya dan kesediannya untuk memberikan bimbingan mental, semangat, strategi penyelesaikan, masukan, saran dan kritik dalam proses dan penyempurnaan penulisan disertasi ini.
7. Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, ST., MT., selaku ko-promotor atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses dalam proses dan penyempurnaan penulisan disertasi ini.

8. Bapak Prof. Dr. Ir. Zainal Abidin, M.E.S., selaku ko-promotor atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses dan penyempurnaan penulisan disertasi ini.
9. Bapak Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si., selaku penguji internal atas kesediaannya, saran, dan masukan yang diberikan kepada penulis selama penyelesaikan disertasi ini.
10. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarono, M.Si., selaku penguji ekternal atas kesediaannya, saran, dan masukan yang diberikan kepada penulis selama penyelesaikan disertasi ini.
11. Bapak Dr. Ahmadriswan Nasution, S.Si., M.T, Selaku Kepala BPS Provinsi Lampung atas dukungan dan motivasinya untuk menyelesaikan disertasi ini.
12. Ibu Arum Purbowati, SST., selaku atasan langsung di BPS Kota Metro yang selalu mendukung dan memberikan semangat untuk menyelesaikan disertasi ini.
13. Keluarga tercinta, istri Ir. Dwi Tyastuti AN, S.T., M.Sc., serta ananda Zefanya Williams, Samuel Williams, dan Yeanne Lois Williams yang senantiasa memberikan dukungan, doa, dan pengorbanan waktu kebersamaan, terutama ketika penulis harus mengerjakan disertasi ini pada akhir pekan.
14. Ibu Sri Suryanti, selaku ibu mertua atas dorongannya agar dapat menyelesaikan disertasi ini dengan baik.
15. Bapak Ir. Sudjadi, MM, selaku keluarga yang banyak memberikan dukungan dan motivasi untuk menyelesaikan disertasi ini.
16. Ibu Sri Hartini, selaku kolega yang telah memberikan dukungan dan keberanian dalam menulis paper, khususnya atas kebersamaannya mengikuti seminar bersama untuk pertama kalinya tentang *green financing* pada *waste bank*.
17. Bapak Jadiharjo (alm) dan ibu Lilly (almh), selaku orang tua atas keyakinan, pengorbanan dan dorongan beliau agar anaknya terus menempuh pendidikan tinggi.
18. Bapak Yohanes, S.E., selaku adik pertama beserta istri beliau Yuliana SE, dan anak anaknya, Shannon Natasha Williams, Jessica Olivia Willians & Richard Abraham William atas dorongan, doa dan semangatnya dalam mendukung

penyelesaian disertasi ini. Semoga hasil ini dapat menjadi motivasi bagi anak-anak mereka untuk terus berjuang menyelesaikan pendidikannya.

19. Bapak Yulius, S.E., selaku adik kedua, beserta istri beliau Yunita Irnayanti Ustomi, Amd. dan anak-anaknya, Nadine Monica Williams dan Nicolas Mahanain Williams atas dukungan dan doa yang luar biasa sepanjang proses penyusunan disertasi ini.
20. Bapak Lee dan Ibu Won, selaku sahabat yang selalu memberikan dukungan yang luar biasa dan doa.
21. Bapak Pendeta Andreas Simanjuntak dan ibu Joy Lubis yang selalu memberikan dukungan dan doa.
22. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.TP., M.T.A, selaku dosen yang telah memberikan dorongan dan motivasi.
23. Bapak Unang Mulkhan, M.B.A., Ph.D, selaku dosen yang telah memberikan masukan, saran dan kritik.
24. Ibu Reny Andriati, SST, M.E, M.I.D.S, selaku sahabat yang banyak memberikan dukungan dan motivasi.
25. Semua pihak yang telah membantu baik dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan disertasi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan disertasi ini jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis akan menerima saran dan kritik yang bersifat membangun agar disertasi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak

Bandar Lampung, Agustus 2025
Penulis

Yosep

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bogor, Jawa Barat pada tanggal 14 September 1976, sebagai anak tertua dari tiga bersaudara, dari Bapak Jadihardjo Wihardjo (alm) dan Ibu Lilly Tan (almh).

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Mardi Yuana Bogor pada tahun 1988, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 1 Bogor dan lulus pada tahun 1991, serta SMA Negeri 1 Bogor dan lulus pada tahun 1994. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan di Akademi Ilmu Statistik (AIS) Jakarta dan berhasil menyelesaikannya pada tahun 1998. Setelah menyelesaikan pendidikan D3 di AIS, penulis langsung ditempatkan di BPS Kabupaten Lampung Barat. Pada tahun 2001, penulis melanjutkan pendidikan D4 di Sekolah Tinggi Ilmu Statistik (STIS), sekolah kedinasan milik BPS.

Pada tahun 2005, penulis dipindah tugaskan ke BPS Provinsi Lampung. Selanjutnya, pada tahun 2007 penulis menempuh pendidikan S2 pada Program Studi Master jurusan *International and Development Economics* di Australian National University (ANU) dan menyelesaikannya pada tahun 2008. Sejak tahun 2009, penulis kembali ditempatkan di BPS Provinsi Lampung. Pada tahun 2011, penulis dipindah tugaskan ke BPS Kota Bandar Lampung hingga tahun 2012. Sejak tahun 2012 hingga tahun 2024, penulis kembali bertugas di BPS Provinsi Lampung. Terhitung mulai Juli 2024 hingga sekarang, penulis bertugas sebagai Statistisi Ahli Madya di BPS Kota Metro.

Selama menempuh pendidikan doktor di Universitas Lampung, penulis telah mempresentasikan karyanya pada *International Conference on Biomass and*

Bioenergy 2024 yang diselenggarakan pada 5–6 Agustus 2024, dengan judul makalah *Integrating Life Cycle Thinking and Environmental Cost-Benefit Analysis: A Comparative Scenario Analysis of Biowaste Utilization in SMEs of the Tapioca Industry in Lampung, Indonesia*. Prosiding konferensi tersebut telah dipublikasikan di *IOP Earth and Environmental Science* yang terindeks Scopus Q3.

Penulis juga berhasil mempublikasikan penelitian pada jurnal *Circular Economy and Sustainability* yang terindeks Scopus Q1, dengan judul *Unleashing the Sustainable Transition of Circular Economy: A Case Study of SMEs Tapioca Industry in Lampung, Indonesia*. Selanjutnya, penulis menerbitkan tulisan pada jurnal *Applied Environmental Research* yang terindeks Scopus Q3, dengan judul *Monetizing Social Life Cycle Assessment (SLCA): A Case Study in SMEs Tapioca Industry in Lampung, Indonesia*.

.

PERSEMBAHAN

Karya ini kupersembahkan dengan penuh cinta dan rasa syukur kepada:

Ayahandaku terkasih,

Jadiharjo Wiharjo (Alm.) yang telah menanamkan keyakinan kepada saya untuk menempuh studi di luar negeri. Papa telah menorehkan semangat juang yang tak pernah padam, yang senantiasa menerangi kehidupan kami.

Istriku tercinta,

Ir. Dwi Tyastuti Andrias Nirmalawati, ST., M.Sc
yang selalu menjadi sumber kekuatan, doa, dan semangat di setiap langkah perjalanan kehidupan ini.

Anak-anakku tersayang,

Zefanya Williams, Samuel Williams dan Yeanne Lois Williams yang menghadirkan warna, makna dan semangat dalam setiap hari hidupku. Semoga segala perjuangan dan pengorbanan ini menjadi teladan bahwa mimpi dapat diraih dengan kerja keras, doa, dan ketekunan.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
HALAMAN PERSETUJUAN DISERTASI.....	v
PRAKATA.....	viii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
DAFTAR SINGKATAN	xxiv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Keaslian dan Kebaruan.....	5
Novelty (kebaruan) dalam penelitian ini adalah :	5
1.4. Kontribusi Penelitian	7
1.5. Batasan Penelitian Dampak Keberlanjutan	8
1.6. Kerangka Pemikiran	11
1.7. Capaian Penelitian	13
BAB. II TINJAUAN PUSTAKA.....	14
2.1. Konsep Ekonomi Linier.....	14
2.2. <i>Trend</i> Keberlanjutan dan Tantangan Masa Depan	23
2.3. Teori Ekonomi Sirkular: <i>Output - input Connection</i>	26
2.4. Kerangka Bisnis Ekonomi Sirkular Berbasis Penilaian Keberlanjutan.....	36
2.5. Praktek Ekonomi Sirkular dalam Industri Tapioka	38

2.6.	Metode Pengukuran Ekonomi Sirkular Berbasis <i>Life Cycle Thinking</i>	40
2.6.1.	Penilaian daur hidup/ <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA)	40
2.6.2.	Biaya Daur hidup / <i>life cycle costing</i> (LCC).....	41
2.6.3.	Perspektif biaya sosial dalam SLCA	41
2.6.4.	Metode integrasi lingkungan pada model CBA.....	44
2.6.5.	Integrasi model penilaian daur hidup berkelanjutan dengan model pengambilan keputusan.....	47
2.6.6.	Analisis biaya manfaat/ <i>Cost benefit Analysis</i> (CBA)	49
2.7.	Tantangan dan Keterbatasan Model	51
2.7.1.	Kompleksitas monetisasi dampak keberlanjutan	51
2.7.2.	Kesulitan monetisasi dampak sosial manfaat SLCA	55
2.8.	Kerangka Penelitian Studi Kasus	59
2.9.	Identifikasi Manfaat Lingkungan, Ekonomi, dan Sosial	61
2.9.1.	Manfaat lingkungan	61
2.9.2.	Manfaat ekonomi	62
2.9.3.	Kurangnya inisiatif sosial dalam ekonomi sirkular	62
2.10.	Perbandingan Skenario Manajemen Limbah Cair	63
2.11.	Instrumen Hukum dalam Penilaian Ekonomi Karbon.....	66
	BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	68
3.1.	Jenis Penelitian	68
3.2.	Batasan Operasional	69
3.3.	Waktu dan Tempat.....	73
3.4.	Metode Analisis.....	74
3.4.1.	Metodologi model bisnis ekonomi sirkular berbasis penilaian berkelanjutan 74	
3.4.2.	Analisis keberlanjutan; Model integrasi <i>life cycle sustainable assessment</i> (LCFA) dengan analisis biaya-manfaat (CBA)	77
3.5.	Kerangka Valuasi Ekonomi, Lingkungan, dan Sosial	81
3.5.1.	Valuasi ekonomi	81
3.5.2	Valuasi lingkungan	82
3.5.3.	Valuasi dampak Sosial.....	84
3.6.	Analisis Metode Integrasi Lingkungan pada Model CBA	87
3.7.	Asumsi Model Baseline.....	88
3.9.	Analisis Pemanfaatan Biogas dengan Model Keberlanjutan.....	90
3.10.	Validitas, Reliabilitas dan Trianggulasi.....	91

3.11. Analisis Sensitivitas.....	93
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	95
4.1. Karakteristik Objek Penelitian.....	95
4.2. Model Ekonomi Sirkular dengan Penilaian Berkelanjutan	103
4.3. Mengukur dan Mengevaluasi Praktek Ekonomi Sirkular.....	112
4.3.1. Monetisasi analisis siklus hidup sosial (SLCA)	112
4.3.2. Mengukur nilai keberlanjutan.....	117
4.3.3. Analisis sensitivitas.....	124
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	135
5.1. Simpulan.....	135
5.2. Saran	136
DAFTAR PUSTAKA	138
LAMPIRAN	159

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Posisi penelitian dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan	6
2. Konsep pemikiran ekonomi linier menurut periode perkembangannya	18
3. Jenis pendekatan <i>Utama</i> harga untuk monetisasi.....	54
4. Pendekatan metode monetisasi manfaat sosial bagi industri tapioka UKM .	57
5 Definisi operasional variabel.....	70
6. Tahapan koding metode MGT	76
7 Asumsi Baseline dan Skenario Proyek UKM Industri Tapioka.....	89
8 Matrik analisis penghitungan lingkungan dan sosial CBA.....	90
9. Matrix rekapitulasi jenis data, metode pengumpulan data, metode analisa dan keluaran berdasarkan tujuan.....	91
10. Strategi untuk meningkatkan validitas dan reliabilitas	92
11 kategori axial coding dalam sistem produksi dan pengolahan limbah berbasis ekonomi sirkular	104
12. Perbandingan <i>circular impact transaction model</i> (OITM), ekonomi sirkular dan model ekonomi linier	110
13. Monetisasi aspek sosial pada industri UKM tapioka (Ribuan Rupiah)	113
14. Dampak lingkungan dan manfaat tahunan untuk skenario pengurangan emisi (Jutaan Rupiah)	118

15. Analisis manfaat neto berkelanjutan (Jutaan Rupiah).....	120
16. Analisis perbandingan CBA dan inklusi lingkungan CBA (jutaan Rupiah)	122
17. Analisis perbandingan CBA dan inklusi lingkungan sosial CBA (jutaan rupiah)	124
18. Dampak kenaikan upah terhadap tingkat pengembalian internal (IRR).	124
19. Rata-rata IRR dan simpangan baku IRR monte carlo.....	129
20. Produksi listrik dari limbah cair industri tapioka selama setahun.....	179
21. Penghitungan biaya inventory emisi business as usual–Inklusi Sosial 2024	160
22. Penghitungan manfaat per Item business as usual 2024	160
23. Pengeluaran perusahaan per Item <i>business as usual</i> 2024.....	160
24. Besarnya total investasi dengan harga berlaku pada business as usual	161
25. Nilai indikator CBA business as usual, 2024.....	161
26. Hasil Penghitungan NPV business as usual	161
27. Hasil penghitungan IRR business as usual	162
28. Penghitungan biaya inventory emisi hasil Skenario 1 flaring.....	162
29. Penghitungan manfaat per Item Skenario 1 flaring 2024.....	162
30. Pengeluaran per item 2024 Skenario 1 flaring.....	163
31. Besarnya Total investasi dengan harga berlaku pada Skenario 1 flaring....	163
32. Nilai Indikator CBA Skenario 1 (flaring) 2024	163
33. Penghitungan IRR Skenario 1 flaring	164
34. Penghitungan NPV Skenario 1 (flaring)	164
35. Penghitungan CBA inklusi sosial dan lingkungan Skenario 2.....	165
36. Besarnya manfaat harga berlaku pada Skenario 2	165
37. Pengeluaran per Item 2024 pada Skenario 2.....	165
38. Besarnya Total investasi dengan harga berlaku pada Skenario 2	166

39. Nilai Indikator CBA Skenario 2.....	166
40. Penghitungan IRR Skenario 2.....	166
41. Penghitungan NPV Skenario 2.....	167
42. Penghitungan emisi karbon ekuivalen Skenario 3 untuk listrik.....	168
43. Besarnya manfaat harga berlaku pada Skenario 3	168
44. Pengeluaran per Item 2024 Skenario 3	168
45. Besarnya total investasi dengan harga berlaku pada Skenario 3.....	169
46 Nilai indikator CBA Skenario 3.....	169
47. Penghitungan IRR Skenario 3	169
48. Penghitungan NPV Skenario 3.....	170
49. Penghitungan Manfaat ekonomi CBA Lingkungan Business As Usual	170
50. Besarnya Total investasi dengan harga berlaku pada BAU	171
51. Penghitungan NPV CBA Lingkungan BAU	171
52. Penghitungan IRR BAU pada CBA Inklusi Lingkungan	172
53. Penghitungan manfaat ekonomi CBA lingkungan SKENARIO 1 (SATU)	172
54. Besarnya total investasi dengan harga berlaku pada Skenario 1.....	173
<u>55. Penghitungan NPV CBA lingkungan - Skenario 1</u>	<u>173</u>
56. Penghitungan IRR CBA lingkungan - Skenario 1 (SATU)	174
57. Penghitungan manfaat ekonomi CBA lingkungan Skenario 2 (Dua)	174
58. Besarnya Total investasi dengan harga berlaku pada Skenario 2	175
59. Penghitungan NPV CBA lingkungan - Skenario 2	175
60. Penghitungan IRR CBA lingkungan - Skenario 2	176
61. Penghitungan manfaat ekonomi CBA tingkungan Skenario 3 (Tiga)	176
62. Besarnya total investasi dengan harga berlaku	177

63. Penghitungan NPV CBA lingkungan - Skenario 3	177
64. Penghitungan IRR CBA lingkungan - Skenario 3	178
65. Kesesuaian antara temuan lapangan dan konsep Circulare Economy dalam Butterfly Diagram	180
66. Kesesuaian antara temuan lapangan dan konsep Circulare Economy Model Biogas Cycle	181
67. Kesesuaian antara temuan lapangan dan konsep Circulare Economy Simplified Model	182
68. Validasi Empiris Sistem Produksi dan Limbah melalui Pattern Matching..	183

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Ruang lingkup sistem dari penilaian siklus hidup sosial dan keterlibatan pemangku kepentingan	10
2. Alur kerangka pikir penelitian, adaptasi dari model LCA 14040	12
3. Model linier ekonomi/ konvensional diadopsi dari (Pearce dan Turner, 1990).	22
4. Siklus tertutup : Sebuah sistem ekonomi melingkar yang bisa memperbarui dirinya sendiri dan lebih berkelanjutan, serta titik pertemuan antara ekonomi sirkular ini dengan ekonomi linier (Stahel 2006).....	28
5. Decoupling sumber daya dan decoupling dampak (UNEP 2011)	30
6. Diagram kupu-kupu untuk memvisualisasikan ekonomi sirkular (Ellen MacArthur Foundation, 2015)	32
7. Diagram yang mengilustrasikan keberlanjutan (Purvis et al., 2019) (Barbier, 1987).	34
8. Kerangka kerja penilaian daur hidup (LCA) adaptasi ISO 14040	40
9. Hasil studi aspek sosial dalam perspektif daur hidup (Siebert et al., 2018;UNEP 2020;Manik et al.,2013)	43
10. Diagram alur tatalaksana penelitian berbasis “case study protocol” (Yin 2018).	60
11. Skenario pemanfaatan pengolahan limbah cair diadaptasi dari (Grabert, 2022).	65
12. Tahapan <i>modified grounded theory</i> diadaptasi dari (Williams dan Moser 2019)	75

13. Skema analisis penelitian yang diadaptasi dari ISO14044; (Lam et al.,2018)	79
14. Skema industri pengolahan tapioka	98
15. Responden pekerja berdasarkan tingkat pendidikan	101
16. Responden pekerja berdasarkan jenis kelamin	102
17. Responden pekerja berdasarkan usia	103
18. Kerangka system Output-input Impact Transaction Model (OITM) yang mencakup dampak ekonomi, sosial, dan lingkungan dalam ekonomi sirkular adaptasi (European Environment Agency 2016).	108
19. Hasil uji One-At-A-Time (OAT) sensitivity analysis.....	126
20. Monte carlo simulation pada pengaruh peningkatan gaji terhadap IRR	128
21. Monte carlo simulation pada pengaruh peningkatan gaji terhadap IRR	130

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran A. Hasil Penghitungan dengan program reduksi emisi-ex post (ER).	184
Lampiran B Koding uji <i>One-At-A-Time (OAT) sensitivity analysis</i> dengan Phyton	194
Lampiran C Koding uji sensitivity analysis simulasi dengan montecarlo dengan Phyton	194
Lampiran D Kuesioner pelaksanaan lapangan.....	196
Lampiran E Halaman depan Paper yang telah dipublikasikan.....	209

DAFTAR SINGKATAN

<i>ABM</i>	: Analisis Biaya Manfaat (<i>Cost Benefit Analysis</i>)
<i>BCR</i>	: <i>Benefit Cost Ratio</i> (Rasio Manfaat Biaya)
<i>CBA</i>	: Cost Benefit Analisis (Analisis Biaya Manfaat)
<i>CE</i>	: <i>Circular Economy</i>
<i>ES</i>	: Ekonomi Sirkular
<i>IRR</i>	: <i>Internal Rate of Return</i>
<i>BAU</i>	: <i>Business as Usual</i>
<i>ESG</i>	: <i>Environment, Social, and Good Governance</i>
<i>OITM</i>	: <i>Output-Input Impact transactional Model</i>
<i>LCA</i>	: <i>Life Cycle Assessment</i> (Penilaian Daur Hidup)
<i>LCC</i>	: <i>Life Cycle Costing</i>
<i>SME</i>	: <i>Small Medium Enterprise</i>
<i>NPV</i>	: <i>Net Present Value</i>
<i>PDH</i>	: Penilaian Daur Hidup (<i>Life cycle Assessment</i>)
<i>SDGs</i>	: Sustainable Development Goal
<i>SLCA</i>	: <i>Social Life Cycle Assessment</i>
<i>TBL</i>	: <i>Tripple Bottom Line</i>
<i>TPB</i>	: Tujuan Pembangunan Berkelanjutan
<i>UKM</i>	: Usaha Kecil Menengah

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Alur produksi tradisional umumnya mengikuti pola ekonomi linier “ambil–buat–buang” (Chung & Phuong, 2023; Pearce dan Turner, 1990). Pola ini pada dasarnya melanjutkan logika ekonomi klasik yang menitikberatkan pada peningkatan output dari input tanpa memperhitungkan siklus material maupun dampak lingkungan.

Pendekatan ini dipandang efisien dalam jangka pendek karena menekankan pada peningkatan output melalui optimalisasi input seperti tenaga kerja, modal, dan lahan. Namun, pendekatan tersebut terbukti tidak mampu menjawab tantangan-tantangan keberlanjutan global seperti perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan eksploitasi sumber daya alam (Burns, 2011). Pandangan linier yang terefleksi dalam teori produksi klasik telah membentuk fondasi sistem ekonomi modern yang cenderung mengandalkan praktik ekstraktif dan eksplotatif (McDonough dan Braungart, 2002).

Berdasarkan sejarah, ekonomi linier dapat dibagi ke dalam dua fase utama. Fase pertama, ekonomi linier awal (hingga sekitar 1850), didominasi oleh pandangan optimistik terhadap kelimpahan sumber daya dan pertumbuhan tanpa batas. Pandangan ini dipelopori oleh para ekonom klasik seperti Smith(1902), dalam *The Wealth of Nations*, menekankan efisiensi melalui spesialisasi dan pembagian kerja; Ricardo (1821), melalui teori keunggulan komparatif, menunjukkan efisiensi dalam perdagangan internasional; sedangkan Marshal (1890) menekankan skala ekonomi sebagai sumber efisiensi produksi. Namun, ketiganya cenderung mengabaikan dampak eksternal dari proses produksi dan distribusi, termasuk polusi, limbah, dan kerusakan lingkungan. Dengan demikian,

teori produksi klasik tidak hanya lahir dari kerangka ekonomi linier, tetapi juga turut memperkuat dan melegitimasi hingga era modern.

Fase kedua, ekonomi linier lanjutan (sekitar 1850–1970-an), mulai menyadari adanya kelangkaan dan eksternalitas. Tokoh-tokoh seperti Harold Hotelling dan Robert Solow menyoroti keterbatasan sumber daya alam serta dampak jangka panjang dari pertumbuhan ekonomi. Hotelling mengusulkan mekanisme pajak untuk mengatur laju eksplorasi, sementara Solow menekankan pentingnya investasi modal untuk mempertahankan pertumbuhan saat sumber daya menipis. Pemikiran Pigou (1920) dan Coase (1960) lebih lanjut menekankan pentingnya internalisasi eksternalitas melalui instrumen seperti pajak lingkungan atau negosiasi privat, namun efektivitasnya masih dipertanyakan, terutama karena resistensi industri, biaya transaksi tinggi, dan ketidakpastian regulasi.

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, model ekonomi linier mendorong eksplorasi sumber daya secara masif, menghasilkan akumulasi limbah, dan mempercepat degradasi ekologis. Dampaknya tercermin dari tren kenaikan suhu global sebesar $0,18^{\circ}\text{C}$ per dekade sejak 1981 (Ali *et al.*, 2020), dan jejak kerusakan lingkungan yang menandai era *Anthropocene* (Crutzen dan Stoerme, 2000). Penelitian tentang *planetary boundaries* (Rockström *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2015) yang menegaskan juga bahwa aktivitas ekonomi manusia telah melampaui ambang batas yang aman bagi stabilitas sistem bumi.

Sebagai respons terhadap ancaman lingkungan yang menguat, masyarakat global menyepakati Agenda 2030 dan 17 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB), termasuk tujuan TPB nomor 12 tentang konsumsi dan produksi yang berkelanjutan (IIASA, 2018). TPB menekankan pentingnya keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi, keberlanjutan ekologis, dan kesejahteraan sosial. Pemerintah memegang peran sentral dalam merumuskan regulasi, menetapkan standar lingkungan, serta memastikan transisi menuju ekonomi rendah karbon. Dalam sektor swasta, kerangka ESG (*Environmental, Social, and Governance*) semakin diadopsi sebagai tolok ukur kinerja keberlanjutan perusahaan, yang mendorong transparansi, akuntabilitas, dan inovasi ramah lingkungan (Aydoğmuş *et al.*, 2022; Mohammad dan Wasiuzzaman, 2021).

Namun, pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (TPB) maupun penerapan prinsip *Environmental, Social, and Governance (ESG)* akan sulit terwujud selama sistem ekonomi global masih beroperasi dalam paradigma linier yang eksploratif dan tidak regeneratif. Dalam konteks ini, ekonomi sirkular tidak hanya hadir sebagai alternatif, melainkan sebagai pendekatan transformatif yang menawarkan pembaruan mendasar terhadap sistem produksi dan konsumsi. Ekonomi sirkular menekankan prinsip desain ulang, penggunaan kembali, dan daur ulang (*reduce, reuse, recycle*), serta mengintegrasikan aspek keberlanjutan sejak tahap perancangan produk (Rahee dan Sarker, 2024). Pendekatan ini tidak hanya berkontribusi dalam menekan emisi dan limbah, tetapi juga menciptakan nilai tambah, mendorong inovasi hijau, dan memperkuat daya saing ekonomi jangka Panjang (Antonioli *et al.*, 2022).

Penerapan ekonomi sirkular menjadi sangat relevan bagi sektor UKM, termasuk industri tapioka yang banyak bergantung pada sumber daya alam dan tekanan lingkungan. Transisi menuju ekonomi sirkular di sektor UKM berpotensi mempercepat pencapaian TPB, memperkuat kinerja ESG, dan menciptakan sistem ekonomi yang lebih tangguh, adil, dan berkelanjutan.

Sayangnya, sebagian besar model ekonomi sirkular saat ini masih menghadapi keterbatasan dalam mengintegrasikan pengukuran keberlanjutan secara holistik. Integrasi *Life cycle Assessment (LCA)*, *Life Cycle Costing (LCC)*, dan *Social Life Cycle Assessment (SLCA)* dalam satu kerangka evaluatif yang terpadu masih jarang ditemukan, begitu pula dengan monetisasi dampak sebagai dasar analisis biaya-manfaat. Selain itu, ketiadaan mekanisme umpan balik dinamis dan minimnya perhatian pada unit mikro, khususnya UKM di sektor agroindustri seperti tapioka, menghambat efektivitas penerapan sirkularitas di tingkat lokal. Kondisi ini menegaskan urgensi pendekatan yang lebih adaptif dan terstruktur dalam transformasi menuju ekonomi sirkular.

Penelitian ini mengeksplorasi kelayakan pendekatan baru dalam produksi berbasis ekonomi sirkular melalui pengembangan sistem evaluasi yang terintegrasi. Ekonomi sirkular tidak hanya relevan untuk perusahaan besar, tetapi juga krusial diterapkan pada level UKM yang menjadi tulang punggung perekonomian nasional, termasuk dalam rantai pasok industri tapioka (Aladin *et al.* 2021; Ariesta Susilo,

2018). Dalam konteks ini, dibutuhkan indikator berbasis integrasi dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi serta konversinya ke dalam satuan moneter untuk menilai kelayakan penerapan sirkularitas secara sistematis, adaptif, dan kontekstual di level mikro.

1.2. Perumusan Masalah

Pendekatan linier dalam pengelolaan bisnis sering kali tidak mempertimbangkan tantangan besar keberlanjutan seperti perubahan iklim dan transisi energi, dan eksploitasi sumber daya alam (Thuy, 2023; Tu *et al.*, 2020). Ekonomi linier lebih fokus pada keuntungan ekonomi jangka pendek tanpa memperhatikan dampak lingkungan dan sosial yang lebih luas (Li *et al.*, 2021; Trollman *et al.*, 2021).

Sebagai respons terhadap kelemahan tersebut, konsep ekonomi sirkular mulai diperkenalkan dan diimplementasikan secara bertahap di berbagai sektor. Ekonomi sirkular menawarkan paradigma yang menekankan efisiensi pengelolaan sumber daya, pengurangan limbah, dan penciptaan nilai ekonomi secara berkelanjutan. Namun, penerapannya pada industri, khususnya UKM di sektor tapioka, masih terbatas dalam menyelaraskan dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan, sehingga capaian keberlanjutannya masih kurang optimal.

Perkembangan ekonomi sirkular juga belum diikuti oleh ketersediaan kerangka penilaian keberlanjutan yang komprehensif dan terukur, yang mampu mengintegrasikan prinsip ekonomi sirkular dengan metode sustainability assessment secara utuh (Walzberg *et al.*, 2021; Ferasso *et al.*, 2020).

Kesenjangan ini berdampak pada sulitnya pelaku usaha, terutama Usaha Kecil dan Menengah (UKM), untuk memenuhi target-target keberlanjutan, seperti Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB) 12 dan prinsip *Environmental, Social, and Governance* (ESG).

Penelitian yang ada saat ini masih minim dalam menyediakan bukti yang dapat diandalkan untuk mengevaluasi dampak ekonomi sirkular di tingkat UKM dengan menggunakan skenario nyata, seperti perhitungan dampak polusi yang dihasilkan dari berbagai metode skenario pemanfaatan limbah dan dapat digunakan untuk mengambil keputusan. Dengan demikian, hingga saat ini belum ada penelitian yang

secara terpadu menilai implementasi skenario ekonomi sirkular pada UKM yang mencakup pengurangan emisi, keberlanjutan sosial, dan efisiensi ekonomi sekaligus. Padahal, industri tapioka sebagai bagian dari sektor agribisnis memiliki potensi besar untuk dioptimalkan melalui pendekatan ini, sehingga diperlukan pengembangan kerangka evaluasi yang dapat menjembatani kesenjangan tersebut. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini merumuskan dua pertanyaan utama:

1. Bagaimana merumuskan model bisnis ekonomi sirkular yang berkelanjutan pada UKM industri tapioka?
2. Bagaimana memoptimalkan keberlanjutan praktik ekonomi sirkular pada industri UKM tapioka ?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan riset terkait penerapan ekonomi sirkular pada UKM, khususnya dalam industri tapioka. Secara detail penelitian ini bertujuan untuk :

1. Merumuskan model bisnis ekonomi sirkular yang berkelanjutan bagi industri tapioka UKM, dengan pendekatan holistik yang mempertimbangkan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan.
2. Mengoptimalkan keberlanjutan praktik ekonomi sirkular pada industri tapioka UKM melalui evaluasi empat skenario pemanfaatan biogas: *business-as-usual*, diflaring, bahan bakar proses pengeringan tepung, dan Listrik dengan metode penilaian terintegrasi berbasis ekonomi, sosial, dan lingkungan.

1.4. Keaslian dan Kebaruan.

Novelty (kebaruan) dalam penelitian ini adalah :

1. Kerangka model bisnis baru pada industri tapioka UKM menghadirkan kebaruan dengan mengintegrasikan proses bisnis gate-to-gate, prinsip ekonomi sirkular, keberlanjutan, dan monitoring serta evaluasi melalui dashboard Excel dalam satu sistem terpadu.
2. Metode penilaian terintegrasi dalam praktik ekonomi sirkular berkelanjutan di industri tapioka UKM yang berbasis ekonomi, sosial dan lingkungan.

3. Dashboard keberlanjutan yang berfungsi sebagai alat visualisasi interaktif yang menyajikan hasil analisis dan CBA secara komprehensif melalui grafik, tabel, dan indikator visual yang mudah dipahami.

Sebagai bahan perbandingan dengan penelitian lain berikut disampaikan posisi penelitian terhadap penelitian lainnya seperti pada Tabel 1. Berikut:

Tabel 1. Posisi penelitian dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan

No	Peneliti dan Judul	Aspek yang diteliti								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
1.	(Lam <i>et al.</i> 2018) <i>Life-cycle cost-benefit analysis on sustainable food waste management: The case of Hong Kong International Airport</i>	✓	✓	✓	✓					
2	(Gigli, Landi, and Germani 2019) <i>Cost-benefit analysis of a circular economy project: a study on a recycling system for end-of-life tyres</i>	✓	✓		✓	✓	✓			✓
3	(García-Sánchez and Güereca 2019) Environmental and social life cycle assessment of urban water systems: The case of Mexico City.				✓	✓				
4.	(Pérez-López <i>et al.</i> , 2018) Sustainability Assessment of Blue Biotechnology Processes: Addressing Environmental, Social and Economic Dimensions			✓	✓	✓	✓			*
5.	(Zhou <i>et al.</i> , 2019) Model development of sustainability assessment from a life cycle perspective: A case study on waste management systems in China			✓	✓	✓				
6.	(E. Mancini dan Raggi, 2021) A review of circularity and sustainability in anaerobic digestion processes	✓		✓	✓	✓	✓			1
7.	(Colley <i>et al.</i> 2020) Using a gate-to-gate LCA to apply circular economy principles to a food processing SME	✓				✓				✓
8.	(Gluch dan Baumann, 2004) The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making Pernilla				✓			✓		

Lanjutan tabel 1

No	Peneliti dan Judul	Aspek yang diteliti								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
9.	(Comăniță <i>et al.</i> , 2017) Application of Cost-Benefit Analysis for an Eco-Product Manufactured from Production Waste	✓	✓	✓	✓	✓				
10	(Backes and Traverso 2021) Application of Life Cycle Sustainability Assessment in the Construction Sector: A Systematic Literature Review				✓	✓	✓			
11.	(Velden <i>et al.</i> , 2017) Monetisation of external socio-economic costs of industrial production: A social-LCA-based case of clothing production Natascha				✓	✓	✓	✓		
12.	(Luthin <i>et al.</i> , 2024) Circular life cycle sustainability assessment: An integrated framework				✓	✓	✓	✓		
13.	(Elia <i>et al.</i> , 2024) Integrating circular economy and sustainability assessment on the micro-level: An umbrella review				✓	✓		✓	✓	
14.	(Langen <i>et al.</i> , 2021) Circular Economy and the Transition to a Sustainable Society:				✓	✓	✓	✓	✓	
15.	Integrated Assessment Methods for a New Paradigm (Sining <i>et al.</i> , 2024) <i>Monetization of Sustainability Indicators</i> <i>Integrating Willingness to Pay into Life Cycle Sustainability Assessment</i>				✓	✓	✓	✓	✓	
16.	Kajian Disertasi ini				✓	✓	✓	✓	✓	✓

Keterangan: A =Ekonomi Sirkular; B= Moneter; C=Sosial; D= Ekonomi; E=Lingkungan; F: CBA; G=Tapioka; H: UKM; I Pendekatan empiris berbasis Model

¹CBA terbatas untuk dimensi ekonomi

1.4. Kontribusi Penelitian

Penelitian ini berkontribusi dalam mengembangkan paradigma produksi berkelanjutan dengan mengintegrasikan ekonomi sirkular berbasis keberlanjutan ke dalam model produksi tradisional. Model penilaian yang dikembangkan tidak

hanya menjadi instrumen akademik, tetapi juga memberikan manfaat langsung bagi akademisi, pelaku usaha, investor dan regulator.

1. Bagi akademisi, model ini memberikan kontribusi dalam pengembangan teori ekonomi sirkular dan keberlanjutan dengan menawarkan pendekatan evaluasi yang lebih komprehensif. Melalui penghitungan dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan secara moneter, penelitian ini memperkaya literatur akademik serta menyediakan metode analisis yang dapat digunakan dalam studi keberlanjutan dan ekonomi sirkular. Dengan demikian, model ini tidak hanya mendukung kajian akademis dalam memahami dinamika transisi menuju ekonomi hijau.
2. Bagi pelaku usaha, khususnya UKM di industri tapioka, model ini membantu mengidentifikasi efisiensi sumber daya, mengurangi limbah, serta meningkatkan daya saing melalui praktik keberlanjutan. Selain itu, penerapan model ini dapat meningkatkan akses mereka terhadap pendanaan hijau dan menarik minat investor yang semakin berorientasi pada prinsip *environmental, social, and governance* (ESG).
3. Bagi regulator, model ini berfungsi sebagai alat evaluasi kebijakan yang lebih terukur dalam mendorong praktik ekonomi sirkular. Dengan pendekatan berbasis data, regulator dapat merancang kebijakan yang lebih efektif, memberikan insentif bagi usaha berkelanjutan, serta meningkatkan transparansi dan akuntabilitas industri.

