

SKRIPSI

**ANALISIS PENINGKATAN NILAI KALOR SAMPAH
KAMPUS FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
HASANUDDIN DENGAN PENAMBAHAN ENZIM SELULASE
PADA PROSES *BIODRYING***

Disusun dan diajukan oleh :

**MASINDAR PRATIWI
D131 18 1308**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**ANALISIS PENINGKATAN NILAI KALOR SAMPAH
KAMPUS FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
HASANUDDIN DENGAN PENAMBAHAN ENZIM SELULASE
PADA PROSES *BIODRYING***

Disusun dan diajukan oleh

Masindar Pratiwi
D131181308

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 13 Juni 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Kartika Sari, S.T., M.T.
NIP 197312012000122001

Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T.
NIP 19721119200121001

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM.
NIP 197204242000122001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Masindar Pratiwi
NIM : D131181308
Program Studi : Teknik Lingkungan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Peningkatan Nilai Kalor Sampah Kampus Fakultas Teknik Universitas
Hasanuddin Dengan Penambahan Enzim Selulase Pada Proses *Biodrying*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 12 Juli 2023

Yang Menyatakan



Masindar Pratiwi

ABSTRAK

MASINDAR PRATIWI. *Analisis Peningkatan Nilai Kalor Sampah Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Dengan Penambahan Enzim Selulase Pada Proses Biodrying* (Dibimbing oleh Kartika Sari dan Irwan Ridwan Rahim)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peningkatan kalor dan penurunan kadar air sampah kampus fakultas teknik Universitas Hasanuddin dengan penambahan enzim selulase pada proses Biodrying. metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan 3 reaktor berbeda yang diketahui volumenya 50 cm x 42 cm x 30 cm pada reaktor 1(kontrol) tanpa enzim selulase, Reaktor 2 penambahan enzim selulase 0,55g dan Reaktor 3 penambahan enzim selulase 0,65 g. Sampah kampus yang digunakan adalah campuran limbah makanan, daun/ranting, kertas, kardus, dan agen penggembur (serbuk gergaji) dengan total berat 10 kg. Biodrying dilakukan dengan reaktor skala laboratorium selama 21 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan enzim selulase pada proses *biodrying* berpotensi untuk meningkatkan nilai kalor namun belum memenuhi baku mutu, Namun mampu mempercepat proses biodegradasi, reaktor 3 menghasilkan penurunan kadar air hingga 22% dibanding reaktor 1 sebesar 8%, selain itu Reaktor 3 mampu mempercepat fase termofilik hingga mencapai suhu 54,4°C. adanya penambahan enzim selulase menghasilkan Nilai FAS tertinggi pada reaktor 3 sebesar 95.41% dibanding dengan reaktor 2 sebesar 95.30% dan Reaktor 1 sebesar 94.50 %. Reaktor 3 memiliki korelasi positif yang paling kuat antara gula pereduksi dengan suhu

Kata Kunci : *Biodrying*, Enzim Selulase, sampah organik, Nilai kalor, kadar air, FAS, Suhu

ABSTRACT

MASINDAR PRATIWI. *Analysis of Increasing the Calorific Value of Campus Waste, Faculty of Engineering, Hasanuddin University with the Addition of Cellulase Enzymes in the Biodrying Process* (Dibimbing oleh Kartika Sari dan Irwan Ridwan Rahim)

This study aims to analyze the increase in heat and decrease in water content of campus waste, Faculty of Engineering, Hasanuddin University by adding cellulase enzymes to the Biodrying process. The research method used was an experiment with 3 different reactors with a known volume of 50 cm x 42 cm x 30 cm in reactor 1 (kontrol) without cellulase enzymes, Reaktor 2 added 0.55 g of cellulase enzymes and Reaktor 3 added 0.65 g of cellulase enzymes. The campus waste used is a mixture of food waste, leaves/branches, paper, cardboard, and bulking agents (sawdust) with a total weight of 10 kg. Biodrying was carried out in a laboratory scale reactor for 21 days. The results showed that the addition of cellulase enzymes to the process *biodrying* has the potential to increase the calorific value but does not meet quality standards, but is able to accelerate the biodegradation process, reaktor 3 produces a decrease in water content of up to 22% compared to reaktor 1 of 8%, besides that reaktor 3 is able to accelerate the thermophilic phase until it reaches a temperature of 54.4°C. the addition of cellulase enzymes produced the highest FAS value in reaktor 3 of 95.41% compared to reaktor 2 of 95.30% and reaktor 1 of 94.50%. Reaktor 3 has the strongest positive correlation between reducing sugar and temperature

Keywords :*Biodrying*, cellulase enzymes, organic waste, calorific value, moisture content, FAS, temperature

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sampah	7
2.2 Waste to Energy	8
2.2.1 Insinerasi	8
2.2.2 Gasifikasi	9
2.2.3 Pirolisis	10
2.2.4 Refuse Derived Fuel (RDF)/ Solid Refuse Fuel (SRF)	11
2.3 Metode Pengeringan.....	13
2.3.1 Pengeringan Biologi (<i>Biodrying</i>)	13
2.3.2 Biostabilisasi (<i>Biostabilization</i>)	13
2.3.3 Pengeringan Matahari (<i>Solar Drying</i>)	14
2.3.4 Pengeringan termal (<i>Thermal Drying</i>).....	14
2.4 <i>Biodrying</i>	15
2.4.1 Kadar Air.....	17
2.4.2 Pengadukan	17
2.4.3 Nilai Kalor.....	18

2.4.4	Suhu	20
2.4.5	Kebutuhan udara.....	21
2.4.6	Bahan baku.....	22
2.4.7	<i>Volatile Solid (VS)</i>	22
2.5	Enzim Selulase (Gula pereduksi).....	22
2.6	Agen penggembur	23
2.7	Faktor yang mempengaruhi Proses <i>Biodrying</i>	25
2.8	Penelitian Terdahulu.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		35
3.1	Rencana penelitian	35
3.2	Waktu dan Lokasi Penelitian	37
3.3	Bahaan dan Alat	38
3.3.1	Bahan	38
3.3.2	Alat	39
3.4	Populasi dan sampel	40
3.5	Tahapan pelaksanaan penelitian.....	41
3.5.1	Tahap peRencananaan	41
3.5.2	Tahap persiapan.....	41
3.5.3	Tahap eksperimen.....	41
3.5.4	Tahap analisis.....	42
3.6	Teknik pengumpulan data.....	44
3.7	Teknik analisis	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Proses persiapan	45
4.1.1	Pembuatan reaktor	45
4.1.2	Pengumpulan bahan baku	47
4.2	Pelaksanaan penelitian.....	49
4.2.1	Masa penelitian.....	49
4.2.2	Proses operasi	51
4.2.3	Hasil Pemantauan parameter selama proses <i>Biodrying</i>	52
4.2.4	Uji Korelasi	66
4.3	Akhir Proses.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		72
5.1	Kesimpulan	72
5.2	Saran	73
DAFTAR PUSTAKA		74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1: Reaktor Pirolisis	10
Gambar 2 : 8 point dalam menerapkan pellet SRF sebagai bahan pengganti substitusi batubara	12
Gambar 3 : Enzim selulase powder	22
Gambar 4. Proses perhitungan komposisi sampah	45
Gambar 5. Prose pembuatan reaktor.....	46
Gambar 6. Reaktor <i>biodrying</i>	47
Gambar 7. Detail rektor	39
Gambar 8. Proses pencacahan bahan baku.....	48
Gambar 9. Perbandingan ukuran sampah sebelum dan setelah di blender	49
Gambar 10. Sampel yang dimasukkan ke dalam laboratorium.....	51
Gambar 11. Grafik Perbandingan kadar air	53
Gambar 12. Hasil pembakaran sampel dengan bom kalorimeter.....	57
Gambar 13. Grafik hasil pengujian nilai kalor	57
Gambar 14. Perbandingan Nilai HHV dan LHV.....	59
Gambar 15. Grafik perbandingan suhu.....	61
Gambar 16. Grafik perbandingan konsentrasi gula pereduksi	63
Gambar 17. Air lindi yang dihasilkan selama proses <i>biodrying</i>	71

DAFTAR TABEL

Tabel 1: Kriteria RDF	16
Tabel 2 : Perbandingan nilai kalor komponen sampah.....	19
Tabel 3. Karakteristik agen penggembur	24
Tabel 4. Penelitian pendahuluan.....	26
Tabel 5. Variabel penelitian	36
Tabel 6. variasi komposisi bahan baku	38
Tabel 7. Komponen reaktor.....	40
Tabel 8. Parameter penelitian.....	42
Tabel 9. Hasil perhitungan komposisi sampah.....	45
Tabel 10. Komposisi bahan baku	48
Tabel 11. Hasil pengujian awal	50
Tabel 12. Kadar air	52
Tabel 13. Nilai kalor bom kalorimeter.....	56
Tabel 14. Nilai HHV dan LHV	59
Tabel 15. Perbandingan suhu	60
Tabel 16. Rata suhu dalam reaktor	60
Tabel 17. Gabungan gula pereduksi reaktor 1,2,dan 3	62
Tabel 18. Nilai FAS Pra- proses <i>Biodrying</i>	64
Tabel 19. Nilai FAS Pasca- proses <i>Biodrying</i>	65
Tabel 20. Rentang koefisien korelasi.....	66
Tabel 21. Hasil uji korelasi	66
Tabel 22. Perbandingan kondisi bahan baku awal dan akhir proses <i>Biodrying</i>	69