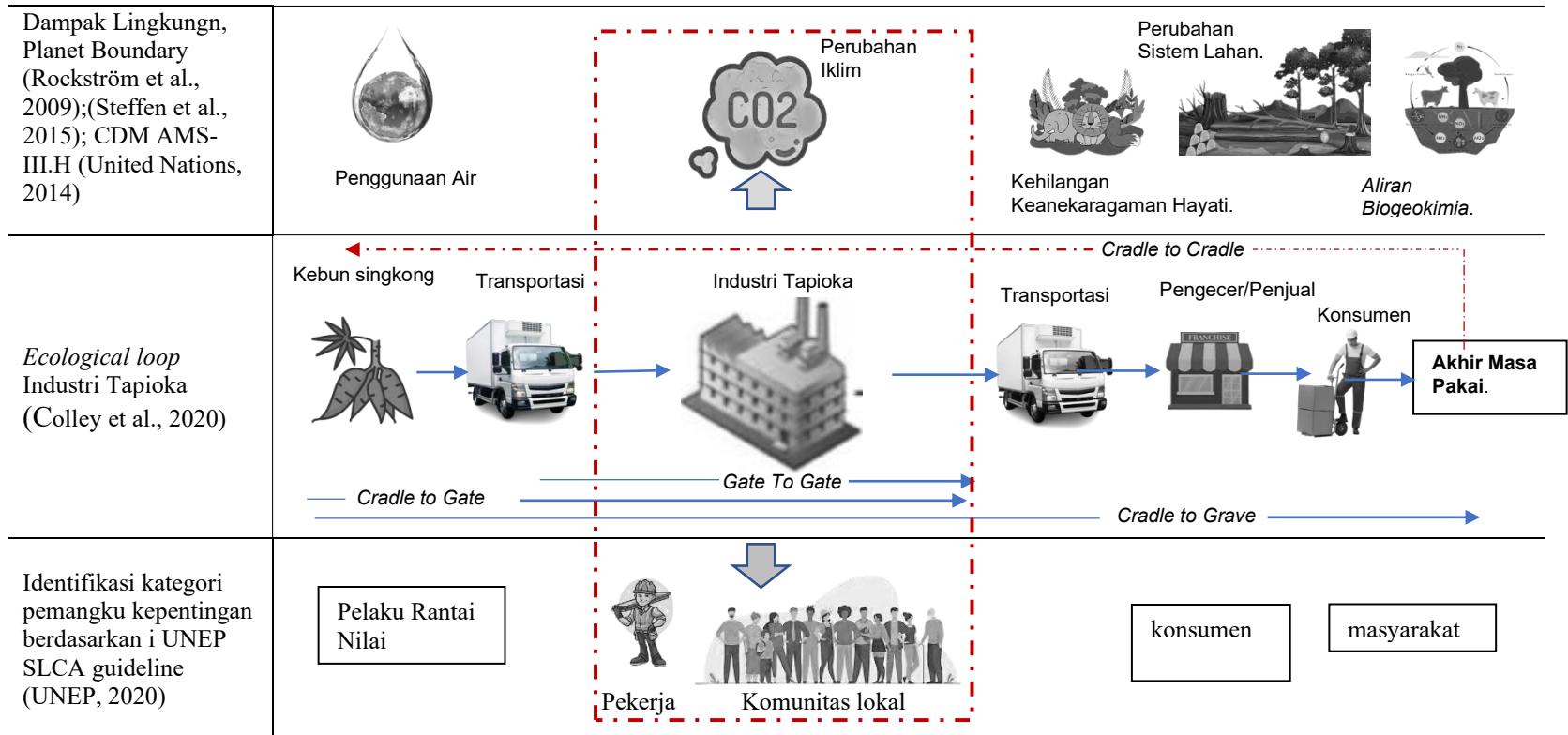
1.5. Batasan Penelitian Dampak Keberlanjutan

Batasan system pada penelitian ini adalah

- Ruang lingkup spasial dan dampak ekonomi: hanya mengkaji *gate-to-gate* dari pengolahan singkong menjadi tapioka.
- Ruang lingkup dampak lingkungan: hanya menghitung *carbon equivalent* atau *GHG emissions*, tidak termasuk air, tanah, toksisitas, dll.
- Ruang lingkup dampak sosial: dievaluasi berdasarkan UNEP S-LCA namun tidak mencakup seluruh dimensi SLCA termasuk dampaknya terhadap kesejahteraan masyarakat dan pekerja.

Idealnya, LCA mencakup setiap tahap dalam siklus hidup suatu produk dari pengambilan bahan mentah hingga tahap akhir pembuangan atau daur ulang (*cradle to grave*). Meski begitu, penilaian juga dapat difokuskan hanya pada bagian tertentu dari proses tersebut, seperti dalam pendekatan *gate-to-gate* (Colley *et al.*, 2020; Pražanová *et al.*, 2025) dengan tujuan untuk melakukan analisis mendalam pada tahap tertentu untuk mengidentifikasi peluang optimasi dan mengurangi dampak lingkungan secara lebih efektif (Ilgin dan Gupta, 2010).

seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Ruang lingkup sistem dari penilaian siklus hidup sosial dan keterlibatan pemangku kepentingan gate-to-gate (Colley et al., 2020;Yosep et al., 2024)

1.6. Kerangka Pemikiran

Untuk mencapai tujuan penelitian, tahapan kegiatan dirancang secara sistematis sebagai berikut.

Tahap pertama dimulai dengan perumusan masalah dan tujuan, yaitu mengidentifikasi kesenjangan riset mengenai penerapan ekonomi sirkular pada UKM industri tapioka serta menetapkan arah penelitian yang berfokus pada pengembangan model bisnis berkelanjutan.

Tahap kedua adalah pemilihan studi kasus pada UKM tapioka yang telah atau sedang menerapkan praktik sirkular, seperti pemanfaatan limbah cair menjadi biogas. Studi kasus ini memberikan konteks empiris bagi penerapan model.

Tahap ketiga mencakup pengembangan model ekonomi sirkular berkelanjutan yang mengintegrasikan dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan.

Tahap keempat merumuskan skenario optimalisasi, yaitu Business as Usual (BAU), flaring, pemanfaatan biogas untuk pengeringan tepung, dan pemanfaatan biogas untuk pembangkitan listrik. Skenario ini berfungsi sebagai dasar perbandingan strategi sirkular.

Tahap kelima adalah inventori data, yang diklasifikasikan ke dalam tiga dimensi utama yaitu; ekonomi, sosial, dan lingkungan sebagai input terstruktur sesuai prinsip *triple bottom line*.

Tahap keenam melakukan penilaian dampak berdasarkan inventori, sehingga setiap skenario dapat dievaluasi secara kuantitatif.

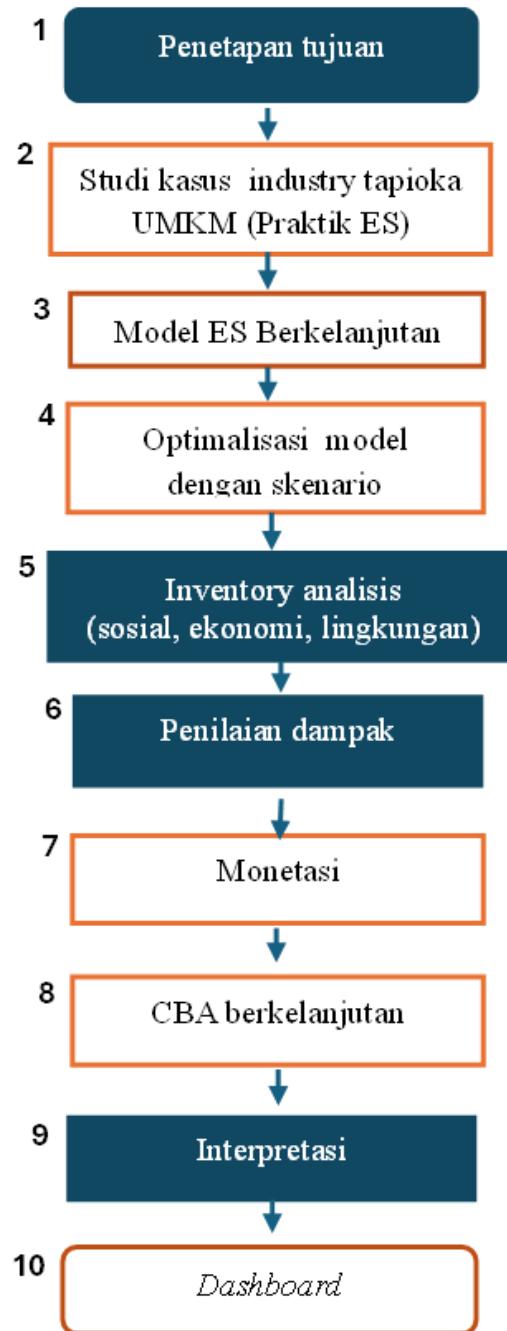
Tahap ketujuh adalah monetisasi dampak, yang mengonversi hasil penilaian ke dalam satuan moneter agar evaluasi lintas dimensi dapat dilakukan secara seragam.

Tahap kedelapan malakukan analisis biaya-manfaat berkelanjutan (*sustainable CBA*) untuk mengukur keuntungan maupun kerugian bersih dari setiap skenario, termasuk trade-off antar dimensi keberlanjutan.

Tahap kesembilan berfokus pada interpretasi hasil, dengan mengidentifikasi sinergi, potensi perbaikan, serta relevansi temuan terhadap pengembangan model OITM.

Tahap kesepuluh adalah penyusunan dashboard interaktif untuk menyajikan hasil analisis dalam bentuk visualisasi grafis, tabel, dan indikator sederhana, sehingga menjadi sarana komunikasi yang efektif bagi pemangku kepentingan UKM tapioka.

Seluruh rangkaian ini menghasilkan model OITM sebagai kerangka evaluasi keberlanjutan praktik ekonomi sirkular seperti pada Gambar 2.



Keterangan: Bagian yang berwarna biru menunjukkan kerangka *Life Cycle Assessment* (LCA) hasil adaptasi ISO 14040 ([UNEP 2020](#))

Gambar 2. Alur kerangka pikir penelitian, adaptasi dari model LCA 14040

1.7. Capaian Penelitian

Beberapa capaian hasil penelitian antara lain:

1. Publikasi *Conference proceeding* pada *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* terindex scopus Q3 dengan Judul *Integrating Life Cycle Thinking and Environmental Cost-Benefit Analysis: A Comparative Scenario Analysis of Biowaste Utilization in SMEs of the Tapioca Industry in Lampung, Indonesia. Volume 1513, pages 1-16 (2025)*.
2. Publikasi penelitian pada jurnal *Circular Economy and Sustainability* terindex scopus Q1 dengan judul *Unleashing the Sustainable Transition of Circular Economy: A Case Study of SMEs Tapioca Industry in Lampung, Indonesia. Volume 4, pages 3119–3138, (2024)*.
3. Publikasi penelitian pada journal *Applied Environment Research* terindeks scopus Q3 dengan judul *Monetizing Social Life Cycle Assessment (SLCA): A Case Study in SMEs Tapioca Industry in Lampung, Indonesia Vol (46) No. 1 (2024)*.

BAB. II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Ekonomi Linier

Sejak era Revolusi Industri, model ekonomi linier telah menjadi paradigma dominan dalam sistem produksi barang dan jasa. Model ini beroperasi melalui alur sederhana: eksploitasi sumber daya alam, konversi menjadi produk yang diperdagangkan untuk memperoleh keuntungan, dan pembuangan residu atau produk yang telah mencapai akhir masa pakainya (Chung dan Phuong, 2023). Model linier disebut juga sebagai model *Cradle to Grave* (McDonough dan Braungart, 2002).

Konsep ekonomi linier sejatinya tidak secara eksplisit muncul dalam pemikiran ekonomi klasik, tetapi merupakan konstruksi modern yang digunakan untuk mengkaji secara kritis pengaruh teori produksi klasik terhadap cara pandang ekonomi modern. Teori-teori tersebut berakar pada pendekatan reduksionis dan antroposentris yang memandang sumber daya alam semata sebagai input produksi, sementara output diukur terutama dari nilai pasarnya.

Akar ekonomi linier ini terbentuk dari konteks sejarah, khususnya perubahan struktural besar sejak Revolusi Industri. Pada masa itu, kemajuan teknologi memicu produksi massal berskala besar, dan sumber daya alam dipandang melimpah sebagai pemasok material mentah bagi pertumbuhan ekonomi (Burns, 2011).

Dalam situasi seperti ini, muncul cara pandang baru sebagai konsep linier, yakni keyakinan bahwa proses ekonomi berjalan satu arah—dari ekstraksi, hingga pembuangan. Para ekonom klasik seperti Adam Smith (1776), David Ricardo (1817), dan Alfred Marshall (1890), yang merumuskan teori produksi di tengah arus perubahan tersebut, secara tidak langsung menyerap konsep linier ini ke dalam

analisis mereka. Mereka menekankan hubungan antara input utama yaitu: tenaga kerja, modal, dan lahan untuk menghasilkan output. Dengan demikian, teori produksi klasik tidak hanya lahir dalam kerangka ekonomi linier, tetapi juga turut memperkuat dan melegitimasi sistem ekonomi linier yang bertahan hingga era modern.

Adam Smith (1776) dalam *The Wealth of Nations* menekankan pentingnya pembagian kerja dan spesialisasi dalam meningkatkan produktivitas serta efisiensi ekonomi. Konsep *invisible hand* atau "tangan tak terlihat" menggambarkan bagaimana kepentingan individu secara tidak langsung dapat mendorong kesejahteraan sosial melalui mekanisme pasar bebas. Dalam proses produksi, terjadi *economies of scale*, di mana biaya produksi menurun seiring dengan meningkatnya volume produksi. Smith juga memahami bahwa biaya ekstraksi sumber daya alam berpengaruh terhadap harga barang, meskipun ia tidak secara eksplisit menggunakan istilah modern seperti "kelangkaan sumber daya" (Smith, 1902).

Sejalan dengan Smith, David Ricardo (1821) menekankan bahwa peningkatan produksi memerlukan tambahan tenaga kerja atau modal, yang dapat mempengaruhi harga. Ricardo juga mengembangkan teori hukum hasil yang semakin berkurang (*law of diminishing returns*), yang menyatakan bahwa jika salah satu faktor produksi terus ditingkatkan sementara faktor lainnya tetap, tambahan output yang dihasilkan akan semakin kecil. Selain itu, Ricardo menggarisbawahi bagaimana perdagangan internasional, melalui keunggulan komparatif, dapat meningkatkan efisiensi dan memberikan manfaat bagi konsumen dengan harga yang lebih rendah serta akses terhadap barang yang sulit diperoleh di dalam negeri.

Sementara itu, Alfred Marshall mengembangkan teori *economies of scale* lebih lanjut dan memperkenalkan konsep jangka pendek dan jangka panjang dalam produksi. Ia menekankan pentingnya inovasi dan teknologi dalam meningkatkan efisiensi produksi serta menyoroti peran pasar dalam menyelaraskan penawaran dan permintaan. Berbeda dengan Smith dan Ricardo yang lebih berfokus pada efisiensi produksi dan perdagangan, Marshall memperhatikan aspek biaya sosial serta efek eksternal dari aktivitas ekonomi (Marshall, 1890).

Namun, seiring perkembangan teori produksi tradisional yang menitikberatkan pada efisiensi dan pertumbuhan, muncul kekhawatiran akan kelangkaan sumber daya alam yang tidak terbarukan. Hal ini kemudian menjadi sorotan dalam teori ekonomi sumber daya, seperti yang dikemukakan oleh Harold Hotelling dan Robert Solow. Harold Hotelling (1931) dalam artikelnya *The Economics of Exhaustible Resources* menyatakan bahwa eksloitasi sumber daya alam yang tidak terbarukan secara berlebihan dan terlalu cepat akan menyebabkan kelangkaan di masa depan serta merugikan generasi mendatang. Ia mengkritik kebijakan konservasi yang bersifat membatasi produksi secara langsung. Sebagai solusi, ia menyarankan penggunaan pajak atas eksloitasi sumber daya alam (Hotelling 1991).

Sejalan dengan pemikiran Hotelling, dalam tulisannya yang berjudul “*The Economics of Resources or the Resources of Economics*”, Solow (1974) menyoroti kekhawatiran akan kelangkaan sumber daya alam yang tidak terbarukan sebagai dampak dari pertumbuhan ekonomi dan industrialisasi (Solow, 1974). Demikian pemikiran Solow memperkuat argumen bahwa kelangkaan sumber daya alam bukan sekadar persoalan teknis produksi, tetapi juga menyangkut distribusi manfaat dan beban antar generasi.

Sementara itu, dalam jalur kajian yang berbeda, Arthur Pigou kemudian memperluas gagasan Marshall dengan mengembangkan konsep eksternalitas dalam bukunya *The Economics of Welfare*. Pigou (1920) berpendapat bahwa dorongan untuk memperoleh keuntungan jangka pendek dapat menyebabkan eksloitasi sumber daya secara berlebihan, sehingga menyulitkan generasi mendatang dalam mengakses komoditas yang sama. Untuk mengatasi eksternalitas negatif, seperti polusi, Pigou mengusulkan intervensi pemerintah dalam bentuk pajak atau regulasi agar pelaku ekonomi menginternalisasi dampak lingkungan yang mereka timbulkan. Sebagai contoh, pajak karbon dikenakan pada emisi gas rumah kaca untuk mendorong perusahaan mengurangi polusi yang mereka hasilkan (Pigou, 1920).

Di sisi lain, Ronald Coase menawarkan pendekatan berbeda dalam menangani eksternalitas. Menurut Teorema Coase, eksternalitas seperti polusi atau eksloitasi sumber daya dapat dikelola secara efisien melalui kepemilikan hak yang jelas dan

negosiasi antar pihak, tanpa perlu intervensi pemerintah. Namun, dalam praktiknya, pendekatan ini sering menemui kendala, seperti biaya transaksi yang tinggi dan ketidakseimbangan kekuatan antara pihak swasta dan masyarakat. Oleh karena itu, pendekatan yang menggabungkan regulasi, kebijakan publik, dan insentif ekonomi sering kali lebih efektif dalam mengatasi permasalahan lingkungan(Coase, 1960).

Meskipun pendekatan Pigouvian melalui pajak emisi dan pendekatan Coase dengan mekanisme perdagangan izin emisi telah diterapkan di berbagai negara, dalam praktiknya upaya ini sering menghadapi tantangan, seperti resistensi industri, ketidakpastian dalam menetapkan tingkat pajak atau batas emisi yang optimal, serta tingginya biaya transaksi dalam negosiasi. Selain itu, mekanisme pasar seperti *cap-and-trade* terkadang kurang efektif jika terjadi spekulasi harga atau jika izin emisi terlalu murah sehingga tidak memberikan insentif kuat bagi perusahaan untuk beralih ke teknologi bersih.

Pola ekonomi seperti ini menyebabkan eksplorasi sumber daya alam secara masif serta akumulasi limbah yang memberikan tekanan lingkungan yang semakin besar (Goodldan, 1995). Selanjutnya disesuaikan dengan revolusi industri di Inggris, yang terjadi pada akhir abad ke-18 dan awal abad ke-19 (1760–1840), sebagai perubahan sosial-ekonomi yang sangat besar di Inggris yang secara kolektif (Ashton, 1948 dalam Haradhan, 2019). Revolusi Industri Kedua ditandai dengan ditemukannya teknologi produksi listrik dan penerapan sistem jalur perakitan, yang semakin memperkuat paradigma produksi massal dan efisiensi linier dalam proses industri berakhir sekitar tahun 1970-an.

Sehingga secara garis besar pemikiran ahli ekonomi linier dikelompokan ke dalam dua kelompok besar. Dalam kerangka ini, ekonomi linier dibagi ke dalam dua tahap, yaitu: Linear Awal, yang merepresentasikan periode kelahiran dan konsolidasi teori produksi klasik, terutama sejak Revolusi Industri dan Linear Lanjutan, yang merupakan klasifikasi yang kami susun sendiri, mencerminkan fase ketika logika linier tersebut diperluas dan disempurnakan melalui pendekatan-pendekatan seperti efisiensi sumber daya, pertumbuhan berkelanjutan, dan internalisasi eksternalitas. Klasifikasi tersebut dijelaskan pada Tabel 2. berikut:

Tabel 2. Konsep pemikiran ekonomi linier menurut periode perkembangannya

No	Aspek	Ekonomi Linier Awal (s.d. ±1850)	Ekonomi Linier Lanjutan (±1850–1970-an)
1	Pandangan terhadap SDA	Tidak terbatas, dieksplorasi bebas	Terbatas, perlu dikelola hati-hati
2	Tokoh Kunci	Smith, Ricardo, Marshall	Hotelling, Pigou, Coasse Solow
3	Respons terhadap krisis SDA	Tidak ada	Konservasi, pajak lingkungan, substitusi
4.	Respon terhadap eksternalitas	Diabaikan bukan dianggap tanggung jawab produsen	Diakui dan dikoreksi lewat pajak dan peraturan

2.1.1. Kritik terhadap pemikiran ekonomi linier: suatu tinjauan historis dan konseptual

Pemikiran ekonomi linier yang berkembang sejak era klasik hingga pertengahan abad ke-20, meskipun berjasa dalam membangun fondasi teori ekonomi modern, mengandung sejumlah kelemahan konseptual dan etis yang menjadi kritik utama dalam perspektif ekonomi berkelanjutan dan ekologis. Ketiga tokoh besar ekonomi klasik pendukung ekonomi linier seperti : Adam Smith, David Ricardo, dan Alfred Marshall yang berasal dari Inggris, tempat Revolusi Industri pertama kali terjadi. Karena itu, pemikiran mereka cenderung dipengaruhi oleh perubahan teknologi, produksi, dan pasar yang muncul dari Revolusi Industri.

Mereka menekankan pada efisiensi produksi, spesialisasi, dan perdagangan sebagai motor pertumbuhan ekonomi. Namun, pemikiran mereka lahir dalam konteks sejarah ketika sumber daya alam dianggap melimpah dan tak terbatas, sehingga tidak ada urgensi untuk mempertimbangkan batas-batas ekologis atau keberlanjutan jangka panjang. Akibatnya, alam direduksi menjadi sekadar input produksi, tanpa memperhitungkan nilainya secara intrinsik maupun fungsinya sebagai sistem pendukung kehidupan.

Sesungguhnya Thomas Malthus menawarkan kritik mendasar mengenai keterbatasan daya dukung alam. Dalam *An Essay on the Principle of Population*

Malthus (1798) menyatakan bahwa "*the power of population is indefinitely greater than the power in the earth to produce subsistence for man.*" Kutipan ini mencerminkan kekhawatiran bahwa pertumbuhan penduduk secara alamiah akan melampaui pertumbuhan produksi pangan, sehingga akan menimbulkan kemiskinan dan tekanan sosial-ekonomi (Malthus, 2018). Namun, kritik Malthus masih terbatas pada konteks agraris dan belum mencakup dinamika baru dari revolusi industri yang mulai berkembang saat itu. Ia belum mengaitkan kelangkaan sumber daya secara luas seperti energi, bahan tambang, dan pencemaran lingkungan dengan pola produksi industri yang semakin intensif.

Kritik ini dapat dibaca sebagai penyeimbang terhadap pandangan Smith yang menekankan *invisible hand*, atau Ricardo yang percaya bahwa efisiensi dan perdagangan dapat menyelesaikan masalah distribusi. Bahkan Marshall yang mengembangkan teori produksi pun tidak sepenuhnya mengintegrasikan ancaman ekologis dalam analisanya.

Selain itu, ekonomi klasik cenderung berfokus pada manusia dan menyederhanakan kompleksitas sistem, di mana nilai pasar dianggap sebagai satu-satunya ukuran manfaat suatu sumber daya. Pendekatan ini tidak memperhitungkan dampak negatif seperti pencemaran lingkungan, kerusakan ekosistem, atau penurunan kualitas tanah akibat kegiatan produksi dan konsumsi yang semakin meluas. Hal ini menunjukkan keterbatasan ekonomi klasik dalam hal jangka waktu panjang dan tanggung jawab terhadap generasi mendatang, yang menjadi perhatian penting dalam ekonomi ekologis modern. Pada fase ekonomi linier yang lebih lanjut, beberapa ekonom mulai menyadari adanya dampak ekologis dari pertumbuhan ekonomi yang tidak terkendali, sehingga mendorong pemikiran tentang pentingnya memasukkan aspek keberlanjutan dalam analisis ekonomi.

Perkembangan ekonomi linier pada akhirnya berhenti pada konsep dematerialisasi dan *eco-efficiency* yang sering diangkat sebagai pendekatan modern dalam pembangunan berkelanjutan, tetapi tidak mampu menyelesaikan permasalahan lingkungan secara mendasar karena masih berakar pada logika efisiensi dalam sistem satu arah. Dematerialization dipandang sebagai cara untuk meredakan tekanan lingkungan sekaligus tetap mendukung pertumbuhan ekonomi,

namun tetap berada dalam kerangka ekonomi linier karena hanya berfokus pada efisiensi aliran sumber daya. (Herman *et al.*, 1990). Sejalan dengan hal itu Eco-efficiency, meskipun berguna untuk mengurangi penggunaan sumber daya dan polusi per unit output, tidak dapat mewujudkan keberlanjutan sejati karena sumber daya yang terbatas tidak dapat diperpanjang tanpa batas, proses industri memiliki dampak lingkungan yang tak terhindarkan, dan keuntungan efisiensi seringkali terhapus oleh peningkatan konsumsi (Huesemann, 2004).

Dengan demikian, konsep ini merupakan perpanjangan dari logika ekonomi linier yang telah dibangun oleh ekonom seperti Hotelling, Solow, Pigou, dan Coase, yang meskipun menyadari dampak lingkungan dari aktivitas ekonomi, tetap mempertahankan paradigma pertumbuhan dan efisiensi sebagai solusi utama Hotelling melalui pajak eksplorasi sumber daya, Solow dengan substitusi teknologi, serta Pigou dan Coase dengan instrumen internalisasi eksternalitas (Pigou, 1920;Coase, 1960;Solow, 1974;Hotelling, 1991) Namun, sebagaimana ditegaskan Rogers dan Daly (1996), efisiensi material hanya menunda masalah keberlanjutan karena memicu *rebound effect*, sementara McDonough dan Braungart (2002) mengkritiknya sebagai logika ‘less bad’ yang tetap beroperasi dalam paradigma pertumbuhan linier.

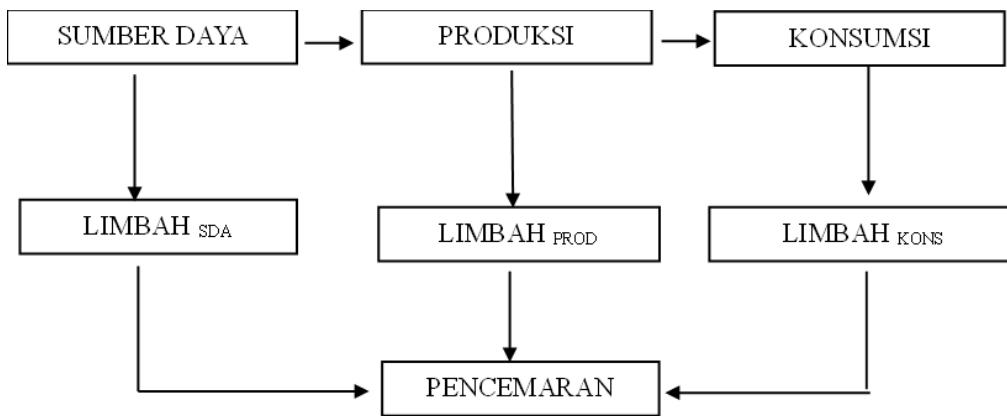
Dengan kata lain, efisiensi dalam sistem yang secara struktural destruktif tidak serta-merta mengarah pada keberlanjutan, melainkan berpotensi memperpanjang umur sistem tersebut dengan dalih pengurangan dampak (McDonough dan Braungart, 2002). Oleh karena itu, baik teori ekonomi sumber daya konvensional maupun pendekatan efisiensi ekologis kontemporer gagal mengarah pada perubahan paradigma yang sejati. Keduanya masih berada dalam kerangka linier yang menganggap bahwa keberlanjutan dapat dicapai dengan optimalisasi internal, bukan dengan transformasi sistemik menuju ekonomi yang sirkular, regeneratif, dan berbasis desain ulang menyeluruh.

Meskipun demikian, kritik terhadap pemikiran para ekonom linier lanjutan muncul karena pendekatan mereka dinilai masih bersifat teknokratis dan instrumentalis: mereka mengandalkan instrumen ekonomi seperti pajak, substitusi teknologi, dan internalisasi eksternalitas untuk mengatasi dampak lingkungan,

tetapi gagal menggugat paradigma dasar pertumbuhan dan konsumsi linier yang justru menjadi sumber utama permasalahan keberlanjutan. Optimisme berlebihan terhadap kemampuan teknologi untuk menggantikan sumber daya alam yang menipis, serta keyakinan bahwa efisiensi dapat menyelesaikan krisis ekologis, mengabaikan hukum-hukum biofisik seperti entropi dan keterbatasan daya dukung bumi, sebagaimana ditekankan oleh (Georgescu-Roegen, 1971; Daly, 1991). Di samping itu, sistem nilai dan tujuan akhir ekonomi tidak pernah dipertanyakan secara fundamental pertumbuhan ekonomi tetap menjadi tujuan utama, terlepas dari biaya sosial dan ekologis yang ditimbulkan.

Dengan demikian, baik ekonomi linier awal maupun lanjutan menghadapi kritik serius dari perspektif ekonomi ekologis. Keduanya gagal dalam mereformulasi hubungan antara manusia dan alam sebagai sistem yang saling bergantung dan terbatas. Ketidakmampuan untuk memasukkan dimensi keberlanjutan dan keadilan ekologis menjadikan paradigma ini semakin tidak relevan di tengah krisis iklim dan kelangkaan sumber daya global.

Dalam ekonomi linier, berbagai kebijakan seperti pajak karbon dan batasan limbah diterapkan sebagai instrumen kontrol untuk mengurangi dampak lingkungan. Meskipun kebijakan ini dapat meningkatkan kesadaran lingkungan dan mengurangi polusi, mereka tidak secara langsung mengubah pola produksi dan konsumsi. Proses produksi yang efisien dalam ekonomi linier sering kali tetap mengarah pada pemborosan sumber daya dan akumulasi limbah, yang menimbulkan tantangan keberlanjutan di masa depan. Konsep ini diformulasikan ke dalam Gambar 3.



Gambar 3. Model linier ekonomi/ konvensional diadopsi dari (Pearce dan Turner, 1990).

Isu kritis utama yang terkait dengan ekonomi linier adalah permintaan yang terus meningkat terhadap bahan baku dan energi, yang menganggap sumber daya alam tak terbatas dan menggunakan proses yang membuang energi dan material secara terbuka. Selain itu, polusi yang dihasilkan dari produksi barang baru dan pembuangan limbah juga menjadi masalah, dengan limbah manufaktur, air limbah, gas rumah kaca, dan sampah yang merusak air, tanah, dan udara. Kedua masalah ini menyoroti kebutuhan akan solusi berbasis ekonomi yang lebih berkelanjutan, seperti ekonomi sirkular.

Sebagai alternatif, ekonomi sirkular menawarkan pendekatan yang lebih berkelanjutan dengan menekankan prinsip *reduce, reuse, and recycle*, mengurangi ketergantungan pada sumber daya baru, serta menghilangkan limbah dan polusi sejak tahap desain produk. Dalam sistem ini, perusahaan didorong untuk beralih ke model bisnis berbasis keberlanjutan, seperti penggunaan bahan baku daur ulang, produksi energi bersih, dan ekonomi berbasis jasa yang mengurangi konsumsi berlebih. Dengan demikian, ekonomi sirkular tidak hanya mengatasi kegagalan regulasi emisi tetapi juga menciptakan model ekonomi yang lebih tahan lama dan berdaya saing di masa depan.

Dalam jangka panjang, ekonomi linier pada dasarnya tidak berkelanjutan karena sistemnya yang tidak menutup (*open loop system*) (Dieckmann *et al.* 2020).

Oleh karena itu, setiap aktivitas ekonomi dalam model ini selalu menghasilkan polusi (Gheewala, 2020). Untuk mencapai keberlanjutan, diperlukan transisi menuju sistem ekonomi sirkular, di mana sumber daya digunakan secara lebih efisien dan limbah dapat diminimalkan.

Sebagai alternatif, ekonomi sirkular menawarkan pendekatan yang lebih berkelanjutan dengan mengurangi volume limbah (*end of pipe*) serta kebutuhan terhadap sumber daya alam dalam tahap produksi (*beginning of pipe*). (Stahel, 2006) menjelaskan bahwa ekonomi sirkular menekankan pentingnya mendaur ulang, memperpanjang umur produk, dan menciptakan sistem tertutup yang meminimalkan eksplorasi sumber daya baru. Dalam ekonomi linier, siklus produksi tetap berjalan dengan ekstraksi sumber daya yang tinggi, sementara regulasi hanya berfungsi sebagai batasan tanpa mengubah pola konsumsi secara fundamental.

2.2. Trend Keberlanjutan dan Tantangan Masa Depan

Laju kerusakan alam terus berlanjut akibat aktifitas manusia yang saat ini telah mencapai level yang mengkuatirkan yang menyebabkan perubahan signifikan pada sistem kerja planet ini. Kerusakan lingkungan yang terjadi menunjukkan aktivitas manusia selama satu abad telah menghasilkan limbah dan polutan yang menumpuk, menciptakan lapisan geologis khas pada kulit bumi. Lapisan ini, yang terdiri dari plastik, logam berat, dan residu kimia, menandai era Anthropocene sebagai bukti dampak signifikan aktivitas manusia(Crutzen dan Stoerme, 2000), di mana pengaruh manusia terhadap sistem bumi begitu besar hingga mengubah ekosistem secara drastis (Steffen *et al.*, 2015).

Namun, pelanggaran terhadap batas kestabilan ekosistem (*planetary boundaries*) menghasilkan dampak yang tidak hanya berupa akumulasi material fisik, melainkan juga mengganggu sistem secara menyeluruh. Gangguan ini mengancam keseimbangan ekosistem dan keberlangsungan hidup manusia dalam jangka panjang(Rockström *et al.*, 2009;Steffen *et al.*, 2015). Menurut *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), suhu rata-rata global

meningkat sebesar $0,18^{\circ}\text{C}$ per dekade sejak 1981, jauh lebih cepat dibandingkan dengan peningkatan rata-rata $0,07^{\circ}\text{C}$ sejak tahun 1880 (Ali *et al.*, 2020).

Studi aktivitas industri, termasuk industri tapioka di Lampung, memiliki kontribusi terhadap perubahan iklim. Konsumsi energi fosil dalam proses produksi menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2) yang berkontribusi pada pemanasan global. Untuk menghasilkan satu ton tepung tapioka, diperlukan sekitar 16 meter kubik air, sementara limbah yang dihasilkan mencapai 17 meter kubik (Hasanudin *et al.*, 2023; Situmorang and Manik 2018). Fenomena ini merupakan contoh nyata bahwa model ekonomi linier telah memberikan tekanan besar pada lingkungan.

Sebagai respons terhadap krisis lingkungan yang semakin parah, komunitas global melalui Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) menetapkan Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan (TPB). Salah satu tujuan utama yang ditekankan adalah SDG 12, yang berfokus pada konsumsi dan produksi yang berkelanjutan (SCP). Konsep ini bertujuan untuk mengurangi eksplorasi sumber daya alam yang berlebihan, mengurangi tingkat polusi, serta memastikan bahwa kebutuhan generasi saat ini dapat terpenuhi tanpa mengorbankan kebutuhan generasi mendatang (International Institute for Applied Systems Analysis, 2018; Raman *et al.*, 2024).

Dalam perkembangan pemikiran ekonomi modern, SDG 12 sering disandingkan dengan konsep SCP (*Sustainable Consumption and Production*). Konsumsi yang berkelanjutan seharusnya mendorong produksi yang bertanggung jawab. Misalnya, konsumen yang peduli dengan lingkungan akan memilih produk yang dihasilkan dengan metode berkelanjutan, sehingga mendorong produsen untuk mengadopsi praktik yang lebih ramah lingkungan (Institute for Global Environmental Strategies 2010). Produksi dan konsumsi berkelanjutan tidak hanya memberikan manfaat ekonomi, tetapi juga manfaat sosial dan lingkungan, seperti peningkatan kualitas hidup, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan efisiensi dalam penggunaan sumber daya (Papamichael *et al.*, 2024).

Keberhasilan transisi menuju ekonomi berkelanjutan memerlukan keterlibatan berbagai pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, industri, dan masyarakat. Pemerintah memiliki peran dalam menerapkan regulasi yang ketat terkait

pengelolaan sampah, konservasi sumber daya, serta pengendalian polusi. Misalnya, pajak karbon dan regulasi pengelolaan limbah dapat mendorong perusahaan untuk lebih memperhatikan dampak lingkungan dari kegiatan produksinya (Papamichael *et al.*,2024).

Di sisi lain, sektor swasta juga memainkan peran penting dalam mewujudkan keberlanjutan melalui konsep ESG (Environmental, Social, and Governance). ESG telah menjadi indikator utama dalam menilai keberlanjutan perusahaan, di mana aspek lingkungan, sosial, dan tata kelola diintegrasikan dalam strategi bisnis mereka. Minat investor terhadap perusahaan yang memiliki kinerja ESG yang baik semakin meningkat, mendorong perusahaan untuk lebih transparan dalam melaporkan dampak lingkungan dan sosial dari operasional mereka (Aydoğmuş, Gülay, dan Ergun 2022). *Inisiatif Sustainable Stock Exchange* (SSE) yang diluncurkan pada tahun 2015 telah mendorong bursa saham global untuk mengembangkan pedoman pelaporan ESG. Pada tahun 2022, sekitar 59% bursa saham global telah menerapkan pedoman tersebut, mencerminkan kemajuan signifikan dalam transparansi perusahaan terkait keberlanjutan (Mohammad dan Wasiuzzaman 2021). Perusahaan yang memiliki skor ESG tinggi cenderung lebih kompetitif dan menarik lebih banyak investor karena mereka dipandang lebih stabil dalam jangka panjang.

Model ekonomi linier yang selama ini diterapkan telah memberikan dampak negatif yang besar terhadap lingkungan dan sumber daya alam. Dengan semakin meningkatnya kesadaran global akan keberlanjutan, diperlukan perubahan paradigma menuju sistem ekonomi yang lebih berkelanjutan, seperti ekonomi sirkular dan konsumsi-produksi yang bertanggung jawab. SDG 12 menegaskan bahwa pola konsumsi dan produksi harus diubah agar lebih berkelanjutan, baik dari sisi sosial, ekonomi, maupun lingkungan. Selain itu, peran sektor swasta dalam menerapkan ESG dan transparansi dalam laporan keberlanjutan menjadi faktor kunci dalam mendorong bisnis yang lebih bertanggung jawab.

Sebagaimana diungkapkan oleh (Meadow *et al.*,1972). dalam laporan *The Limits to Growth*, pembangunan yang tidak berkelanjutan hanya akan mengarah pada kehancuran lingkungan dan ekonomi. Oleh karena itu, keberlanjutan bukan

lagi sebuah pilihan, melainkan keharusan bagi masa depan planet ini. Dengan kolaborasi yang erat antara pemerintah, industri, dan masyarakat, dunia dapat bergerak menuju sistem ekonomi yang lebih inklusif, efisien, dan ramah lingkungan.