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
RDF	<i>Refuse Derived Fuel</i>
SRF	<i>Solid Recovered Fuel</i>
TPA	Tempat Pemrosesan Akhir
MSW	<i>Municipal Solid Waste</i>
GRK	Gas Rumah Kaca
MBT	<i>Mechanical-Biological treatment</i>
LHV	<i>High Heating Value</i>
HHV	<i>Low Heating Value</i>
VS	<i>Volatile Solid</i>
FAS	<i>Free Air Space</i>
MC	Kadar Air
WtE	<i>Waste to Energy</i>
DNS	<i>Dinitrosalicylic Acid</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Material</i>
SNI	Standar Nasional Indonesia
BA	<i>Bulking Agent</i> /Agen penggembur
PSEL	Pengolahan Sampah menjadi Energi Listrik

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Metode pengujian Sampel.....	80
Lampiran 2. Dokumentasi kegiatan.....	84
Lampiran 3. Uji Korelasi.....	87
Lampiran 4. Hasil Pengujian Laboratorium.....	90

KATA PENGANTAR

Tiada kata yang paling indah selain puji dan rasa syukur kepada Allah Azza Wa Jalla , yang telah menentukan segala sesuatu berada di tangan-Nya, sehingga tidak ada setetes embun pun dan segelintir jiwa manusia yang lepas dari ketentuan dan ketetapan-Nya. Alhamdulillah atas hidayah dan inayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul:

“Analisis Peningkatan Nilai Kalor Sampah Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Dengan Penambahan Enzim Selulase Pada Proses *Biodrying*”. yang merupakan syarat dalam rangka menyelesaikan studi untuk menempuh gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, hal itu disadari karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Besar harapan penulis, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pihak lain pada umumnya. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat pelajaran, dukungan motivasi, bantuan berupa bimbingan yang sangat berharga dari berbagai pihak mulai dari pelaksanaan hingga penyusunan tugas Akhir ini

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua ku Arwi Sanusi dan Almarhumah Hj.St Aisah yang senantiasa sabar dan memberikan dukungan baik secara mental maupun material. Dan juga Hj. Rahmanu dan Almarhum H. Syamsuddin yang selalu melengkapi, mendukung, mendidik dan membesarkan penulis dengan cinta. Dan juga saudara ku Dawang dan Gazali yang selalu mengawasi dan mendukung setiap keputusan penulis. Pada Kesempatan ini pula, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Diri Sendiri yang senantiasa kuat untuk bekerja sama melalui setiap fase kehidupan, mari berdamai dan saling menguatkan kembali
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M. Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin

3. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. dan Bapak Prof. Baharuddin Hamzah, ST., MT., M. Arch selaku Dekan dan Wakil Dekan 1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
5. Ibu Dr. Eng Kartika Sari, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis.
6. Bapak Dr. Eng Irwan Ridwan Rahim., S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktu dan membimbing penulis selama penyelesaian tugas akhir.
7. Seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmu dan masukan terhadap tugas akhir ini.
8. Bapak Syarif selaku laboran Laboratorium Kualitas Air yang telah membantu penulis selama penelitian yang dilakukan di laboratorium.
9. Seluruh staff dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, terkhusus Ibu Sumi, kak Tami dan Kak Olan yang telah sabar dalam mengarahkan dan membantu penulis dalam proses administrasi
10. Nenek tercinta yang tidak dapat menemani penulis hingga garis akhir pendidikan
11. Syamsuddin family dan Sanusi Family atas semua bentuk dukungan kepada penulis
12. Miya, Pia, Imma, Onty putri yang selalu mewarnai kehidupan penulis dari dulu sampai sekarang
13. Untuk Keponakanku tersayang Kesya, Ayyaz, Rahmat, Fadil, Fatih yang selalu menjadi hiburan serta melatih kesabaran penulis
14. Nunu, Hasmia, Titin telah menjadi partner dari masa-masa putih abu abu yang selalu sabar dengan kekurangan penulis
15. Dian, Mentari, Isti yang selalu menjadi tempat pulang dengan segala drama kehidupan.
16. Alpi, Linda yang senantiasa mendukung dan menemani penulis dari awal perkuliahan hingga pembuatan tugas akhir ini

17. Resky Amalia yang tidak pernah menolak setiap ajakan penulis dan menemani dari SD
18. Sarjana Uno (Tada, Firman, Aiman, Fatur, Irham, Eva, Alpi, Aul, Linda, Era, Aol, Elsa, Nopal, Nilam, Nadia, Arfian) untuk semua memori dan keseruannya selama masa perkuliahan serta selalu membantu penulis dalam penelitian
19. Dessy, Risda, Seluruh Staff PAL dan Orang- orang berjasa di momen Magang ku terima kasih atas banyak pelajaran hidupnya yang sangat mengesankan
20. Seluruh teman KKN Pinrang 2 terkhusus (Ummu, Kiki, Wulan, Sri, Syahrin, Tami) yang senantiasa memberikan warna semasa KKN.
21. Seluruh teman teman Environment 2018 yang telah kebersamai semasa kuliah
22. Kelas lingkungan B yang sangat kompak dan seru yang telah menghiasi masa masa perkuliahanku
23. Teman teman Lab Riset Persampahan yang selalu mendukung dan menemani penulis di akhir perkuliahan
24. Seluruh Tim CCBO yang banyak membimbing serta memberikan pengalaman berharga untuk jenjang karir penulis
25. Meli, Zima, Wiko, Utti, Kiki, Yesi, TB dan seluruh teman teman Insurgent yang sangat memberikan kesan menarik di masa SMAku
26. Seluruh orang baik yang berada di sekelilingku yang tidak bisa saya sebutkan disini terima kasih atas kesan baiknya selama ini
27. Untuk kamu sendiri yang sedang membaca ini terima kasih banyak

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini jauh dari sempurna, semoga Allah Azza wa Jalla memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semua pihak yang telah turut membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis berharap atas saran dan kritik yang bersifat membangun dari pembaca. Akhir kata, penulis mengharapkan semoga tujuan dari pembuatan tugas Akhir ini dapat tercapai sesuai dengan yang diharapkan

Makassar, Mei 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia terus mengalami peningkatan jumlah penduduk, pada pertengahan tahun 2021 jumlah yang tercatat adalah 272,68 juta jiwa, dan pertengahan 2022 jumlah meningkat secara signifikan hingga mencapai 275,77 Juta jiwa (BPS, 2022) peningkatan jumlah penduduk memicu tingginya produksi sampah yang dihasilkan oleh sektor Industri, pertanian, rumah tangga, dan lainnya. Berdasarkan data sistem informasi pengolahan sampah Nasional, Indonesia diperkirakan telah menghasilkan sekitar 20 juta ton sampah pada tahun 2022. Keterbatasan lahan TPA sebagai tempat Pemrosesan akhir sampah mendesak pemerintah untuk mencari alternatif untuk penanganan sampah akibat sulitnya lahan TPA. Tingkat kesadaran masyarakat menjadi salah satu faktor penghambat proses pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Pengelolaan sampah yang tidak sesuai dapat memberikan dampak negatif seperti penurunan kualitas lingkungan, estetika, Kesehatan masyarakat dan permasalahan lainnya (Chaerul, 2020, p. 69).

Salah satu bentuk pengolahan sampah berkelanjutan adalah dengan menerapkan management sampah dari sumbernya, sehingga lebih efektif untuk mengurangi sampah yang akan berakhir di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Dalam Hal ini salah satu sumber penghasil sampah adalah kegiatan di Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pada tahun 2018 volume rata-rata sampah pada kampus fakultas Teknik Universitas Hasanuddin mencapai 1.206,5 m³/hari (Syakinah, T. Lando, & Sari, 2018). Sebagai salah satu pusat perkumpulan banyak orang, perguruan tinggi juga akan selalu mengalami perkembangan secara kuantitas baik mahasiswa, karyawan maupun Infrastruktur, sesuai dengan Permen PU No. 21/PRT/M/2006 Universitas wajib memiliki tempat pengolahan sampah secara mandiri untuk membantu mengurangi sampah berakhir di TPA,

Bertepatan dengan itu pengupayaan energi terbarukan juga terus dikembangkan akibat kebutuhan terhadap energi semakin meningkat. Data permintaan energi batubara pada tahun 2020 yaitu 13.3% dan terus meningkat menjadi 76,1% di tahun 2050, sedangkan Indonesia dengan cadangan terbesar ke 5 di dunia (39.9 miliar ton)

juga mengupayakan mengamankan pasokan batubara untuk kebutuhan domestic (Secretariat General national Energy Council, 2019). Indonesia mendukung percepatan transisi energi yang bersifat berkelanjutan dengan adanya (Peraturan Presiden No 109 Tahun, 2020) tentang proyek strategis nasional salah satu program strategis yang dimuat pada peraturan ini adalah Pembangunan instalasi Pengolah Sampah menjadi Energi Listrik (PSEL) atau secara internasional dikenal dengan *Waste to Energy* (WTE), WTE mengoptimalkan sampah yang telah berakhir di TPA untuk diolah menjadi alternatif bahan bakar pengganti batubara untuk memenuhi ketahanan energy atau dapat juga sebagai bahan bakar pada industri semen. WTE memanfaatkan sampah sebagai bahan bakar utama.

Umumnya beberapa negara berkembang termasuk Indonesia masih memiliki pengolahan sampah yang kurang maksimal sehingga menjadi penghambat dalam penerapan suatu teknologi, ada banyak strategi pengelolaan sampah yang perlu dimaksimalkan untuk mendukung sistem pengelolaan yang berkelanjutan seperti mendorong daur ulang material, pemulihan energi, dan stabilisasi sampah sebelum penimbunan. Sampah yang ditimbun dari aktivitas manusia (rumah tangga, perkantoran, fasilitas umum) sekitar 75% memiliki sifat Biodegradabel dan tidak dapat langsung dibakar (Yansen, 2021). Kadar air yang tinggi dari limbah padat perkotaan menjadi penghambat pemulihan energi dan pemanfaatan yang bermanfaat (Yansen, 2021) untuk mengatasi masalah tersebut diperkenalkan lah proses *Biodrying* dalam teknologi persampahan untuk menghilangkan kadar air melalui aktivitas mikroba.