2.3. Teori Ekonomi Sirkular: *Output - input Connection*

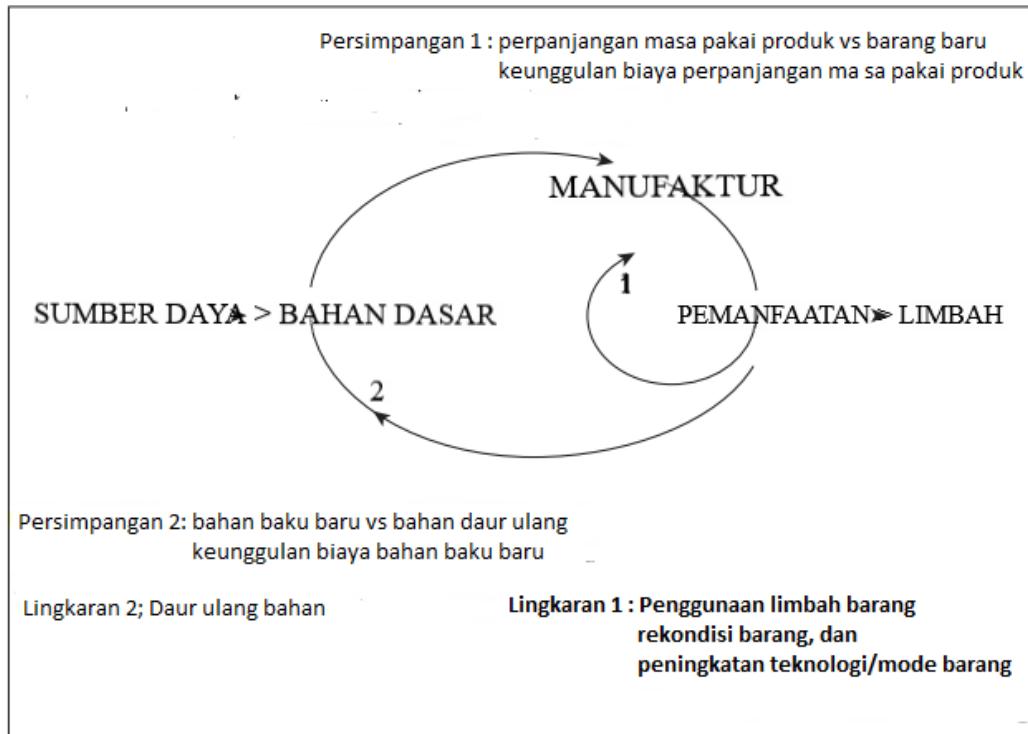
Teori ekonomi sirkular didasarkan pada konsep Koneksi Output-Input, yang merupakan prinsip mendasar dalam sistem industri berkelanjutan dan menekankan transformasi limbah menjadi sumber daya bernilai untuk meningkatkan produksi. Pendekatan ini membantu menutup siklus dalam masa pakai produk, yang pada akhirnya mengurangi konsumsi sumber daya dan kebutuhan energi. Dalam ekonomi sirkular, pertumbuhan ekonomi tidak didorong oleh produksi barang baru. Sebaliknya, fokusnya adalah memperpanjang umur produk yang ada dengan mengutamakan pemeliharaan daripada penggantian.

Berdasarkan hasil analisis coding sebanyak 221 peneliti, konsep ekonomi sirkular diformulasikan sebagai sistem ekonomi regeneratif yang menggeser paradigma dari konsep ‘akhir masa pakai’ menjadi pendekatan berbasis pengurangan, penggunaan ulang, daur ulang, dan pemulihan material dalam rantai pasok. Sistem ini bertujuan menjaga nilai sumber daya dan mendorong pembangunan berkelanjutan melalui peningkatan kualitas lingkungan, pertumbuhan ekonomi, dan keadilan sosial lintas generasi. Implementasinya melibatkan kolaborasi berbagai pemangku kepentingan termasuk industri, konsumen, pembuat kebijakan, dan akademisi dengan dukungan inovasi teknologi dan kapasitas yang dimiliki (Kirchherr *et al.*, 2023).

Konsep ini berkaitan erat dengan gagasan "*spaceman economy*" yang diperkenalkan oleh Kenneth Boulding (1966) dalam esainya "*The Economics of the Coming Spaceship Earth*". Boulding menekankan bahwa Bumi adalah sistem tertutup dengan sumber daya yang terbatas. Menurut pandangannya, semua material di Bumi harus digunakan kembali, didaur ulang, dan diperbarui agar tetap tersedia bagi generasi mendatang. Pemikirannya ini menjadi dasar bagi ekonomi sirkular (Boulding, 1995).

Pandangan serupa diperkenalkan oleh Walter Stahel pada 1970-an dengan Konsep *loop economy* sebagai dasar pemikiran menuju sistem ekonomi yang lebih regeneratif. Gagasan ini menekankan pentingnya mempertahankan nilai produk, material, dan sumber daya selama mungkin dalam siklus ekonomi melalui strategi seperti perpanjangan umur produk, perawatan, perbaikan, dan penggunaan kembali. Model ini menjadi fondasi dari apa yang kemudian dikenal sebagai *circular economy*, dengan pendekatan yang berfokus pada efisiensi sumber daya, pengurangan limbah, dan penciptaan nilai berkelanjutan melalui logika tertutup /*closed-loop thinking* (Stahel, 2006). Konsep *loop stahel* dijelaskan dalam Gambar 4.

Lingkaran 1 menunjukkan proses *penggunaan kembali (reuse)*, *rekondisi*, atau *pemasaran ulang* barang. Tujuannya adalah memperpanjang umur barang sehingga aliran material dalam ekonomi menjadi lebih lambat dan limbah dapat dicegah pada berbagai tahap, mulai dari produksi hingga distribusi. Proses ini juga menghemat energi yang sudah terkandung dalam produk, sehingga menjadi semakin menguntungkan ketika harga energi naik. Dari sisi ekonomi, barang hasil *reuse* atau *rekondisi* biasanya lebih murah dibandingkan barang baru. Pada **Persimpangan 1**, pilihan memperpanjang umur barang memberi keunggulan biaya, rata-rata sekitar sepertiga lebih murah dibandingkan membeli barang baru



Gambar 4. Siklus tertutup : Sebuah sistem ekonomi melingkar yang bisa memperbarui dirinya sendiri dan lebih berkelanjutan, serta titik pertemuan antara ekonomi sirkular ini dengan ekonomi linier (Stahel 2006)

Lingkaran 2 menggambarkan *daur ulang material*, yaitu menghubungkan limbah akhir pakai kembali ke proses produksi bahan dasar. Berbeda dengan Lingkaran 1, daur ulang tidak memperlambat laju aliran material, melainkan mengubah limbah menjadi input baru. Proses ini tetap memberikan manfaat berupa penghematan energi. Pada **Persimpangan 2**, kondisi ekonomi bisa berbeda antar negara: di negara maju, bahan daur ulang seringkali lebih mahal karena biaya tenaga kerja tinggi; sedangkan di negara berkembang, daur ulang justru lebih ekonomis karena keterbatasan akses bahan mentah dan biaya tenaga kerja yang relatif rendah.

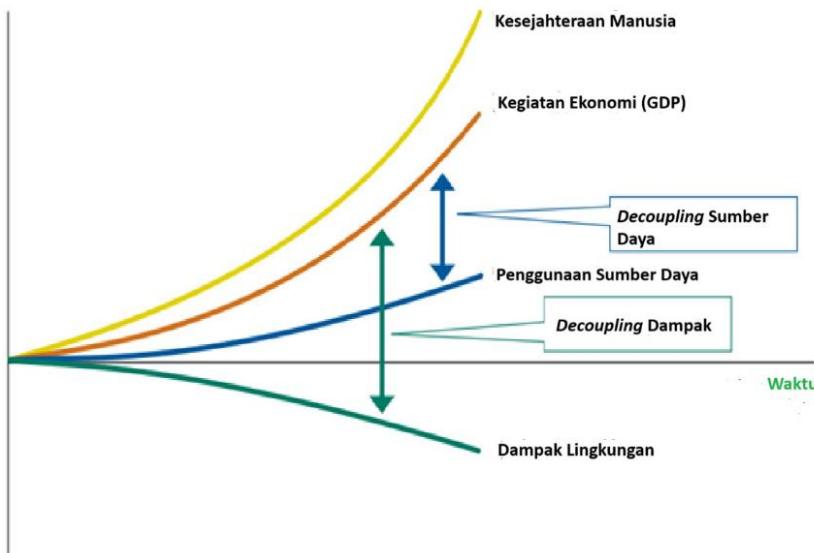
Pemikiran Walter Stahel khususnya konsep *loop economy* yang menekankan perpanjangan umur produk melalui strategi seperti *reuse*, *repair*, dan *remanufacturing* telah menjadi fondasi penting dalam perkembangan ekonomi sirkular modern. Ellen MacArthur Foundation kemudian memperluas dan mensistematisasi gagasan tersebut menjadi kerangka berpengaruh global, dengan

mengangkat *closed-loop thinking* sebagai prinsip utama dalam desain dan produksi sirkular. Pendekatan ini menitikberatkan pada penggunaan kembali, peremajaan, dan daur ulang, sehingga produk dan material tetap beredar dalam siklus ekonomi (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Pandangan mereka juga diperkuat oleh Pearce dan Turner (1989) yang mengatakan bahwa ekonomi sirkular merupakan pendekatan yang menekankan siklus tertutup dalam penggunaan sumber daya di mana limbah dari satu proses dapat menjadi input bagi proses lainnya. Hal ini mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam baru serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Pearce dan Turner, 1990).

ES menawarkan terobosan yang menjanjikan dalam mencapai keberlanjutan; Inti dari ekonomi sirkular terletak pada prinsip-prinsip ekologi industri yang transformatif yang bertujuan untuk memaksimalkan nilai sumber daya (Bocken *et al.*, 2016; Babbitt *et al.*, 2018; Chang *et al.*, 2021). Meskipun sistem industri saat ini belum ideal, namun jika negara industri dan berkembang mengadopsi perubahan ini, ekosistem industri yang lebih tertutup dan berkelanjutan dapat tercipta, membantu mengatasi kekurangnya pasokan bahan baku serta meningkatnya masalah limbah dan polusi. Hal ini akan mengurangi dampak lingkungan serta memastikan keberlanjutan sumber daya di masa depan (Frosch dan Gallopolous, 1989).

Gambar 5. menunjukkan sebuah Sistem yang menjanjikan muncul sebagai pengganti model produksi tradisional yang bertujuan untuk memisahkan pertumbuhan ekonomi dari penipisan sumber daya dan degradasi lingkungan (Schulte *et al.*, 2021).



Gambar 5. *Decoupling* sumber daya dan *decoupling* dampak (UNEP 2011)

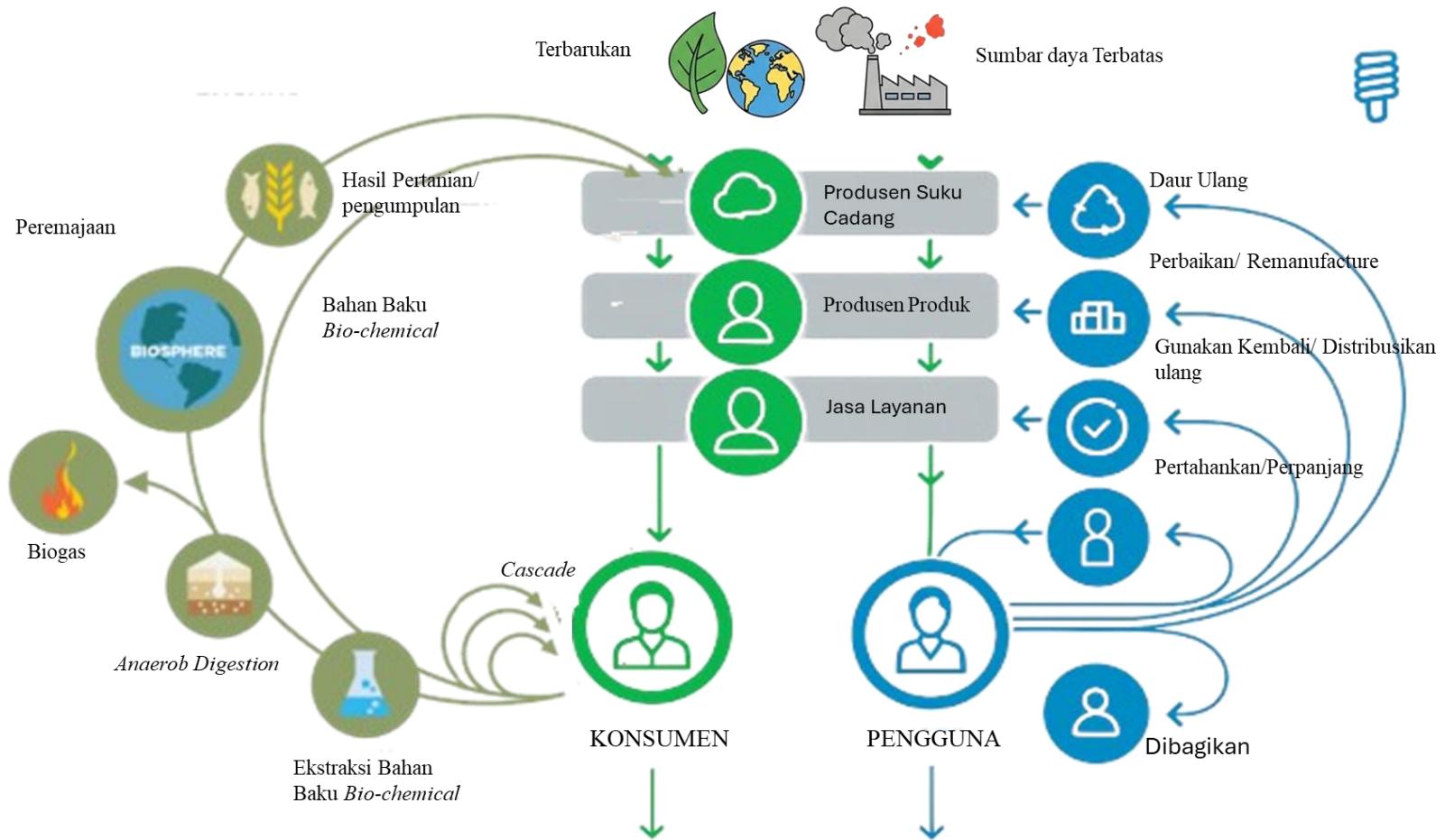
Gambar ini menjelaskan bagaimana pembangunan berkelanjutan berupaya memisahkan (*decoupling*) pertumbuhan ekonomi dari kerusakan lingkungan. Garis kuning menunjukkan kesejahteraan manusia yang terus meningkat, sementara garis oranye menggambarkan pertumbuhan ekonomi (GDP) yang juga naik. Dalam pola lama yang linier, peningkatan ekonomi biasanya sejalan dengan meningkatnya penggunaan sumber daya (garis biru) dan dampak lingkungan (garis hijau). Namun, melalui inovasi, efisiensi, dan penerapan ekonomi sirkular seperti perpanjangan umur produk dan daur ulang material, penggunaan sumber daya dapat ditekan dan bahkan dampak lingkungan bisa dikurangi. Dengan demikian, ekonomi dan kesejahteraan dapat terus tumbuh tanpa harus membebani alam secara berlebihan.

Dalam kerangka ini, dikenal dua bentuk utama decoupling. Pertama, resource decoupling atau pemisahan sumber daya, yaitu upaya mengurangi jumlah bahan mentah, energi, air, dan lahan yang digunakan untuk menghasilkan setiap unit kegiatan ekonomi. Konsep yang sering disebut dematerialisasi ini memungkinkan tercapainya output ekonomi yang sama dengan konsumsi sumber daya yang lebih sedikit, sehingga mendorong efisiensi dan produktivitas sumber daya (Stahel, 2006).

Kedua, impact decoupling atau pemisahan dampak, yang berfokus pada peningkatan output ekonomi sambil menekan dampak negatif terhadap lingkungan. Dampak tersebut dapat muncul pada seluruh tahapan, mulai dari ekstraksi sumber

daya seperti pencemaran air tanah akibat pertambangan atau pertanian, proses produksi yang menimbulkan degradasi lahan, limbah, dan emisi, hingga fase penggunaan komoditas yang menghasilkan emisi CO₂, serta fase pasca konsumsi yang menghasilkan limbah padat atau plastik sulit terurai. Secara teori, pemisahan dampak dapat diperkirakan berdasarkan siklus hidup analisis (LCA) dalam kombinasi dengan berbagai teknik input-output (lihat UNEP, 2010b).

Diagram sistem ekonomi sirkular, yang sering disebut sebagai diagram kupukupu, menggambarkan aliran materi yang berkelanjutan dalam ekonomi sirkular. Terdapat dua siklus utama yang terlibat, yaitu: siklus teknis dan siklus biologis. Dalam siklus teknis, produk dan bahan dipertahankan dalam peredaran melalui proses seperti penggunaan ulang, perbaikan, remanufaktur, dan daur ulang. Di sisi lain, dalam siklus biologis, nutrisi dari bahan-bahan yang dapat terurai secara hayati dikembalikan ke alam untuk membantu regenerasi ekosistem seperti terlihat pada Gambar 6. Selain itu, pergeseran paradigma ini menuju perubahan cara produk diproduksi dan dikonsumsi (Zerbino, 2022) dan melibatkan pemangku kepentingan rantai pasokan untuk penggunaan sumber daya yang berkelanjutan (Kujala *et al.*, 2023; Kirchherr *et al.*, 2023).



Gambar 6. Diagram kupu-kupu untuk memvisualisasikan ekonomi sirkular (Ellen MacArthur Foundation, 2015)

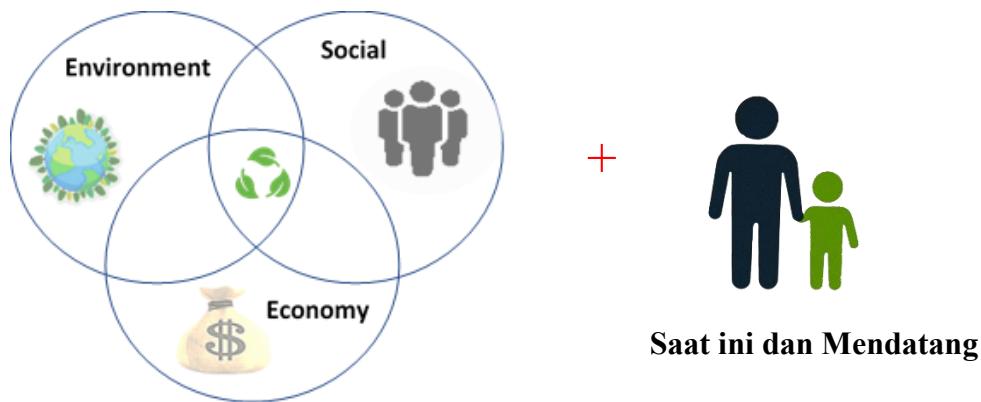
Demikian ES memiliki potensi untuk mengatasi tantangan sistem linier, seperti kelangkaan sumber daya (Grdic *et al.*, 2020; Salguero-Puerta *et al.*, 2019; Gonçalves dan Maximo 2022), efisiensi sumber daya (Pieroni *et al.*, 2019; Figge *et al.*, 2018; Moraga *et al.*, 2022a), dan mengurangi dampak lingkungan (Velenturf dan Purnell 2021a; Akinade dan Oyedele 2019; Ellen Macarthur Foundation 2019c; Bassi dan Guidolin 2021; Moraga *et al.* 2022b; Pieroni *et al.*, 2019; Ferasso *et al.*, 2020).

Demikian Konsep ekonomi sirkular (ES) telah mendapatkan perhatian yang cukup besar baik dalam komunitas ilmiah maupun profesional karena kontribusinya terhadap pembangunan berkelanjutan (Sinha, 2022; Geissdoerfer *et al.*, 2017; Korhonen *et al.*, 2018; Sauvé *et al.*, 2016). Demikian pula, diakui bahwa ekonomi sirkular dan keberlanjutan saling terkait (Barros *et al.*, 2021). Ekonomi sirkular menawarkan pendekatan yang menjanjikan untuk mencapai keberlanjutan dengan mengatasi tantangan kelangkaan sumber daya dan dampak lingkungan (Velenturf dan Purnell 2021a; Akinade dan Oyedele 2019; Ellen Macarthur Foundation, 2019).

Selanjutnya, untuk memastikan bahwa implementasi ES sejalan dengan tujuan keberlanjutan, penting untuk memahami definisi keberlanjutan itu sendiri. Barbier menggunakan istilah pembangunan ekonomi yang berkelanjutan dan pembangunan berkelanjutan secara tidak konsisten (Mebratu, 1998). Kemudian, frasa Pembangunan Berkelanjutan menjadi populer setelah dirilisnya Laporan Komisi Brundtland oleh Komisi Dunia untuk Lingkungan dan Pembangunan pada tahun 1987 (Visser dan Brundtland, 2013). Menariknya, bahasa yang bersaing antara 'keberlanjutan' vs 'pembangunan berkelanjutan', seringkali begitu bersilangan dalam banyak literatur dan pemahaman umumnya dalam kerangka 'tiga pilar' (Purvis *et al.*, 2019). Namun, hubungan erat antara keberlanjutan dan pembangunan berkelanjutan serta menekankan bahwa pandangan yang bervariasi dapat menciptakan definisi yang terfragmentasi, seringkali memprioritaskan agenda tertentu daripada pemahaman yang komprehensif (Barbier, 1987).

Keberlanjutan umumnya dijelaskan sebagai suatu keadaan keseimbangan atau sinergi antara aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial. Selain itu, istilah

"Keberlanjutan" dan "Triple bottom line" (TBL) sering digunakan secara bergantian juga dalam banyak sumber. Konsep TBL, sering disebut sebagai 3P (orang, planet, dan profit). Konsepsi TBL dalam Gambar 7. umumnya direpresentasikan oleh tiga lingkaran yang saling berpotongan dengan keberlanjutan secara keseluruhan di tengah, telah menjadi sebagai 'pandangan umum' (Elkington, 1997; Giddings *et al.*, 2002; Walker *et al.*, 2022) dan dimensi antar-generasi (Stazyk *et al.*, 2016).



Keterangan : Pertama kali dipublikasikan [*Circular economy and sustainability Journal*, 4, 2024] oleh Springer Nature.

Gambar 7. Diagram yang mengilustrasikan keberlanjutan (Purvis *et al.*, 2019) (Barbier, 1987).

Diagram Venn populer untuk menggambarkan gagasan yang serupa tentang pembangunan ekonomi berkelanjutan tampaknya pertama kali disajikan oleh Barbier (Barbier, 1987). Demikian ekonomi berkelanjutan dan sustainability saling terkait (Barros *et al.*, 2021). Penelitian ini menyajikan definisi komprehensif "keberlanjutan" sebagai integrasi harmonis antara kemakmuran ekonomi, inklusivitas sosial, dan ketahanan lingkungan, yang menjamin kesejahteraan generasi saat ini dan mendatang (Chang, *et al.*, 2021; Geissdoerfer *et al.* 2017).

Dalam konsep transformasional yang lebih luas dari ES yang peneliti sebut sebagai katalis (Valverde dan Avilés-Palacios, 2021); penggerak (Barros *et al.*, 2021); paradigma baru (Geissdoerfer *et al.*, 2017); sebuah model bisnis inovatif (Brendzel-Skowera, 2021) untuk pembangunan berkelanjutan.

Namun, meskipun minat yang meningkat dalam implementasi ES dalam industri tapioka, saat ini masih ada kekurangan terutama berkaitan kerangka

penilaian komprehensif yang secara khusus disesuaikan untuk usaha kecil dan menengah (UKM) yang beroperasi di sektor ini (Geissdoerfer *et al.*, 2017; Walzberg *et al.*, 2021).

Sebagian besar model ekonomi sirkular yang ada saat ini masih menunjukkan kelemahan mendasar dalam hal integrasi pengukuran keberlanjutan. Meskipun pendekatan seperti LCA (*Life Cycle Assessment*), LCC (*Life Cycle Costing*), dan SLCA (*Social Life Cycle Assessment*) telah dikenal luas, sangat jarang ditemukan model yang mampu menggabungkan ketiganya secara terpadu untuk membentuk sistem evaluasi yang holistik. Lebih jauh lagi, sebagian besar model belum melakukan langkah strategis untuk mengkonversi dampak-dampak tersebut ke dalam satuan nilai moneter, yang seharusnya dapat menjadi dasar yang kuat untuk pengambilan keputusan berbasis *Cost-Benefit Analysis* (CBA).

Kritik lainnya terletak pada ketiadaan mekanisme *feedback loop* yang bersifat dinamis. Banyak model belum mengadopsi prinsip-prinsip sistem sibernetik yang memungkinkan penyesuaian output secara real-time berdasarkan respons terhadap dampak lingkungan, sosial, atau ekonomi. Selain itu, skala penerapan model ekonomi sirkular cenderung berada pada tingkat makro atau sistemik, sehingga luput dari perhatian terhadap unit-unit mikro seperti pabrik kecil atau pelaku UKM, padahal simpul-simpul ini memainkan peran penting dalam keberhasilan transisi menuju ekonomi sirkular.

Di sisi lain, interoperabilitas data juga masih menjadi tantangan besar. Model-model saat ini umumnya belum menyediakan kerangka kerja yang memungkinkan integrasi data dari berbagai sumber—baik dari aspek lingkungan, sosial, maupun finansial—dalam satu sistem yang terstruktur dan operasional. Ketiadaan platform integratif ini menyebabkan pengambilan keputusan sering kali tidak berbasis data lintas dimensi yang komprehensif, sehingga menghambat efektivitas implementasi sirkularitas di lapangan.

Demikian, Transformasi ES tidak hanya perlu berpikir ulang tentang desain dan aliran material, tetapi juga harus dibarengi mekanisme pengukuran, evaluasi, dan pengambilan keputusan berbasis data yang sistematis, adaptif, dan kontekstual.

2.4. Kerangka Bisnis Ekonomi Sirkular Berbasis Penilaian Keberlanjutan

Penilaian terintegrasi antara ekonomi sirkular dan kinerja keberlanjutan telah menjadi perhatian utama dalam berbagai studi terbaru (Kusumo *et al.*,2022). Beberapa peneliti menilai circularity tidak selalu mendukung keberlanjutan. Tindakan seperti eco-design dan daur ulang bisa menimbulkan efek rebound atau konsumsi energi tinggi, sehingga manfaat lingkungannya berkurang. Karena itu, strategi ES perlu dianalisis secara menyeluruh (Elia *et al.*,2024); perlu mengintegrasikan circularity teknis ke dalam penilaian keberlanjutan siklus hidup (LCSA)(Luthin *et al.*,2024). Salah satu aspek penting dalam implementasi ekonomi sirkular adalah pengembangan alat *monitoring* untuk melacak aliran material pada tingkat makro.

Pendekatan ini memungkinkan penyusunan indikator kerangka kerja dan *throughput* dalam menilai transisi ekonomi secara menyeluruh menuju ekonomi sirkular. Dengan asumsi bahwa ekonomi sirkular bertujuan untuk mengurangi tekanan lingkungan akibat eksploitasi sumber daya, diperlukan sistem pemantauan yang mampu mengukur perubahan dalam aliran sumber daya, tambahan stok, serta emisi yang dihasilkan dari aktivitas ekonomi (Mayer *et al.*,2019). Meskipun dampak ekonomi sirkular sulit diukur secara langsung, penerapan kerangka *monitoring* ini memungkinkan observasi yang lebih sistematis terhadap dinamika tersebut.

Sistem berbasis indikator menjadi alat yang sangat berguna dalam memantau transisi menuju ekonomi sirkular. Sebagian besar kerangka kerja yang ada saat ini masih berfokus pada indikator lingkungan, sedangkan hanya sedikit yang mencakup keempat pilar utama pembangunan berkelanjutan, yaitu lingkungan, sosial, ekonomi, dan tata kelola (*governance*). Ekonomi sirkular sebagai paradigma mengintegrasikan berbagai pendekatan, seperti yang berorientasi pada penyebab (*Cradle to Cradle – C2C*) maupun efek (*Life Cycle Assessment – LCA*) (Kusumo *et al.*,2022). Oleh karena itu, pengembangan model bisnis berbasis *monitoring* dan evaluasi menjadi langkah strategis dalam memastikan efektivitas implementasi ekonomi sirkular serta keberlanjutan jangka panjangnya.

Kerangka kerja yang ada untuk strategi sirkular tidak mencakup pandangan komprehensif baik tentang kondisi saat ini maupun inovasi masa depan yang potensial (Blomsma *et al.*, 2019). Akibatnya, terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan mengenai keteraplikasian praktis dan efektivitas inisiatif ES di UKM industri tapioka. Penelitian lebih lanjut dan studi empiris penting untuk mengisi kesenjangan ini, memungkinkan pemahaman komprehensif tentang sirkularitas dalam konteks ini dan memberikan wawasan berharga untuk proses pengambilan keputusan yang terinformasi.

Ekonomi berkelanjutan menawarkan pendekatan yang menjanjikan untuk mencapai keberlanjutan dengan mengatasi tantangan kelangkaan sumber daya dan dampak lingkungan(Velenturf dan Purnell, 2021;Akinade dan Oyedele 2019;Ellen Macarthur Foundation 2019a). Namun, penting untuk membedakan antara berbagai jenis pendekatan ekonomi berkelanjutan dan mengevaluasi kontribusi masing-masing terhadap keberlanjutan (Velenturf dan Purnell, 2021). Sistem yang menjanjikan muncul sebagai alternatif terhadap model produksi tradisional yang bertujuan untuk memisahkan pertumbuhan ekonomi dari pengekangan sumber daya dan degradasi lingkungan (Schulte *et al.*, 2021).

Demikianlah konsep ekonomi sirkular (ES) muncul sebagai model alternatif dari cara produksi tradisional dengan mengubah proses produksi dan konsumsi. Prinsip ES semakin diadopsi oleh perusahaan dalam model bisnis mereka untuk mempromosikan penggunaan sumber daya yang lebih efisien dan berkelanjutan (Ferasso *et al.*, 2020; Pieroni *et al.*, 2019); meningkatkan efisiensi sumber daya dan menurunkan emisi berbahaya. (Lauten-Weiss dan Ramesohl 2021); Mannan dan Al-Ghamdi, 2022). Tujuan akhir dari pendekatan ES adalah untuk mencapai pemisahan pertumbuhan ekonomi dari eksploitasi sumber daya alam dan degradasi lingkungan (Murray *et al.*,2017). Pembangunan berkelanjutan sering dianggap sebagai tujuan utama dari Ekonomi sirkular (ES), namun masih ada pertanyaan mengenai apakah ES dapat saling mendukung antara keberlanjutan lingkungan dan pembangunan ekonomi (Kirchherr *et al.*, 2023).

Untuk memastikan bahwa implementasi ekonomi berkelanjutan sejalan dengan tujuan keberlanjutan, sangat penting untuk memahami definisi

keberlanjutan itu sendiri. Barbier menggunakan istilah pembangunan ekonomi yang berkelanjutan dan pembangunan berkelanjutan secara inkonsisten (Mebratu, 1998). Kemudian, frasa Pembangunan Berkelanjutan (SD) menjadi populer setelah dirilisnya Laporan Komisi Brundtland oleh Komisi Dunia untuk Lingkungan dan Pembangunan pada tahun 1987 (Visser dan Brundtland 2013). Menariknya, bahasa yang bersaing antara 'keberlanjutan' dan 'pembangunan berkelanjutan' seringkali begitu terkait erat dalam banyak literatur dan pemahaman umum mereka dalam kerangka 'tiga pilar'(Purvis *et al.*, 2019). Namun, pandangan yang bervariasi dapat menciptakan definisi yang terfragmentasi, seringkali memprioritaskan agenda khusus di atas pemahaman yang komprehensif (Barbier, 1987).

Keberlanjutan menjadi semakin penting bagi generasi saat ini dan masa depan dan merupakan bagian penting dari keputusan berkaitan dengan lingkungan di semua sektor (Zanghelini *et al.*, 2018). ES telah diidentifikasi sebagai kondisi untuk keberlanjutan, hubungan yang menguntungkan atau *trade-off*. Agar ekonomi sirkular dapat berkelanjutan, aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial dari strategi sirkularitas perlu diperhitungkan (Niero dan Rivera, 2018).

Selanjutnya, McDonough dan Braungart (2002) mengusung prinsip-prinsip dalam *Cradle to Cradle* seperti desain untuk manfaat ekologis, sosial, dan ekonomi secara bersamaan. Mereka menyerukan pergeseran dari sekadar mengurangi dampak (*eco-efficiency*) menuju sistem produksi yang regeneratif dan memberi nilai positif secara simultan bagi alam, manusia, dan ekonomi.

Salah satu tantangan dalam menilai dampak potensial ini adalah penyebaran mereka sepanjang siklus hidup produk, membuat proses penilaian menjadi rumit. pendekatan siklus kehidupan merupakan opsi untuk menjawab permasalahan tersebut. Namun, penting untuk membedakan antara berbagai jenis pendekatan ekonomi sirkular dan mengevaluasi kontribusi mereka masing-masing terhadap keberlanjutan (Velenturf dan Purnell, 2021).

2.5. Praktek Ekonomi Sirkular dalam Industri Tapioka

Meskipun prinsip-prinsip ES telah mendapat pengakuan, aplikasi praktisnya dalam usaha kecil dan menengah (UKM) dalam industri tapioka belum secara

menyeluruh diselidiki. UKM memainkan peran penting dalam transformasi ekonomi linier menjadi ekonomi sirkular. Salah satu aspek menarik dari ES yang gagal diatasi adalah penyediaan bukti pelaksanaan sukses ES dalam industri UKM yang berbasis pada komoditas, terutama yang berfokus pada ubi kayu. Keterlibatan UKM dalam transisi menuju ES masih jarang terjadi (Garrido-Prada *et al.*,2021). Ubi kayu (*Manihot esculenta*) adalah salah satu produk pertanian penting yang dikonsumsi secara global sebagai makanan pokok bagi 1 miliar orang (Latif dan Müller 2015); sebagai bahan baku dalam industri makanan, pakan hewan, bioenergi, dan industri seperti alkohol, asam sitrat, pakaian, dan kimia (Singvejsakul *et al.*,2021). Produksi ubi kayu di Lampung sebagian besar diolah menjadi tepung tapioka (Center for Agricultural Data and Information System 2016), Industri tapioka menghasilkan tepung tapioka sebagai produk utama. Selain itu, industri ini juga menghasilkan limbah padat (kulit, elot, dan serat ubi kayu) serta limbah padat dan cair sebagai sumber energi alternatif potensial.

Tantangan utama dalam industri tapioka meliputi konsumsi air, penggunaan energi, pembuangan limbah, dan dampak lingkungan dari penggunaan pestisida dan pupuk. Masalah jejak air abu-abu telah mendapatkan lebih banyak perhatian selama dekade terakhir di industri ini. PBB memperkirakan bahwa secara global lebih dari 80 persen air limbah di seluruh dunia dibuang ke lingkungan tanpa perlakuan apa pun (The United Nation, 2017). Namun, air limbah dapat menjadi solusi alternatif untuk era yang akan datang dari kelangkaan air (Pervez *et al.*,2021;Sauvé *et al.*,2021;Hai *et al.*,2018); sumber energi berkelanjutan, nutrisi, bahan organik, dan produk sampingan lainnya yang berguna (Qadir *et al.*,2020); pupuk (digestat) (Lerdlattaporn *et al.*,2021); produksi biogas, dan meminimalkan limbah dan lumpur (Hasanudin *et al.*,2019;Fan *et al.*,2020).

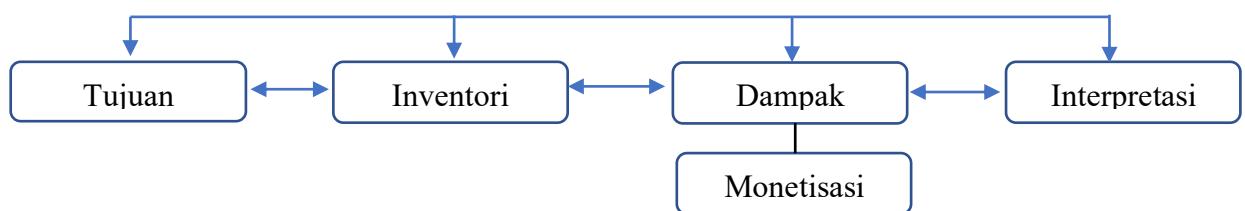
Penerapan konsep ekonomi sirkular (ES) pada limbah dan produk sampingan proses produksi tepung tapioka dapat mengarah pada pembangunan berkelanjutan, melalui pengurangan limbah dan memberikan manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan. Fitur keberlanjutan tidak hanya perihal konsumsi energi, tetapi juga pelaporan emisi, limbah, dan konsumsi bahan bakar seperti yang diilustrasikan.

2.6. Metode Pengukuran Ekonomi Sirkular Berbasis *Life Cycle Thinking*

2.6.1. Penilaian daur hidup/ *Life Cycle Assessment* (LCA)

Penilaian daur hidup adalah metode yang diterima secara luas untuk secara sistematis mengidentifikasi dampak terhadap lingkungan yang disebabkan oleh siklus hidup total (dari ekstraksi sumber daya hingga limbah pembuangan) suatu produk (Corominas *et al.*, 2013), LCA didasarkan pada inventarisasi semua material dan kebutuhan energi serta emisi yang terjadi selama siklus hidup produk. Menurut Stijn *et al.*, (2021), LCA berpotensi digunakan untuk mengidentifikasi strategi dan opsi ekonomi sirkular (ES) yang paling efektif dan menjanjikan. Pendekatan ini dapat membantu merumuskan prioritas intervensi guna meningkatkan kinerja lingkungan, baik pada tingkat konsumsi masyarakat maupun pola produksi.

Komponen penting LCA adalah menilai sensitivitas hasil LCA terhadap semua asumsi dengan analisis skenario (Laurent *et al.*, 2014). Menurut ISO 14040:1997/2006, metode ini secara luas dapat diterapkan, dan lebih jauh lagi, satunya lingkungan standar non-sektor-spesifik metode penilaian tentang ISO 14040/44. Empat fase LCA adalah (1) Tujuan dan definisi Ruang Lingkup, (2) Analisis Inventarisasi Siklus Hidup (LCI), (3) Analisis Dampak Siklus Hidup sesi (LCIA) dan (4) Interpretasi (Backes dan Traverso 2021) seperti dijelaskan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kerangka kerja penilaian daur hidup (LCA) adaptasi ISO 14040 (UNEP 2020)

Upaya sinkronisasi LCA dengan nilai ekonomi proyek adalah juga dilakukan dalam berbagai penelitian dengan agregasi dan pembobotan yang berbeda. Keuntungan LCA adalah memperluas dampak lingkungan dari konsekuensi langsung dari aktivitas ke semua tahap kehidupan produk.

Kerugian utama adalah dampak dikuantifikasi dalam berbagai unit tergantung pada kategori, sehingga lebih sulit untuk menetapkan *trade-off* dan mengevaluasi alternatif. Penilaian siklus hidup (LCA) sangat cocok untuk menilai keberlanjutan dampak dari strategi ES.