Biodrying (Biological Drying) merupakan teknologi yang dinilai efisien untuk masalah sampah TPA, *Biodrying* adalah biokonversi dari Mechanical Biological Treatment (MBT) *Biodrying* berfungsi untuk mengurangi kadar air dan juga meningkatkan nilai kalor melalui Reaktor dengan durasi yang singkat. *Biodrying* merupakan alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi ataupun dapat diterapkan untuk pra- pengolahan dan penimbunan karena efektif dalam pengurangan volume dan lindi (Trim, izzo, L.Rose, & all, 2021) Produk dari proses *Biodrying* berupa Refuse Derived Fuel (RDF) atau Solid Recovered Fuel (SRF) yang berpotensi menghasilkan termal akibat pengurangan kadar air dan peningkatan nilai kalor.

Namun salah satu kendala yang sering terjadi dari Proses *Biodrying* adalah penurunan kadar air yang kurang maksimal sehingga suhu yang dihasilkan sulit mencapai fase termofilik. Menurut (Jayasinghe, Hettiaratchi, Mehrotra, & Steele, 2013) Untuk meningkatkan degradasi dari fraksi limbah residu atau material yang sulit terdegradasi maka diperlukan penambahan enzim, Agen penggembur juga menjadi alternatif yang seringkali digunakan sebagai pengatur kadar air, (Yuana, et al., 2019) penambahan Agen Penggembur dapat mengatur kadar air menjadi 62% selama proses *Biodrying*. Pada penelitian ini juga akan menganalisis perubahan nilai kalor sampah setelah proses *biodrying* dengan penambahan enzim selulase,

Dari uraian diatas maka dipandang perlu untuk mengangkat permasalahan sebagai studi kasus dengan judul “Analisis peningkatan nilai kalor sampah kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan penambahan enzim selulase pada proses *Biodrying*”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Pengurangan Kadar air dari Proses *Biodrying*
2. Bagaimana Peningkatan suhu pada sampah setelah proses *Biodrying*
3. Bagaimana Peningkatan nilai kalor pada sampah setelah proses *Biodrying*
4. Bagaimana pengaruh penambahan enzim selulase terhadap karakteristik fisik- kimia sampah dalam proses *Biodrying* sampah

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis Pengurangan Kadar air dari Proses *Biodrying*
2. Menganalisis Peningkatan suhu, pada sampah setelah proses *Biodrying*
3. Menganalisis Peningkatan nilai kalor pada sampah setelah proses *Biodrying*
4. Menganalisis pengaruh penambahan enzim selulase terhadap karakteristik fisik- kimia sampah dalam proses *Biodrying* sampah

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat Penelitian adalah sebagai berikut:

Dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat untuk berbagai pihak. Berikut beberapa manfaat yang penulis harapkan didapatkan dari hasil penelitian ini, yaitu:

1. Bagi Peneliti:
 - a. Meningkatkan wawasan peneliti mengenai pengelolaan sampah sebagai sumber energi terbarukan
 - b. Meningkatkan pengetahuan terkait perubahan karakteristik dalam sampah selama proses *Biodrying*
 - c. Meningkatkan wawasan terkait prinsip kerja dari *Biodrying*
2. Bagi Masyarakat :
 - a. Memberikan wawasan mengenai Pengelolaan sampah organik sebagai alternatif sumber energi terbarukan
 - b. Memberikan wawasan mengenai cara kerja *Biodrying* sebagai salah satu metode pengeringan sampah berkelanjutan
3. Bagi Ilmu pengetahuan :
 - a. Memberikan referensi baru mengenai pengelolaan sampah dengan metode *Biodrying*
 - b. Memberikan sumbangsi terkait pengetahuan dalam bidang ilmu pengetahuan
 - c. Memberikan referensi baru untuk mengefisiensikan proses *Biodrying*

1.5 Ruang Lingkup

Adapun Batasan penulisan yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilaksanakan menggunakan reaktor *Biodrying* skala Laboratorium
2. Reaktor yang digunakan sebanyak 3 buah dengan reaktor 1 sebagai reaktor kontrol dan reaktor 2 dan 3 ditambahkan enzim selulase dengan dosis 0.55g dan 0.65 g
3. Enzim selulase yang digunakan adalah E10

4. Agen Penggembur yang ditambahkan adalah serbuk gergaji
5. Sampel pada reaktor *Biodrying* berupa sampah kertas, makanan, dan dedaunan dari Unit pengolahan sampah fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
6. Parameter yang diujikan adalah suhu, nilai FAS, nilai kalor, Kadar Air dan Efektifitas enzim selulase.
7. Lamanya waktu pengujian sampel yaitu 21 hari
8. Data penelitian yang diambil bersumber dari hasil pengamatan dengan pengujian yang dilakukan di Laboratorium Air Departemen Teknik lingkungan dan Laboratorium Motor Bakar Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang terdapat pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa bagian yang dan akan memuat penjelasan pada setiap bagiannya, dan dapat dilihat sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri atas latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, ruang lingkup, dan sistematika penulisan yang akan menjadi dasar pada Bab selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan dasar – dasar teori yang menjadi acuan dan pendukung penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang berbagai metode yang diterapkan dalam penelitian ini berupa jenis penelitian, waktu penelitian, lokasi penelitian dan tahapan-tahapan penelitian serta tata laksananya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas mengenai hasil yang didapat dari penelitian yang telah dilakukan melalui data pengolahan, analisis mengenai data pengolahan yang didapat, serta hubungan antar parameter yang telah diujikan berikut implikasinya berdasarkan tujuan penelitian.

BAB V PENUTUP

Bab ini memuat kesimpulan singkat mengenai hasil analisa yang diperoleh saat penelitian dan disertai dengan saran - saran yang diusulkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sampah

Sampah adalah barang atau bahan buangan yang bersumber dari aktivitas manusia yang sudah tidak digunakan lagi. Sampah berasal dari campuran berbagai bahan baik yang tidak berbahaya maupun bahan-bahan berbahaya (Santosa & Soemarno, 2014). Masyarakat pada umumnya memandang sampah sebagai sisa yang tidak berguna, bukan sebagai sumber daya yang perlu dimanfaatkan. Masyarakat dalam mengelola sampah masih bertumpu pada pendekatan akhir (*end-of-pipe*), yaitu sampah dikumpulkan, diangkut, dan dibuang ke tempat pemrosesan akhir sampah. Padahal, timbunan sampah dengan volume yang besar di lokasi tempat pemrosesan akhir sampah berpotensi melepas gas metan (CH_4) yang dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca dan memberikan kontribusi terhadap pemanasan global (UU No.18 tahun 2008).

Sampah dapat dibagi dari beberapa kategori seperti berdasarkan jenis dan sumber, berdasarkan jenisnya sampah dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu organik dan anorganik,

1. Sampah Organik

Sampah organik sering juga disebut dengan sampah basah yang berasal dari jasad hidup sehingga mudah mengalami pembusukan dan dapat hancur secara alami. Misalnya ikan, sayur, nasi, dan potongan kebun Manusia tidak dapat terlepas dari produksi sampah organik . Pembusukan sampah organik terjadi karena proses biokimia itu sendiri oleh mikroorganisme dan dukungan oleh faktor lain. Pengelolaan sampah organik dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti pengomposan, budidaya maggot, dan lainnya.

2. Sampah Anorganik

Sampah Anorganik atau sampah yang tidak busuk adalah sampah yang tersusun dari senyawa anorganik, berasal dari sumber daya alam tidak terbarukan seperti mineral dan minyak bumi, atau yang berasal dari proses industri. Contoh adalah botol gelas, kresek, plastik,caleng, dan logam. Sebagian lain dapat diuraikan

dalam waktu yang sangat lama. Pengelolaan sampah anorganik sangat erat hubungannya dengan penghematan sumber daya alam yang digunakan untuk membuat bahan-bahan tersebut dan pengurangan polusi akibat proses produksinya.

2.2 Waste to Energy

Pengelolaan sampah menjadi suatu keharusan untuk konservasi sumberdaya alam serta untuk melindungi Lingkungan untuk mencapai pengelolaan yang berkelanjutan . menurut (Tunl & Juchelkova, 2019) dalam penelitiannya menyebutkan pengelolaan sampah perkotaan dapat dimanfaatkan menjadi sumber daya limbah yang efektif memenuhi kebutuhan manusia dan meminimalkan penggunaan lahan pembuangan limbah dengan keberlanjutan sistem alam dan lingkungan. *waste to energy* merupakan salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang dapat memberikan manfaat bagi lingkungan dan juga untuk memulihkan ekonomi di dunia. Selain energi yang dapat didapatkan dari pembakaran sampah teknologi ini mampu mengurangi 80-85% berat dan 95-96% volume sampah.

Menurut Perzini dalam (Tunl & Juchelkova, 2019) *Biodrying* merupakan pengolahan yang tepat untuk limbah padat organik atau anorganik karena dapat memberikan nilai tambah melalui pemulihan sumber daya serta mendukung pemulihan ekonomi dan lingkungan. Optimalisasi kualitas sampah perkotaan dengan pengeringan memberikan banyak manfaat seperti, pemulihan kembali lebih mudah, penyimpanan yang lebih mudah untuk masa depan, peningkatan nilai kalor dari limbah untuk efisiensi proses pengolahan limbah termal, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, pengurangan bau limbah dengan memperlambat kerusakan limbah, mitigasi pemanasan global, pengurangan dampak lingkungan dari tempat pembuangan sampah akhir.

Dalam buku panduan yang diterbitkan oleh (Kementrian ESDM RI, 2015) beberapa jenis teknologi WTE yang tepat untuk pengolahan limbah padat di Indonesia, misalnya :

2.2.1 Insinerasi

Insenasi atau bisa dikenal dengan pembakaran massal adalah istilah umum yang diberikan untuk konversi panas langsung MSW melalui pembakaran di lingkungan,

biasanya suhu pembakaran melebihi 850°C. Insinerasi banyak beroperasi di seluruh dunia dan Sebagian besar menggunakan teknologi *moving grate*, dan *fluidized bed*, kedua teknologi tersebut limbah padat diubah menjadi gas panas, yang digunakan untuk memanaskan air dalam ketel untuk menghasilkan uap. Steam dapat didistribusikan untuk dijual (biasanya ke industri/manufaktur kimia) atau dapat dikonversi menjadi listrik melalui turbin yang digerakkan oleh uap.

Penggunaan insinerasi umumnya cocok diadopsi di Indonesia untuk pembakaran limbah padat kota. Akan tetapi Insinerasi menghasilkan residu limbah berupa bottom ash, boiler ash dan abu terbang, dan residu scrubber dari operasi pembersihan gas buang. Teknologi ini cukup dasar, sementara kompleksitas utama datang dalam pengoptimalan terkait panas dan energi, pemulihan dan minimalisasi emisi lingkungan dari insinerasi. Kadar air sampah di Indonesia yang tinggi akan menurunkan efisiensi panas (dibandingkan dengan apa yang dapat dicapai di Eropa). Operasi incinerator harus dipertahankan dalam suhu kritis. Senyawa organik volatile beracun (VOC) berbahaya bagi Kesehatan manusia dan lingkungan, untuk mencapai dan mempertahankan suhu operasi minimum yang aman,, dimana volume aliran limbah mungkin rendah dan/atau memiliki kadar air yang tinggi, sehingga penambahan bahan bakar(biasanya minyak) mungkin diperlukan.

Pengolahan limbah menjadi usaha yang sangat mahal, maka dari itu perlu hati-hati dan pertimbangan selama perencanaan proyek. Bahkan gas buang incinerator di pabrik yang dijalankan dengan benar memerlukan perlakuan yang hati-hati dengan pendinginan sistem gas dan scrubber untuk menghilangkan dioksin karsinogenik yang berbahaya. Pengolahan gas buang mahal untuk dijalankan dan membutuhkan operasi dan pemeliharaan yang hati-hati. Keduanya harus dipertimbangkan Ketika merencanakan sebuah proyek di Indonesia.

2.2.2 Gasifikasi

WtE berbasis Gasifikasi biasanya membutuhkan beberapa bentuk pra- perlakuan untuk menghasilkan bahan baku yang konsisten (bentuk dan ukuran) yang biasanya melibatkan pemisahan kaca, logam, dan puing-puing. Bahan baku kemudian

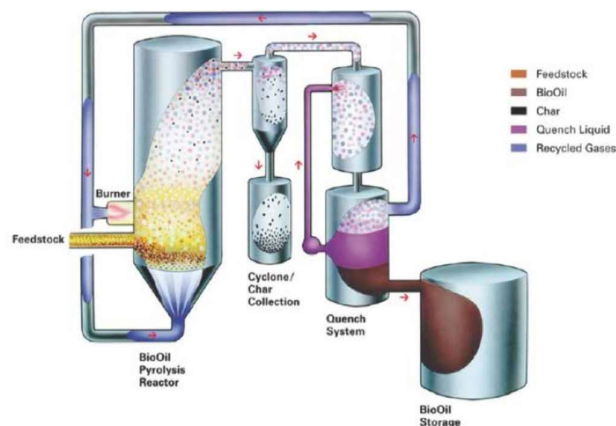
dikonversi proses oksidasi parsial (yaitu dengan adanya oksigen/udara terbatas), dengan konversi suhu 900-1100°C dengan penambahan udara.

Proses konversi relatif efisien , dengan adanya 80% energi kimia dalam limbah (karbon dan hidrogen) diubah menjadi energi kimia dan gas. Gas ini dikenal dengan syngas (gas sintesis) dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti menyediakan energi untuk ketel uap atau mesin gas dan konversi berikutnya menjadi panas dan/atau energi.

2.2.3 Pirolisis

Dalam buku (Kementrian ESDM RI, 2015) dijelaskan Pirolisis melibatkan degradasi termal MSW di Lingkungan bebas oksigen. Seperti gasifikasi, pabrik pirolisis MSW membutuhkan beberapa bentuk pra-perawatan untuk diproduksi bahan baku yang konsisten (pemisahan kaca, logam, puing-puing, dll). Pirolisis membutuhkan sumber panas eksternal dan agar temperatur pembakaran dijaga pada 400-850°C, pirolisis menghasilkan syngas, minyak pirolisis, residu padat (char) dan dasar/residu logam.

Semua produk akan diproduksi sesuai dengan suhu operasional, jika pirolisis dilakukan diatas suhu 800°C produk utamanya adalah syngas, sedangkan pada suhu yang lebih rendah dominan akan menghasilkan minyak pirolisis



Gambar 1. Reaktor Pirolisis

Sumber : Kementerian ESDM RI, 2015

2.2.4 Refuse Derived Fuel (RDF)/ Solid Refuse Fuel (SRF)

Refuse- Derived Fuel (RDF) dan Solid Refuse Fuel (SRF) adalah bahan bakar atau “bahan baku” yang dibuat sebagai hasil pengolahan dan/atau pengolahan MSW untuk menghasilkan bahan bakar/bahan baku yang memiliki kualitas yang konsisten. Biasanya, limbah disortir untuk focus pada bagian limbah MSW (plastik, biodegradable) yang mudah terbakar (nilai kalor tinggi), yang kemudian dikeringkan dan di cacah untuk meningkatkan nilai kalor.

RDF dan SRF merupakan metode penyiapan limbah, yang bertujuan untuk mengoptimalkan pemulihan WtE. Pemrosesan MSW untuk menghasilkan RDF dan SRF memberikan kualitas produk yang konsisten dan dapat memastikan ke pabrik pembakaran terkait kualitas nilai kalor. Pasar RDF di Indonesia biasanya terfokus pada industri semen dan holcim sebagai salah satu konsumen potensial, yang menunjukkan minat pada RDF. (Kementrian ESDM RI, 2015)

Dalam buku (Gendebien, et al., 2003) RDF dapat diproduksi dari MSW melalui sejumlah proses yang berbeda yang secara umum terdiri dari :

- a. Pemisahan pada sumbernya;
- b. Sortasi atau pemisahan mekanis;
- c. Pengurangan ukuran (pencabikan, pemotongan dan penggilingan);
- d. Pemisahan dan penyaringan;
- e. Pencampuran;
- f. Pengeringan dan pembuatan pelet;
- g. Kemasan; Dan
- h. Penyimpanan.

Biasanya, bahan limbah disaring untuk menghilangkan fraksi yang dapat didaur ulang (misalnya logam). fraksi lembam (seperti kaca) dan memisahkan fraksi halus basah yang dapat membusuk (misalnya makanan dan limbah kebun) yang mengandung kadar air tinggi dan bahan abu tinggi sebelum dihaluskan.

Bahan organik basah selanjutnya dapat mengalami pengolahan lebih lanjut seperti pengomposan atau pencernaan anaerobik, dan dapat digunakan sebagai kondisioner tanah untuk pekerjaan restorasi TPA. Dalam beberapa kasus, fraksi

yang dapat membusuk disimpan di tempat untuk mengaktifkan massa bahan yang akan dikeringkan melalui perlakuan Biological (proses 'stabilisasi kering').

Fraksi kasar ditolak atau dikembalikan ke penghancur. Fraksi sedang, terdiri dari kertas, karton, kayu, plastik dan tekstil dapat dibakar langsung sebagai bahan bakar kasar (cRDF) atau dikeringkan dan dibuat menjadi pelet menjadi RDF padat (d-RDF). Keputusan untuk melakukan atau tidak pelet biasanya didasarkan pada lokasi fasilitas manufaktur RDF relatif terhadap fasilitas pembakaran.

Ada dua teknologi yang telah dikembangkan dan dihasilkan dari MSW a fraksi kalor tinggi yang dapat digunakan sebagai RDF;

- Instalasi Pengolahan Mekanis Biological; Dan
- Proses Stabilisasi Kering.

Dalam pabrik pengolahan Mechanical Biological Treatment (MBT), logam dan lempang dipisahkan dan fraksi organik disaring untuk stabilisasi lebih lanjut menggunakan proses pengomposan, baik dengan atau tanpa fase pencernaan. Ini juga menghasilkan fraksi sisa yang memiliki nilai kalor tinggi karena sebagian besar terdiri dari residu kering kertas, plastik dan tekstil.

RDF juga dapat diproduksi melalui proses 'stabilisasi kering', di mana sisa limbah (minus inert dan logam) dikeringkan secara efektif (dan distabilkan) melalui proses pengomposan, meninggalkan massa sisa dengan nilai kalor yang lebih tinggi dan cocok untuk pembakaran.