2.6.2. Biaya Daur hidup / *life cycle costing* (LCC)

Biaya daur hidup merupakan metode menilai seluruh cost yang berhubungan dengan proses produksi yang timbul dari tahap *cradle to grave* mengacu pada SETAC 2008. LCC bertujuan menerjemahkan masalah lingkungan ke dalam unit moneter(Gluch dan Baumann 2004). Namun,LCC dapat menguntungkan karena tidak hanya harga beli dipertimbangkan, tetapi juga biaya selama seluruh siklus hidup. (Hoogmartens *et al.*,2014); Tujuan lebih lanjut dari LCC adalah identifikasi pemicu biaya dan *trade-off* dalam siklus hidup suatu produk (Rebitzer *et al.*,2003). Kode praktik untuk LCC yang melengkapi LCA dikembangkan oleh Society Toksikologi dan Kimia Lingkungan (SETAC) pada tahun 2008 (Swarr *et al.*,2011).

Pendekatan LCC memiliki perspektif siklus hidup yang diperluas, dan dengan demikian mempertimbangkan tidak hanya biaya investasi, tetapi juga biaya operasi selama perkiraan masa pakai produk.

Secara umum, LCC mengikuti kerangka ISO 14040/44. Mendefinisikan tujuan dan ruang lingkup analog dengan LCA. Kedua penilaian (LCA dan LCC) fokus pada definisi yang setara dari sistem produk. Berbeda dengan LCA, tidak ada fase penilaian dampak yang sebanding di LCC karena semua data inventaris terdiri dari: satu unit pengukuran: mata uang. Akibatnya, tidak perlu untuk mengkarakterisasi data persediaan. Aspek yang menantang dari LCC adalah usulan cakupan semua biaya selama seluruh siklus hidup, dengan biaya ditanggung oleh aktor yang berbeda.

2.6.3. Perspektif biaya sosial dalam SLCA

Meskipun ekonomi sirkular (ES) telah mendapat perhatian sebagai pendekatan yang berkelanjutan, seringkali aspek sosial diabaikan. Keterbatasan pertimbangan terhadap aspek sosial dalam kerangka ES dapat menghambat pencapaian manfaat

sosial. Sudah diakui bahwa faktor sosial menerima perhatian yang tidak memadai dalam penelitian ES (Kirchherr *et al.*,2017).

Keterbatasan sumber daya, termasuk sumber daya keuangan dan manusia, dapat menghambat UKM untuk berinvestasi dalam inisiatif sosial dan menghasilkan manfaat sosial yang positif. Selain itu, basis pelanggan dan jangkauan pasar yang lebih kecil mereka membatasi kemampuan mereka untuk menciptakan dampak sosial yang signifikan. Kendala biaya dan prioritas kebutuhan keuangan yang langsung dapat lebih lanjut membatasi sumber daya yang tersedia untuk program sosial (Bocken *et al.*,2016).

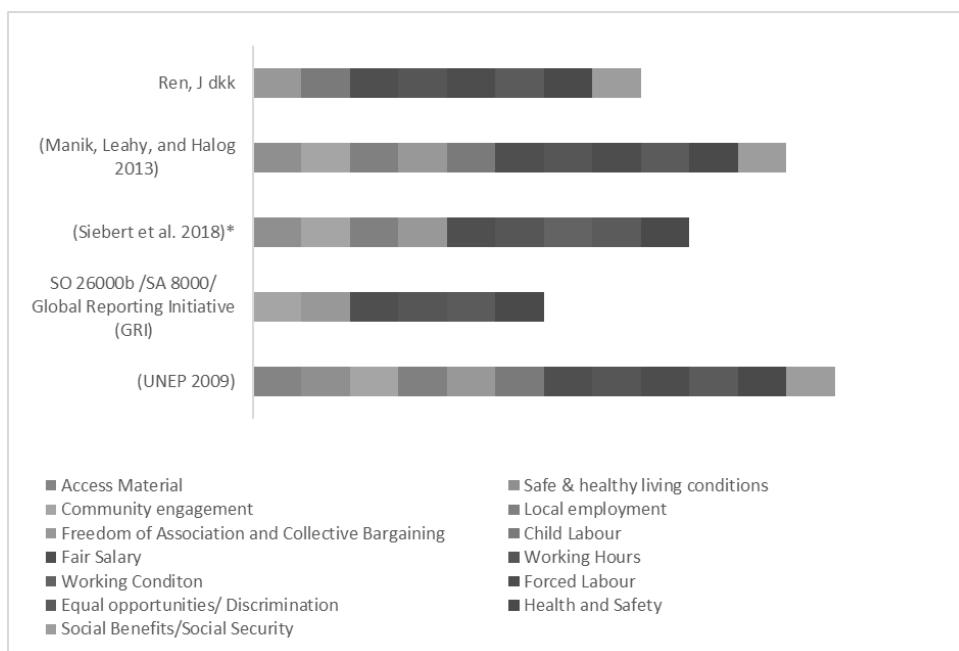
Dengan mengakui pentingnya isu sosial, kita dapat meningkatkan keberlanjutan dan inklusivitas keseluruhan ES, mendorong masyarakat yang lebih adil dan berkeadilan. Menggabungkan pemahaman menyeluruh tentang isu sosial memungkinkan ES menjadi proposisi yang lebih inklusif dan berkeadilan sesuai dengan prinsip-prinsip keberlanjutan dan keadilan sosial.

Penting bagi penelitian untuk memasukkan dimensi sosial dalam domain ekonomi sirkular dan pembuatan kebijakan (Padilla-Rivera *et al.*,2020); SLCA memungkinkan konsumen membuat keputusan pembelian yang lebih terinformasi dan bertanggung jawab (Falcone *et al.*,2018). Pada akhirnya, tujuan utama dari melakukan SLCA adalah untuk memfasilitasi komunikasi di antara pemangku kepentingan dan pembuat keputusan, sebagaimana yang disoroti oleh (García-Sánchez dan Güereca, 2019); untuk meningkatkan kesejahteraan sosial para pemangku kepentingan yang terpengaruh oleh siklus hidup produk (Jørgensen *et al.*,2010).

Pendekatan SLCA efektif untuk membantu pengambilan keputusan untuk mengurangi dampak sosial negatif dan meningkatkan yang positif (Siebert *et al.*,2018) untuk menghasilkan hasil yang langsung atau menguntungkan (Jørgensen *et al.*,2010). Keberhasilan SLCA bergantung pada keterlibatan pemangku kepentingan dalam menentukan tujuan dan lingkup penilaian, sambil mempertimbangkan sumber daya yang tersedia (UNEP 2009).

Meskipun penelitian tentang penilaian kualitatif dampak sosial dalam SLCA, seperti yang digambarkan dalam Gambar 9, telah mencapai kemajuan signifikan, ada tantangan yang signifikan dalam kurangnya metode standar yang terdefinisi dengan baik untuk mengkuantifikasi masalah sosial, dan oleh sifat subjektif beberapa indikator sosial (Zhou *et al.*, 2019; Huertas-Valdivia *et al.*, 2020). Selain itu, karena sebagian besar dampak sosial yang dibahas dalam SLCA dipengaruhi oleh perilaku organisasi dan kondisi nasional (misalnya, gaji yang adil) daripada produk, pendekatan organisasional mungkin lebih mudah daripada pendekatan produk untuk menangani aspek sosial (Chang *et al.*, 2018).

Literatur saat ini terutama berfokus pada indikator kualitatif dan ada penelitian terbatas yang mengeksplorasi potensi manfaat dan tantangan dari menguangkan faktor sosial dalam SLCA (Velden *et al.*, 2017). Kesenjangan penelitian ini menyoroti perlunya penyelidikan lebih lanjut tentang penilaian kuantitatif dalam SLCA, khususnya dalam menguangkan aspek sosial.



Keterangan : Pertama kali dipublikasikan dalam Jurnal *[Applied Environmental Research Journal, 4,2024]* oleh Chulalongkorn University, Thailand (Yosep *et al.*, 2024).

Gambar 9. Hasil studi aspek sosial dalam perspektif daur hidup (Siebert *et al.*, 2018; UNEP 2020; Manik *et al.*, 2013)

2.6.4. Metode integrasi lingkungan pada model CBA

Pendekatan ini berlandaskan pada pengembangan model sebelumnya yang mengintegrasikan *life cycle thinking* (LCT) ke dalam kerangka *cost-benefit analysis* (CBA), antara lain model LC-CBA oleh (Lam *et al.*, 2018); dan model LCC-CBA oleh (Chang *et al.*, 2017).

Sejalan dengan penelitian-penelitian tersebut, analisis biaya-manfaat dalam studi ini menggunakan pendekatan CBA yang bersifat observasional dan deskriptif, dimulai dengan perbandingan antara biaya dan manfaat. Proses ini diawali dengan identifikasi biaya investasi dan operasional, termasuk biaya langsung seperti pembelian bahan baku dan bahan tambahan, serta biaya tidak langsung seperti gaji karyawan, pembayaran listrik, pembelian plastik, dan komponen biaya lainnya (Rahmiyati *et al.*, 2019).

Setelah seluruh data dikumpulkan dan dievaluasi, manfaat bersih proyek dihitung dengan menggabungkan penilaian siklus hidup (*life cycle assessment*) ke dalam analisis biaya-manfaat, serta mempertimbangkan manfaat dan dampak sosial tak berwujud dalam bentuk nilai moneter moneter (Muhamat *et al.*, 2021). Semua manfaat dan biaya kemudian didiskon ke tahun dasar dan dibandingkan menggunakan tiga ukuran kelayakan finansial, yaitu nilai sekarang neto/*net present value* (NPV), rasio manfaat-biaya/*benefit cost ratio* (BCR), dan tingkat pengembalian internal/*internal rate of return* (IRR), dengan rumus perhitungan serupa seperti yang dijelaskan sebelumnya.

Lebih lanjut, mengelola biaya yang terkait dengan lingkungan dapat memberikan dampak positif berupa peningkatan profitabilitas dan kinerja organisasi secara keseluruhan (Falope *et al.*, 2019). Berdasarkan pertimbangan tersebut, studi ini mengusulkan pengembangan indikator baru untuk mengevaluasi aspek lingkungan dalam model berbasis CBA, sehingga penilaian keberlanjutan dapat lebih komprehensif.

Penggabungan alat analisis berkelanjutan dengan alat pengambilan keputusan menjadi salah satu langkah menarik yang dapat dilakukan. Penggunaan kombinasi indikator-indikator ini untuk mendukung pengambilan keputusan yang

berkelanjutan untuk membuat keputusan perlu menggabungkan analisis sustainability dengan pembuat keputusan (Carmo *et al.*,2018) Penilaian siklus hidup (LCA) dan analisis biaya-manfaat (CBA), untuk memandu pengambilan keputusan dalam pengelolaan limbah makanan berkelanjutan (Lam *et al.*,2018). Peneliti lainnya mengintegrasikan Analisis Manfaat Biaya (CBA) dan implementasi terbaru dari pendekatan LCSA ; Analisis Manfaat Biaya Siklus Hidup (LC-CBA) dan mengintegrasikannya ke dalam siklus hidup (Fregonara 2020); SCBA mempertimbangkan semua manfaat dan dampak sosial tidak berwujud dari proyek bagi manusia dan mengubahnya menjadi nilai moneter (Muhamat *et al.*,2021).

Salah satu peneliti menilai implikasi sosial dari sistem produksi minyak sawit yang ada dengan keputusan multikriteria, dengan menerapkan sistem pembobotan pada kriteria ini berdasarkan evaluasi ahli Pekerjaan itu bisa mengungkap titik-titik panas dalam aspek keberlanjutan sosial yang bermanfaat untuk merancang strategi dan kebijakan untuk mendukung pembangunan biodiesel minyak sawit berkelanjutan (Manik *et al.*,2013).

Beberapa pemodelan keputusan terstruktur yang mempertimbangkan nilai analisis para pembuat keputusan untuk mendukung pengambilan keputusan berdasarkan hasil LCSA, misalnya model *Multicriteria decision aids* (MCDA) (Carmo *et al.*,2018); metodologi ini digunakan pada produksi bioetanol di Tiongkok menunjukkan bahwa MCDM dan LCSA saling terkait dalam penilaian keberlanjutan proses produksi bioetanol.

Analisis Biaya-Manfaat (*Cost-Benefit Analysis/CBA*) dianggap sebagai alat pengambilan keputusan yang mendasar untuk menangani dimensi ekonomi dari keberlanjutan (Joseph *et al.*,2020). Temuan studi kasus juga menunjukkan bahwa mengintegrasikan kriteria keberlanjutan ke dalam Analisis Biaya-Manfaat (CBA) pada proyek individu dapat dilakukan dengan menangani kekhawatiran komunitas lokal, menghargai kelangkaan sumber daya, dan berfokus pada keberlanjutan ekologi (Tiwari, 2000).

CBA (Analisis Biaya-Manfaat) adalah alat yang tepat untuk membandingkan antara perlindungan lingkungan dan pembangunan sosial serta ekonomi guna mencapai penggunaan sumber daya yang langka secara lebih efisien (Blanco dan Fazeni, 2017);(Fregonara, 2020). Analisis Biaya-Manfaat muncul sebagai instrumen yang berharga dalam mengurangi ketidakpastian yang terkait dengan keputusan lingkungan, terutama yang berkaitan dengan proyek besar dengan dampak yang tidak dapat diubah (Bohm dan Henry, 1979).

Ada tren yang semakin berkembang untuk mengintegrasikan Analisis Biaya-Manfaat (CBA) dan *Life Cycle Assessment* (LCA) guna melakukan penilaian yang komprehensif terhadap aspek ekonomi dan lingkungan. Namun, kedua pendekatan ini sering diterapkan secara terpisah daripada secara terintegrasi. LCA bertanggung jawab untuk menilai pertimbangan lingkungan dalam penilaian keberlanjutan berbasis siklus hidup, sementara pendekatan CBA diusulkan di sini untuk secara spesifik mengevaluasi dimensi ekonomi dari keberlanjutan. Selain itu, model yang dikenal sebagai model LC-CBA mengintegrasikan LCA dan CBA untuk mengevaluasi keberlanjutan (Lam *et al.*,2018), tetapi model ini kurang memberikan kerangka kerja yang komprehensif dari perspektif LCA. LCA tetap menjadi alat yang berharga untuk menilai dampak lingkungan dalam konteks Ekonomi Sirkular (van Stijn *et al.*,2021;Corona *et al.*,2019;Halog dan Manik 2011).

Namun, tampak jelas bahwa metodologi analisis biaya-manfaat dalam konteks peraturan lingkungan terus berkembang dan semakin canggih (Schmidt 2003);(Ray 1997). Ketiadaan informasi mengenai hubungan kausal antara aktivitas ekonomi dan lingkungan biasanya menghambat kuantifikasi dan monetisasi dampak lingkungan untuk diintegrasikan ke dalam Analisis Biaya-Manfaat (CBA) (Tiwari 2000). Integrasi aspek lingkungan ke dalam analisis biaya-manfaat menghadapi tantangan, terutama karena kesulitan dalam memonetisasi biaya dan manfaat lingkungan (Joseph *et al.*,2020;Coplan dan Haub 2018;Adler dan Posner 1999; Pearce, 1998). Demikian pula, menurut penulis, melakukan analisis biaya-manfaat untuk membatasi emisi gas rumah kaca telah menjadi tantangan yang sangat sulit (Chichilnisky, 1997).

2.6.5. Integrasi model penilaian daur hidup berkelanjutan dengan model pengambilan keputusan

Kerangka kerja LCSA (*Life Cycle Sustainability Assessment*) adalah pendekatan terintegrasi yang menggabungkan model *Life Cycle Assessment* (LCA), *Life Cycle Cost* (LCC), dan *Social Life Cycle Assessment* (SLCA (Hoogmartens *et al.*,2014). Namun, terdapat tantangan dalam penggunaan beberapa indikator pada model LCSA karena sulit bagi pengambil keputusan untuk memahami dan menafsirkan hasilnya. Pemanfaatan hasil-hasil ini dalam pengambilan keputusan organisasi masih belum jelas (Halog dan Manik 2011). Hasil dari LCSA dapat terlalu terpecah-pecah, sehingga sulit untuk dipahami dan ditafsirkan oleh pengambil keputusan (Carmo, Margni, dan Baptiste 2018). Pertimbangan lingkungan yang komprehensif, meskipun penting, tidak dapat digunakan secara efektif sebagai alat pengambilan keputusan, sehingga kurang memadai dalam mendukung keputusan menuju keberlanjutan (Dong *et al.*,2018).

Oleh karena itu, integrasi pemikiran siklus hidup (*life cycle thinking*) dan pengambilan keputusan untuk mendukung pengambilan keputusan yang berkelanjutan sangatlah penting. Hal ini menyarankan penggunaan kombinasi alat analisis berkelanjutan, seperti *Life Cycle Sustainability Assessment* (LCSA), dan alat pengambilan keputusan, seperti *Multi-Criteria Analysis* (MCA), yang juga disebut pengambilan keputusan multi-kriteria (MCDM) atau model *Multicriteria Decision Aids* (MCDA) (Carmo, Margni, dan Baptiste 2018), LCA-MCDA (Zanghelini, Cherubini, dan Soares 2018) dan LCA-MCA/MCDM (Kalbar dan Das 2019).

Pendekatan-pendekatan ini dapat memberikan penilaian yang komprehensif terhadap suatu kebijakan atau proyek dengan mempertimbangkan berbagai perspektif dan tujuan. Sebaliknya, pendekatan ini juga memiliki keterbatasan, seperti subjektivitas dalam penetapan bobot kriteria yang dapat memperkenalkan bias, serta kompleksitas dan kebutuhan data yang dapat memakan waktu dan sumber daya yang signifikan. Sebagai alternatif, Analisis Biaya-Manfaat (*Cost-Benefit Analysis/CBA*) dianggap sebagai alat pengambilan keputusan yang mendasar untuk menangani dimensi ekonomi dari keberlanjutan. CBA adalah alat yang tepat untuk membandingkan antara perlindungan lingkungan dan

pembangunan sosial serta ekonomi guna mencapai penggunaan sumber daya yang langka secara lebih efisien (Blanco dan Fazeni 2017;Fregonara 2020).

Kerangka *Life Cycle Sustainability Assessment* (LCSA) dapat diterapkan untuk menilai kinerja keberlanjutan produk dan proses pengolahan(Chang *et al.*,2017); membawa perspektif holistik ke dalam pengambilan keputusan. dengan menilai di luar biofisik lingkungan ke dalam efek sosial dan ekonomi (Peña *et al.*,2020) Kerangka UNEP 2009/2020. LCSA lebih luas dari sekadar mengukur dampak sosial dan ekonomi tambahan karena memperluas tingkat analisis dari dampak yang terkait dengan produk tertentu hingga yang terkait dengan sektor atau bahkan ekonomi tertentu (Guinée, 2016). Hal ini juga bertujuan untuk menilai dampak lebih dari sekedar pengertian teknis, dan oleh karena itu selain menilai, misalnya, proses emisi, juga mempromosikan pertimbangan ketersediaan sumber daya dan hubungan antara perusahaan yang berbeda dalam rantai pasokan. Dengan demikian, daripada menjadi metode standar seperti LCA, LCSA dapat dianggap lebih sebagai kerangka kerja untuk bagaimana mengintegrasikan berbagai model lain (misalnya LCA + LCC + SLCA). Penggabungan ketiga alat tersebut menghasilkan LCSA komprehensif yang mencakup: tiga pilar keberlanjutan. (Hoogmartens *et al.*,2014).

Dengan demikian, *Life Cycle Sustainability Assessment* (LCSA) memperhitungkan semua tahapan siklus hidup produk, ketika menilai kinerja, dianggap sebagai alat holistik yang digunakan untuk mengukur keberlanjutan produk. Oleh karena itu, LCSA mengacu pada lingkungan, sosial dan penilaian ekonomi sistem produk dari perspektif siklus hidup untuk mempromosikan keberlanjutan produk [2, 3]. Namun, penggunaan jenis hasil ini dalam pengambilan keputusan organisasi tidak jelas. Halog dan Manik [4] menyoroti tiga karakteristik yang meningkatkan kompleksitas pengambilan keputusan melalui hasil LCSA: (i) indikatornya beragam multidimensional (masing-masing dinyatakan dalam unit yang berbeda), (ii) tujuannya adalah kontradiktif untuk sebagian besar masalah pengambilan keputusan (tidak mungkin untuk memaksimalkan kinerja sistem produk di semua indikator) dan (iii) kinerja evaluasi menjadi tidak pasti.

Alat penilaian yang umum digunakan yang terkait dengan ‘*Sustainable development*’ adalah alat ukur yang berbasis- proyek yaitu salah satunya

(CBA)(Rorarius 2007) dan diyakini bahwa CBA bisa mencakup ketiga aspek SD; ekonomi, lingkungan, sosial budaya (Vanclay 2002). Alat penilaian lainnya- terkait produk, seperti Analisis Siklus Hidup (LCA). Perbedaan pertama antara LCA dan LCC di satu sisi dan CBA di sisi lain menyangkut titik fokus. LCA dan LCC dapat dikatalogkan sebagai penilaian terkait produk sementara CBA berfokus pada proyek atau kebijakan.

Selain memiliki potensi untuk menangkap berbagai lingkungan, sosial, ekonomi, teknologi dan kesesuaian perusahaan indikator yang akan diperlukan oleh perusahaan yang mencoba mengidentifikasi proses valorisasi sampah yang optimal, masih ada beberapa keterbatasan yaitu standarisasi dan kuantitatif menunjukkan untuk mengukur sosial, teknologi dan pakta relasional dan pedoman yang homogen (seperti yang ada untuk LCA) yang dapat diikuti oleh perusahaan untuk mengimplementasikan proses ini. (Stone, Garcia-Garcia, dan Rahimifard 2019).

Perbedaan metodologi antara S-LCA dan LCA dapat digambarkan sebagai berikut: Awalnya, pemangku kepentingan terkait (kategori) harus ditentukan dan dipilih. Hasil keseluruhan dari S-LCA sangat bergantung pada pemilihan ini. Selanjutnya, dampak positif dan negatif yang dihasilkan sangat tergantung pada kondisi lokal (geografis) dan perilaku organisasi di perusahaan—tidak hanya pada proses produksi (seperti halnya LCA). Akibatnya, dampak sosial dari dua proses produksi yang identik secara teknologi untuk negara atau wilayah yang berbeda mungkin benar-benar berbeda.(Backes dan Traverso 2021). Ada kebutuhan yang jelas untuk menyederhanakan definisi dan indikator, terutama jika harus diterapkan dalam konteks kebijakan yang melengkapi analisis biaya-manfaat (CBA) tradisional—and pada umumnya berbasis moneter (Cesare *et al.*,2018).

2.6.6. Analisis biaya manfaat/*Cost benefit Analysis* (CBA)

Analisis biaya-manfaat (ABM) adalah pendekatan arus utama yang paling umum untuk mengukur manfaat dan biaya dari keputusan atau pengambilan tindakan, seperti: manajemen sumber daya alam dan pengembangan sumber energi alternatif. Ini sangat berguna untuk proyek, program atau kebijakan yang memiliki komponen sosial-ekonomi dan lingkungan. Analisis biaya manfaat adalah proses

identifikasi, pengukuran dan perbandingan sosial manfaat dan biaya proyek atau program investasi yang digunakan untuk mengevaluasi penggunaan sumber-sumber ekonomi agar sumber yang langka tersebut dapat digunakan secara efisien (Harry Campbel, 2003). Analisis biaya-manfaat (atau penilaian biaya-manfaat) CBA: analisis biaya-manfaat adalah ekonomi teknik evaluasi yang menganalisis pembangkitan manfaat ekonomi dan biaya dari sebuah proyek atau kebijakan dengan membandingkan arus manfaat dan biaya yang didiskon selama waktu yang ditentukan tahun dasar.

Data berikut diperlukan untuk menyelesaikan CBA: jumlah tahun untuk dimasukkan dalam analisis (umur proyek, atau cakrawala waktu); nilai manfaat dan biaya proyek (semua dinyatakan dalam satuan moneter) untuk setiap tahun yang termasuk dalam analisis; dan tingkat diskonto. Semua manfaat dan biaya didiskon kembali ke tahun dasar.

Cost benefit analysis juga dapat mencakup manfaat dan biaya tidak berwujud atau efek dari keputusan seperti kinerja karyawan ataupun kepuasan pelanggan. Biaya dan manfaat ini dapat keuangan, sosial atau lingkungan asalkan mata uang bersama dapat ditemukan (Jamasp dan Nepal, 2010; Benis et al., 2018; Lee *et al.*, 2017). Sama seperti LCC, biaya/manfaat biasanya berkerumun di sekitar biaya set up awal (yaitu pembelian peralatan), biaya operasional (misalnya energi, tenaga kerja) dan biaya akhir masa pakai (misalnya dekomposisi misioning dan pembuangan limbah). Pendekatan ini umumnya digunakan sebagai metode ante dan didasarkan pada kemungkinan memonetisasi manfaat pengguna (misalnya penghematan waktu perjalanan) serta biaya investasi dan "negatif" lainnya efek (misalnya konsumsi energi, penggunaan sumber daya, dan emisi CO²).

Meskipun satu CBA dapat mencakup ketiganya semua biaya dan manfaat dari alternatif (prinsip tambahan) diidentifikasi dan dihitung, dinilai termasuk efek eksternal yaitu ekonomi, sosial dan lingkungan (Hoogmartens *et al.*, 2014). Namun, ada aspek kunci yang harus diperhitungkan, biasanya hanya satu atau dua aspek yang diperhitungkan (Rorarius 2007). Pada prinsipnya investasi dapat dievaluasi berdasarkan kesediaan membayar untuk menghindari biaya tertentu (mis. lingkungan, sosial) atau kesediaan untuk membayar untuk mendapatkan manfaat.

Masalah utama dengan CBA adalah cara sederhana untuk menempatkan nilai moneter untuk semuanya. kenyataannya, seseorang tidak bisa selalu menilai nilai-nilai tertentu (misalnya kebebasan, ekologis) dalam satuan moneter (Ferrand *et al.*,2013).

Penggunaan CBA telah mengalami fluktuasi, tetapi sekarang diakui sebagai teknik penilaian utama untuk investasi publik dan kebijakan publik. Alat ini tidak dapat memasukkan triple bottom line secara tepat dan sempit cara karena proses monetisasi dipertanyakan untuk tidak berwujud ini item. Ketika pendekatan mencoba memberi harga "hal-hal yang tak ternilai", ada yang lebih besar tingkat ketidakpastian dalam pengukuran, peramalan, dan evaluasi. Lebih-lebih lagi, CBA tipikal tidak mempertimbangkan siklus hidup proyek secara penuh, misalnya, akhir dari aspek kehidupan jarang disertakan — lihat detail lebih lanjut tentang kelemahan CBA(Jones *et al.*, 2014;Bueno *et al.*, 2015).

2.7. Tantangan dan Keterbatasan Model

2.7.1. Kompleksitas monetisasi dampak keberlanjutan

Salah satu tantangan dalam penelitian ini adalah melakukan monetisasi dampak lingkungan dan sosial yang berkelanjutan yaitu pemberian nilai moneter kepada biaya dan manfaat non-moneter, seperti nilai perbaikan kesejahteraan sosial atau nilai sumber daya lingkungan (Sining *et al.*, 2024).

$$\text{Manfaat Neto} = \sum_{i=0}^n (\text{Manfaat} - \text{Biaya})i \quad (1)$$

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk memberikan nilai moneter kepada barang atau jasa dalam konteks analisis biaya-manfaat atau evaluasi ekonomi lainnya.

Pearce dan Turner (1990) membedakan dua pendekatan utama dalam menilai manfaat lingkungan, yaitu teknik langsung dan tidak langsung. Teknik langsung mengukur nilai moneter perbaikan lingkungan melalui pasar pengganti atau pendekatan eksperimental seperti survei kesediaan membayar (*willingness to pay*). Sementara itu, teknik tidak langsung menilai nilai lingkungan dari perilaku ekonomi yang teramat. Kedua pendekatan ini bertujuan mengaitkan perubahan

kualitas lingkungan dengan nilai ekonomi untuk mendukung kebijakan dan analisis biaya-manfaat.

Menurut (Pizzol et al. 2015) secara garis besar, menjelaskan klasifikasi penilaian Life Cycle Assessment dan definisi pendekatan serta metode valuasi moneter. Secara umum, terdapat beberapa pendekatan utama: *Observed preferences*, yang menilai nilai moneter barang berdasarkan harga pasar yang ada; *Revealed preferences*, yang menentukan nilai barang non-pasar melalui perilaku nyata seperti pengeluaran untuk menghindari kerugian (averting behaviour), biaya perjalanan (travel cost), atau atribut harga pasar (hedonic pricing); *Stated preferences*, yang menilai kesediaan membayar dalam pasar hipotetis melalui metode seperti contingent valuation atau conjoint analysis; serta pendekatan berbasis biaya seperti *budget constraint*, yang menilai nilai tambahan kualitas hidup, dan *abatement cost*, yang menilai biaya potensial untuk mengurangi atau mengganti dampak terhadap barang non-pasar. Pendekatan ini membantu mengkuantifikasi nilai ekonomi dari barang dan jasa yang tidak selalu diperdagangkan di pasar.

Sedangkan menurut Forest Europe (2014) metode valuasi jasa ekosistem yang dibagi menjadi dua kategori utama: *preference-based methods* dan *cost-based methods* (Forest Europe, 2014). *Preference-based methods* menilai nilai ekonomi berdasarkan preferensi atau perilaku konsumen, termasuk metode *Travel Cost Method (TCM)* yang menghitung biaya waktu dan perjalanan untuk mengunjungi suatu situs, *Contingent Valuation Method (CVM)* yang menggunakan survei untuk menentukan kesediaan membayar, *Choice Experiments* yang menilai pilihan antara atribut berbeda, *Hedonic Pricing* yang menilai nilai berdasarkan atribut properti terkait lingkungan, serta *Market Observations* yang memanfaatkan kurva permintaan dari data harga nyata. Semua metode ini umumnya menggunakan konsep *consumer surplus* sebagai ukuran nilai. Di sisi lain, *cost-based methods* menilai nilai jasa ekosistem berdasarkan biaya yang dikeluarkan untuk mencegah kerusakan atau mengganti fungsi ekosistem, seperti *Preventive Expenditure* (menggunakan biaya pencegahan kerusakan), *Replacement Costs* (biaya penggantian fungsi ekosistem), dan *Damage Costs* (biaya akibat kerusakan), dengan konsep *price surrogates* sebagai indikator nilai. Secara keseluruhan, tabel

ini menunjukkan bahwa metode valuasi dapat dibedakan berdasarkan pendekatan berbasis preferensi atau biaya, masing-masing menyesuaikan dengan karakteristik manfaat ekosistem yang diukur.

Selivanov dan Hlaváčková (2021) mengusulkan empat kategori utama metode valuasi yang digunakan untuk menilai nilai ekonomi dari barang, jasa, atau fungsi ekosistem. Metode valuasi pasar langsung mengandalkan data pasar yang dapat diamati, seperti harga pasar, atau pendekatan berbasis biaya termasuk biaya penggantian, substitusi, kerugian yang dihindari, dan biaya mitigasi, serta metode fungsi produksi. Metode valuasi pasar tidak langsung memperkirakan nilai dari perilaku pasar terkait, contohnya metode biaya perjalanan dan harga hedonik. Metode valuasi non-pasar menangkap nilai yang tidak tercermin di pasar, menggunakan pendekatan seperti valuasi kontingen (kesediaan membayar, menerima, atau menjual), pemodelan pilihan (eksperimen pilihan, perankingan kontingen), dan teknik musyawarah kelompok seperti metode Delphi. Terakhir, metode lain mencakup penentuan harga bayangan (shadow pricing), teknik transfer manfaat (transfer unit, disesuaikan, fungsi nilai, dan meta-analisis), metode sewa sumber daya, serta metode pertukaran simulasi, yang menyediakan alat fleksibel untuk menilai sumber daya yang kompleks atau kurang berwujud.

Sedangkan Bakhsh, *et al.*, (2022) merangkum metode valuasi moneter berdasarkan kategori preferensi yang terungkap (*revealed preferences*), preferensi yang dinyatakan (*stated preferences*), dan metode hibrida. Metode *revealed preferences* menilai nilai ekonomi dari perilaku pasar yang dapat diamati, seperti harga hedonik, biaya penggantian, biaya perjalanan, dan variasi kompensasi, termasuk pendekatan biaya peluang. Metode *stated preferences* memperkirakan nilai berdasarkan apa yang individu nyatakan atau pilih dalam skenario hipotetik, menggunakan pemodelan pilihan, model perilaku kontingen, dan metode valuasi kontingen, termasuk versi terbaliknya. Metode hibrida menggabungkan pendekatan langsung dan hipotetik, misalnya kombinasi biaya perjalanan dengan valuasi kontingen atau pemodelan pilihan, untuk menangkap nilai yang lebih kompleks dan komprehensif. Beberapa metode yang disertakan dalam penelitian ini adalah seperti Tabel 3. berikut:

Tabel 3. Jenis pendekatan *Utama* harga untuk monetisasi

Aspek/Dimensi	Metode Valuasi yang	Jenis Valuasi	Pengertian / Penjelasan Metode Evaluasi
Lingkungan (LCA)	<i>Replacement cost / Avoided damage cost / Market price</i>	<i>Direct market / Cost-based</i>	<p>Replacement cost: Menilai biaya yang diperlukan untuk mengganti atau memulihkan sumber daya yang hilang akibat kegiatan produksi.</p> <p>Market price: Menggunakan harga pasar langsung untuk menilai dampak lingkungan yang bisa diperdagangkan, misal karbon kredit atau harga bahan baku terkait dampak lingkungan.</p>
Lingkungan (LCA)	<i>Replacement cost / Avoided damage cost / Market price</i>	<i>Direct market / Cost-based</i>	<p>Abatement cost: Metode estimasi biaya ini menilai perubahan ketersediaan suatu barang non-pasar dengan menghitung potensi biaya yang diperlukan, baik untuk mengganti barang tersebut (<i>replacement</i>) maupun untuk mencegah terjadinya perubahan tersebut.</p> <p>Cost-based: Menghitung semua biaya sepanjang siklus hidup produk, termasuk investasi, operasi, pemeliharaan, dan pembuangan.</p>
Ekonomi (LCC)	Cost-based / Production function	Direct market / Cost-based	<p>Market price: Menggunakan harga pasar langsung untuk menilai dampak lingkungan yang bisa diperdagangkan, misal karbon kredit atau harga bahan baku terkait dampak lingkungan.</p> <p>Production function: Menilai kontribusi input terhadap output atau pendapatan untuk mengekspresikan nilai ekonomis dari proses produksi.</p>

Lanjutan Tabel 3

Sosial (SLCA)	Shadow pricing Contingent valuation	/ Other Indirect	/	Shadow pricing: Menetapkan nilai moneter untuk dampak sosial yang tidak memiliki harga pasar langsung, misal upah UMR S-eco-cost: metode monetisasi untuk mengukur beban sosial-ekonomi eksternal yang ditanggung pekerja, dihitung sebagai biaya pencegahan marginal agar kondisi kerja mencapai <i>Performance Reference Point</i> (PRP), serta biaya kompensasi yang melampaui PRP untuk mencerminkan eksplorasi yang tidak dapat diterima. Indikator dasarnya meliputi upah minimum yang layak, pekerja anak, kemiskinan ekstrem, jam kerja berlebihan, dan bentuk kerja paksa lainnya.
----------------------	--	---------------------	---	--

Keuntungan dari mengungkapkan dalam satuan nilai uang adalah bahwa ini dapat membantu pembuat kebijakan untuk mengkomunikasikan biaya dan manfaat dari berbagai pilihan kebijakan kepada publik secara jelas dan transparan. Namun, ada juga keterbatasan dalam mengungkapkan pengorbanan dalam bentuk moneter. Beberapa biaya dan manfaat mungkin sulit untuk dikuantifikasi dalam satuan moneter.

2.7.2. Kesulitan monetisasi dampak sosial manfaat SLCA

S-LCA (Social Life Cycle Assessment) untuk menilai dampak sosial potensial atau aktual dari suatu produk di mana dampaknya pada dasarnya dipahami sebagai dampak terhadap sumber daya manusia, kesejahteraan manusia, warisan budaya, dan perilaku sosial (The European Union 2020);(García-Sánchez dan Güereca 2019) berdasarkan pada Pedoman (UNEP 2009), dan (UNEP 2011). Konsep monetisasi manfaat sosial dalam SLCA melibatkan pemberian nilai moneter kepada dampak sosial, memungkinkan untuk pengkuantifikasian dan perbandingan mereka. Pendekatan ini memungkinkan terjemahan dampak sosial ke dalam unit pengukuran umum, seperti mata uang, memfasilitasi integrasi aspek sosial dengan

pertimbangan ekonomi, seperti nilai peningkatan kesejahteraan sosial atau nilai sumber daya lingkungan. Selain itu, sebuah manfaat dapat dijelaskan dalam hal pengurangan biaya (Litman 2011). Dengan memonetisasi manfaat sosial, SLCA dapat memberikan penilaian sosial yang lebih konkret dan komprehensif. Ini memungkinkan para pengambil keputusan untuk mempertimbangkan implikasi ekonomi dari dampak sosial dan memungkinkan perbandingan kinerja sosial di berbagai produk, sistem, atau alternatif.

Tabel 4. menjelaskan berbagai metode pendekatan yang digunakan yang mencakup beberapa subkategori, termasuk akses bahan Upah Minimum yang Dapat Diterima (sebagai komponen spesifik dari Upah yang Adil), Jam Kerja Berlebih, dan Keselamatan dan Kesehatan Kerja berfungsi sebagai metrik untuk mengkuantifikasi dampak lingkungan dari suatu produk dengan mempertimbangkan pencegahan dampak tersebut karena tidak ada kasus kerja paksa dan anak-anak serta dampak sosial hanya terbatas pada area cakupan industri tapioka.