Dalam buku (Nugroho & Nastiti, 2020) terdapat 8 point yang perlu diperhatikan dalam menerapkan metode co-firing dengan pellet SRF sebagai bahan pengganti substitusi batubara agar dalam peengoperasiannya tidak mempengaruhi kinerja boiler secara keseluruhan, dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 : 8 point dalam menerapkan pellet SRF sebagai bahan pengganti substitusi batubara

2.3 Metode Pengeringan

Pengeringan telah digunakan untuk aplikasi permasalahan Teknik lingkungan seperti, Pengeringan RDF, dewatering lumpur, dan pengeringan sampah MSW untuk bahan bakar untuk mengurangi sampah di TPA. Menurut (Tunl & Juchelkova, 2019) Metode pengeringan paling umum digunakan untuk optimalisasi kualitas MSW adalah :

2.3.1 Pengeringan Biologi (*Biodrying*)

Biodrying adalah pengolahan yang menggunakan aerasi alami dan paksa bersama dengan panas yang dihasilkan oleh biokonversi aerobik alami dari beberapa bahan organik untuk mengeringkan limbah *Biodrying* telah banyak dilirik oleh negara-negara eropa dan juga asia. Teknologi *Biodrying* dapat menghasilkan bahan biokering berkualitas tinggi dalam waktu tinggal serendah mungkin, kisaran suhu untuk pertumbuhan mikroorganisme yang tepat selama proses *Biodrying* adalah antara 40°C dan 70°C yang tepat di dalam reaktor

2.3.2 Biostabilisasi (*Biostabilization*)

Biostabilisasi melibatkan peningkatan degradasi Biological bahan organik, yang dapat mengurangi berat dan volume MSW, dan mengurangi pencemaran lingkungan, seperti lindi dan gas pengisi lahan . Metabolisme mikroba dari biostabilisasi mirip dengan *Biodrying*. Perbedaan utama menyangkut persiapan bahan yang akan diproses, kriteria manajemen, durasi proses, faktor emisi dan keseimbangan energi. Waktu yang dibutuhkan untuk proses biostabilisasi yang efektif jauh lebih lama dibandingkan dengan *Biodrying*. Melalui teknologi inovatif untuk pengolahan limbah, bahan *Biodrying* dapat digunakan untuk tujuan pertanian dan disimpan dengan aman di tempat pembuangan sampah sementara bahan bio-kering dapat digunakan sebagai sumber energi seperti bahan bakar . Meskipun membutuhkan biaya investasi konstruksi, operasi dan manajemen (O&M) tambahan, bio-stabilisasi dapat menawarkan banyak keuntungan ekonomi yang dihasilkan dari kombinasi biostabilisasi dan tempat pembuangan akhir berikutnya, seperti pemanfaatan ruang lahan yang lebih efisien, produksi lindi dan pengurangan emisi GRK , dan penghematan biaya pasca-penutupan

2.3.3 Pengeringan Matahari (*Solar Drying*)

Panas dari matahari ditambah dengan angin telah digunakan untuk mengeringkan tanaman pangan untuk pengawetan selama beberapa ribu tahun. Selama dekade terakhir, beberapa negara berkembang telah mulai mengubah kebijakan energi mereka ke arah pengurangan lebih lanjut impor minyak bumi dan mengubah penggunaan energinya ke arah pemanfaatan energi terbarukan. Dengan demikian, ketersediaan energi surya dan alasan pemasaran dan ekonomi operasional menawarkan peluang yang baik untuk menggunakan pengeringan surya di seluruh dunia.

Pengeringan tenaga surya dapat bermanfaat bagi lingkungan karena pemanfaatannya sumber energi terbarukan dan pembebasan emisi GRK meskipun biaya investasi modal tinggi. Dalam proses pengeringan matahari, pengeringan berlangsung di pengering surya modular dengan konveksi paksa, yang desainnya mendukung pemanasan dan sirkulasi udara. Dalam pengeringan matahari produk pertanian, kelembaban dihilangkan oleh udara panas matahari, memiliki kisaran suhu 50-60 ° C. Pengering surya telah diadopsi saat ini dalam berbagai jenis, ukuran dan desain. (Toshniwal & Karale, 2013) menyatakan bahwa pengering surya secara umum dapat diklasifikasikan, berdasarkan mode pergerakan udara, paparan isolasi, arah aliran udara, pengaturan pengering, kontribusi matahari dan jenis bahan yang akan dikeringkan.

2.3.4 Pengeringan termal (*Thermal Drying*)

Opsi dewatering disebut pengeringan termal. Ketika sumber energi tambahan eksternal memungkinkan pemanasan limbah. Selama pengeringan termal, sejumlah besar energi panas perlu di transfer kepadatan basah untuk menguapkan air dan untuk memanaskan padatan dan air yang tersisa.

Bukhmirov dalam (Tun1 & Juchelkova, 2019) melakukan penelitian tentang proses pengeringan termal konvektif pada laju aliran udara panas 0,1 meter per detik dalam skala eksperimental. Bukhmirov dkk. melaporkan bahwa sekitar 100% pengurangan kelembaban dalam MSW dicapai pada suhu pengeringan 107-167°C selama 160-260 menit. peningkatan efisiensi termal gasifier dengan sistem pengeringan bahan bakar baru dengan limbah panas dari mesin gas internal. Sistem

pengeringan bahan bakar dirancang untuk meningkatkan efisiensi termal gasifier dengan mengurangi kadar air MSW dari 50% menjadi 20%.

2.4 *Biodrying*

Menurut Naryono, 2013 *Biodrying (Biological Drying)* merupakan salah satu Teknik pengeringan dengan perlakuan secara Biologi. *Biodrying* merupakan sistem *Mechanical-Biological treatment (MBT)*. Menurut Jewell dalam (Naryono & soemarno, 2013) *Biodrying* memiliki beberapa istilah antaranya (1) Bioreaktor yang digunakan untuk mengolah sampah, (2) gabungan proses fisik biokimia yang terjadi dalam reaktor (3) pengolahan MBT menggunakan reaktor *Biodrying*.

Produk yang dihasilkan dari proses *Biodrying* adalah *Solid Recovered Fuel (SRF)* dan juga *Refuse Derived Fuel (RDF)* Keuntungan proses produksi SRF menggunakan *Biodrying* adalah dapat menurunkan kadar air sampai $< 20\%$, hal ini didukung dengan penelitian dari (Velis, Longhurst, Drew, Smith, & Pollard, *Biodrying for mechanical–biological treatment of wastes: A review of process science and engineering*, 2009) yang mengatakan *Biodrying* berbeda dengan proses pengomposan, pada Pengomposan akan menghasilkan Kompos yang dapat langsung diaplikasikan ke tanaman. Sedangkan pada Reaktor *Biodrying* bertujuan untuk mengolah limbah pada waktu tinggal yang sesingkat mungkin untuk menghasilkan SRF kualitas tinggi. Metode ini dapat dipakai untuk pengelolaan sampah yang ramah lingkungan. Proses *Biodrying* berlangsung pada temperatur lingkungan seperti pada proses composting, dalam penelitian (Zaman, et al., 2018) juga dijelaskan RDF dapat digunakan sebagai pengganti batubara, kriteria suatu bahan dapat digunakan sebagai bahan bakar dapat dilihat dari sifat kimia (misalnya analisis unsur, analisis jejak, analisis abu), mekanik (misalnya massa jenis, ukuran partikel/distribusi ukuran partikel), kalori (misalnya LHV, suhu pembakaran adiabatik, konsumsi udara minimum) dan reaksi (Senyawa Organik Volatil, gas emisi). Misalnya perbandingan nilai LHV pada beberapa bahan bakar seperti Coke 29,5 MJ/kg, Wood chips 12,0 MJ/kg, RDF 11,7 MJ/kg.

Energi yang dibutuhkan untuk proses penguapan (panas laten penguapan atau entalpi penguapan) diperoleh dari proses biodegradasi aerobik. Hal ini berbeda dengan pengeringan konvensional yang menggunakan panas dari luar untuk

mengeringkan bahan. Proses dekomposisi bahan organik menggunakan mikroorganisme merupakan reaksi biokimia eksotermis yang dapat menaikkan temperatur bahan pada rentang 50-62°C untuk reaktor ukuran kecil dan dapat mencapai 70° C pada ukuran yang besar (Naryono & soemarno, 2013).

Prinsip Operasi *Biodrying* adalah menurunkan kadar air bahan dengan cara penguapan menggunakan panas eksotermis hasil dekomposisi sampah sehingga dihasilkan produk kering. Mekanisme utama yang terjadi pada proses *Biodrying* adalah penguapan secara konveksi menggunakan panas eksotermis hasil prose degradasi aerobic sampah yang dikombinasikan dengan menambahkan aliran udara untuk aerasi. Menurut (Naryono & soemarno, 2013).

Kandungan air pada bahan dapat berkurang dengan tahapan . 1) air menguap dipindahkan dari bahan ke udara luar melalui aerasi, 2) molekul air menguap dari permukaan sampah ke udara karena terjadi perubahan fase dari air ke uap, 3) Sebagian kecil air akan meresap kebagian bawah reaktor sebagai lindi. Naryono juga menjelaskan bahwa Emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran sampah tergantung bahan organik yang mengalami degradasi. Secara keseluruhan, emisi gas total hasil pembakaran dapat diminimalisasi dengan pengeringan *Biodrying*. Sampah yang telah dikeringkan dengan proses *Biodrying* lebih ramah lingkungan apabila dibakar dibandingkan sampah basah. Zhan dalam (Naryono & soemarno, 2013).

Tabel 1. Kriteria RDF

Parameter	Finlandia ^a	Italia	Inggris Raya	Indonesia ^c	Thailand
Nilai Kalor (MJ/kg)	13-16	15	18,7	12,5	T/A
Kelembaban (% basah)	25-36	Max 25	7-28 ^b	<20	< 30
Konten abu (% basah)	6-10	20	12	T/A	T/A
ukuran (mm)	T/A	T/A	N/A	≤ 50	< 30

Sumber : Nithikul dalam Yangsen, 2021

a : Dibatasi untuk sampah rumah tangga

b : 7 – 28 untuk RDF padat dan 28 untuk RDF kasar

c : draft pemanfaatan MSW menjadi bahan bakar alternatif, Kementerian Lingkungan hidup & Kehutanan

beberapa parameter yang perlu diperhatikan dikarenakan dapat mempengaruhi kinerja dari proses *Biodrying*, diantaranya:

2.4.1 Kadar Air

Kadar air sebagai salah satu parameter kunci yang berdampak baik pada kadar karbon biogenik dan efektif pada *heating value* dari sampah yang mudah terbakar (chaerul & Wardhani, 2020). hal ini juga sesuai dengan penelitian Manuel dalam (Kristanto & Hanany, 2017) yang mengatakan Biodegradasi bahan organik pada limbah padat dapat meningkatkan nilai kalor. Penentuan karakteristik proses biodegradasi limbah padat berperan penting dalam mengoptimalkan parameter proses *Biodrying* seperti waktu, ukuran reaktor, ukuran partikel padat, bulking agent, laju aliran udara dan kadar air. Kadar air merupakan salah satu parameter kritis yang terlibat di dalam teknologi *Biodrying* yang mempengaruhi reaksi biokimia kompleks yang terhubung dengan pertumbuhan bakteri dan biodegrasi material organik selama proses berlangsung (Cai et al., 2012). Yang et al. (2014) melaporkan bahwa kadar air sebesar 50-70% merupakan rentang kadar air awal optimal untuk proses *Biodrying* lumpur dalam laju aliran udara yang konstan.

2.4.2 Pengadukan

Pengadukan berfungsi untuk menghomogenkan material dan juga dan menghindari terjadinya fase anaerobic di beberapa titik material (Tchobanoglous, 1993) pada pengomposan pengadukan ditujukan untuk menambah atau mengurangi kelembaban hingga mencapai kelembaban yang optimum. Selain itu pengadukan juga bertujuan untuk meratakan distribusi nutrisi untuk mikroorganisme (Amanah, 2012).

Oksigen sangat dibutuhkan dalam proses pengomposan. Oksigen dapat dimasukkan dari proses pengadukan atau melalui suplai secara langsung melalui *diffuser*. Pemberian oksigen dilakukan untuk mencapai tujuan y aitu :

1. Penguraian bahan organik (*stoichiometric demands*)

Oksigen dibutuhkan bahan organik untuk proses dekomposisi. Penguraian bahan organik tersebut tergantung bahan jenis bahan organik dalam proses kompos. Kebutuhan oksigen tersebut dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan stoikiometri.

2. Pengurangan kadar air dalam kompos (*drying demands*)

Pengurangan kadar air dalam proses kompos sangat penting terutama pada jenis pengomposan dengan bahan kompos basah.

3. Pengurangan panas yang dihasilkan oleh proses degradasi bahan organik (*heat demans*)

Pengurangan panas pada proses pengomposan akibat proses degradasi sangat penting dalam mengatur temperatur kompoas. Jika temperatur terlalu tinggi, mikroorganisme mesofilik akan mati sehingga dapat mempengaruhi proses pengomposan. Oleh karenanya, suplai oksigen sangat penting dalam pengomposan.

2.4.3 Nilai Kalor

Analisa Kalor suatu bahan bakar dimaksudkan untuk memperoleh data tentang energi kalor yang dapat dibebaskan oleh suatu bahan bakar dengan terjadinya reaksi/ proses pembakaran. Nilai Kalor menunjukkan kalor yang berpindah bila hasil pembakaran sempurna.

Tabel 2 : Perbandingan nilai kalor komponen sampah

No	Sampel	Nilai Kalor (kcal/kg)					
		Bom Kalorimeter	LHV	Proximate Analysis		Dulong	
				1	2	3*	3**
	Kertas						
1	HVS	3024,24	2884,84	4234,29	1143,01		3591,18
2	Karton	3602,18	3359,17	4118,58	1154,28	6648,26	
3	Koran	3845,53	3618,95	4238,47	1306,64	4205,97	
4	Majalah	2598,95	2476,51	3646,23	992,02	2712,36	
5	Kertas Nasi	4246,92	3920,67	4167,29	1288,89		3591,18
6	Kardus	4487,07	4093,09	4257,12	1284,39	3571,67	
	Plastik						
7	PET Bottle (no.1)	5450,85	5252,42	4445,83	1382,24	11680,56	
8	HDPE Lembaran (no.2)	11207,00	11169,58	4444,73	1386,33		6307,50
9	PVC lembaran (no.3)	5187,91	5138,23	4332,82	1360,11	5448,78	
10	LDPE (no.4)	12318,40	12195,08	4505,66	1356,34		6307,50
11	PP Cup (no.5)	11912,80	11903,06	4426,95	1380,54		6307,50
12	PS (no.6)	11285,50	11269,80	4273,86	1379,38	9645,22	
	Sampah Makanan&Pasar						
13	Makanan tercampur	5162,21	1437,86	3727,54	737,10	4466,11	
14	Daun Pembungkus	4638,37	975,59	4069,59	573,85		4154,72
15	Batok&gambut kelapa	4684,11	3407,90	4446,86	1291,42		3915,63
16	Sayur	4568,29	689,85	4205,94	248,60		4466,11
17	Ikan	5837,12	1567,48	3497,23	581,39		4466,11
18	Lemak	9891,62	5065,61	4442,10	1213,95	9155,28	
19	Daging	7154,78	2597,33	4359,15	1034,45		
20	Tulang	4464,42	1570,90	3169,97	638,29		6951,46
21	Buah	5064,86	392,54	4337,90	-828,00	4347,01	
	Sampah Kebun						
22	Daun	3998,02	1632,60	3644,07	958,76		4154,72
23	Rumput	4153,51	906,08	7365,52	567,68		4154,72
24	Cabang pohon/ranting	4715,66	1997,45	4211,09	1096,14		3915,63
	Tekstil & Karet						
25	Handuk	4435,10	4239,45	4301,44	1348,27		4357,78
26	Jeans	4271,05	4010,65	4393,74	1372,21		4357,78
27	Kaos	4836,68	4664,32	4413,66	1365,93		4357,78
28	Karet	5202,15	5106,45	4218,60	939,96	8598,61	
	Kompos						
29	Mentah	2125,75	675,26	2402,29	420,93		4137,50
30	1/2 Matang	2091,90	979,05	2291,37	484,83		4137,50
31	Matang	1669,73	936,04	1854,94	415,31		4137,50
32	Residu	2211,65	980,02	3007,37	680,21		4137,50

Sumber : Novita & Damanhuri, 2010

(*) data Tchobanoglous

(**) asumsi dari data Tchobanoglous

Nilai kalor yang terukur pada percobaan bom kalorimeter dikenal dengan *High Heating Value (HHV)*, dimana keberadaan air dan hidrogen setelah pembakaran terjadi adalah pada keadaan terkondensasi pada produk. Sementara *Low Heating Value (LHV)* adalah nilai kalor dimana diasumsikan air dan hidrogen berada dalam fasa uap. Kalor yang dibutuhkan pada proses penguapan inilah yang akan menjadikan nilai kalor lebih rendah daripada LHV, Finet dalam (Novita & Damanhuri, 2010).

2.4.4 Suhu

Saat Proses *Biodrying* Suhu berpengaruh terhadap proses degradasi (Fadlilah & Yudihanto, 2013). Laju aerasi yang lebih tinggi mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk memasuki fase stabilisasi dan meningkatkan panjangnya fase stabilisasi. Laju aerasi dan frekuensi pembalikan yang tinggi akan meningkatkan kehilangan panas dengan meningkatkan konveksi permukaan antara campuran dan gas *Biodrying* (chaerul & Wardhani, 2020).

Temperatur adalah parameter terjadinya proses eksotermik dan metabolisme respirasi mikroorganisme. Metabolisme mikroorganisme erat kaitannya dengan fraksi organik, sehingga apabila temperatur semakin tinggi maka proses metabolisme mikroorganisme juga tinggi. (Fadlilah & Yudihanto, 2013) sesuai dengan penelitian (chaerul & Wardhani, 2020) yang mengatakan bahwa suhu bergantung pada aktivitas mikroorganisme pada reaktor *Biodrying*. pertumbuhan mikroorganisme yang layak untuk proses *Biodrying* yaitu pada rentang 40°C - 70°C dan membutuhkan sistem aerasi yang layak pada desain *Biodrying* untuk menjaga suhu dalam reaktor. Umumnya suhu meningkat pada minggu pertama dan kemudian menurun menuju suhu ambien.

Menurut Insam dalam (Amanah, 2012) Aktivitas mikroorganisme mempengaruhi temperatur sehingga dalam proses pengomposan tercipta beberapa fase yang ditandai dengan perubahan temperatur Fase-fase tersebut di antaranya adalah :

1. Fase mesofilik atau *starting phase*

Pada tahap ini, nutrisi yang mudah diuraikan seperti gula dan protein tersedia sangat banyak dan diuraikan oleh *fungi*, *actinobacteria*, dan bakteri. Ketiganya masuk pada golongan *primary decomposer*. Selain itu, mikroorganisme seperti cacing, *mites*, *millipedes*, dan mesofauna lain juga berperan dalam menguraikan bahan organik sebagai katalis. Suhu pada fase ini berkisar antara 25-40°C.