Tabel 4. Pendekatan metode monetisasi manfaat sosial bagi industri tapioka UKM

No.	Dampak Kategori	Sub Kategori	Indikator metode pendekatan inventori	Baseline	Studi literatur
1	Komunitas lokal	Akses ke sumber daya material mengacu pada kemampuan dan kesempatan bagi individu atau entitas untuk memperoleh dan menggunakan bahan mentah, komponen, atau persediaan yang diperlukan untuk operasi, produksi, atau kegiatan mereka. Akses ke sumber daya material melibatkan upaya memperoleh dan menggunakan bahan mentah, komponen, atau persediaan yang diperlukan, memastikan penggunaan yang berkelanjutan dan etis untuk mendukung berbagai operasi atau kegiatan (Budiani 2020)	Manfaat dari penghematan biaya transportasi bagi industri yang mengakses sumber daya lokal, seperti yang dirasakan oleh petani lokal, terletak pada kenyataan bahwa dengan adanya industri yang berlokasi di dekatnya, petani tidak perlu mengeluarkan biaya untuk mengangkut cassava mereka ke lokasi yang jauh. Sebagai hasilnya, petani dapat mengurangi biaya terkait transportasi mereka.	Nilai minimum Akses ke bahan saat menggunakan semua bahan impor.	Mendorong penggunaan bahan baku yang berasal dari lokal dapat meningkatkan manufaktur lokal dengan mengurangi biaya transportasi dan meningkatkan kapasitas produksi domestik .(Dehghanimadvar, Egan, dan Chang 2022); Mencapai pertumbuhan berkelanjutan di masa depan bergantung pada pengadaan bahan baku dari aktivitas ekstraksi lokal, karena ini adalah satu-satunya cara untuk meminimalkan emisi karbon yang terkait dengan transportasi (Domaracka <i>et al.</i> , 2022)
2	Pekerja	Kesempatan yang Sama/Diskriminasi; Klasifikasi ini berfokus pada implementasi praktik yang adil untuk kesempatan yang sama atau keberadaan bias di antara karyawan berdasarkan jenis kelamin. (Reinales, <i>et al.</i> , 2020)	Pendekatan kesenjangan pendapatan gender.	nilai maksimum kesenjangan gender, ketika gaji pria dan wanita sama	Jurang pendapatan gender dihitung sebagai perbedaan pendapatan agregat yang disesuaikan antara perempuan dan laki-laki, terkait dengan pendapatan laki-laki; (International Labour Organization 2020);(Blau dan Kahn 2017); (Bönke, Corneo, dan Lüthen 2015).
3	Pekerja	Mengurangi Jam Kerja yang Berlebihan per Minggu (UNEP, 2020b); Jam kerja adalah waktu yang dihabiskan untuk pekerjaan berbayar. Ini merupakan satu-satunya topik sosial yang dipertimbangkan dalam studi kasus SLCA pertama. (Arvidsson, Baumann, dan Hildenbrand 2015)	Pendekatan Pembayaran Lembur	Pembayaran lembur minimum adalah 2 kali lipat dari upah jam kerja normal.	Pembayaran jam kerja ekstra didasarkan pada peraturan lembur di Indonesia (Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Indonesia 2004).(Azimi, Dente, and Hashimoto 2020)

Lanjutan Tabel 4

No.	Dampak Kategori	Sub Kategori	Indikator metode pendekatan inventori	Baseline	Studi literatur
4.	Pekerja	Gaji yang Adil; Upah yang adil sering kali dikutip sebagai indikator yang dapat diukur dari kesejahteraan masyarakat, sebuah kategori dampak yang telah ditentukan .(Neugebauer <i>et al.</i> ,2017)	Kehilangan Upah	Biaya sosial dengan manfaat bersih negatif ketika upah jatuh di bawah persyaratan upah minimum	Gaji yang dicuri didefinisikan sebagai pendapatan agregat yang diambil secara melanggar hukum dari karyawan akibat pembayaran gaji yang kurang (Damelio 2021);(David Cooper dan Kroeger 2017); Penelitian ini menyoroti bahwa upah minimum yang rendah berkontribusi secara signifikan terhadap biaya sosial yang lebih tinggi.(Van Der Velden <i>et al.</i> , 2017)
5.	Pekerja	Manfaat Sosial/Keamanan Sosial	Manfaat sosial yang diberikan kepada karyawan yang diprososikan oleh asuransi kesehatan	Asuransi kesehatan minimum adalah USD1.7 per karyawan.	Penelitian menggunakan Manfaat Sosial untuk pekerja (misalnya, tunjangan pengangguran, asuransi kesehatan, dan rencana pensiun) (L. Mancini <i>et al.</i> ,2020)(García-Sánchez dan Güereca 2019).Perhitungan ini umumnya didasarkan pada (Peraturan Presiden 2013)
6.	Komunitas lokal	Keterlibatan Komunitas; Keterlibatan Komunitas melibatkan kerjasama dengan dan beroperasi bersama kelompok individu yang terhubung oleh kedekatan geografis, minat bersama, atau keadaan yang sebanding untuk mengatasi masalah yang memengaruhi kesejahteraan mereka.	Didekati oleh Total Tanggung Jawab Sosial Perusahaan	asumsi dasar bahwa kontribusi CSR perusahaan tidak boleh kurang dari 2 persen	Persyaratan CSR - Pembayaran CSR. Pasal 9 ayat (1)-(3) Per-05/Mbu/2007, bahwa Program Kemitraan dan pendanaan Masyarakat bersumber dari raihan laba setelah pajaknya maksimal 2% (dua persen))(Badan Usaha Milik Negara 2007).

2.7.3. Rendahnya nilai monetisasi aspek sosial pada UKM industri

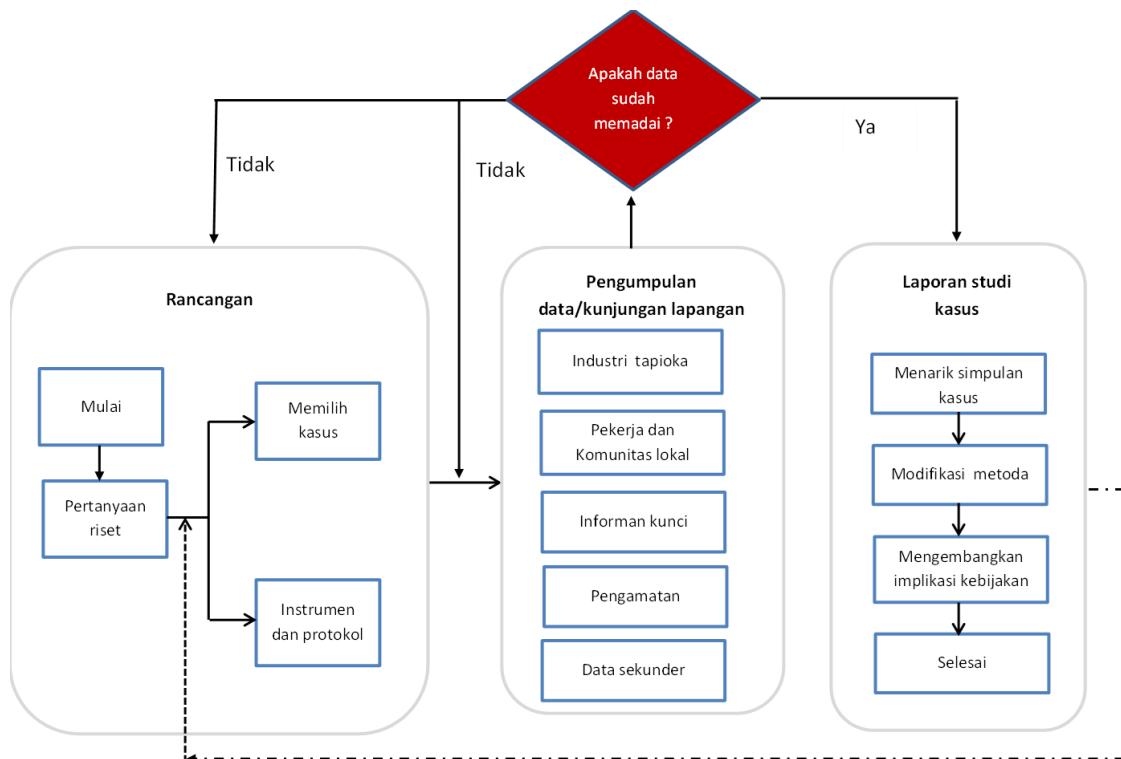
Nilai monetisasi sosial yang cenderung rendah disebabkan oleh salah satunya adalah struktur industri yang tidak berkelanjutan. Industri Tapioka baseline menunjukkan gambaran yang mengkhawatirkan karena sangat bergantung pada bahan baku yang diimpor dari daerah lain, yang berpotensi merusak perkembangan ekonomi lokal. Selain itu, industri ini didominasi oleh laki-laki, suatu situasi yang tidak hanya membatasi peluang bagi perempuan tetapi juga mempertahankan disparitas gaji gender. Kesenjangan gaji gender ini merupakan indikasi jelas dari perlakuan yang tidak adil dan menyoroti perlunya praktik ketenagakerjaan yang adil. Selain itu, sangat mengecewakan untuk melihat bahwa sebagian besar tenaga kerja industri ini dibayar jauh di bawah upah minimum regional. Untuk memperparah tantangan ini, ketiadaan asuransi kesehatan yang komprehensif dan jaminan kerja lebih lanjut mengekspos karyawan terhadap kerentanan. Mengatasi masalah-masalah ini dalam industri tapioka *baseline* penting untuk memastikan pertumbuhan ekonomi yang adil dan inklusif, mempromosikan kesempatan yang sama dan perlindungan sosial bagi semua pekerja. Diukur untuk output standar, biasanya ditetapkan menggunakan hubungan linier seperti yang disarankan oleh (UNEP 2020).

2.8. Kerangka Penelitian Studi Kasus

Implementasi Ekonomi Sirkular memegang peranan penting bagi industri tapioka di Provinsi Lampung; namun perlu diselidiki keuntungan bagi pelaku usaha dan ditinjau dari kemanfaatan ekonomi, lingkungan social dan mafaat sumber daya alam, Adapun ukuran yang digunakan merupakan gabungan Metode LSCA- CBA. Kombinasi ES dan LCA memberikan peluang bagi produsen produk untuk membandingkan strategi ES bersama dengan penilaian lingkungan yang lengkap, dan dengan demikian memastikan sistem lingkungan dan ekologi yang seimbang untuk metode produk melingkar atau loop product.

Alur tata laksana penelitian dimulai dengan merancang sebuah diagram alur yang terperinci, menjadi fondasi yang kuat untuk memberikan arah yang jelas bagi langkah-langkah selanjutnya seperti dijelaskan pada Gambar 10. Dalam proses ini,

peneliti secara cermat memilih studi kasus yang paling relevan dengan tujuan penelitian untuk memastikan bahwa wawasan yang diperlukan terkait dengan pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan sebelumnya. Pertanyaan penelitian menjadi penuntun yang mengarahkan pencarian peneliti ke masalah utama yang akan dipecahkan. Kemudian, alat-alat penelitian, seperti kuesioner, panduan wawancara, dan instrumen lainnya, dirancang dengan teliti untuk memastikan pemilihan peralatan terbaik untuk pekerjaan tersebut.



Gambar 10. Diagram alur tatalaksana penelitian berbasis “*case study protocol*” (Yin 2018).

Protokol studi kasus menjadi panduan yang kuat, mengatur setiap langkah dengan hati-hati dan detail. Dalam sebuah protokol, tiap tahap penelitian disusun secara cermat, mulai dari pengumpulan data hingga analisis akhir, sehingga tidak ada hal yang terlewatkan. Tahapan persiapan dimulai dengan menyusun rencana tabulasi yang cermat, seperti menyusun *blueprint* untuk memandu langkah-langkah berikutnya. Selanjutnya, kuesioner dibuat dengan teliti, menjadi instrumen yang efektif untuk mengumpulkan data yang diperlukan.

Setelahnya, peneliti beralih ke tahap pendataan lapangan, yang dimulai dengan pemeriksaan data yang teliti untuk memastikan keakuratan dan kelengkapan. Data kemudian dimasukkan secara sistematis, mirip dengan menempatkan setiap potongan teka-teki ke dalam tempatnya yang sesuai. Proses verifikasi data menjadi langkah penting berikutnya, di mana data diperiksa kembali untuk memastikan konsistensi dan keabsahan.

Pada tahap pengolahan data, penghitungan LCA, LCC, dan SLCA dilakukan dengan teliti, untuk memperoleh hasil yang akurat. Hasil dari ketiga penghitungan tersebut kemudian diintegrasikan ke dalam LCSA, yang menjadi landasan untuk mengukur keberlanjutan dari suatu siklus hidup. Terakhir, LCSA dipadukan dengan CBA untuk tahapan selanjutnya, memberikan pandangan yang lebih komprehensif tentang manfaat dan biaya dari suatu keputusan atau Tindakan.

Dengan langkah-langkah yang telah dilalui dalam tahapan analisis data, peneliti memiliki bahan yang diperlukan untuk meramu laporan studi kasus yang jelas dan komprehensif. Setiap aspek dari data yang terkumpul, hasil penghitungan, dan analisis telah diintegrasikan dengan cermat untuk menyajikan temuan yang kuat dan terpercaya. Sebuah laporan yang solid dan terperinci akan menjadi hasil dari upaya yang teliti dan sistematis dalam setiap tahap dari proses penelitian.

2.9. Identifikasi Manfaat Lingkungan, Ekonomi, dan Sosial

2.9.1. Manfaat lingkungan

Penggunaan teknologi pencernaan anaerobik dan pemanfaatan biogas sebagai sumber panas untuk pengeringan tapioka serta penggunaan kembali air limbah dalam proses pencucian awal ubi kayu menawarkan keuntungan lingkungan bagi industri tapioka. Salah satu manfaatnya adalah pengurangan emisi metana melalui pencernaan anaerobik. Dengan menangkap metana, gas rumah kaca yang kuat, selama proses dekomposisi limbah organik, industri secara efektif mengurangi emisi setara CO₂-nya, berperan penting dalam memerangi perubahan iklim (Ellen Macarthur Foundation 2019a; Yang *et al.*, 2023). Selain itu, substitusi batu bara dengan biogas sebagai sumber panas dalam proses pengeringan tapioka menunjukkan komitmen industri untuk selaras dengan sistem energi yang

berkelanjutan. Pergeseran ini mendorong masa depan energi yang lebih bersih dan ramah lingkungan, bertindak untuk masyarakat yang lebih berkelanjutan dan tangguh. Melalui praktik Ekonomi Sirkular ini, industri meningkatkan upaya manajemen energi yang berkelanjutan, mempromosikan penggunaan sumber daya yang efisien, dan berkontribusi pada peningkatan kualitas air sepanjang proses produksi.

2.9.2. Manfaat ekonomi

Komitmen industri tapioka terhadap praktik Ekonomi Sirkular tidak hanya mempromosikan keberlanjutan lingkungan secara langsung tetapi juga memberikan keuntungan ekonomi yang nyata, termasuk penghematan biaya dalam energi dan air, peluang penghasilan, dan potensi perdagangan kredit karbon. Dengan menggantikan batu bara dengan biogas, industri mencapai penghematan biaya melalui pengurangan pengeluaran energi. Transisi ini ke sumber energi yang lebih berkelanjutan tidak hanya berkontribusi pada profitabilitas industri tetapi juga mengurangi emisi karbon. Seperti yang didefinisikan oleh Perjanjian Paris, setiap ton emisi CO₂ yang dimitigasi dapat diubah menjadi nilai \$5, yang lebih meningkatkan manfaat ekonomi dari mitigasi tindakan karbon. Sebaliknya, pemerintah memberlakukan biaya sebesar \$2.10 untuk setiap ton setara CO₂.

Selain itu, optimasi sumber daya air meningkatkan efisiensi sumber daya dan berkontribusi pada pengurangan biaya keseluruhan. Adopsi praktik berkelanjutan sejalan dengan meningkatnya permintaan akan produk ramah lingkungan, memungkinkan industri untuk memasuki segmen pasar baru dan menarik konsumen yang peduli lingkungan. Selanjutnya, industri dapat memenuhi syarat untuk mendapatkan pendanaan dan hibah yang disediakan oleh pemerintah dan organisasi untuk mendukung bisnis yang mengadopsi praktik berkelanjutan, yang lebih meningkatkan viabilitas ekonominya.

2.9.3. Kurangnya inisiatif sosial dalam ekonomi sirkular

Kurangnya perhatian terhadap dimensi sosial dalam kerangka ES dapat menghambat pencapaian manfaat sosial. Beberapa penelitian telah mengakui bahwa faktor sosial masih kurang mendapat perhatian dalam kajian tentang ES

(Merli *et al.*, 2017; Jansen *et al.* 2020; Van Der Velden *et al.*, 2017). Dalam penelitian ini, ditemukan berbagai isu sosial yang signifikan dalam industri tapioka.

Salah satu temuan utama terkait aspek sosial adalah adanya kesenjangan upah berdasarkan gender. Penelitian ini mengungkap bahwa dalam industri ES di sektor tapioka, pembagian peran kerja masih didasarkan pada persepsi sosial mengenai kemampuan gender. Misalnya, perempuan sering kali tidak dilibatkan dalam pengoperasian mesin pengering karena pekerjaan tersebut dianggap lebih cocok untuk laki-laki. Pembagian kerja berbasis gender ini menyebabkan ketimpangan upah yang signifikan, terutama pada posisi dengan bayaran rendah, karena perempuan memiliki akses terbatas ke pekerjaan dengan bayaran lebih tinggi (Bandeira *et al.*, 2021).

(Murray *et al.*, 2015) juga menyoroti bahwa ES cenderung lebih menekankan manfaat lingkungan dibandingkan dengan aspek sosial. Mereka berpendapat bahwa ES tidak memberikan bobot yang sama terhadap isu sosial seperti halnya pendekatan keberlanjutan yang mencakup aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi.

Keterbatasan sumber daya, baik dari segi finansial maupun tenaga kerja, dapat menghambat usaha kecil dan menengah (UKM) dalam berinvestasi pada inisiatif sosial serta menciptakan manfaat sosial yang positif. Kendala biaya serta prioritas kebutuhan finansial jangka pendek semakin mempersempit alokasi sumber daya untuk program sosial. Program ini dapat meningkatkan keberlanjutan dan inklusivitas ES secara keseluruhan, sehingga mendorong terciptanya masyarakat yang lebih adil dan setara.

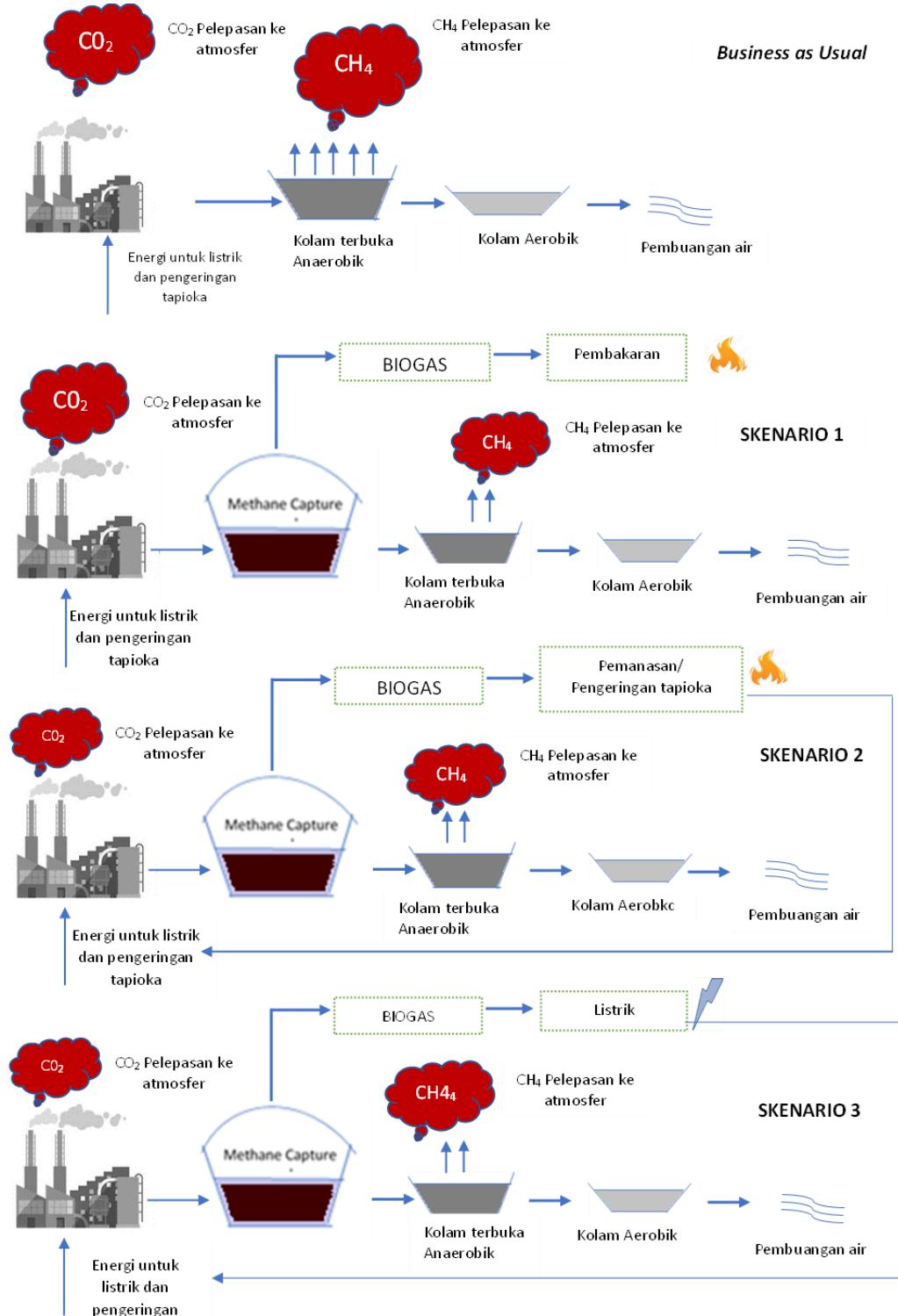
2.10. Perbandingan Skenario Manajemen Limbah Cair

Penelitian ini akan menggunakan beberapa skenario yang tercantum dalam Gambar 11. Pendekatan skenario dalam analisis inventaris lingkungan melibatkan pengembangan dan evaluasi skenario atau lintasan masa depan potensial yang berbeda untuk menilai dampak lingkungan mereka dalam istilah moneter. Dengan mempertimbangkan skenario yang berbeda, para pengambil keputusan dapat memahami konsekuensi potensial dari pilihan yang berbeda dan membuat keputusan yang berdasarkan informasi untuk mengurangi dampak lingkungan.

Emisi Skenario (*Baseline*) merujuk pada emisi gas rumah kaca yang terjadi sebagai hasil dari penanganan limbah cair tapioka di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) menggunakan sistem kolam terbuka, hingga limbah cair mencapai standar kualitas yang diperlukan sebagaimana diuraikan dalam Peraturan Lingkungan Menteri No. 5 tahun 2014. Pada Skenario 1 setelah menangkap metana, biogas yang dihasilkan dibakar melalui pengelarakan. Proses ini dilakukan dengan membakar gas di sebuah cerobong (*flare stack*), yang dirancang untuk mengontrol emisi gas rumah kaca. Pembakaran ini mengubah metana (CH_4), yang memiliki potensi pemanasan global tinggi, menjadi karbon dioksida (CO_2), yang memiliki dampak pemanasan global lebih rendah metana yang tertangkap dibakar pada suhu tinggi dan diubah menjadi karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O). Selain itu, limbah yang dihasilkan dari proses ini dibuang ke dalam badan air (Hirotugu *et al.*, 2010);(Hasanudin *et al.*, 2011).

Pada Skenario 2, seluruh produksi biogas diarahkan untuk menghasilkan panas atau memfasilitasi proses pengeringan tepung tapioka. Selain itu, air yang dibuang dari proses aerobik digunakan kembali untuk tahap awal proses pencucian dalam industri tapioka. Skenario 3 melibatkan konversi biogas menjadi listrik, memanfaatkannya sebagai sumber bahan bakar untuk menghasilkan energi Listrik.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa semua rumus untuk penentuan pemulihan metana selama pengolahan air limbah diambil dari UN-CDM AMS-III.H. Metode versi 19 pemulihan metana dalam pengolahan air limbah. Perhitungan model ini menggunakan Microsoft Excel KLHK Nomor. SK.36/PPI/IGAS/PPI.2/11/2021 tentang Pengolahan Limbah Cair Pabrik Tapioka dengan Metoda Methane Capture (Direktorat Teknik dan Lingkungan KESDM, 2020).



Keterangan: Pertama kali dipublikasikan dalam *coference proceeding* [IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 6,2025] oleh IOP Publishing.

Gambar 11. Skenario pemanfaatan pengolahan limbah cair diadaptasi dari (Grabert, 2022).

2.11. Instrumen Hukum dalam Penilaian Ekonomi Karbon.

Peraturan hukum nasional telah membentuk fondasi penting bagi valuasi karbon dalam bentuk rupiah, yang relevan tidak hanya di tingkat makro tetapi juga dalam konteks UKM. Permen LHK No. 21 Tahun 2022 menekankan integrasi aspek lingkungan ke dalam perencanaan pembangunan dan kegiatan usaha melalui prinsip pencegahan pencemaran, pengelolaan limbah, serta penerapan instrumen ekonomi lingkungan (Menteri lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2022). Bagi UKM industri tapioka, regulasi ini menjadi pedoman penerapan praktik produksi bersih sekaligus membuka peluang insentif lingkungan, sehingga meningkatkan daya saing.

Sementara itu, Perpres No. 98 Tahun 2021 menghadirkan mekanisme nilai ekonomi karbon (NEK) melalui pasar karbon, pungutan, dan pembayaran berbasis kinerja (Presiden Republik Indonesia, 2021). Regulasi ini menuntut UKM untuk meningkatkan efisiensi energi, beralih ke energi terbarukan, serta mengelola limbah agar dapat menekan emisi, sekaligus memberi peluang memperoleh manfaat ekonomi dari praktik rendah karbon. Lebih jauh, UU No. 7 Tahun 2021 melalui kebijakan pajak karbon mendorong semua pelaku usaha, termasuk yang tidak secara aktif mengelola emisi, untuk memperhitungkan dampak karbon dalam proses produksinya karena risiko pengenaan pajak (Presiden Republik Indonesia, 2021b).

Dengan demikian, ketiga regulasi ini saling melengkapi: memberikan dasar hukum (Permen LHK 21/2022), kerangka implementasi pasar karbon (Perpres 98/2021), dan instrumen fiskal berupa pajak karbon (UU 7/2021). Bagi UKM tapioka, kerangka hukum ini bukan sekadar kewajiban, melainkan peluang strategis untuk bertransformasi menuju model bisnis berkelanjutan. Lebih lanjut, integrasi ketiga instrumen hukum ini dapat dijadikan pijakan dalam pengembangan Output-Input Impact Transaction Model (OITM), sehingga penelitian tidak hanya menghasilkan kontribusi akademik, tetapi juga relevan dengan dinamika regulasi nasional serta mendukung agenda transisi menuju ekonomi hijau.

Selaras dengan itu, Keputusan Menteri LHK No. 1131/MENLHK/PPI/PPI.2/10/2023 tentang Skema Sertifikasi Pengurangan Emisi GRK (SPEI) memberikan perangkat teknis untuk menilai dan mengakui upaya

pengurangan emisi secara terukur (Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik 2023). Bagi UKM industri tapioka, keberadaan skema ini penting karena membuka peluang agar praktik mitigasi yang dilakukan misalnya efisiensi energi, pemanfaatan limbah, atau peralihan ke energi terbarukan dapat diverifikasi dan memperoleh sertifikat bernilai ekonomi. Dengan demikian, keterhubungan antara kerangka hukum makro dan instrumen teknis operasional semakin memperkuat relevansi OITM sebagai model evaluasi yang tidak hanya konseptual, tetapi juga aplikatif dalam mendukung agenda ekonomi hijau di tingkat UKM.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain *mixed methods* (Cresswell and Cresswell, 2018);(Creswell and Plano 2017) untuk mengembangkan model *Output-Input Impact Transaction Model* (OITM), yaitu sebuah kerangka kerja konseptual yang mengintegrasikan ekonomi sirkular dengan evaluasi keberlanjutan pada dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan. Desain ini dipilih karena penelitian bertujuan membangun model OITM baik melalui eksplorasi kualitatif, yang kemudian dioptimalkan secara kuantitatif. Pendekatan ini memungkinkan pengembangan struktur, komponen, dan indikator model yang berbasis data lapangan sebelum dilakukan pengukuran kuantitatif.

Tahap awal penelitian bersifat kualitatif, menggunakan *Modified Grounded Theory* untuk membangun struktur, komponen, dan indikator OITM. Data kualitatif diperoleh melalui wawancara mendalam dengan pelaku bisnis utama dan dua pemilik usaha pendukung di sektor tapioka, observasi lapangan, dan tinjauan literatur ekstensif, dengan fokus pada studi kasus UKM industri tapioka di Provinsi Lampung yang telah menerapkan prinsip awal ekonomi sirkular. Analisis tematik dilakukan menggunakan NVivo untuk mengidentifikasi kategori dan konsep utama yang menjadi dasar pengembangan model.

Hasil temuan kualitatif kemudian dilanjutkan ke dalam fase kuantitatif untuk mengukur, dan mengoptimalkan model. Fase ini mengintegrasikan *Life Cycle Sustainability Assessment* (LCSA) dan *Cost-Benefit Analysis* (CBA), dengan mengonversi seluruh biaya dan manfaat pada dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan ke dalam nilai moneter, sehingga memungkinkan evaluasi yang komprehensif dan komparatif (Fetters *et al.*, 2013). Pendekatan ini juga

memungkinkan triangulasi antara data kualitatif dan kuantitatif guna memperkuat validitas hasil penelitian.

Penelitian ini menerapkan pendekatan studi kasus tunggal (Yin, 2018) pada satu UKM industri tapioka di Provinsi Lampung. Fokus analisis diarahkan pada proses pengolahan singkong menjadi tapioka dalam konteks penerapan prinsip ekonomi sirkular. Data dikumpulkan melalui wawancara mendalam, survei pekerja, dan observasi lapangan pada UKM industri tapioka di Provinsi Lampung.

Mengacu pada (Yin, 2018), bukti dikumpulkan dari berbagai sumber untuk meningkatkan validitas data, sehingga studi kasus ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai penerapan ekonomi sirkular di industri tapioka skala UKM. Namun, studi kasus tidak bertujuan untuk generalisasi (Byrne dan Ragin 2020), melainkan untuk memberikan wawasan konseptual (Takahashi dan Araujo, 2019), pemahaman yang mendalam terhadap fenomena (W. Burns 2017);(Crowe *et al.*,2011);(Hayden, 2022), serta memungkinkan identifikasi elemen, proses, dan hubungan (Rashid *et al.*,2019).

3.2. Batasan Operasional

Dalam menghitung dampak yang ditimbulakan penelitian ini dibatasi pada proses pengolahan singkong menjadi tepung tapioka di tingkat UKM, pengukuran dilakukan berdasarkan data dari responden pada suatu waktu. Data diperoleh melalui observasi langsung dan wawancara.

Definisi operasional dalam sebuah disertasi memegang peranan penting dalam memastikan kejelasan, konsistensi, dan validitas penelitian. Dengan mendefinisikan variabel secara operasional, peneliti memberikan arahan yang jelas bagi pembaca mengenai makna setiap istilah atau konsep yang digunakan. Ini tidak hanya membantu memastikan bahwa konsep-konsep yang digunakan didefinisikan secara konsisten, tetapi juga memfasilitasi replikasi dan reproduksi penelitian oleh peneliti lain, yang esensial untuk memvalidasi hasil dan memperluas pemahaman di bidang tersebut, beberapa konsep penting didefinisikan dalam Tabel 5.

Tabel 5 Definisi operasional variabel

No	Variabel	Definisi
1	Dampak ekonomi	Manfaat Ekonomi Menurut Kepdirjen No. 438/KN/2020 adalah manfaat yang diperoleh secara langsung bagi negara dan masyarakat dari objek analisis. Dalam penelitian ini, dampak ekonomi diukur dalam satuan Rupiah (Rp) sebagai nilai manfaat yang dihasilkan
2	Dampak Lingkungan	Dampak lingkungan pada penelitian ini adalah emisi CO ₂ yang dihasilkan oleh kegiatan industri tapioka. Nilai dampak awalnya diekspresikan dalam kilogram atau ton CO ₂ -ekuivalen, kemudian dikonversikan ke dalam nilai moneter dalam satuan Rupiah sebagai hasil akhir analisis
3	Dampak sosial	Dikategorikan sebagai dampak sosial yang merujuk pada Pedoman SLCA mencakup akses terhadap bahan baku, kondisi kehidupan yang aman dan sehat, keterlibatan masyarakat, lapangan kerja lokal, kebebasan berserikat dan perundingan kolektif, buruh anak, jam kerja, kondisi kerja, kerja paksa, kesempatan yang sama/tidak diskriminatif, kesehatan dan keselamatan, manfaat sosial/jaminan sosial (UNEP). Dalam penelitian ini, seluruh dampak sosial langsung dihitung dalam bentuk nilai moneter dan dinyatakan dalam satuan Rupiah.
4	Onggok	produk sampingan dari industri pati yang mengandung banyak serat, terutama selulosa dan hemiselulosa (Soeprijanto <i>et al.</i> ,2022). Dalam penelitian ini, onggok dinyatakan dalam satuan kilogram (kg).
5	Kulit ari	lapisan tipis yang menyelimuti bagian luar daging umbi singkong setelah kulit tebal luarnya dikupas. Dalam penelitian ini, onggok dinyatakan dalam satuan kilogram (kg).
6	Pekerja Kontrak	Kontrak adalah status karyawan yang dibayar berdasarkan kontrak kerja (BPS).
7	Penduduk usia kerja	Penduduk berumur 15 tahun dan lebih (BPS).
8	Pekerja harian	Pekerja harian lepas/borongan adalah pekerja yang menerima upah harian. Upah tersebut dapat diterima secara mingguan atau bulanan berdasarkan hasil kerjanya, termasuk juga pekerja harian yang dibayar berdasarkan volume/hasil kerja yang dilakukan atau secara borongan. Jumlah hari-orang diperoleh dengan

Lanjutan Tabel 5

No	Variabel	Definisi
9	Pekerja Tetap	cara mengalikan jumlah hari kerja dengan rata-rata jumlah pekerja per hari kerja (BPS)
10	<i>Discount rate</i>	Pekerja tetap adalah pekerja yang dibayar tetap pada suatu periode tertentu dan tidak tergantung pada hari masuk kerjanya (BPS).
11	<i>Discount Factor</i>	Tingkat pengembalian yang dapat diharapkan oleh suatu entitas atas uang yang mereka investasikan. Asumsi discount rate dalam penelitian ini sebesar 6,87 merupakan rerata discount rate seluruh 10 top asset tahun 2023 dan 2024 (Engel 2025)(Bank Rakyat Indonesia, 2024). Discount rate dinyatakan dalam persentase (%).
12	Ex Ante dalam penglolaan limbah	Analisis yang dilakukan sebelum suatu kegiatan atau keputusan dilaksanakan, dengan tujuan memberikan panduan atau arahan strategis berdasarkan pengetahuan terbatas yang tersedia pada saat itu untuk perencanaan(Spuhler, Scheidegger, and Maurer 2021).
13	Ex Post dalam penglolaan limbah	penelitian yang memeriksa atau mengevaluasi aliran massa dalam sistem setelah sistem tersebut berjalan atau dijalankan (Spuhler, Scheidegger, dan Maurer 2021)
14	Usaha skala kecil adalah industri	Usaha ekonomi produkif yang berdiri sendiri, yang dilakukan oleh orang perorangan atau badan usaha yang bukan merupakan anak Perusahaan atau bukan cabang perusahaanMemiliki kekayaan bersih > Rp50 juta s.d. Rp500 juta (tidak termasuk tanah dan bangunan tempat usaha), atau penjualan tahunan > Rp300 juta s.d. Rp2,5 miliar (Republik Indonesia 2008). Usaha Kecil modal usaha > Rp1 miliar s.d. Rp5 miliar (tidak termasuk tanah dan bangunan tempat usaha).atau memiliki penjualan tahunan > Rp2 miliar hingga≤ Rp15 miliar (Republik Indonesia 2021).
15	usaha skala menengah	Kegiatan usaha yang memiliki kekayaan bersih > Rp500 juta s.d. Rp10 miliar (tidak termasuk tanah dan bangunan tempat usaha), atau penjualan tahunan > Rp2,5 miliar s.d. Rp50 miliar (Republik Indonesia 2008). Usaha Menengah: modal usaha > Rp5 miliar s.d. Rp10 miliar (tidak termasuk tanah dan bangunan tempat usaha atau penjualan tahunan > Rp15 miliar s.d. Rp50 miliar (Republik Indonesia 2021).

Lanjutan Tabel 5

No	Variabel	Definisi
16	Jam kerja	lamanya waktu dalam jam yang digunakan untuk bekerja dari seluruh pekerjaan, tidak termasuk jam kerja istirahat resmi dan jam kerja yang digunakan untuk hal-hal di luar pekerjaan selama seminggu yang lalu (BPS)
17	Limbah cair	semua limbah yang berbentuk cairan atau berada dalam fase cair
18	Limbah padat (by product)	Ampas ubi kayu (singkong) dari buangan/sisa hasil ekstraksi di mesin extractor yang menggunakan satuan kilogram (kg).
19	Praktek Circular Economy	Penggunaan air cucian, biogas dan penggunaan pupuk dari limbah cair
20	Biaya tetap	Biaya yang akan dikeluarkan perusahaan biaya yang nilai tetap tidak dipengaruhi oleh perubahan output driver aktivitas dalam rentang relevan tertentu, tetapi secara per-unit berubah.
21	Biaya Variabel	biaya yang secara langsung berkaitan dengan bahan baku yang diusahakan dan dengan input variabel yang dipakai, biaya yang besarnya sangat tergantung pada jumlah produksi.
22	Analisis biaya manfaat	Analisis biaya-manfaat adalah metode penilaian untuk membandingkan total manfaat dan total biaya dari suatu kegiatan, proyek, atau kebijakan, biasanya dengan mengubah keduanya menjadi satuan uang, agar bisa dilihat apakah manfaatnya lebih besar daripada biayanya
23	Manfaat Neto	Nilai manfaat dikurangi nilai biaya dalam satuan Rupiah
24	Proses produksi	Rangkaian kegiatan untuk memproses bahan baku ubi kayu menjadi tepung tapioka melalui tahapan proses tertentu
25	SDG12	Responsible production and Consumption atau sering disebut SCP <i>sustainable Consumption and Production</i>
26	<i>Slurry</i>	Campuran antara air dan bubur pati ubi kayu
27	Tapioka	kanji atau aci, adalah <i>tepung pati yang diekstrak dari umbi singkong</i> .
28	<i>Tri bottom line</i> (<i>TBL</i>)	Konsep tiga pilar keberlanjutan (sosial, ekonomi, dan lingkungan), yang biasanya direpresentasikan dengan tiga lingkaran yang saling beririsan dengan keberlanjutan secara keseluruhan berada di bagian tengah, kini telah menjadi sangat umum digunakan (Elkington, 1997)

Lanjutan Tabel 5

No	Variabel	Definisi
29	Model	Gambaran sederhana dari realitas(Shafer <i>et al.</i> , 2005); representasi eksternal dan eksplisit dari suatu aspek realitas, sebagaimana dipersepsikan oleh pihak yang menggunakannya untuk tujuan pemahaman, pengelolaan, perubahan, maupun pengendalian (Pidd, 2010).
30	kaskading	Penggunaan sumber daya secara berurutan dan berkelanjutan dalam beberapa tahap, merupakan salah satu pendekatan yang berpotensi menghasilkan nilai tambah dalam penerapan praktik ekonomi sirkular (Campbell-johnston <i>et al.</i> 2020)

3.3. Waktu dan Tempat

Penelitian case studi dilakukan pada perusahaan tapioka X skala UKM di Provinsi Lampung beroperasi dengan kapasitas 25 ton pati per hari dan mempekerjakan sekitar 50 orang tenaga kerja, untuk nilai pembanding dilakukan penelitian pada perusahaan industri tapioka Z dan perusahaan pembangkit listrik tenaga biogas Y (PLTBg) di Lampung.

Pemilihan sampel dilakukan dengan pendekatan studi kasus, yang menargetkan UKM industri tapioka yang menerapkan prinsip ekonomi sirkular. Dari total 50 pekerja yang menjadi target penelitian, 47 responden di antaranya berpartisipasi dalam wawancara. Data dikumpulkan berdasarkan kategori dalam SLCA, seperti diskriminasi, gaji adil, kondisi kerja, dan kesempatan yang sama.

Proses produksi pada perusahaan X telah menggunakan peralatan semi-otomatis, mulai dari pengupasan dan pemarutan singkong, pemisahan serat, pengendapan, hingga pengeringan, sehingga menghasilkan pati tapioka serta produk samping berupa ampas padat (onggok) dan limbah cair. Limbah cair dialirkan ke kolam anaerob untuk proses penguraian awal, kemudian ditampung kembali dalam dua kolam penampungan besar sebagai bagian dari sistem pengolahan limbah.

Penelitian difokuskan pada proses pengolahan ubi kayu menjadi tapioka dengan beberapa kriteria penilaian utama, yaitu identifikasi sumber penghasil limbah, efisiensi penggunaan energi, potensi daur ulang limbah, serta pemanfaatan air limbah.

Studi kasus ini dilakukan secara cross-sectional, dengan pengumpulan data kuantitatif dan kualitatif melalui wawancara mendalam terhadap seluruh informan kunci pada April 2023, serta pengumpulan data kuantitatif melalui wawancara pekerja dan pemilik usaha pada Maret 2024. Dengan demikian, hasil analisis merepresentasikan kondisi pada saat pengumpulan data tanpa mempertimbangkan dinamika temporal atau perubahan lintas waktu..

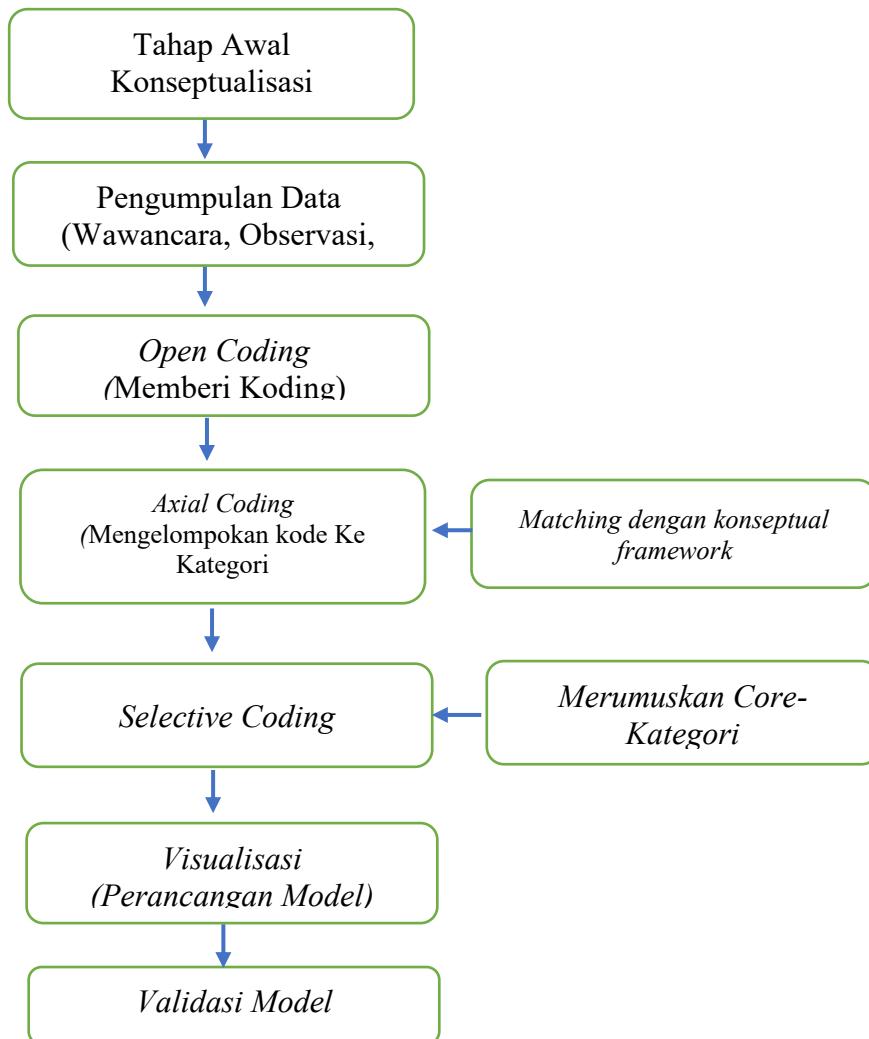
3.4. Metode Analisis

3.4.1. Metodologi model bisnis ekonomi sirkular berbasis penilaian berkelanjutan

Model bisnis pada penelitian ini dibangun dengan menggunakan pendekatan *Modified Grounded Theory* (MGT) yang merupakan adaptasi metodologi dari pendekatan Grounded Theory klasik yang pertama kali diperkenalkan oleh (Glaser dan Strauss, 1967). Kombinasi antara pendekatan *Grounded Theory* dan kerangka teori yang telah ada dikenal sebagai **MGT** sebagai dasar berpikir awal (*top-down*). Dengan kata lain, MGT secara reflektif dan iteratif menguji, menyesuaikan, atau bahkan memodifikasi kerangka awal berdasarkan temuan empiris yang muncul selama proses penelitian. Namun temuan lapangan tetap berperan penting dalam menginformasikan, mengkonfirmasi, atau merevisi struktur model secara menyeluruh. Pendekatan ini memperkuat validitas teoritis sekaligus memastikan relevansi praktis dari model yang dikembangkan (Alnsour, 2022).

Seluruh tahapan model bisnis ini dianalisis menggunakan perangkat lunak NVivo, yang memungkinkan pengolahan data kualitatif secara sistematis dan mendalam. Proses analisis mengikuti pendekatan MGT yang telah diuraikan dalam Gambar 12, dimulai dari tahap konseptualisasi, pengumpulan data mentah hingga pembentukan model konseptual akhir. Melalui tahapan *open coding*, *axial coding*, dan *selective coding*, temuan dari wawancara dan observasi dikembangkan menjadi

kategori dan konsep utama yang relevan dengan evaluasi keberlanjutan dalam kerangka ekonomi sirkular.



Gambar 12. Tahapan *modified grounded theory* diadaptasi dari (Williams dan Moser 2019)

3.4.1.1. Tahapan awal penerapan *framework konseptual* yang ada

Tahap awal penerapan kerangka konseptual dilakukan dengan menggunakan Butterfly Diagram dari Ellen MacArthur Foundation sebagai struktur dasar pengkodean data. Kerangka ini dipilih karena paling dikenal secara global, luas digunakan dalam literatur, serta menjelaskan aliran material dari produksi berbasis hayati hingga pengembalian residu ke alam. Namun, agar lebih aplikatif terhadap konteks industri tapioka UKM, diagram ini dipadukan dengan *Biogas Cycle Model* yang menekankan pemanfaatan limbah cair melalui anaerobic digestion untuk

energi dan pupuk. Kombinasi ini tidak hanya memperkuat validitas coding, tetapi juga memperkenalkan perspektif *gate to gate* yang melengkapi dominasi kerangka *cradle to grave* dalam kajian circular economy.

3.4.1.2. Pendekatan kualitatif: studi kasus dan observasi sistem

Model dikembangkan melalui studi kasus mendalam pada industri tapioka UKM di Provinsi Lampung. Metode pengumpulan data dilakukan melalui:

- **Wawancara semi-terstruktur** dengan pemilik, operator teknis, dan pengelola limbah.
- **Observasi langsung** terhadap proses produksi, aliran material, pemanfaatan limbah cair, dan sistem biogas.

Hasil dari wawancara dan observasi dianalisis menggunakan pendekatan **grounded theory**, untuk mengidentifikasi pola, relasi sistem, serta peluang integrasi ekonomi sirkular dalam praktik industri lokal .

3.4.1.3. Tahapan pengkodean

Dalam penelitian ini, proses analisis data kualitatif dilakukan melalui tahapan pengkodean (*coding*) berdasarkan pendekatan *Grounded Theory*. Pengkodean merupakan proses sistematis untuk mengorganisasi data naratif, seperti transkrip wawancara atau hasil observasi, menjadi kategori-kategori analitis yang memiliki makna konseptual. Tiga jenis pengkodean utama yang digunakan adalah: *Open Coding, Axial Coding, dan Selective Coding*.

Tabel 6. Tahapan koding metode MGT

Jenis Koding	Penjelasan
1. <i>Open Coding</i>	Memberi label terhadap tindakan, proses, makna eksplisit
2. <i>Axial Coding</i>	Mengelompokkan kode ke dalam kategori (relasi antar kode)
3. <i>Selective Coding</i>	Menyusun Core Category atau narasi inti

Dalam penelitian kualitatif berbasis *Grounded Theory*, *core category* pada umumnya ditemukan melalui proses iteratif dari *open coding, axial coding*, hingga *selective coding*. Namun, penelitian ini memiliki kekhasan: *core category* “integrasi

produksi-limbah dalam kerangka penilaian keberlanjutan dan ekonomi sirkular” telah ditetapkan sejak awal berdasarkan kerangka konseptual penelitian dan tujuan yang ingin dicapai.

Dengan demikian, *selective coding* dalam penelitian ini tidak diarahkan untuk menemukan *core category* baru, melainkan sebagai mekanisme validasi empiris atas kategori inti yang sudah ditetapkan. Pendekatan ini memastikan bahwa model konseptual yang diajukan tidak berhenti pada tataran normatif, melainkan teruji melalui data lapangan yang konkret, sehingga memperkuat relevansi dan validitas ilmiah Model yang dikembangkan.

3.4.1.4. Pendekatan sistem: merancangan model visual

Model sistemik divisualisasikan dalam bentuk infografik, menggunakan prinsip *system thinking* dan *feedback loop*, untuk menunjukkan keterkaitan antara:

- Aliran material (input → proses → output)
- Aliran energi (dari limbah ke biogas ke industri)

Visualisasi dikembangkan berdasarkan sintesis data lapangan dan konsep loop umpan balik (*feedback loop*) yang digunakan dalam pendekatan sistem keberlanjutan.

3.4.1.5 Validasi model

Validasi awal model dilakukan melalui:

- ***Pattern-Matching for revalities*** dengan membandingkan UKM terhadap dua industri skala besar yaitu pola pengelolaan Industri dan limbah, untuk membandingkan struktur system.
- **Penilaian kesesuaian** melalui triangulasi data dari dokumen, wawancara, dan observasi lapangan.

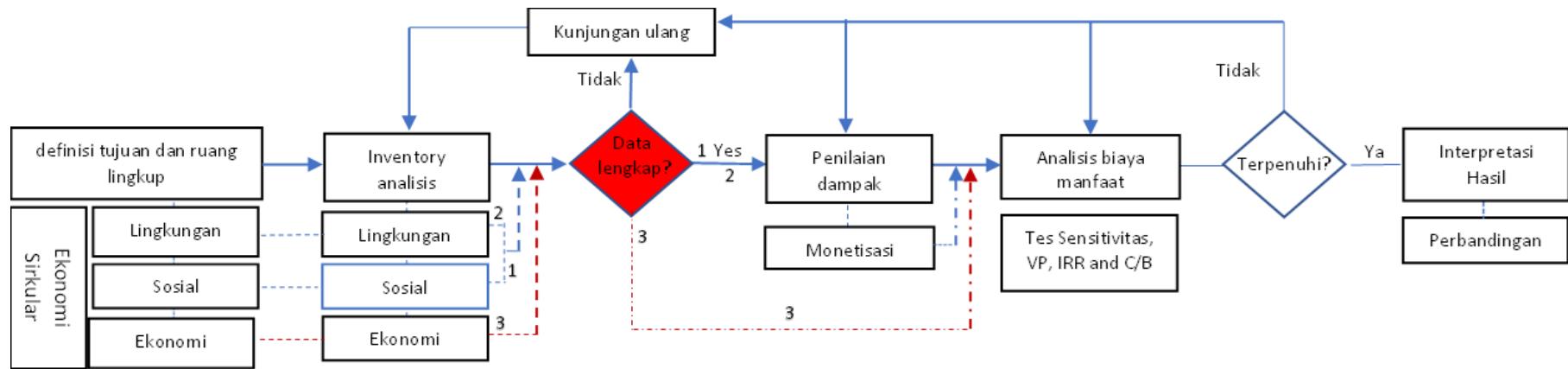
3.4.2. Analisis keberlanjutan; Model integrasi *life cycle sustainable assessment* (LCSA) dengan analisis biaya-manfaat (CBA)

Penelitian ini menggunakan pendekatan gabungan antara *Life Cycle Sustainability Assessment* (LCSA) dan Cost-Benefit Analysis (CBA) untuk menilai

keberlanjutan implementasi ekonomi sirkular pada UKM industri tapioka. Pendekatan ini dibangun berdasarkan model-model sebelumnya, seperti model LC-CBA dari (Lam *et al.*,2018), model LCC-CBA (Chang *et al.*,2017) luas dampak, $LCSA = LCA + LCC + SLCA$ (Klöpffer dan Renner 2008); (Kloepffer 2008). Menggabungkan evaluasi siklus hidup dengan analisis manfaat biaya dan mempertimbangkan semua manfaat dan dampak sosial yang tidak berwujud dari suatu proyek dalam hal nilai moneter (Muhamat *et al.*,2021)(Gigli *et al.*,2019).

Proses dimulai dengan menetapkan tujuan dan ruang lingkup studi, termasuk menentukan konteks keputusan, jenis aplikasi ekonomi sirkular yang diterapkan, serta metode dan data yang dibutuhkan. Setelah itu, dilakukan analisis inventori dengan cara mengumpulkan data kuantitatif terkait penggunaan bahan baku, energi, air, serta limbah yang dihasilkan sepanjang proses produksi. Data ini digunakan untuk menghitung dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi, seperti emisi gas rumah kaca, beban kerja, dan biaya operasional. Selanjutnya, seluruh dampak tersebut dimonetisasi, yaitu dikonversi ke dalam satuan uang. Misalnya, emisi karbon diberi nilai berdasarkan harga karbon, dan dampak sosial dihitung berdasarkan nilai upah atau risiko sosial yang relevan. Setelah semua dampak dikonversi, dilakukan analisis menggunakan metode Cost-Benefit Analysis (CBA). Tahapan ini mencakup perhitungan total manfaat dan total biaya, serta indikator keuangan seperti Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan rasio manfaat-biaya (C/B ratio) untuk menilai apakah strategi ekonomi sirkular memberikan keuntungan secara menyeluruh.

Jika data belum lengkap atau hasilnya belum memadai, proses diulang dengan memperbaiki data dan melakukan analisis sensitivitas. Terakhir, hasil analisis dibandingkan antar skenario dan diinterpretasikan untuk memberikan masukan kepada pemangku kepentingan serta pengambil keputusan. Dengan pendekatan ini, penilaian keberlanjutan tidak hanya memperhitungkan aspek ekonomi, tetapi juga dampak lingkungan dan sosial dalam satu kerangka monetisasi yang terpadu seperti diuraikan dalam Gambar 13.



- Menetapkan konteks studi termasuk aplikasi yang dimaksud, metode, dan konteks keputusan
- Mengumpulkan Data
- Menghitung Inventaris Kumulatif
- Menghitung dampak dari emisi dan sumber daya dari inventaris
- Menilai hasil
- Mengkomunikasikan hasil dengan pemangku kepentingan dan pengambil keputusan

Keterangan : Pendekatan CBA tradisional mempertimbangkan aspek ekonomi (3) merupakan adaptasi dalam studi ini) perspektif siklus hidup ISO 14044 divisualisasikan untuk aspek sosial (1), untuk lingkungan standar (2) dan ditambah dengan moneterisasi lingkungan dan inklusi sosial CBA mempertimbangkan semua aspek keberlanjutan

Gambar 13. Skema analisis penelitian yang diadaptasi dari ISO14044; (Lam et al.,2018)

Semua manfaat dan biaya didiskonto kembali ke tahun dasar dan kemudian dibandingkan menggunakan salah satu dari tiga ukuran: nilai sekarang bersih (NPV), rasio manfaat-biaya (BCR), atau tingkat pengembalian internal (IRR).

3.4.2.1. Net Present Value (NPV)

NPV adalah selisih antara nilai sekarang dari manfaat dan nilai sekarang dari biaya. Ini adalah ukuran profitabilitas keseluruhan proyek dan biasanya dinyatakan dalam nilai moneter. Rumus berikut diadopsi dari (Gittinger 1984);(Pearce *et al.*, 2006).

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t} \quad (2)$$

Keterangan

n = Umur ekonomis proyek
 Bt = Manfaat Total Pada tahun t
 Ct = biaya pada tahun t
 R = Tingkat diskonto (persen).

NPV memiliki 3 (tiga) kriteria

1. NPV>0 Proyek dinilai menguntungkan dan dapat dilaksanakan
2. NPV= 0 Proyek dinilai menguntungkan dan dapat dilaksanakan, proyek dinilai tidak untuk ataupun rugi
3. NPV <0; proyek rugi karena keuntungan lebih kecil dari biaya produksi

3.4.2.2. Benefit-Cost Ratio (B/CR)

BCR adalah rasio antara nilai sekarang dari manfaat dengan nilai sekarang dari biaya. BCR yang lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa manfaat dari proyek lebih besar daripada biayanya dengan rumus diadopsi dari (Gittinger 1984); (Pearce *et al.*,2006).

$$\frac{B}{C} Ratio = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1 + r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1 + r)^t}} \quad (3)$$

Keterangan

n = Umur ekonomis proyek
 Bt = Manfaat Total Pada tahun t

C_t = biaya pada tahun t

r = Tingkat diskonto (persen).

BCR memiliki dua kriteria, yang artinya seperti berikut

1. $BCR > 0$ maka proyek dinilai menguntungkan dan layak dilaksanakan
2. $BCR < 1$ Proyek dinilai merugikan dan tidak dapat dilaksanakan

3.4.2.3. Internal Rate of Return (IRR);

IRR adalah tingkat diskonto di mana NPV proyek sama dengan nol. Ini adalah ukuran profitabilitas dari proyek dan biasanya dinyatakan sebagai persentase, dengan rumus diadopsi dari (Gittinger 1984; Pearce *et al.*, 2006).

$$IRR = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (4)$$

Keterangan

n = Umur ekonomis proyek

B_t = Manfaat Total Pada tahun t

C_t = biaya pada tahun t

r = Tingkat diskonto (persen).

Ada tiga ukuran kelayanan metode IRR dengan arti seperti berikut:

1. $NPV > Discount\ Rate$ Proyek dinilai menguntungkan dan dapat dilaksanakan
2. $NPV = Discount\ Rate$ proyek dinilai tidak menguntungkan ataupun rugi
3. $NPV < Discount\ Rate$ proyek tidak menguntungkan sehingga tidak layak dilaksanakan.

3.5. Kerangka Valuasi Ekonomi, Lingkungan, dan Sosial

Dalam penelitian ini, seluruh dampak keberlanjutan meliputi aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial dinyatakan dalam bentuk moneter melalui pendekatan valuasi langsung (direct monetary valuation). Pendekatan ini dipilih agar semua dimensi dapat dibandingkan secara sepadan serta diintegrasikan ke dalam satu kerangka Benefit Bruto Holistik.

3.5.1. Valuasi ekonomi

Valuasi ekonomi dilakukan berdasarkan manfaat finansial yang nyata dari aktivitas usaha dan pemanfaatan limbah. Nilai ini meliputi: Pendapatan usaha utama, penjualan singkong, limbah padat (misalnya limbah singkong) yang dijual , biaya operational perusahaan serta biaya investasi. Semua nilai ekonomi diestimasi langsung dari harga pasar dan biaya aktual, sehingga bersifat valuasi langsung. Harga pasar digunakan untuk melakukan valuasi moneter dimana nilai

marjinal suatu barang diidentifikasi berdasarkan harga pasarnya (Pizzol et al. 2015); (Dong et al., 2019).

3.5.2 Valuasi lingkungan

Dalam penelitian ini, penilaian manfaat ekonomi dari mitigasi emisi dilakukan dengan pendekatan monetisasi langsung (direct valuation). Pendekatan ini dipilih karena seluruh variabel yang digunakan memiliki harga pasar atau nilai ekonomi yang dapat diobservasi secara langsung. Pendekatan *monetary valuation* bertujuan mengubah konsekuensi terhadap masyarakat dan ekosistem menjadi satuan moneter melalui faktor konversi tertentu, sehingga dapat dibandingkan dan digabungkan dengan manfaat maupun biaya lainnya (Pizzol et al., 2015). Dalam konteks dampak lingkungan, khususnya emisi gas rumah kaca (GRK), nilai moneter umumnya diekspresikan dalam satuan **USD per ton CO₂-eq**, yang dapat diperoleh melalui berbagai pendekatan, seperti *revealed preference*, *stated preference*, biaya mitigasi (*abatement cost*), maupun *shadow pricing* (Dong et al., 2019). Dengan kerangka ini, penghitungan kuantitatif dapat dilakukan secara sederhana melalui perkalian antara jumlah emisi (dalam ton CO₂-eq) dengan faktor biaya moneter per satuan emisi.

3.5.2.1. Monetasi Pengurangan Emisi

Penentuan emisi dasar (baseline) dan skenario reduksi dilakukan dengan mengacu pada metodologi CDM AMS-III.H yang menggunakan panduan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) 2006 sebagai rujukan teknis untuk menghitung baseline dan emisi proyek. Adapun teknis penghitungannya menggunakan program exsel KLHK Nomor. SK.36/PPI/IGAS/PPI.2/11/2021 tentang Pengolahan Limbah Cair Pabrik Tapioka dengan Metoda Methane Capture (Direktorat Teknik dan Lingkungan KESDM, 2020) sebagai berikut

$$ER_{y,ex\ post} = \left((BE_{y,ex\ post} - (PE_{y,ex\ post} + LE_{y,ex\ post})) \right) \quad (5)$$

Dimana:

- $ER_{y,ex\ post}$: Pengurangan emisi akibat tindakan mitigasi berdasarkan data pemantauan pada tahun y (ton CO₂e)
- $BE_{y,ex\ post}$: Emisi dasar dihitung sesuai dengan Persamaan (1) berdasarkan data pemantauan eks-post pada tahun y (ton CO₂e)
- $PE_{y,ex\ post}$: Emisi tindakan mitigasi sesuai dengan Persamaan (6) berdasarkan data pemantauan eks-post pada tahun y (ton CO₂e)

$LE_{y,ex\ post}$: Emisi yang bocor berdasarkan data pemantauan ex post pada tahun y (ton CO₂e)

Nilai pengurangan emisi dihitung berdasarkan volume emisi yang berhasil direduksi dikalikan dengan harga karbon yang berlaku. Mekanisme ini sejalan dengan kerangka Perpres 98/2021 dan Permen LHK 21/2022 yang mengatur penerapan nilai ekonomi karbon melalui perdagangan karbon maupun instrumen lain.

$$\text{Monetisasi reduksi} = ER_{y,ex\ post} - P_{Karbon} \quad (6)$$

Dimana,

Monetisasi reduksi : proses mengubah hasil reduksi dampak (misalnya emisi, limbah, konsumsi energi, atau dampak sosial) menjadi nilai uang (moneter).

$ER_{y,ex\ post}$: Jumlah emisi yang berhasil dikurangi (ton CO₂e)

P_{Karbon} : Harga Carbon atau sertifikat pengurangan emisi (Rp/ ton CO₂e)

3.5.2.2. Monetasi Beban Pajak

Apabila tidak dilakukan upaya mitigasi, maka emisi yang dihasilkan berpotensi menimbulkan beban biaya melalui skema pajak karbon, sesuai dengan ketentuan pajak karbon (Presiden Republik Indonesia, 2021b)

$$\text{Beban Pajak} = \text{Emisi Total} - \text{Tingkat Pajak} \quad (7)$$

Dimana,

Emisi Total : Total emisi yang dihasilkan (ton CO₂e)

Tingkat Pajak : Tarif Pajak Karbon yang berlaku (Rp/ ton CO₂e)

Dengan formulasi ini, analisis dapat membandingkan kondisi *business as usual* (BAU) yang berisiko terkena pajak karbon dengan skenario proyek mitigasi yang berpotensi memperoleh insentif pengurangan emisi sekaligus pendapatan dari energi terbarukan.

3.5.2.3. Monetisasi Emisi Pembakaran Batu Bara

Pada dasarnya, perhitungan emisi yang dihasilkan dari pembakaran batu bara melibatkan setidaknya tiga parameter yaitu: faktor emisi CO₂, Nilai Kalor Bersih

(NCV), dan jumlah karbon yang disimpan atau tidak teroksidasi selama penggunaannya. Faktor emisi CO_2 (CEF) mewakili jumlah emisi CO_2 dari berbagai jenis batu bara. The CEF dapat dinyatakan sebagai jumlah CO_2 yang terbuang per unit berat bahan bakar yang terbakar atau per unit heat value of the fuel. Nilai kalor batubara dapat dihitung baik dengan Nilai Kalor Bersih.

Untuk mengurai proses estimasi emisi dari pembakaran bahan bakar: Emisi CO_2 dihitung berdasarkan Nilai Kalor Bersih dan CO_2 faktor emisi CO_2 tipe bahan bakar i seperti berikut

$$E_{iy} = FC \times NVC_{CO2, iy} \times EF_{CO2, iy} \quad (8)$$

dimana,

E_{iy}	: Emisi dari pembakaran bahan bakar (tCO_2)
$NVC_{CO2, iy}$: Nilai Kalor Bersih pada tahun y (TJ/Gg)
FC	: Konsumsi bahan bakar (ton)
$EF_{CO2, iy}$: faktor emisi rata-rata tertimbang pada tahun y(tCO_2/GJ)
i	: jenis bahan bakar selama tahun

$$\text{Monetisasi Emisi} = E_{iy} - P_{Karbon} \quad (9)$$

Dimana,

Monetisasi emisi	= proses mengubah emisi dari pembakaran menjadi nilai uang (moneter).
E_{iy}	= Emisi dari pembakaran bahan bakar (tCO_2)
P_{Karbon}	= Harga Carbon atau sertifikat pengurangan emisi (Rp/ ton CO_2e)

3.5.3. Valuasi dampak Sosial

Valuasi Dampak Sosial (Social Life Cycle Assessment /S-LCA) bertujuan untuk mengukur dan mengubah dampak sosial menjadi nilai moneter agar bisa dianalisis bersama dampak ekonomi dan lingkungan dalam kerangka Cost–Benefit Analysis (CBA). Metode *socio-economic costs (s-eco-costs)* merupakan pendekatan untuk memonetisasi beban eksternal sosial-ekonomi yang ditanggung oleh pekerja. Metode ini berangkat dari konsep *marginal prevention costs*, yaitu biaya pencegahan marjinal yang diperlukan agar kondisi sosial ekonomi pekerja dapat mencapai tingkat yang berkelanjutan. Metode ini memberikan gambaran kuantitatif tentang sejauh mana upaya perbaikan upah dan kondisi kerja dapat dihitung dalam

satuan moneter, sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi keberlanjutan sosial dalam rantai pasok (Van Der Velden *et al.*, 2017).

Pendekatan yang digunakan meliputi:

1. Akses ke bahan lokal didekati dengan metode transportasi hemat biaya, yang ditentukan oleh biaya transportasi bahan impor dan lokal.

$$(TCS) = T C_{im} - T C_{loc} \quad (10)$$

Dimana,

TCS	: Transportasi Biaya Penghematan(Ribuan rupiah)
$T C_{imp}$: Biaya Transportasi Bahan Impor (Ribuan rupiah)
$T C_{loc}$: Biaya Transportasi Bahan Lokal (Ribuan rupiah)

2. Kesempatan yang sama dalam penelitian ini, diwakili oleh proksi kesenjangan pendapatan gender, yang ditentukan dengan menghitung perbedaan pendapatan agregat antara perempuan dan laki-laki dengan cara berikut:

$$LEG = \text{Total } \Delta(FW, MW) \quad (11)$$

dimana,

LEG	: Pendapatan yang hilang (Ribuan rupiah)
FW	: Upah perempuan (Ribuan rupiah)
MW	: Upah laki-laki (Ribuan rupiah)

3. Mengenai jam kerja, kompensasi tambahan untuk jam kerja ekstra ditentukan sesuai dengan regulasi lembur di Indonesia, yang menetapkan tarif pembayaran dua kali lipat dari upah per jam normal untuk lembur. Hal ini berlaku untuk jam kerja yang dilakukan di luar jam kerja standar 40 jam dalam seminggu, seperti yang diuraikan di bawah ini merupakan adaptasi penghitungan (Van Der Velden *et al.*, 2017).

$$LSOE = \text{Total}((WH - 40) * OvCost * \frac{30}{7} * 12 * \text{NumEmP}) \quad (12)$$

Dimana,

$LSOE$: Kehilangan upah jam kerja (Ribuan rupiah)
WH	: Jam kerja (jam)
$OvCost$: Biaya lembur (Ribuan rupiah)
NumEmp	: Jumlah pekerja

4. Gaji yang adil diwakili oleh konsep gaji yang hilang, yang didefinisikan sebagai total pendapatan yang tidak adil ditahan dari karyawan karena pembayaran gaji yang kurang. Penghitungan ini dihitung menggunakan persamaan yang disediakan di bawah ini diadaptasi dari (van der Velden et al., 2017).

$$LW = \Delta(\text{inc}, RW_{\min}) * \text{NumEmp} \quad (13)$$

Dimana,

- LW : upah yang hilang (Ribuan rupiah)
- INC : upah (Ribuan rupiah)
- RW_{min} : Upah minimum regional (Ribuan rupiah)
- NumEmp : Jumlah pekerja

5. Manfaat Sosial/Keamanan Sosial yang diwakili oleh pengeluaran keseluruhan pada keamanan kesehatan karyawan seperti berikut.

$$\text{JamSos} = PB * \text{NumEmp} \quad (14)$$

Dimana,

- JamSos : Manfaat Sosial/Keamanan Sosial (Ribuan rupiah)
- PB : Biaya asuransi keamanan sosial (Ribuan rupiah)
- NumEmp : Jumlah pekerja (person)

6 Keterlibatan Komunitas yang Didekati oleh Total Tanggung Jawab Sosial Perusahaan

$$\Delta\text{CSR} = \Delta(\text{CSR}, \text{MCSR}) \quad (15)$$

Dimana,

- CSR : Pengeluaran Tahunan Tanggung Jawab Sosial Perusahaan (Ribuan rupiah)
- MCSR : Minimum CSR (Ribuan rupiah)

7 Manfaat Sosial Bersih. Berdasarkan setiap rumus yang disebutkan di atas, selanjutnya, perhitungan manfaat sosial bersih yang dicapai oleh proyek dalam satu tahun tertentu diungkapkan sebagai berikut:

$$\text{Net social benefit} = \text{TCS} + \text{LEG} + \text{LO} + \text{LW} + \text{Jamsos} + \Delta\text{CSR} \quad (16)$$

Dimana,

- TCS : Biaya transportasi bahan impor (Ribuan Rupiah)
- LEG : perbedaan pendapatan agregat antara perempuan dan laki-laki

LO	: selisih kompensasi jam kerja ekstra dengan regulasi lembur di Indonesia
LW	: Selesih gaji dengan UMR
JamSos	: Besarnya jaminan sosial yang harus dibayarkan Perusahaan
ACSR	: selisih Total Tanggung Jawab Sosial Perusahaan dengan ketentuan

Selanjutnya, pada tahap analisis inventaris lingkungan digunakan pendekatan skenario, sedangkan untuk analisis inventaris sosial diterapkan kerangka kerja UNEP (United Nations Environment Programme). Setelah inventaris tersusun, proses berlanjut ke tahap penilaian dampak, di mana efek lingkungan dan pemanfaatan sumber daya dihitung berdasarkan emisi serta penggunaan sumber daya yang teridentifikasi. Penilaian ini juga mencakup evaluasi moneter terhadap dampak yang muncul. Setelah itu, dilakukan Analisis Biaya-Manfaat (Cost-Benefit Analysis/CBA) untuk menilai biaya dan manfaat yang terkait dengan objek kajian. Analisis ini memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai implikasi ekonomi dari studi yang dilakukan..

3.6. Analisis Metode Integrasi Lingkungan pada Model CBA

Studi ini mengusulkan indikator baru untuk mengevaluasi aspek lingkungan dalam model berbasis CBA. Faktor Pertumbuhan Relatif (FPR) aktor Pertumbuhan Relatif (FPR) didefinisikan sebagai rasio NPV skenario terhadap NPV Business-as-Usual (BAU). Nilai $FPR > 1$ menunjukkan peningkatan NPV dibanding baseline, sedangkan $FPR < 1$ menunjukkan penurunan.

$$FPR(\text{Faktor Pertumbuhan Relatif.}) = \frac{NPV \text{ sosio-environment} + NPV \text{ economy}}{NPV \text{ economy}} \quad (17)$$

Kinerja Inkremental Relatif (KIR), dihitung sebagai perbedaan *antara Internal of Rate of Return* (IRR) dalam sebuah skenario dan IRR dalam Bisnis Sebagaimana Biasa (BAU), menawarkan pandangan yang berbeda tentang kelayakan lingkungan dari sebuah proyek. Metrik ini memberikan representasi numerik dari kontribusi proyek terhadap keberlanjutan lingkungan, memungkinkan pemangku kepentingan untuk menilai dampak positif bersih terhadap lingkungan dibandingkan dengan dasar.

$$Kinerja Inkremental Relatif (KIR) = IRR \text{ Skenario} - IRR \text{ BAU} \quad (18)$$

3.7. Asumsi Model Baseline

Asumsi baseline ditetapkan berdasarkan praktik yang lazim dilakukan oleh UKM tapioka, yaitu pemanfaatan sebagian limbah padat singkong, pengolahan limbah cair melalui kolam anaerob terbuka tanpa penutup membran, serta proses pengendapan biologis, fisik, dan kimia sederhana. Kondisi ini menimbulkan emisi gas rumah kaca (GRK) Sumber emisi GRK yang diperhitungkan adalah dari pengolahan air limbah tapioka dengan kolam terbuka (open pond) dalam bentuk emisi gas methane (CH_4) dan GRK lainnya yang terlepas ke atmosfer.

Selain itu, baseline menunjukkan tidak adanya sistem penangkapan atau pemanfaatan biogas, belum tersedia monitoring emisi secara periodik, penggunaan faktor emisi masih bersifat default, terdapat potensi pencemaran sekunder akibat tingginya COD/BOD, serta belum dilakukan substitusi energi fosil melalui pemanfaatan biogas. Sesuai standar masional/internasional dengan sampling yang dapat mewakili atau menggunakan Default Value. COD_{www,untreated} = 20.000 mg/l; COD_{ww,treated} = 4.000 mg/l (COD removal dalam anaerobic pond (80%); COD_{ww,discharge}= 300 mg/l (PerMen Lingkungan Hidup No.5 tahun 2014).

Seluruh kondisi tersebut menggambarkan skenario *business as usual* (BAU) yang sejalan dengan prinsip penetapan baseline dalam Skema Sertifikasi Pengurangan Emisi GRK (SPEI) sebagaimana diatur dalam Kepmen LHK No. 1131/2023.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan kapasitas industri sampel sebesar 25 ton per hari. Tingkat generasi limbah cair diperkirakan sebesar 17,11 m^3 per ton pati yang diproduksi, dengan nilai COD (Chemical Oxygen Demand) sebesar 0,020 ton COD per m^3 limbah cair. Analisis difokuskan pada emisi GRK yang timbul dari sistem kolam terbuka yang digunakan dalam pengolahan limbah cair pati, yang melepaskan gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) ke atmosfer.

Pada sisi lain, baseline juga mencatat adanya pemanfaatan limbah padat singkong yang dijual sebagai bahan pakan ternak atau bahan makanan. Aktivitas ini memberikan manfaat ekonomi sebesar Rp 4.005,88 juta per periode analisis. Kontribusi tersebut sekitar 19,83% dibandingkan dengan total Benefit Bruto Holistik (mencakup aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan) sebesar Rp20.200,62

juta. Untuk memperjelas perbedaan antara kondisi business as usual dan skenario proyek, ringkasan asumsi ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Asumsi Baseline dan Skenario Analisis UKM Industri Tapioka

Aspek	Baseline (Business as Usual)	Skenario (Intervensi Mitigasi)
Pengolahan limbah cair	Pengelolaan air limbah tapioka yang dilakukan dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang berupa kolam terbuka (Open Pond) sampai kualitas air limbah memenuhi baku mutu (Per.Men. LH No. 5 tahun 2014)	Kolam anaerob ditutup membran (<i>anaerobic digestion</i>) untuk menangkap biogas
Gas metana (CH ₄)	Terlepas langsung ke atmosfer	Ditangkap melalui sistem methane capture untuk dimanfaatkan sebagai energi (biogas/listrik)
Gas hidrogen sulfida (H ₂ S)	Menimbulkan bau menyengat	Bau menyengat hilang setelah kolam ditutup membran, namun H ₂ S tetap terkandung dalam biogas sehingga perlu direduksi melalui scrubber atau sistem desulfurisasi sederhana
Air limbah (COD/BOD)	Berpotensi mencemari perairan	Diolah lebih lanjut dengan sistem secondary treatment
Pemanfaatan energi terbarukan	konsumsi energi masih fosil seluruhnya (diesel/listrik PLN)	Biogas digunakan untuk sebagian substitusi energi fosil (misalnya bahan bakar boiler atau listrik dan genset)
Ko-benefit	Menimbulkan emisi GRK dan bau	Mengurangi emisi GRK, dan menciptakan energi bersih, serta meningkatkan citra hijau UKM

3.8. Analisis dan Pengolahan Data

Analisis dilakukan terhadap model sosial ekonomi lingkungan dengan membandingkan keempat Skenario (BAU, Skenario 1, Skenario 2 dan Skenario 3) dengan baseline seperti pada Tabel 8.