2. Fase termofilik

Pada fase termofilik, suhu gundukan kompos naik hingga 65°C. Organisme pada gundukan kompos akan beradaptasi pada kenaikan temperatur ini. Mikroorganisme mesofilik akan mati atau meninggalkan area yang panas, sedangkan area yang panas akan dihuni oleh mikroorganisme termofilik. Pada fase

ini, proses dekomposisi berlangsung lebih cepat hingga temperatur mencapai 62°C. *Fungi* termofilik mempunyai suhu maksimum untuk tumbuh yakni antara 35-55°C sehingga apabila temperatur dalam gundukan lebih tinggi, temperatur akan menghambat pertumbuhan *fungi*. *Thermotolerant* dan *thermophilic bacteria* serta *actinobacteria* dapat bertahan pada temperatur yang lebih tinggi dari *fungi*. Walaupun destruksi dari mikroorganisme biasa terjadi pada suhu di bawah 65°C, temperatur pada gundukan masih dapat naik hingga suhu 80°C. Kenaikan temperatur ini bisa disebabkan bukan oleh aktivitas mikroorganisme, namun karena dampak reaksi eksoterm abiotik.

3. Fase mesofilik kedua atau *cooling phase*

Ketika suhu telah mencapai termofilik dan turun, maka fase tersebut akan memasuki fase mesofilik kedua. Suhu akan turun ketika substrat telah menipis sehingga mikroorganisme termofilik akan kehilangan nutrisi dalam proses dekomposisinya. Kemudian mikroorganisme mesofilik akan kembali beraktivitas. Berbeda dengan masa mesofilik pertama, pada mesofilik kedua ini, mikroorganisme mesofilik akan menguraikan selulosa. Mikroorganisme mesofilik ini adalah bakteri dan *fungi*.

2.4.5 Kebutuhan udara

Kebutuhan udara merupakan variabel opsional penting yang digunakan untuk proses pengendalian dalam *Biodrying*. Menurut Epstein dalam (Velis, Longhurst, Drew, Smith, & Pollard, *Biodrying for mechanical–biological treatment of wastes: A review of process science and engineering*, 2009) menyebutkan diperlukan penambahan udara untuk menghilangkan kelembaban dalam pengomposan 6-10 kali lebih tinggi untuk aktivitas mikroorganisme, hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh (Purwono, Hadiwidodo, & Rezagama, 2016) bahwa penambahan aerasi mempengaruhi kenaikan dan penurunan suhu yang fluktuatif.

Selain itu kebutuhan udara tambahan pada reaktor dapat bertindak sebagai media penambah panas yang menyebar ke seluruh bagian reaktor, sehingga berpengaruh terhadap kenaikan suhu, dan proses pengeringan karena dehidrasi

(Kristanto & Hanany, 2017) dan dapat mempengaruhi jumlah lindi yang dihasilkan (Aminah, Sudarno, & Purwono, 2017)

2.4.6 Bahan baku

Menurut buku (Kementrian ESDM RI, 2015) bahan baku untuk dimanfaatkan dalam WtE haruslah memiliki karakteristik yaitu nilai kalor yang tinggi seperti kertas, plastik, kayu, kain, karet tidak termasuk logam, besi dan kaca atau minimal sampah memiliki kadar air yang rendah. Menurut Budiman dalam (Santosa & Soemarno, 2014) untuk mendapatkan listrik dari sampah maka nilai kalor atau nilai panas harus tinggi yang berasal dari sampah makanan, kertas, dan plastik. Pemilihan kombinasi bahan baku haruslah dipertimbangkan agar nantinya selama pemrosesan tidak menimbulkan masalah bagi lingkungan dan juga untuk menghindari kegagalan.

2.4.7 Volatile Solid (VS)

Volatile solid memiliki hubungan dengan tingkat energi dalam proses *biodrying*. Tambone dalam (Alifah, 2018) mengatakan bahwa tingginya degradasi VS menentukan energi yang hilang, namun sebaliknya apabila yang digunakan *biodrying* lambat maka akan membatasi degradasi dari VS sehingga energi akan tersimpan. Energi dalam *feedstock biodrying* harus dipertahankan agar dapat digunakan sebagai RDF.

2.5 Enzim Selulase (Gula pereduksi)



Gambar 3 : Enzim selulase powder
Sumber : tokopedia.id

Menurut (Frank, et al., 2016) bahan lignoselulosa (kertas, kayu, dll) yang terkandung dalam sampah kota tidak begitu cepat terdegradasi dalam kondisi anaerobic. Enzim selulase atau enzim yang dikenal dengan nama sistematik β -1,4-glukan-4-glukano hidrolase adalah enzim yang dapat menghidrolisis selulosa dengan memutus ikatan glikosidik β -1,4 dalam selulosa, selodektrin, selulosa, dan turunan selulosa lainnya menjadi gula sederhana atau glukosa Aryani dalam (Nababan, Gunam, & Wijaya, 2019). Hal ini juga didukung dengan penelitian Saropah dalam (Sari, 2012) Enzim selulase mendegradasi selulosa dengan memecah ikatannya, prosesnya melibatkan tiga jenis enzim yang bekerja secara sinergis dimana: Endo- β -1,4-glukanase memotong ikatan rantai dalam selulosa menghasilkan molekul selulosa yang lebih pendek, ekso- β -1,4-glukanase memotong ujung rantai selulosa menghasilkan molekul selulosa, sedangkan β -D-glukosida memotong molekul selulosa menjadi dua molekul glukosa.

Enzim selulase merupakan enzim yang memegang peranan penting dalam proses biokonversi limbah-limbah organik ber selulosa menjadi glukosa dan dapat diperoleh dari beragam sumber seperti tanaman, insekta, dan mikroorganisme. Pada *Biodrying*, enzim selulase memiliki peranan penting dalam mendegradasi material organik berupa selulosa yang banyak terdapat di sampah organik. Proses degradasi selulosa oleh enzim selulase juga akan menghasilkan panas Biological yang digunakan untuk menguapkan air pada sampah organik.

Enzim selulase diproduksi oleh beragam mikroorganisme seperti jamur dan bakteri. Salah satu jenis jamur yang memproduksi enzim selulase adalah *Trichoderma reesei*. *Trichoderma reesei* dikatakan dapat mensekresikan enzim selulase hingga 30 g l⁻¹ (Juturu & Wu, 2014).

2.6 Agen penggembur

Agen Penggembur atau Bulking Agent adalah amandemen pengomposan yang biasanya digunakan untuk membuat rongga antar partikel, menyediakan ruang udara di dalam bahan pengomposan dan mengatur kadar air limbah, Iqbal dalam (Yuana, et al., 2019). (Yuan, et al., 2017) menyatakan bahwa penambahan bulking agent menghasilkan nilai TI yang lebih tinggi dan kapasitas pembuangan air mencapai kinerja terbaik, hal ini juga didukung oleh (Yuana, et al., 2019).

penambahan agen penggembur membuat tingkat penghilangan kadar air lebih tinggi sekitar 55,6%- 65,4% selama *Biodrying*, Penambahan Agen Penggembur juga meningkatkan HHV dan LHV dibanding dengan kontrol. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Yuana , et al., 2019) ada empat jenis agen Penggembur yang digunakan yakni batang jagung , Sekam padi , Serbuk gergaji dan substrat jamur bekas. Berikut merupakan karakteristik dari beberapa jenis agent penggembur.

Tabel 3. Karakteristik agen penggembur

Bahan		Batang Jagung	sekam padi	serbuk Gergaji	Subtract jamur bekas
Sifat fisik dan Kimia	Kelembaban (%)	4.67	3.72	3.49	5.02
	Massa Jenis (kg/m ³)	162	92	306	243
	C/N	38.49	114.29	42.94	42.90
	Free Air Space (FAS) (%)	84.79	91.69	70.32	77.18
Nilai Kalor	High Heat Value (HHV) (kJ/kg)	17.894	17.668	23.630	23.358
	Lower Heat Value (LHV) (kJ/kg)	14.665	15.740	21.940	21.280
Analisis Akhir (%)	C(%)	42.72	40.00	45.09	44.64
	H(%)	5.26	5.37	5.96	5.81
	O (%)	50.60	53.80	44.62	47.56
	N (%)	1.11	0.35	1.05	1.04
	S (%)	0.31	0.47	0.27	0.97

Sumber: Yuana,et al,2019

2.7 Faktor yang mempengaruhi Proses *Biodrying*

Menurut jurnal yang ditulis oleh (Velis, Longhurst, Drew, Smith, & Pollard, 2009) dalam pembuatan desain reaktor sangat penting kombinasi yang efektif untuk mengoptimalkan pengeringan Biological dan pengkondisian bahan yang dimasukkan, dengan pemantauan serta pengendalian proses yang sesuai. Berikut yang perlu diperhatikan untuk desain reaktor yang efektif.

1. Pengkondisian matriks melalui pra pemrosesan mekanis, misalnya pencampuran, mempengaruhi sifat fisik, matriks seperti resistensi terhadap aliran udara
2. Jenis wadah, misalnya dalam kotak tertutup “Bio sel” atau secara menumpuk di sistem terowongan angin, dapat mempengaruhi pengeringan termasuk efek isolasi dan tingkat pemadatan
3. Penggunaan reaktor pencampuran secara dinamis untuk mencampur sampah secara merata. Namun secara umum desain komersial bersifat statis
4. Desain sistem aerasi, bermaksud untuk mengurangi gradien yang dialami dalam reaktor statis
5. Pengelolaan laju aerasi dalam reaktor, dengan mengontrol laju aliran udara yang masuk (Q_{air}), untuk menghilangkan uap air dan gas serta mengontrol parameter proses.
6. Sistem eksternal untuk mengendalikan sifat-sifat psikometri udara masuk misalnya suhu, titik jenuh, kelembaban)
7. Waktu tinggal di dalam reaktor, mempengaruhi tingkat penyelesaian proses biokimia dan fisik.