Tabel 8 Matrik analisis penghitungan lingkungan dan sosial CBA

No.	Metode/Skenario (Ekonomi Linier)	BAU	Ekonomi Sirkular		
			skenario 1	skenario 2	skenario 3
1.	Inklusi lingkungan CBA				
2.	Inklusi sosial-lingkungan CBA				

Langkah 1: Melakukan tabulasi skenario yang telah ditentukan

Langkah 2: Menghitung *Sustainable_CBA* untuk semua skenario, dengan fokus pada manfaat seperti pengurangan polusi.

Langkah 3: Memilih skenario dengan manfaat sosial ekonomi dan lingkungan terbaik

Langkah 4: Gunakan ENSI _CBA untuk menganalisis juga perubahan dampak sosial dan lingkungan perusahaan, dengan mengacu pada dasar evaluasi ekonomi yang disediakan oleh CBA.

3.9. Analisis Pemanfaatan Biogas dengan Model Keberlanjutan

Pemanfaatan biogas sebagai bagian dari pengelolaan limbah cair merupakan strategi yang mampu memberikan manfaat ekonomi, lingkungan, dan sosial secara berkelanjutan. Untuk menentukan konsep pengelolaan limbah cair yang menghasilkan manfaat terbesar, dilakukan analisis berbasis data primer dan sekunder. Data tersebut diperoleh melalui inventarisasi proses pengolahan limbah cair menjadi biogas, yang mencakup aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan. Melalui perhitungan yang komprehensif, diharapkan dapat dirumuskan konsep pengolahan biogas yang paling optimal, baik dari segi efisiensi teknologi maupun keuntungan ekonomi. Konsep ini selanjutnya dapat dijadikan model keberlanjutan pemanfaatan biogas yang mendukung prinsip ekonomi sirkular sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Rekapitulasi jenis data, metadata, serta metodologi analisis disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Matrix rekapitulasi jenis data, metode pengumpulan data, metode analisa dan keluaran berdasarkan tujuan

No	Tujuan	Jenis Data	Sumber Data	Metode	Keluaran
1	Merancang dan mengembangkan model bisnis ekonomi sirkular yang berkelanjutan secara holistik dan transaksional pada UKM industri tapioka.	Data Observasi dan data sekunder	<i>Study literature</i> dan Hasil observasi lapangan	<i>Modified Grounded Theory</i>	Kerangka pemikiran pengembangan paradigma baru.
2	Mendapatkan model ekonomi sirkular untuk industri tapioka, khususnya pada konteks UKM	Data Primer dan Sekunder	Hasil inventarisasi proses pengolahan limbah cair menjadi biogas	<i>Net B/C, Internatl Rate of Return net present Value (NPV)</i>	Konsep pengolahan biogas yang paling sustainable

3.10. Validitas, Reliabilitas dan Trianggulasi

Dalam penelitian studi kasus, paradigma kualitatif menggantikan keandalan dan validitas dengan kriteria seperti validitas konstruk, validitas internal, validitas eksternal, dan keandalan, serta triangulasi (Yin 2018), melibatkan pengumpulan informasi dari berbagai sumber untuk membentuk tema penelitian, dan berbagai metode seperti observasi dan wawancara meningkatkan validitas dan keandalan penelitian studi kasus (Patton 2001). Beberapa strategi yang dilakukan dalam penelitian ini untuk meningkatkan validitas dan reliabilitas adalah seperti pada Tabel 10. berikut:

Tabel 10. Tabel Strategi untuk meningkatkan validitas dan reliabilitas

No	Test validitas dan reliabilitas	<i>Case study tactics</i>	Tahapan riset
1.	Validitas konstruk; Memastikan validitas konstruk sangat penting dalam penilaian moneter(Roos Lindgreen dan Vermeulen 2023).	Peneliti menggunakan Validasi sumber data lain yang merupakan hasil wawancara, tinjauan dokumen, observasi Lapangan. Meminta key informan untuk meninjau draf laporan studi kasus.	Pengumpulan data
2.	Validitas internal; Internal validity adalah ukuran seberapa baik sebuah studi dilakukan (strukturnya) dan seberapa akurat hasilnya mencerminkan kelompok yang diteliti.	Studi ini telah memetakan penggunaan ISO 14044 mengenai prinsip siklus kehidupan sosial dan panduan SLCA menggunakan data triangulasi dari Perusahaan lain; Melakukan <i>pattern matching</i>	Data Analysis
3.	Validitas ekternal Validitas eksternal adalah sejauh mana Anda dapat menggeneralisasi temuan sebuah studi ke tindakan lain, pengaturan, atau kelompok lain. Dengan kata lain, apakah Anda dapat menerapkan temuan dari studi Anda ke konteks yang lebih luas? Diskusi yang berpikiran matang dan transparan tentang batasan dan generalisabilitas studi meningkatkan keseluruhan ketegasan dan aplikabilitas penelitian.	Untuk memvalidasi dan mengonfirmasi temuan kepada Kantor Lingkungan Hidup Lampung. Untuk memvalidasi temuan dengan ahli dalam perilaku sosial.	Rancangan riset
4.	Reliabilitas	Gunakan protokol studi kasus dari berbagai sumber data seperti wawancara, dokumen, dan observasi.	Pengumpulan data

3.11. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas adalah teknik yang digunakan untuk mengevaluasi bagaimana perubahan pada asumsi utama atau variabel input memengaruhi hasil dari CBA (Analisis Biaya-Manfaat). Teknik ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi risiko dan ketidakpastian. Beberapa perbedaan mungkin ada dalam analisis antara rencana awal dan situasi yang diamati. Hasil analisis sensitivitas akan diperiksa untuk membuktikan kekokohan hasil dan fleksibilitasnya mengacu pada variabel yang dipilih (García-Sánchez dan Güereca 2019). Dalam praktiknya, dapat digabungkan dua pendekatan, yaitu *local sensitivity analysis* seperti *One Factor at a Time* (OAT) yang menganalisis perubahan satu variabel pada satu waktu, dan *general sensitivity analysis* seperti simulasi Monte Carlo yang mempertimbangkan banyak variabel sekaligus melalui simulasi. Kombinasi keduanya membuat analisis lebih komprehensif. Demikian, analisis sensitivitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi antara pendekatan *One Factor at a Time* (OAT) dan simulasi Monte Carlo, sehingga hasil analisis dapat lebih komprehensif dan robust (Saltelli dan Annoni, 2010).

3.10.1. One-At-a-Time (OAT) *Sensitivity Analysis*.

Metode ini menguji pengaruh masing-masing parameter dengan mengubah satu variabel pada satu waktu sambil menjaga variabel lain tetap konstan. Pendekatan ini sederhana dan efektif untuk mengidentifikasi parameter mana yang memiliki dampak paling besar terhadap output model. Namun, OAT tidak menangkap interaksi antar parameter, sehingga terbatas jika model memiliki hubungan non-linier atau interaksi yang kompleks (Saltelli dan Annoni, 2010).

Indeks sensitivitas ternormalisasi

$$S_i = \frac{\Delta y/Y}{\Delta x/x} \quad (19)$$

di mana Y adalah output dasar dan Δx merupakan perubahan kecil pada x

3.11.2. Monte carlo simulation:

Metode ini menggunakan sampling acak berdasarkan distribusi probabilitas parameter untuk mensimulasikan berbagai skenario output secara simultan. Pendekatan ini lebih komprehensif karena mampu menangkap ketidakpastian secara menyeluruh serta interaksi antar parameter (Duque *et al.*, 2023).

Metode ini melibatkan sampling acak dari distribusi probabilitas setiap parameter (De Lataillade *et al.* 2002);(Marino *et al.* 2008) . Jika dilakukan N simulasi, maka:

Estimasi Nilai Harapan Output:

$$E(y) = \sum_{i=1}^N f(x_{1,i}, x_{2,i}, \dots, x_{n,i}) \quad (20)$$

Estimasi Varians Output:

$$Var(y) \approx \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n f(x_{1,i}, x_{2,i}, \dots, x_{n,i}) - E(Y)^2 \quad (21)$$

3.12. Keterbatasan Penelitian

- Tidak seluruh kegiatan dapat dinilai manfaatnya dan biayanya dalam bentuk moneter, sehingga menjadi sebuah tantangan melakukan monetisasi nilai sosial dan lingkungan, untuk mengatasi hal ini dilakukan kajian literatur untuk pendekatan penghitungan biaya dan manfaat sosial.
- Dampak sosial Dalam penilaian CBA ini, belum dapat dibedakan antara kondisi **Business as Usual (BAU)** dan **skenario pengembangan** yang diterapkan. Oleh karena itu, analisis sosial dilakukan dengan asumsi bahwa dampak sosialnya sama di seluruh skenario.
- Meskipun model ini telah mengintegrasikan seluruh dimensi keberlanjutan ekonomi, sosial, dan lingkungan ke dalam satuan moneter melalui pendekatan *Cost-Benefit Analysis* (CBA), struktur dasarnya yang berorientasi pada net benefit membuat penilaian cenderung mengedepankan aspek *financial sustainability*. Untuk mengurangi bias ini, penelitian ini mengadopsi pendekatan *Life Cycle Costing* (LCC) dalam kerangka *Life Cycle Assessment* (LCA) melalui monetisasi dampak lingkungan menggunakan harga pasar karbon dan pajak karbon. Pendekatan tersebut berfungsi sebagai *simple LCC proxy* yang memungkinkan estimasi biaya dan manfaat lingkungan secara terukur, meskipun dimensi *economic sustainability* dalam arti sistemik belum sepenuhnya terwakili.
- Penelitian ini belum mencakup analisis kaskading secara menyeluruh dalam konteks ekonomi sirkular. Penghitungan baru dilakukan pada aspek pemanfaatan biogas, sementara pemanfaatan air hasil proses (seperti penggunaan kembali air atau pemanfaatan digestate sebagai pupuk cair tanaman) belum diperhitungkan dalam model analisis.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

1. Model bisnis Output-Input Impact Transactional Model (OITM) dapat diterapkan pada industri tapioka UKM sebagai kerangka holistik dan kontekstual yang mengintegrasikan produksi, pengelolaan limbah, dan sustainability assessment. Melalui dashboard Excel, memantau dan mengevaluasi kinerja keberlanjutan secara terpadu pada dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan pada industri tapioka UKM. Validasi dengan modified grounded theory menunjukkan konsistensi integrasi ini, sehingga OITM memiliki dasar empiris sekaligus praktis untuk penerapan prinsip ekonomi sirkular dan keberlanjutan pada industri tapioka UKM.
2. Berdasarkan pemetaan literatur, penelitian terdahulu umumnya hanya mencakup sebagian aspek, seperti ekonomi sirkular, lingkungan, atau cost-benefit analysis yang terbatas pada dimensi tertentu, dan belum ada kajian yang mengintegrasikan seluruh dimensi (ekonomi sirkular, monetisasi, sosial, ekonomi, lingkungan, CBA, serta pendekatan empiris pada komoditas dan UKM). Disertasi ini memberikan pembaruan dengan mengembangkan model komprehensif yang mencakup semua aspek secara holistik. Hasil penerapan model menunjukkan bahwa skenario paling optimal adalah Skenario 2, yaitu penggunaan biogas untuk pengeringan tapioka, yang menghasilkan kinerja finansial terbaik (NPV Rp40,1 miliar, IRR 26,07%, B/C 1,26) serta stabilitas tertinggi terhadap perubahan upah. Namun, penilaian monetisasi sosial memperlihatkan manfaat bersih negatif sebesar Rp-726,53 juta akibat ketimpangan upah dan pembagian kerja berbasis gender, meskipun terdapat praktik CSR. Temuan ini menegaskan pentingnya evaluasi menyeluruh dan

pengendalian penggunaan lahan serta praktik bisnis agar transisi menuju ekonomi sirkular benar-benar berkelanjutan secara ekonomi, sosial, dan lingkungan.

5.2. Saran

1. Disarankan penelitian selanjutnya perlu memperluas cakupan LCA dari *gate to gate* (hanya proses produksi) menjadi *cradle to grave* (bahan baku hingga pembuangan akhir), dan selanjutnya ke *cradle to cradle* yang mencakup siklus daur ulang, sehingga memberikan gambaran yang lebih menyeluruh serta sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular. Perluasan ini juga penting untuk menilai dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi di setiap tahapan produksi dan distribusi dalam rantai pasok industri tapioka.
2. Mengembangkan infrastruktur pengelolaan limbah yang lebih efektif untuk mendukung praktik sirkular di sektor industri serta membangun platform online yang menyediakan keterpaduan dalam sistem supply chain management dengan melibatkan seluruh stakeholder dalam rangka memperkuat koordinasi dan transparansi antar pemangku kepentingan, direkomendasikan pemanfaatan **blockchain** sebagai teknologi pencatatan terdistribusi yang transparan, aman, dan sulit dimanipulasi untuk mendukung keterlacakkan aliran material, limbah, serta transaksi pemanfaatan hasil samping. Tantangan resistensi stakeholder dalam membuka data dapat diatasi dengan **federated learning**, yaitu metode pembelajaran terdistribusi yang memungkinkan analisis lintas entitas tanpa membagikan data mentah. Kombinasi kedua teknologi ini tidak hanya meningkatkan kepercayaan dan kolaborasi dalam ekosistem industri tapioka, tetapi juga mengoptimalkan pengelolaan limbah cair dan pemanfaatan hasil samping secara berkelanjutan
3. Mengeksplorasi pemanfaatan limbah cair melalui *anaerobic digestion* selain menghasilkan biogas juga menghasilkan pupuk organik (*digestate*). Selain itu, potensi penggunaan kembali air proses dari tahap awal pencucian singkong maupun tahap berikutnya yang belum diperhitungkan dalam kajian ini dapat

diteliti lebih lanjut agar memberikan manfaat ekonomi dan lingkungan yang lebih besar.

4. Bagi skala UKM, sistem monitoring emisi sebaiknya dilakukan dengan metode sederhana namun rutin, seperti pencatatan volume biogas harian menggunakan flow meter dan analisis komposisi metana secara periodik. Meskipun tidak seotomatis sistem industri besar, pendekatan ini tetap mendukung prinsip monitoring, reporting, and verification (MRV) dalam Skema Sertifikasi Pengurangan Emisi GRK (SPEI). Dengan adanya pencatatan terukur, perusahaan dapat meningkatkan kredibilitas data lingkungan sekaligus membuka peluang memperoleh sertifikasi pengurangan emisi.
5. Bagi penelitian selanjutnya, disarankan untuk memberikan perhatian lebih pada aspek monitoring, reporting, and verification (MRV), khususnya dalam pencatatan volume metana yang dihasilkan serta besaran yang berhasil direduksi melalui intervensi proyek. Dengan adanya sistem pemantauan yang lebih rutin, akurat, dan terukur, hasil pengurangan emisi dapat diverifikasi sesuai standar Skema Sertifikasi Pengurangan Emisi GRK (SPEI), sekaligus menyediakan dasar yang lebih kuat untuk mengkaji potensi manfaat ekonomi dari pemanfaatan biogas.
6. Pemerintah perlu merumuskan skema dukungan yang lebih konkret bagi UKM pengelola limbah, tidak hanya dalam bentuk wacana insentif fiskal, tetapi juga melalui subsidi peralatan biogas, bantuan investasi kolam anaerob tertutup, serta keringanan pajak bagi pelaku usaha yang mampu menurunkan emisi metana sesuai standar Skema Sertifikasi Pengurangan Emisi GRK (SPEI). Kebijakan ini akan membantu UKM menekan biaya investasi awal, meningkatkan kepatuhan terhadap regulasi, sekaligus mempercepat transisi menuju ekonomi hijau di tingkat lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adler, Matthew D, and Eric A Posner. 1999. 109 Source: The Yale Law Journal *Rethinking Cost-Benefit Analysis*. The Yale Law Journal Company, Inc.
- Akinade, Olugbenga O., and Lukumon O. Oyedele. 2019. "Integrating Construction Supply Chains within a Circular Economy: An ANFIS-Based Waste Analytics System (A-WAS)." *Journal of Cleaner Production* 229: 863–73. doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.232.
- Aladin, Aladin, Evada Dewata, Yuliana Sari, and Yuli Antina Aryani. 2021. "The Role of Small and Medium Enterprises (SMES) and Economic Growth in Indonesia: The VECM Analysis." *Proceedings of the 4th Forum in Research, Science, and Technology (FIRST-T3-20)* 1: 95–99. doi:10.2991/ahsseh.k.210122.017.
- Ali, Khozema Ahmed, Mardiana Idayu Ahmad, and Yusri Yusup. 2020. "Issues, Impacts, and Mitigations of Carbon Dioxide Emissions in the Building Sector." *Sustainability (Switzerland)* 12(18). doi:10.3390/SU12187427.
- Alnsour, Moawiah A. 2022. "Using Modified Grounded Theory for Conducting Systematic Research Study on Sustainable Project Management Field." *MethodsX* 9(October): 101897. doi:10.1016/j.mex.2022.101897.
- Antonioli, Davide, Claudia Ghisetti, Massimiliano Mazzanti, and Francesco Nicollì. 2022. "Sustainable Production: The Economic Returns of Circular Economy Practices." *Business Strategy and the Environment* 31(5): 2603–17. doi:10.1002/bse.3046.
- Ariesta Susilo, Ghina Fitri. 2018. "Small and Medium Enterprises towards Indonesia's Significant Role in G20 and Economic Sustainable Development." *SSRN Electronic Journal* 1(1): 16–23. doi:10.2139/ssrn.3263250.
- Arvidsson, Rickard, Henrike Baumann, and Jutta Hildenbrand. 2015. "On the Scientific Justification of the Use of Working Hours, Child Labour and Property Rights in Social Life Cycle Assessment: Three Topical Reviews." *International Journal of Life Cycle Assessment* 20(2): 161–73. doi:10.1007/s11367-014-0821-3.
- Aydoğmuş, Mahmut, Güzhan Gülay, and Korkmaz Ergun. 2022. "Impact of ESG Performance on Firm Value and Profitability." *Borsa İstanbul Review* 22: S119–27. doi:10.1016/j.bir.2022.11.006.
- Azimi, Ahmad Nadim, Sébastien M.R. Dente, and Seiji Hashimoto. 2020. "Social Life-Cycle Assessment of Householdwaste Management System in Kabul

- City.” *Sustainability (Switzerland)* 12(8). doi:10.3390/SU12083217.
- Babbitt, Callie W., Gabrielle Gaustad, Angela Fisher, Wei-Qiang Chen, and Gang Liu. 2018. “Closing the Loop on Circular Economy Research: From Theory to Practice and Back Again.” *Resources, Conservation and Recycling* 135: 1–2. doi:10.1016/j.resconrec.2018.04.012.
- Backes, Jana Gerta, and Marzia Traverso. 2021. “Application of Life Cycle Sustainability Assessment in the Construction Sector: A Systematic Literature Review.” *Processes* 9(7): 1248. doi:10.3390/pr9071248.
- Badan Usaha Milik Negara. 2007. “Peraturan Menteri Badan Usaha Milik Negara Nomor PER-05/MBU/2007 (Regulation of the Minister of State-Owned Enterprises Number PER-05/MBU/2007).” <https://peraturanpedia.com/peraturan-menteri-badan-usaha-milik-negara-nomor-per-05-mbu-2007/> (October 4, 2023).
- Bakhsh, Jordan T., Marijke Taks, and Milena M. Parent. 2022. “Examining Monetary Valuation Methods to Analyze Residents’ Social Value From Hosting a Publicly-Funded Major Sport Event.” *Frontiers in Sports and Active Living* 4(March): 1–16. doi:10.3389/fspor.2022.823191.
- Bank Rakyat Indonesia. 2024. *Melanjutkan Transformasi BRI Semakin Brilian Dan Cemerlang*.
- Barbier, Edward B. 1987. “The Concept of Sustainable Economic Development.” *Environmental Conservation* 14(2): 101–10. doi:10.1017/S0376892900011449.
- Barros, Murillo Vetroni, Rodrigo Salvador, Guilherme Francisco do Prado, Antonio Carlos de Francisco, and Cassiano Moro Piekarski. 2021. “Circular Economy as a Driver to Sustainable Businesses.” *Cleaner Environmental Systems* 2: 100006. doi:10.1016/j.cesys.2020.100006.
- Bassi, Francesca, and Mariangela Guidolin. 2021. “Resource Efficiency and Circular Economy in European SMEs: Investigating the Role of Green Jobs and Skills.” doi:10.3390/su132112136.
- Blanco, Herib, and Karin Fazeni. 2017. *Innovative Large-Scale Energy Storage Technologies and Power-to-Gas Concepts after Optimization Report on Full CBA Based on the Relevant Environmental Impact Data*.
- Blau, Francine D., and Lawrence M. Kahn. 2017. “The Gender Wage Gap: Extent, Trends, & Explanations.” *Journal of Economic Literature* 55(3): 789–865. doi:10.1257/jel.20160995.
- Blomsma, Fenna, Marina Pieroni, Mariia Kravchenko, Daniela C.A. Pigozzo, Jutta Hildenbrand, Anna Rùna Kristinsdottir, Eivind Kristoffersen, et al. 2019. “Developing a Circular Strategies Framework for Manufacturing Companies to Support Circular Economy-Oriented Innovation.” *Journal of Cleaner Production* 241. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118271.
- Bocken, Nancy M.P., Ingrid de Pauw, Conny Bakker, and Bram van der Grinten. 2016. “Product Design and Business Model Strategies for a Circular Economy.”

- Journal of Industrial and Production Engineering* 33(5): 308–20. doi:10.1080/21681015.2016.1172124.
- Bohm, Peter, and Claude Henry. 1979. 8 Source: Ambio *Cost-Benefit Analysis and Environmental Effects*. <https://about.jstor.org/terms> (March 12, 2024).
- Bönke, Timm, Giacomo Corneo, and Holger Lüthen. 2015. “Lifetime Earnings Inequality in Germany.” *Journal of Labor Economics* 33(1): 171–208. doi:10.1086/677559.
- Boulding, Kenneth E. 1995. *The Economics of the Coming Spaceship Earth*. Washington DC: Island Press.
- Brendzel-Skowera, Katarzyna. 2021. “Circular Economy Business Models in the SME Sector.” *Sustainability* 13(13): 7059. doi:10.3390/su13137059.
- Budiani, Indah. 2020. “Enhancing the Community Engagement of Indonesian Palm Oil Enhancing the Community Engagement of Indonesian Palm Oil Companies through the Implementation of the Social Life Cycle Companies through the Implementation of the Social Life Cycle Assessment (SLC).” *ASEAN Journal of Community ASEAN Journal of Community Engagement Engagement* 4. doi:10.7454/ajce.v4i1.1050.
- Bueno, P. C., J. M. Vassallo, and K. Cheung. 2015. “Sustainability Assessment of Transport Infrastructure Projects: A Review of Existing Tools and Methods.” *Transport Reviews* 35(5): 622–49. doi:10.1080/01441647.2015.1041435.
- Burns, Tom R. 2011. “The Sustainability Revolution.” *Sociologisk Forskning* 48(3): 93–108. doi:10.37062/sf.48.18435.
- Burns, Wil. 2017. “The Case for Case Studies in Confronting Environmental Issues.” *Case Studies in the Environment* 1(1): 1–4. doi:10.1525/cse.2017.sc.burns01.
- Byrne, David, and Charles C Ragin. 2020. SAGE Research Methods Foundations *Case-Based Methods*. doi:10.4135/9781526421036884898.
- Campbell-johnston, Kieran, Walter J V Vermeulen, Denise Reike, and Sabrina Brullot. 2020. “Resources , Conservation & Recycling: X The Circular Economy and Cascading: Towards a Framework.” 7(March). doi:10.1016/j.rcrx.2020.100038.
- Carmo, Breno Barros Telles do, Manuele Margni, and Pierre Baptiste. 2018. “Propagating Uncertainty in Life Cycle Sustainability Assessment into Decision-Making Problems: A Multiple Criteria Decision Aid Approach.” In *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies*, Springer International Publishing, 317–26. doi:10.1007/978-3-319-66981-6_35.
- Center for Agricultural Data and Information System. 2016. *Summary Result of Cassava Processing and Distribution Survey in Indonesia*. <https://aptfsis.org/uploads/normal/ISFAS> Project in Indonesia/Indonesia_Summary Result of Cassava.pdf (February 19, 2022).
- Di Cesare, Silvia, Federica Silveri, Serenella Sala, and Luigia Petti. 2018. “Positive Impacts in Social Life Cycle Assessment: State of the Art and the Way

- Forward.” *The International Journal of Life Cycle Assessment* 23(3): 406–21. doi:10.1007/s11367-016-1169-7.
- Chang, Ya-Ju, Annekatrin Lehmann, Lisa ID Winter, and Matthias Finkbeiner. 2018. “Application Options of the Sustainable Child Development Index (SCDI)-Assessing the Status of Sustainable Development and Establishing Social Impact Pathways.” doi:10.3390/ijerph15071391.
- Chang, Ya-Ju, Sabrina Neugebauer, Annekatrin Lehmann, René Scheumann, and Matthias Finkbeiner. 2017. “Life Cycle Sustainability Assessment Approaches for Manufacturing.” In , 221–37. doi:10.1007/978-3-319-48514-0_14.
- Chang, Yun-Tsui, H Ping Tserng, and Cheng-Mo Chou. 2021. “The Key Strategies to Implement Circular Economy in Building Projects-A Case Study of Taiwan.” 13: 754. doi:10.3390/su13020754.
- Chichilnisky, Graciela. 1997. 2 Development Economics *The Costs and Benefits of Benefit-Cost Analysis*. <https://about.jstor.org/terms> (March 12, 2024).
- Chung, Do Kim, and Nguyen Phuong Le. 2023. “Linear or Circular Economy: A Review of Theories, Practices, and Policy Recommendations for Vietnam.” *Vietnam Journal of Agricultural Sciences* 6(3): 1832–45. doi:10.31817/vjas.2023.6.3.02.
- Coase, Ronald H. 1960. “The Problem of Social Cost.” *Journal of Law and Economics* 3: 1–44.
- Colley, Tracey A., Morten Birkved, Stig I. Olsen, and Michael Z. Hauschild. 2020. “Using a Gate-to-Gate LCA to Apply Circular Economy Principles to a Food Processing SME.” *Journal of Cleaner Production* 251: 119566. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119566.
- Comăniță, Elena-Diana, Isabela Maria Simion, Petronela Cozma, Raluca Maria Hlihor, Teofil Campean, Maria Gavrilescu, and Gheorghe Asachi. 2017. “Application of Cost-Benefit Analysis for an Eco-Product Manufactured from Production Waste.” In *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, doi:10.7763/IPCBEE.
- Coplan, Karl S, and Elisabeth Haub. 2018. Pace Law Faculty Publications School of Law *The Missing Element of Environmental Cost-Benefit Analysis: Compensation for the Loss of Regulatory Benefits*. <http://digitalcommons.pace.edu/lawfaculty/> (March 12, 2024).
- Corominas, Ll. J. Foley, J. S. Guest, A. Hospido, H. F. Larsen, S. Morera, and A. Shaw. 2013. “Life Cycle Assessment Applied to Wastewater Treatment: State of the Art.” *Water Research* 47(15): 5480–92. doi:10.1016/j.watres.2013.06.049.
- Corona, Blanca, Li Shen, Denise Reike, Jesús Rosales Carreón, and Ernst Worrell. 2019. “Towards Sustainable Development through the Circular Economy—A Review and Critical Assessment on Current Circularity Metrics.” *Resources, Conservation and Recycling* 151. doi:10.1016/j.resconrec.2019.104498.

- Cresswell, John W., and J David Cresswell. 2018. Sage Publications, *Research Design Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches*. doi:10.4324/9780429469237.
- Creswell, J. W., and Clark V. L Plano. 2017. Encyclopedia of Research Design *Designing and Conducting Mixed Methods Research*. <https://bayanbox.ir/view/236051966444369258/9781483344379-Designing-and-Conducting-Mixed-Methods-Research-3e.pdf>.
- Crowe, Sarah, Kathrin Cresswell, Ann Robertson, Guro Huby, Anthony Avery, and Aziz Sheikh. 2011. "The Case Study Approach." *BMC Medical Research Methodology* 11(1): 100. doi:10.1186/1471-2288-11-100.
- Crutzen, Paul J., and Eugene F. Stoerme. 2000. *The "Anthropocene*.
- Daly, Herman E. 1991. "Institutions for a Steady-State Economy." *Steady-State Economy*: 298.
- Damelio, Anthony. 2021. 49 Fordham Urban Law Journal *Making Wage Theft Costly: District Attorneys and Attorneys General Enforcing Wage and Hour Law General Enforcing Wage and Hour Law*. <https://ir.lawnet.fordham.edu/ulj/vol49/iss1/4> (September 28, 2023).
- David Cooper, By, and Teresa Kroeger. 2017. *Employers Steal Billions from Workers' Paychecks Each Year Survey Data Show Millions of Workers Are Paid Less than the Minimum Wage, at Significant Cost to Taxpayers and State Economies*.
- Dehghanimadvar, Mohammad, Renate Egan, and Nathan L. Chang. 2022. "Economic Assessment of Local Solar Module Assembly in a Global Market." *Cell Reports Physical Science* 3(2): 100747. doi:10.1016/j.xcrp.2022.100747.
- Dieckmann, Elena, Leila Sheldrick, Mike Tenant, Rupert Myers, and Christopher Cheeseman. 2020. "Analysis of Barriers to Transitioning from a Linear to a Circular Economy for End of Life Materials: A Case Study for Waste Feathers." *Sustainability* 12(5): 1725. doi:10.3390/su12051725.
- Direktorat Teknik dan Lingkungan KESDM. 2020. "Metodologi Penghitungan Reduksi Emisi Dan/Atau Peningkatan Serapan GRK Dalam Kerangka Verifikasi Aksi Mitigasi." *Penerapan Teknologi Energi Bersih* 1(1): 6–6. https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/70542-6.-metodologi-konversi-dari-pembangkit-single-cycle-menjadi-combined-cycle.pdf.
- Domaracka, Lucia, Simona Matuskova, Marcela Tausova, Andrea Senova, and Barbara Kowal. 2022. "Efficient Use of Critical Raw Materials for Optimal Resource Management in EU Countries." *Sustainability* 14(11): 6554. doi:10.3390/su14116554.
- Dong, Yan, Michael Hauschild, Hjalte Sørup, Rémi Rousselet, and Peter Fantke. 2019. "Evaluating the Monetary Values of Greenhouse Gases Emissions in Life Cycle Impact Assessment." *Journal of Cleaner Production* 209: 538–49. doi:10.1016/j.jclepro.2018.10.205.

- Dong, Yan, Simona Miraglia, Stefano Manzo, Stylianos Georgiadis, Hjalte Jomo Danielsen Sørup, Tine Hald, Sebastian Thöns, and Michael Z Hauschild. 2018. "Environmental Sustainable Decision Making-the Need and Obstacles for 2 Integration of LCA into Decision Analysis 3." *Environmental Science and Policy*.
- Duque, Luis Felipe, Enda O'Connell, and Greg O'Donnell. 2023. "A Monte Carlo Simulation and Sensitivity Analysis Framework Demonstrating the Advantages of Probabilistic Forecasting over Deterministic Forecasting in Terms of Flood Warning Reliability." *Journal of Hydrology* 619(February): 129340. doi:10.1016/j.jhydrol.2023.129340.
- Elia, Valerio, Maria Grazia Gnoni, and Fabiana Tornese. 2024. "Integrating Circular Economy and Sustainability Assessment on the Micro-Level: An Umbrella Review." *Sustainable Production and Consumption* 50(August): 405–15. doi:10.1016/j.spc.2024.08.012.
- Elkington, John. 1997. *Cannibal with the Forks: Line of 21st Century The Triple Bottom Business*. United Kin. Capstone Publishing Limited. <http://www.elecbook.com>.
- Ellen MacArthur Foundation. 2019a. "Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change." <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture> (October 1, 2021).
- Ellen MacArthur Foundation. 2019b. *How the Circular Economy Tackles Climate Change*. <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications> (July 13, 2023).
- Ellen MacArthur Foundation. 2015. *Growth within: A Circular Economy Vision for a Competitive Europe*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/growth-within-a-circular-economy-vision-for-a-competitive-europe>.
- Engel. 2025. "PT . BANK SYARIAH INDONESIA Tbk." *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents* (December): 31–54.
- European Environment Agency. 2016. "Circular Economy in Europe — Developing the Knowledge Base — European Environment Agency." <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe> (December 22, 2021).
- Falcone, Pasquale Marcello, Enrica Imbert, Pasquale Marcello Falcone, and Enrica Imbert. 2018. "Social Life Cycle Approach as a Tool for Promoting the Market Uptake of Bio-Based Products from a Consumer Perspective." *Sustainability* 10(4): 1–22. <https://econpapers.repec.org/RePEc:gam:jsusta:v:10:y:2018:i:4:p:1031-d:138912> (March 7, 2022).
- Falope, Femi J, Offor, Nkechi T, and Darlington I Ofurum. 2019. 5 International Journal of Advanced Academic Research | Social and Management Sciences | ENVIRONMENTAL COST DISCLOSURE AND CORPORATE PERFORMANCE OF QUOTED CONSTRUCTION FIRMS IN NIGERIA.

- Fan, Yee Van, Hon Huin Chin, Jiří Jaromír Klemeš, Petar Sabev Varbanov, and Xia Liu. 2020. "Optimisation and Process Design Tools for Cleaner Production." *Journal of Cleaner Production* 247: 119181. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119181.
- Feng, Lu, Nabin Aryal, Yeqing Li, Svein Jarle Horn, and Alastair James Ward. 2023. "Developing a Biogas Centralised Circular Bioeconomy Using Agricultural Residues - Challenges and Opportunities." *Science of the Total Environment* 868(January): 161656. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.161656.
- Ferasso, Marcos, Tatiana Beliaeva, Sascha Kraus, Thomas Clauss, and Domingo Ribeiro-Soriano. 2020. "Circular Economy Business Models: The State of Research and Avenues Ahead." *Business Strategy and the Environment* 29(8): 3006–24. doi:10.1002/bse.2554.
- Ferrand, N, D Mangalagiu, Frédéric Amblard, and L Antunes. 2013. *The Social Fabric of Jeans': Assessing the Social: Coupling Social Simulation and Assessment Methods*. <http://www.tias.uni-osnabrueck.de/> (February 10, 2022).
- Fetters, Michael D., Leslie A. Curry, and John W. Creswell. 2013. "Achieving Integration in Mixed Methods Designs - Principles and Practices." *Health Services Research* 48(6 PART2): 2134–56. doi:10.1111/1475-6773.12117.
- Figge, Frank, Andrea Stevenson Thorpe, Philippe Givry, Louise Canning, and Elizabeth Franklin-Johnson. 2018. "Longevity and Circularity as Indicators of Eco-Efficient Resource Use in the Circular Economy." *Ecological Economics* 150: 297–306. doi:10.1016/j.ecolecon.2018.04.030.
- Forest Europe. 2014. "FOREST EUROPE Expert Group and Workshop on a Pan-European Approach to Valuation of Forest Ecosystem Services." : 1–98.
- Fregonara, Elena. 2020. "A Life Cycle Perspective for Infrastructure Management §." *Aestimum* 2020: 5–25. doi:10.13128/aestim-8449.
- Frosch, Robert A., and Nicholas E. Galloopoulos. 1989. "Strategies for Manufacturing." *Scientific American* 261(3): 144–52. doi:10.1038/scientificamerican0989-144.
- García-Sánchez, Maribel, and Leonor Patricia Güereca. 2019. "Environmental and Social Life Cycle Assessment of Urban Water Systems: The Case of Mexico City." *Science of the Total Environment* 693. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.07.270.
- Garrido-Prada, Pablo, Helena Lenihan, Justin Doran, Christian Rammer, and Mauricio Perez-Alaniz. 2021. "Driving the Circular Economy through Public Environmental and Energy R&D: Evidence from SMEs in the European Union." *Ecological Economics* 182: 106884. doi:10.1016/j.ecolecon.2020.106884.
- Geissdoerfer, Martin, Paulo Savaget, Nancy M.P. Bocken, and Erik Jan Hultink. 2017a. "The Circular Economy – A New Sustainability Paradigm?" *Journal of Cleaner Production* 143: 757–68. doi:10.1016/j.jclepro.2016.12.048.

- Geissdoerfer, Martin, Paulo Savaget, Nancy M.P. Bocken, and Erik Jan Hultink. 2017b. "The Circular Economy – A New Sustainability Paradigm?" *J. Clean. Prod.* 143: 757–68. doi:10.1016/j.jclepro.2016.12.048.
- Georgescu-Roegen, Nicholas. 1971. The Entropy Law and the Economic Process *The Entropy Law and the Economic Process*. doi:10.4159/harvard.9780674281653.
- Gheewala, Shabbir H. 2020. "Life Cycle Thinking for Sustainable Consumption and Production towards a Circular Economy" eds. B. Warsito, Sudarno, and T. Triadi Putranto. *E3S Web of Conferences* 202: 01003. doi:10.1051/e3sconf/202020201003.
- Giddings, Bob, Bill Hopwood, and Geoff O'Brien. 2002. "Environment, Economy and Society: Fitting Them Together into Sustainable Development." *Sustainable Development* 10(4): 187–96. doi:10.1002/sd.199.
- Gigli, Silvia, Daniele Landi, and Michele Germani. 2019. "Cost-Benefit Analysis of a Circular Economy Project: A Study on a Recycling System for End-of-Life Tyres." *Journal of Cleaner Production* 229: 680–94. doi:10.1016/j.jclepro.2019.03.223.
- Guttinger, J. P. 1984. Compounding and discounting tables for project analysis (with a guide to their applications). Second edition, revised and expanded. *Compounding and Discounting Tables for Project Analysis (with a Guide to Their Applications). Second Edition, Revised and Expanded*.
- Glaser, Barney G., and Anselm L Strauss. 1967. 16 Etika Jurnalisme Pada Koran Kuning : Sebuah Studi Mengenai Koran Lampu Hijau *The Discovery of Grounded Theory Strategies for Qualitative Research*.
- Gluch, Pernilla, and Henrike Baumann. 2004. "The Life Cycle Costing (LCC) Approach: A Conceptual Discussion of Its Usefulness for Environmental Decision-Making." *Building and Environment* 39: 571–80. doi:10.1016/j.buildenv.2003.10.008.
- Godelnik, Raz. 2021. Rethinking Corporate Sustainability in the Era of Climate Crisis; A Strategic Design Approach *Rethinking Corporate Sustainability in the Era of Climate Crisis; A Strategic Design Approach*. Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-77318-2.
- Gonçalves, Maria Luiza M. B. B., and Guilherme J. Maximo. 2022. "Circular Economy in the Food Chain: Production, Processing and Waste Management." *Circular Economy and Sustainability*: 1–19. doi:10.1007/s43615-022-00243-0.
- Goodland, Robert. 1995. "The Concept of Environmental Sustainability." *Annual Review of Ecology and Systematics* 26(1): 1–24. doi:10.4324/9780203011751-8.
- Grabert, James. 2022. "CDM METHODOLOGY BOOKLET CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM: Tool to Calculate the Emission Factor for an Electricity System." *Cdm Methodology Booklet Clean Development Mechanism* 2021(December).