2.8 Penelitian Terdahulu

Tabel 4. Penelitian pendahuluan

Nama	judul penelitian	Parameter	Kesimpulan	sumber
Andiasti Nada, 2018	Analisis Pengaruh Penambahan Enzim Selulase Terhadap Penurunan Kadar air dan kualitas Solid Recovered Fuel pada Proses <i>Biodrying</i> sampah Organik	Dosis penambahan enzim selulase, Volatile solid suhu, rasio C/N, Moisture content, FAS, nilai kalor, bahan : 30 kg untuk masing-masing reaktor dan terdiri dari 12 kg sampah daun kering, 9 kg sampah daun hijau/rumput, dan 9 kg sampah makanan. Enzim selulosa Dosis 0,35 dan 0,45 gram	Penambahan enzim selulosa dapat memberikan dampak positif dalam proses <i>Biodrying</i> , seperti : <ul style="list-style-type: none"> • mempercepat fase termofilik • mempercepat penurunan kadar air sebesar 36% dalam waktu 19 hari Penambahan enzim selulase pada reaktor 2 dan 3 mempersingkat fase lag pada laju aktivitas mikroorganisme dan menghasilkan puncak konsentrasi gula pereduksi yang lebih tinggi	Universitas Indonesia
Badrus Zaman, Budi presetyo samadikun,	Waste to Energy: Kalorific Improvement of Municipal Solid	Parameter : karakteristik awal MSW, temperatur, kadar air,	Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalor MSW yang diproses di reaktor <i>Biodrying</i> dan reaktor kontrol masing-	Sciendo Riga Technical University / Environmental and

Nama	judul penelitian	Parameter	Kesimpulan	sumber
nurandani hardyangti, purwono 2021	Waste through <i>Biodrying</i>	analisis C/N, hemiselulosa, nilai kalor Bahan: reaktor, composting 64%, 2% sampah makanan, 15% sampah kertas, 19% sampah plastik	masing 55,3% dan 4,7% lebih tinggi daripada MSW yang tidak diproses. Laju aliran udara berpengaruh nyata terhadap nilai kalor (sig.<0,05). Nilai kalor tertinggi sebesar 17,63 MJ/kg, pada laju aliran udara 4 L/min/kg. Degradasi hemiselulosa akibat laju aliran udara mencapai 80-85%. Laju aliran udara tidak berpengaruh nyata terhadap degradasi hemiselulosa (sig.>0,05). Suhu tertinggi pada proses <i>Biodrying</i> adalah 41 °C, dan penurunan kadar air sebesar 58,29%. Produk akhir memiliki nilai kalor 17,63 MJ/Kg.	Climate Technologies 2021, vol, 25, no.1, pp. 176-187 / Diponegoro University / Indonesia
R.R Frank, S. Davies, S.T Wagland, R.	Evaluating leachate recirculation with cellulase addition to	Parameter : TS, TSS, VS, pH, sCOD, kapasitas lapangan (<i>field capacity</i>), analisis kandungan	a. Penambahan selulase sebanyak 15 x 106 U/ton limbah pada resirkulasi lindi menghasilkan produksi biogas	Elsevier / Waste management 55 (2016) 61-70 /

Nama	judul penelitian	Parameter	Kesimpulan	sumber
Villa, C. Trois, P. Coulon/2016	enhance waste biostabilisation and landfill gas production	<p>logam (Fe, Zn, Cu, Pb, Ni, Cd, Cr, dan Mn), produksi biogas.</p> <p>Bahan : Enzim selulase dengan dosis 15 juta/ton limbah (Cellulase CEL 30, diproduksi dari <i>Trichoderma reesei</i> yang berasal dari Sinobios, Cina), 200 gram limbah dengan ukuran <10mm dan dicampur dengan lumpur rasio 4:1.</p>	<p>sebanyak dua kali lipat (0,074 m³ biogas/kg limbah).</p> <p>b. <i>Cost-Benefit Analysis</i> penelitian dengan konsentrasi selulase 15 x 10⁶ U/ton limbah terbukti menguntungkan secara ekonomi.</p> <p>c. Resirkulasi lindi tanpa penambahan enzim selulase tidak menghasilkan peningkatan dalam produksi biogas dalam kondisi optimal maupun sub-optimal.</p> <p>d. Resirkulasi lindi dengan penambahan enzim selulase memberikan pengaruh positif karena selulase dapat memfasilitasi degradasi material lignoselulosa dalam fraksi limbah</p>	cranfield University / United Kindom

Nama	judul penelitian	Parameter	Kesimpulan	sumber
			sehingga menghasilkan peningkatan dalam produksi biogas.	
Anindi Cita Fiki, Mochtar Hadiwidodo*, Badrus Zaman /2022	Teknologi <i>Biodrying</i> untuk Meningkatkan Nilai Kalor Sampah dan Proyeksinya sebagai Bahan Bakar Alternatif pada Tahun 2028	Parameter : suhu, kadar air, nilai kalor, volume, massa sampah Alat dan bahan: Bahan penelitian sebanyak 67,5 liter komposisi menggunakan 17% serasah daun, 20% kertas, 21% plastik dan 42% sisa makanan	Proses <i>Biodrying</i> sampah TPA Jatibarang Kota Semarang dengan komposisi 17% serasah daun, 20% kertas, 21% plastik dan 42% sisa makanan selama 21 hari dengan debit aerasi 6 L/m mencapai suhu puncak pada hari pertama yaitu 58°C. Produk <i>Biodrying</i> umur 21 hari memiliki kadar air 44,65% dan mengalami peningkatan nilai kalor sebesar 28% menjadi 6.049 cal/gr. Nilai kalor tersebut memenuhi nilai kalor bahan bakar batubara pada industri (>6.000 cal/gr).	Jurnal ilmu Lingkungan volume 20 issue 1 (2022): 139-146/ Universitas Diponegoro/ Indonesia

Nama	judul penelitian	Parameter	Kesimpulan	sumber
Jing Yuan , Difang Zhang , Yun Li , David Chadwick , Guoxue Li , Yu Li , Longlong Du (2017)	Effects of adding bulking agents on biostabilization and drying of municipal solid waste	Kadar air, degradasi organik, suhu, C/N	penambahan Bulking agent menghasilkan TI yang lebih tinggi dan pengurangan kadar air yang lebih tinggi. Lipid dan selulosa adalah komponen utama kehilangan organik pada semua perlakuan	Elsevier/management waste/ China
Gabriel Andari Kristanto and Ismi Hanany (2017)	Effect of air Flow on <i>Biodrying</i> Method of Municipal Solid Waste in Indonesia	total padatan, kadar air, Padatan volatile, suhu, nilai kalor	aliran udara mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme dari fase lag hingga eksponensial proses. Adanya aktivitas metabolisme tersebut menyebabkan peningkatan dari awal proses ke fase eksponensial. Laju aliran udara bertindak sebagai pembawa panas bagi seluruh bagian insulasi sehingga memiliki pengaruh besar pada kenaikan suhu	Konferensi AIP,

Nama	judul penelitian	Parameter	Kesimpulan	sumber
			selama proses. Aliran udara mampu mempengaruhi proses pengeringan yang ditunjukkan dengan panas yang dihasilkan selama proses karena dehidrasi.	
Jing Yuana, Yun Lia, Guoying Wanga, Difang Zhanga, Yujun Shenb,c, Ruonan Maa, Danyang Lia, Shuyang Lia, Guoxue (2019)	<i>Biodrying</i> performance and combustion characteristics related to bulking agent amendments during kitchen waste <i>Biodrying</i>	suhu, penghilangan air dan degradasi organik, nilai pemanasan, sifat pembakaran, parameter kinetik	Penambahan Bulking agent (batang jagung, sekam padi, serbuk gergaji, substrat jamur bekas meningkatkan kinerja <i>Biodrying</i> pada limbah dapur. Limbah dapur yang diubah dengan BA Lebih tinggi tingkat penghilangan air 55,6%- 65,4% selama <i>Biodrying</i> , peningkatan dalam kandungan karbon total terkait dengan penambahan BA meningkatkan <i>Higher Heat Value</i> (HHV) akhir dan <i>Lower Heat Value</i> (LHV) dibandingkan dengan kontrol.	Bioresource Technology, Elsevier, Cina

Nama	judul penelitian	Parameter	Kesimpulan	sumber
			Perubahan degradasi organik terkait dengan bulking agent menunjukkan laju pembakaran selama tahap kedua tetapi tidak selama pembakaran tahap ketiga. Perlakuan BA memiliki nilai Em yang lebih tinggi daripada perlakuan kontrol, meskipun penurunan secara keseluruhan membuat pembakaran sampah dapur lebih mudah setelah <i>Biodrying</i>	
Mutala Mohammed, ismail Ozbay, Ertan Durmusoglu (2017)	Biodrying of green waste with high moisture content	Parameter : kadar air, suhu, berat dan volume, agen penggembur, penilaian ekonomi	Studi ini menunjukkan bahwa bio-pengeringan adalah pendekatan yang efektif untuk pengurangan kelembaban dan berat sampah hijau, melestarikan sebagian besar kandungan energinya. Pada akhir proses Biodrying mencatat penurunan kadar air yang lebih tinggi, 27% lebih banyak dibandingkan dengan	Process Safety and environmental Protection, Elsevier, Turkey

Nama	judul penelitian	Parameter	Kesimpulan	sumber
			<p>matriks tanpa BA. Penggunaan BA berdampak positif terhadap bio-drying sampah hijau, baik dalam hal penurunan kadar air maupun peningkatan nilai kalor. limbah hijau campuran dengan BA lebih disukai karena memberikan porositas nyata yang sangat penting untuk pengurangan kelembaban tanpa lindi. Oleh karena itu, penelitian atau inovasi lebih lanjut diperlukan untuk memaksimalkan pemanfaatan BA secara penuh untuk melestarikan atau meningkatkan nilai energi bahan biodrying. Hal ini dapat dicapai dengan memvariasikan jumlah bulking agent dan produk output,</p>	