- Grdic, Sverko Zvonimira, Nizic Marinela Krstinic, and Elena Rudan. 2020. "Circular Economy Concept in the Context of Economic Development in EU Countries." *Sustainability* 12(7): 3060. doi:10.3390/su12073060.
- Hai, Faisal I, Kazuo Yamamoto, and Jega Veeriah Jegatheesan. 2018. "Special Issue on Wastewater Treatment and Reuse Technologies." doi:10.3390/app8050695.
- Halog, Anthony, and Yosef Manik. 2011. "Advancing Integrated Systems Modelling Framework for Life Cycle Sustainability Assessment." 3: 469–99. doi:10.3390/su3020469.
- Haryanto, Agus, Fadli Marotin, Sugeng Triyono, and Udin Hasanudin. 2017. "Developing a Family-Size Biogas-Fueled Electricity Generating System." *International Journal of Renewable Energy Development* 6(2): 111–18. doi:10.14710/ijred.6.2.111-118.
- Hasanudin, Udin, Agus Haryanto, and Erdi Suroso. 2011. *Mitigation of Green House Gases Emission in Cassava Mill: Case Study in Lampung, Indonesia*.
- Hasanudin, Udin, M. E. Kustyawati, D. A. Iryani, A. Haryanto, and S. Triyono. 2019. "Estimation of Energy and Organic Fertilizer Generation from Small Scale Tapioca Industrial Waste." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 230(1): 012084. doi:10.1088/1755-1315/230/1/012084.
- Hasanudin, Udin, Nadia Dwi Safira, Fibra Nurainy, Tanto Pratondo Utomo, and Agus Haryanto. 2023. "Improving Biogas Production in Tapioca Industry by Using Onggok as Co-Substrate." *International Journal of Renewable Energy Research* 13(2): 741–49. doi:10.20508/ijrer.v13i2.13814.g8748.
- Hayden, Coombs. 2022. "Case Study Research Defined." *Case Study Research* (February). doi:10.5281/zenodo.7604301.
- Herman, Robert, Siamak A. Ardekani, and Jesse H. Ausubel. 1990. "Dematerialization." *Technological Forecasting and Social Change* 38(4): 333–47. doi:10.1016/0040-1625(90)90003-E.
- Hirotsugu, Kamahara, Hasanudin Udin, Atsuta Yoichi, Widjianto Anugerah, Tachibana Ryuichi, Goto Naohiro, Daimon Hiroyuki, and Fujie Koichi. 2010. *Methane Emission from Anaerobic Pond of Tapioca Starch Extraction Wastewater in Indonesia*.
- Hoogmartens, Rob, Steven Van Passel, Karel Van Acker, and Maarten Dubois. 2014. "Bridging the Gap between LCA, LCC and CBA as Sustainability Assessment Tools." *Environmental Impact Assessment Review* 48: 27–33. doi:10.1016/j.eiar.2014.05.001.
- Hotelling, Harold. 1991. "The Economics of Exhaustible Resources." *Bulletin of Mathematical Biology* 53(1–2): 281–312. doi:10.1016/s0092-8240(05)80050-3.
- Huertas-Valdivia, Irene, Anna Maria Ferrari, Davide Settembre-Blundo, and Fernando E García-Muiña. 2020. "Social Life-Cycle Assessment: A Review by Bibliometric Analysis." doi:10.3390/su12156211.
- Huesemann, Michael H. 2004. "The Failure of Eco-Efficiency to Guarantee

- Sustainability: Future Challenges for Industrial Ecology.” *Environmental Progress* 23(4): 264–70. doi:10.1002/ep.10044.
- Ilgin, Mehmet Ali, and Surendra M. Gupta. 2010. “Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery (ECMPRO): A Review of the State of the Art.” *Journal of Environmental Management* 91(3): 563–91. doi:10.1016/j.jenvman.2009.09.037.
- Institute for Global Environmental Strategies. 2010. *Sustainable Consumption and Production in the Asia-Pacific Region Effective Responses in a Resource Constrained World*.
- International Institute for Applied Systems Analysis. 2018. International Institute for Applied Systems Analysis *Transformations to Achieve the Sustainable Development Goals - Report Prepared by The World in 2050 Initiative*. doi:10.22022/TNT/07-2018.15347.
- International Labour Organization. 2020. *MEASURING THE GENDER WAGE GAP TURKEY CASE*.
- Jansen, Wouterszoon Bas, Anne van Stijn, Vincent Gruis, and Gerard van Bortel. 2020. “A Circular Economy Life Cycle Costing Model (CE-LCC) for Building Components.” *Resources, Conservation and Recycling* 161. doi:10.1016/j.resconrec.2020.104857.
- Jones, Heather, Filipe Moura, and Tiago Domingos. 2014. “Transport Infrastructure Project Evaluation Using Cost-Benefit Analysis.” *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 111: 400–409. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.073.
- Jørgensen, Andreas, Matthias Finkbeiner, Michael S. Jørgensen, and Michael Z. Hauschild. 2010. “Defining the Baseline in Social Life Cycle Assessment.” *International Journal of Life Cycle Assessment* 15(4): 376–84. doi:10.1007/s11367-010-0176-3.
- Joseph, Chris, Thomas Gunton, Duncan Knowler, and Sean Broadbent. 2020. “The Role of Cost-Benefit Analysis and Economic Impact Analysis in Environmental Assessment: The Case for Reform.” *Impact Assessment and Project Appraisal* 38(6): 491–501. doi:10.1080/14615517.2020.1767954.
- Kalbar, Pradip P., and Deepjyoti Das. 2019. “Advancing Life Cycle Sustainability Assessment Using Multiple Criteria Decision Making.” In *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making: Methodologies and Case Studies*, Elsevier, 205–24. doi:10.1016/B978-0-12-818355-7.00010-5.
- Kementerian lingkungan hidup dan Kehutanan. 2018. “Permen LHK No. P.21/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2018 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah [Minister of Environment and Forestry Regulation No. P.21/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2018] Regarding Amendm.” <https://peraturan.go.id/id/permen-lhk-no-p-21-menlhk-setjen-kum-1-7-2018-tahun-2018> (January 18, 2024).
- Kirchherr, Julian, Denise Reike, and Marko Hekkert. 2017. “Conceptualizing the

- Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions.” *Resources, Conservation and Recycling* 127: 221–32. doi:10.1016/j.resconrec.2017.09.005.
- Kirchherr, Julian, Nan-Hua Nadja Yang, Frederik Schulze-Spüntrup, Maarten J. Heerink, and Kris Hartley. 2023. “Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions.” *Resources, Conservation and Recycling* 194: 107001. doi:10.1016/j.resconrec.2023.107001.
- Kloepffer, Walter. 2008. “Life Cycle Sustainability Assessment of Products (with Comments by Helias A. Udo de Haes, p. 95).” In *International Journal of Life Cycle Assessment*, Springer Verlag, 89–95. doi:10.1065/lca2008.02.376.
- Klöpffer, Walter, and Isa Renner. 2008. “Life-Cycle Based Sustainability Assessment of Products.” In , 91–102. doi:10.1007/978-1-4020-8913-8_5.
- Korhonen, Jouni, Antero Honkasalo, and Jyri Seppälä. 2018. “Circular Economy: The Concept and Its Limitations.” *Ecological Economics* 143: 37–46. doi:10.1016/j.ecolecon.2017.06.041.
- Kujala, Johanna, Anna Heikkinen, and Annika Blomberg. 2023. Stakeholder Engagement in a Sustainable Circular Economy: Theoretical and Practical Perspectives *Stakeholder Engagement in a Sustainable Circular Economy*. eds. Johanna Kujala, Anna Heikkinen, and Annika Blomberg. Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-031-31937-2.
- Kusumo, F., T. M.I. Mahlia, S. Pradhan, H. C. Ong, A. S. Silitonga, I. M.Rizwanul Fattah, L. D. Nghiem, and M. Mofijur. 2022. “A Framework to Assess Indicators of the Circular Economy in Biological Systems.” *Environmental Technology and Innovation* 28: 102945. doi:10.1016/j.eti.2022.102945.
- Lam, Chor Man, Iris K.M. Yu, Francisco Medel, Daniel C.W. Tsang, Shu Chien Hsu, and Chi Sun Poon. 2018. “Life-Cycle Cost-Benefit Analysis on Sustainable Food Waste Management: The Case of Hong Kong International Airport.” *Journal of Cleaner Production* 187: 751–62. doi:10.1016/j.jclepro.2018.03.160.
- Langen, Van. 2021. “This Is a Repository Copy of Circular Economy and the Transition to a Sustainable Society : Integrated Assessment Methods for a New Paradigm . White Rose Research Online URL for This Paper : Version : Published Version Article : Oliveira , M ., Miguel , M.”
- De Lataillade, A., S. Blanco, Y. Clergent, J. L. Dufresne, M. El Hafi, and R. Fournier. 2002. “Monte Carlo Method and Sensitivity Estimations.” *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 75(5): 529–38. doi:10.1016/S0022-4073(02)00027-4.
- Latif, Sajid, and Joachim Müller. 2015. “Potential of Cassava Leaves in Human Nutrition: A Review.” *Trends in Food Science & Technology* 44(2): 147–58. doi:10.1016/j.tifs.2015.04.006.
- Laurent, Alexis, Julie Clavreul, Anna Bernstad, Ioannis Bakas, Monia Niero, Emmanuel Gentil, Thomas H. Christensen, and Michael Z. Hauschild. 2014. “Review of LCA Studies of Solid Waste Management Systems - Part II: Methodological Guidance for a Better Practice.” *Waste Management* 34(3):

- 589–606. doi:10.1016/j.wasman.2013.12.004.
- Lauten-Weiss, Julian, and Stephan Ramesohl. 2021. “The Circular Business Framework for Building, Developing and Steering Businesses in the Circular Economy.” *Sustainability* 13(2): 963. doi:10.3390/su13020963.
- Lerdlattaporn, Ruenrom, Chantaraporn Phalakornkule, Sivalee Trakulvichean, and Warinthon Songkasiri. 2021. “Implementing Circular Economy Concept by Converting Cassava Pulp and Wastewater to Biogas for Sustainable Production in Starch Industry.” *Sustainable Environment Research* 31(1). doi:10.1186/s42834-021-00093-9.
- Li, Dingsheng, Joanna Kulczycka, Mohammad Ali Rajaeifar, Julien Walzberg, Geoffrey Lonca, Rebecca J Hanes, Annika L Eberle, Alberta Carpenter, and Garvin A Heath. 2021. “Do We Need a New Sustainability Assessment Method for the Circular Economy? A Critical Literature Review.” *Frontiers in Sustainability | www.frontiersin.org* 1: 620047. doi:10.3389/frsus.2020.620047.
- Li, Xi, Weifeng Wang, Han Zhang, Ting Wu, and Hongqiang Yang. 2022. “Dynamic Baselines Depending on REDD+ Payments: A Comparative Analysis Based on a System Dynamics Approach.” *Ecological Indicators* 140(April). doi:10.1016/j.ecolind.2022.108983.
- Litman, Todd Alexander. 2011. *Transportation Cost and Benefit Analysis Techniques, Estimates and Implications Executive Summary*. www.vtpi.orgInfo@vtpi.org (September 15, 2023).
- Luthin, Anna, Marzia Traverso, and Robert H. Crawford. 2024. “Circular Life Cycle Sustainability Assessment: An Integrated Framework.” *Journal of Industrial Ecology* 28(1): 41–58. doi:10.1111/jiec.13446.
- Malthus, Thomas R. 2018. “An Essay on the Principle of Population as It Affects the Future Improvement of Society (First Edition).” *The Economics of Population: Key Classic Writings*: 219–22. doi:10.4324/9781351291521-31.
- Mancini, Eliana, and Andrea Raggi. 2021. “A Review of Circularity and Sustainability in Anaerobic Digestion Processes.” *Journal of Environmental Management* 291(November 2020): 112695. doi:10.1016/j.jenvman.2021.112695.
- Mancini, L, N A Eslava, M Traverso, and F Mathieu. 2020. JRC Technical Report *Responsible and Sustainable Sourcing of Battery Raw Materials*. Publications Office of the European Union. doi:10.2760/562951.
- Manik, Yosef, Jessica Leahy, and Anthony Halog. 2013. “Social Life Cycle Assessment of Palm Oil Biodiesel: A Case Study in Jambi Province of Indonesia.” *International Journal of Life Cycle Assessment* 18(7): 1386–92. doi:10.1007/s11367-013-0581-5.
- Mannan, Mehzabeen, and Sami G. Al-Ghamdi. 2022. “Complementing Circular Economy with Life Cycle Assessment: Deeper Understanding of Economic, Social, and Environmental Sustainability.” In *Circular Economy and Sustainability*, Elsevier, 145–60. doi:10.1016/b978-0-12-819817-9.00032-6.

- Marino, Simeone, Ian B. Hogue, Christian J. Ray, and Denise E. Kirschner. 2008. "A Methodology for Performing Global Uncertainty and Sensitivity Analysis in Systems Biology." *Journal of Theoretical Biology* 254(1): 178–96. doi:10.1016/j.jtbi.2008.04.011.
- Marshall, Alfred. 1890. *Principles of Economics*.
- Mayer, Andreas, Willi Haas, Dominik Wiedenhofer, Fridolin Krausmann, Philip Nuss, and Gian Andrea Blengini. 2019. "Measuring Progress towards a Circular Economy: A Monitoring Framework for Economy-Wide Material Loop Closing in the EU28." *Journal of Industrial Ecology* 23(1): 62–76. doi:10.1111/jiec.12809.
- McDonough, William, and Michael Braungart. 2002. *11 Sustainability (Switzerland) Remaking the Way We Make Things*. North Point Press. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbaneco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM PEMBETUNGAN TERPUSAT STRATEGI MELESTARI.
- Meadow, DH, DL Meadow, Randers Jorhen, and Wiillimams w Behrens III. 1972. *Limits to Growth*. New York: POtomac Associates Book. doi:10.4337/9781788974912.L.27.
- Mebratu, Desta. 1998. "Sustainability and Sustainable Development: Historical and Conceptual Review." *Environmental Impact Assessment Review* 18(6): 493–520. doi:10.1016/S0195-9255(98)00019-5.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik. 2023. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: SK.1131/MENLHK/PPI/PPI.2/10/2023 Tentang Skema Sertifikasi Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia*.
- Menteri lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2022. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2022 Tentanga Tata Laksana Penerapan Nilai Ekonomi Karbon*.
- Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Indonesia. 2004. *Keputusan Menteri Tenaga Kerja Dan Tranmigrasi Republik Indonesia NOMOR KEP.102 /MEN/VI/2004 (Decision of the Minister of Manpower and Transmigration of the Republic of Indonesia Number KEP.102 /MEN/VI/2004)*.
- Merli, Roberto, Michele Preziosi, and Alessia Acampora. 2017. "How Do Scholars Approach the Circular Economy? A Systematic Literature Review." doi:10.1016/j.jclepro.2017.12.112.
- Mikraj, A L, Indriana Syafitri, Nurul Fitralaila Tanjung, and Dini Gandini Purbaningrum. 2024. "Pelaksanaan Program REDD + Di Kalimantan Timur." 5(1): 1161–78.
- Mohammad, Wan Masliza Wan, and Shaista Wasiuzzaman. 2021. "Environmental, Social and Governance (ESG) Disclosure, Competitive Advantage and Performance of Firms in Malaysia." *Cleaner Environmental Systems*

- 2(January): 100015. doi:10.1016/j.cesys.2021.100015.
- Moraga, Gustavo, Sophie Huysveld, Steven De Meester, and Jo Dewulf. 2022a. “Resource Efficiency Indicators to Assess Circular Economy Strategies: A Case Study on Four Materials in Laptops.” *Resources, Conservation and Recycling* 178: 106099. doi:10.1016/j.resconrec.2021.106099.
- Moraga, Gustavo, Sophie Huysveld, Steven De Meester, and Jo Dewulf. 2022b. “Resource Efficiency Indicators to Assess Circular Economy Strategies: A Case Study on Four Materials in Laptops.” *Resources, Conservation and Recycling* 178. doi:10.1016/j.resconrec.2021.106099.
- Muhamat, Amirul Afif, Ahmad Farouk Zulkifli, Suzana Sulaiman, Geetha Subramaniam, and Saadiah Mohamad. 2021. “Development of Social Cost and Benefit Analysis (SCBA) in the Maqāṣid Shariah Framework: Narratives on the Use of Drones for Takaful Operators.” *Journal of Risk and Financial Management* 14(8): 387. doi:10.3390/jrfm14080387.
- Murray, Alan, Keith Skene, and Kathryn Haynes. 2017. “The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context.” *Journal of Business Ethics* 140(3): 369–80. doi:10.1007/s10551-015-2693-2.
- Murray, Alan, KKeith Skene, and Kathryn Haynes. 2015. “The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context.” doi:10.1007/s10551-015-2693-2.
- Neugebauer, Sabrina, Yasmine Emara, Christine Hellerström, and Matthias Finkbeiner. 2017. “Calculation of Fair Wage Potentials along Products’ Life Cycle – Introduction of a New Midpoint Impact Category for Social Life Cycle Assessment.” *Journal of Cleaner Production* 143: 1221–32. doi:10.1016/j.jclepro.2016.11.172.
- Niero, Monia, and Ximena C.Schmidt Rivera. 2018. “The Role of Life Cycle Sustainability Assessment in the Implementation of Circular Economy Principles in Organizations.” In *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 793–98. doi:10.1016/j.procir.2017.11.022.
- Padilla-Rivera, Alejandro, Sara Russo-Garrido, and Nicolas Merveille. 2020. “Addressing the Social Aspects of a Circular Economy: A Systematic Literature Review.” *Sustainability* 12(19): 7912. doi:10.3390/su12197912.
- Papamichael, Iliana, Irene Voukkali, Marinos Stylianou, Vincenzo Naddeo, Mohamed Ksibi, Tiziano Zarra, and Antonis A. Zorpas. 2024. “Sustainable Production and Consumption.” *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration* 9(4): 2003–8. doi:10.1007/s41207-024-00594-0.
- Patton, Michael Quinn. 2001. “Qualitative-Research-Evaluation-Methods-by-Michael-Patton.Pdf.”
- Pearce, David. 1998. 14 Oxford Review of Economic Policy *COST-BENEFIT ANALYSIS AND ENVIRONMENTAL POLICY*. <https://about.jstor.org/terms> (March 12, 2024).

- Pearce, David, Giles Atkinson, and Susana Mourato. 2006. Cost-Benefit Analysis and the Environment *Cost Benefit Analysis and The Environment: Recent Development*. OECD Publishing. doi:10.1787/9789264010055-12-en.
- Pearce, David W, and R. Kerrry Turner. 1990a. *Economics of Natural Resouces and the Environment*.
- Pearce, David W, and R Kerry Turner. 1990b. *Economics OFNatural Resources and The Environment*. Washington DC: The John Hopkin University Press.
- Peña, Claudia, Bárbara Civit, Alejandro Gallego-Schmid, Angela Druckman, Armando Caldeira-Pires, Bo Weidema, Eric Mieras, et al. 2020. 10 *European Commission (JRC), Spain; 11 USDA*.
- Peraturan Presiden. 2013. *Peraturan Presiden Republik Indonesia No 111 Tahun 2013Perubahan Atas Peraturan Presiden Nomoe 12 Tahun 2013 Tentang Jaminan Kesehatan (Presidential Regulation of the Republic of Indonesia Number 111 of 2013 Regarding Amendments to Presidential Regulation)*. Jakarta.
- Pérez-López, Paula, Gumersindo Feijoo, and María Teresa Moreira. 2018. “Sustainability Assessment of Blue Biotechnology Processes: Addressing Environmental, Social and Economic Dimensions.” In *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies*, Springer International Publishing, 475–86. doi:10.1007/978-3-319-66981-6_53.
- Pervez, Md. Nahid, Monira Rahman Mishu, George K. Stylios, Shadi W. Hasan, Yaping Zhao, Yingjie Cai, Tiziano Zarra, Vincenzo Belgiorno, and Vincenzo Naddeo. 2021. “Sustainable Treatment of Food Industry Wastewater Using Membrane Technology: A Short Review.” *Water* 13(23): 3450. doi:10.3390/w13233450.
- Pidd, M. 2010. “Why Modelling and Model Use Matter.” *Journal of the Operational Research Society* 61(1): 14–24. doi:10.1057/jors.2009.141.
- Pieroni, Marina, Tim McAloone, and Daniela Pigosso. 2019. “Configuring New Business Models for Circular Economy through Product–Service Systems.” *Sustainability* 11(13): 3727. doi:10.3390/su11133727.
- Pieroni, Marina P.P., Tim C. McAloone, and Daniela C.A. Pigosso. 2019. “Business Model Innovation for Circular Economy and Sustainability: A Review of Approaches.” *Journal of Cleaner Production* 215: 198–216. doi:10.1016/j.jclepro.2019.01.036.
- Pigou, A.C. 1920. “The Ecnomics of Welfare.” London, Ma: 1–983.
- Pizzol, Massimo, Bo Weidema, Miguel Brandão, and Philippe Osset. 2015. “Monetary Valuation in Life Cycle Assessment: A Review.” *Journal of Cleaner Production* 86: 170–79. doi:10.1016/j.jclepro.2014.08.007.
- Pražanová, Anna, Michael Fridrich, Jan Weinzettel, and Vaclav Knap. 2025. “Gate-to-Gate Life Cycle Assessment of Lithium-Ion Battery Recycling Pre-Treatment.” *Cleaner Environmental Systems* 16(December 2024).

- doi:10.1016/j.cesys.2025.100263.
- Presiden Republik Indonesia. 2021a. *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 98 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon Untuk Pencapaian Target Kontribusi Yang Ditetapkan Secara Nasional Dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Pembangunan Nasional*.
- Presiden Republik Indonesia. 2021b. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2021 Tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan*.
- Purvis, Ben, Yong Mao, and Darren Robinson. 2019. “Three Pillars of Sustainability: In Search of Conceptual Origins.” *Sustainability Science* 14(3): 681–95. doi:10.1007/s11625-018-0627-5.
- Qadir, Manzoor, Pay Drechsel, Blanca Jiménez Cisneros, Younggy Kim, Amit Pramanik, Praem Mehta, and Oluwabusola Olaniyan. 2020. “Global and Regional Potential of Wastewater as a Water, Nutrient and Energy Source.” *Natural Resources Forum* 44(1): 40–51. doi:10.1111/1477-8947.12187.
- Rahee, Sanjida Parvin, and Md Rayhan Sarker. 2024. “Circular Product Design Strategies in the Apparel Industry: Toward the Circular Economy.” *Discover Sustainability* 5(1). doi:10.1007/s43621-024-00654-z.
- Rahmiyati, Ayu Laili, Asep Dian Abdillah, Susilowati Susilowati, and Dinna Anggaraini. 2019. “Cost Benefit Analysis (CBA) Program Pemberian Makanan Tambahan (PMT) Susu Pada Karyawan Di PT. Trisula Textile Industries Tbk Cimahi Tahun 2018.” *Jurnal Ekonomi Kesehatan Indonesia* 3(1): 125–34. doi:10.7454/eki.v3i1.2740.
- Raman, Raghu, Hiran H. Lathabai, and Prema Nedungadi. 2024. “Sustainable Development Goal 12 and Its Synergies with Other SDGs: Identification of Key Research Contributions and Policy Insights.” *Discover Sustainability* 5(1). doi:10.1007/s43621-024-00289-0.
- Rashid, Yasir, Ammar Rashid, Muhammad Akib Warraich, Sana Sameen Sabir, and Ansar Waseem. 2019. “Case Study Method: A Step-by-Step Guide for Business Researchers.” *International Journal of Qualitative Methods* 18. doi:10.1177/1609406919862424.
- Ray, Anandarup. 1997. 2 Development Economics *Cost-Benefit Analysis and the Environment*. <https://about.jstor.org/terms> (March 12, 2024).
- Rebitzer, Gerald, David Hunkeler, and Olivier Jolliet. 2003. “LCC-The Economic Pillar of Sustainability: Methodology and Application to Wastewater Treatment.” *Environmental Progress* 22(4): 241–49. doi:10.1002/ep.670220412.
- Reinales, Diana, David Zambrana-Vasquez, and Aitana Saez-De-Guinoa. 2020. “Social Life Cycle Assessment of Product Value Chains under a Circular Economy Approach: A Case Study in the Plastic Packaging Sector.” *Sustainability (Switzerland)* 12(16). doi:10.3390/su12166671.
- Republik Indonesia. 2008. “Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun

- 2008.” (1).
- Republik Indonesia. 2021. “Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 07 Tahun 2021 Tentang Kemudahan, Pelindungan, Dan Pemberdayaan Koperasi Dan Usaha Mikro, Kecil, Dan Menengah.” (086507): 1–121.
- Ricardo, David. 1821. *On Principal Economy and Taxation*. 3rd ed. London: JOHN MURRAY, ALBEMARLE-STREET.
- Rockström, Johan, W L Steffen, Kevin Noone, Åsa Persson, F Stuart, Chapin III, J Rockstrom, et al. 2009. *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity Recommended Citation*. http://pdxscholar.library.pdx.edu/iss_pubURL:http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/. (February 2, 2023).
- Rogers, Peter, and Herman E. Daly. 1996. “Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development.” *Population and Development Review* 22(4): 783. doi:10.2307/2137812.
- Roos Lindgreen, Erik, and Walter J.V. Vermeulen. 2023. “In Search for Ground Rules for Product-Oriented Full Cost Accounting Methods: Ensuring Construct Validity.” *Environmental and Sustainability Indicators* 19: 100275. doi:10.1016/j.indic.2023.100275.
- Rorarius, Jonas. 2007. “Assessing Sustainability from the Corporate Perspective-An Interdisciplinary Approach.”
- Salguero-Puerta, Lucía, Juan Carlos Leyva-Díaz, Francisco Joaquín Cortés-García, and Valentín Molina-Moreno. 2019. “Sustainability Indicators Concerning Waste Management for Implementation of the Circular Economy Model on the University of Lome (Togo) Campus.” doi:10.3390/ijerph16122234.
- Saltelli, Andrea, and Paola Annoni. 2010. “How to Avoid a Perfunctory Sensitivity Analysis.” *Environmental Modelling and Software* 25(12): 1508–17. doi:10.1016/j.envsoft.2010.04.012.
- Sauvé, Sébastien, Sophie Bernard, and Pamela Sloan. 2016. “Environmental Sciences, Sustainable Development and Circular Economy: Alternative Concepts for Trans-Disciplinary Research.” *Environmental Development* 17: 48–56. doi:10.1016/j.envdev.2015.09.002.
- Sauvé, Sébastien, Sébastien Lamontagne, Jérôme Dupras, and Walter Stahel. 2021. “Circular Economy of Water: Tackling Quantity, Quality and Footprint of Water.” *Environmental Development* 39: 100651. doi:10.1016/j.envdev.2021.100651.
- Schmidt, Charles W. 2003. 111 Health Perspectives *Subjective Science: Environmental Cost-Benefit Analysis*.
- Schulte, Anna, Daniel Maga, and Nils Thonemann. 2021. “Combining Life Cycle Assessment and Circularity Assessment to Analyze Environmental Impacts of the Medical Remanufacturing of Electrophysiology Catheters.” *Sustainability (Switzerland)* 13(2): 1–23. doi:10.3390/su13020898.

- Selivanov, Egor, and Petra Hlaváčková. 2021. "Methods for Monetary Valuation of Ecosystem Services: A Scoping Review." *Journal of Forest Science* 67(11): 499–511. doi:10.17221/96/2021-JFS.
- Shafer, Scott M., H. Jeff Smith, and Jane C. Linder. 2005. "The Power of Business Models." *Business Horizons* 48(3): 199–207. doi:10.1016/j.bushor.2004.10.014.
- Siebert, A., A. Bezama, S. O'Keeffe, and D. Thrän. 2018. "Social Life Cycle Assessment Indices and Indicators to Monitor the Social Implications of Wood-Based Products." *Journal of Cleaner Production* 172: 4074–84. doi:10.1016/j.jclepro.2017.02.146.
- Singvejsakul, Jittima, Yaovarat Chaovanapoonphol, Budsara Limnirankul, Monika Roman, and Michał Roman. 2021. "Modeling the Price Volatility of Cassava Chips in Thailand: Evidence from Bayesian GARCH-X Estimates." doi:10.3390/economies9030132.
- Sinha, Ekta. 2022. "Circular Economy—A Way Forward to Sustainable Development: Identifying Conceptual Overlaps and Contingency Factors at the Microlevel." *Sustainable Development* 30(4): 771–83. doi:10.1002/sd.2263.
- Sining, Ma, Amir Hamzah Sharaai, and Nitanan Koshy. 2024. "Monetization of Sustainability Indicators Integrating Willingness to Pay into Life Cycle Sustainability Assessment." 13(4): 155–68. doi:10.6007/IJAREMS/v13-i4/23037.
- Situmorang, Asido, and Yosef Manik. 2018. "Initial Sustainability Assessment of Tapioca Starch Production System in Lake Toba Area." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 337(1): 012044. doi:10.1088/1757-899X/337/1/012044.
- Smith, Adam. 1902. *The Wealth of Nations*. New York: P. F. COLLIER & SON.
- Soeprijanto, Soeprijanto, Lailatul Qomariyah, Afan Hamzah, and Saidah Altway. 2022. "Bioconversion of Industrial Cassava Solid Waste (Onggok) to Bioethanol Using a Saccharification and Fermentation Process." *International Journal of Renewable Energy Development* 11(2): 357–63. doi:10.14710/IJRED.2022.41332.
- Solow, Robert M. 1974. "The Economics of Resources or the Resources of Economics." *The American Economic Review* 64(2): 1–14. <http://www.jstor.org/stable/1816009>.
- Spuhler, Dorothee, Andreas Scheidegger, and Max Maurer. 2021. "Ex-Ante Quantification of Nutrient, Total Solids, and Water Flows in Sanitation Systems." *Journal of Environmental Management* 280: 111785. doi:10.1016/j.jenvman.2020.111785.
- Stahel, Walter R. 2006. *The Preformance Economy*.
- Stazyk, Edmund C., Alisa Moldavanova, and H. George Frederickson. 2016. "Sustainability, Intergenerational Social Equity, and the Socially Responsible

- Organization.” *Administration and Society* 48(6): 655–82. doi:10.1177/0095399713519094.
- Steffen, Will, Katherine Richardson, Johan Rockström, Sarah E. Cornell, Ingo Fetzer, Elena M. Bennett, Reinette Biggs, et al. 2015. “Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet.” *Science* 347(6223). doi:10.1126/science.1259855.
- van Stijn, A., L. C. Malabi Eberhardt, B. Wouterszoon Jansen, and A. Meijer. 2021. “A Circular Economy Life Cycle Assessment (CE-LCA) Model for Building Components.” *Resources, Conservation and Recycling* 174: 105683. doi:10.1016/j.resconrec.2021.105683.
- Stone, Jamie, Guillermo Garcia-Garcia, and Shahin Rahimifard. 2019. “Development of a Pragmatic Framework to Help Food and Drink Manufacturers Select the Most Sustainable Food Waste Valorisation Strategy.” *Journal of Environmental Management* 247: 425–38. doi:10.1016/j.jenvman.2019.06.037.
- Swarr, Thomas E., David Hunkeler, Walter Klöpffer, Hanna Leena Pesonen, Andreas Ciroth, Alan C. Brent, and Robert Pagan. 2011. “Environmental Life-Cycle Costing: A Code of Practice.” *International Journal of Life Cycle Assessment* 16(5): 389–91. doi:10.1007/s11367-011-0287-5.
- Takahashi, Adriana Roseli Wünsch, and Luis Araujo. 2019. “Case Study Research: Opening up Research Opportunities.” *RAUSP Management Journal* 55(1): 100–111. doi:10.1108/RAUSP-05-2019-0109.
- The European Union. 2020. *FIT4REUSE Safe and Sustainable Solutions for the Integrated Use of Non-Conventional Water Resources in the Mediterranean Agricultural Sector Deliverable: 7.1*.
- The United Nation. 2017. “Wastewater: The Untapped Resource - UNESCO Digital Library.” *The United Nations world water development report*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247153> (February 8, 2022).
- Thuy, Trinh Thu. 2023. *Circular Economy: Drivers and Barriers to Development – Experience from Other Countries to Vietnam*. Atlantis Press International BV. doi:10.2991/978-94-6463-150-0_22.
- Tiwari, Dirgha N. 2000. *5 Sustainability Criteria and Cost-Benefit Analysis: An Analytical Framework for Environmental-Economic Decision Making at the Project Level*. <https://about.jstor.org/terms> (March 12, 2024).
- Trollman, Hana, James Colwill, and Sandeep Jagtap. 2021. “A Circularity Indicator Tool for Measuring the Ecological Embeddedness of Manufacturing.” *Sustainability* 13(16): 8773. doi:10.3390/su13168773.
- Tu, Jui-Che, Hsiao-Ching Chan, and Chi-Hsiung Chen. 2020. “Establishing Circular Model and Management Benefits of Enterprise from the Circular Economy Standpoint: A Case Study of Chyhjiun Jewelry in Taiwan.” *Sustainability* 12(10): 4146. doi:10.3390/su12104146.

- UNEP. 2009. "Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products." <https://www.unep.org/resources/report/guidelines-social-life-cycle-assessment-products> (July 31, 2022).
- UNEP. 2011. *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth | Resource Panel*. <https://www.resourcepanel.org/reports/decoupling-natural-resource-use-and-environmental-impacts-economic-growth> (January 17, 2022).
- UNEP. 2020. *Guidelines for SOCIAL LIFE CYCLE ASSESSMENT OF PRODUCTS AND ORGANIZATIONS 2020*.
- UU No. 7 Tahun 2021. 2021. "Undang Undang Republik Indonesia No 7 Tahun 2021 Tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan." *Republik Indonesia*: 224.
- Valverde, Juan-Manuel, and Carmen Avilés-Palacios. 2021. "Circular Economy as a Catalyst for Progress towards the Sustainable Development Goals: A Positive Relationship between Two Self-Sufficient Variables." *Sustainability* 13(22): 12652. doi:10.3390/su132212652.
- Vanclay, Frank. 2002. "Conceptualising Social Impacts." *Environmental Impact Assessment Review* 22(3): 183–211. doi:10.1016/S0195-9255(01)00105-6.
- Van Der Velden, Natascha M, Joost G Vogtl, and € Ander. 2017. "Monetisation of External Socio-Economic Costs of Industrial Production: A Social-LCA-Based Case of Clothing Production." doi:10.1016/j.jclepro.2017.03.161.
- Velenturf, Anne P.M., and Phil Purnell. 2021. "Principles for a Sustainable Circular Economy." *Sustainable Production and Consumption* 27: 1437–57. doi:10.1016/j.spc.2021.02.018.
- Visser, Wayne, and Gro Harlem Brundtland. 2013. "Our Common Future ('The Brundtland Report'): World Commission on Environment and Development." In *The Top 50 Sustainability Books*, Greenleaf Publishing Limited, 52–55. doi:10.9774/GLEAF.978-1-907643-44-6_12.
- Walker, Anna M., Katelin Opferkuch, Erik Roos Lindgreen, Andrea Raggi, Alberto Simboli, Walter J.V. Vermeulen, Sandra Caeiro, and Roberta Salomone. 2022. "What Is the Relation between Circular Economy and Sustainability? Answers from Frontrunner Companies Engaged with Circular Economy Practices." *Circular Economy and Sustainability* 2(2): 731–58. doi:10.1007/s43615-021-00064-7.
- Walzberg, Julien, Geoffrey Lonca, Rebecca J. Hanes, Annika L. Eberle, Alberta Carpenter, and Garvin A. Heath. 2021. "Do We Need a New Sustainability Assessment Method for the Circular Economy? A Critical Literature Review." *Frontiers in Sustainability* 1: 12. doi:10.3389/frsus.2020.620047.
- Williams, Michael, and Tami Moser. 2019. "The Art of Coding and Thematic Exploration in Qualitative Research: International Management Review." *International Management Review* 15(1): 45–55. <http://www.imrjournal.org/uploads/1/4/2/8/14286482/imr-v15n1art4.pdf>.

- Yang, Mingyu, Lin Chen, Jiangjiang Wang, Goodluck Msigwa, Ahmed I. Osman, Samer Fawzy, David W. Rooney, and Pow-Seng Yap. 2023. "Circular Economy Strategies for Combating Climate Change and Other Environmental Issues." *Environmental Chemistry Letters* 21(1): 55–80. doi:10.1007/s10311-022-01499-6.
- Yin, Robert K. 2018. *Case Study Research and Applications*. Sixth edit. Los Angeles: SAGE Publications Ltd.
- Yosep, Unang Mulkhan, Udin Hasanudin, and Dewi Agustina Iryani. 2024. "Monetizing Social Life Cycle Assessment (SLCA): A Case Study In." *Applied Environment Research journal* 46(1).
- Zanghelini, Guilherme Marcelo, Edivan Cherubini, and Sebastião Roberto Soares. 2018. "How Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) Is Aiding Life Cycle Assessment (LCA) in Results Interpretation." *Journal of Cleaner Production* 172: 609–22. doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.230.
- Zerbino, Pierluigi. 2022. "How to Manage the Circular Economy Rebound Effect: A Proposal for Contingency-Based Guidelines." *Journal of Cleaner Production* 378: 134584. doi:10.1016/j.jclepro.2022.134584.
- Zhou, Zhaozhi, Yong Chi, Jun Dong, Yuanjun Tang, and Mingjiang Ni. 2019. "Model Development of Sustainability Assessment from a Life Cycle Perspective: A Case Study on Waste Management Systems in China." *Review. Journal of Cleaner Production*: 210. doi:10.1016/j.jclepro.2018.11.074.